

Usporedba tehničkih sustava za nZEB i pasivnu stambenu zgradu

Pernjak-Grbac, Lovro

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:190:319515>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Sveučilišni diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**USPOREDBA TEHNIČKIH SUSTAVA ZA nZEB I PASIVNU
STAMBENU ZGRADU**

Rijeka, rujan 2023.

Lovro Pernjak-Grbac
0069077828

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Sveučilišni diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**USPOREDBA TEHNIČKIH SUSTAVA ZA nZEB I PASIVNU
STAMBENU ZGRADU**

Mentor: Prof. dr. sc. Igor Wolf

Rijeka, rujan 2023.

Lovro Pernjak-Grbac
0069077828

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKE ISPITE

Rijeka, 15. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za termodinamiku i energetiku**
Predmet: **Tehnika klimatizacije i automatska regulacija**
Grana: **2.11.02 procesno energetske strojarstvo**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Lovro Pernjak-Grbac (0069077828)**
Studij: **Sveučilišni diplomski studij strojarstva**
Modul: **Procesno i energetske strojarstvo**

Zadatak: **Usporedba tehničkih sustava za nZEB i pasivnu stambenu zgradu /
Technical Systems Comparison for nZEB and Passive Residential Building**

Opis zadatka:

U radu je potrebno usporediti optimalne koncepte i radne parametre sustava grijanja, hlađenja, pripreme potrošne tople vode i ventilacije za stambeni objekt na području sjevernoga Jadrana, građen u jednom slučaju prema zahtjevima Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama za zgrade gotovo nulte energije, a u drugom prema zahtjevima Instituta za pasivne kuće (pasivni standard gradnje). Odgovarajuća tehnička rješenja moraju se temeljiti na iskorištavanju obnovljivih izvora energije dostupnih na promatranoj lokaciji, vodeći u cjelini računa o važećim tehničkim normativima za slične objekte u Republici Hrvatskoj. Arhitektonske podloge objekta sastavni su dio ovoga zadatka.

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




Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Prof. dr. sc. Igor Wolf

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



Izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

IZJAVA

Ja, Lovro Pernjak-Grbac, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom „Usporedba tehničkih sustava za nZEB i pasivnu stambenu zgradu“ te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način korišteni dijelovi tuđih radova.

Rijeka, rujan 2023.

Lovro Pernjak-Grbac
0069077828

ZAHVALA

Ovim putem se zahvaljujem svom mentoru prof. dr. sc. Igoru Wolfu na strpljenju, pomoći i razumijevanju prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvalio bih se cijeloj svojoj obitelji i prijateljima na podršci tijekom studiranja, a posebno mojim roditeljima, sestrama Lari i Sandri, baki Antici i djevojci Tini bez kojih ovo ne bi bilo moguće.

Mama, ovo je za tebe...

Sadržaj

1. UVOD.....	1
Europski zeleni plan - Ugljična neutralnost do 2050.....	1
2. GOTOVO NULA ENERGETSKE I PASIVNE STAMBENE ZGRADE.....	5
2.1 nZEB zgrade	5
2.2 Pasivne zgrade	7
2.3 Usporedba zahtjeva za nZEB i pasivne zgrade.....	12
3. TEHNIČKI PRORAČUNI.....	14
3.1 Opis zgrade	14
3.2 Proračun toplinskih gubitaka	16
3.3 Proračun toplinskoga opterećenja	21
3.4 Proračun sustava pripreme potrošne tople vode	24
4. TERMOTEHNIČKI SUSTAVI.....	26
4.1 Dizalica topline	26
4.2 Termotehnički sustavi za zgrade gotovo nulte energetske potrošnje	27
4.2.1. Izvedba 1: Dizalica topline – podno grijanje – ventilokonvektori.....	28
4.2.2. Izvedba 2: Dizalica topline – radijatorsko grijanje – klima uređaji.....	31
4.2.3. Izvedba 3: Dizalica topline – ventilokonvektori	32
4.3 Termotehnički sustav za Pasivnu kuću	33
5. USPOREDBA GOTOVO NULA ENERGETSKE I PASIVNE KUĆE.....	36
5.1 Usporedba izvedbi zgrade gotovo nulte energetske potrošnje	36
5.2 Usporedba nZEB i Pasivne kuće	41
6. FOTONAPONSKI SUSTAV	44
6.1 Dimenzioniranje fotonaponskog sustava	45
6.2 Usporedba termotehničkih sustava s fotonaponskim sustavima od 2,90kW i 4,56kW	48
7. ZAKLJUČAK.....	50
8. LITERATURA	52

SAŽETAK	54
ABSTRACT.....	55

1. UVOD

Energija je pojam koji se u zadnje vrijeme jako puno spominje u medijima. Pogotovo je to eskaliralo nedavnim ratom u Ukrajini, koji je Europi donio veliku energetska zabrinutost zbog značajne ovisnosti o prirodnom plinu koji je najviše dolazio upravo iz Rusije. Ta događanja su potaknula Europu, ali i cijeli svijet, na promjenu razmišljanja u vezi potrošnje energije, te je vidljivo kako su države i njezini stanovnici sve više počeli težiti štednji energije kako bi smanjili svoje troškove i ovisnost o uvozu, a s druge strane pridonijeli da najnepovoljnija razdoblja tijekom godine prođu bez stresova i poremećaja u opskrbi.

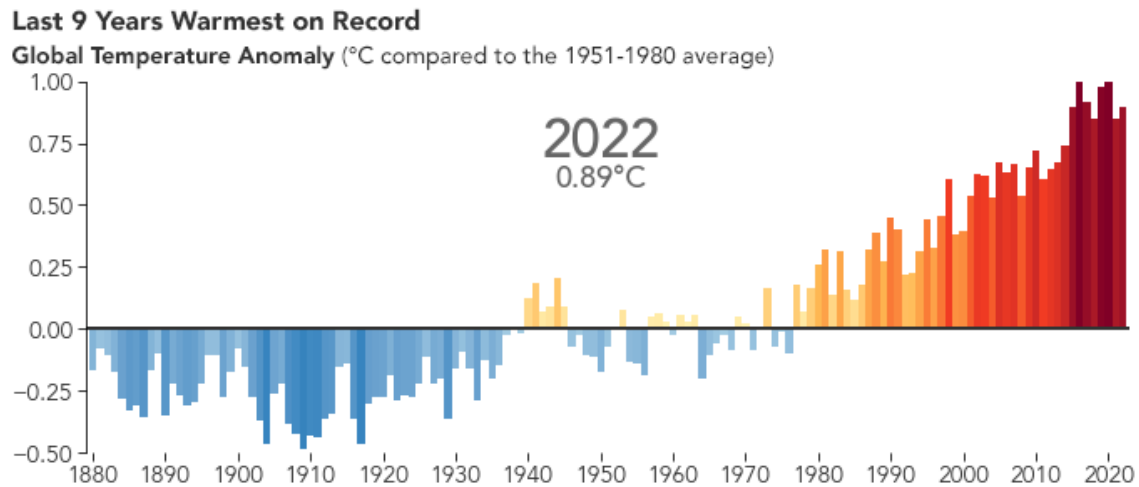
Sektor zgradarstva sudjeluje s velikim postotkom u ukupnoj potrošnji energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode (PTV). U 2021. se čak 30% ukupno potrošene energije u svijetu odnosilo na zgrade [1], koje su ujedno proizvele i slični postotak emisija CO₂ u atmosferu zbog pripreme te energije. Godina 2020. nije bila mjerodavna zbog dugog 'lockdowna' i pandemije koronavirusa koji je paralizirao cijeli svijet na nekoliko mjeseci, a samim time je i distribucija potrošnje energije bila drugačije nego ostalih godina. Već navedene 2021. godine zabilježen je povratak na pretpandemijske razine potrošnje, koje su krajem te godine i premašene.

Osim već navedenih razloga, Europska unija već neko vrijeme pokušava smanjiti efekte globalnog zatopljenja i velikih klimatskih promjena koje su se dogodile u posljednjim godinama, a veliki udio u tome su i zahtjevi pri izgradnji novih objekata koji su sve stroži te su izvođači radova dužni pratiti važeće propise vezane za gradnju. Cilj je prije svega povećati učinkovitost uporabe energije, smanjiti potrošnju, koja će se zatim u što većoj mjeri, ako ne u potpunosti, osigurati iz obnovljivih izvori energije dostupnih na određenoj lokaciji.

Europski zeleni plan - Ugljična neutralnost do 2050.

Sve češće se diljem svijeta događaju ekstremni vremenski uvjeti poput suša, poplava, toplinskih udara i obilnih kiša, a jasno je vidljivo i kako se naš planet zagrijava iz godine u godinu, što za sobom donosi puno negativnih događaja poput porasta razine mora, propadanje usjeva i raznim vremenskim nepogodama koje uništavaju ljudsku imovinu. Kako bismo donekle zadržali normalne uvjete na našem planetu tim stručnjaka[1] je procijenio da moramo zaustaviti rast prosječne temperature ispod 1,5 °C, a ključan faktor kako bismo to ostvarili je

ugljična neutralnost. Na slici 1.1 vidimo prikaz temperaturnih anomalija od 1880. godine u kojem je jasno vidljivo da je u posljednjih 30 godina došlo do velikog poraste temperature.



Slika 1.0.1 – Prikaz temperaturnih anomalija od 1880. [2]

Pariškim sporazumom se 195 članica UN-a, uključujući i članice Europske Unije, obvezalo zadržati rast prosječne temperature ispod već navedenih 1,5 °C, a jedna od vrlo bitnih stavki za uspješno ispunjenje tog cilja je ugljična neutralnost. Europska komisija je predstavila Europski zeleni plan koji bi članice trebale provoditi, a stvoren je kako bi se postigla klimatska neutralnost Europe do 2050. godine. Ugljična neutralnost je zapravo postizanje ravnoteže između emisije ugljika i njegovih produkata u atmosferu te njegove apsorpcije iz atmosfere u tzv. "ponore ugljika" poput tla, šuma ili oceana. Prema nekim procjenama iz 2021. god., prirodni ponori ugljika mogu ukloniti između 9,5 i 11 Gt CO₂ godišnje, a emisija je bila 37,8 Gt[3].

Prema ovom planu Europa bi do 2050. god. trebala postati prvi kontinent koji će ukloniti onoliko emisija CO₂ koliko ih i proizvodi, a to bi trebalo biti obavezno za sve članice Unije s obzirom da je usvojen zakon o klimi[4]. Također, izmijenjen je i cilj smanjenje emisija CO₂ do kraja 2030. godine na 55%, a prethodno se očekivalo smanjenje od 40%. Upravo taj plan koji je Europska komisija provela u djelo je nazvan *Fit for 55* („Spremni za 55“) te su države članice obavezne poštovati taj energetske paket i smanjiti emisiju CO₂.

Prema statistikama, veliko povećanje se dogodilo u potrošnji same električne energije, ponajviše zbog povećane potrebe hlađenja objekata što je direktna posljedica globalnog zagrijavanja i klimatskih promjena. Na slici 1.2 možemo vidjeti prikaz omjera korištenja raznih izvora energije u zgradama, a prema idealnom planu do 2030. god. bi trebali izbaciti korištenje

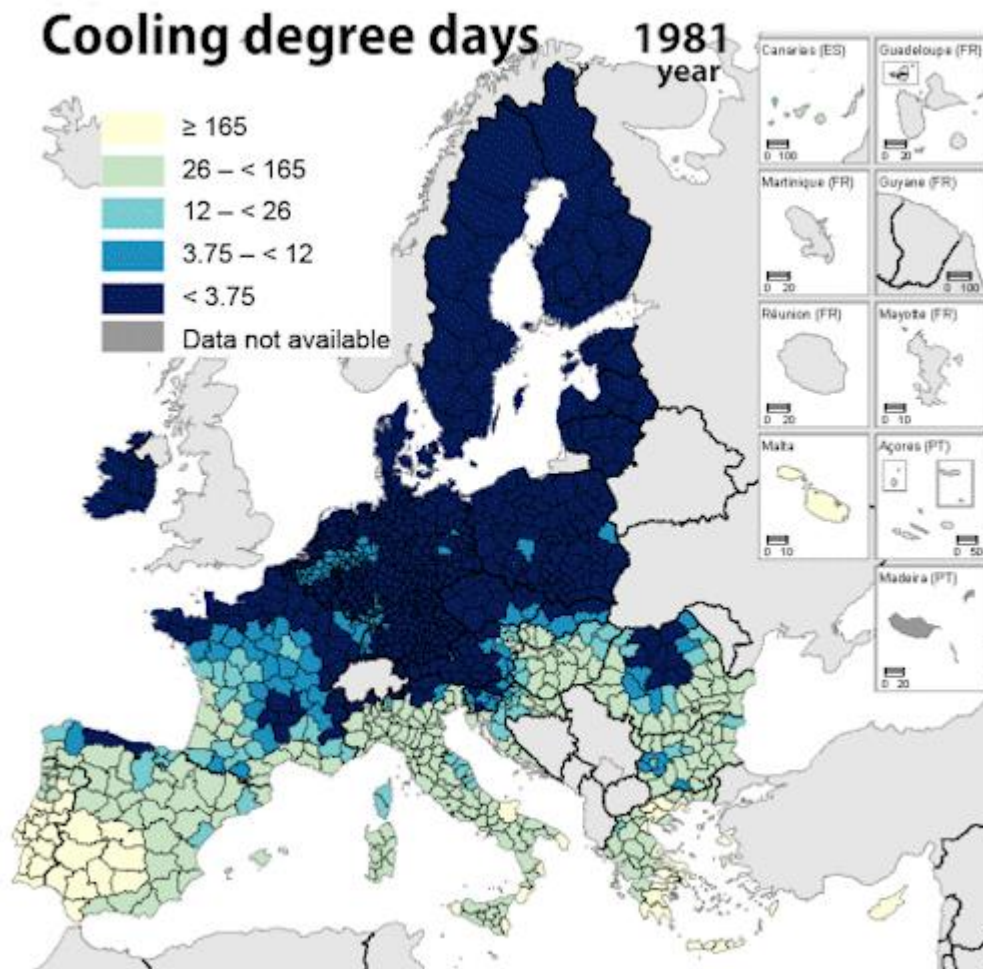
biomase, kao i smanjenje potrošnje plina i loživog ulja, a povećati korištenje obnovljivih izvora energije i električne energije.



Slika 1.2 - Prikaz korištenja energije do 2030. godine u idealnom planu [1]

U scenariju prema kojem bi se postigla ugljična neutralnost, isporučena energija u zgradama bi se morala smanjiti za 25% u odnosu na sadašnju potrošnju, a korištenje fosilnih goriva koji emitiraju puno CO₂ bi se morala smanjiti za više od 40%. Pritom je nužan prestanak korištenja tradicionalne biomase te prelazak na bioplin, električnu energiju i LNG. Osim toga, potrebno je povećati energetske učinkovitost samih zgrada boljom toplinskom izolacijom vanjske ovojnice ili njezinim postavljanjem tamo gdje ne postoji, korištenjem učinkovitih uređaja u domu poput LED žarulja, kvalitetnijih klima-uređaja i drugih kućanskih aparata koji troše manje električne energije, a pogotovo ugradnjom učinkovitih sustava za generiranje potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrada, poput dizalica topline.

Prema podacima Eurostata [2], broj dana u kojima se pojavljuje potreba za grijanjem zgrada smanjio se za 11% od 1979. godine, dok je s druge strane potreba za hlađenjem zgrada povećana za čak tri puta u odnosu na 1979. god. što možemo jasno vidjeti na slici 1.3. Prema ovim podacima imamo još jasniju sliku u kojem smjeru se naš planet kreće po pitanju potrebe energije i porasta globalne temperature.



Slika 1.3 - Prikaz broja dana za hlađenje tijekom godina [5]

2. GOTOVO NULA ENERGETSKE I PASIVNE STAMBENE ZGRADE

Obzirom da cijela Europska unija teži smanjenju potrošnje energije i što racionalnijoj upotrebi energije u svim zgradama, a koje sudjeluju s velikim postotkom u ukupnoj potrošnji energije, potrebno je slijediti određene propise kod gradnje samih objekata. Velika pažnja se posvećuje toplinskoj izolaciji objekata, zrakonepropusnosti vanjske ovojnice zgrade, upadnom kutu sunca (posebno bitno za zimu zbog iskorištavanja dostupne energije sunca) te korištenju lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije. Prema propisima koje je objavila RH [3], potrebno je da sve zgrade koje su nedavno izgrađene ili su još uvijek u izgradnji, kao i one koje će se tek graditi, slijede točno određena pravila. Građevinska dozvola se ne može izdati ukoliko traženi objekt ne zadovoljava tražene standarde prikazane u potpoglavlju 2.1. Sve nove zgrade, kao i one koje se obnavljaju u značajnoj mjeri, moraju imati karakteristike "zgrada gotovo nulte energije (GOEZ; engl. nearly zero energy buildings, nZEB)". Posebnu izvedbu predstavljaju tzv. pasivne zgrade, koje imaju još stroža pravila kod gradnje i kod dizajniranja takvih objekata[6] prema Institutu za pasivnu gradnju zgrada tako da bi sve pasivne zgrade trebale lagano zadovoljiti uvjete nZEB zgrada.

2.1 nZEB zgrade

Svi objekti u Republici Hrvatskoj koji su ishodovali građevinske i(li) lokacijske dozvole nakon 31. prosinca 2019. godine su dužni pratiti smjernice Ministarstva prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine[7] te Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [8]. To je potrebno kako bi svi objekti zadovoljili normative gradnje i pritom dobili traženu iskaznicu energetske svojstava zgrade što je poseban dokument koji se mora priložiti uz glavni projekt.



Slika 2.1 – Primjer nZEB zgrade [9]

Zgrade gotovo nulte energije su zgrade vrlo visokih energetske svojstava koje troše vrlo malo energije, a ta energija se u velikoj mjeri mora dobivati iz obnovljivih izvora energije (30%) prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Takve zgrade moraju biti projektirane prema specifičnim lokacijskim uvjetima kako bi se prilagodile okolišu te kako bi što više iskoristili sunčani potencijal na toj lokaciji, a osim toga trebale bi biti izgrađene s povoljnim oblikom zgrade za što veću uštedu energije. Trebale bi isto tako koristiti pametne tehnologije (automatska prilagodba sustava vanjskim uvjetima, gašenje hlađenja prilikom otvaranja prozora i sl.) upravljanja tehničkim sustavima zgrade, automatizacije svih procesa, a za izgradnju zgrada se primjenjuju optimalni građevni materijali koji imaju vrlo dobre karakteristike po pitanju zadržavanja topline i dobre izolacije. Vrlo je bitno da zahtijeva što manje održavanja i da ima duži životni vijek od 'starih' zgrada te da se koriste energetske učinkoviti potrošači električne energije. Ukoliko zgrada zadovoljava kriterije (navedene u potpoglavlju 2.3) iz Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama tada se u energetske certifikat upisuje oznaka nZEB.

