Projekt pasivne građevine s primjenom toplinske pumpe i solarnog sustava

Vladušić, Danijel

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:940427

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

Veleučilište u Karlovcu

Strojarski odjel

Specijalistički stručni studij strojarstva

Danijel Vladušić

Projekt pasivne građevine sa primjenom toplinske pumpe i solarnih sustava

DIPLOMSKI RAD

Karlovac, 2015.

Veleučilište u Karlovcu

Strojarski odjel

Specijalistički stručni studij strojarstva

Danijel Vladušić

Projekt pasivne građevine sa primjenom toplinske pumpe i solarnih sustava

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Ljubomir Majdandžić

Karlovac, 2015.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL

Specijalistički stručni studij strojarstva

Usmjerenje: Konstrukcijsko strojarstvo Karlovac, 02.04.2015.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: **Danijel Vladušić** Matični broj: 0111413030

Naslov:

PROJEKT PASIVNE GRAĐEVINE SA PRIMJENOM TOPLINSKE PUMPE I SOLARNIH SUSTAVA

Opis zadatka:

Radom je potrebno opisati pasivnu i niskoenergetsku građevinu kao i što mora sadržavati standard takve gradnje glede potrošnje energije.

Analizirati mogućnosti primjene različitih obnovljivih izvora energije koji bi se mogli koristiti kod gradnje pasivnih ili niskoenergetskih građevina.

Potrebno je opisati načine aktivnog korištenja Sunčeve energije u dobivanju toplinske i električne energije kod pasivnih i niskoenergetskih građevina.

Također je potrebno opisati dizalice topline i prikazati različite izvedbe dizalica topline te analizirati moguće toplinske izvore za dizalice topline koje bi se mogle primijeniti kod pasivnih i niskoenergetskih građevina.

Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o diplomskom ispitu VUK-a.

Zadatak zadan:	Rok predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
02.04.2015.	23.06.2015.	30.06.2015.

Mentor: Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Prof. dr.sc. Ljubomir Majdandžić Marijan Brozović, dipl.ing.

Izjava

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom studija, te koristeći navedenu literaturu.

Zahvala

Zahvaljujem se mentoru, gospodinu Prof. dr. sc. Ljubomiru Majdandžiću na savjetima, konzultacijama i pomoći pri izradi ovog rada.

Posebno bih se želio zahvaliti svojim roditeljima, majci Boženi i ocu Peri, na potpori tijekom studija u svakom smislu.

Sažetak

Diplomski rad izradio sam na temu „Projekt pasivne građevine sa primjenom toplinske pumpe i solarnih sustava“ u kojem je dan uvid o načinu izgradnje, mogućnostima uštede energije, opis korištenih obnovljivih izvora energije te količini smanjenja emisija štetnih plinova, izgradnjom pasivnih u odnosu na klasični način gradnje. Uvodni dio govori općenito o proizvodni energije, njenom utjecaju na okoliš, te izgradnji pasivnih građevina. Nastavak donosi pregled izvora energije i detaljniji opis obnovljivih izvora korištenih u pasivnom načinu gradnje. Od trećeg do petog poglavlja prikazani su proračuni potrošnje primarne energije i sustava za njezinu distribuciju za pasivnu građevinu ovog projekta. Završni dio odnosi se na ekološku osviještenost izgradnje pasivnih građevina u svrhu, i mogućnosti, smanjenja potrošnje energije odnosno emisija štetnih plinova u odnosu na klasičan način gradnje sa prikazanom ekonomskom analizom projekta. Na poslijetku, obijedinjenjem svega navedenog, dat je zaključak.

Summary

The Diploma thesis I made on the subjekt of „Project passive buildings with application of heat pumps and solar systems“ it includes an insigh into the wey of building, power saving features, description of the renewable sources of energy and reduce the amount of greenhouse gas emissions by building passive buildings in relation to the classical method of construction. The itroductory section is generelly about energy production, its impact od the environment and building a passive housses. Continuation of gives an overviev energy sources a detailed description of the renewable energy sources used in the passive construction. From the third to the fifth chapter presents the calculations of primary energy supply and distribution system for its passive building this project. The final section addresses the environmental awareness of the construction of passive buildings for the purpose of, and able, to reduce energy consumption and emissions compared to the conventional method of construction with the economic analysis of the project. Finally, the unifications of everything written was given the conclusion.

Sadržaj

1. Uvod *1*

1.1. Energetski učinkovite građevine *2*

1.1.1. Pasivne građevine *3*

2. Obnovljivi izvori energije u pasivnim kućama *6*

2.1. Sunčeva energija *8*

2.1.1. Sunčevo zračenje *8*

2.1.1.1. Sunce i ekstraterestičko zračenje *8*

2.1.1.2. Prizemno zračenje *9*

2.1.2. Sustavi za iskorištavanje Sunčevog zračenja *11*

2.1.2.1. Solarni kolektori *12*

2.1.2.2. Solarni spremnici *14*

2.1.2.3. Ostali dijelovi solarnog sustava *15*

2.1.2.4. Solarni sustavi za pripremu potrošne tople vode *17*

2.1.2.5. Solarni sustavi za grijanje prostora *19*

2.1.2.6. Efikasnost i spajanje kolektora *20*

2.1.2.7.Dimenzioniranje solarnih sustava za PTV-u *22*

2.1.2.8. Fotonaponske ćelije *23*

2.2. Dizalice topline *25*

2.2.1. Geotermalna energija *25*

2.2.2. Značajke i princip rada dizalice topline *26*

2.2.3. Dizalice topline tlo-voda *30*

2.2.4. Dizalice topline voda-voda *32*

2.2.5. Dizalice topline zrak-voda *33*

2.2.6. Hlađenje dizalicama topline *34*

2. 3. Ventilacija s rekuperacijom topline *36*

3. Proračun toplinskih gubitaka, energije za grijanje i hlađenje 37

3.1. Metodologija proračuna *37*

3. 2. Ulazni podaci proračuna *38*

3. 3. Proračun koeficijenata prolaza topline građevnih djelova *40*

3. 4. Karakteristike ostakljenja *42*

3. 5. Gubici topline *43*

3. 6. Unutarnji toplinski dobici i dobici od sunčevog zračenja *45*

3. 7. Godišnja energija za grijanje *46*
3. 8. Godišnja energija za hlađenje *47*
4. Fotonaponski sustav 48
4. 1. Tehnički opis FN sustava *48*
4. 2. Izbor i karakteristike FN modula *49*
4. 3. Dimenzioniranje FN sustava za lokaciju *50*
4. 4. Izbor i karakteristike inventera *51*
4. 5. Blok shema FN sustava *53*
4. 6. Električna energija dobivena iz FN sustava *54*
4. 7. Potrošnja energije električnih uređaja objekta *55*
5. Dimenzioiranje toplinskih sustava 57
5. 1. Sustav za pripremu potrošne tople vode *57*
5. 1. 1. Izbor komponenti toplinskog solarnog sustava *57*
5. 1. 2. Energija za pripremu potrošne tople vode *58*
5. 2. Dimenzioniranje sustava podnog grijanja i hlađenja *61*
5. 3. Dimenzioniranje toplinske crpke *64*
5. 4. Dimenzioniranje hidrauličkih komponenti sustava *66*
5. 4. 1. Dimenzioniranje cjevovoda kruga grijanja *66*
5. 4. 2. Dimenzioniranje cjevovoda solarnog kruga *67*
5. 4. 3. Dimenzioniranje ekspanzijske posude solarnog kruga *68*
5. 4. 4. Dimenzioniranje ekspanzijske posude kruga grijanja *69*
5. 4. 5. Dimenzioniranje pumpe PTV-a *69*
5. 5. Dimenzioniranje ventilacijskog sustava *70*
5. 6. Upravljanje radom sustava grijanja i pripreme PTV-a *73*
6. Ekonomsko ekološka analiza projekta 74
6. 1. Ekonomska analiza projekta *75*
6. 2. Ekološka analiza *78*
7. Zaključak 79
8. Literatura 80
9. Prilozi 82

Popis slika i tablica

Slika 1. 1. Pasivna kuća 4

Slika 2. 1. Rast korištenja obnovljivih izvora energije i udio u ukupnoj potrošnji 7
Slika 2. 2. Prosječna dnevna ozračenost na ravnu plohu kWh/m^2 10
Slika 2. 3. Dnevni prosjek sunčanih sati, po mjesecima, za pojedine gradove u RH 10
Slika 2. 4. Solarni sustav za pripremu PTV-a 11
Slika 2. 5. Pločasti kolektor 12
Slika 2. 6. Princip rada „heat pipe“ kolektora 13
Slika 2. 7. Solarni spremnik 14
Slika 2. 8. Montaža i spajanje automatike solarnog sustava pripreme PTV-e 15
Slika 2. 9. Princip rada solarnog sustava s prirodnom cirkulaciom 17
Slika 2. 10. Shematski prikaz sustava solarnog grijanja i pripremu PTV-e 19
Slika 2. 11. Krivulja efikasnosti pločastog i vakuumskog kolektora 21
Slika 2. 12. Optimalna površina kolektora (nagib 45 ˚) u ovisnosti broja osoba 22
Slika 2. 13. Princip rada fotonaponske ćelije 23
Slika 2. 14. Princip rada fotonaponskog autonomnog sustava 24
Slika 2. 15. Raspodjela temperature u unutrašnjosti zemlje 25
Slika 2. 16. Princip rada kompresijske dizalice topline 27
Slika 2. 17. Toplinski učin dizalice topline 28
Slika 2. 18. Procesi toplinske pumpe u lg p-h dijagramu 29
Slika 2. 19. Ovisnost toplinskog učina o temperaturama topinskih izvora i ponora 29
Slika 2. 20. Određivanje ravnotežne točke toplinskih crpki sa zrakom kao izvorom 30
Slika 2. 21. Iskorištenje zemljine topline (vertikalne sonde i horizontalni kolektori) 31
Slika 2. 22. Princip rada dizalice topline,voda/voda, primjenom eksploatacijskog 32
Slika 2. 23. Princip rada dizalice topline zrak/voda 33
Slika 2. 24. Reverzibilni pogon toplinske pumpe 34
Slika 2. 25. Princip prirodog hlađenja toplinskom pumpom 35
Slika 2. 26. Princip rada rekuperatora sa zemnim izmjenjivačem topline 36

Slika 3. 1. Grafički prikaz godišnjih gubitaka ventilacije i transmisije 44

Slika 4. 1. Fotonaponski sustav priključen na javnu elektroenergetsku mrežu 48

Slika 4. 2. 3D prikaz FN modula i solarnih toplinskih kolektora na krovu objekta 50
Slika 4. 3. Rad inventra 52
Slika 4. 4. Shema spajanja PV generatora i invertera (centralni pretvarač) 52
Slika 4. 5. Blok shema FN sustava 53
Slika 4. 6. Grafički prikaz godišnje potrošnje električne energije 56

Slika 5. 1. Grafički prikaz rezultata f-chart proračuna 60
Slika 5. 2. Ovisnost pada tlaka o protoku kolektora 67
Slika 5. 3. Krajnji tlak ekspanzijske posude i tlak nakon punjenja 68
Slika 5. 4. Recilkulacijska pumpa PTV-a 69
Slika 5. 5. Ovisnost duljine cijevi i pada tlaka zemnog izmjenjivača promijera 0.2 m 71

Tablica 3. 1. Meteorološki podaci za područje Bjelovara 38
Tablica 3. 2. Mjesečne vrijednosti globalnog sunčevog zračenja na području Bjelovara 38
Tablica 3. 3. Vrijednosti srednje mjesečne temperatura zraka, tla, srednje devne ozračenosti vodoravne prema jugu okrenute plohe 39
Tablica 3. 4. Dimenzije građevnih djelova objekta 39
Tablica 3. 5. Koeficijent prolaza topline vanjskog zida 40
Tablica 3. 6. Koeficijent prolaza topline poda 40
Tablica 3. 7. Koeficijent prolaza topline vanjskog ravnog krova 41
Tablica 3. 8. Koeficijent prolaza topline vanjskog balkona 41
Tablica 3. 9. Karakteristike ostakljenja 42
Tablica 3. 10. Transmisijski gubici objekta 43
Tablica 3. 11. Ventilacijski gubici objekta 43
Tablica 3. 12. Mjesečni i godišnji gubici topline sa transmisijskim gubicima pojedinih 44
Tablica 3. 13. Godišnje vrijednosti unutarnjih i dobitaka od sunca 45
Tablica 3. 14. Godišnja potrebna energija za grijanje objekta 46
Tablica 3. 15. Efektivni toplinski kapacitet građevine i vremenska konstanta 46
Tablica 3. 16. Godišnja potrebna energija za hlađenje objekta 47
Tablica 3. 17. Efektivni toplinski kapacitet građevine i vremenska konstanta 47

Tablica 4. 1. Karakteristike FN modula 49
Tablica 4. 2. Karakteristike inventera 51
Tablica 4. 3. Ulazne vrijednosti 54

Tablica 4. 4. Mjesečne i godišnje vrijednosti energije dobivene na FN modulima 54
Tablica 4. 5. Dobitak energije optimalizaciom kuta nagiba FN modula 54
Tablica 4. 6. Usporedba dobitaka sustava instaliranih u Bjelovaru i Splitu 54
Tablica 4. 7. Dnevna potrošnje električna energije pojedinih trošila 55
Tablica 4. 8. Godišnja potrošnja električne energije 56

Tablica 5. 1. Karakteristike solarnih tolpinskih kolektora 57
Tablica 5. 2. Ulazni podaci proračuna 58
Tablica 5. 3. Mjesečne vrijednosti srednje dnevne ozračenosti plohe pod kutem β 59
Tablica 5. 4. Potrebna mjesečna dodatna toplinska energija, stupanj pokrivanja i 59
Tablica 5. 5. Dobitak energije sustava za PTV optimalizacijom kuta nagiba kolektora 60
Tablica 5. 6. Usporedba doprinosa sustava u Splitu i Bjelovaru 60
Tablica 5. 7. Instalirana snaga sustava grijanja po prostorijama 61
Tablica 5. 8. Proračunate karakteristične veličine ogrijevnih tijela podnog grijanja 62
Tablica 5. 9. Vrijednosti potrebne topline hlađenja pojednih prostorija 63
Tablica 5. 10. Ulazne vrijednosti za proračun toplinske pumpe 64
Tablica 5. 11. Vrijednosti parametara toplinske pumpe i zemnog izmjenjivaća 65
Tablica 5. 12. Vrijednosti padova tlaka pojedinih dionica te ukupni pad tlaka sustava 66
Tablica 5 13. Vrijednosti karakterističnih veličina strujanja u cjevovodima 66
Tablica 5. 14. Vrijednosti proračunatih parametara cijevovoda solarnog kruga 67
Tablica 5. 15. Proračunate vrijednosti karaktrističnih veličina ekspanzijske posude 68
Tablica 5. 16. Proračunate vrijednosti karaktrističnih veličina ekspanzijske posude 69
Tablica 5. 17. Profili temperatura na ulazu i izlazu iz zemnog izmjenjivaća 72
Tablica 5. 18. vrijednosti temperatura ulaznih i izlaznih struja rekuperatora 72

Tablica 6. 1. Godišnja potrošnje primarne energije, dobici energije iz FN sustava te 75
Tablica 6. 2. Prikaz elemenata energetskih sustava i njihove vrijednosti u HRK 76
Tablica 6. 3. Potrošnja i troškovi energije klasičnog načina gradnje 77
Tablica 6. 4. Smanjenje potrošnje i troškova energije putem pasivne kuće 77
Tablica 6. 5. Količine emisija CO_2 pasivne kuće 78
Tablica 6. 6. Emisije CO_2 klasičnog načina gradnje 78

Popis oznaka

a_h - bezdimenzijski numerički parametar koji uzima u obzir utjecaj toplinske inercije

C_m – toplinski kapacitet zgrade [J/K]

c_p – specifični toplinski kapacitet [J/kgK]

$H_{\text{tr.}}$ – koeficijent transmisijske izmjene topline [W/K]

$H_{ven.}$ – koeficijent ventilacijske izmjene topline [W/K]

n– minimalni broj izmjena zraka [h^{-1}]

p – tlak [bar]

$Q_{H,nd}$ – ukupna izmijenjena toplina u periodu grijanja [J]

$Q_{H,gn}$ – ukupni toplinski dobici zgrade u periodu grijanja [J]

$Q_{H,int}$ – unutarnji toplinski dobici u proračunskom mjesecu [J]

Q_{ptv} – potrebna toplina za zagrijavanje PTV-a [J]

Q_{sol} – toplinski dobici od sunčeva zračenja [J]

$Q_{H,tr}$ – izmijenjena toplina transmisijom [J]

$Q_{H,ve}$ – izmijenjena toplina ventilacijom [J]

k – koeficijent prolaska topline [W/m^2K]

γ_H – odnos toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja

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

ρ – gustoća [kg/m^3]

τ – vremenska konstanta zone zgrade

$\Phi_{tran.}$ - gubitci transmisije [W]

$\Phi_{vent.}$ - gubitci ventilacije [W]

$Q_{H,gn}''$ - godišnja energija za grijanje zgrade po korisnoj površini (kWh/m^2a god)

$Q_{C,gn}''$ - godišnja energija za hlađenje zgrade po korisnoj površini (kWh/m^2a god)

η_{FN} - stupanj iskorištenja fotonaponskog modula

$A_{FN.}$ - površina fotonaponskog modula

PR - stupanj iskorištenja invertera

$E_{FN\beta con}$.- energija na fotonaponskom modulu pri konstantnom kutu nagiba

$E_{FN\beta opt}$.- energija na fotonaponskom modulu pri promjenjivom kutu nagiba

θ_{tv} - temperatura tople vode [°C]

θ_{hv} - temperatura hladne vode [°C]

1. Uvod

Razvitkom novih tehnologija, rastom broja stanovništva, te njihovom aktivnošću život na Zemlji se u posljednih 50-tak godina uvelike promjenio. Sve to uzrokuje velike potrebe za energijom, najvećim udjelom konvencionalne, bez koje se današnji način života nemože ni zamisliti, ona je sveprisutna, od industrije, prometa, poljoprivrede, građevinarstva te u kućanstvima i dok postoje dovoljne zalihe energije koja se može iskorištavati velika većina potrošača neće razmišljati o tome da bi u budućnosti moglo doći do pomanjkanja konvencionalnih oblika energije, njihova poskupljenja i velikih posljedica po okoliš.

Da bi se spriječio takav razvoj događaja potrebno je promijeniti svijest ljudi prema potrošnji energije i odnosu prema prirodi te pokazati da svatko svojim postupcima može pridonijeti stabilizaciji potrošnje i očuvanju cijelokupnog EKO sustava.

Posljedica ovog tehnološkog napretka, većeg broja stanovnika na Zemlji, te sve veće potrošnje fosilnih goriva je podizanje temperature zraka za 1 ˚C u posljednih stotinjak godina i znatnan utjecaj na klimatske promjene i stvaranje ozonskih rupa.

Glavni krivac nastaloj situaciji je izgaranje fosilnih goriva koje uzrokuje ispuštaje stakleničkih plinova u atmosferu od kojih je najzastupljeniji CO_2 (ugljični dioksid).

Danas vidimo da su smjernice Kyoto protokola nedovoljne, i kako se stvari odvijaju, u budućnosti će se mjere utjecaja štetnih plinova na okoliš bitno postrožiti jel ako se nastavi ovim tempom, štetne emisije bi mogle znatno utjecati na povišenje prosječne temperature pa čak i do 4 ˚C u idućih sto godina što bi imalo bitne posljedice (poplave, požari nestašica vode i hrane) i snažan utjecaj na cijelokupno stanovništvo.

Da bi se izbjeglo danje štetno djelovanje na okoliš i ublažilo djelovanje na klimatske promjene, nužno je okrenuti se novim načinima proizvodnje energije odnosno korištenju obnovljivih izvora a gradnja pasivnih građevina pridonsi tome u svakom smislu i zasigurno će u budućnosti predstavljati uobićajen način gradnje.

Nestašica fosilnih goriva, njhova cijena, uz sve strožije zahtijeve za smanjenjem ispuštanja štetnih emisija u okoliš te uvođenja plačanja naknade za prekoračeno ispuštanje štetih tvari u okoliš prisiljavaju sve veći broj zemalja da se okrene čistim energijama, ekološkom načinu života te osiguranju boljeg i kvalitetnijeg života sebi i budućim naraštajima, a nadamo se da će u skoroj budućnosti tim smjerom krenuti i Republika Hrvatska.

1.1. Energetski učinkovite građevine

Gradnja kuće za svakog je pojedinca velik izazov, ali i velika investicija. Prije samog početka gradnje mora se odlučiti o puno stvari: koliko će velika kuća biti, koliko će imati prostorija, od kakvih će materijala biti izgrađena, kakvi će biti prozori, kakav krov, kakvo grijanje, hlađenje, izolacija i fasada a u današnje vrijeme i kakvog će kuća biti energetskog standarda dali „obična“, niskoenergetska, pasivna ili možda plus energetska kuća.

Nazivi niskoenergetska kuća i pasivna kuća ne označavaju direktno način same gradnje kuće, već prvenstveno označavaju potrošnju energije za grijanje. Ovakve se kuće danas grade kako bi se uštedjelo na energiji za grijanje i hlađenje, te preko toga i smanjilo zagađenje okoliša tj. smanjilo ispuštanje CO_2 u okolinu. Osim uštede i očuvanja okoliša takvim se načinom gradnje ujedno i povečava ugodnost življenja.

Najjednostavnije rečeno, energetski učinkovita građevina, kuća, je ona građevina koja koristi, odnosno troši, manje energije od „obične“ kuće. Postizanje najbolje moguće iskoristivosti i optimalnije potrošnje energije nije nova ideja. Slično modernim vremenima, u drevnim vremenima ljudi su se suočavali s problemom konstruiranja kuća koje bi imale zadovoljavajući toplinski komfor, a glavno pitanje im je kao i danas bilo kako kuće zimi učiniti toplima a ljeti hladnima.

Ovaj problem prvi je proučavao i zabilježio Sokrat, grčki klasični filozof, prije gotovo 2500 godina. U ranoj literaturi rješenje ovog problema je poznato pod pojmom „Sokratova kuća“. „Sokratova kuća“ je hipotetski opis energetski učinkovite kuće. Osnova Sokratovih proučavanja bio je utjecaj kretanja sunca na položaj i konstrukcijski oblik kuće. Tlocrt „Sokratove kuće“ je trapezoidnog oblika s južno orijentiranom bazom i krovom koji pada prema sjeveru za smanjenje utjecaja udara sjevernih vjetrova. Sjeverni zid je masivne konstrukcije jer u ono vrijeme nije bilo kvalitetnih izolacijskih materijala pa je to trebalo nadoknaditi debljinom zida. Južno orijentirani trijem projektiran je tako da blokira visoko ljetno sunce, a istovremeno da propušta niske zimske zrake sunca duboko u prostorije.

Prema ovom konceptu kuće u sjevernoj hemisferi trebale bi biti južno orijentirane, a u južnoj hemisferi sjeverno orijentirane da bi se maksimalno iskoristila solarna energija. Na drugoj strani morao bi postojati jako dobro izolirani zid kojim se sprječava gubitak energije.

Danas postoji pet glavnih kategorija energetski efikasnih kuća:

- niskoenergetske kuće (low energy house)
- pasivne kuće (passive house, ultra-low energy house)
- kuće nulte energije (zero-energy house or net zero energy house)
- autonomne kuće (autonomous building, house with no bills)
- kuće s viškom energije (energy-plus-house)

1.1.1. Pasivne građevine

Sam naziv pasivna građevina, kuća, dolazi iz činjenice da ne treba aktivni sustav grijanja a ne od pasivnog korištenja sunčeve energije. U takvim se kućama živi kao i svakoj klasičnoj kući ali uz viši standard za koji su zaslužna tehnička poboljšanja na plaštu zgrade i kućnoj tehnici.

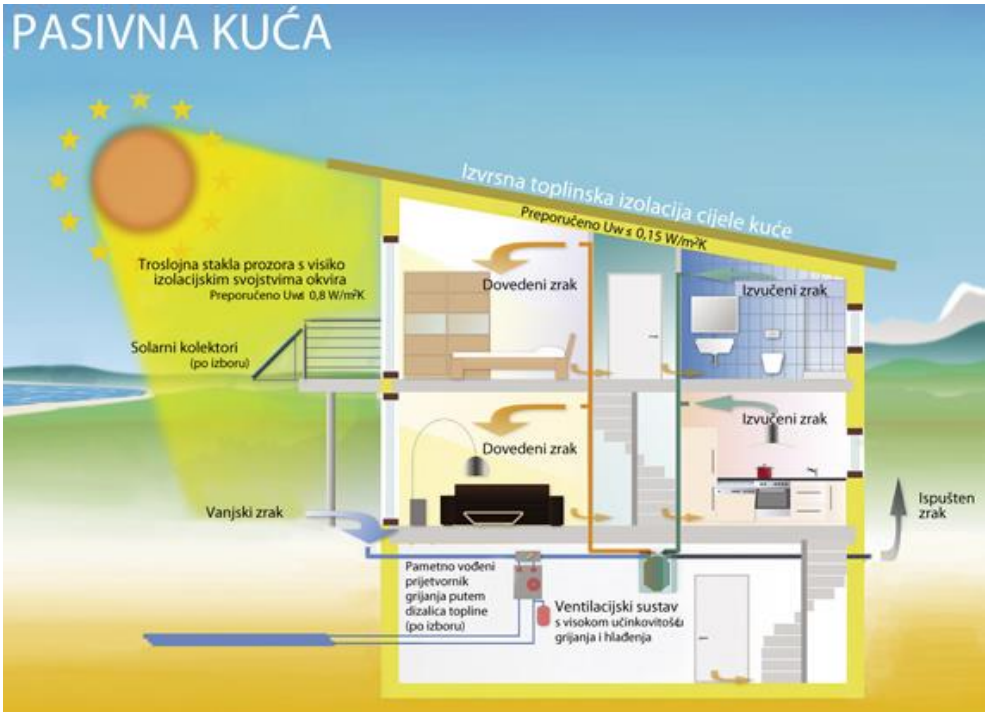
Pasivna gradnja zahtijeva nešto drugačiji pristup od uobičajenog načina na koji smo navikli. U početnoj fazi projektirajna potrebno je sudjelovanje različitih struka, arhitekata te stručnjaka iz područja građevine, strojarstva i elekteotehnike. Bez novog i stalnog obrazovanja nije moguća pravilna izvedba i stručno planiranje novih pasivnih građevina.