Bitno je napomenuti kako zgradu gotovo nulte energetske potrošnje nije moguće izvesti samo uz primjenu novijih građevinskih materijala s visokim otporom prolazu topline (ili niskom toplinskom vodljivošću), kao niti uz veliko povećanje debljine toplinske izolacije, jer ćemo time samo spriječiti preveliko rasipanje energije van same zgrade. Pored povećanja energetske učinkovitosti, vrlo je bitno da i sama zgrada generira vlastitu energiju za grijanje, hlađenje, pripremu potrošne tople vode (PTV) i napajanje električnih trošila. Sve zgrade bi

trebale izbjegavati korištenje termotehničkih sustava s fosilnim gorivima jer oni ne spadaju u kategoriju obnovljivih izvora energije, ali se u nekom obliku može koristiti energija dobivena iz prirodnog plina kao rezervni izvor energije u prijelaznom periodu do korištenja isključivo obnovljivih izvora energije. Sve više se usvajaju tehnologije poput fotonaponskih sustava, solarnih toplinskih kolektora za pripremu PTV-a te dizalica topline za grijanje i hlađenje u samoj zgradi.

Ipak, vanjska ovojnica zgrade mora biti izvedena ispravno i prema projektima koji su izrađeni kako bi zgrade zadovoljile propise. Ovojnica zapravo služi kao toplinska barijera između vanjskog i unutarnjeg prostora kojom nastojimo što više zadržati projektom definirane temperature unutar samog objekta. Pravilnom izvedbom ovojnice zgrade značajno smanjujemo potrebnu energiju za grijanje i hlađenje čime se postižu uštede energije, a samim time i financijske uštede. Bitno je i da ovojnica zadržava prodor vlage u unutarnji prostor, a trebala bi i maksimalno smanjiti prodor buke iz vanjskog okoliša unutar zgrade.

Toplinski mostovi su dijelovi ovojnice zgrade koji imaju drugačiji toplinski otpor u odnosu na ostatak ovojnice, a nastaju zbog promjene debljine tog 'plašta', promjene materijala ili zbog same geometrije zgrade (npr. na spoju dvaju zidova). Toplinski most nastaje kada postoje materijali s lošijim karakteristikama izolacije koji su u kontaktu s dijelom toplinske izolacije s vrlo dobrim svojstvima. To se često događa kada imamo zid od cigle koji je presječen betonom (zbog statike objekta), a koji ima manji toplinski otpor. Dobar primjer toplinskih mostova su također prozori i vrata. Vrlo često se može dogoditi da je i temperatura zida na unutarnjoj strani zida kod toplinskog mosta niža nego na preostaloj površini zida te postoji veća mogućnost da se dogodi kondenzacija vodene pare na unutarnjem dijelu tog toplinskog mosta. Zbog toga je vrlo bitno da se prilikom projektiranja i izgradnje objekata jako pazi na moguće toplinske mostove jer je problem u fazi nakon izgradnje puno teže riješiti nego tijekom same izgradnje.

2.2 Pasivne zgrade

Koncept pasivne kuće [6] je razvijen u Njemačkoj krajem prošlog stoljeća kako bi se odgovorilo na sve veće zahtjeve za uštedom energije u kućanstvima. Institut za pasivne kuće donosi pravila i norme na temelju kojih se može dizajnirati nova zgrada da zadovoljava smjernice pasivne gradnje. Termin "Passivhaus" iz njemačkog jezika dolazi od riječi

'rigorozan' te kao norma energetske učinkovitosti prikazuje potrebu za vrlo malom količinom energije za zagrijavanje ili hlađenje zgrada. Naravno, ovaj normativ gradnje je primjenjiv i kod gradnje raznih javnih ustanova, bolnica, škola, kino dvorana, te nije limitiran na stambene objekte. Većinom se korisnici odlučuju primijeniti taj normativ prilikom gradnje novih građevina, ali postoji mogućnost primjene i kod energetskih obnova starih zgrada uz malo veće investicijske troškove. Prva pasivna kuća je napravljena u Darmstadtu, Njemačka, a koju možemo vidjeti na slici 2.2. te je nakon nje je došlo do izgradnje pasivnih kuća diljem svijeta.



Slika 2.2 - Prva pasivna kuća – Darmstadt [10]

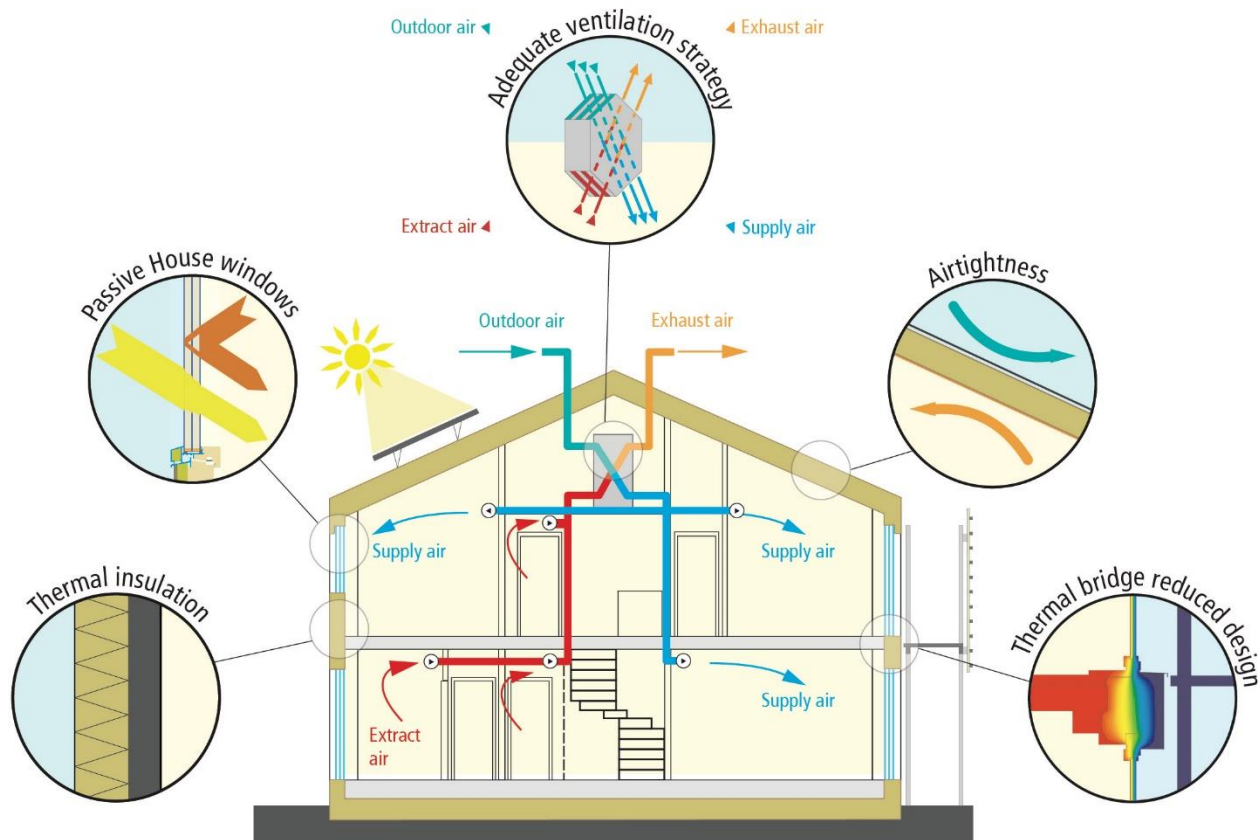
Kombinacijom niskoenergetskih normativa gradnje te objektima koji su 'superizolirani' došlo do se do koncepta pasivne kuće, koji je testiran te bi trebao omogućiti zadržavanje ugodne temperature za ljude koji borave unutar tih prostora bez aktivnih sustava grijanja i hlađenja, a primjer toga je prikazan na slici 2.3.

Kako bi se ispunili zahtjevi za izgradnju pasivnih kuća, potrebno je slijediti glavna pravila [6]:

- godišnja potrošnja energije za grijanje ili hlađenje mora biti $\leq 15 \text{ kW/m}^2$
- vršno toplinsko opterećenje mora biti $\leq 10 \text{ W/m}^2$
- potrošnja primarne energije za grijanje, hlađenje, pripremu PTV-a i potrošnju električne energije u kućanstvu mora biti $\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- vanjska ovojnica zgrade mora imati koeficijent prolaza topline $\leq 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- prozori i vrata moraju imati koeficijent prolaza topline $\leq 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- stupanj iskoristivosti izmjenjivača topline za izmjenu topline između dovodnoga svježeg zraka i odvodnoga zraka mora biti barem 75%

- zgrada mora biti zrakonepropusna $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ izmjena zraka pri razlici tlaka od 50 Pa.
- toplinski mostovi moraju biti eliminirani ili svedeni na minimalnu moguću mjeru.

Poželjno je imati ostakljene površine na južnoj strani kako bi se maksimizirali toplinski dobici tijekom zime, ali treba izbjeći povećanje temperatura ljeti. Isto tako, s obzirom da bi zgrada trebala biti maksimalno zabrtvljena, potrebno je uvesti mehaničku ventilaciju sa svježim zrakom radi zadovoljavanja potreba korisnika vezanim za kvalitetu zraka u prostorijama te udobnim stanovanjem. Protok svježeg zraka ovisi o namjeni prostorija, a generalno se može uzeti da je potreban protok svježeg zraka $30 \text{ m}^3/\text{h}$ po osobi. Bitno je imati dovoljan broj izmjena zraka kako bi se izbjegla pojava neodgovarajuće vlažnosti prostorije.

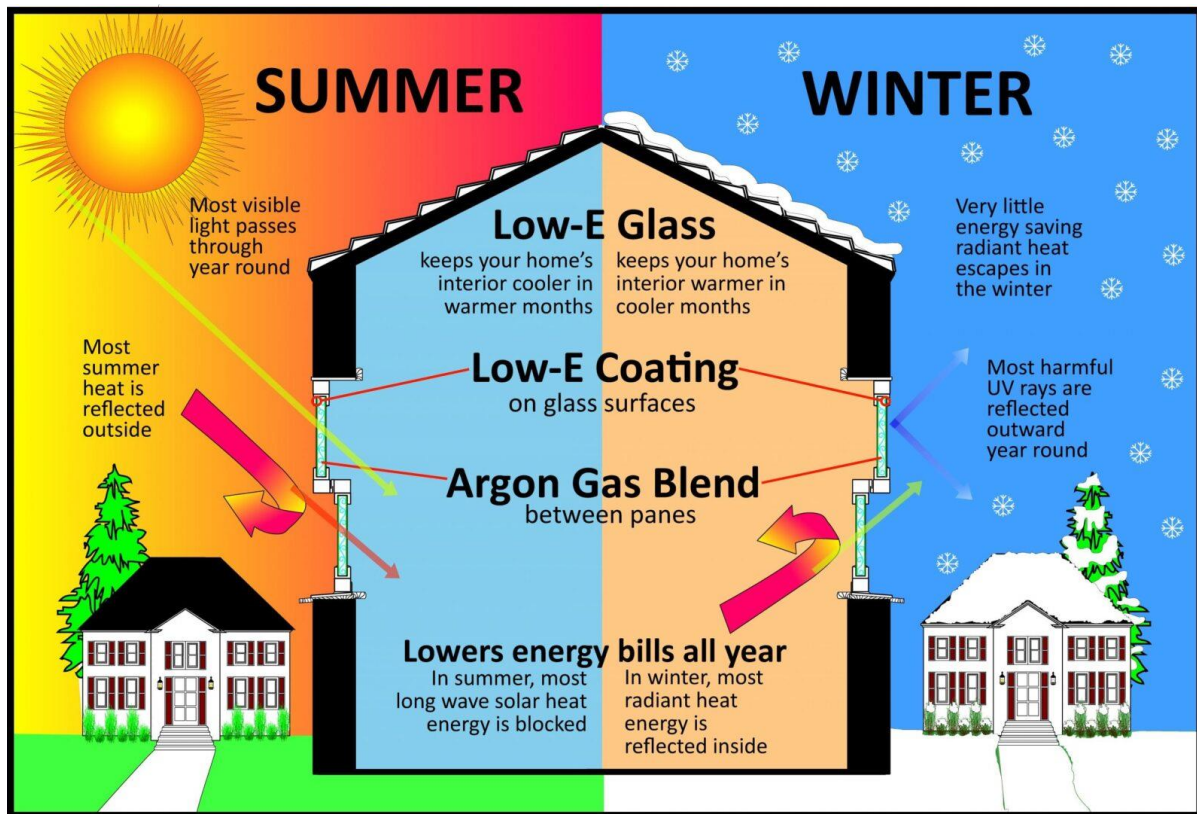


Slika 2.3 – Principi gradnje pasivne kuće[6]

Posebno bih naglasio potrebu za dodatnim zasjenjenjem tijekom ljeta radi sprječavanja pregrijavanja prostorija zbog velike količine sunčevog zračenja. Bez toga bi se temperatura u zgradi drastično povećala tijekom ljetnih mjeseci što bi izazvalo porast potrošnje energije

za hlađenje zgrade. Zgrade su najčešće dizajnirane tako da maksimalno iskoriste sunčevo zračenje tijekom zime i da se time povećaju toplinski dobici, a smanji potreba za grijanjem, a ljeti se koriste uređaji za zamračivanje ili se pregrijavanje sprječava arhitektonskim rješenjima pri gradnji s balkonima, strehama ili nadvojima, a možemo koristiti i drveće kako bi dodatno smanjili solarne dobitke.

Prozori i ostakljena vrata kod pasivnih kuća moraju biti konstruirani na način da se što više smanje toplinski gubici zimi kroz ostakljene površine koje imaju veće koeficijente prolaza topline nego toplinski izolirani zidovi, kao i da se smanje toplinski dobici ljeti. Energija kroz prozore najviše prolazi kroz samo staklo te prema ispitivanjima obično staklo propušta skoro sve valne duljine elektromagnetskoga zračenja, a to onda rezultira porastom temperature. Kako bi poboljšali karakteristike prozora uvodimo dodatna stakla u prozore čime oni postaju višeslojni, a prostori između njih se ispunjavaju inertnim plinovima (argon, kriptom, ksenon) s boljim toplinskim svojstvima od zraka. Osim broja stakala, bitno je da se dodaju i razni premazi s niskom emisivnošću koji promijene parametre prolaska topline kroz prozor. Takvi prozori su nazvani i Low Emission(Low-e) prozori[12]. Samim time ostvarujemo uštede i ljeti i zimi na energiji zbog manje zagrijavanja ljeti, a više zadržavanja topline zimi.



Slika 2.4 – Prednosti ugradnje Low-e prozora [12]

Osim navedenih parametara, postoje još neki kriteriji na koje treba paziti prilikom projektiranja pasivnih kuća. Potrebno je projektirati zgrade na način da imaju što manji faktor oblika tj. da je objekt što 'kompaktniji'. Oplošje vanjske ovojnice bi trebalo biti što manje u odnosu na volumen same građevine. Upravo je taj odnos između vanjske površine ovojnice grijanog dijela zgrade te volumena grijanog dijela zgrade faktor oblika zgrade. Materijale za gradnju treba pažljivo birati kako bi se koristili materijali sa što većim toplinskim kapacitetom čime će ti zidovi i podovi duže 'zadržati' toplinu i time smanjiti energetske gubitke/dobitke i samim time i troškove.

Pasivne kuće se mogu i projektirati na način da se u potpunosti izbací aktivno hlađenje, a za to treba napraviti proračun dobitaka topline ljeti te dobiti udio vremena u kojem se objekt pregrijava. Ako je taj udio vremena dovoljno nizak, onda se može dizajnirati objekt koji se hladi prirodno, tzv. "free cooling". Free Cooling je zapravo prirodna ventilacija zgrade noću (otvaranjem prozora) kada temperatura padne ispod zadane vrijednosti kojom će onda prirodnom ventilacijom 'zamijeniti' topli zrak iz prostorija onim svježim izvana kako bi korisnicima bilo ugodno boraviti u prostoru. U tom slučaju je moguće napraviti kuću bez

aktivnog sustava za hlađenje čime se u potpunosti opravdava naziv 'pasivne kuće', a samim time se smanjuje i investicijski trošak za rashladne sisteme.

2.3 Usporedba zahtjeva za nZEB i pasivne zgrade

Prema prethodno napisanome, vidljivo je kako zgrade gotovo nulte energetske potrošnje energije imaju ipak manje 'stroge' kriterije za energetska svojstva nego što to zahtjeva Institut za pasivne kuće. Točne karakteristike i njihovu usporedbu možemo vidjeti u tablici 2.1. u kojoj su prikazani parametri koje možemo usporediti za ta dva oblika gradnje zgrada.