Pasivnim načinom gradnje i korištenjem obnovljivih izvora energije trošimo četiri puta manje energije od novogradnji, uz trenutno važeće propise, pa je tako uz nisku potrošnju energije dolazimo i do ekonomske isplativosti kroz određeni vremenski period uz dakako smanjenja štetnog utjecaja na okoliš.

Pasivna kuća je energetski najštedljiviji oblik niskoenergetske građevine koja svojim oblikom, debljinom izolacije, vrstom i veličinom otvora, kao i njihova ostakljenja, te ugradnjom uređaja za iskorištavanje topline zemlje ili podzemnih voda, ali i ugradnjom uređaja za ventilaciju sa iskorištavanjem topline otpadnog zraka – rekuperatora, te aktivnim i pasivnim korištanje sunčevog zračenja ostvaruje ugodno stanovanje i zimi i ljeti bez uobičajenih sustava za grijanje i klimatizaciju. Dozvoljena godišnja potrošnja za energije za grijanje za ovaj tip kuće smije iznosit najviše 15 kWh po metru kvadratnom ili 1 litru loživog ulja po metru kvadratnom. Svrstavamo ih u + A klasu energetskog certifikata.

Glavna ideja pasivne arhitekture jest korištenje sunčeve energije za grijanje kuće u zimskom periodu i sprječavanje upada sunčeva zračenja u ljetnom periodu kako bi se smanjila potreba za hlađenjem. Pri samoj gradnji to se postiže izolacijom zidova s barem 20 cm toplinske izolacije, dok prozori trebaju biti barem dvostruki s izolacijskim slojem (zraka ili nekog drugog plina poput argona) te low-e premazom (premaz niske emisivnosti) koji dopušta prolaz topline unutra, ali zato smanjuje njeno rasipanje prema okolini.

Također, važno je da kuća bude orijentirana prema jugu kako bi se maksimalno iskoristilo sunčevo zračenje, tako da prozori prema jugu budu što veći (1/7 površine poda), a prozori orijentirani prema sjeveru što manji (1/10 površine poda), kako bi se maksimalno smanjili gubici topline, posebice u zimskim mjesecima. Na sjevernoj strani kuće treba smjestiti kuhinje, hodnike, spavaće sobe, kupaone i ostave.



Slika 1. 1. Pasivna kuća

U zimskom periodu rolete i zavjese treba koristiti noću kako bi spriječili gubitke topline iz kuće (neke rolete mogu smanjiti gubitke topline i za 10%), a u ljetnom periodu vanjske rolete mogu smanjiti temperaturu u prostoru i do 6-8 ^{o}C, pa je potreba za hlađenjem u nekim prostorijama je smanjena, dok u nekim slučajevima hlađenje uopće nije potrebno.

Sistem ventilacije ima važnu ulogu jer osigurava zrak koji je čist, bez prašine te eliminira vlažnost i mirise koji se mogu javiti u vanjskom zraku. Prirodna ventilacija prozorima je dozvoljena, ali treba imati na umu da su u tom slučaju toplinski gubici veći.

Komforna ventilacija sa rekuperacijom (povratak topline) smanjuje toplinske gubitke ventilacijom. Otpadni zrak zagrijava svježi zrak u izmjenjivaču bez direktnog kontakta, tj. prenosi se samo toplina i vlažnost. (Slika 1. Pasivna kuća – princip ventilacije)

Ventilirati kuće potrebno je tijekom noći kad je vanjska temperatura niža. Vanjska strujanja zraka pomažu pri hlađenju kuće i dovodu svježeg zraka. Za višekatnice se može koristiti efekt uzgona zbog činjenice da se topli zrak uzdiže, a hladni zrak pada.

U pasivnoj kući je potrebno postići visoku zrakonepropusnost kako ne bi došlo do "curenja" zraka kroz otvore i šupljine u konstrukciji koji mogu dovesti do kondenzacije i

strukturnih oštećenja objekta. Zrakonepropusnost zahtijeva pažljivo projektiranje i izvođenje radova. Zrakonepropusni sloj može biti unutrašnja žbuka, ploče na bazi drveta isl.

Prednosti zrakonepropusnosti kuće su: nema „curenja“ zraka i toplinskih gubitaka, nema strukturnih oštećenja, bolja zvučna izolacija, ušteda energije i veći komfor.

Na sjevernoj strani kuće treba smjestiti kuhinje, hodnike, spavaće sobe, kupaone i ostave.

Zahtijevi za upotrijebljene komponente u pasivnim kućama su :

- prolaz topline „U“ svih građevnih elemenata je ispod 0.15 W/m2K
- izvedba bez toplinskih mostova ($\Psi \leq 0.01$ W/m2K)
- izvanredna zrakonepropusnost, $n^{50} \leq 0.6\ h^{-1}$
- ostakljenje s U_w ispod 0.8 W/m^2K
- prozorski okviri s U_f ispod 0.8 W/m^2K
- potrošnja električne energije za pogon uređaja za prozračivanje ≤ 0.4 W/m2K prepumpanog zraka
- strojevi i uređaji iz A i A+ energetskog razreda

Smislenim sastavljanjem pojedinih komponenti, primjerenih za pasivnu kuću, uz potrebni integralni projekt dolazimo do željenog standarda pasivne kuće.

Karakteristične specifične vrijednosti za pasivne kuće su:

- godišnja potrebna toplina za grijanje ≤ 15 kWh/m^2a
- zajednička potrošnja primarne energije ≤ 120 kWh/m^2a
- zajednička potrošnja električne energije ≤ 18 kWh/m^2a

Mudro osmišljenom arhitekturom, visokim standardima građenja, naprednim strojarskim i elektro sustavima te korištenjem obnovljivih izvora energije, pasivna kuća može sama proizvoditi dostatnu količinu energije. Takva se investicija u trenutačnim hrvatskim uvjetima sama isplati za 10 do 15 godina, s time da se taj period (povrata investicije) sve više smanjuje pojeftinjenjem opreme te raznim poticajima i subvencijama. Osjetljivih i potrošnih uređaja za grijanje kod pasivnih kuća uglavnom nema jer se radi o niskotemperaturnom grijanju, stoga i u tome slučaju režemo troškove i štedimo. Prema tome Pasivna kuća ispunjava sve uvijete koje pred nas postavljaju etika, ekonomika, ekologija i energetika. Ona je ugodna, energetski učinkovita, ekološki prihvatljiva i ekonomski isplativa.

2. Obnovljivi izvori energije u pasivnim kućama

Nakon stoljeća korištenja energije fosilnih goriva, danas se globalna slika mijenja, a obnovljivi se izvori sve više smatraju jednim od ključnih čimbenika budućeg razvoja Zemlje.

Glavni izvor energije još uvijek su fosilna goriva koja daju 85-90% energije. Nafta je najznačajnija s 35%, a ugljen i prirodni plin su podjednako zastupljeni. Gotovo 8% energije dobiva se iz nuklearnih elektrana, a tek 3.3% energije dolazi od obnovljivih izvora.

Taj udio u budućnosti treba znatno povećati jer neobnovljivih izvora energije ima sve manje, a i njihov štetni utjecaj sve je izraženiji u zadnjih nekoliko desetljeća. Sunce isporučuje Zemlji 15 tisuća puta više energije nego što čovječanstvo u sadašnjoj fazi uspijeva potrošiti, ali usprkos tome neki ljudi na Zemlji se smrzavaju.

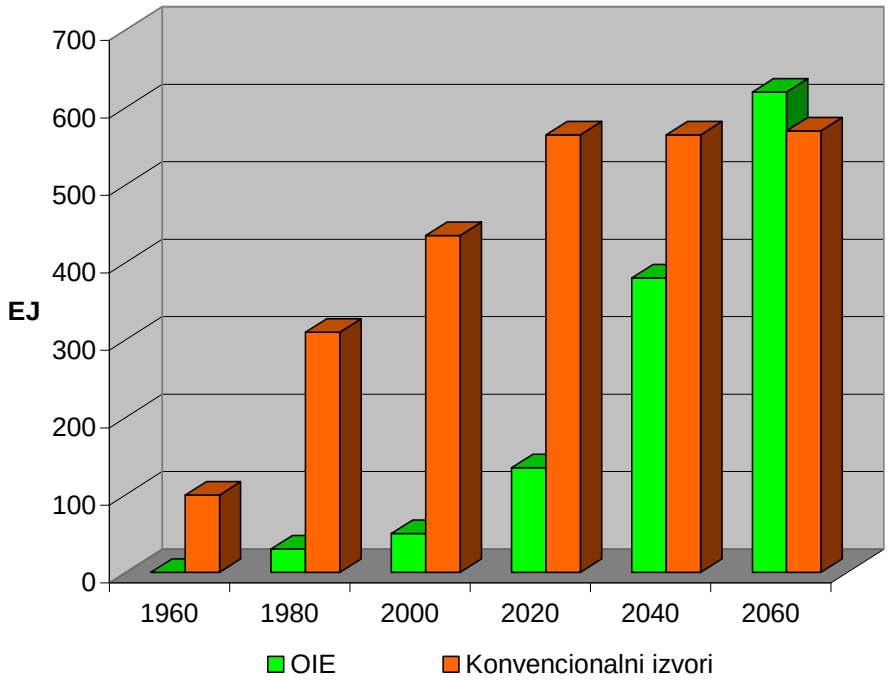
Iz toga se vidi da se obnovljivi izvori mogu i moraju početi bolje iskorištavati i da ne trebamo brinuti za energiju nakon fosilnih goriva. Iako se obnovljivi izvori energije troše oni se ne iscrpljuju već se obnavljaju u određenom ritmu. Razvoj obnovljivih izvora energije (osobito od vjetra, vode , sunca ,biomase i geotermalne) važan je zbog nekoliko razloga:

- obnovljivi izvori energije imaju vrlo važnu ulogu u smanjenju emisije ugljičnog dioksida (CO_2) u atmosferu
- povećanje udjela obnovljivih izvora energije povećava energetsku održivost sustava. Također pomaže u poboljšavanju sigurnosti dostave energije na način da smanjuje ovisnost o uvozu energetskih sirovina i električne energije
- očekuje se da će obnovljivi izvori energije postati ekonomski konkurentni konvencionalnim izvorima energije u srednjem do dugom razdoblju.

Nekoliko tehnologija, osobito energija vjetra, male hidrocentrale, energija iz biomase i sunčeva energija su ekonomski konkurentne. Ostale tehnologije su ovisne o potražnji na tržištu da bi postale ekonomski isplative u odnosu na klasične izvore energije.

Proces prihvaćanja novih tehnologija vrlo je spor i uvijek izgleda kao da nam izmiče za malo. Glavni problem za instalaciju novih postrojenja je početna cijena. To diže cijenu dobivene energije u prvih nekoliko godina na razinu potpune neisplativosti u odnosu na ostale komercijalno dostupne izvore energije.

Veliki udio u proizvodnji energije iz obnovljivih izvora rezultat je ekološke osviještenosti stanovništva, koje usprkos početnoj ekonomskoj neisplativosti instalira postrojenja za proizvodnju „čiste“ energije.



Slika 2. 1. Rast korištenja obnovljivih izvora energije i udio u ukupnoj potrošnji energije do 2060. godine

Obnovljivi izvori energije na zemlji potječu iz tri glavna primarna izvora:

- od raspadanja izotopa u dubini zemlje (geotermelna energija isl.)
- od gravitacijskog djelovanja planeta (energija morskih mjena isl.)
- od termonuklearnih pretvorbi na suncu (Sunčeva i energija vjetra)

Toplina koja zračenjem od Sunca dolazi na zemlju najveći je izvor energije i njezin je godišnji potencijal 5,6 * 10 6 EJ, pri čemu čovjek putem fosilnih goriva raspolaže vrlo malim djelom te energije. Od Sunčeve energije potječe većina drugih izvora primjerice energija fosilnih goriva, vodenih tokova, vjetra idr.

2.1. Sunčeva energija

Najveći izvor obnovljive energije je Sunce, užarena plinovita kugla, čije zračenje dolazi na Zemlju i tamo se pretvara u druge oblike obnovljive energije poput energije vjetra, hidroenergije, biomase, energije valova idr. Sunčevo zračenje predstavlja daleko najveći izvor energije na Zemlji, pri čemu je godišnje dozračena energija veća 15 000 puta od ukupnih svjetskih potreba. Energija Sunca se danas direktno iskorištava uz pomoć sunčevih kolektora za zagrijavanje PTV-a i grijanje prostora, fotonaponskim ćelijama za proizvodnju električne energije ili pak pasivno u građevinama pomoću arhitektonskih mjera u svrhu grijanja i osvijetljavanja prostora. Sunčeva energija je sigurna, neprekidna i najmanje štetna za okoliš.

2.1.1. Sunčevo zračenje

2.1.1.1. Sunce i ekstraterestičko zračenje

Sunce, golema užarena plinovita kugla polumjera 6,96*105 kilometara, mase 1,99*1027 t, koja se sastoji uglavnom od vodika i helija, nama najbliža zvijezda te, neposredno i posredno, izvor gotovo sve raspoložive energije na Zemlji od koje je prosiječno udaljena 1,49*108 km . Sunčeva energija potječe od nuklearnih reakcija u njegovom središtu, gdje temperatura doseže 15 milijuna °C, tlak 108 Mpa, dok je na površini temperatura oko 5490 °C. Radi se o fuziji, kod koje spajanjem vodikovih atoma nastaje helij, uz oslobananje velike količine energije. Svake sekunde na ovaj način u helij prelazi oko 600 milijuna tona vodika, pri čemu se masa od nekih 4 milijuna tona vodika pretvori u energiju, koja se u vidu svjetlosti i topline širi u svemir pa tako jedan njezin mali dio dolazi i do Zemlje. Sunčeva se površina sastoji od sloja fotosfere, kromosfere i korone.

Snaga zračenja koje Sunce emitira u čitav prostor je 3,8*1026 W, od toga na zemlju dolazi oko 1,7*1017 W, a energija koju Zemlja prima od Sunca jest oko 5,4*1024 J, međutim od te upadne Sunčeve energije oko 30 % se reflektira u svemir, 47 % pretvara se u toplinu i emitira kao infracrveno zračenje, 23 % troši na isparavanje vode i oborinski ciklus u troposferi a samo mali dio troši se na fotosintezu, pretvara u energiju vjetra i sl.

Sunčevo zračenje koje dopire do vanjskog ruba Zemljine atmosfere naziva se ekstraterestičko zračenje i važno je za proračun Sunčevog zračenja a njegova se srednja vrijednost naziva solarna konstanta i iznosi $E_0 = 1353 \pm 21$ W/m^2 .

Solarna konstanta definirana je kao tok Sunčeva zračenja kroz jediničnu površinu okomitu na smjer Sunčevih zraka na srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca, ali izvan Zemljine atmosfere tako da nema slabljenja zbog apsorpcije i raspršenja u atmosferi.

Ekstraterestičko zračenje mijenja se tokom godine zbog promjene udaljenosti Zemlje od Sunca. U našem se području vrijednost ekstraterestičkog zračenja mijenja tokom godine i najveće je zimi (1399 W/m^2), a najmanje ljeti (1307 W/m^2).

2.1.1.2. Prizemno zračenje

Na putu kroz Zemljinu atmosferu Sunčevo zračenje slabi jel se apsorbira zbog interakcije s plinovima i vodenom parom i jel se raspršuje na molekulama plinova i česticama prašine, te tako dospijeva do površine Zemlje kao izravno i raspršeno zračenje. Prolaskom kroz atmosferu gubi se oo 25 % do 50 % energije zbog raspršivanja i apsorpcije. Izravno (direktno) zračenje dolazi izravno sa Sunca, a raspršeno (difuzno), koje nastaje raspršenjem izravnog zračenja u atmosferi, iz svih smjerova neba. Prema tome ukupno (globalno) zračenje na površini Zemlje sastoji se od izravnog i raspršenog zračenja.

Direktno sunčevo zračenje kratkovalnog je karaktera, za sunčanog dana očituje se kao kombinacija žućkastog svjetlosnog snopa i topline, a difuzno raspršivanje zračenja ili refleksija sadrži više kratkovalne nego dugovalne energije sunčevog zračenja.

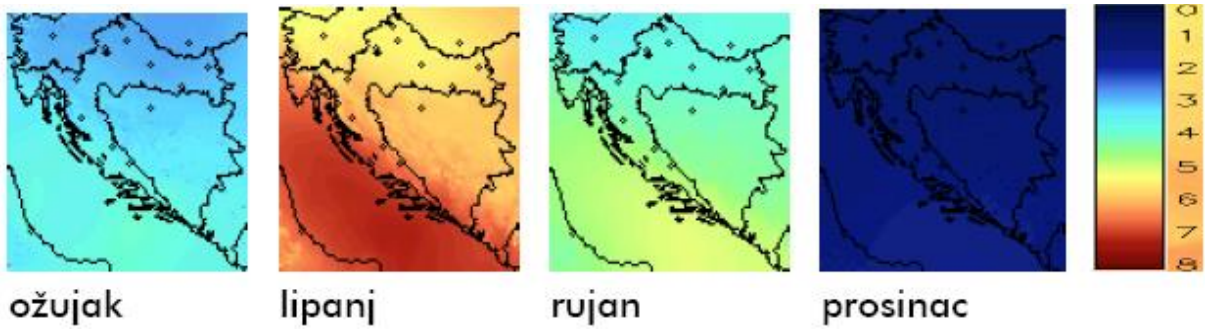
Čestice primljenu energiju raspršuju nejednako u svim smjerovima pa tako dio reflektiraju nazad u svemir a dio se raspršuje na površinu Zemlje. Zračenje koje dolazi do površine Zemlje većim djelom Zemlja upija a manji se dio odbija od njene površine, ta se karakteristika može iskazati koeficijentom refleksije ili albedom koji iznosi za potpuno bijelo tijelo 1.0 (odbija zrake), a za potpuno crno tijelo vrijednost nula.

Za mjerenje sunčeva zračenja koriste se piranometri koji se obično postavljaju tako da im je prijemna površina horizontalna. Njihovom registraciom ukupnog zračenja dobivaju se podaci o energiji zračenja u svakom satu u danu, te se, ako je intenzitet zračenja u datom satu konstantan, može promatrati kao snaga, te se zbrajanjem energije dozračene u svim satima dana, dobiva dnevna energija zračenja a ta vrijednos, pomnožena sa brojem dana u godini, daje godišnju dozračnu energiju.

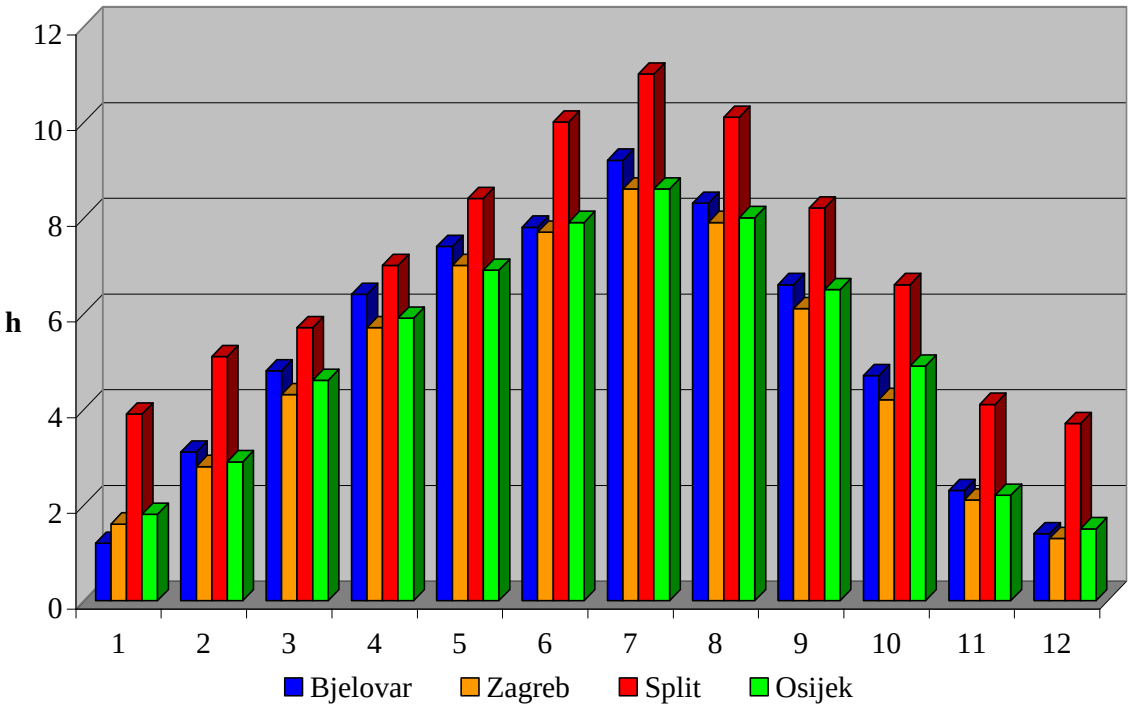
Važan pojam je ovdje i insolacija, tj. vrijeme kad izravno Sunčevo zračenje dopire do zemlje, odnoso do horizontalne plohe mjernog uređaja odnosno heliografa koji daje samo podatke o postojanju Sunčeva zračenja, a ne daje podatke o energiji zračenja, ali se, ako nema drugih podataka, može na temelju insolacije procijeniti energija zračenja, trajanje insolacije

zavisi o zemljopisnoj širini i o godišnjem dobu. Ukupna količina prosječne dozračne energije koja dolazi na Zemlju je oko 230 W/m^2, odnosno 5.52 kWh/m^2 po danu, stvarne vrijednosti ovise o raznim faktorima kao što su vremenski uvijeti, zagađenost zraka, zemljopisne širine isl.

U Hrvatskoj je prosječna vrijednost insolacije na horizontalnu plohu između 3 i 4.5 kWh/m^2 dnevno slika 2.2., odnosno između 1.2 i 1.6 MWh/m^2 godišnje. Trajanje insolacije, odnosno prosječni broj sunčanih sati godišnje je između 2000 i 2800 sati. Dnevni prosjek sunčanih sati, po mjesecima, za pojedine gradove u Hrvatskoj prikazuje slika 2.3.