Tablica 2.1 - Usporedba zahtjeva za pasivne kuće i nZEB

Parametar	Pasivna kuća	nZEB
Primarna energija	$E_{prim} < 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ Grijanje, hlađenje, priprema PTV-a i rasvjeta	$E_{prim} < 35 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ Grijanje i priprema PTV-a
Godišnja potreba energije za grijanje	$Q''_{H,nd} < 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	$Q''_{H,nd} < 75 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ Ovisi o faktoru oblika zgrade
Koeficijent prolaza topline vanjskih zidova	$U_V \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$U_V \leq 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Koeficijent prolaza topline prozora	$U_{prozor} \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$U_{prozor} \leq 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Prema prikazanim podacima možemo zaključiti kako su ti zahtjevi za pasivne kuće rigorozniji te da ih je vrlo teško ostvariti ukoliko se, već kod projektiranja zgrade, ne krene s pretpostavkom da će zgrada biti pasivna. Vrlo je bitan oblik same zgrade te usmjerenje kuće kao i unutarnji raspored prostorija zbog prozora i ostakljenih površina koji bi trebali biti što više južno orijentirani. Tijekom zimskog perioda je potrebno 'dopustiti' prolaz što više topline unutar kuće kako bi se ista zagrijala, a time smanjujemo godišnje potrebe energije za grijanje. Bilo bi idealno kada bi se prostorije koje se često koriste pozicionirale na južnu stranu, a one

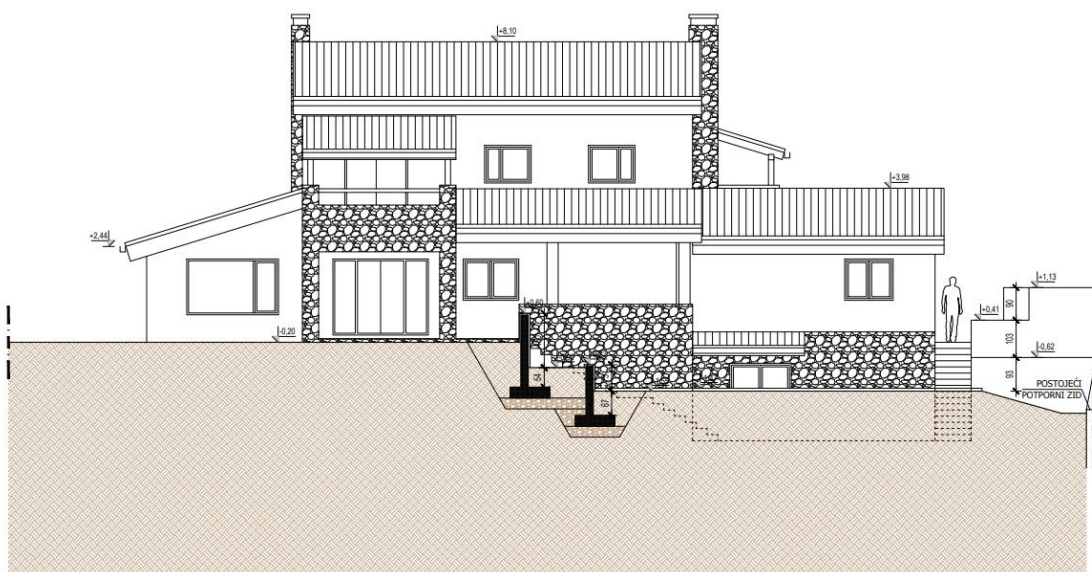
koje se ipak manje koriste na sjevernu stranu. Strehe i balkone je potrebno dizajnirati tako da zimi niske sunčeve zrake mogu upadati u prostorije, a ljeti da se što više njima spriječi prodor topline unutar zgrade. To možemo dodatno povećati i ugradnjom roleta, žaluzina i drugim vrstama zasjenjenja kako bi smanjili utjecaj sunčevog zračenja. Jedan od najvažnijih, ako ne i najvažniji, uvjet za postizanje karakteristika pasivne kuće jest izvedba vanjske ovojnice zgrade koja mora biti izvedena tako da toplinska izolacija bude dovoljne debljine, a cijela kuća što bolje zabrtvljena i time imala što manje gubitke. Naravno, to za sobom nosi i neke dodatne investicijske troškove zbog većih zahtjeva prilikom gradnje.

Bitno je napomenuti kako se proračun primarne energije razlikuje utoliko što se kod pasivnih zgrada računa s uključenim sustavima grijanja, hlađenja, pripreme PTV-a te rasvjetom i svim drugim električnim trošilima u kući, dok kod nZEB zgrada se uzima u obzir samo energija potrebna za grijanje i pripremu PTV-a. Ovo vrijedi kod obiteljskih kuća, dok kod nekih uredskih zgrada u obzir se uzimaju i ostali potrošači energije.

3. TEHNIČKI PRORAČUNI

3.1 Opis zgrade

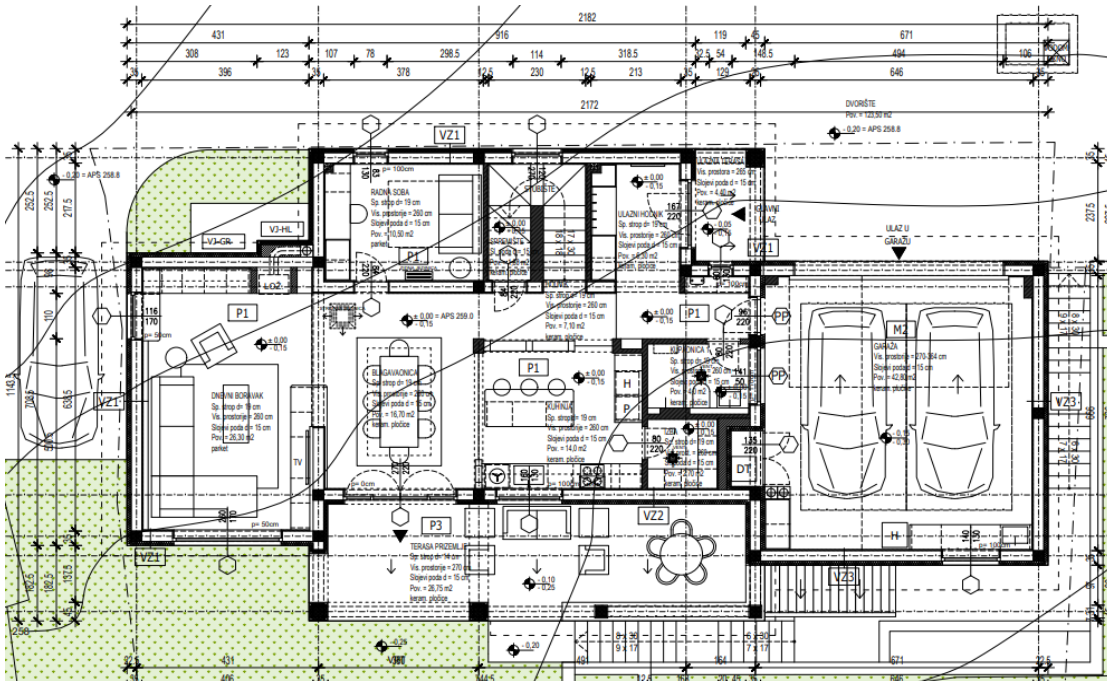
Građevina koju smo promatrali i analizirali u ovom diplomskom radu je dvoetažna obiteljska kuća na području Drenove u Gradu Rijeci. Objekt je novogradnja koja je projektirana prema svim važećim propisima kao zgrada gotovo nulte potrošnje energije, a u ovom radu će se analizirati utjecaj projektiranja ove kuće ukoliko bi se gradila prema standardu za pasivnu kuću. Oblik kuće je pravokutan, s izdvojenom garažom koja se može promatrati kao negrijani prostor, ispod čije površine se nalazi podrum jednakih tlocrtnih dimenzija. U prizemlju (prikazan na slici 3.2.) kuća ima i lagano izdvojeni dio za dnevni boravak koji se nalazi 'izvan' pravokutnog dijela kuće, dok je kat, kao što je prikazano na slici 3.3, izveden u potpunom pravokutnom obliku od 10,6 m x 8,61 m. Ukupna stambena površina kuće je 262,55 m², od čega se 93 m² nalaze na katu, a preostali dio od 169,55 m² u prizemlju zgrade. Ulaz u objekt se nalazi na sjeveroistočnoj strani, a postoje i balkoni/terase u prizemlju i na katu kuće. Prikaz jugozapadnog pročelja se može vidjeti na slici 3.1.



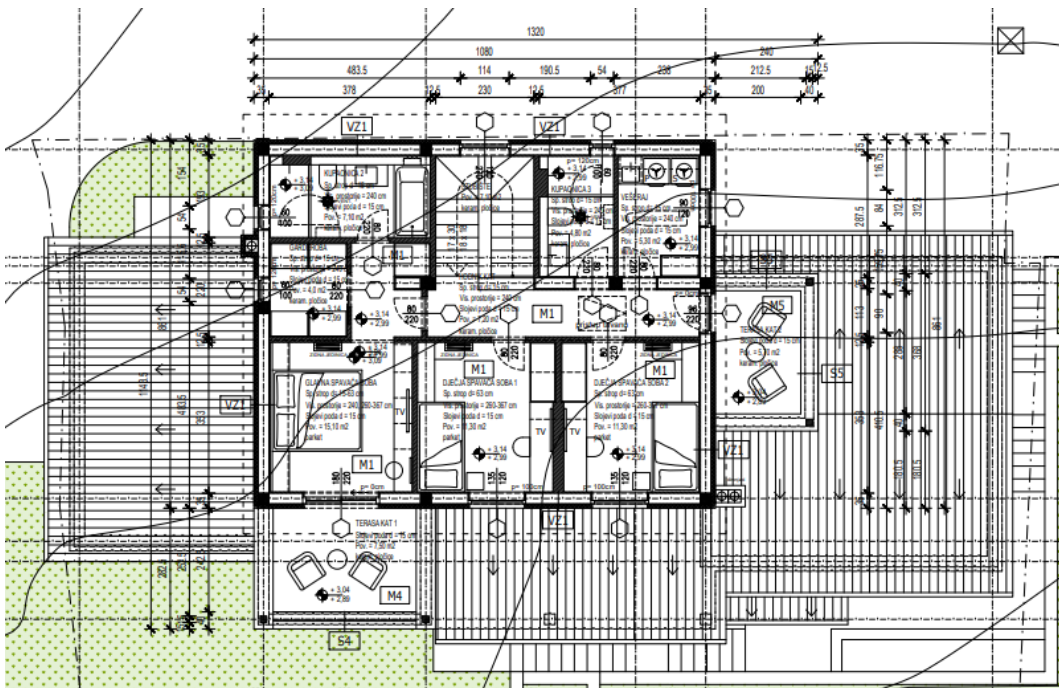
Slika 3.1 – Jugozapadno pročelje

Južni dio objekta je projektiran tako da ima većinu ostakljenih površina iz kojih se izlazi na terase. Prostorije na južnoj strani su one koje se najčešće i koriste, a na sjevernoj strani su preostale prostorije u kojima će obitelj manje boraviti. Etaže su spojene unutarnjim

stepenicama u grijanom prostoru na sjevernoj strani. Podovi su u završnoj fazi obloženi keramičkim pločicama te parketima.



Slika 3.2 – Tlocrt prizemlja



Slika 3.3 – Tlocrt 1. kota

Za projektiranje termotehničkih sustava kuće potrebno je uzeti u obzir klimatske uvjete koji vladaju na predmetnoj lokaciji. S obzirom na to potrebno je odabrati prikladnu opremu s kojom će se zadovoljiti toplinska ugodnost korisnika u samom objektu.

3.2 Proračun toplinskih gubitaka

Za projekt je prvo potrebno proračunati potrebni učin grijanja zgrade te se vrši proračun za svaku pojedinu prostoriju kuće prema normi HRN EN 12831. Proračunavanjem po ovoj normi ćemo moći odrediti potrebni toplinski učin za održavanje projektnih temperatura pojedinih prostorija koje se griju za zadane projektne vanjske uvjete. Pretpostavlja se kako je raspodjela temperatura vanjskog zraka i temperatura zraka u prostorijama jednolika.

Vanjska projektna temperatura za grijanje zimi je za grad Rijeku, u kojoj se nalazi ovaj objekt, jednaka $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, a određena je prema Tehničkom propisu[8] za svaki pojedini grad. Unutarnje projektne temperature pojedinih prostorija se definiraju prema namjeni samih prostorija ili se prilagođava zahtjevima investitora. Za promatranu kuću iz ovog rada projektne temperature su prikazane u tablici 3.1.

Tablica 3.1 - Unutarnje projektne temperature prostorija

Oznaka prostorije	Prostorija	$\vartheta_{\text{int},i}$, $^{\circ}\text{C}$
PRIZEMLJE		
P1	Radna Soba	20
P2	Stubište	20
P3	Hodnik	20
P4	Kupaonica	24
P5	Izba	20
P6	Dnevni bor. + kuhinja	20
KAT		
P1	Kupaona 2	24
P2	Hodnik	20
P3	Kupaona 3	24
P4	Vešeraj	20
P5	Spavaća soba dječja 1	20
P6	Spavaća soba dječja 2	20
P7	Garderoba	20
P8	Spavaća soba	20

Ukupne toplinske gubitke čini zbroj transmisivskih i ventilacijskih gubitaka prostorija. Transmisivski toplinski gubici se javljaju zbog toplinskih tokova kroz zidove, vrata, prozore ili podove, a mogu ići prema prostorijama niže temperature, vanjskom okolišu ili prema tlu. Ventilacijski gubici se pojavljuju kao posljedica izmjene topline zbog prisilne ili prirodne ventilacije između grijanog i negrijanog zraka. Ove gubitke moramo računati za svaku pojedinu grijanu prostoriju te se prema tome proračunava potrebni učin, a zbroj tih gubitaka daje ukupni gubitak topline te ukupnu potrebnu toplinu za grijanje objekta. Matematički izraz prema kojem računamo gubitke topline je:

$$\phi_{uk,i} = \phi_{T,i} + \phi_{V,i}, [W] \quad (3.1)$$

gdje su:

$\phi_{uk,i}$ - ukupni toplinski gubitak i-tog grijanog prostora, W

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

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

Kako bismo mogli izračunati toplinske gubitke potrebno je znati sljedeće ulazne parametre:

1. meteorološki parametri - vanjska projektna temperatura, zavisi od lokacije
2. unutarnja projektna temperatura prostorije - ovisi o namjeni svake pojedine prostorije
3. parametri i dimenzije objekta - površine i koeficijenti prolaza topline svih građevnih dijelova zgrade, volumeni prostorija
4. radni parametri - za računanje ventilacijskih gubitaka – minimalni broj izmjena zraka tijekom jednog sata te izmjena zraka u prostoriji tijekom jednog sata pri razlici tlakova između prostorije i vanjskog zraka u iznosu od 50 Pa.

Transmisivske gubitke topline i-te $\phi_{T,i}$ prostorije možemo odrediti pomoću sljedećeg izraza (3.2):

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e), [W] \quad (3.2)$$

pri čemu su:

$H_{T,ie}$ – koeficijent transmisivskog gubitka topline od grijanog prostora prema okolišu kroz vanjsku ovojniciu zgrade, W/K

$H_{T,iue}$ – koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijana prostora prema vanjskom okolišu kroz negrijani prostor, W/K

$H_{T,ig}$ – koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijana prostora prema tlu, W/K

$H_{T,ij}$ – koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijana prostora prema susjednom prostoru grijanom na nižu temperaturu, W/K

$\vartheta_{int,i}$ – unutarnja projektana temperatura grijana prostora, °C

ϑ_e – vanjska projektana temperatura, °C.

Ventilacijske gubitke pojedinog grijanog prostora možemo izračunati sljedećim izrazom (3.3):

$$\phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e), [W] \quad (3.3)$$

gdje su:

$H_{V,i}$ – koeficijent ventilacijskih gubitaka topline, W/K

$\vartheta_{int,i}$ – unutarnja projektana temperatura grijanog prostora, °C

ϑ_e – vanjska projektana temperatura, °C.

Toplinski gubici uvelike ovise o sastavu vanjskih zidova, a u tablicama 3.2, 3.3, 3.4 i 3.5 možemo vidjeti detaljan prikaz koeficijenata prolaza topline i sastave pojedinih zidova, poda i krova relevantnih za proračun toplinskih gubitaka kuće.

Tablica 3.2 – Sastav vanjskog zida 1 i koeficijent prolaza topline

R.b.	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]
1	3.03 Vapneno-cementna žbuka	2.000	1.000	1800.00
2	1.11 Šuplji blokovi od gline	25.000	0.390	800.00
3	7.03 Ekstrudirana polistir. pjena (XPS)	20.000	0.035	35.00
4	3.15 Polimerna žbuka	0.500	0.700	1100.00
5	3.17 Žbuka na bazi akrilata	0.200	0.900	1700.00
Koeficijent prolaza topline:				0.15 W/m²K

Tablica 3.3 – Sastav vanjskog zida 2 i koeficijent prolaza topline

R.b.	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]
1	3.03 Vapneno-cementna žbuka	2.000	1.000	1800.00
2	1.11 Šuplji blokovi od gline	25.000	0.390	800.00
3	7.03 Ekstrudirana polistir. pjena (XPS)	20.000	0.035	35.00
4	Ljepilo flex.	1.000	1.000	16.00
5	4.04 Kamene ploče	3.000	2.800	2500.00
Koeficijent prolaza topline:				0.15 W/m²K

Tablica 3.4 – Sastav poda i koeficijent prolaza topline

R.b.	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]
1	3.19 Cementni estrih	6.000	1.600	2000.00
2	5.12 Polietilenska folija, preklapljena	0.020	0.190	1000.00
3	7.02 Ekspandirani polistiren (EPS)	3.000	0.037	21.00
4	7.02 Ekspandirani polistiren (EPS)	3.000	0.042	30.00
5	Polimerbitumenska hidroiz trake	1.000	0.230	0.00
6	2.01 Armirani beton	30.000	2.600	2500.00
7	5.12 Polietilenska folija, preklapljena	0.020	0.190	1000.00
8	XPS 0,037	10.000	0.037	40.00
9	Polimerbitumenska hidroiz trake	1.000	0.230	0.00
10	2.05 Beton	5.000	1.350	2000.00
11	6.04 Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	20.000	0.810	1700.00
Koeficijent prolaza topline:				0.21 W/m²K

Tablica 3.5 – Sastav krova i koeficijent prolaza topline

R.b.	Materijal	d [cm]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]
1	Crijep (krovni) glina	1.000	1.000	2000.00
2	HOMESEAL LDS 0,04 FixPlus paropropusna-vodonepropusna folija s ljepljivom trakom	0.500	0.200	280.00
3	7.04 Tvrda poliuretanska pjena (PUR) ili polizocijanuratna pjena (PIR)	12.000	0.023	25.00
4	HOMESEAL LDS 35 parna brana	0.030	0.500	520.00
5	2.01 Armirani beton	16.000	2.600	2500.00
Koeficijent prolaza topline:				0.18 W/m²K

Proračun toplinskih gubitaka za ovaj slučaj je proveden u računalnom programu IntegraCad te rezultate proračuna i ukupne toplinske gubitke možemo vidjeti u tablici 3.6. gdje je detaljno prikazano koliki su gubitci topline po pojedinim prostorijama kuće. Ukupni toplinski gubitci su malo manji od 8 kW što za kvadraturu kuće od preko 200m² nije puno. Prema ranije prikazanom tlocrtu (slika 3.2) vidimo da najveću površinu zauzimaju dnevni boravak i kuhinja pa je shodno tome tamo i najveći gubitak topline.