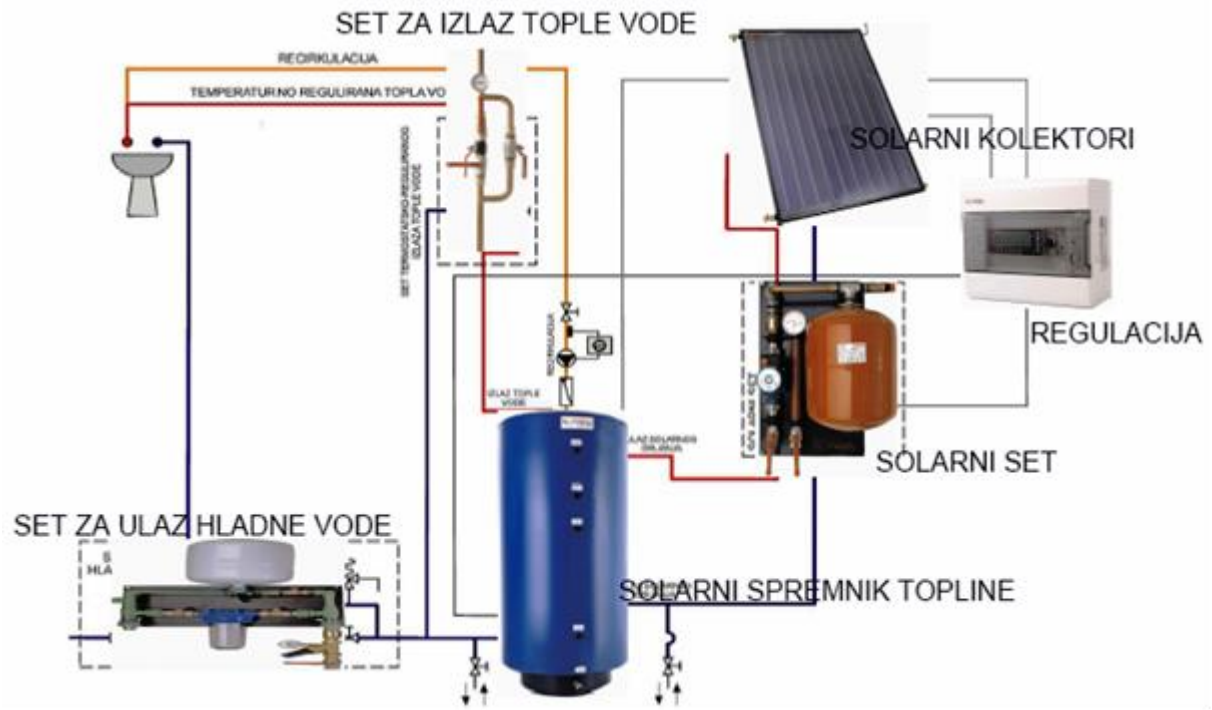
Slika 2. 2. Prosječna dnevna ozračenost na ravnu plohu kWh/m^2



Slika 2. 3. Dnevni prosjek sunčanih sati, po mjesecima, za pojedine gradove u RH

2.1.2. Sustavi za iskorištavanje Sunčevog zračenja

Načini korištenja sunčeve energije se mogu podijeliti na pasivne, aktivne i one za proizvodnju el. energije. U nastavku su opisani oni aktivni načini korištenja koji imaju za cilj grijanje prostora i zagrijavanje potrošne tople vode, te proizvodnju el. energije. Sunčeva energija se aktivno prikuplja uz pomoć sunčevih (solarnih) kolektora, u našim krajevima prvenstveno u svrhu zagrijavanja PTV-a i u manjoj mjeri grijanja prostora. Sunčevi kolektori se ugrađuju u sklopu solarnog sustava čiji su uz kolektor, osnovni dijelovi: akumulacijski spremnik tople vode, dodatni zagrijač (kotao, el. grijač), regulacijski sklop, solarna stanica, cijevni razvod i sgurnosna oprema (Slika 2.4.). Sunčevi kolektori se najčešće montiraju na krovove kuća, terase ili u vrtove, te ih se kad god je to moguće usmjerava u pravcu juga uz odstupanje do ±30° bez značajnijeg utjecaja na količinu dozračene energije. Solarni spremnik ne smije biti previše udaljen od kolektora koji ga zagrijava kako bi se što je više moguće smanjili toplinski gubici u spojnim cjevovodima.



Slika 2. 4. Solarni sustav za pripremu PTV-a

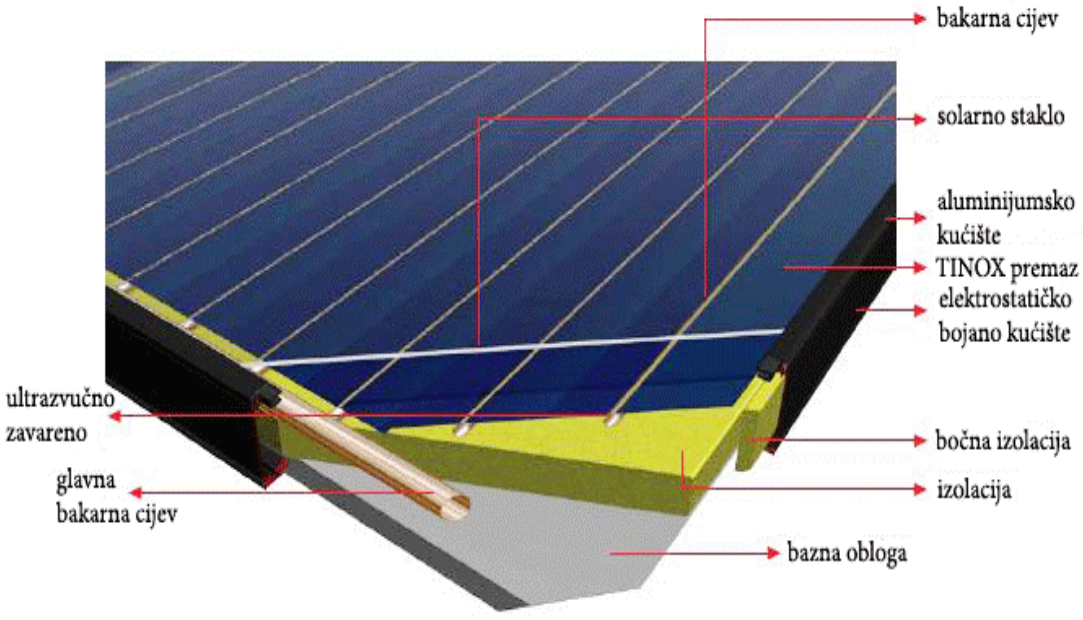
2.1.2.1. Solarni kolektori

Sunčev kolektor je osnovni dio solarnog sustava u kojem se apsorbira sunčevo zračenje i predaje fluidu kao nosiocu topline (vodi ili mješavini vode i propilenglikola za zaštitu od smrzavanja) koji cirkulira između kolektora i akumulacijskog spremnika tople vode. Potreba za većim brojem kolektora zahtijeva spajanje serijski ili paralelno.

Solarni kolektori mogu biti izvedeni kao:

- pločasti kolektori
- cijevni (vakuumski) kolektori

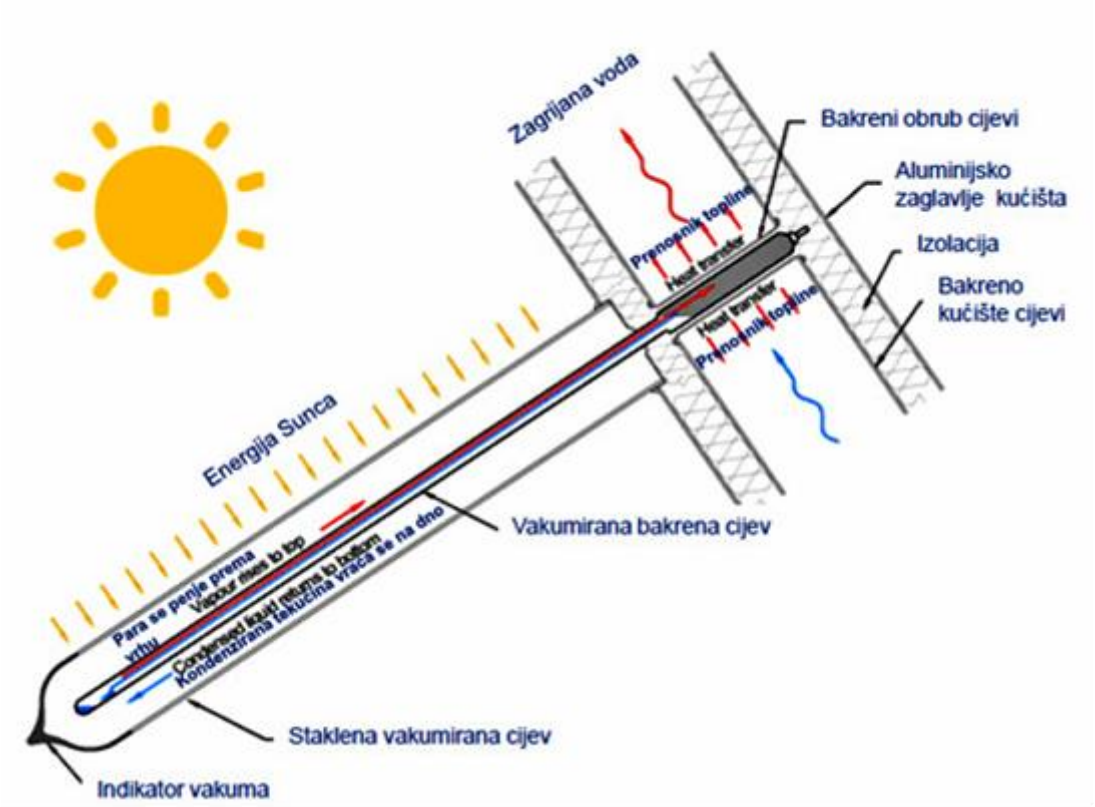
Pločasti kolektori se sastoje od tanke metalne apsorberske ploče (0.3-0.5 mm), prosječnih dimenzija (0,8-1)×(1,9-2) m na koju su pričvršćene cijevi kroz koje teće fluid tj. nosilac topline. Sunčevo se zračenje apsorbira u tankom premazu apsorberske ploče (apsorpcija 90-95%). Apsorbirana se toplina potom provodi kroz materijal ploče i cijevi do nosioca topline. Apsorber s cijevima je smješten u izolirano (min. vuna, stiropor, spužva) kućište (metalno ili plastično) i pokriven specijalnim staklom visoke propusnosti (90%) radi smanjenja toplinskih gubitaka od zagrijane apsorberske ploče na okoliš te zaštite od vremenskih utjecaja (Slika 2.5.). Prijenos topline s apsorbera na radni medij ovisi o konstrukciji kolektora te o vrsti i brzini strujanja radnog medija koja je od 0,01 do 0,03 l/s, te se postižu temperature radnog medija do 120 ˚C.



Slika 2. 5. Pločasti kolektor

Vakuumski cijevni kolektori se sastoje od određenog broja staklenih vakuumiranih cijevi (6-10) u kojima se nalaze metalne (bakrene) cijevi kroz koje protječe nosilac topline (voda, propilen glikol/voda, alkohol, freon i dr.), preuzimajući toplinu od apsorbera koji može biti u obliku ravne trake ili trake obavijene oko same unutrašnje cijevi. Iz staklenih cijevi je izvučen zrak kako bi se smanjili toplinski gubici, zbog konvekcije, s apsorbera na okolišni zrak te se tako i podiže temperatura radnog medija i preko 200 ˚C . Njihov glavni nedostatak u odnosu na pločaste kolektore je gubitak vakuuma tijekom nekoliko godina korištenja a time i pad efikasnosti, ali je stupanj iskoristivosti oko 35% veći kod cijevnih kolektora, te postižu bolju efikasnost u zimskim mjesecima, a u ljetnim omogućuju postizanje većih temperatura.

Razlikujemo dva načina rada vakuumskih kolektora odnosno u „Sydney“ i „heat pipe“. Kod Sydney izvedbe nema prolaska bakrene kroz staklenu vakumsku cijev već se sastoji od dvije staklene cijevi s izravnim strujanjem medija, pri vrhu spojenih, između kojih je vakuum a unutar unutarnje se cijevi nalazi bakrena cijev za prijenos topline. Mogu se postavljti u svim položajima za razliku od „heat pipe“ kolektora koji moraju biti pod nagibom (minimalno 20˚). Princip rada „heat pipe“ kolektora prikazuje slika 2.6.

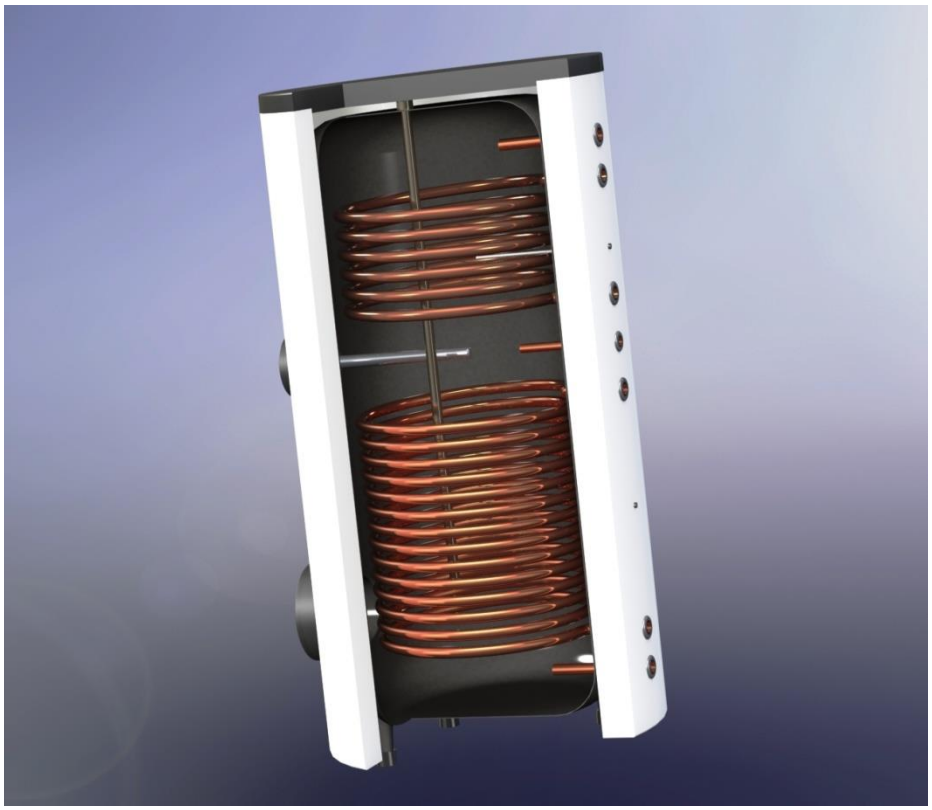


Slika 2. 6. Princip rada „heat pipe“ kolektora

2.1.2.2. Solarni spremnici

Spremnici topline izrađuju se od nehrđajućeg čelika ili običnih ugljičnih čelika s unutrašnje strane zaštićenih slojem emajla, plastike ili premaza koji mora zadovoljiti sve zakonski propisane zahtjeve na prikladnost za pitku vodu. Izmjenjivači topline su obično bakrene cijevi savijene u spiralu kroz koje protječe fluid zagrijan u kotlu ili solarnom kolektoru, kojom se onda zagrijava voda u spremniku. U pojedinim tipovima spremnika nalaze se i električni grijači (u električnim akumulacijskim, solarnim spremnicima). Radi smanjenja toplinskih gubitaka, spremnici se izoliraju slojem mineralne vune ili spužve debljine 5-12 cm. Također, radi smanjenja toplinskih gubitaka, uputno je izolirati i sve spojne cjevovode do izljevnih mjesta i to izolacijom 2-5 cm.

Za solarnu pripremu PTV u pravilu se koriste bivalentni spremnici PTV (Slika 2.7.), tj. spremnici PTV sa dvije ugrađene ogrjevne spirale. Sa donjom ogrjevnom spiralom, solarna toplina se iz medija prijenosnika topline prenosi na PTV. Ako sunčevo zračenje nije dovoljno, tada će se preko gornje ogrjevne spirale dogrijati sa dodatnim izvorom topline. Ovisno o broju osoba te njihovim potrebama za potrošnjom vode odabiremo spremik, a spremnik mora biti usklađen s solarnim kolektorom i izmjenjivačem topline.



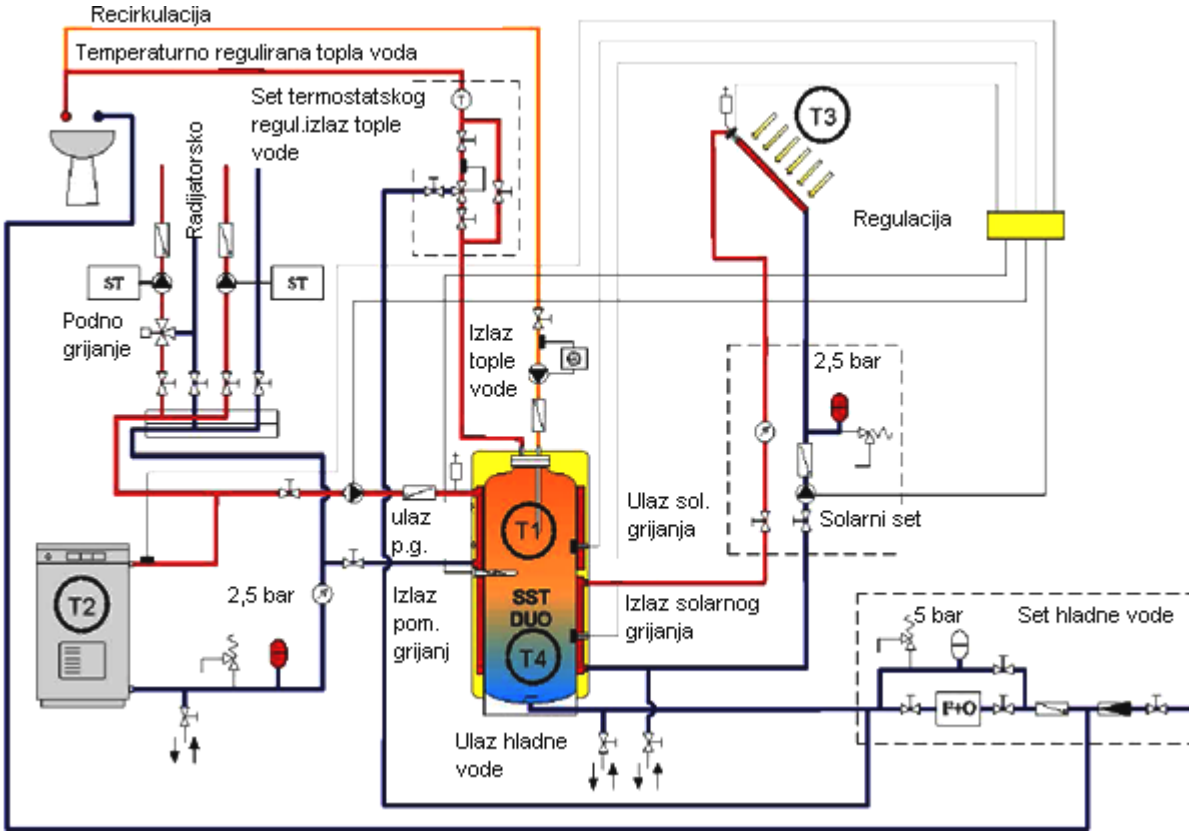
Slika 2. 7. 3D prikaz solarnog spremnika za pripremu PTV-e

2.1.2.3. Ostali dijelovi solarnog sustava

Važni dijelovi solarnog sustava su solarna stanica s pumpom i automatska regulacija. Pumpa omogućuje cirkulaciju radnog medija a regulacija osigurava siguran rad cijelog sustava i usklađuje njegov rad sa sustavom grijanja i pripreme PTV-a.

Automatska regulacija osigurava najveću efikasnost rada i dugi vijek korištenja solarnog sustava. Diferencijalna automatika u solarnom sustavu upravlja radom pumpe koja cirkulira nosioca topline između kolektora i spremnika. Automatika uključuje pumpu kada je temperatura na izlazu iz kolektora nekoliko °C veća od one u spremniku na mjestu neposredno iznad izmjenjivača topline, a isključuje, kada je ta razlika manja od zahtijevane.

Tako se onemogućuje rashlađivanje spremnika u razdobljima kada je temperatura u spremniku viša od one u kolektoru (za oblačna vremena ili tijekom noći). Pored upravljanja solarnim krugom, u pojedinim sustavima isti sklop automatike upravlja i radom pumpe pomoćnog grijanja, el.grijača te pumpom grijanja prostora objekta. Regulacija se sastoji od upravljačke jedinice, osjetnika temperature smještenog na izlazu iz kolektora i na različitim pozicijama u spremnicima.



Slika 2. 8. Montaža i spajanje automatike solarnog sustava pripreme PTV-e

Regulcija razlike temperature jedan je od osnovnih zadataka automatike, pri čemu se stalno mjere temperature u na kolektoru i u spremniku te se na osnovi temperaturne razlike uključuje / isključuje cirkulacijska crpka.

Vrijednost temperaturne razlike iznosi:

a) za uključivanje cirkulacijske crpke:

- uobičajena: 2 – 12 °C, preporučljiva standardna: 5 – 8 °C

b) za isključivanje cirkulacijske crpke:

- uobičajena: 1 – 10 °C, preporučljiva standardna: 3 °C

Cirkulacijska crpka služi za ostvarivanje prisilnog strujanja medija unutar solarnog kruga. Visina dobave solarne crpke je obično od 2 do 6 m, a pri ugradnji je potrebno postaviti ispred i iza pumpe zaporne ventile za slučaj kvara i zamjene te je postavljati u povratni vod zbog visoke temperature medija, te pumpe uzimati sa mogučnošću automatske ragulacije.

Sigurnosna, mjerna i zaporna oprema uključuje elemente solarnog sustava koji onemogućava povišenje temperature i tlaka u njemu iznad određenih vrijednosti, odnosno štete koja bi zbog toga mogla nastati. Tu spadaju ekspanzijska posuda, sigurnosni ventil, manometar, zaporni ventili, nepovratni ventili, redukcijski ventil, termometri.

Ekspanzijska posuda prihvaća promjene volumena vode, tj. osigurava stalni tlak u sustavu, mora zadovoljiti zahtjeve za povišenim temperaturama u sustavu, a dimenzionira se prema radnom tlaku, volumenu medija i najvišoj temperaturi koja može nastati u sustavu.

Sigurnosni ventil ispušta višak solarnog medija u slučaju prekoračivanja vrijednosti najvišeg dopuštenog tlaka u cijevnom razvodu. Ekspanzijska posuda i sigurnosni ventil pri izvođenju solarnog sustava se namještaju prema najnižem radnom pretlaku u solarnom krugu.

Manometar služi za nadzor tlaka i namještanje najnižeg radnog pretlaka.

Cjevovod solarne instalacije najčešće se izvodi Cu cijevima. U dužim periodima mirovanja a kod intenzivnog sunčevog zračenja temperature u kolektoru i preko 200 °C, drugi materijali nisu pouzdani. Poželjno je da budu što je moguće kraći i dobro izolirani.

Nepovratni ventil ugrađuje se, zbog prirodne cirkulacije medija, u kolektorski krug, između toplovodnog kotla i spremnika, te u cijevovod svježe vode kako bi se spriječilo pražnjenje spremnika i pad tlaka kada nestane vode u vodovodu.

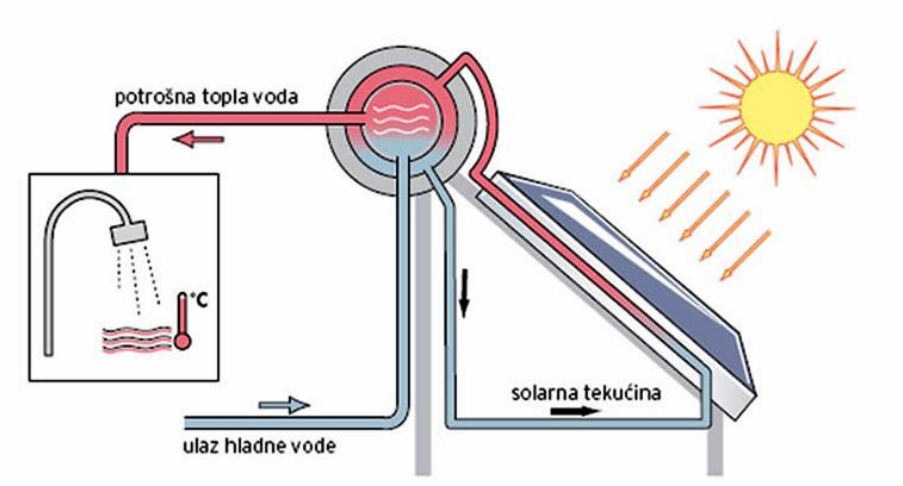
Redukcijski ventil osigurava stalni tlak sustava i montira se na cjevovod svježe vode.

Termostatski miješajući ventil ima ulogu spriječiti protok vruće vode (> 50 °C) prema potrošaću tako da PTV iz spremnika promiješa s hladnom vodom.

2.1.2.4. Solarni sustavi za pripremu potrošne tople vode

Dobivanje tople vode za kućanastva najjednostavniji je i najraširenији oblik iskorištavanja energije Sunčevog zračenja jel je efikasan, traži relativno mala ulaganja i jel je topla voda potrebna tijekom cijele godine. Potrošnja tople vode ovisi o godišnjem dobu, navikama i kulturi stanovanja, standardu življenja, klimatskim prilikama te mjerenju potrošnje vode. topla se voda više temperature miješa sa hladnom vodom što smanjuje njezinu potrošnju ali su veći gubici topline. Pri nižim temperaturama u toplovodnom sustavu manja je korozija i manje izlučivanje kamenca iz vode, stoga se ne preporučuje zagrijavanje vode na temperaturu višu od 50 ˚C, jel povišenje temperature za 10 ˚K pospiješuje elektrokemiske procese korozije za 10 %. Toplina dobivena preko solarnih kolektora tijekom dana pohranjuje se u toplinskom spremniku čiji volumen ovisi o dnevnoj potrošnji tople vode, a gubici o načinu izolitnosti spremnika ali i cijevnog sustava.

Najjednostravniji sutav iskorištenja Sunčeve energije je termosifonski (gravitacijski) sistem (Slika 2.9.). Sustav se sastoji od kolektora i spremnika za vodu međusobno povezanih cijevima. Da bi sustav ispravno radio, potrebno je spremnik postaviti iznad vrha kolektora. Topla voda iz kolektora diže se u gornji dio spremnika, tamo se hladi, spušta nazad u kolektor te potiskuje toplu vodu u spremnik. Razlika gustoće hladne i tople vode uzrokuje cirkulaciju vode kroz kolektor. Veća visinska razlika između dna spremnika i vrha kolektora uzrokuje veću cirkulaciju vode. Veći protok vode kroz kolektor povećava stupanj njegova djelovanja i smanjuje temperaturu vode. Površina kolektora obično je 3 do 8 m^2, a spremnik je obujma do 300 litara. Spremnik mora biti dobro izoliran i zaštičen od oborina.