Tablica 3.6 – Prikaz toplinskih gubitaka zgrade

PRIZEMLJE		
Oznaka Prostorije		GUBITCI
P1	Radna Soba	401 W
P2	Stubište	274 W
P3	Hodnik	421 W
P4	Kupaonica	298 W
P5	Izba	239 W
P6	Dnevni bor. + kuhinja	2461 W
UKUPNO ZA PRIZEMLJE:		4094 W
KAT		
Oznaka Prostorije		GUBITCI
P1	Kupaona 2	704 W
P2	Hodnik	506 W
P3	Kupaona 3	411 W
P4	Vešeraj	296 W
P5	Spavaća soba dječja 1	542 W
P6	Spavaća soba dječja 2	414 W
P7	Garderoba	241 W
P8	Spavaća soba	737 W
UKUPNO ZA KAT:		3851 W
<u>ZBROJ PRIZEMLJE + KAT:</u>		7945 W

3.3 Proračun toplinskoga opterećenja

Kako bi se utvrdio \dot{m} potreban učin hlađenja pojedinih prostorija potrebno je napraviti i proračun toplinskog opterećenja koji se računa prema smjernici VDI 2078. Prema njoj, za proračun se u obzir uzimaju parametri poput lokacije objekta, unutarnje temperature prostorija, vrste i snage korištene rasvjete, broja osoba koje borave u tim prostorima kao i njihov fizički rad koji možemo ocijeniti prema namjeni prostorije. U ovom slučaju su projektne unutarnje temperature prostorija zadane s 26 °C.

Ukupno toplinsko opterećenje računa se prema izrazu (3.4):

$$\phi_{uk,i} = \phi_{un,i} + \phi_{vanj,i} [W] \quad (3.4)$$

gdje su:

ϕ_{uk} - ukupno toplinsko opterećenje i-tog prostora, W

ϕ_{un} - unutarnje toplinsko opterećenje i-tog prostora, W

ϕ_{vanj} - vanjsko toplinsko opterećenje i-tog prostora, W.

Kao što vidimo prema izrazu (3.4), ukupno toplinsko opterećenje se računa kao zbroj unutarnjih i vanjskih toplinskih opterećenja svih prostorija. U unutarnje toplinsko opterećenje ulazi toplina koju odaju osobe, rasvjetna tijela i strojevi, a u vanjsko prolaz topline kroz vanjske zidove i ostakljene površine konvekcijom, provođenjem i zračenjem, te ventilacija. Dio topline će se i pohraniti u svim građevnim elementima te će toplinski opteretiti prostoriju s nekim vremenskim odmakom, a to ovisi o karakteristikama tih elemenata.

Unutarnje toplinsko opterećenje možemo prikazati izrazom (3.5):

$$\phi_{un,i} = \phi_{os} + \phi_{ras} + \phi_{suo} + \phi_{u,zid} + \phi_{prol} + \phi_{ost} [W] \quad (3.5)$$

gdje su:

ϕ_{os} - toplina koju odaju osobe u prostoriji, W

ϕ_{ras} - toplina koju odaju rasvjetna tijela, W

ϕ_{suo} - toplina koju odaju strojevi, uređaji i oprema, W

$\phi_{u,zid}$ - toplina dovedena iz susjednih prostorija kroz neki unutarnji zid, pod ili strop, W

ϕ_{prol} - toplina koju odaju predmeti pri prolasku kroz prostoriju, W

ϕ_{ost} - ostali izvori topline, W.

Za klimatsku zonu u kojoj se nalazi ovaj objekt, a to je Rijeka, toplinsko opterećenje se promatralo za ljetne mjesec u kojima imamo maksimalno toplinsko opterećenje.

Vanjsko toplinsko opterećenje možemo prikazati izrazom (3.6):

$$\phi_{vanj,i} = \phi_{v,zid} + \phi_{proz_konv} + \phi_{proz_zr} + \phi_{vent} [W] \quad (3.6)$$

gdje su:

ϕ_{v_zid} - toplina dovedena iz okoline konvekcijom i provođenjem kroz vanjske zidove, W

ϕ_{proz_konv} - toplina dovedena iz okoline konvekcijom i provođenjem kroz ostakljene površine, W

ϕ_{proz_zr} - toplina dovedena iz okoline zračenjem kroz ostakljene površine, W

ϕ_{vent} - toplina dovedena prirodnom ventilacijom, W.

Za svaku pojedinu prostoriju u kojoj je predviđeno hlađenje smo odredili broj korisnika koji će istovremeno boraviti, a dodatno smo definirali i predviđene snage instaliranih uređaja i rasvjetnih tijela koji povećavaju toplinsko opterećenje. U kuhinji su to npr. štednjak i hladnjak, a u sobama to mogu biti televizori ili računala. Kao i kod proračuna toplinskih gubitaka, proračun je proveden u računalnom programu IntegraCad te je ustanovljeno kako je najveće toplinsko opterećenje u mjesecu srpnju.

Tablica 3.7 – Prikaz toplinskih dobitaka zgrade

PRIZEMLJE		
Oznaka Prostorije		DOBICI
P1	Radna Soba	427 W
P2	Stubište	222 W
P3	Hodnik	503 W
P4	Kupaonica	319 W
P5	Izba	106 W
P6	Dnevni bor. + kuhinja	2593 W
UKUPNO ZA PRIZEMLJE:		4170 W
KAT		
Oznaka Prostorije		DOBICI
P1	Kupaona 2	236 W
P2	Hodnik	652 W
P3	Kupaona 3	321 W
P4	Vešeraj	680 W
P5	Spavaća soba dječja 1	435 W
P6	Spavaća soba dječja 2	559 W
P7	Garderoba	281 W
P8	Spavaća soba	858 W
UKUPNO ZA KAT:		4022 W
ZBROJ PRIZEMLJE + KAT		8192 W

Prema tablici 3.7 vidimo da je ukupno toplinsko opterećenje zgrade jednako 8,19kW, a kao i kod toplinskih gubitaka najviše dobitaka imamo u dnevnom boravku i kuhinji zbog puno ostakljenih površina okrenutih prema jugu.

3.4 Proračun sustava pripreme potrošne tople vode

Sustav za pripremu potrošne tople vode (PTV) je vrlo bitan dio termotehničkog sustava objekta jer služi za zagrijavanje vode iz javnog vodovoda koja će biti korištena u kupaonicama, WC-u te kuhinji. Svaki sustav za pripremu PTV-a se u principu sastoji od generatora topline, cjevovoda, armature te samih trošila tople vode. Projektna temperatura na koju će se zagrijavati PTV u spremniku je 60 °C, iako je maksimalna dopuštena temperatura 95 °C, ali se zbog uštede energije ta temperatura ograničava na već spomenutu temperaturu.

Ono što je bitno kod ovog sustava je da se omogući korisnicima upotrebu potrošne tople vode u trenutcima kada za to postoji potreba. Zbog toga je potrebno proračunati potrebni učin grijača u samom spremniku PTV-a koji će omogućiti podizanje temperature vode s 10 °C, što je prosječna temperatura vode u javnom vodovodu, na 60 °C. Za ovaj projekt sam uzeo u obzir da se radi o obiteljskoj kući s 4 člana te da je potrebno prosječno 40 litara po osobi.

Prema tome, potrebnu toplinu za zagrijavanje PTV-a možemo odrediti izrazom (3.7):

$$Q_{PTV} = V_{ZPTV} \cdot (\vartheta_{PTV} - \vartheta_{HV}) \cdot c_W, [kWh], (3.7)$$

Pri čemu su:

V_{ZPTV} – zagrijana količina PTV-a, [m³], (0,16 m³)

ϑ_{PTV} – temperatura na koju se zagrijava PTV (60 °C)

ϑ_{HV} – temperatura vode na ulazu u grijač (10 °C)

c_W – specifični toplinski kapacitet vode (jednak je 1,163 kWh/(m³K))

Potreban učin grijača koji će zagrijavati potrebnu količinu vode je dan sljedećim izrazom:

$$Q_{GR.PTV} = Q_{PTV}/Z_A, [kW], (3.8)$$

Pri čemu su:

Q_{PTV} – iz izraza (3.7)

Z_A – vrijeme zagrijavanja vode (2h).

Potrební volumen spremnika PTV-a možemo izračunati iz izraza (3.9):

$$V_{PTV} = \frac{C \cdot b}{\rho_W \cdot c_W \cdot (\vartheta_{SPR} - \vartheta_{HV})}, [m^3], (3.9)$$

gdje su:

C – kapacitet spremnika (dobije se iz izraza: $C_{SPREM} = Q_{GR,PTV} \cdot Z_A$)

b – faktor dodatka zbog negrijanog prostora u spremniku (usvojeno 1,1)

ρ_W – gustoća vode u kg/m^3

ϑ_{SPR} – temperatura vode u spremniku u $^{\circ}C$

ϑ_{HV} – temperatura hladne vode u $^{\circ}C$.

Pomoću izraza (3.9) dobiva se minimalni potrebni volumen spremnika PTV-a na temelju kojeg se odabire odgovarajući spremnik iz kataloga proizvođača. Ulazni podaci i proračun, koji je proveden u Excelu, su prikazani u tablici 3.8.

Tablica 3.8 – Proračun spremnika PTV-a

SPREMNIK PTV-a			
Q_{ptv}	9,304	kWh	
M_v	0,16	m^3	
c_w	1,163	kWh/(m^3K)	
ϑ_{PTV}	60	$^{\circ}C$	
ϑ_{HV}	10	$^{\circ}C$	
$Q_{GR, PTV}$	4,652	kW	4652W
Z_A	2	h	
V_{ptv}	0,176	m^3	176 l
C	9,304	kWh	
b	1,1		
ρ_w	1000	kg/m^3	

Prema provedenom proračunu iz prethodne tablice saznajemo da je potrebno imati spremnik potrošne tople vode od minimalno 176 litara, a u zavisnosti od termotehničkih instalacija on može biti veći ili manji.

4. TERMOTEHNIČKI SUSTAVI

Sastavni dio ovog diplomskog rada je usporedba tehničkih sustava kojima bi se moglo zadovoljiti korisnike obiteljske kuće. Kako bi se uvidjele mogućnosti grijanja i hlađenja u različitim izvedbama, u sljedećim potpoglavljima ću predstaviti termotehnička rješenja koja bi bila primjerena za korištenje u zgradama gotovo nulte energije, odnosno za kuću koja je građena po pravilima pasivne građevine. Bitan faktor je bio iskorištavanje obnovljivih izvora energije u velikom postotku za generiranje energije potrebne za grijanje i hlađenje objekta.

4.1 Dizalica topline

Ključan element za iskorištavanje obnovljivih izvora energije je dizalica topline koja je u zadnje vrijeme izrazito popularna kod novih objekata, a sve više se ugrađuje i kod energetskih obnova starijih zgrada. Dizalica topline je uređaj koji prenosi toplinu iz toplinskog spremnika niže temperaturne razine (toplinski izvor) u spremnik više temperaturne razine (toplinski ponor) pomoću vanjskog rada i radne tvari. Kompresorske dizalice topline, koje su korištene u ovom slučaju, spadaju u uređaje koji iskorištavaju obnovljive izvore energije jer zapravo koriste električnu energiju za pogon kompresora, a ta električna energija može biti dobivena iz obnovljivih izvora kojima države sve više pribjegavaju.

Toplinski izvor koji se najčešće koristi je vanjski zrak, a kako bi se dodatno povećala iskoristivost mogu se koristiti podzemne vode, energija sadržana u dubini zemljine kore, sunčeva energija ili otpadna toplina zbog viših temperatura, većeg toplinskog kapaciteta i bolje izmjene topline. U zavisnosti od toplinskog izvora, dizalice topline možemo podijeliti u tri glavne skupine:

1. dizalice topline zrak – voda ili zrak – zrak: izvor topline je okolišni zrak ili otpadni zrak, a ponor topline može biti voda ili direktni zrak koji ulazi u objekt
2. dizalice topline tlo – voda: izvor topline je tlo, a ponor je najčešće voda
3. dizalice topline voda – voda: izvor topline je voda koja može biti s površine ili iz podzemlja, a toplinski ponor je također voda.

Bitni pojmovi kod dizalica topline, a vezani su za učinkovitost istih, su sljedeći:

COP – Coefficient of Performance (faktor grijanja) – omjer učina grijanja i električne snage za pogon kompresora i pomoćnih komponenti

SCOP – Seasonal Coefficient of Performance (sezonski faktor grijanja) – veći sezonski faktor grijanja znači da je energetska učinkovitija

EER – Energy efficiency ratio – omjer rashladnog učina i električne snage za pogon kompresora i pomoćnih komponenti

SEER – Seasonal Energy efficiency ratio – bolji pokazatelj učinkovitosti dizalice topline u realnim radnim uvjetima

Na temelju potrebnog učina grijanja i hlađenja kuće od ± 8 kW i učina grijača PTV-a od 4,6 kW, odabrana je dizalica topline Aquarea High Performance All in One, proizvod tvornice Panasonic, učina 12 kW koja je prikazana na slici 4.1.



Slika 4.1 - Aquarea High Performance Panasonic – 12 kW [13]

4.2 Termotehnički sustavi za zgrade gotovo nulte energetske potrošnje

Obzirom da je zadatak ovog diplomskog rada usporedba optimalnih koncepta i radnih parametara sustava grijanja, hlađenja, pripreme potrošne tople vode i ventilacije za stambeni objekt građen prema zahtjevima Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama gotovo nulte energije i zgrada građenih prema zahtjevima Instituta za pasivne kuće, u ovom poglavlju ćemo analizirati moguća rješenja za gradnju kuće prema standardu za zgrade gotovo nulte energetske potrošnje.

Na temelju provedenih tehničkih proračuna iz poglavlja 3, odabiru se potrebni elementi termotehničkih sustava koji moraju zadovoljiti potrebe objekta za grijanje i hlađenje kuće. U ovom radu se uzelo u obzir više varijanti izvedbi sustava, a kao baza za grijanje i hlađenje medija je uzeta navedena dizalice topline zrak – voda. Termotehnički sustavi analizirani u nastavku ovog rada su:

- Izvedba 1: Dizalica topline – podno grijanje – ventilokonvektori
- Izvedba 2: Dizalica topline – radijatorsko grijanje – klima uređaji
- Izvedba 3: Dizalica topline – ventilokonvektori

4.2.1. Izvedba 1: Dizalica topline – podno grijanje – ventilokonvektori

Prva analizirana izvedba sustava koristi podno grijanje kao 'podsustav predaje' topline od dizalice topline zimi, te ventilokonvektore ljeti za hlađenje.

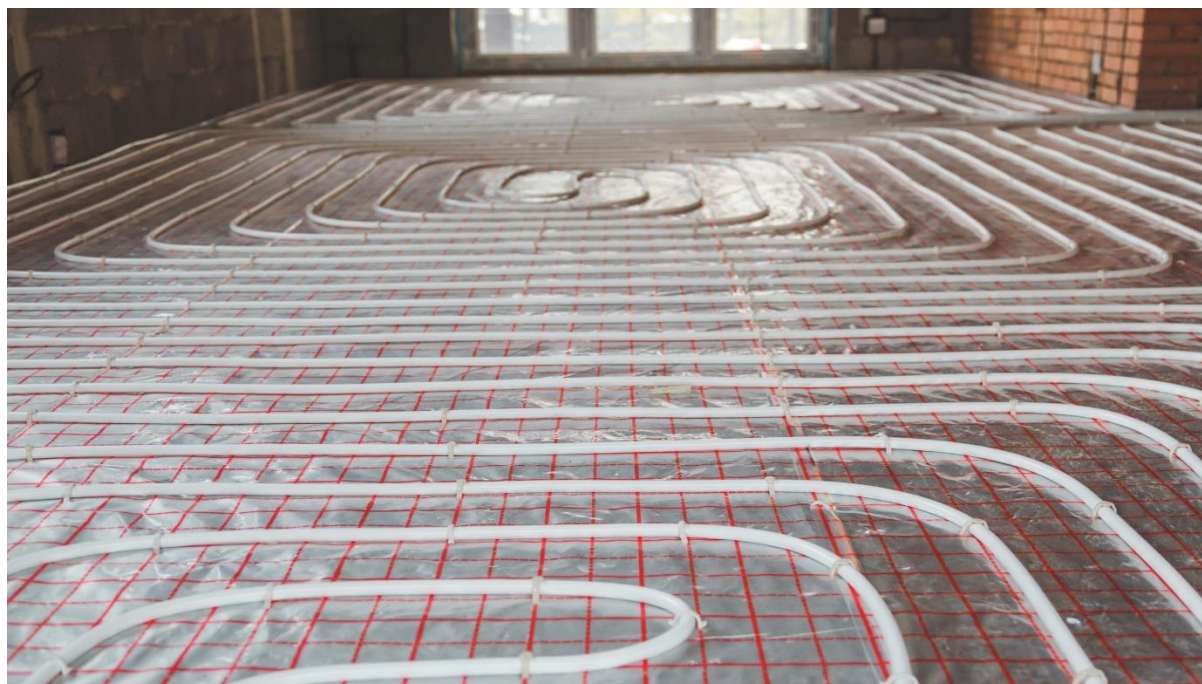
Podno grijanje je u ovom slučaju ogrjevno tijelo s jako velikom površinom izmjene topline čime se može smanjiti potrebna temperatura na koju se topla voda mora zagrijavati već navedenom dizalicom topline, a samim time se može uštedjeti na energiji. Cijevi podnog grijanja se polažu u cementni estrih, koji je zadnji dio poda prije završnih podnih elemenata (pločice, parketi), a to se još naziva mokri sustav ugradnje. Upravo zbog toga je vrlo bitno da se ovakav sustav predvidi prije početka gradnje kako bi se mogao ugraditi bez većih problema.