Slika 2. 9. Princip rada solarnog sustava s prirodnom cirkulaciom

Sustav s ugrađenom crpkom i prisilnom cirkulaciom složeniji je od termosifonskog ali ima i niz prednosti. Jednostavni solarni sustav za zagrijavanje PTV-a je prikazan na slici 2.4.. Nosilac topline preuzima apsorbirano sunčevo zračenje u kolektoru i predaje ga vodi u akumulacijskom spremniku preko izmjenjivača topline, koji se sastoji od cijevi savijenih u spiralu radi bolje izmjene topline i zauzimanja manjeg prostora. U razdobljima nedovoljne insolacije ili povećane potrošnje u većini solarnih sustava voda se dogrijava preko dodatnog izmjenjivača topline kroz koji struji topla voda iz kotla na lož ulje, plin, el. energiju ili biomasu. U ljetnim mjesecima je uputno koristiti električni grijač ugrađen izravno u spremnik, s obzirom da sustav centralnog grijanja ne radi, pa zagrijavanje cijelog kotla i vode u sustavu nije ekonomično. Električni grijač i izmjenjivač topline za dogrijavanje kotlom se nalaze u gornjem dijelu spremnika jer se topla voda nakon zagrijavanja oko izmjenjivača solarnog kruga diže prema gornjim dijelovima spremnika, te je na taj način najhladnija voda uvijek u donjem dijelu spremnika u području oko izmjenjivača solarnog kruga što omogućuje rad kolektora pri nižim temperaturama nosioca topline, odnosno veću efikasnost u radu.

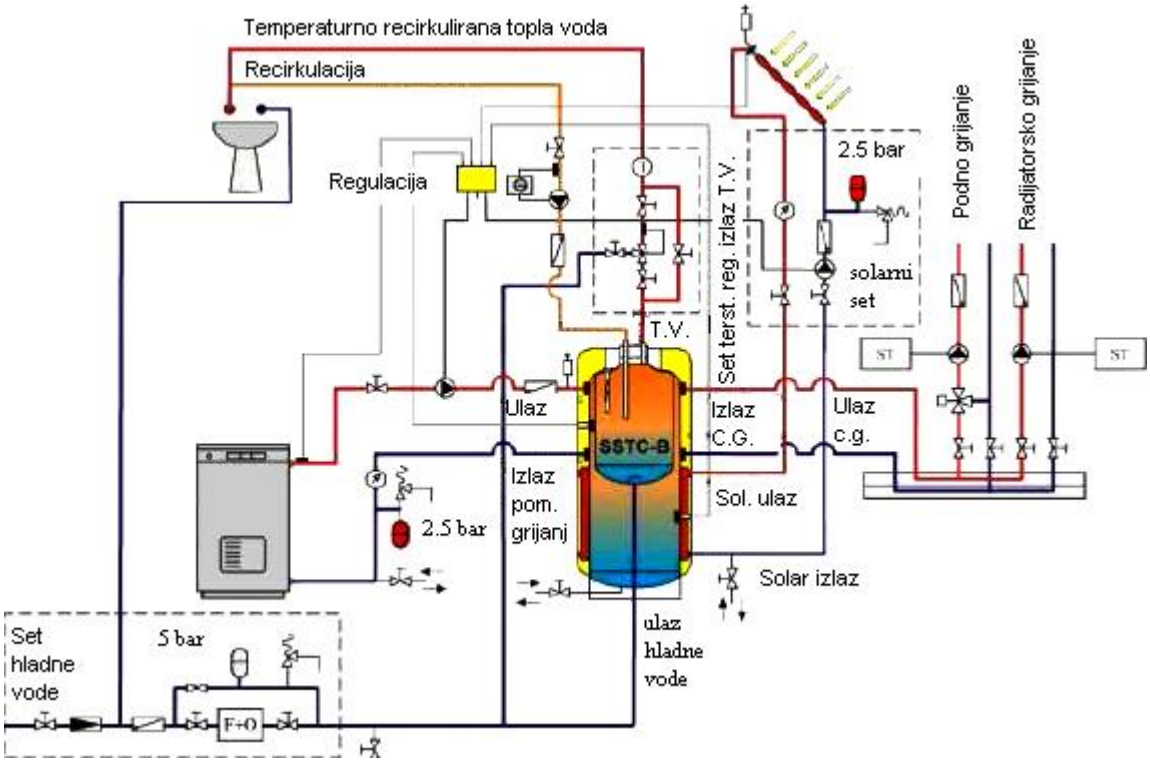
Na slici 2.8. prikazan je solarni sustav za potrebe pripreme tople vode sa dodatnim grijanjem. Razlika spram sustava sa slike 2.4. je u izvedbi spremnika topline i između ostalog i namjeni ovog sustava odnosno ovaj se sustav može koristiti i za grijanje prostora uz dodatni izvor topline, kao što je toplinska pumpa. U prikazanom primjeru spremnik nema klasični izmjenjivač topline u obliku cijevi, kao na slici 2.7., već radni medij kolektorskog kruga struji kroz dvostruki plašt spremnika od njegovog vrha do dna, te na taj način toplinu predaje vodi u spremniku. Prolaz fluida kolektorskog kruga nalazi se na najnižem, tj. najhladnijem dijelu spremnika, kako bi se ostvario što efikasniji rad kolektora.

Sunce zagrijava apsorber u kolektoru i solarni fluid koji u njemu cirkulira, koji se dalje putem cirkulacione crpke prenosi do donjeg izmjenjivača u spremniku u kojem se preko izmjenjivača zagrijava sanitarna voda. Solarna automatika uključuje crpku u solarnom krugu uvijek kada je temperatura u kolektoru veća od one u donjem dijelu spremnika. Razlika temperature utvrđuje se pomoću temperaturnog osjetnika na kolektoru i u solarnom spremniku potrošne tople vode. Ako temperatura padne ispod određene granice automatika isključuje crpku solarnog kruga jer se ne može očekivati značajno energetsko iskorištenje a crpka ne bi trebala beskorisno trošiti struju. Ako sunčeva energija nije dostatna za zagrijavanje PTV-a istu je potrebno dodatno zagrijati na zadanu temperaturu pomoću drugog konvencionalnog energenta / izvora (struja, toplinska pumpa).

2.1.2.5. Solarni sustavi za grijanje prostora

Uz pripremu potrošne tople vode solarni se sustavi koriste i za grijanje prostora u vidu niskotemperaturnog sustava grijanja kao što je podno ili zidno grijanje. Sustavi koji su namijenjeni i zagrijavanju PTV-a i grijanju prostora zahtijevaju veću površinu kolektora i veću zapreminu spremnika. Kod takvih se sustava javljaju problemi viška prikupljene energije u ljetnim mjesecima, koja se onda može koristiti primjerice za zagrijavanje bazena, apsorpcijsko hlađenje prostora ili pak za pokrivanje znatno većih potreba za PTV-om u ljetnim mjesecima, kao što je to slučaj s apartmanima u obiteljskim kućama i hotelima tijekom ljetne sezone, a nedovoljna toplinska energija zimi i dodatni sustav grijnja.

Kod pasivnih i niskoenergetskih se građevina, zbog niske potrošnje energije za grijanje, moguće je i u zimskim mjesecima pokriti svu potrebu za toplinom, ali je potrebno osigurati minimalno 50 lit zapremine spremnika po svakom m^2 instalirane kolektorske površine kako bi se izbjeglo pregrijavanje spremnika ljeti.



Slika 2. 10. Shematski prikaz sustava solarnog grijanja i pripremu PTV-e

Na slici 2.10. prikazan je primjer kombiniranog sustava za pripremu PTV-a i grijanje prostora. Ovdje se koristi spremnik za vodu iz sustava grijanja koji u sebi imaju jedan manji s PTV-om. On iz manjeg spremnika izmjenjuje toplinu s vodom iz vanjskog spremnika koja se indirektno zagrijava kolektorima preko izmjenjivača u donjem dijelu spremnika. U gornjem dijelu spremnika nalazi se izmjenjivač pomoćnog izvora topline (npr. toplinska pumpa).

Da bi se održala što veća razlika temperatura između donjih i gornjih dijelova spremnika, ugrađuje se dodatni manji spremnik (Slika 2.10.) izravno napajan svježom vodom, čime se sprječava miješanje tople i hladne vode u većem spremniku što, između ostalog, povoljno utječe na povećanje efikasnosti rada kolektora.

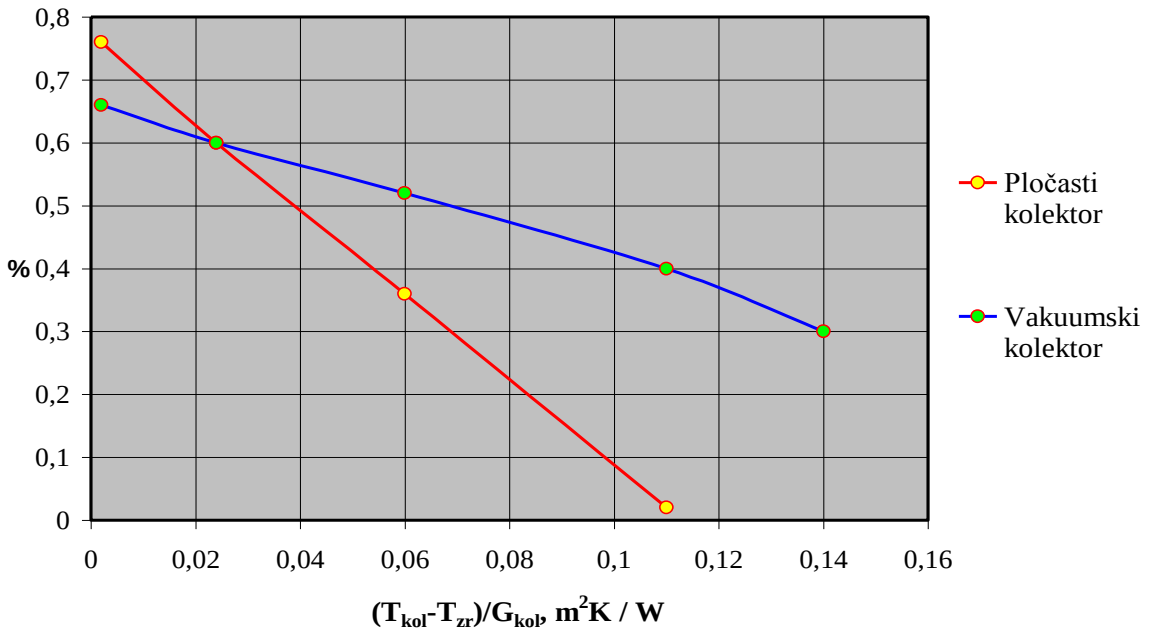
Sustav sa slike 2.10. radi na sljedećem principu:

Sunce zagrijava apsorber u kolektoru i solarni fluid koji u njemu cirkulira te se fluid putem cirkulacione crpke prenosi do donjeg izmjenjivača spremnika, u kojem se preko izmjenjivača zagrijava sanitarna voda. Solarna automatika uključuje crpku u solarnom krugu uvijek kada je temperatura u kolektoru veća od one u donjem dijelu spremnika. Iz manjeg spremnika, koji je u solarnom spremniku uronjen u kotlovsku vodu, (vodu za grijanje prostora) koristimo sanitarnu vodu. Kod potrebe za grijanjem prostora zagrijana voda od sunčeve energije iz donjeg dijela spremnika odlazi u sustav centralnog grijanja (podno, zidno, radijatorsko). Dodatni izvor za dogrijavanje ukoliko Sunca nema dovoljno je toplinska pumpa. Ovaj je sustav naročito isplativ u turizmu pošto ljeti daje puno tople sanitarne vode a zimi toplu vodu i grijanje od Sunca.

2.1.2.6. Efikasnost i spajanje kolektora

Efikasnost kolektora (η) je definirana omjerom korisne topline (q), prikupljene kolektorom i intenziteta upadnog sunčevog zračenja na plohu kolektora (G). Na efikasnost kolektora ponajviše utječu svojstva premaza apsorbera te kvaliteta pričvršćivanja cijevi za apsorbersku ploču (tj. veličina toplinskog otpora provođenju topline prema nosiocu topline u cijevima). Iz dijagrama na slici 2.11. vidimo da efikasnost kolektora pada sa smanjenjem insolacije i temperature zraka, te s povećanjem srednje temperature nosioca topline. Stoga je poželjno osigurati da temperatura u kolektoru ne bude previsoka, s obzirom na željenu temperaturu vode u spremniku (~50°C). To postižemo pravilnim odabirom protoka nosioca topline (tj. pumpe i promjera cjevovoda) te načinom spajanja i brojem kolektora u spoju.

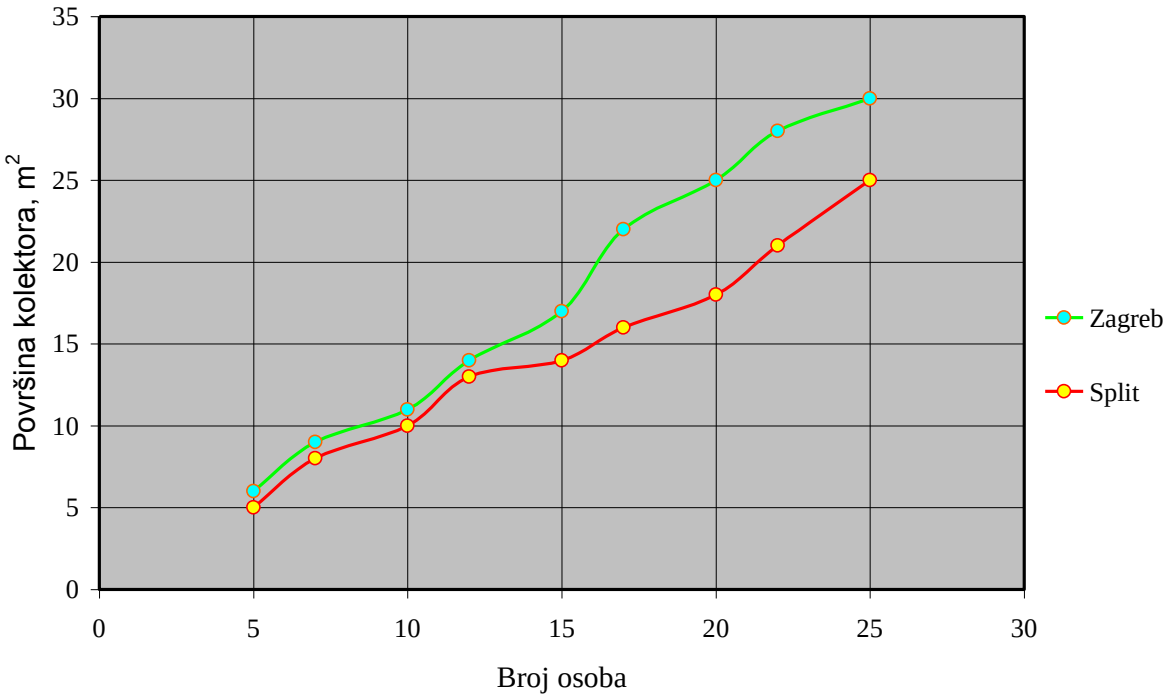
Kolektori se mogu montirati u paralelnom i serijskom spoju. Paralelni spoj omogućuje približno jednaku temperaturu na ulazu i izlazu svakog kolektora, dok kod serijskog spoja izlazna temperatura iz jednog kolektora predstavlja zapravo ulaznu temperaturu u drugi. Iz tog razloga serijski spoj omogućuje veći prirast temperature nosioca topline prilikom prolaza kroz grupu, ali i nižu ukupnu efikasnost svih kolektora u spoju zbog znatno viših prosječnih temperatura nosioca topline od temperature vode u spremniku, te uz sve to i veći pad tlaka. Iz tih se razloga češće koristi paralelni spoj unatoč tomu što zahtijeva veće protoke, cjevovode većih promjera i dulje vrijeme zagrijavanja vode u spremniku zbog manjeg prirasta temperature nosioca topline u spoju (tj. manje razlike temperature između nosioca topline i vode u spremniku). Serijski spoj se češće koristi u područjima niže insolacije gdje bi paralelni spoj zahtijevao prevelike izmjenjivačke površine u spremnicima. Protok nosioca topline kroz kolektor mora biti takav da se u svakom paralelno spojenom kolektoru (ili serijskom spoju) ostvari prirast temperature od 5 do 15 °C. To se postiže ukoliko je protok oko 30-70 l/h po m^2 površine apsorbera. Niži protoci mogu uzrokovati značajniji pad efikasnosti zbog lošijeg odvođenja topline u cijevima te previsokih temperatura nosioca topline u kolektoru. Broj kolektora u paralelnom spoju ne bi trebao biti veći od 5 do 6 zbog izraženijeg problema jednolike raspodjele protoka nosioca topline kroz svaki pojedini kolektor, u slučaju njihovog većeg broja u spoju.



Slika 2. 11. Krivulja efikasnosti pločastog i vakuumskog kolektora

2.1.2.7.Dimenzioniranje solarnih sustava za PTV-u

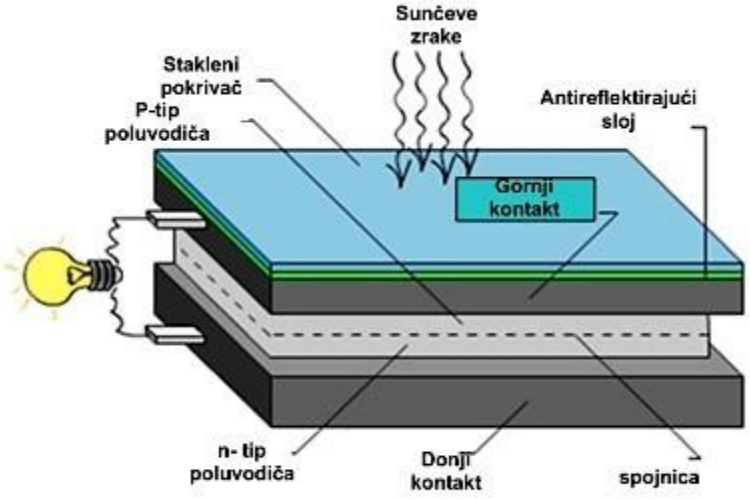
Odabir broja kolektora, njihovog nagiba te veličine spremnika solarnih sustava za pripremu PTV-e, ponajviše ovisi o dnevnoj potrošnji vode u pojedinom dijelu godine, klimatskom području, te orijentaciji kolektora u odnosu na strane svijeta. Tipične vrijednosti za obitelj s 4-5 članova su 4-6 m^2 kolektora u kontinentalnom dijelu i do 4 m^2 u primorskom dijelu uz spremnik zapremine 200-300 l. Tada je kroz cijelu godinu moguće prikupiti oko 600 kWh/m^2 toplinske energije u kontinentalnom dijelu i oko 1000 kWh/m^2 u primorskom dijelu naše zemlje. Ti se podaci odnose na visokoučinske pločaste kolektore instalirane pod kutem 45° i usmjerene prema jugu, uz pokrivanje svih potreba za energijom u ljetnim mjesecima. Dijagram na slici 2.12. pokazuje okvirne vrijednosti optimalne kolektorske površine u ovisnosti o broju osoba. S obzirom na vrlo niske vrijednosti insolacije tijekom hladnije polovice godine u našim krajevima, te posebice niske temperature u kontinentalnom dijelu koje dodatno snizuju efikasnost kolektora (oko 35% zimi dok u ljeti >55%), uporaba solarnih sustava za grijanje prostora zahtijeva stručni odabir i dimenzioniranje sustava uz dobru procjenu stvarnih potreba za energijom.



Slika 2. 12. Optimalna površina kolektora (nagib 45 ˚) u ovisnosti broja osoba

2.1.2.8. Fotonaponske ćelije

Fotonaponske ćelije su zapravo poluvodički elementi koji direktno pretvaraju energiju Sunčeva zračenja u električnu energiju. Zatvorimo li strujni krug između solarnog kolektora i nekog potrošača, npr. svijetiljke, struja će poteći i potrošać će biti opskrbljen el.energijom, odosno naša svijetiljka će zasvijetliti (slika 2.13.).



Slika 2. 13. Princip rada fotonaponske ćelije

Napravljene su od poluvodičkog materijala (najčešći silicija (Si)) u obliku tankih pločica povezanih u module. Dodavanjem malih količina primjesa (poput borona, fosfora) osnovnom materijalu, nastaju pozitivno i negativno nabijene poluvodičke pločice koje spojene zajedno, kada ih se osvijetli, generiraju istosmjernu električnu struju u vanjskom krugu. Jakost struje je proporcionalna intenzitetu Sunčevog zračenja. Tipična monokristalna Si fotoćelija proizvodi napon od oko 0.5 V i struju manju od 3 A, tako da je potrebno spojiti više takvih ćelija u seriju da bi se dobio napon veći od 12 V jer je to nominalni napon većine baterija koje se pune uz pomoć fotonaponskih ćelija. Tako spojene ćelije formiraju fotonaponske module koji imaju maksimalnu snagu oko 73 W (insolacija od 1000 W/m^2) i površinu oko 0,5 m^2 (1 × 0,5 m). Prema tome, efikasnost ovakvih monokristalnih fotonaponskih ćelija je oko 14.5%.

Ovdje je potrebno naglasiti da snaga (time i efikasnost) pada s povišenjem temperature ćelije tako da prethodne vrijednosti mogu biti niže u realnim uvjetima eksploatacije. Pored monokristaličnih Si ćelija postoje i jeftinije polikristalićne ćelije čija je kristalna struktura manje pravilna a efikasnost 10%, te ćelije od amorfnog silicija koje su daleko najjeftinije, ali

imaju malu efikasnost od samo 4%. Električna energija proizvedena fotonaponskim ćelijama se uskladištava u baterijama sličnim onima kakve se koriste kao akumulatori u automobilima.

Punjenje/pražnjenje se regulira posebnim regulatorom, a obično se ugrađuje i pretvarač istosmjerne struje u izmjeničnu, prikladnu za pogon uređaja u kućanstvu (Slika 2.14.). Pretvorba kemijske energije baterije natrag u električnu energiju (gubici 20%) te ostali gubici u navedenim regulatorima i pretvaračima, dodatno smanjuju efikasnost pretvorbe sunčeve u korisnu električnu energiju.

Prednosti solarnih fotonaponskih sustava su:

- visoka pouzdanost
- niski troškovi rada
- minimalna potreba za održavanjem i bez potrebe nadolijevanja goriva
- najbolji urbani obnovljiv izvor energije
- jednostavna mehanika, nema pokretnih dijelova koji su potrebni za rad sustava
- primjenjivost sustava praktički bilo gdje na Zemlji
- ne buče i ne zaganuju okoliš
- pružaju mogućnost uvođenja električne energije na mjestima gdje bi to inače bilo preskupo ili neizvodivo

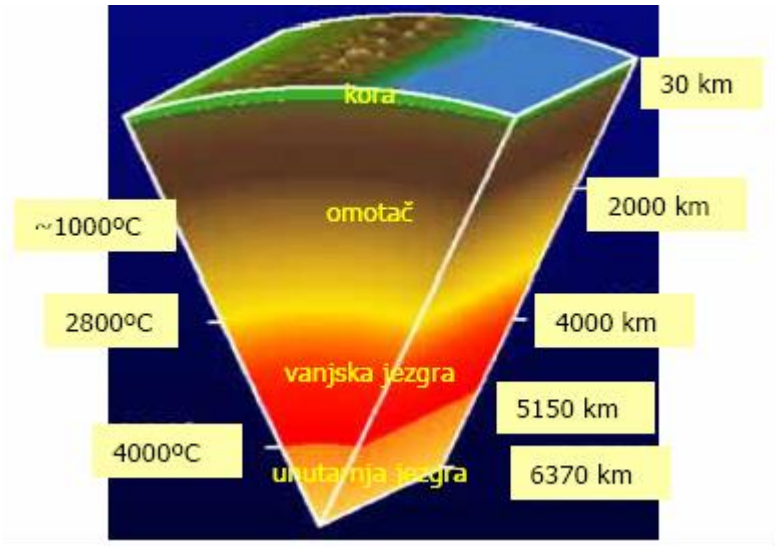


Slika 2. 14. Princip rada fotonaponskog autonomnog sustava

2.2. Dizalice topline

2.2.1. Geotermalna energija

Toplina u unutrašnjosti Zemlje rezultat je formiranja planeta iz prašine i plinova prije više od četiri milijarde godina, a radioaktivno raspadanje elemenata u stijenama kontinuirano regenerira tu toplinu, pa je prema tome geotermalna energija obnovljivi izvor energije. Ova energija se uglavnom generira iz Zemljine jezgre, odnosno Zemljina središta, budući da temperatura u središtu zemlje doseže i temperaturu preko 6000 °C. Manji dio te energije generira se iz ljuske zemlje, odnosno zemljinog vanjskog sloja raspadom radioaktivnih elemenata koji se nalaze u svom kamenju. Kako se spuštamo u dublje u Zemljinu unutrašnjost tako otprilike svakih 36 metara temperatura poraste za 1 °C, što nazivamo temperaturni gradijent ($G = (T - T_0)/d$, (K/m)), a posljedica tog temperaturnog porasta je toplinski tok ($q = \lambda * G$, (W/m^2)) iz unutrašnjosti ka površini Zemlje (slika 2.15.). U prirodi se ta energija najčešće pojavljuje u formi vulkana, izvora vruće vode (toplica) i gejzira, odnosno na područjima gdje se toplina koncentrira blizu površine zemlje.