Tablica 4.1 – Tablični prikaz ulaznih parametara za podno grijanje

Podno grijanje	
Temperatura polaza vode	35 °C
Temperatura povrata vode	30 °C
Tip razvoda	Niskotemperaturni
Tip dizalice topline	Zrak-Voda

Velika prednost podnog grijanja je u boljoj raspodjeli topline koja se s tople vode prenosi u prostoriju čime se jamči toplinska ugodnost samim korisnicima. Prema nekim istraživanjima, podno grijanje je i najzdravije rješenje grijanja zbog te ravnomjernije raspodjele topline po prostorijama. Naravno, postoje i neka ograničenja što se tiče maksimalnih temperatura poda, a one iznose 29 °C u zoni boravka, 35 °C u rubnim zonama prostorija te u kupaonicama do 33 °C. Na temelju dozvoljenih temperatura u tablici 4.1 su

prikazani ulazni parametri za podno grijanje, a primjer postavljanja podnog grijanja je dan na slici 4.2.



Slika 4.2 – Primjer postavljanja podnog grijanja[14]

Cijevi za podno grijanje se obično postavljaju u obliku meandra, a sama gustoća postavljanja, tj. razmak između cijevi, se razlikuje u zoni boravka i u rubnim zonama. Rubne zone čine oni dijelovi prostorija koji se nalaze uz vanjske zidove te otvore u blizini kojih dolazi do intenzivnije izmjene topline s okolišem, a ujedno i veći toplinski gubici koje treba nadomjestiti. Gustim rasporedom cijevi u rubnim zonama povećavamo toplinski učin, a samim time i toplinsku ugodnost onih koji borave. Generalno ti razmaci budu na 5 – 15 cm u rubnim zonama, a u zonama boravka od 10 do 35 cm razmaka, a cijevi se fiksiraju tzv. Clip trakama koje zauzimaju što manju površinu na cijevima.

Dimenzioniranje sustava podnog grijanja se može izvoditi specijaliziranim računalnim programima koji traže površine svake prostorije i njene toplinske gubitke, a onda se na temelju toga određuje potreban razmak između cijevi u raznim zonama. Režim vode za podno grijanje je 35/30 °C što se svrstava u niskotemperaturno grijanje. Nakon završetka polaganja cijevi potrebno je izvršiti provjeru svih cijevi, spojeva, priključnih vodova i razvodnih ormarića kako bi se ispitala kvaliteta izvedbe radova i samih materijala, a obično se izvodi tlačna proba s vodom ili zrakom.

U ovom slučaju previđena su dva razvodna ormarića, jedan za svaku etažu, na koji bi bio spojen glavni cjevovod koji dolazi iz dizalice topline. Svaka prostorija generalno ima svoj krug grijanja, a veće prostorije, kao u ovom slučaju dnevni boravak i kuhinja, imaju i po nekoliko krugova podnog grijanja. U kupaonicama se često zna dogoditi da zbog male površine podno grijanje ne uspije zadovoljiti potrebu za grijanje te se u tom slučaju predviđa ugradnja dodatnoga ogrjevnog tijela, najčešće električnog.

Što se tiče hlađenja, u ovom slučaju, kao i kod ostale dvije promatrane izvedbe sustava, odabrano je hlađenje ventilokonvektorima. Ventilokonvektori su uređaji koji su namijenjeni za hlađenje i grijanje prostorija, a rade na principu izmjene topline između dovodne tople/hladne vode iz generatora topline s okolnim zrakom. Uređaj zapravo prenosi toplinu s vode na zrak koji se usisava iz prostorije, ili obratno. Ventilatorski konvektori rade s temperaturnim režimom vode 7/12°C.

U našem slučaju će biti korišteni samo za hlađenje, ali se mogu iskoristiti i za grijanje ukoliko je tako projektiran termotehnički sustav. U samom ventilokonvektoru se nalazi izmjenjivač topline s lamelama, a regulacija se izvodi na strani vode pomoću tipskog elektromotornog ventila koji može doći ugrađen tvornički ili naknadno. Ventilokonvektori mogu biti stropni i podni, a izvedba zavisi o raspoloživoj površini te potrebama korisnika. Kako bi se osigurala optimalna distribucija zraka u samim prostorima, pozicije se generalno dogovaraju s arhitektima kako bi se predvidjela lokacija za iste iako se vrlo lako može dogoditi da pozicija ne bude idealna.

Zbog mogućih problema sa samim uređajima, bitno je da se pri instalaciji ugrade slavine na sve polazne i povratne cjevovode rashladne i ogrjevne vode čime se omogućuje lagana demontaža u slučaju kvarova, a time se ne ugrožava rad preostalih jedinica koje nisu pokvarene. Ovakvi uređaji rade isključivo s optočnim zrakom iz prostorije, a cirkulacija se osigurava ventilatorom. Potrebni cijevni razvod se dimenzionira u ovisnosti o kapacitetu samih uređaja, tj. u ovisnosti o protoku vode.

Ovaj primjer izvedbe termotehničkog sustava, kao i svi drugi, su uneseni u računalni program KI Expert Plus tvrtke Knauf Insulation [8] pomoću kojeg se može odrediti godišnja potrošnja energije za grijanje i hlađenje samog objekta, isporučenu energiju te primarnu energiju kao i okvirna procjena troškova za pogon sustava i potrošnju energije.

4.2.2. Izvedba 2: Dizalica topline – radijatorsko grijanje – klima uređaji

Druga varijanta izvedbe termotehničkog sustava za ovu obiteljsku kuću ima kao promjenu 'podsustav predaje' u kojem smo prešli s podnog grijanja na radijatorsko grijanje. Radijatori se ugrađuju u svaku prostoriju prema potrebnom učinku dobivenom na temelju toplinskih gubitaka. U nekim prostorijama, slično kao i kod podnog grijanja, se može ugraditi više radijatora kako bi se namirio potrebnii učin zbog velikih toplinskih gubitaka. Prikaz ulaznih parametara za radijatorsko grijanje je dan u tablici 4.2.

Tablica 4.2 – Tablični prikaz ulaznih parametara za radijatorsko grijanje

Radijatori	
Temperatura polaza vode	55 °C
Temperatura povrata vode	50 °C
Tip Razvoda	Srednjetemperaturni
Tip Dizalice topline	Zrak-Voda

Novi radijatori po narudžbi mogu doći s termostatskim glavama pomoću kojih možemo regulirati temperaturu u svakoj prostoriji, što naravno za sobom nosi i malo veće troškove investicije, a samim time možemo ostvariti uštedu toplinske energije od oko 10 – 20%. Svaki radijator ima i klasični ručni odzračnik kako bi se radijatori, ali i cijeli sustav, mogao isprazniti od zraka koji uvelike smanjuje mogućnost grijanja, a samim time i povećava potrebu za toplinskom energijom i trošak te također sadrži prigušnicu na povratu vode i ispusnu slavinu.

Prilikom gradnje kuće je potrebno imati na umu gdje bi se radijatori mogli nalaziti kako bi se cijevni razvod mogao postaviti u cementni estrih, iako se radijatorski razvod cijevi može postaviti i nadžbukno nakon grubih radova po kući. Iz same kotlovnice se vode cijevi do razdjelnog ormarića koji se nalazi na svakom katu, a onda se topla voda vodi do svakog pojedinog radijatora. U razdjelnicima se mora podesiti potreban protok vode za svaki krug kako bi se zadovoljile potrebe grijanja. U nekim slučajevima se može napraviti i izvedba s razdjelnikom direktno u kotlovnici, a onda se cijevi vode direktno do samih radijatora.

Za hlađenje prostorija u ovom slučaju su odabrani klima uređaji koji će biti postavljeni u prostorije koje zahtijevaju hlađenje. To se prvenstveno odnosi na dnevni boravak, kuhinju i spavaće sobe. Jačina tih uređaja naravno ovisi o toplinskom opterećenju tih prostorija.

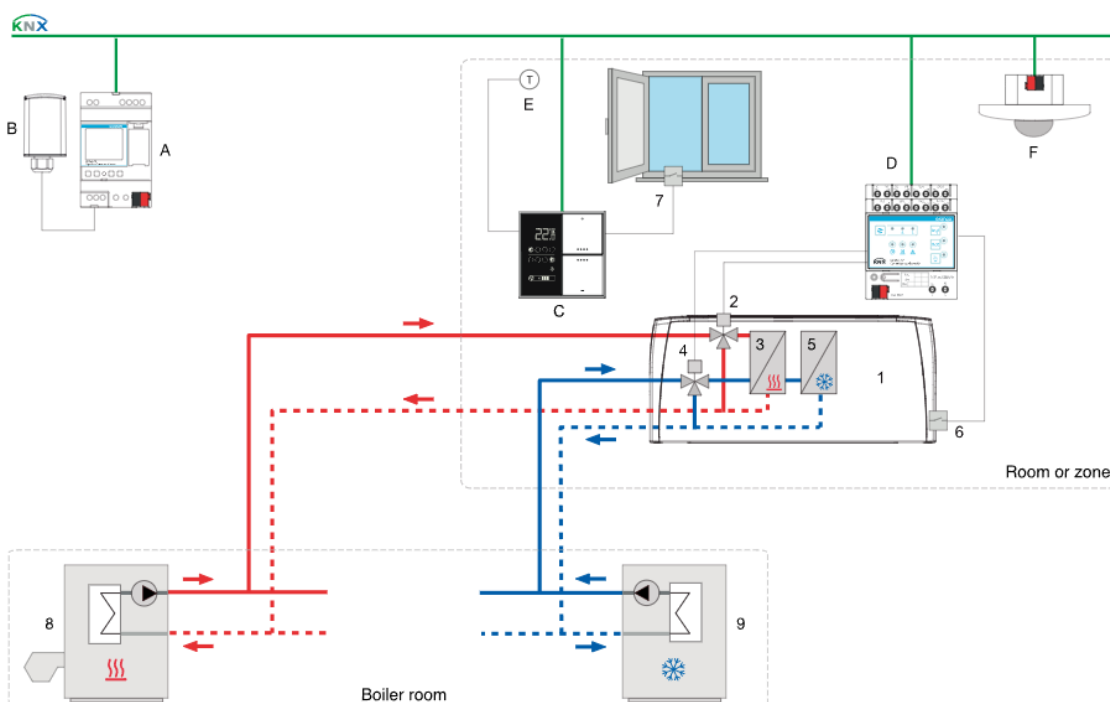
4.2.3. Izvedba 3: Dizalica topline – ventilokonvektori

Treća varijanta izvedbe termotehničkih instalacija za zgradu gotovo nulte energetske potrošnje energije je ona u kojoj koristimo ventilatorske konvektore i za grijanje i za hlađenje kuće. Ulazni parametri za ventilatorske konvektore su dani u tablici 4.3.

Tablica 4.3 – Tablični prikaz ulaznih parametara za grijanje ventilatorskim konvektorima

Ventilatorski konvektori	
Temperatura polaza vode	45 °C
Temperatura povrata vode	40 °C
Tip Razvoda	Srednjetemperaturni
Tip Dizalice topline	Zrak-Voda

U ovom slučaju potrebe grijanja prostorija u potpunosti preuzimaju ventilokonvektori. Glavni nedostatak koji neki korisnici primjećuju prilikom korištenja ovih uređaja je buka koju proizvode dok rade. Ventilokonvektor u sebi sadrži ventilator koji mora usisivati zrak (najčešće od ispod) te taj isti zrak nakon izmjene topline vratiti natrag u prostoriju. Dodatna negativna stvar kod korištenja ventilatorskih konvektora je ta što korisnicima vrlo često smeta povećana brzina strujanja zraka te nema one ugodnosti kao kod podnog grijanja ili radijatora.



Slika 4.3 - Shema spajanja ventilatorskih konvektora[15]

U ovom slučaju se u programu KI Expert Plus odabire zračno grijanje/hlađenje čime smo odabrali ovaj način izvedbe grijanja i hlađenja kuće. Na slici 4.3 je prikazan jedan sustav grijanja i hlađenja ventilatorskim konvektorom i cijela upravljačka jedinica. U nastavku ću navesti pojedine elemente ovog sustava kako bi se u potpunosti shvatila ova shema:

A – Modul za vrijeme, B – GPS modul, C – Sobni termostat, D – Aktuator za ventilokonvektor, E – Senzor vanjske temperature, F – Senzor prisutnosti

1 - Ventilatorski konvektor, 2 – troputni ventil za režim grijanja, 3 – rekuperator topline za režim grijanja, 4 – troputni ventil za režim hlađenja, 5 – rekuperator topline za režim hlađenja, 6 – senzor količine kondenzata, 7 – senzor otvorenosti prozora, 8 – podsustav proizvodnje za grijanje, 9 – podsustav proizvodnje za hlađenje.

4.3 Termotehnički sustav za Pasivnu kuću

U ovom slučaju termotehničke instalacije ćemo izvesti na sličan način kao i kod nZEB zgrada, ali je u ovom slučaju kuća građena prema standardu za pasivnu gradnju. Kao što smo mogli vidjeti u drugom poglavlju ovog rada, pasivne kuće zahtijevaju drugačiji kod gradnje u odnosu na zgrade gotovo nulte energetske potrošnje, a upravo zato su i efikasnije što se tiče potrošnje energije.

Tablica 4.4 – Tablični prikaz ulaznih parametara za podno grijanje u pasivnoj kući

Pasivna kuća – podno grijanje	
Temperatura polaza vode	35 °C
Temperatura povrata vode	30 °C
Tip razvoda	Niskotemperaturni
Tip dizalice topline	Zrak-Voda

Pasivne zgrade su energetski učinkovitije od zgrada gotovo nulte energije, a dugoročno mogu biti i financijski isplativije, ugodne i ekološki održivije zbog manje potrebe godišnje energije. Konkretnu usporedbu troškova ćemo vidjeti u poglavlju 5. Prilikom gradnje se postavlja deblji sloj vanjske toplinske izolacije kako bi se dodatno smanjili toplinski gubitci/dobitci, a čime direktno smanjujemo godišnju potrošnju energije.

U poglavlju 2.2 je navedeno točno koje specifikacije pasivna kuća mora sadržavati, a u tablici 4.5 možemo vidjeti razliku između toplinskih gubitaka 'klasične' kuće koja je građena

po propisima trenutno na snazi u Republici Hrvatskoj te pasivne kuće koja je rađena prema standardu za pasivnu gradnju.

Tablica 4.5 - prikaz toplinskih gubitaka u prizemlju

PRIZEMLJE - GUBITCI			
Oznaka prostorije		PASIVNA	nZEB
P1	Radna soba	293 W	401 W
P2	Stubište	201 W	274 W
P3	Hodnik	309 W	421 W
P4	Kupaonica	219 W	298 W
P5	Izba	176 W	239 W
P6	Dnevni boravak i kuhinja	1839 W	2461 W
	UKUPNO	3037 W	4094 W

Prema prikazanoj tablici 4.1 možemo usporediti izračunate toplinske gubitke u svim prostorijama koje se nalaze u prizemlju kuće, a vidljivo je odmah kako će potreba za grijanjem biti manja. Svi proračuni su odrađeni u programu IntegraCAD pomoću kojeg sam dobio ove rezultate.

Tablica 4.6 - prikaz toplinskih gubitaka na katu

KAT - GUBITCI			
Oznaka prostorije		PASIVNA	nZEB
P1	Kupaonica 2	503 W	704 W
P2	Hodnik	390 W	506 W
P3	Kupaonica 3	337 W	411 W
P4	Vešeraj	198 W	296 W
P5	Spavaća soba dječja 1	398 W	542 W
P6	Spavaća soba dječja 2	323 W	414 W
P7	Garderoba	143 W	241 W
P8	Spavaća soba	527 W	737 W
	UKUPNO	2819 W	3851 W

Sličnu promjenu od oko 30% manje toplinskih gubitaka po prostorijama možemo vidjeti i na katu kuće, gdje se nalaze spavaće sobe i dvije kupaonice. Dodatno, potreba za hlađenjem se također smanjila te se većina hlađenja u ovom slučaju može odraditi pomoću tzv. *free coolinga*, odnosno prirodnoga hlađenja bez primjene aktivnoga sustava. Free cooling je hlađenje prostorija bez aktivnih sustava, a provodi se poticanjem ventilacija prostorija.

Ukoliko se proračunima dokaže da je opcija *free coolinga* dovoljna za rashlađivanje prostorija tijekom noći, može smanjiti potreba za hlađenjem pomoću klasičnih sustava poput ventilatorskih konvektora koji bi inače morali biti ugrađeni u kuću zbog pregrijavanja samih prostorija i stvaranja toplinske neugodnosti korisnicima. Pasivna kuća zbog svojih karakteristika zahtjeva i dodatnu mehaničku ventilaciju kako bi se tijekom dana u prostorije unijela dovoljna količina svježeg zraka. To je vrlo bitno jer se prema standardu pasivne gradnje objekt mora izraditi da bude maksimalno zabrtvljen, a čime se prirodna infiltracija svježeg zraka bitno smanjuje, a nedostatak svježeg zraka može dovesti do neželjenih posljedica za korisnike i javljanje neugode.

Prema tome, odredili smo potrebne protoke zraka u same prostorije koje ćemo dovoditi kroz ventilacijske otvore postavljene u kući, a odvoditi će se također kroz ventilacijske otvore kako bi se maksimalno iskoristila toplina iz tog otpadnog zraka. Toplinu otpadnog zraka uzimamo uređajem koji se naziva rekuperator zraka pomoću kojeg se toplina iz otpadnog zraka, koji će završiti u okolišu, prenosi na svježiji zrak koji će ići u sam objekt.

Zrak koji dovodimo u zgradu, dovodimo kroz sobe, a odvodimo ga iz sanitarnih prostorija i kuhinje. Protoci zraka moraju biti u potpunosti uravnoteženi, tj. koliko zraka dovodimo toliko moramo i odvesti. Potrebno je da sav zrak koji odvodimo iz kuće prolazi kroz rekuperator kako bi njime predgrijali svježiji vanjski zrak, osim onog zraka koji se odvodi preko kuhinjske nape kojeg odvodimo izravno u okoliš.

5. USPOREDBA GOTOVO NULA ENERGETSKE I PASIVNE KUĆE

Nakon definiranih sustava u poglavlju 4. ovog rada, možemo prijeći na usporedbu sustava kako bi odredili najoptimalnije rješenje što je ujedno i zadatak ovog diplomskog rada. Kako bi najbolje ocijenili svaku od ovih izvedbi potrebno je napraviti ekonomsku analizu odabranih rješenja i na temelju toga donijeti odluku o tome koji termotehnički sustav odabrati za zgradu. U obzir treba uzeti, osim ekonomske analize, i želje korisnika/investitora.

Ekonomska analiza se radi na principu ukupnih troškova kroz neki određeni period, u ovom slučaju je to 25 godina, a uključuje investicijske troškove, troškove održavanja te troškove za rad uređaja – u ovom slučaju se radi o troškovima električne energije za napajanje dizalice topline i pojedinih ogrjevnih tijela.

5.1 Usporedba izvedbi zgrade gotovo nulte energetske potrošnje

U prvom dijelu ove analize ću proanalizirati rješenja koja smo obradili u prošlom poglavlju, a tiču se izvedbi za zgradu gotovo nulte energetske potrošnje za koju smo odabrali tri moguća rješenja za grijanje i hlađenje kuće u kombinaciji s dizalicom topline. Svaki od tih primjera ima svojih prednosti i mana, ali se na kraju mora odabrati jedno rješenje koje je najbolje za investitora i njegove potrebe. Neki od ovih sustava moraju biti ugrađeni prilikom izgradnje samog objekta pa je potrebno ovaj odabir napraviti prije same izgradnje kuće, a to je i prema zakonskoj regulativi i potrebno da bi se dobila građevinska dozvola.

Prva varijanta je ona s podnim grijanjem i hlađenjem ventilokonvektorima. Podno grijanje slovi za jednu od 'najugodnijih' metoda grijanja prostorija zbog velike površine grijanja i manje razlike između radnog medija i okoline. Kao što smo već i naveli, prednost ovakvog sustava je i niža potrebna temperatura radnog medija, vode, čime se može uštedjeti na energiji. Ipak, glavni nedostatak ovakvog sustava je tromost zbog čega je potrebno duže vremena da se prostorija zagrije na potrebnu temperaturu od nekih konvencionalnih metoda grijanja poput radijatora.

U nastavku (slika 5.1) je prikazan ispis iz KI Expert Plus[16] programa na temelju kojeg vidimo da ovakva zgrada s ovakvim termotehničkim sustavom ne zadovoljava u pogledu ukupne primarne energije za grijanje standard koji je potrebno zadovoljiti prema Tehničkom propisu te je zbog toga potrebno ugraditi fotonaponski sustav koji je detaljnije obrađen u poglavlju 6.

Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje

A [m ²]	576.55	fo [m ⁻¹]	0.67	
Ak [m ²]	207.95	Ak' [m ²]	207.95	
Ve [m ³]	856.63			
Q _{H,nd} [kWh/a]	6704.68			
Q ["] _{H,nd} [kWh/m ² a]	32.24	Q ["] _{H,nd} (max) [kWh/m ² a]	43.02	ZADOVOLJAVA
Q _{C,nd} [kWh/a]	3004.52			
Q ["] _{C,nd} [kWh/m ² a]	14.45	Q ["] _{C,nd} (max) [kWh/m ² a]	50.00	ZADOVOLJAVA
E _{del} [kWh/a]	4607.05			
E ["] _{del} [kWh/(m ² a)]	22.15			
E _{prim} [kWh/a]	7435.78			
E ["] _{prim} [kWh/(m ² a)]	35.76	E ["] _{prim} (max) [kWh/(m ² a)]	35.00	NE ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/m ² K]	0.37	H _{tr,adj} (max) [W/m ² K]	0.67	ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/K]	213.87			
H _{ve,adj} [W/K]	103.85			
Qi [kWh]	17360.38	Qs [kWh]	7355.27	
Qi [kWh]	9108.21	Qg [kWh]	16463.48	

Slika 5.1 – Prikaz proračuna potrebne toplinske energije iz KI Expert Plus programa za 1. varijantu[16]

KI Expert Plus je program koji nam znatno olakšava proračun godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje kao i utvrđivanje zadovoljava li objekt standarde prema kojima sve nove kuće moraju biti građene. Kako bi riješili problem primarne energije i ispunjenja zahtjeva prema Tehničkom propisu, ugrađujemo fotonaponski sustav od 415W što je sasvim dovoljno da bi zadovoljili zahtjeve koji se tiču ukupne potrošnje primarne energije kao što je prikazano na slici 5.2.

Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje

A [m ²]	576.55	fo [m ⁻¹]	0.67	
Ak [m ²]	207.95	Ak' [m ²]	207.95	
Ve [m ³]	856.63			
Q _{H,nd} [kWh/a]	6704.68			
Q ["] _{H,nd} [kWh/m ² a]	32.24	Q ["] _{H,nd} (max) [kWh/m ² a]	43.02	ZADOVOLJAVA
Q _{C,nd} [kWh/a]	3004.52			
Q ["] _{C,nd} [kWh/m ² a]	14.45	Q ["] _{C,nd} (max) [kWh/m ² a]	50.00	ZADOVOLJAVA
E _{del} [kWh/a]	4159.10			
E ["] _{del} [kWh/(m ² a)]	20.00			
E _{prim} [kWh/a]	6712.79			
E ["] _{prim} [kWh/(m ² a)]	32.28	E ["] _{prim} (max) [kWh/(m ² a)]	35.00	ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/m ² K]	0.37	H _{tr,adj} (max) [W/m ² K]	0.67	ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/K]	213.87			
H _{ve,adj} [W/K]	103.85			
Qi [kWh]	17360.38	Qs [kWh]	7355.27	
Qi [kWh]	9108.21	Qg [kWh]	16463.48	

Slika 5.2 - Prikaz proračuna potrebne toplinske energije iz KI Expert Plus programa za 1. varijantu s FN sustavom od 415W [16]

Druga varijanta, kako je opisano i u prethodnom poglavlju, u obzir uzima radijatore za grijanje prostorija, a za hlađenje istih će se koristiti klima uređaji. Na temelju toga je u programu KI Expert Plus odabran termotehnički sustav koji kao sustav predaje topline ima

opciju radijatorsko grijanje. Na temelju toga smo došli do proračuna kojeg možemo vidjeti na slici 5.3.

Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje				
A [m ²]	576.55	f _o [m ⁻¹]	0.67	
A _k [m ²]	207.95	A _k ' [m ²]	207.95	
V _e [m ³]	856.63			
Q _{H,nd} [kWh/a]	6704.68			
Q ["] _{H,nd} [kWh/m ² a]	32.24	Q ["] _{H,nd} (max) [kWh/m ² a]	43.02	ZADOVOLJAVA
Q _{C,nd} [kWh/a]	3004.52			
Q ["] _{C,nd} [kWh/m ² a]	14.45	Q ["] _{C,nd} (max) [kWh/m ² a]	50.00	ZADOVOLJAVA
E _{del} [kWh/a]	4684.20			
E ["] _{del} [kWh/(m ² a)]	22.53			
E _{prim} [kWh/a]	7560.31			
E ["] _{prim} [kWh/(m ² a)]	36.36	E ["] _{prim} (max) [kWh/(m ² a)]	35.00	NE ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/m ² K]	0.37	H _{tr,adj} (max) [W/m ² K]	0.67	ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/K]	213.87			
H _{ve,adj} [W/K]	103.85			
Q _I [kWh]	17360.38	Q _S [kWh]	7355.27	
Q _i [kWh]	9108.21	Q _G [kWh]	16463.48	

Slika 5.3 - Prikaz proračuna potrebne toplinske energije iz KI Expert Plus programa za 2. varijantu [16]

Kao što vidimo, i u ovoj varijanti primarna energija premašuje dozvoljeni iznos prema Tehničkom propisu te moramo ugraditi fotonaponski sustav iste jačine (415W) kao i u prvoj varijanti sustava s podnim grijanjem kako bi zadovoljili potrošnju primarne energije što vidimo na slici 5.4.

Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje				
A [m ²]	576.55	f _o [m ⁻¹]	0.67	
A _k [m ²]	207.95	A _k ' [m ²]	207.95	
V _e [m ³]	856.63			
Q _{H,nd} [kWh/a]	6704.68			
Q ["] _{H,nd} [kWh/m ² a]	32.24	Q ["] _{H,nd} (max) [kWh/m ² a]	43.02	ZADOVOLJAVA
Q _{C,nd} [kWh/a]	3004.52			
Q ["] _{C,nd} [kWh/m ² a]	14.45	Q ["] _{C,nd} (max) [kWh/m ² a]	50.00	ZADOVOLJAVA
E _{del} [kWh/a]	4232.22			
E ["] _{del} [kWh/(m ² a)]	20.35			
E _{prim} [kWh/a]	6830.81			
E ["] _{prim} [kWh/(m ² a)]	32.85	E ["] _{prim} (max) [kWh/(m ² a)]	35.00	ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/m ² K]	0.37	H _{tr,adj} (max) [W/m ² K]	0.67	ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/K]	213.87			
H _{ve,adj} [W/K]	103.85			
Q _I [kWh]	17360.38	Q _S [kWh]	7355.27	
Q _i [kWh]	9108.21	Q _G [kWh]	16463.48	

Slika 5.4 - Prikaz proračuna potrebne toplinske energije iz KI Expert Plus programa za 2. varijantu s FN sustavom od 415W [16]

Treća varijanta, ujedno i posljednja analizirana za nZEB zgradu, je ona s ventilatorskim konvektorima za grijanje i hlađenje prostorija. Prednost u odnosu na radijatorsko grijanje je to što ne moramo ugrađivati duple uređaje, jedne za grijanje, a druge za hlađenje, ali je zasigurno najveća mana to puhanje toplog i hladnog zraka koji nekim ljudima može smetati i narušiti im

toplinsku ugodnost boravka u prostorijama. Prikaz proračuna potrebne toplinske energije je dan na slici 5.5.

Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje				
A [m ²]	576.55	fo [m ⁻¹]	0.67	
Ak [m ²]	207.95	Ak' [m ²]	207.95	
Ve [m ³]	856.63			
Q _{H,nd} [kWh/a]	6704.68			
Q" _{H,nd} [kWh/m ² a]	32.24	Q" _{H,nd} (max) [kWh/m ² a]	43.02	ZADOVOLJAVA
Q _{C,nd} [kWh/a]	3004.52			
Q" _{C,nd} [kWh/m ² a]	14.45	Q" _{C,nd} (max) [kWh/m ² a]	50.00	ZADOVOLJAVA
E _{del} [kWh/a]	4568.94			
E" _{del} [kWh/(m ² a)]	21.97			
E _{prim} [kWh/a]	7374.26			
E" _{prim} [kWh/(m ² a)]	35.46	E" _{prim} (max) [kWh/(m ² a)]	35.00	NE ZADOVOLJAVA
H' _{tr,adj} [W/m ² K]	0.37	H' _{tr,adj} (max) [W/m ² K]	0.67	ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/K]	213.87			
H _{ve,adj} [W/K]	103.85			
Qi [kWh]	17360.38	Qs [kWh]	7355.27	
Qi [kWh]	9108.21	Qg [kWh]	16463.48	

Slika 5.5 - Prikaz proračuna potrebne toplinske energije iz KI Expert Plus programa za 3. varijantu[16]

Kao i u prva dva slučaja, primarna energija ne zadovoljava Tehnički propis za primarnu energiju te je potrebno ugraditi fotonaponski sustav. Ugrađujemo sustav od 415W, kao i u prva dva slučaja te prema slici 5.6 vidimo da nakon toga sustav zadovoljava kriterij potrošnje primarne energije.

Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje				
A [m ²]	576.55	fo [m ⁻¹]	0.67	
Ak [m ²]	207.95	Ak' [m ²]	207.95	
Ve [m ³]	856.63			
Q _{H,nd} [kWh/a]	6704.68			
Q" _{H,nd} [kWh/m ² a]	32.24	Q" _{H,nd} (max) [kWh/m ² a]	43.02	ZADOVOLJAVA
Q _{C,nd} [kWh/a]	3004.52			
Q" _{C,nd} [kWh/m ² a]	14.45	Q" _{C,nd} (max) [kWh/m ² a]	50.00	ZADOVOLJAVA
E _{del} [kWh/a]	4116.95			
E" _{del} [kWh/(m ² a)]	19.80			
E _{prim} [kWh/a]	6644.76			
E" _{prim} [kWh/(m ² a)]	31.95	E" _{prim} (max) [kWh/(m ² a)]	35.00	ZADOVOLJAVA
H' _{tr,adj} [W/m ² K]	0.37	H' _{tr,adj} (max) [W/m ² K]	0.67	ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/K]	213.87			
H _{ve,adj} [W/K]	103.85			
Qi [kWh]	17360.38	Qs [kWh]	7355.27	
Qi [kWh]	9108.21	Qg [kWh]	16463.48	

Slika 5.6 - Prikaz proračuna potrebne toplinske energije iz KI Expert Plus programa za 3. varijantu s FN sustavom od 415W [16]

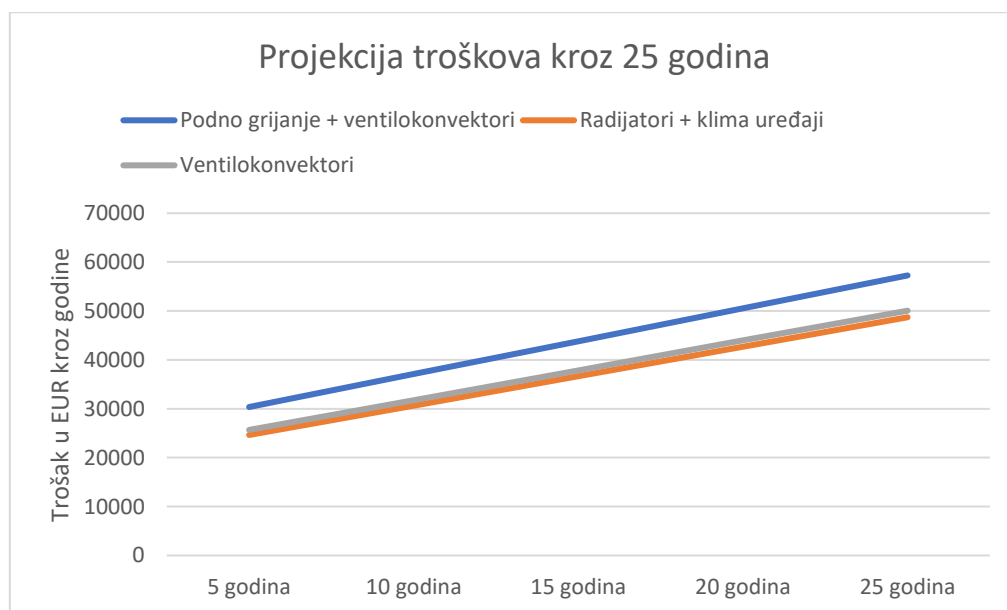
Nakon zadovoljavanja Tehničkog propisa potrebno je napraviti već navedenu ekonomsku analizu kako bi se usporedili troškovi ova tri sustava i odabralo optimalno rješenje. U tablici 5.1 je dan prikaz investicijskih troškova, troškova održavanja i godišnjih troškova za

energiju za sve tri izvedbe prema kojoj vidimo da je najisplativija opcija u startu ona druga, s radiatorima kao ogrjevnim tijelima za grijanje i klima uređajima za hlađenje prostorija.

Tablica 5.1 – Ekonomska analiza rješenja termotehničkih sustava za nZEB kuću

	Investicija [EUR]	Održavanje [EUR]	Godišnji trošak energije [EUR]
Podno grijanje + ventilokonvektori	23639	709,17	636,15
Radijatori + klima uređaji	18632	558,96	644,19
Ventilokonvektori	19582	587,46	631,51

Najskuplja opcija je ona gdje bi ugrađivali podno grijanje i ventilokonvektore za hlađenje. U svim opcijama je uračunata i ugradnja fotonaponskih panela jačina 415W čime se smanjuje godišnji trošak energije. Na slici 5.7 možemo vidjeti projekciju troškova za sljedećih 25 godina te prema tome možemo odrediti najisplativiju opciju.



Slika 5.7 – Prikaz projekcije troškova kroz sljedećih 25 godina

Iz priložene slike 5.7 vidimo kako je dugoročno najisplativija opcija ona s radiatorima i klima uređajima, iako ni ona s ventilokonvektorima nije daleko po pitanju ukupnih troškova. S obzirom na navedeno, kao idealno rješenje se odabire druga varijanta sustava koju ćemo u sljedećem poglavlju usporediti s pasivnom kućom.

5.2 Usporedba nZEB i Pasivne kuće

Pasivna kuća, koja je obrađena u potpoglavlju 4.3, je kuća u koju bi trebalo investirati više prilikom njezine izgradnje kako bi bila u skladu s normama za gradnju prema Institutu za pasivne kuće, a najveća razlika je upravo ona da je puno bolje zabrtvljena i ima manje toplinske gubitke čime bismo uštedili na grijanju jer je potreba za grijanjem manja.

Termotehnički sustav koji je odabran za pasivnu kuću je sličan prvom sustavu iz zgrada gotovo nulte energetske potrošnje, ali je razlika što se za hlađenje koristi opcija free-cooling tj. samo pasivni oblik hlađenja kuće bez aktivnih sustava. Princip je taj da se kuća drži što više zatvorena tijekom dana po ljeti kada je vani povišena temperatura, a preko noći, kada temperatura zraka padne dovoljno nisko, otvaramo prozore i imamo prirodno hlađenje prostorija.

Za grijanje kuće je potrebno ugraditi podno grijanje koje će biti spojeno s dizalicom topline. S obzirom da je pasivna kuća građena prema strožim standardima gradnje te je bolje izolirana od nZEB kuće, potrebno je manje energije za grijanje pa pasivna kuća prolazi i standard koji je zadan prema Tehničkom propisu za Primarnu energiju, iako je kod Pasivne kuće u primarnu energiju potrebno ubrojiti i sustave rasvjete, hlađenja, pripreme PTV-a i svih ostalih električnih uređaja u kući te samog grijanja, ali je ta granica postavljena na 120kWh/(m²a). Prikaz proračuna potrebne energije iz KI Expert Plus programa vidimo na slici 5.8 koja je relevantna u pogledu godišnje potrošnje energije za grijanje, ali ne i godišnje potrošnje primarne energije koja će biti prikazana u nastavku.

Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje				
A [m ²]	576.55	fo [m ⁻¹]	0.67	
Ak [m ²]	207.95	Ak' [m ²]	207.95	
Ve [m ³]	856.63			
Q _{H,nd} [kWh/a]	1242.95			
Q ["] _{H,nd} [kWh/m ² a]	5.98	Q ["] _{H,nd} (max) [kWh/m ² a]	36.61	ZADOVOLJAVA
Q _{C,nd} [kWh/a]	75.08			
Q ["] _{C,nd} [kWh/m ² a]	0.36	Q ["] _{C,nd} (max) [kWh/m ² a]	50.00	ZADOVOLJAVA
E _{del} [kWh/a]	3193.52			
E ["] _{del} [kWh/(m ² a)]	15.36			
E _{prim} [kWh/a]	5154.35			
E ["] _{prim} [kWh/(m ² a)]	24.79	E ["] _{prim} (max) [kWh/(m ² a)]	50.00	ZADOVOLJAVA
H' _{tr,adj} [W/m ² K]	0.28	H' _{tr,adj} (max) [W/m ² K]	0.67	ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/K]	159.74			
H _{ve,adj} [W/K]	30.02			
Ql [kWh]	10509.36	Qs [kWh]	7355.27	
Qi [kWh]	9108.21	Qg [kWh]	16463.48	

Slika 5.8 - Prikaz proračuna potrebne toplinske energije iz KI Expert Plus programa za pasivnu kuću bez hlađenja i ostalih trošila [16]

U tablici 5.2 je prikazana ukupna potrošnja primarne energije kako bismo vidjeli da ova kuća zadovoljava standard pasivne gradnje. Naime, kako sam već objasnio u prethodnim poglavljima, prema institutu za pasivnu gradnju potrebno je zadovoljiti potrebnu primarnu energiju koja sadržava sva električna trošila, uključujući i grijanje, hlađenje, rasvjetu i sve drugo što se nalazi unutar objekta, a kod nZEB kuće se za potrošnju primarne energije gleda samo potrošnja energije za grijanje kuće prema Tehničkom propisu. S obzirom da program KI Expert Plus ne omogućava točan proračun primarne energije za stambene zgrade koji uključuje hlađenje, rasvjetu i ostala trošila, napravljena je posebna tablica. U tablici vidimo kako je ukupna potrošnja primarne energije 78.16 kWh/m²a, što zadovoljava propis o gradnji pasivne kuće jer takva kuća mora zadovoljiti normu od $E_{prim} < 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Tablica 5.2 – Prikaz ukupne potrošnje primarne energije za pasivnu kuću

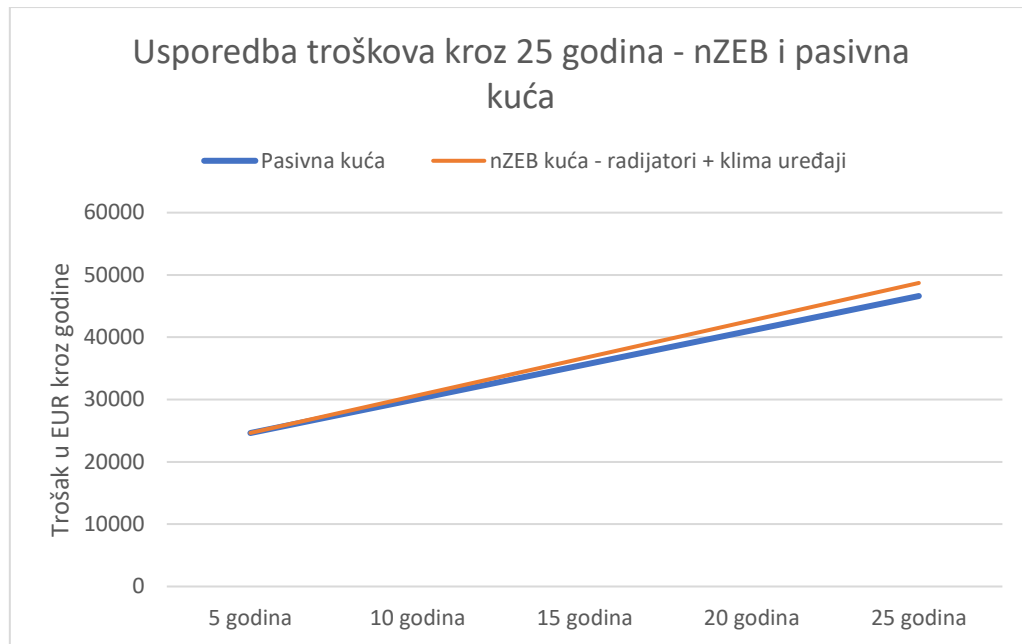
Potrošnja primarne energije		
Grijanje i hlađenje	24.79	kWh/m ² a
Ostala trošila i rasvjeta	53.37	kWh/m ² a
Ukupno:	78.16	kWh/m ² a

U tablici 5.3 je dana ekonomska analiza termotehničkog sustava za pasivnu kuću prema kojoj onda možemo usporediti to rješenje s idealnim i odabranim rješenjem nZEB kuće što smo odabrali u prošlom poglavlju 5.1.

Tablica 5.3 - Ekonomska analiza rješenja termotehničkog sustava za pasivnu kuću

	Investicija [EUR]	Održavanje [EUR]	Godišnji trošak energije [EUR]
Pasivna kuća	19135	574.05	525,07

Kao što vidimo, pasivna kuća zbog svojih svojstava ima znatno manji godišnji trošak energije što će u konačnici, kao što vidimo na slici 5.10, biti ključan faktor u činjenici da je pasivna kuća najisplativija opcija za izgradnju u ovom trenutku.



Slika 5.9 – Prikaz usporedbe troškova kroz 25 godina za nZEB i pasivnu kuću

Iz navedene slike bi se dalo zaključiti kako je pasivna kuća na duži period isplativija opcija za izgradnju u odnosu na kuću gotovo nulte energetske potrošnje zbog sličnog investicijskog troška, a manje godišnje potrošnje za energiju.

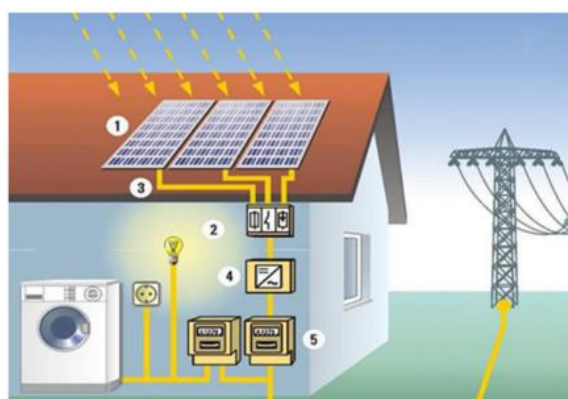
Ipak, valja naglasiti kako u ove troškove nije ubrojen investicijski trošak izgradnje samog objekta koji će biti veći kod pasivne kuće zbog svojih strožih zahtjeva. Prema podacima Passipedia[17], izgradnje pasivne kuće je unazad 20 godina znatno smanjila svoje troškove u odnosu na klasične kuće te je u 2015. godini izgradnja takve kuće bila skuplja za 10000 EUR. Prema posljednjim informacijama, procjenjuje se kako je realan trošak izgradnje pasivne kuće 20-30% skuplji od onog za 'običnu' kuću, ali je to naravno promjenjivo s obzirom na razne faktore pri gradnji.

Osim samih troškova, postoji i dodatan faktor neugodnosti, pogotovo ljeti, koji bi za neke ljude bio presudan u izgradnji ovakvih kuća. Naime, free cooling tj. prirodno provjetranje je prema proračunima dovoljno za hlađenje, ali zasigurno bi nekim ljudima to bilo nedovoljno te bi morali uključiti i neki aktivni sustav hlađenja poput klima uređaja što bi onda povećalo troškove investicije i troškove godišnje energije.

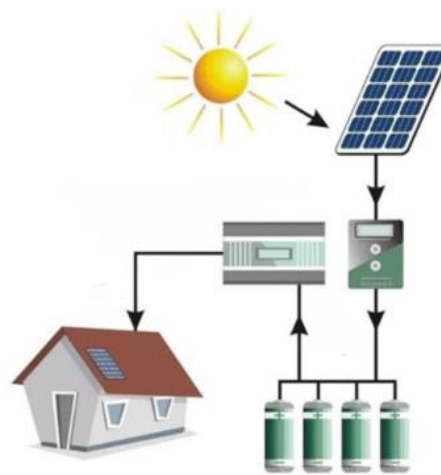
6. FOTONAPONSKI SUSTAV

Jedan od načina koji možemo iskoristiti za smanjenje primarne energije i na kraju smanjenje troškova za potrebe grijanja i hlađenja zgrade jest ugradnja fotonaponskih sustava na zgrade pomoću kojih koristimo obnovljivi izvor sunčevog zračenja. Takav sustav se sastoji od fotonaponskih ćelija koje zapravo generiraju električnu energiju, elementa za pretvorbu istosmjerne u izmjeničnu električnu energiju kakvu većinom koristimo u kući te eventualno uređaji za pohranu viškova električne energije tj. baterije. Sama fotonaponska ćelija se ne može koristiti sama za sebe već mora biti dio cijelog sustava. Koriste se fotonaponski moduli koju su sastavljeni od određenog broja fotonaponskih ćelija, a koji se potom mogu spajati u fotonaponska polja kako bi se ostvarila potrebna snaga cijelog fotonaponskog sustava. S obzirom da većina kućnih uređaja u RH radi na principu izmjenične struje, vrlo je bitno imati u tom sustavu pretvarač ili inverter koji pretvara istosmjernu u izmjeničnu struju.

U praksi postoje dvije vrste fotonaponskih sustava, a razlikuju se po tome jesu li ili nisu umreženi u javnu energetska mrežu kojom upravlja HEP. One koji su priključeni na mrežu nazivamo umreženim sustavima, a one koji nisu priključeni na javnu mrežu nazivamo "off-grid" sustavima ili otočnim sustavima. Shematski prikaz oba fotonaponska sustava možemo vidjeti na slici 6.1.



Slika 1 Mrežni sustav



Slika 2 Samostalni sustav s baterijama

Slika 6.1 - Shematski prikaz on-grid i off-grid

On-grid sustavi također mogu biti opremljeni baterijom za spremanje električne energije kako bi se u periodima kada se ne proizvodi dovoljna količina energije iz sunčevog zračenja 'nadoknadila' potreba, a ne bi se moralo uzimati iz javne mreže. U svakom slučaju,

kod *on-grid* sustava neophodno je imati brojila za preuzetu i za isporučenu struju kako bi se mogao napraviti obračun, a u novije vrijeme se ugrađuje jedno brojilo koje obavlja oba posla.

Iako su u zadnje vrijeme fotonaponski sustavi postali sve više učinkoviti, i dalje pričamo o brojkama do oko 20% u odnosu na omjer izlazne električne energije i intenziteta sunčevog zračenja. Same ćelije imaju učinkovitost od 40%, ostatak se gubi na zagrijavanje same ćelije, a preostali gubitak se odnosi na refleksiju prednje površine ćelije, nepotpunu apsorpciju i prenisiku ili previsoku energiju fotona. Neki prosjek omjera snage i površine fotonaponskih modula se kreće između 110 i 140 W/m².

6.1 Dimenzioniranje fotonaponskog sustava

Prema prikazanim rezultatima proračuna u 5. poglavlju ovog diplomskog rada, fotonaponski sustav je potreban kako bi se zadovoljio uvjet prilikom odabira gradnje kuće prema Tehničkom propisu za zgrade gotovo nulte energetske potrošnje te je predviđena instalacija fotonaponskog sustava od 415W. Takav sustav će samo djelomično pokriti potrebe za električnom energijom objekta, ali u ovom slučaju dovoljno da se zadovolje sve norme.

Ipak, u skorije vrijeme sve više postojećih i novih zgrada postavlja fotonaponske sustave na svoje krovove ili u svoje okućnice kako bi što više uštedjeli na potrošnji električne energije tijekom cijele godine, a povrat investicije se kreće oko nekih 5 do 7 godina, u zavisnosti od toga dobije li investitor poticaje za izgradnju takve sunčane elektrane. Izgradnjom ovakvih elektrana se povećava proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora, a ujedno se i smanjuje opterećenje na samu distribucijsku mrežu što je posebno bitno u vršnim periodima dana, pogotovo ljeti kada se iz godine u godinu obaraju rekordi potrošnje električne energije.

Obično se ovakvi sustavi dimenzioniraju da pokrivaju određeni dio potreba električne energije, osim kada se radi o *off-grid* sustavima gdje moraju biti kompletno autonomni. Najčešće elektrane pokrivaju potrošnju energije u zgradama tijekom sunčanih dana kada je proizvodnja struje na vrhuncu, a u noćnim satima i tijekom lošeg vremena preostali dio električne energije se uzima iz distribucijske mreže.

Energija proizvedena fotonaponskim modulima može biti iskorištena za rad termotehničkih sustava, raznih električnih uređaja, rasvjetnih tijela ili za punjenje električnih auta kojih ima sve više. Prema uputama proizvođača Schrack-Technik[18], prvi korak kod dimenzioniranja fotonaponskog sustava je određivanje godišnje potrošnje energije za rasvjetna tijela i sva druga električna trošila. U taj proračun možemo ubrojiti sva trošila koja inače

nalazimo u kući i koja se koriste cijeli dan ili samo dio dana. Energija potrebna za rad tog trošila je dana u Wh, a računa se kao umnožak snage tog trošila (W) i vremenskog perioda u kojem je trošilo radilo (h). U taj umnožak se pridodaje i koeficijent koji uzima u obzir s kolikom snagom pojedina trošila rade.

Tablica 6.1 - Potrošnja električne energije po trošilima

TROŠILA	SNAGA (W)	VRIJEME UKLJUČENOSTI U DANU (h)	KOEFICIJENT	POTREBNA ENERGIJA (Wh)
Perilica suđa	1100	3	0.7	2310
Hladnjak	150	24	0.1	360
Aparat za kavu	500	0.5	0.2	50
TV	100	4	1	400
Perilica rublja	1700	2	0.2	680
Računalo	600	4	0.3	720

S obzirom na navedeno, tablica 6.1 prikazuje potrebnu energiju po pojedinim trošilima za jedan dan. Na temelju toga se može izračunati i potrebna energija za cijelu godinu. S obzirom na taj proračun i na temelju toga što smo u prethodnim poglavljima u računalni program KI Expert Plus unijeli termotehničke sustave za grijanje i hlađenje možemo izračunati godišnju potrošnju električne energije za sva trošila na koja još dodajemo sustav rasvjete. U pojednostavljenom proračunu za izračun ukupne potrošnje energije za rasvjetna tijela pretpostavlja se iznos od 15 do 20 W/m² prostora na temelju kojeg onda dobijemo ukupnu potrebnu energiju. U pojednostavljenom proračunu za izračun ukupne potrošnje energije za rasvjetna tijela se inače proračunava na temelju površine poda prostorije ili cijele zone u KIE, a uzima se iznos od 15 do 20 W/m².

Na temelju tih proračuna i potrebne proizvodnje električne energije za pojedinu zgradu, u računalnom programu KI Expert Plus upisujemo odabranu snagu elektrane, površinu, orijentaciju i kut nagiba, kao što je prikazano na slici 6.2. U ovom slučaju je odabran proizvod Schrack Technik – EXE Solar HalfCUT 415W.

Fotonaponski sustav	
01. Osnovni podaci	
#	1
Naziv	Fotonaponski sustav 1
02. Ulazni podaci	
A	1.95
Vrsta PV modula	Mono-kristalini Silicij
Nacin ugradnje PV modula	Neventilirani moduli
Korisnički unos P pk	Da
P pk	0.42
f p, oie	0.00
E sol, hor	1542.00
Kut nagiba	30
Orijentacija	Jugozapad
f tilt	1.01
I ref	1.00
04. Proračun	
E sol	1555.88
E el, pv, out	451.98

Slika 6.2 - Definiranje fotonaponskog sustava u KIE

U ovom slučaju je odabrana opcija da korisnik unosi vršnu snagu sustava pa za sam proračun nije bitna površina samih panela, osim što je bitno da je navedena površina dostupna na samom krovu ili mjestu postavljanja panela. Nakon pravilnog upisa vršne snage, kuta nagiba te orijentacije panela, program sam računa koliko će se električne energije proizvesti. Vraćanjem u sekciju proračuna za izračun primarne energije (tablica 6.2) se vidi kako je uz Fotonaponski sustav negativan predznak što znači da se tu električna energija proizvodi, a ne troši, što je logično. Samim time smanjujemo primarnu energiju, ali i trošak jer toliko manje struje moramo kupiti iz distribucijske mreže. Taj iznos može varirati od godine do godine u zavisnosti od vremenskih uvjeta, vlastite potrošnje i slično, ali je generalno dobar pokazatelj kolika može biti ušteda ugrađivanjem ovakvih sustava.

Tablica 6.2 - Rezultati proračuna godišnje primarne energije

Energent	Svrha / Potrošač	E _{del} [kWh]	Faktor f _p	E _{prim} [kWh]
Nije naveden	Novi kotao	0.00	0.000	0.00
Električna energija	Dizalica topline2	1459.74	1.614	2356.03
Nije naveden	Novi kotao	0.00	0.000	0.00
Električna energija	Dizalica topline3	3056.73	1.614	4933.56
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	136.93	1.614	221.00
Električna energija	Podsustav razvoda PTV	30.81	1.614	49.72
Električna energija	Podsustav predaje grijanja	0.00	1.614	0.00
Električna energija	Fotonaponski sustav 1	-451.98	1.614	-729.50
Ukupno		4,232.22		6,830.81

S obzirom da nama nije cilj pokriti kompletnu potrošnju energije vlastitom elektranom nego namiriti jedan dio potreba, odabiremo varijante s 20 m² i 30 m² ćelija na krovu, s nagibom od 30 stupnjeva i orijentacijom na jugozapad s obzirom da je tako kuća okrenuta. Naravno, moglo bi se ugraditi i više fotonaponskih ćelija i samim time povećati proizvodnja, ali je potrebno pronaći dobar balans između ulaganja i godišnjih troškova. U nekim slučajevima je potrebno ugraditi toliko panela da to nije moguće zbog dimenzija i nedovoljne površine krova, ali u ovom slučaju to nije problem.