Slika 2. 15. Raspodjela temperature u unutrašnjosti zemlje

Geotermalna se energija može koristiti na dva osnovna načina: izravni i neizravni.

Neizravno se primjenjuje kod geotermalnih elektrana, di se latentna toplina medija (para ili vruća voda temperature veće od 120 ˚C) pretvara u kinetičku energiju, u vidu vrtnje rotora turbine, odnosno vrtnjom vatila generatora u električnu energiju. U tu se svrhu koriste visokotemperaturni izvori di se suha para dovodi direktno do lopatica turbine ili, ako je riječ o vrućoj vodi, prvo se odvaja kapljevita faza pa se dovodi na lopatice turbine.

Izravna primjena geotermalne energije je najjednostavnija primjena ovo energije bez pretvorbe u druge oblike a koriste se niskotempereturni i srednjetemperaturni topinski izvori. Ovisno o temperaturi medija geotermalna se energija koristi, u toplinske svrhe, za: grijanje prostora, poljoprivreda i ribnjačarstvo, turizam, zdravstvo, industrija te promet. U daljnjem izlaganju govoriti ćemo o izravnoj primjeni geotermalne energije pomoću toplinskih pumpi (dizalica topline) za potrebe grijanja, hlađenja prostora te pripreme tople vode.

2.2.2. Značajke i princip rada dizalice topline

Toplinske pumpe, odnosno dizalice topline, su uređaji koji dovode energiju (toplinsku), s niže na višu temperaturnu razinu, uz dodatnu energiju (rad) ljevokretnim kružnim procesom s odgovarajućim medijem.

Za svoj rad zahtijevaju dva toplinska spremnika:

- toplinski izvor: prostor ili medij niže temperaturne razine od kojeg se toplina odvodi (najčešće je neposredna okolica: tlo, površinske ili podzemne vode, okolni zrak, otpadni, istrošeni ili onečišćeni zrak iz prostorija ili raznih procesa, odnosno prikladni posredni medij)
- toplinski ponor: prostor ili medij više temperaturne razine kojem se tolpina dovodi (najčešće su to zrak u prostoriji, voda u sustavu grijanja, potrošna topla voda, odnosno prikladni ogrijevni medij)

Isti princip rada kao i toplinske pumpe imaju rashladni uređaji ali s drugom, suprotnom namjenom. Rashladnim se uređajima od nekog prostora (toplinski izvor) odvodi toplina, hladi ga se, dok se toplinskim pumpama prostoru (toplinskom ponoru) dovodi toplina, grije ga se. Za njihovu učinkovitu primjenu treba ispuniti nekoliko osnovnih uvjeta:

- raspoloživost toplinskog izvora dovoljno visoke i razmjerno konstantne temperature dulje vrijeme (npr. cijele sezone grijanja)
- mala udaljenost toplinskih izvora i ponora
- umjerena temperaturna razlika toplinskog ponora (npr. niskotemperaturni sustav grijanja – podno grijanje)
- veliki broj sati uporabe tijekom godine (radi veće isplativosti)
- visoke cijene drugih izvora energije (čime se ostvaruju veće uštede).

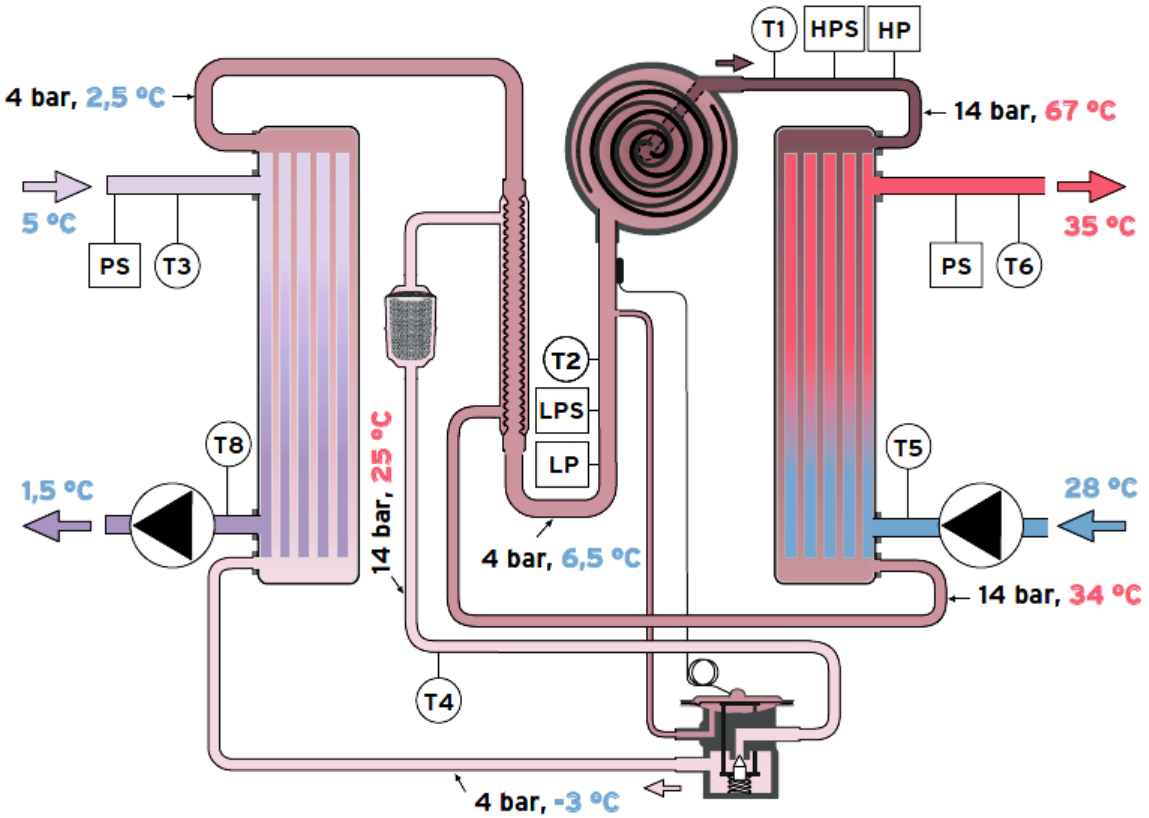
Dizalice topline najčešće se koriste kao osnovni ili dodatni izvor topline kod sustava grijanja (hlađenja) i pripreme potrošne tople vode u kučanstvima, stanovima, javnim zgradama isl. Mogu se koristiti, u manjoj mjeri, za zagrijavanje vode u bazenima, zagrijavanje

staklenika, raznih pogona idr. Pošto su najprikladnije za primjenu niskotemperaturnog-podnog grijanja, koje je najprimjerenije za dobro izolirane objekte sa malom potrebom za toplinskom energijom kao što su pasivne kuće, tu su toplinske pumpe najbolji izbor.

S obzirom na izvor dodatne energije za ostvarivanje kružnog procesa, mogu biti:

- kompresijske, kod kojih se proces radne tvari omogućava dovođenjem mehaničkog rada pomoću kompresora (najčešće u primjeni)
- sorpcijski (apsorpcijske i adsorpcijske), kod kojih se proces radne tvari omogućava dovođenjem toplinske energije

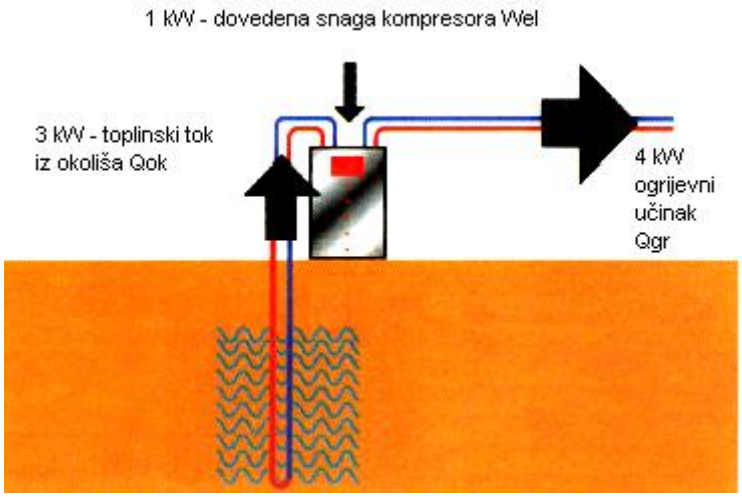
Rad kompresijske toplinske crpke temelji se na oduzimanju niskotemperaturne topline iz okoline i grijanju kao drugog medija, najčešće vode, koja se zatim rabi za grijanje prostora ili sanitarne vode. Dobivena toplina rezultat je termodinamičkog procesa, a ne izgaranja goriva kao kod klasičnih sustava grijanja. Kako je već rečeno, proces prijenosa topline obavlja se po ljevokretnom termodinaničkom procesu, uz prijenos topline s nižeg na višu temperaturnu razinu, naravno uz dovođenje energije, rada, izvana (kompresorom), uz strujanje prikladnog radnog medija (slika 2.16.).



Slika 2. 16. Princip rada kompresijske dizalice topline

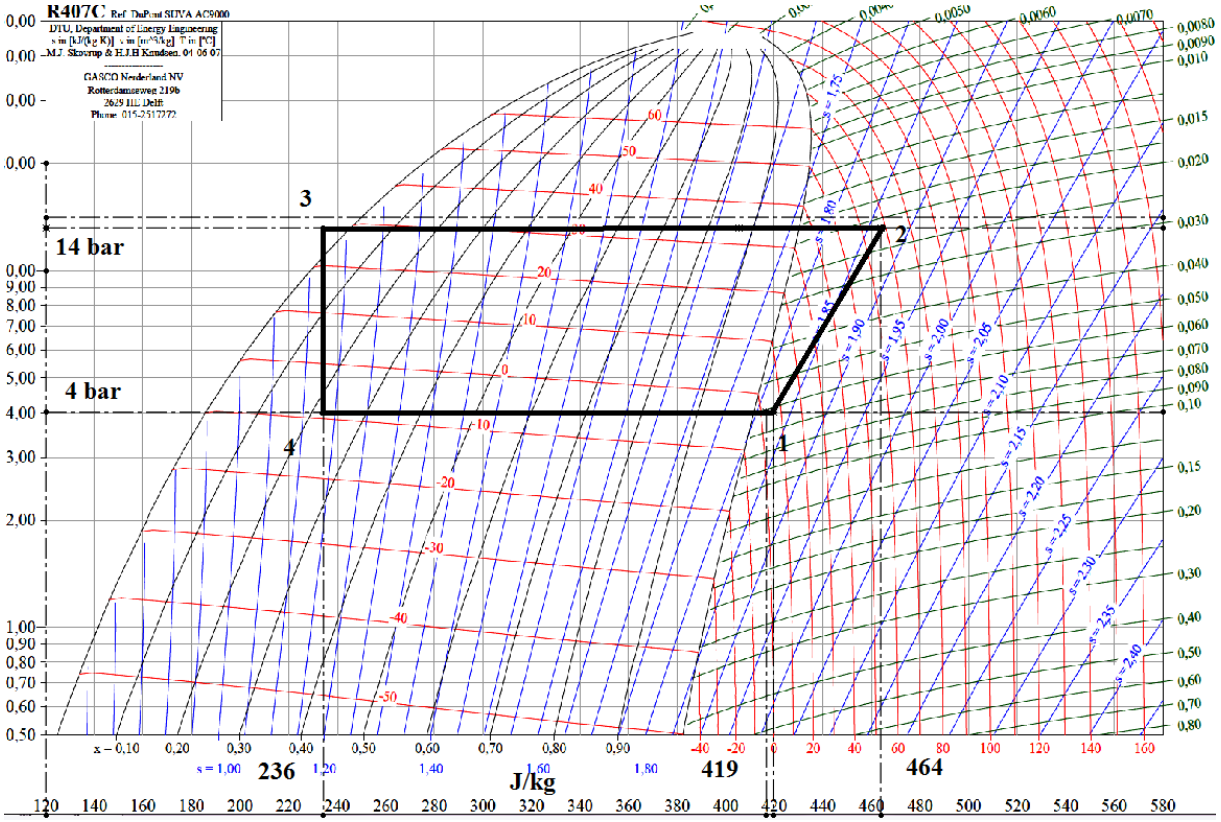
Prilikom primanja topilne iz okoliša tekući radni medij (rashladno sredstvo može biti amonijak, freoni, izobutan isl.) se nalazi na nižem tlaku na primarnoj (hladnoj) strani u isparivaču. Temperatura okoline viša je od temperature isparavanja radnog medija, pri tlaku na kojem se nalazi radni medij u isparivaču, tako da radni medij isparava i pritom uzima toplinu iz okoline. Temperaturna razina može pritom biti niža i od 0 ^{o}C. Kompresor usisava radni medij iz isparivača i komprimira ga, pri čemu se radnom mediju povisuju tlak i temperatura. Nakon kompresora, radni medij odlazi na sekundarnu stranu (toplu) stranu (sustav grijanja) u kondenzator, koji je oplakivan ogrjevnom vodom. Temperatura ogrjevne vode je niža od temperature kondenzacije radnog medija tako da radni medij kondenzira i ponovno se ukapljuje. Pri tom se toplina koju je radni medij primio na isparivaču i dodatno dovedena energija na kompresoru preda je ogrjevnoj vodi. Nakon toga se radni medij preko ekspanzijskog ventila vraća u isparivač. U ekspanzijskom ventilu radni medij ekspandira sa višeg tlaka kondenzatora na niži tlak isparivača i ohlađuje se. Time je zatvoren kružni ciklus.

Suvremene toplinske crpke na električni pogon dobivaju oko 3/4 topline potrebne za grijanje iz okoliša, a preostala četvrtina je električna energija koja se koristi za pogon kompresora. Iz omjera predane topline grijanja (uključujući toplinu kompresora koja nastaje iz dovoda struje) i utrošene električne energije, dobije se koeficijent učinka ($\beta_H = \beta_R + 1 = (Q_{ok}/W_{el}) + 1 = 3 + 1 = 4$), koji opisuje djelotvornost toplinske crpke (slika 3.18.). Koeficijent učina toplinskih crpki možemo definirati kao količinu toplinske energije u džulima (J) koja se dobije za potrebe grijanja nakog prostora dobivene na račun jednog džula (J=Wh) uloženog rada kompresora, taj se učin, faktor grijanja, kreče od 3 od 5.



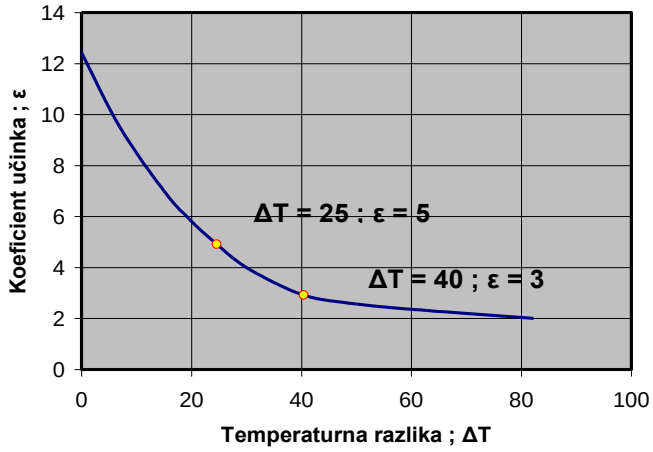
Slika 2. 17. Toplinski učin dizalice topline

Temperature i tlakovi kružnog procesa obično se prikazuju u "lg p-h dijagramu". Za osnovni proces toplinske crpke zemlja/voda sa temperaturom okoline -2 ˚C i polaznog voda 35 ˚C, pojedinačni radni procesi, isparavanje (4-1), kompresija (1-2), kondenzacija (2-3) i ekspanzija (3-4) prikazani su crnim linijama (slika 2.18.).



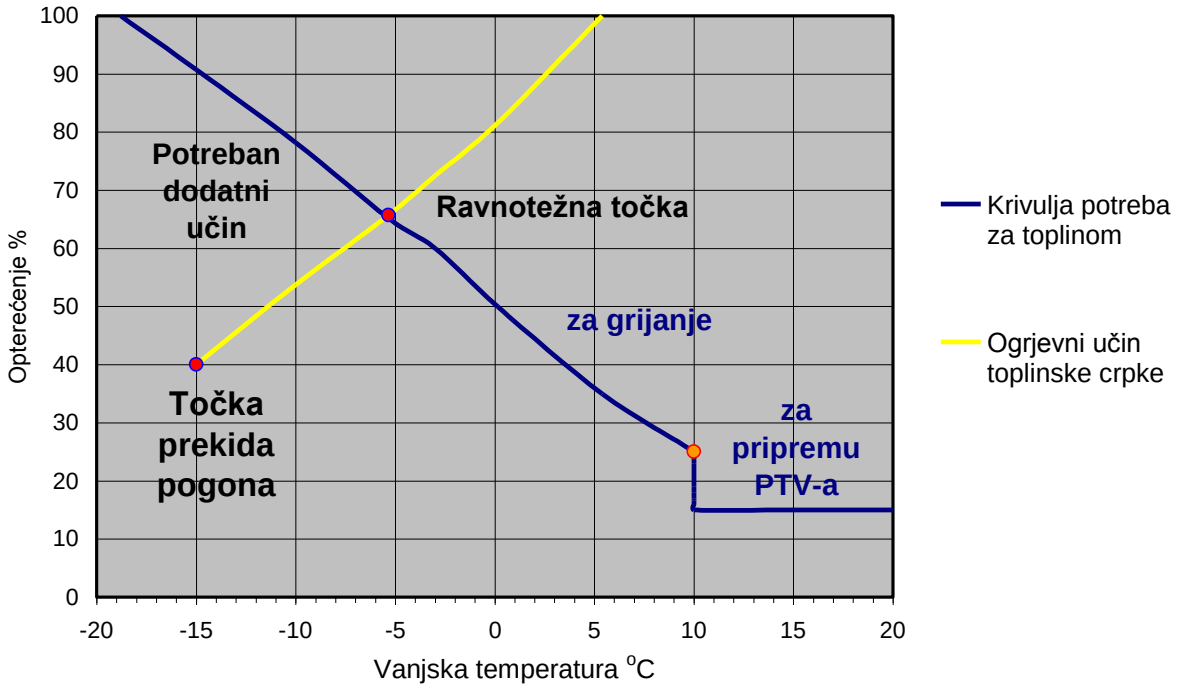
Slika 2. 18. Procesi toplinske pumpe u lg p-h dijagramu

Što je manja temperaturna razlika između temperature toplinskog izvora i temperature toplinskog ponora, to će biti veći učinak grijanja, a manja pogonska snaga kompresora, odnosno veći toplinski učinak (Slika 2.19.), jel vrijedi $\beta_H=Q_{tc}/W_{el}=T_{od}/(T_{od}-T_{do})$.



Slika 2. 19. Ovisnost toplinskog učina o temperaturama topinskih izvora i ponora

Dizalice topline razmjerno su skupi uređaji, te se s ekonomskog stajališta ne preporuča uvijek dimenzioniranje sustava na puno opterećenje, pogotovo kad je izvor topline zrak. Ako bi se one dimenzionirale za najveće toplinsko opterećenje sustava, u većem dijelu godine bi sustav bio predimenzioniran, osim za najhladnijih dana, pošto njihov učin ponajviše ovisi o temperaturama vanjskog zgraka (izvor) i prostorija koje treba zagrijavati (ponor). Kod dimenzioniranja toplinskih crpki najvažniji korak je određivanje ravnotežne točke (slika 2.20.). Ona je određena temperaturom kod koje toplinski učin crpke odgovara potrebama građevine. Ako je vanjska temperatura niža od ravnotežne točke tada toplinska crpka ne zadovoljava i potreban je dodatni izvor topline.



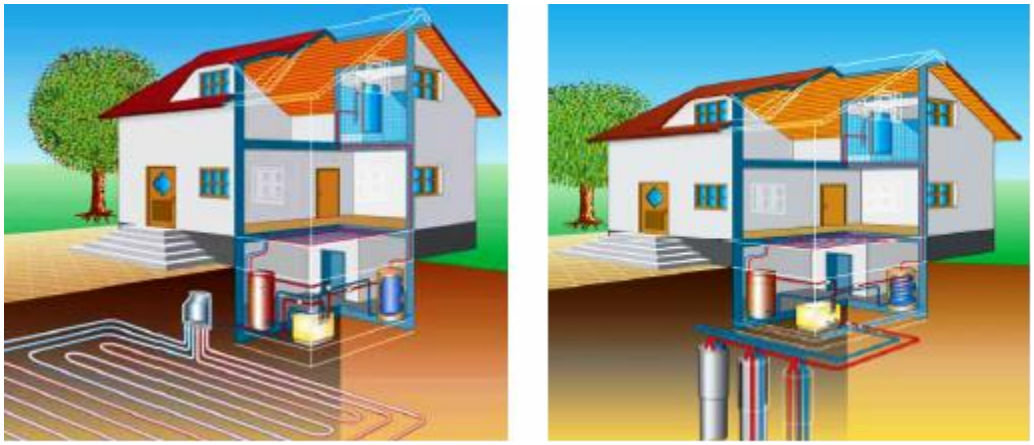
Slika 2. 20. Određivanje ravnotežne točke toplinskih crpki sa zrakom kao izvorom

Na krivulji učina toplinske crpke imamo tri karakteristične točke. Ravotežna točka u kojoj se sijeku krivulje crpke i potreba za toplinom građevine, druga točka diskontinuiteta , na oko 3 ˚C za potrebno odleđivanje sustava i treća je točka prekida kod koje nije dovoljna temperatura izvora za pogon crpke već je potrebno uključenje dodatnog izvora topline.

2.2.3. Dizalice topline tlo-voda

Temperatura Zemlje tijekom godine je prilično jednolična, na oko 2 m iznosi od 7 do 13 ˚C, pa predstavlja dobar spremnik topline. Ta se toplina može iskoristiti postavljanjem zemnih horizontalnih koletora i vertikalnih sondi (slika 2.21.). Akumulirana toplina, u horizontalnim kolektorima ili vertikalinim sondama, se putem medija u primarnom krugu

(rasolina = voda + sredstvo protiv smrzavanja) prenosi do isparivača di se toplina predaje vodi u sekundarnom krugu, krugu grijanja koje najčešće podno (niskotemperaturno).



Slika 2. 21. Iskorištenje zemljine topline (vertikalne sonde i horizontalni kolektori)

Kod horizontalnih se kolektora polažu plastične cijevi na dubinu od 1,2 do 1,5 m. Pojedine sekcije cijevi, sve iste dužine, ne smiju biti duže od 100 m radi previsokih padova tlaka te prevelike snage dvodne pumpe te istih protoka. Pomoću rada crpke rasolina struji cijevima te pritom oduzima toplinu iz zemlje. Količina iskoristive topline i površina koju cijevi prekrivaju ovisi o karakteristikama zemlje i atmosferskim prilikama. Svojstva provođenja i akumuliranja topline su veća ako ima više vode i minerala te ako je manja poroznost zemlje. Učinci oduzimanja za zemlju se kreću od 10 do 35 W/m^2.

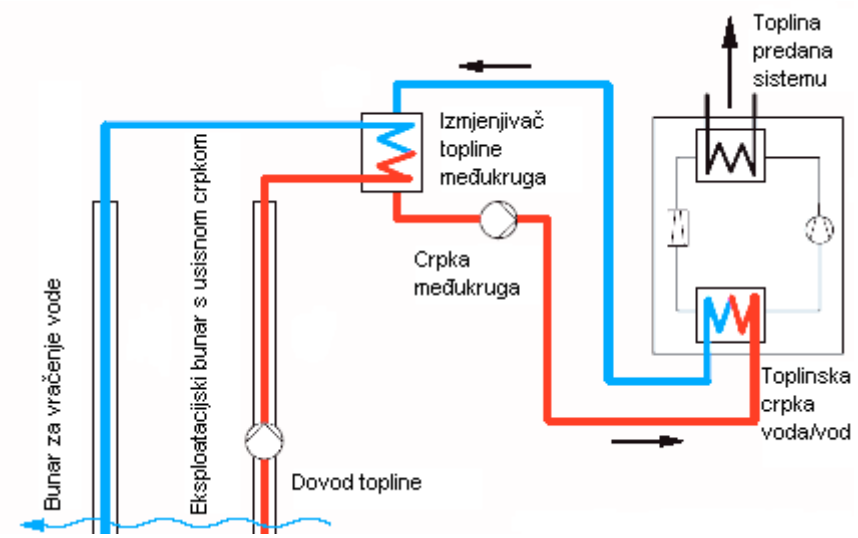
Kod instalacija sa zemnim sondama je bitna dubina i raspored sondi. U izbušene rupe se postavljaju sonde te se zatim prostor između sonde i zemlje ispunjava punilom. Najčešće se postavljaju 4 paralelne sonde, 4 cijevi „U“ oblika. Preduvijet za postavljanje sondi je poznavanje svojstva tla, raspored slojeva, otpor tla, postojanje podzemnih voda s određivanjem količine vode i njenog strujanja. Sredji učinak pri normalnim hidrogeološkim uvijetima po metru sonde iznosi oko 50 W, a ovisno o faktoru provođenja topline λ, tipu tla te utjecaju vode taj se učinak može bitno razlikovati. Za prosječnu niskoenergetsku kuću dovoljna je toplinska pumpa s učinom grijanja od 6 kW, za to je potrebno oko 95 m dubine bušotine za sonde.Cijevi horizontalnih kolektora i vertikalne sonde se priključuju na sabirnik rasoline, odnosno na polazni i povratni vod. Rasolina struji od povratnog voda kroz cijevi ili sonde kroz zemlju, tamo podiže svoju toplinsku razinu dolazi do polaznog voda od kojeg strujiprema isparivaču di predaje toplinu rashladnom mediju sekundarnog kruga (vodi) te se tako „ohlađena“ vraća u povratni vod sabirnika cijevi.