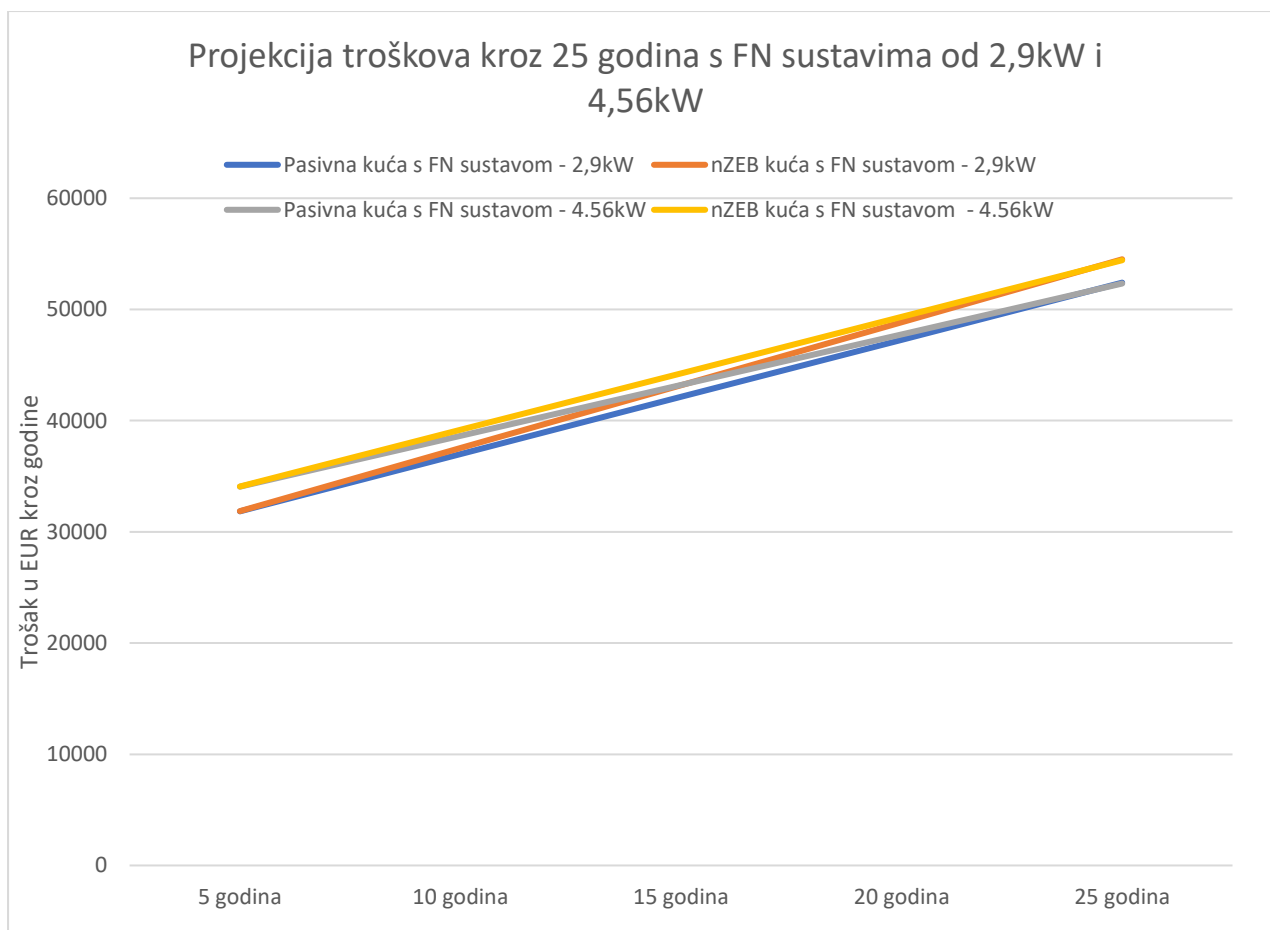
6.2 Usporedba termotehničkih sustava s fotonaponskim sustavima od 2,90kW i 4,56kW

Kako bismo dodatno poboljšali termotehnički sustav u objektu i dodatno smanjili godišnje troškove u obzir sam uzeo i mogućnost postavljanja dodatnih fotonaponskih ćelija ukupne vršne snage od 2,90kW i 4.56kW čime bi se pokrio jedan veći dio potrebe električne energije za cijelu zgradu. Na slici 6.3 možemo vidjeti primjer smanjenja primarne energije objekta nakon ugradnje fotonaponskog sustava od 4,56kW.

Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje				
A [m ²]	576.55	fo [m ⁻¹]	0.67	
Ak [m ²]	207.95	Ak' [m ²]	207.95	
Ve [m ²]	856.63			
QH,nd [kWh/a]	6704.68			
Q''H,nd [kWh/m ² a]	32.24	Q''H,nd (max) [kWh/m ² a]	43.02	ZADOVOLJAVA
QC,nd [kWh/a]	3004.52			
Q''C,nd [kWh/m ² a]	14.45	Q''C,nd (max) [kWh/m ² a]	50.00	ZADOVOLJAVA
E _{del} [kWh/a]	1341.93			
E'' _{del} [kWh/(m ² a)]	6.45			
E _{prim} [kWh/a]	2165.88			
E'' _{prim} [kWh/(m ² a)]	10.42	E'' _{prim} (max) [kWh/(m ² a)]	35.00	ZADOVOLJAVA
H' _{tr,adj} [W/m ² K]	0.37	H' _{tr,adj} (max) [W/m ² K]	0.67	ZADOVOLJAVA
H _{tr,adj} [W/K]	213.87			
H _{ve,adj} [W/K]	103.85			
Qi [kWh]	17360.38	Qs [kWh]	7355.27	
Qi [kWh]	9108.21	Qg [kWh]	16463.48	

Slika 6.3 - Prikaz proračuna potrebne toplinske energije iz KI Expert Plus programa za nZEB kuću s uključenim fotonaponskim sustavom od 4,56kW [16]

Kao i u prošlom potpoglavlju, u računalni program KI Expert Plus sam unio potrebne podatke za ovakve sustave te na temelju dobivenih rezultata napravio ekonomsku analizu isplativosti ovakvih sustava. Zbog povećanja fotonaponskog sustava došlo je i do povećanja inicijalnog investicijskog troška, ali je istovremeno došlo do znatnog smanjenja troškova za električnu energiju tijekom cijele godine.



Slika 6.4 – Prikaz usporedbe troškova kroz 25 godina za nZEB i pasivnu kuću s FN sustavima od 2,9kW i 4,56kW

Kao što je vidljivo iz slike 6.4, najisplativija opcija, dugoročno gledano, je ona u kojoj se ide na opciju izgradnje pasivne kuće s fotonaponskim sustavom vršne snage 4.56kW. Jako blizu po pitanju isplativosti je i druga verzija pasivne kuće s manjom instaliranom snagom fotonaponskog sustava od 2.9kW.

Ipak, ukupno je gledano najisplativija opcija pasivne kuće bez fotonaponskog sustava za proizvodnju električne energije, a to možemo pripisati visokim inicijalnim troškovima ugradnje fotonaponskih sustava i većim troškovima održavanja samog sustava. Kao što je rečeno i na kraju prethodnog poglavlja 5, pasivna kuća neće uvijek biti pravi odabir za investitora neovisno o financijskom aspektu koji je neznatno bolji, već će se težiti ugodnijem boravku u samom objektu i željama investitora.

7. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu sam analizirao moguća rješenja za izgradnju termotehničkih instalacija u obiteljskoj kući koja je u fazi izgradnje. Sama zgrada se nalazi u Rijeci te se prostire na preko 250 m² podijeljena u dvije etaže te podrum koji nije obuhvaćen ovom analizom. Na temelju podataka iz projekta su izračunati koeficijenti prolaza topline koji su rađeni prema normama za gradnju zgrade gotovo nulte energetske potrošnje (nZEB), a proračuni toplinskih gubitaka i dobitaka su izrađeni u računalnom programu IntegraCAD.

Pomoću računalnog programa Knauf Insolation Expert Plus je izračunata potrebna godišnja potrošnja za grijanje i hlađenje, kao i ukupna primarna energija. S obzirom da je kuća nova, ona je vrlo dobro izolirana te ima prozore i vrata koja zadovoljavaju sve novije propise kod gradnje zgrada. Osim toga, u radu je analizirana mogućnost gradnje ove iste obiteljske kuće po standardu za pasivnu gradnju prema propisima Passive House Institute, a koja zahtjeva strože kontrole i manje koeficijente prolaza topline zidove i otvora, a mora i biti puno bolje zabrtvljena kako bi se što manje zraka izvana infiltriralo unutar kuće.

U sklopu ovog diplomskog rada je obrađena i problematika pripreme potrošne tople vode koja je vrlo bitan faktor pri instalaciji termotehničkih instalacija, a s obzirom da je za sve izvedbe odabrana dizalica topline onda se i potrošna topla voda dobiva iz tog izvora. Dizalica topline je odabrana iz razloga što je to jedan od uređaja koji koristi obnovljive izvore energije za proizvodnju toplinske energije, a sve je prisutnija u Republici Hrvatskoj i diljem Europe koja ima sve strože planove za uvođenje obnovljivih izvora energije kako bi se što više smanjilo globalno zatopljenje i time sačuvalo naš Planet.

Na temelju navedenog, razmatrano je nekoliko opcija za instalaciju termotehničkih instalacija, od onih konvencionalnih do onih malo modernijih. Prvi razmatrani sustav je onaj s podnim grijanjem kao sustavom za predaju topline zimi, u kojem bi se ljeti prostor hladio ventilatorskim konvektorima postavljenim po kući koji bi puhali hladan zrak. Kao i svi sustavi, tako i ovaj ima svojih prednosti i nedostataka koji su objašnjeni u prethodnim poglavljima.

Drugi sustav bi bio onaj koji bi kao način predaje topline koristio radijatore što je najkonvencionalnije rješenje, ali je ujedno i rješenje koje zauzima najviše prostora u prostorijama te je potrebno zagrijavati ogrjevnu vodu na 55°C, što je prilično više od temperatura potrebnih za podno grijanje koje je nisko temperaturno zbog velike površine izmjene topline. Za hlađenje bi se koristili klima uređaji.

Treći sustav bi bio takav da bi i za grijanje i za hlađenje koristili ventilatorske konvektore u prostorijama, ali glavna mana toga je što bi se ljudima mogla stvoriti toplinska neugodnost boravka u prostorijama zbog konstantnog puhanja toplog/hladnog zraka. Kao i prethodna dva sustava, tako i ovaj koristi dizalicu topline kao uređaj koji pretvara električnu energiju u toplinsku energiju za grijanje i hlađenje vode, koja potom grije i hladi zrak.

Posljednji razmatrani sustav, a ujedno i onaj koji se najmanje koristi u praksi jer je relativno nov, je onaj u kojem bi se kuća gradila prema pasivnom standardu gradnje. Takav način gradnje zahtjeva manje godišnje energije za grijanje kuće zbog manje toplinskih gubitaka tijekom zime, ali je ujedno i početna investicija u kuću, zbog veće debljine izolacije i kvalitetnijih prozora i vrata, veća nego kod zgrada koji se grade prema Tehničkom propisu o racionalnoj potrošnji energije. Ovaj sustav ima također predviđeno podno grijanje prostorija uz dizalicu topline, a za hlađenje koristi opciju "Free cooling" gdje se tijekom noćnih sati, kada je temperatura najniža u ljetnom periodu, provjetravaju prostorije i na taj način hladi kuća. Naravno, potrebno je u ovakvu kuću ugraditi i ventilacijski sustav kako bi se kontinuirano dovodio svjež zrak zbog toga što je kuća jako dobro zabrtvljena, a poželjno je ugraditi i jedan rekuperator za zrak kako bi se iskoristila otpadna toplota zraka iz prostorija.

Usporedbom tri varijante nZEB kuće sam došao do zaključka kako je ona s radijatorima kao ogrjevnim tijelima i klima uređajima za hlađenje najisplativija, a još isplativija opcija je ona u kojoj se kuća gradi prema pravilima za pasivnu gradnju te je taj termotehnički sustav ekonomski najisplativije rješenje. Ipak, kako sam i naveo u samom tekstu, takve kuće imaju svojih nedostataka pa je na investitoru da odluči za koju verziju će se odlučiti s obzirom da je razlika u cijeni prilično mala.

Na kraju rada sam analizirao i mogućnost instalacije fotonaponskog sustava na krov kuće koji bi proizvodio električnu energiju za pogon dizalice topline i ostalih električnih trošila te sam napravio analizu, s obzirom na dovoljnu raspoloživu površinu krova, da se instaliraju fotonaponski sustavi od 2.9kW i 4.56kW. Ekonomskom analizom sam došao do zaključka kako je najisplativija opcija ona u kojoj gradimo pasivnu kuću bez fotonaponskog sustava

Odabirom sustava koji su bazirani na električnoj energiji se dobiva određena sigurnost korisnika jer smo u zadnje vrijeme svjedoci kako se stanje na tržištu energije može promijeniti vrlo brzo, a električna energija je energent bez kojeg čovjek može jako teško živjeti te će države diljem svijeta morati osigurati konstantnu isporuku struje svim potrebnim kućanstvima, bez obzira na situaciju u okruženju i bez obzira na cijenu.

8. LITERATURA

- [1] IEA, Energy consumption in buildings by fuel in the Net Zero Scenario, 2010-2030, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-consumption-in-buildings-by-fuel-in-the-net-zero-scenario-2010-2030>, IEA. Licence: CC BY 4.0.
- [2] Nasa: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures>
- [3] Europski parlament: <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20190926STO62270/sto-je-ugljicna-neutralnost-i-kako-je-postici-do-2050>
- [4] Zakon o klimi, Europska Unija: <https://eur-lex.europa.eu/HR/legal-content/summary/european-climate-law.html>
- [5] Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220531-1> .
- [6] Institut za pasivne kuće: <https://passivehouse.com/> .
- [7] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine: <https://mpgi.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug/energetska-ucinkovitost-u-zgradarstvu/zgrade-gotovo-nulte-energije-nzeb/10504> .
- [8] Narodne novine, Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_09_102_1922.html .
- [9] Izgradnja zgrada gotovo nulte potrošnje energije: <http://www.veduca.com/sitelab/upload/downloads/handbook-v-educa.pdf>
- [10] Prva pasivna kuća: https://passipedia.org/examples/residential_buildings/multi-family_buildings/central_europe/the_world_s_first_passive_house_darmstadt-kranichstein_germany
- [11] Wolf,I.: Predavanja iz predmeta "Obnovljivi izvori energije".
- [12] Smarter Windows: <https://www.smarterwindows.com/low-e-glass/>
- [13] Panasonic: https://www.aircon.panasonic.eu/HR_hr/model/kit-adc12he8/
- [14] Hartman Brothers, Heating and Air conditioning: <https://hartmanbrothers.com/blog/radiant-floor-heating>

[15] Ekinex, ventilacijski konvektori: <https://www.ekinex.com/en/application-examples-hvac/fan-coil-systems.html>

[16] Knauf Insulation Expert Plus: <https://www.knaufinsulation.hr/preuzmite-dokumente/ki-expert-plus> .

[17] Passivpedia:

https://passipedia.org/basics/affordability/investing_in_energy_efficiency/are_passive_houses_cost-effective

[18] Schrack-Technik: <https://www.schrack.hr/trgovina/fotonapon-pohrana-energije/fotonaponski-moduli/exe-moduli/fn-panel-exe-solar-halfcut-415w-mono-iec-5-4kpa-pvm44150-c.html>

SAŽETAK

Cilj ovog diplomskog rada je bio usporediti optimalne koncepte i radne parametre sustava grijanja, hlađenja, pripreme potrošne tople vode i ventilacije za obiteljsku kuću koja bi bila građena kao zgrada gotovo nulte energetske potrošnje (nZEB) ili kao pasivna kuća građena prema pravilima Instituta za pasivne kuće. Nakon obavljenih proračuna toplinskih gubitaka i dobitaka, odrađena je analiza tri moguća termotehnička rješenja za gradnju kuće kao nZEB te je ustanovljeno kako je najoptimalnije rješenje ono u kojem se koristi dizalica topline u kombinaciji s radijatorskim grijanjem te klima uređajima za hlađenje prostorija, s dodatkom fotonaponskog sustava od 415W kako bi se zadovoljila norma dozvoljene potrošnje primarne energije. Osim toga, odrađena je usporedba tog termotehničkog sustava s onim kojeg bi ugradili u pasivnu kuću koja je građena prema strožim standardima te je proračun pokazao kako je najoptimalnije rješenje ono da se gradi prema pasivnom standardu gradnje, s podnim grijanjem preko zime i hlađenjem free cooling-om preko ljeta prirodnim provjetravanjem. U obzir se uzela i mogućnost ugradnje fotonaponskih panela od 2.9kW i 4.56kW, ali su investicijski troškovi i budući troškovi održavanja ipak bili preveliki da bi se u ovom trenutku isplatila njihova instalacija te je kao najisplativija opcija bila gradnja pasivne kuće bez fotonaponskog sustava.

Ključne riječi: grijanje, hlađenje, obnovljivi izvori energije, priprema potrošne tople vode, podno grijanje, pasivna kuća, fotonaponski sustav, radijatori, ventilokonvektori.

ABSTRACT

The aim of this graduation thesis was to compare optimal concepts and working parameters of the heating, cooling, domestic hot water preparation and ventilation for a family house that would be built as a net zero energy building (nZEB) or as a passive house built according to the rules of the Institute for Passive Houses. After the calculation of heat losses and gains, an analysis of three possible thermotechnical solutions for building a house as an nZEB was carried out and it was found that the most optimal solution is the one that uses a heat pump in combination with radiator heating and air conditioning for cooling the rooms, with the addition of a photovoltaic system of 415W in order to meet the norm of permitted primary energy consumption. In addition, a comparison was made of that thermotechnical system with the one that would be installed in a passive house that was built according to stricter standards and the calculation showed that the most optimal solution is to build according to the stricter standards with underfloor heating during the winter and free cooling during the summer with natural ventilation. The possibility of installing photovoltaic panels of 2.9kW and 4.56kW was taken into consideration, but the investment costs and future maintenance costs were still too high to make their installation worthwhile at this time, so the most cost-effective option was the construction of a passive house without a photovoltaic system.

Keywords: heating, cooling, renewable energy sources, preparation of domestic hot water, underfloor heating, passive house, photovoltaic system, radiators, fan convectors