2.2.4. Dizalice topline voda-voda

Temperatura podzemnih voda kreće se od 7 do 12 ˚C tijekom cijele godine pa je pogodna kao spremnik topline za dizalice topline. U svrhu grijanja možemo iskoristiti vode rijeka, akumulacijskih jezera ili podzemne vode. U slučaju iskorištenja topline podzemnih voda potrebna su dva bunara, ekspoatacijski i povratni, međusobno udaljeni minimalno 15 m.

Voda se iz eksploatacijskog bunara dovodi do izmjenjivača topline međukruga (protustrujni), di se toplina vode prenosi na medij međukruga (rasolina-voda), tako „zagrijan“ medij se dovodi u isparivač di se zagrijava voda u sekundarnom krugu dizalice topline (slika 2.22.). Uvođenjem međukruga smanjuje se opterećenje dizalice topline, povečava se učinak grijanja oko 5 %, te se dobiva jednoličniji pijelaz topline sa vode na rasolinu nego kod direktnog prijelaza sa podzemne vode na rashladno sredstvo u sekundarnom krugu dizalice. Kvaliteta podzemnih voda mora biti u granicama dopuštenog od strane proizvođača dizalica topline.

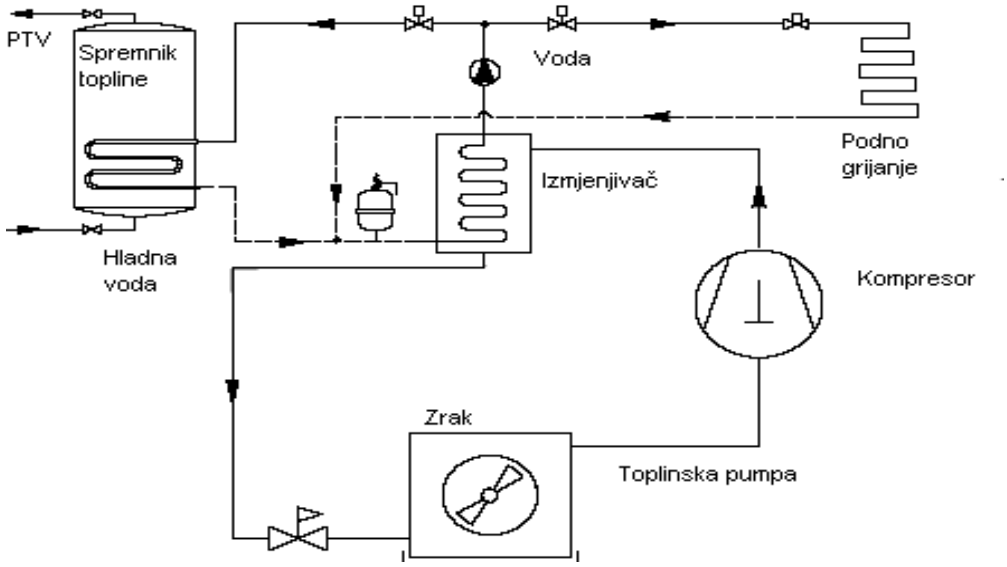
Jezera su zbog veće akumulacije u pogledu temperature vode obično povoljnija od rijeka. Kod dovoljno velikih jezera i na dovoljno velikim dubinama (oko 20 do 30 m), temperatura vode u zimskom vremenu ne pada ispod 5 °C. Nedostatak ovog izvora je ograničenost njegove primjene samo na mali broj potrošača koji leže uz samo jezero. Korištenje dizalice topline s ovakvim izvorima topline ekonomski je opravdano kod vanjskih temperatura iznad granice od 0 °C. Niske temperature izvora topline smanjuju toplinski učin i ekonomičnost dizalice topline. Na osnovi iskustva i proračuna, temperaturna razlika vode ohlađene u isparivaču ne bi trebala biti manja od 4°C.



Slika 2. 22. Princip rada dizalice topline,voda/voda, primjenom eksploatacijskog bunara

2.2.5. Dizalice topline zrak-voda

Najveći i najpristupačniji ogrjevni spremnik topline za dizalice topline predstavlja okolišnji zrak. Orebreni izmjenjivač topline s prisilnom cirkulacijom zraka koristi se za izmjenu topline između zraka i radne tvari (slika 2.23.). Za ove vrste dizalice topline važna je temperatura okolišnjeg zraka i stvaranje leda na orebrenim sekcijama isparivača. Loša strana zraka kao izvora topline su varijacije njegove temperature, što znatno utječe na toplinski učin dizalice topline. Smanjivanjem temperature okoline smanjuje se i ogrjevni učinak dizalice topline. Ove se dizalice topline, kako smo već rekli, ne dimenzioniraju na puno opterećenje, odnosno za najnepovoljniju radnu točku, jer bi u najvećem dijelu godine sustav bio predimenzioniran. Za stvaranje leda na cijevima isparivača najkritičnije su temperature vanjskog zraka od –3 do +2 °C, jer kod tih temperatura vanjski zrak ima veliki sadržaj vlage. Niže vanjske temperature nisu toliko kritične, jer je sadržaj vlage u zraku veoma malen, pa je i količina nastalog leda malena. Neželjeni utjecaj leda i odleđivanje isparivača treba uzeti u obzir pri dimenzioniranju dizalice topline. Dizalice topline za grijanje građevina, s vanjskim zrakom kao izvorom topline, najpovoljnije su za uporabu ako je vanjska temperatura do -8 ˚C, a ako je ispod -8 ˚C, treba koristiti dodatno grijanje.



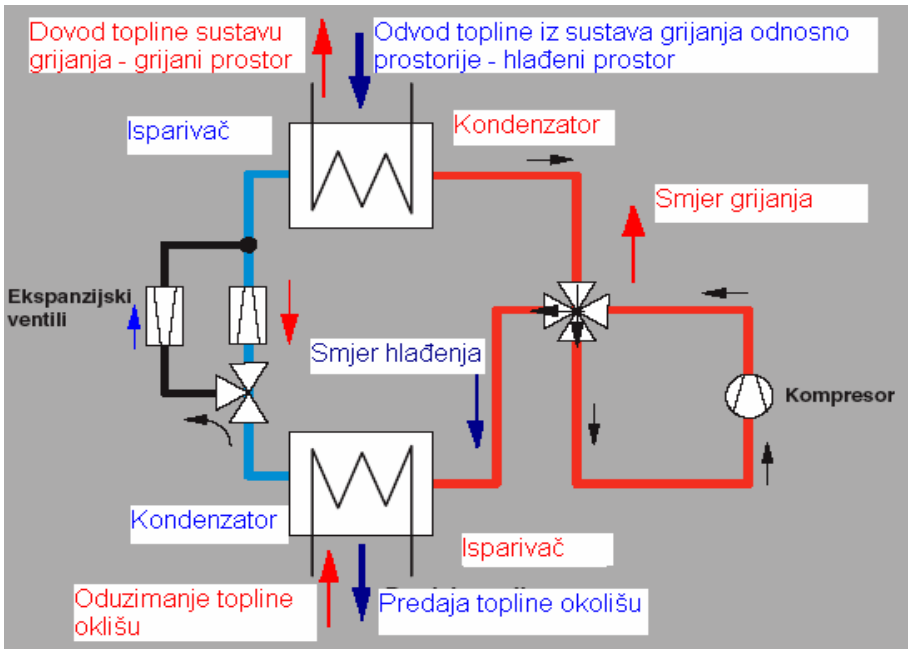
Slika 2. 23. Princip rada dizalice topline zrak/voda

Kod niskoenergetskih se kuća koriste kompaktne jedinice toplinskih crpki i sustava ventilacije. Te toplinske crpke koriste udio topline odpadnog zraka iz prostorija za regeneraciju topline ventilacije i dogrijavanje vanjskog zraka crpke ili pripremu tople vode. Ovisno o veličini, toplinske crpke na otpadni zrak i potrebama za toplinom, dodatna toplina se ostvaruje električnim grijanjem, a u jedinici može biti ugrađena i solarna instalacija za pripremu PTV-a.

2.2.6. Hlađenje dizalicama topline

Razlikujemo dva načina hlađenja toplinskim crpkama: reverzibilni pogon i izravno (prirodno) hlađenje („Natural cooling“).

Kod **reverzibilnog pogona** toplinska crpka radi kao hladnjak. Princip rada hladnjaka i crpke je isti ali s suprotnim učinkom, tj. hladnjak ohlađuje prostor a toplinska pumpa ga zagrijava. Da bi ista toplinska pumpa služila za hlađenje prostora, potrebno je obrnuti smjer dobave kompresora i ekspanzijskog ventila odnosno postići obrnuti smjer strujanja radnog medija i razmjene topline. To se postiže ugradnjom 4-putnog ventila i dodatnog ekspanzijskog ventila u kružni proces radnog medija (slika 2.24.)

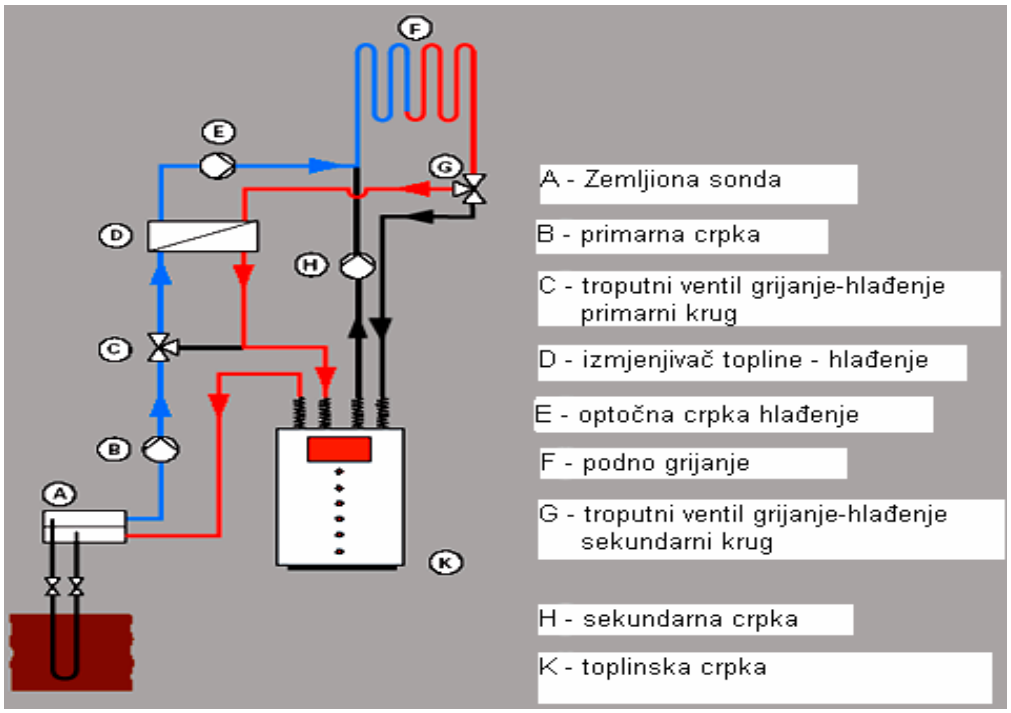


Slika 2. 24. Reverzibilni pogon toplinske pumpe

Za potrebe grijanja 4-putni ventil propušta radni medi iz kompresora prema kondenzatoru (Slika 2.24. Crvene strelice i tekst) di se toplina predaje postoru, medij kondenzira, te se dalje putem **prvog** ekspanzijskog i 3-putnog ventila dovodi do isparivača u kojem mu se dovodi toplina iz okoliša.

Kod hlađenja se mijenja smjer strujanja medija preko 4-putnog ventila tako da se medij iz kompresora odvodi prema kondenzatoru (plave strelice i tekst), i predaje toplinu u okoliš te se zatim preko 3-putnog i **drugog** ekspanzijskog ventila dovodi do isparivača di mu se podiže toplinska razina, medij odnosi toplinu iz prostora, odnosno hladi ga. Ovaj način hlađenja koriste kompaktne jedinice (pumpa zrak/voda + ventilacija + regeneracija) koje imaju mogućnost reverzibilnog rada tj. hlađenja prostora, a kod istih postoji mogućnost da se putem ventilacije, preko noći, direktno dovodi hladniji vanjski zrak u prostorije, bez regeneracije odpadnim zrakom iz prostorija, putem bypass spoja.

Prirodno hlađenje zasniva se na odvođenju topline iz sustava grijanja putem rasoline ili podzemne vode bez rad toplinske crpke već samo njihovim direktnim strujanjem (slika 2.25.). Rad toplinske crpke koristi se samo za pripremu PTV-a. Ovaj sustav nije prikladan za toplinske pumpe zrak/voda zbog visokih temperatura okolnog zraka.



Slika 2. 25. Princip prirodog hlađenja toplinskom pumpom

Ovaj se sustav može koristiti za prirodno hlađenje zato što su temperature ljeti u zgradama više od temperature podzemnih voda. Moguće ga je ostvariti dodavanjem dvaju 3-putnih ventila, izmjenjivača topline te optočne crpke u sustav. Regulacija upravlja primarnom crpkom (B), otvara 3-putne ventile (C i G) prema izmjenjivaču topline i pušta u rad optočnu crpku sekundarnog kruga (E). Tako topla voda iz sustava podnog grijanja predaje toplinu rasolini ili podzemnoj vodi u izmjenjivaču, odnosno odnosi toplinu iz prostorija.

Danas se sve više rabe takozvani kompaktni uređaji za pasivne i niskoenergetske kuće koji predstavljaju multifunkcionalna riješenja za takove načine gradnje jel omogućuju da se sve potrebe za energijom odnosno toplinom za grijanje, pripremu tople vode, ventilaciju, hlađenje obavljaju s jednog mjesta tj. iz istog uređaja. Takovi uređaji u sebi sadrže toplinsku pumpu (zrak/voda ili rasolina/voda), spremnik tople vode, opcijski solarni krug, regulciski uređaj, hidraulične priključke, optočne crpke za rasolinu (tip rasolina/voda), pomoćni električni grijač i to sve u uređaju dimenzija primjerice hladnjaka.

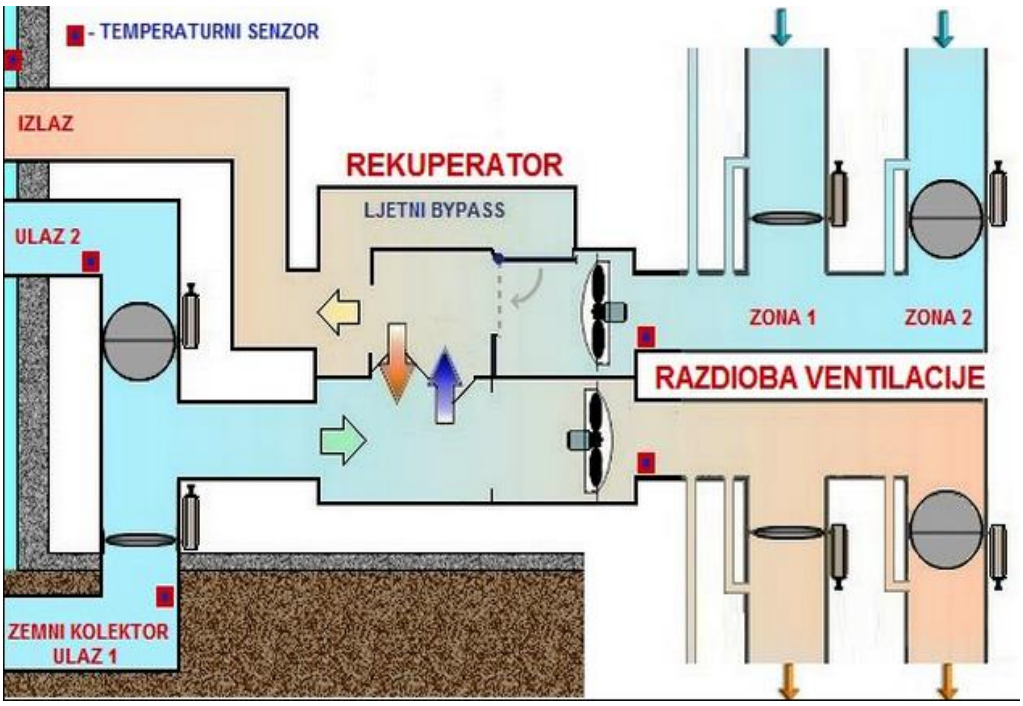
2. 3. Ventilacija s rekuperacijom topline

Trend gradnje niskoenergetskih i pasivnih kuća u kojima nema učinkovitog prozračivanja i vraćanja topline iskorištenoga zraka teško mogu zadovoljiti postavljeni kriteriji. Kvaliteta zraka najvažnija je komponenta pri projektiranju prozračivanja, a vodeći je parametar pri odlučivanju o broju izmjena zraka u prostoru, količina ugljičnog dioksida koji proizvode osobe u prostoru.

Sustav ventilacije ovdje spominjemo iz razloga što su za bilancu energije građevine ovog projekta ventilacijski gubici vrlo bitni i moraju se svesti na najmanju moguću mjeru da bi se postigla željena razina potrošnje energije koji zahtijeva standard pasivne građevine uz zadovaljavenje potrebnih higijenskih uvijeta te smanjenje sadržaje vlage u prostorijama.

Sam ventilacijski sustav ne spada u obnovljive izvore energije ali se njime ipak na neki način iskorištava energija zemlje i to tako da se uvodi zemni izmjenjivač topline prije samog ulaska zraka u ventilacijski sustav odnosno rekuperator i tako mu se podiže ili smanjuje temperatura što je bitno kad su vanjske temperatura zraka visoke (ljeti) ili niske (zimi) te se tako omogućava rekuperacija potrebne količine topline dok se u vrijeme srednjih temperatura ne koristi zemni izmjenjivač već sam okolišni zrak direktno struji u rekuperator.

Sistem rada rekuperatora dan je na slici 2. 26.



Slika 2. 26. Princip rada rekuperatora sa zemnim izmjenjivačem topline

3. Proračun toplinskih gubitaka, energije za grijanje i hlađenje

Proračun ćemo izraditi prema normi HRN EN 13790 koja opisuje proračun godišnje mjesečne potrošnje energije za grijanje i hlađenje stambenih i nestambenih građevina.

Građevina je projektirna prema pasivnim standardima drvene nosive konstrukcije, najpovoljnije orijentacije a proračun se vrši za lokaciju na području grada Bjelovara.

U navedenim se ulaznim podacima nalaze i vrijednosti potrebne za proračune potrošnje tople vode putem solarnih toplinskih kolektora, fotonponskih sistema za dobivanje električne energije te proračuna snage toplinske pumpe za podršku grijanja sistema.

3.1. Metodologija proračuna

Proračun obuhvaća:

- transmisijske toplinske gubitke i toplinske gubitke zbog provjetravanja iz unutarnjeg prostora prema vanjskom okolišu;
- transmisijske toplinske gubitke i toplinske gubitke zbog provjetravanja ili toplinske dobitke iz unutarnjeg prostora prema susjednim zonama
- iskoristive unutarnje toplinske dobitke od unutarnjih izvora topline
- iskoristive toplinske dobitke od sunca
- toplinske gubitke u sustavu grijanja
- energiju dovedenu u sustav grijanja

Potrebni podaci:

- granice grijanog prostora i obujam grijanog prostora
- temperaturne zone zgrade (zone s različitim temperaturnim uvjetima)
- podaci za toplinske gubitke zgrade (temeljem transmisije topline i provjetravanja)
- podaci za toplinske dobitke (od unutarnjih izvora topline i od sunca)
- klimatski podaci
- podaci o načinu korištenja prostora (grijanje kontinuirano ili s prekidima)
- svi ostali potrebni tehnički podaci za provođenje proračuna

3. 2. Ulazni podaci proračuna

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
	Temperature zraka (^oC)												
m	-1,1	1,6	6	10,8	15,6	18,7	20,4	19,5	15,8	10,4	5,2	0,6	10,3
min	-4,8	-2,5	0,7	4,7	8,9	12,2	13,4	13	9,9	5,1	1,1	-2,8	4,9
max	2,4	5,9	11,4	16,6	21,4	24,4	26,6	26,1	22,6	16,6	9,4	3,6	15,6
	Brzina vjetra (m/s)												
m	**1,6**	**1,9**	**2**	**2,1**	**2,1**	**1,9**	**1,8**	**1,8**	**1,8**	**1,7**	**1,7**	**1,6**	**1,8**

Tablica 3. 1. Meteorološki podaci za područje Bjelovara

Orij	**[^{o}]**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**	**God.**
	Globalno Sunčevo zračenje (MJ/m^2)													
S	0	129	191	356	481	590	611	664	573	534	272	131	86	**4519**
	15	165	231	402	508	595	605	663	594	486	327	161	104	**4839**
	30	193	260	430	511	576	577	636	590	513	366	184	118	**4954**
	45	211	276	436	492	535	527	585	560	514	387	198	127	**4849**
	60	219	279	422	451	473	459	512	506	490	387	202	129	**4530**
	75	215	268	387	392	395	378	422	431	442	368	197	126	**4021**
	90	201	243	335	318	308	291	323	341	373	330	181	117	**3360**
E, W	0	129	191	356	481	590	611	664	573	435	272	131	86	**4519**
	15	129	191	355	476	584	604	656	567	433	272	131	86	**4484**
	30	129	190	349	465	566	583	635	552	427	270	130	85	**4381**
	45	127	184	337	445	536	551	602	527	413	263	126	83	**4193**
	60	121	175	318	415	494	507	556	490	389	251	120	77	**3912**
	75	112	161	290	375	445	453	498	442	355	231	110	70	**3540**
	90	99	143	256	327	384	391	431	385	313	205	97	62	**3094**
N	0	129	191	356	481	590	611	664	573	435	272	131	86	**4519**
	15	89	142	295	431	556	585	628	522	364	205	95	65	**3978**
	30	77	104	221	362	491	524	555	445	276	140	81	60	**3336**
	45	73	98	167	279	405	440	455	349	189	125	77	57	**2713**
	60	67	91	153	203	306	339	339	246	159	116	70	52	**2141**
	75	60	82	141	181	229	237	234	205	148	106	64	47	**1734**
	90	**54**	**73**	**126**	**164**	**206**	**213**	**214**	**186**	**135**	**96**	**55**	**40**	**1563**

Tablica 3. 2. Mjesečne vrijednosti globalnog sunčevog zračenja na području Bjelovara s obzirom na strane svijeta

					Dnevna srednja ozračenost S, β=0					
Mjesec	Dan	$T_{sr.}$	$T_{tlasr.}$	T_{vent}	$H_{Ssr.}$	H_0	$\delta_{sr.}$	$\omega_{sr.}$	β	φ - β
		°C	°C	°C	MJ/m^2	MJ/m^2	°	°	°	°
Siječanj	31	-1,8	4,7	18,1	4,16	11,6	-20,8	66,8	45	0,898
Veljača	28	1,6	5,1	18,2	6,82	17,6	-13,6	78,7	45	0,898
Ožujak	31	4,5	6,4	18,3	11,48	24,6	-2,4	87,5	45	0,898
Travanj	30	10,8	8,1	15,1	16,03	32,9	9,5	100,0	45	0,898
Svibanj	31	15,6	11,5	16,7	19,03	39,1	18,8	110,6	15	30,898
Lipanj	30	18,7	15,25	22,1	20,37	41,7	23,1	116,1	15	30,898
Srpanj	31	20,4	16,8	22,3	21,42	40,3	21,1	113,5	15	30,898
Kolovoz	31	19,5	17,8	22,2	18,48	35,2	13,3	104,2	15	30,898
Rujan	30	15,8	16,2	18,2	17,80	27,4	2,0	92,1	45	0,898
Listopad	31	10,4	12,7	14,9	8,77	19,1	-9,8	79,6	45	0,898
Studeni	30	4	8,5	18,7	4,37	12,8	-19,1	69,1	45	0,898
Prosinac	31	0,6	5,5	18,3	2,77	10,1	-23,1	63,9	45	0,898

Tablica 3. 3. Vrijednosti srednje mjesečne temperatura zraka, tla, srednje devne ozračenosti vodoravne prema jugu okrenute plohe, srednje dnevne vrijednosti ekstraterestičkog zračenja, kuta deklinacije,sunčevog kuta te kuta nagiba kolektora

Građevni dio	**Površina građevnih dijelova**
	m^2
Vanjski zid - N	48,66
Vanjski zid - W	46,8
Vanjski zid - S	32,91
Vanjski zid - E	53,96
Vanjski zid ukupno	182,33
Pod	117
Krov	119
Vanjska vrata	2,4
Balkon	12,3

Potrebni podaci	
Oplošje grijanog dijela zgrade A - m^2	467,55
Obujam grijanog dijela zgrade V_e - m^3	649,85
Obujam grijanog zraka V - m^3	461,23
Faktor oblika zgrade f_0	0,72
Ploština korisne površine A_K - m^2	196,53
Ukupna ploština pročelja A_{uk} - m^2	338,25
Ukupna ploština prozora A_{wuk} - m^2	34,52

Tablica 3. 4. Dimenzije građevnih djelova objekta

3. 3. Proračun koeficijenata prolaza topline građevnih djelova

U tablicama 3. 5. do 3. 8. prikazani su proračuni koeficijenata prolaza topline pojedinih građevnih djelova koji ovise o vrst i debljini slojeva pojedinog dijela te o njegovoj toplinskoj provodnosti, odnosno dijelovi sa većim toplinskim otporom imaju i manji koeficijent prolaza topline što daje manje toplinskih gubitaka transmisijom.

Materijali	**Toplinska provodnost**	**Debljina**	**Toplinski otpor**	**Koef. prolaza topline**
	λ	δ	R	k
VANJSKI ZID	W/mK	m	m^2K/W	W/m^2K
Knauf ploče	0,250	0,013	0,050	
Staklena vuna	0,035	0,200	5,714	
OSB ploče	0,130	0,015	0,115	
Toplinska izol. žbuka	0,110	0,002	0,018	
Pe folija-parna brana	0,180	0,000	0,001	
Polistiren	0,032	0,100	3,125	
Ljepilo građevinsko	0,800	0,006	0,008	
Σ		**0,336**	**9,031**	**0,111**

Tablica 3. 5. Koeficijent prolaza topline vanjskog zida

Materijali	**Toplinska provodnost**	**Debljina**	**Toplinski otpor**	**Koef. prolaza topline**
	λ	δ	R	**k**
POD	W/mK	m	m^2K/W	**W/m^2K**
Drvo	0,130	0,020	0,154	
Staklena vuna	0,035	0,070	2,000	
Probetonska ploča	0,045	0,120	2,667	
XPS ploča	0,033	0,100	3,030	
Hidroizolacijska traka	0,140	0,010	0,071	
Šoder	0,800	0,200	0,250	
Cementni estrih	1,600	0,030	0,019	
Pe folija-parna brana	0,180	0,000	0,001	
Σ		**0,550**	**8,192**	**0,122**

Tablica 3. 6. Koeficijent prolaza topline poda

Materijali	**Toplinska provodnost**	**Debljina**	**Toplinski otpor**	**Koef. prolaza topline**
RAVNI KROV	λ	δ	R	**k**
	W/mK	m	m^2K/W	**W/m^2K**
Knauf ploče	0,250	0,025	0,100	
Staklena vuna	0,035	0,200	5,714	
XPS ploča	0,033	0,050	1,515	
Hidroizolacijska traka	0,140	0,010	0,071	
Šoder	0,800	0,020	0,025	
Pe folija-parna brana	0,180	0,000	0,001	
Σ		**0,305**	**7,427**	**0,135**

Tablica 3. 7. Koeficijent prolaza topline vanjskog ravnog krova

Materijali	**Toplinska provodnost**	**Debljina**	**Toplinski otpor**	**Koef. prolaza topline**
BALKON	λ	δ	R	**k**
	W/mK	m	m^2K/W	**W/m^2K**
Pločice	1,300	0,010	0,008	
Knauf ploce	0,250	0,013	0,050	
Staklena vuna	0,035	0,120	3,429	
OSB ploče	0,130	0,013	0,096	
XPS ploča	0,033	0,100	3,030	
Hidroizolacijska traka	0,140	0,050	0,357	
Cementni estrih	1,600	0,030	0,019	
Pe folija-parna brana	0,180	0,002	0,011	
Ljepilo građevinsko	0,800	0,002	0,003	
Σ		**0,339**	**7,002**	**0,143**

Tablica 3. 8. Koeficijent prolaza topline vanjskog balkona

3. 4. Karakteristike ostakljenja

U tablici ispod navedeni su parametri za ostakljenje, točnije kliznu stijenu, koji su naročito važni za cijelokupni sustav pasivne kuće i moraju biti izrađeni u najvišem standardu. Ovdje se navode samo parametri za kliznu stijenu, njih pet, koje su "postavljene" na južnoj strani građevine i većih su dimenzija u svrhu to boljeg iskoristivosti pasivne sunčeve energije u prijelaznom periodu godine. Za ljetne mjesece ugrađuju se žeuzine za zaštitu od prekomjernog sunčevog zračenja kojem isto tako doprinosi i nadstrečnica iznad stijenki, što se može vidjeti na 3-D modelu građevine na slici u prilogu.

KLIZNA STIJENKA - KS		
Tip ostakljenja:		Trostruko izolirajuće staklo s dva stakla niske emisije (dvije Low-E obloge)
Materijal okvira:		PVC
Ploština okvira:	m^2	0,8
Ploština prozirnog dijela:	m^2	3,2
Ploština otvora:	m^2	4
Učešće ploštine okvira u ploštini otvora (faktor okvira):	F_F	0,8
Koeficijent prolaska topline otvora:	k (W/m^2K)	0,7
Orijentacija otvora:		Jug
Nagib plohe otvora:		90^o
Kut obzora susjednih objekata (HRN EN ISO 832, Annex G, Tablica G.2):		0^o
	F_h	1
Kut zasjenjenja nadstrešnice (HRN EN ISO 832, Annex G, Tablica G.4):		45°
	F_o	0,74
Kut zasjenjenja bočnog zaslona (HRN EN ISO 832, Annex G, Tablica G.3):		Bočni zaslon ne postoji
	F_f	1
Faktor zasjenjenja (HRN EN ISO 832, Annex G):	F_s	0,74
Tip ostakljenja (Tehnički propis, Annex C, Tablica 1):		Trostruko izolirajuće staklo s dva stakla niske emisije (dvije Low-E obloge)
	$g_{okomito}$	0,5
Naprava za zaštitu od Sunčevog zračenja (Tehnički propis, Annex C, Tablica 2):		Naprava s vanjske strane žeuzine, okretanje lamela, otraga provjetravano (za ljetne mjesece)
	F_c	0,25
Broj identičnih otvora:	n	5
Efektivna upijajuća ploština otvora:	**A_s**	**0,32**

Tablica 3. 9. Karakteristike ostakljenja

3. 5. Gubici topline

Ovdje ćemo prikazati proračunate vrijednosti mjesečnih transmisijskih i ventilacijskih toplinskih gubitaka građevine s obzirom na vanjsku i unutarnju projektnu temperaturu i korištenje prisilne mehaničke ventilacije sa regeneraciom putem rekuperatora. Za ventilaciju je predpostavljeno 0.5 izmjena zraka po satu kao minimalni uvijet za održavanje količine svježeg zraka i higijenskih uvijeta. Ventilacijski je sustav projektiran sa vanjskim zemnim izmjenjivačem topline radi manjih toplinskih gubitaka u zimskom periodu te kao potpora pasivnom hlađenju u ljetnim mjesecima putem by-pass skretnice.

Kompletni proračuni gubitka za pojedine prostorije potrebni za dimenzioniranje sustava podnog grijanja dani su u prilogu a rađeni su prema normi EN 12 831.

TRANSMISIJSKI GUBICI						
Površine	A	k	$H_{TRAN.}$	$t_{eks.}$	$t_{int.}$	$\Phi_{TRAN.}$
	m^2	W/m^2K	W/K	°C	°C	W
Vanjski zid	184,65	0,11	20,44	-18,00	21,00	797,35
Krov	125,00	0,13	16,83	-18,00	21,00	656,39
Pod	117,00	0,13	15,72	-18,00	21,00	613,26
Balkon	22,51	0,14	3,21	-18,00	21,00	125,37
Ostakljenja	33,72	0,82	27,65	-18,00	21,00	1078,37
Vanjska vrata	2,40	1,00	2,40	-18,00	21,00	93,60
			86,26			**3364,33**

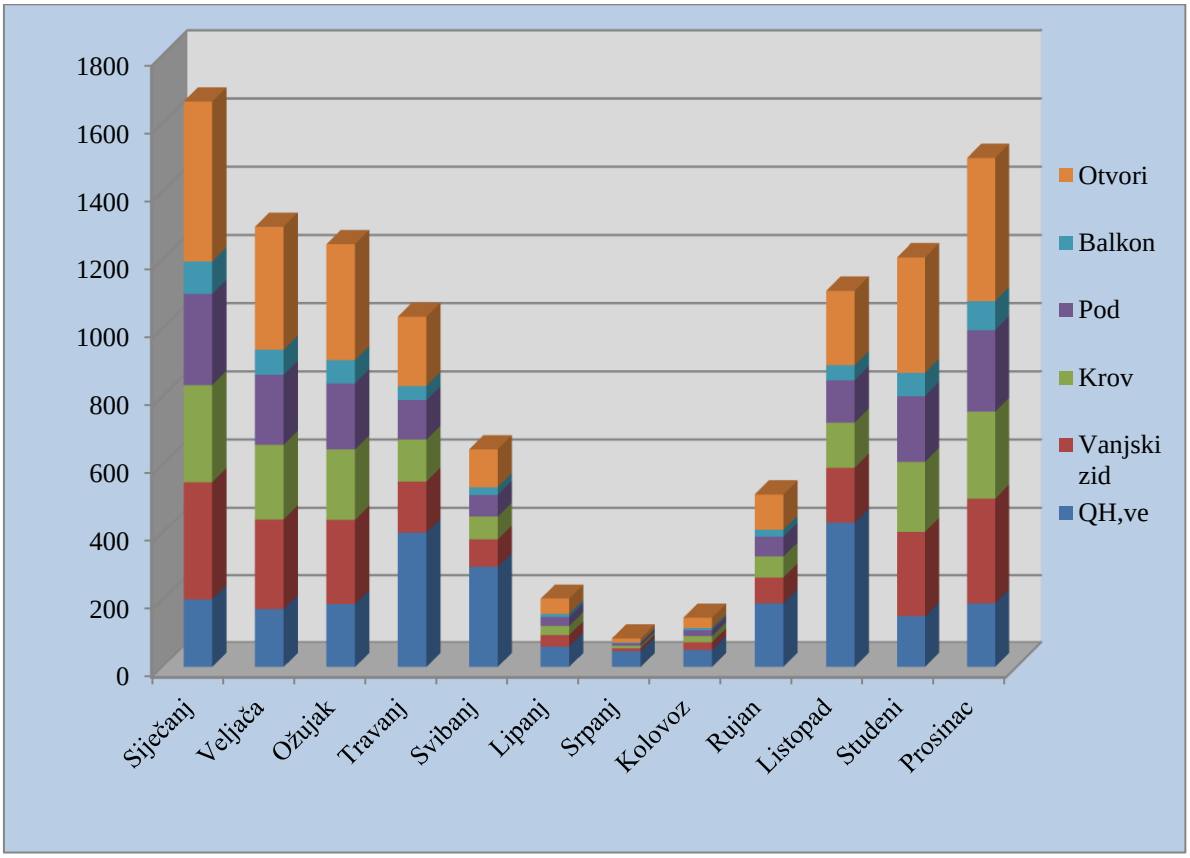
Tablica 3. 10. Transmisijski gubici objekta

VENTILACIJSKI GUBICI								
ρ	c_p	n	V_A	V	$V_{int.}$	V_{uzgon}	$H_{vent.}$	$\Phi_{VENT.}$
kg/m^3	J/kgK	h^{-1}	$m^3/(h\ m^2)$	m^3	m^3 / h	m^3 / h	W/K	W
1,20	1005,00	0,50	1,20	470,83	235,41	47,08	94,64	322,099

Tablica 3. 11. Ventilacijski gubici objekta

				Transmisijski gubici pojedinih površina				
Mjesec	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ht}$	Vanjski zid	Krov	Pod	Balkon	Otvori
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Siječanj	1463	201	1664	347	285	267	95	469
Veljača	1125	172	1297	267	219	205	73	360
Ožujak	1059	187	1246	251	207	193	69	339
Travanj	634	400	1033	150	124	115	41	203
Svibanj	347	298	644	82	68	63	23	111
Lipanj	143	61	203	34	28	26	9	46
Srpanj	39	46	85	9	8	7	3	12
Kolovoz	96	50	146	23	19	18	6	31
Rujan	323	189	512	77	63	59	21	104
Listopad	680	429	1109	161	133	124	44	218
Studeni	1056	152	1207	250	206	192	69	338
Prosinac	1309	190	1499	310	255	239	85	420
	8273	**2374**	**10647**	**1961**	**1614**	**1508**	**538**	**2652**

Tablica 3. 12. Mjesečni i godišnji gubici topline sa transmisijskim gubicima pojedinih površina građevnih djelova



Slika 3. 1. Grafički prikaz godišnjih gubitaka ventilacije i transmisije

3. 6. Unutarnji toplinski dobici i dobici od sunčevog zračenja

Utjecaj sunčevog zračenja na objekt tijekom cijele godine vrlo je važan pa se u samom početku projektiranja građevine mora o tome voditi računa i ovisno o položaju i orijentaciji objekta te rasporedu prostorija odrediti koliko ćemo otvora, kolike površine, postaviti na određenu stranu objekta da bi iskoristili što više sunčeve energije u potrebnom godišnjem periodu. Vrijednosti sunčevog zračenja po stranama svijeta dani su u ulaznim podacima.

Dobici od unutarnjih izvora ovise o aktivnostima koje se obavljaju unutar objekta i mogu varairati ovisno o tome što se obavlja u objektu, koliko osoba borave u prostoru o radu različitih uređaja isl., ali se za prosjek uzima vrijednost od oko 5 W po m^2 površine poda.

U tablicama 3. 13. prikazane su proračunate vrijednosti dobitaka topline od sunčevog zračenja po mjesecima za cijelu godinu čiji rezultati ovise o strani svijeta, jačini sunčeva zračenja, površini i vrsti ostakljenja te o zaštiti od prekomjernog zračenja (za ljetne mjesece). U prilogu su prikazani kompletni proračuni dobitaka od sunčevog zračejna za svaki mjesec.

GODIŠNJI - MJESEČNI DOBICI TOPLINE				
Mjesec	Q_{ins}	$Q_{int.}$	$Q_{dob.}$	$Q_{dob.}$
	kWh	kWh	kWh	MJ
Siječanj	525,59	730,92	1256,51	4523,44
Veljača	663,16	660,19	1323,35	4764,04
Ožujak	985,87	730,92	1716,80	6180,47
Travanj	874,95	707,35	1582,29	5696,26
Svibanj	233,57	730,92	964,49	3472,17
Lipanj	229,68	707,35	937,03	3373,29
Srpanj	252,59	730,92	983,51	3540,64
Kolovoz	244,69	730,92	975,62	3512,22
Rujan	233,27	707,35	940,61	3386,20
Listopad	227,90	730,92	958,83	3451,78
Studeni	483,66	707,35	1191,01	4287,62
Prosinac	313,08	730,92	1044,00	3758,42
GODIŠNJE	**5268,00**	**8606,04**	**13874,04**	**49946,55**

Tablica 3. 13. Godišnje vrijednosti unutarnjih i dobitaka od sunca

3. 7. Godišnja energija za grijanje

U tabeli 3. 14. prikazane su mjesečne vrijednosti energije za grijanje objekta dobivenih prema vrijednostima gubitka i dobitaka topline te parametrima iskorištenja sustava te omjerima vrijednost dobitaka i gubitaka topline.

Iz vrijednosti za ukupnu godišnju energiju grijanja od 2638 kWh te ukupne površine objekta od 196m^2 dolazimo do vrijednosti od ***13,42 kWh/m^{2}a*** godišnje što zadovoljava najvažniji uvijet pasivnog standarda gradnje.

U tablici 3. 15. prikazane su vrijednosti efektivnog toplinskog kapaciteta građevine i vremenska konstanta.

Mjesec	**$Q_{H,tr}$**	**$Q_{H,ve}$**	**$Q_{H,ht}$**	**$Q_{H,sol}$**	**$Q_{H,int}$**	**$Q_{H,gn}$**	**γ_H**	**$\eta_{H,gn}$**	**$\alpha_{red,H}$**	**$Q_{H,nd}$**
			kWh			kWh	-	-	-	kWh
MJESEČNO										
Siječanj	1463	201	1664	526	731	1257	0,76	0,838	1	611
Veljača	1125	172	1297	663	660	1323	1,02	0,737	1	321
Ožujak	1059	187	1246	986	731	1717	1,38	0,616	1	188
Travanj	634	400	1033	875	707	1582	1,53	0,572	1	127
Svibanj	347	298	644	234	731	964	1,50	0,582	1	83
Lipanj	143	61	203	230	707	937	4,61	0,215	1	2
Srpanj	39	46	85	253	731	984	11,58	0,086	1	0
Kolovoz	96	50	146	245	731	976	6,66	0,150	1	0
Rujan	323	189	512	233	707	941	1,84	0,498	1	44
Listopad	680	429	1109	228	731	959	0,86	0,796	1	346
Studeni	1056	152	1207	484	707	1191	0,99	0,750	1	315
Prosinac	1309	190	1499	313	731	1044	0,70	0,860	1	601
UKUPNO										2638
$Q_{H,gn}$"					**kWh/m^{2}a god**					**13,42**

Tablica 3. 14. Godišnja potrebna energija za grijanje objekta

C_m	**τ**	**a_h**
kJ/K	h	-
18720,00	28,74	2,92

Tablica 3. 15. Efektivni toplinski kapacitet građevine i vremenska konstanta

3. 8. Godišnja energija za hlađenje

U tabeli 3. 16. prikazane su mjesečne vrijednosti energije za hlađenje objekta dobivenih prema vrijednostima gubitka i dobitaka topline te parametrima iskorištenja sustava te omjerima vrijednost dobitaka i gubitaka topline za period hlađenja.

Iz vrijednosti za ukupnu godišnju energiju grijanja od 2692 kWh te ukupne površine objekta od 196m^2 dolazimo do vrijednosti od ***13,7 kWh/m^{2}a*** godišnje.

U tablici 3. 17. prikazane su vrijednosti efektivnog toplinskog kapaciteta građevine i vremenska konstanta za period hlađenja.

Mjesec	**$Q_{C,tr}$**	**$Q_{C,ve}$**	**$Q_{C,ht}$**	**$Q_{C,sol}$**	**$Q_{C,int}$**	**$Q_{C,gn}$**	**γ_C**	**$\eta_{C,gn}$**	**$\alpha_{red,C}$**	**$Q_{C,nd}$**
			kWh			kWh	-	-	-	kWh
	kWh	kWh								
Siječanj	1463	201	1664	526	731	1257	0,8	0,7	1	
Veljača	1125	172	1297	663	660	1323	1,0	0,8	1	
Ožujak	1059	716	1775	986	731	1717	1,0	0,8	1	
Travanj	634	400	1033	875	707	1582	1,5	1,0	1	479
Svibanj	347	298	644	234	731	964	1,5	1,0	1	274
Lipanj	143	404	547	230	707	937	1,7	1,0	1	363
Srpanj	39	309	348	253	731	984	2,8	1,0	1	632
Kolovoz	96	334	431	245	731	976	2,3	1,0	1	536
Rujan	323	189	512	233	707	941	1,8	1,0	1	408
Listopad	680	429	1109	228	731	959	0,9	0,8	1	
Studeni	1056	152	1207	484	707	1191	1,0	0,8	1	
Prosinac	1309	190	1499	313	731	1044	0,7	0,7	1	
Σ										2692
$Q_{C,gn}$"	**kWh/m^{2}a god**									**13,7**

Tablica 3. 16. Godišnja potrebna energija za hlađenje objekta

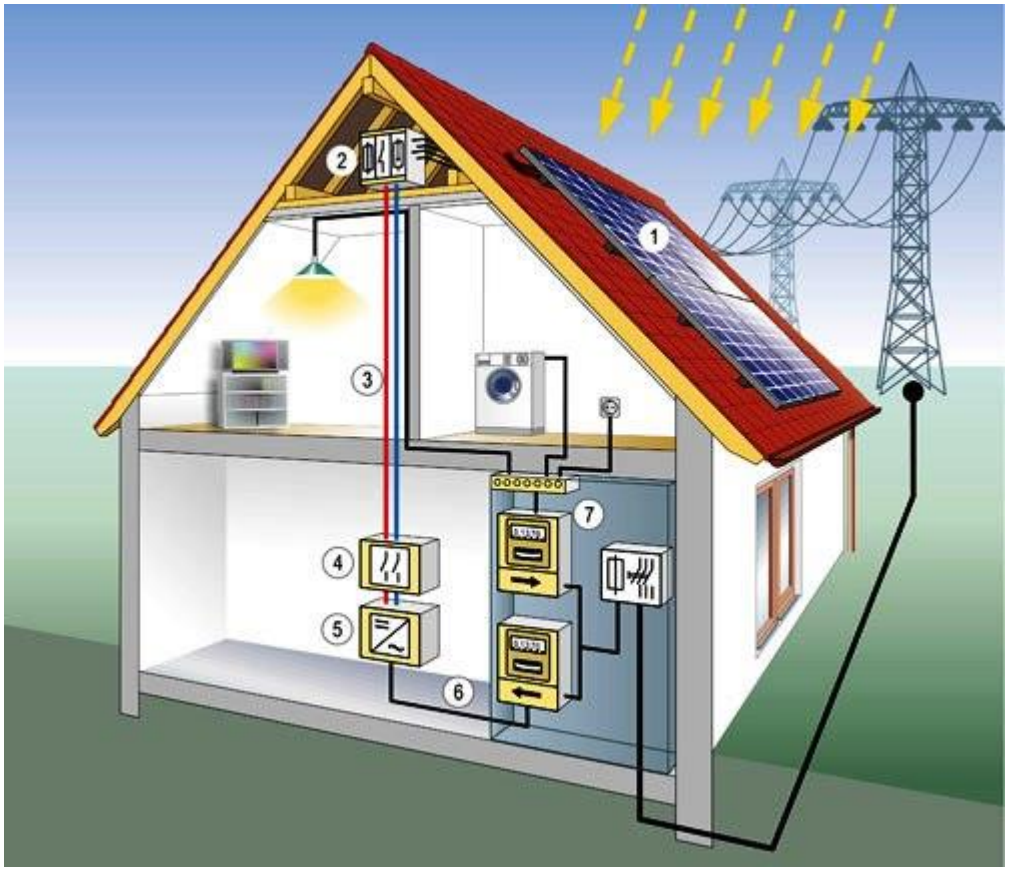
C_m	**τ**	**a_C**
kJ/K	h	-
18720,00	60,28	5,02

Tablica 3. 17. Efektivni toplinski kapacitet građevine i vremenska konstanta

4. Fotonaponski sustav

4. 1. Tehnički opis FN sustava

Solarne fotonaponske sustave možemo svrstati u dvije osnovne skupine: fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu tj. samostalni sustavi te fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu koji je prikazan na slici 4.1.



Slika 4. 1. Fotonaponski sustav priključen na javnu elektroenergetsku mrežu

Moduli fotonapona (1) postavljeni na krovne nosače spojeni su seriski i/ili paralelno u nizovima (eng. stringovi) tvoreći tzv. solarni generator date nazivne snage (kW) i pretvaraju toplinsku energiju sunca u istosmjernu struju. Spojni kabeli FN modula se dalje dovode do razdjelnog ormarića sa zaštitnom opremom (2) iz kojeg se razvode kablovima istosmjernog razvoda (3) preko sklopke (4) do solarnog/ih izmjenjivača (5). Dobivena izmjenična struja iz izmjenjivača se kablovima (6) prenosi do električnog ormarića sa brojilima (7) koja mjere proizvedenu energiju predanu mreži, kada je pokrivena poteba za energijom u kućanstvu, te onu iz nje preuzete prilikom nedostatka energije iz FN sustava (npr. noću).

4. 2. Izbor i karakteristike FN modula

Izabrani su FN-ski moduli Sunpower E20/327 karakteristika datih tablicom:

MODEL	E20/327
Vršna snaga P_{MPP} [W]	327
Dozvoljeno odstupanje snage [W]	-3/+5
Struja kratkog spoja I_{SC} [A]	6,46
Napon praznog hoda U_{OC} [V]	64,9
Nazivna struja I_{MPP} [A]	5,98
Nazivni napon U_{MPP} [V]	54,7
Dozvoljeno odstupanje napona i struje [%]	±10
TEMPERATURNI KOEFICIJENTI	
Nominalna radna temperatura celi je (NOCT) [°C]	45° C +/-2° C
Temperaturni koeficijent snage P_{MPP} [%/K]	-0.41
Temperaturni koeficijent struje I_{SC} [%/K]	0.05
Temperaturni koeficijent napona U_{OC} [%/K]	-0.29
MEHANICKI PODACI	
Dimenzije (V x Š x D) [mm]	1600x1046x45
Masa [kg]	18,6
Broj i vrsta celija	96 SunPower MaxeonTM čelija
Enkapsulacija celija	Etilen-vinil acetat (EVA)
Staklo	High transmission tempered glass with anti-reflective (AR) coating
Pozadina	Višeslojna poliesterska folija
Okvir	Nodizirani aluminij sa dvostrukom stjenkom i otvorima za drenažu
Prikljucna kutija	IP-65 rated with 3 bypass diodes
Prikljucni kablovi	1000mm length cables / MultiContact (MC4) connectors
RADNI UVJETI	
Temperaturno podrucje [°C]	-40 to +85
Maksimalni napon sustava [V]	1000
Maksimalno opterecenje [Pa]	Ispitano do 5400 Pa (opterecenje snijegom)
Otpornost na udar	Tuča promjera 25 mm pri brzini 23 m/ s

Tablica 4. 1. Karakteristike FN modula

4. 3. Dimenzioniranje FN sustava za lokaciju

Na južnoj strani krova, postavljamo FN module u 5 serijskih nizeva po 6 modula spojenih paralelno na rastojanju od 2,1 m, vodoravno postavljenih, kako prikazuje slika 4.2.

Površina jednog modula je 1,6 m^2 snage P_{MPP}= 327 W, a površina svih 30 modula je 48 m^2 ukupne instalirane snage P = 9,81 kW.

Važno je napomenuti da se instalirani FN moduli postavljaju na pomićne nosive podkonstrukcije koje omogućuju pomicanje, odnosno promijene kuta nagiba kolektora, a to omogućuje bolju iskoristivost sunčevog zračenja a samim tim i više električne energije.

Predviđeno je dva puta godišnje mijenjati kut nagiba kolektora kako bi on što bliže optimalnom godišnjem kutu koji je za promatrano područje 34 °.

Koordinate lokacije:

φ	°	**45,898**
λ	°	**16,864**



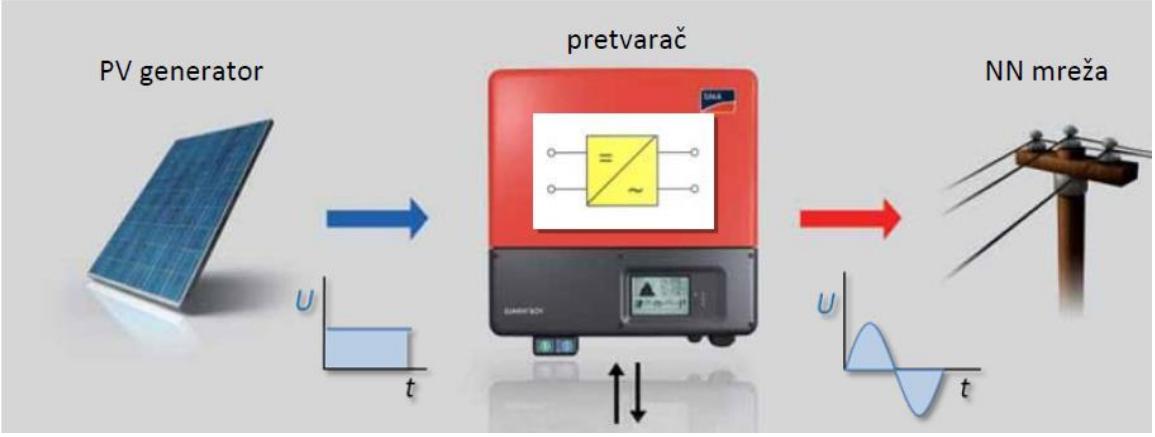
Slika 4. 2. 3D prikaz FN modula i solarnih toplinskih kolektora na krovu objekta

4. 4. Izbor i karakteristike inventera

Prema ukupnoj snazi biramo jedan inverter veče nazivne snage. Izabiremo SMA Sunny Mini Central (SMC) 10 000 TL inverter karakteristika datih u tabeli:

Input (DC)	
Max. DC power (@ cos ϕ = 1)	**10 350 W**
Max. input voltage	**700 V**
MPP voltage range / rated input voltage	**333 V – 500 V / 350 V**
Min. input voltage / initial input voltage	**333 V / 400 V**
Max. input current	**31 A**
Max. input current per string	**31 A**
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	**1/5**
Output (AC)	
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	**10000 W**
Max. apparent AC power	**10000 VA**
Nominal AC voltage / range	**220 V, 230 V, 240 V / 180**
AC power frequency / range	**50 Hz, 60 Hz**
Rated power frequency / rated grid voltage	**50 Hz / 230 V**
Max. output current	**44 A**
Power factor at rated power	**1**
Feed-in phases / connection phases	**1/1**
Power balancing	**●**
Efficiency	
Max. efficiency / European weighted efficiency	**98 % / 97.6 %**
Protective devices	
Reverse current protection / DC disconnect device	**Optional (fuses) / ●**
Ground fault monitoring / grid monitoring	**● / ●**
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	**● / ● / —**
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	**●**
Protection class / overvoltage categor	**I / III**
General data	**468 / 613 / 242 mm**
Dimensions (W / H / D)	**(18.4 / 24.1 / 9.5 inch)**
Weight	**35 kg / 77.16 lb**
Operating temperature range	**-25 °C ... +60 °C**
Noise emission (typical)	**42 dB(A)**
Self-consumption (night)	**0.25 W**

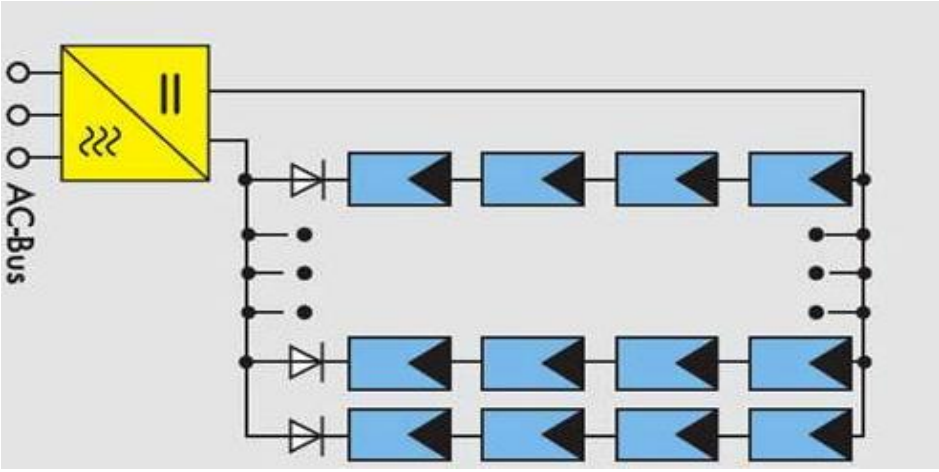
Tablica 4. 2. Karakteristike inventera



Slika 4. 3. Rad inventra

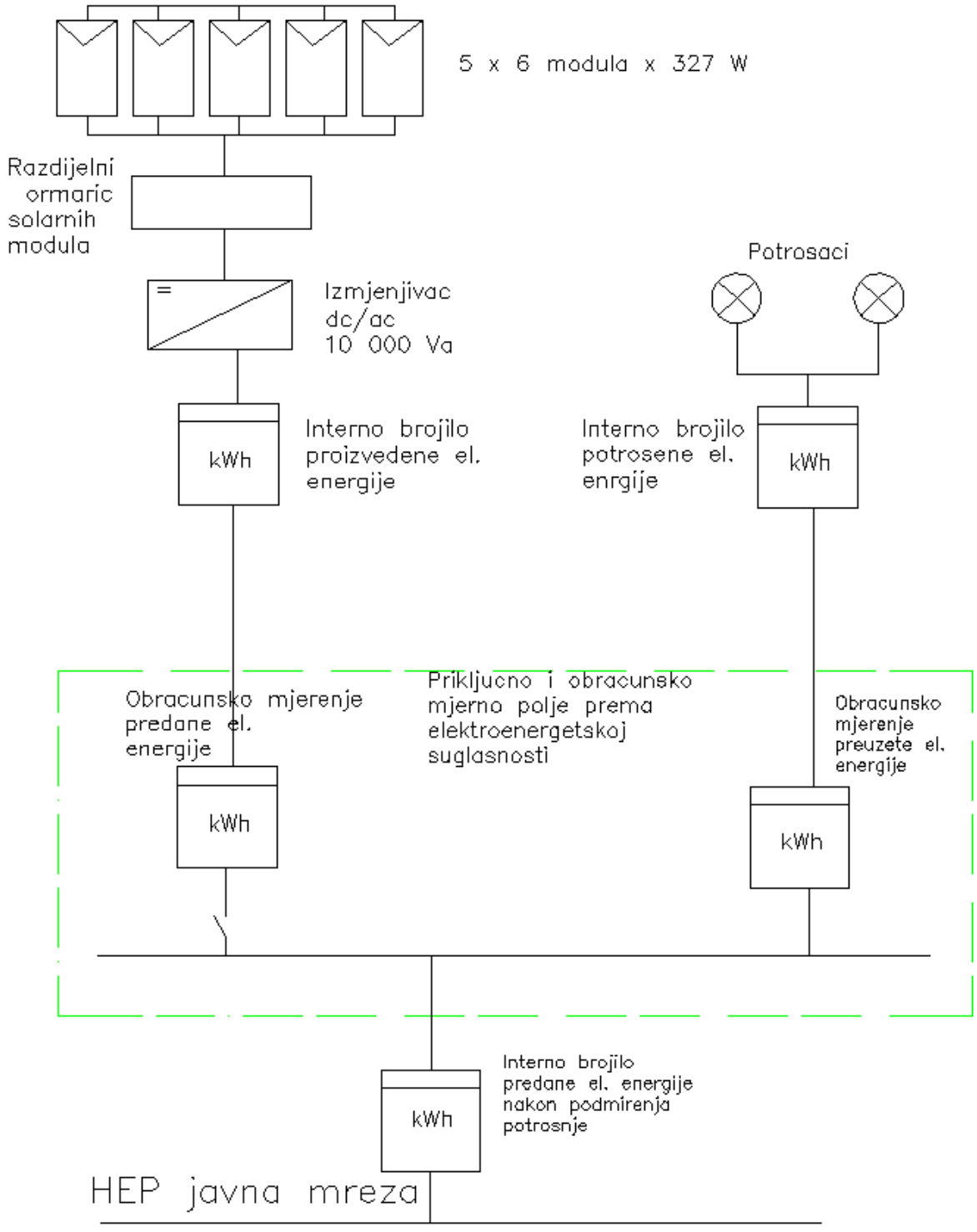
Uloge pretvarača mrežne solarne elektrane:

- optimalno prilagođavanje MPP PV generatora kod svih temperatura i zračenja
- nadzor i diagnostika djelovanja SE
- pretvaranje **istosmjernog** napona PV generatora u **izmjenični** napon mreže
- prikaz podataka djelovanja te čuvanje i prijenos podataka
- sprečavanje uzrokovanja smetnji u NN mreži sa nedozvoljenim odstupanjem:
    - izlaznog izmjeničnog napona
    - frekvencije
    - faze
    - impedancije
- sprečavanje otočnog načina djelovanja SE



Slika 4. 4. Shema spajanja PV generatora i invertera (centralni pretvarač)

4. 5. Blok shema FN sustava



Slika 4. 5. Blok shema FN sustava

4. 6. Električna energija dobivena iz FN sustava

Ovdje ćemo za dati FN sustav izračunati dobivenu električnu energiju na temelju godišnje vrijednosti insolacije za danu lokaciju (ovisno o kutevima nagiba kolektora), ukupnoj snazi i vrsti modula te gubitaka sustava.

$\eta_{kol.}$	PR	$A_{kol.}$	$P_{kol.}$	$n_{kol.}$	$A_{koluk.}$	$P_{koluk.}$
-	-	m^2	W	-	m^2	kW
0,2	0,95	1,6	330	30	48	9,9

Tablica 4. 3. Ulazne vrijednosti

	$E_{dn.}$	$E_{mj.}$	$H_{mj.}$	E_{FN}
Razdoblje	kWh	kWh	MJ/m^2	kWh
Jan	19,33	599,20	224,70	569,2
Feb	27,98	783,41	293,78	744,2
Mar	37,16	1151,99	432,00	1094,4
Apr	43,56	1306,66	490,00	1241,3
May	51,12	1584,72	594,27	1505,5
Jun	53,71	1611,16	604,18	1530,6
Jul	57,01	1767,40	662,77	1679,0
Aug	51,10	1584,14	594,05	1504,9
Sep	57,79	1733,64	650,12	1647,0
Oct	32,49	1007,23	377,71	956,9
Nov	18,70	560,89	210,33	532,8
Dec	10,98	340,27	127,60	323,3
God. Prosijek	38,4	1169,2	438,46	1110,8
Godišnje		**14030,7**	**5261,52**	**13329,2**

Tablica 4. 4. Mjesečne i godišnje vrijednosti energije dobivene na FN modulima

$E_{FN\beta con.}$	$E_{FN\beta opt.}$	**Dobitak**	
kWh	kWh	kWh	%
12822,0	**13329,2**	**507,2**	**3,8**

Tablica 4. 5. Dobitak energije optimalizaciom kuta nagiba FN modula

	Energija kolektora	Dobitak energije kolektora	
	kWh	kWh	%
Split	16672,7	3343,51	20,05
Bjelovar	13329,2	-	-

Tablica 4. 6. Usporedba dobitaka sustava instaliranih u Bjelovaru i Splitu

4. 7. Potrošnja energije električnih uređaja objekta

Ovdje ćemo prikazati približan - okvirni proračun potrošnje energije električnih uređaja koja može poprilično varirati pošto ovisi o nizu različitih čimbenika od vrste i starosti uređaja odnosno njegovog energetskog razreda (u ovom su proračunu uzeti u obzir uređaji visoke energetske učinkovitosti), vremena trajanja rada i perioda dana u kojem se koristi te na koji način.

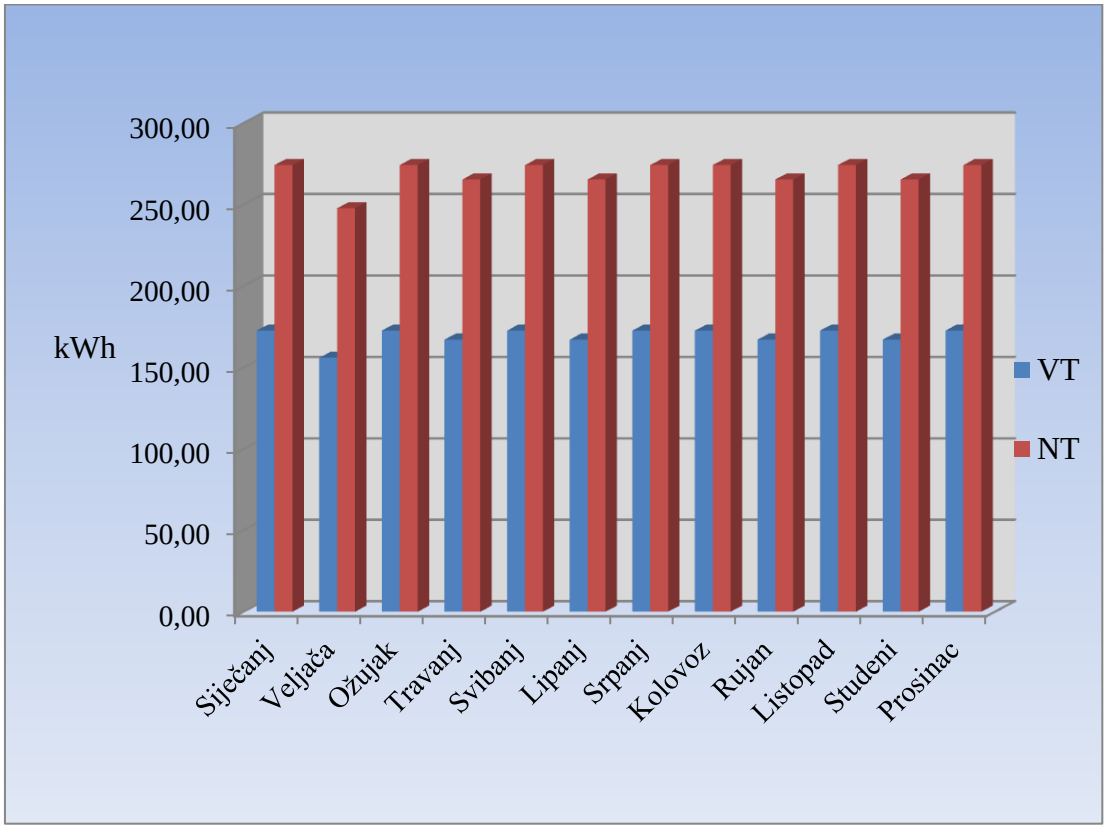
Razlika između potrošnje električne i toplinske energije je u samom načinu korištenje jel prilikom korištenja električnih uređaja svaki pojedinac sam može utjecati na potrošnju te je racinalnijim korištenjem smanjiti ili je pak, u suprotnom, dosta povećati dok kod toplinske potrošnje nema sveka pojedinac toliki utjecaj pa je potrošnja ravnomjernija.

	Broj trošila	**Nazivna snaga**	**Broj sati rada dnevno**		**Dnevna potrošnja energije**	
			VT	NT	VT	NT
TROŠILA	n	W	h	h	kWh	kWh
Žarulja 3,5 W	9	3,5	5	3	0,1575	0,0945
Žarulja 12 W	10	12	5	3	0,6	0,36
Žarulja 5 W	8	5	5	3	0,2	0,12
PC	1	300	4	4	1,2	1,2
Perilica rublja	1	2200		0,35		0,77
Perilica posuđa	1	2250		0,3		0,675
Štednjak	1	4700	0,3	0,8	1,41	3,76
TV	2	85	5	4	0,85	0,68
Zamrzivac	1	105	3	2	0,315	0,21
Hladnjak	1	60	3	2	0,18	0,12
Ventilator	2	25	8,8	4,4	0,44	0,22
Glačalo	1	2200		0,1		0,22
Sušilo kose	1	2000	0,06	0,06	0,12	0,12
Usisavač	1	1000		0,2		0,2
Mikrovalna pečnica	1	1000	0,1	0,1	0,1	0,1
Ukupno kWh/danu					**5,57**	**8,85**

Tablica 4. 7. Dnevna potrošnje električna energije pojedinih trošila

		Mjesečna potrošnja		Cijena		Mjesečno
Mjesec	Dana	VT	NT	VT	NT	
		kWh	kWh	kn	kn	kn
Siječanj	31	196,82	295,38	208,63	156,55	365,18
Veljača	28	179,52	266,80	190,29	141,40	331,70
Ožujak	31	202,15	295,38	214,28	156,55	370,83
Travanj	30	198,83	285,86	210,76	151,50	362,26
Svibanj	31	207,64	295,38	220,09	156,55	376,65
Lipanj	30	201,88	285,86	213,99	151,50	365,49
Srpanj	31	209,37	295,38	221,93	156,55	378,49
Kolovoz	31	207,24	295,38	219,67	156,55	376,22
Rujan	30	200,07	285,86	212,08	151,50	363,58
Listopad	31	200,18	295,38	212,19	156,55	368,74
Studeni	30	190,62	285,86	202,05	151,50	353,56
Prosinac	31	195,81	295,38	207,56	156,55	364,12
GODIŠNJE		**2390,12**	**3477,90**	**2533,53**	**1843,29**	**4376,82**

Tablica 4. 8. Godišnja potrošnja električne energije



Slika 4. 6. Grafički prikaz godišnje potrošnje električne energije

5. Dimenzioiranje toplinskih sustava

5. 1. Sustav za pripremu potrošne tople vode

5. 1. 1. Izbor komponenti toplinskog solarnog sustava

Prema snazi FN sustava projektiramo toplinski solarni sustav prema izrazu:

$t_0 = P_{topl.} / P_{el.}$; koji je za vrijednosti P_{el} do 10 kW $t_0 \geq 0,25$

Ovdje ćemo uzeti vrijednost od 0,7 kW/m^2 površine kolektora kao orijentacijsku za dobivenu snagu po metru kvadratnom kolektora pa ćemo prema tome uzeti da je snaga sustava za pripremu PTV P_{PTV} = 3,89 kW što odgovara vrijednosti od 5,55 m^2 površine klektora ili računski:

P_{PTV} = 7,05 m^2* 0,7 kW/m^2 ≈ 4,935 kW te slijedi;

$t_0 = P_{PTV} / P_{el.}$= 4,935/ 9,9 = 0,49 > 0,25 što zadovoljava početni uvijet $t_0 \geq 0,25$

Izabiremo solarne toplinske kolektore slijedečih karakteristika:

MODEL	**auroTERM**	**VFK145 V**
	Jedinica	
Visina	mm	**2030**
Širina	mm	**1233**
Dubina	mm	**80**
Težina	kg	**38**
Kapacitet fluida	l	**1.85**
Radni tlak	bar	**10**
Materijal absorbera		**Al / black**
Debljina stakla	mm	**4**
Ukupna površina kolektora	m^2	**2,12**
Površina djelovanja absorbera	m^2	**2.35**
Max. temperatura	°C	**171**
Tip		**ravni pločasti**

Tablica 5. 1. Karakteristike solarnih tolpinskih kolektora

Iz tablice vidimo da ćemo za postizaje potrebne snage toplinskog solarnog sustava koristiti 3 kolektora ukupne površine 7,05 m^2 uz bivalentni spremnik topline od 350 l.

5. 1. 2. Energija za pripremu potrošne tople vode

Za proračun topline dobivene iz solarnih kolektora te potrebne dodatne energije primjenit ćemo f - chart postupak za date ulazne podatke:

Ulazni podaci: Bjelovar		
φ	°	45,898
λ	°	16,864
β	°	15-45-60
A_k	m^2	7,05
T.V.	l/os.	50
θ_{tv}	°C	45
θ_{hv}	°C	12
V_s	l	350
η_o		0,76
k_{fe}	W/m^2K	2,47
ρ	-	0,2
ρ_{zima}	-	0,7
c_v	J/kgK	4187
ρv	kg/l	1
Br. Os.	-	6
θ_{REF}	°	100

Tablica 5. 2. Ulazni podaci proračuna

Ovim se proračunom za navedene ulazne podatke dobivaju vrijednosti mjesečne i godišnje korisne energije dobivene solarnim toplinskim kolektorima, potrebna dodatna energija iz pomoćnog izvora koji bi pokrivao energetske potrebe, sustava za pripremu PTV, kada energija dobivena solarnim kolektorima nije dovoljna a u ovom je slučaju to toplinska pumpa. Shema sustava prikazana je na slici u prilogu D. Dobivene tablične vrijednosti prikazat ćemo grafički kao odnos solarnog stupnja prekrivanja i stupnja djelovanja kolektora po mjesecima na slici 5. 1.. Postupak proračuna se temalji na određivanju vrijednosti srednje dnevne sunčeve ozračenosti kolektora pod određenim kutem koji pak ovisi o ekstraterestičkom zračenju te kutevima deklinacije sunca i vremenskom kutu sunca koji su navedeni u tablici 3. 3. na temelju kojih se dalje, uz pomoć određenih parametara, računaju vrijednosti dodatne potrebne toplinske energije za pripremu PTV-e odnosno stupanj pokrivanja.

	N	n	δ	ω_s	$\omega_{s\beta}$	$\omega_{s\beta\text{-min}}$	H	H_0	K_T	K_d	R_b	R	H_β
	-	-	°	°	°	°	MJ/m^2	MJ/m^2	-	-	-	-	MJ/m^2
Sij	31	15	-20,8	66,8	95,5	66,8	4,2	11,6	0,4	0,7	3,1	1,7	7,2
Velj	28	46	-13,6	78,7	93,5	78,7	6,8	17,6	0,4	0,6	2,3	1,5	10,5
Ožu	31	74	-2,4	87,5	90,0	87,5	11,5	24,6	0,5	0,5	1,5	1,2	13,9
Tra	30	105	9,5	100,0	90,2	90,2	16,0	32,9	0,5	0,5	1,1	1,0	16,3
Svi	31	135	18,8	110,6	101,8	101,8	19,0	39,1	0,5	0,5	1,0	1,0	19,2
Lip	30	166	23,1	116,1	104,8	104,8	20,4	41,7	0,5	0,5	1,0	1,0	20,1
Srp	31	196	21,1	113,5	103,4	103,4	21,4	40,3	0,5	0,4	1,0	1,0	21,4
Kol	31	227	13,3	104,2	98,1	98,1	18,5	35,2	0,5	0,5	1,1	1,0	19,2
Ruj	30	258	2,0	92,1	90,0	90,0	17,8	27,4	0,6	0,3	1,4	1,2	21,7
Lis	31	288	-9,8	79,6	89,8	79,6	8,8	19,1	0,5	0,5	1,9	1,4	12,2
Stu	30	319	-19,1	69,1	95,0	69,1	4,4	12,8	0,3	0,7	2,9	1,6	7,0
Pro	31	349	-23,1	63,9	96,1	63,9	2,8	10,1	0,3	0,8	3,5	1,5	4,1
Σ							**12,6**	**26,0**					**172,8**

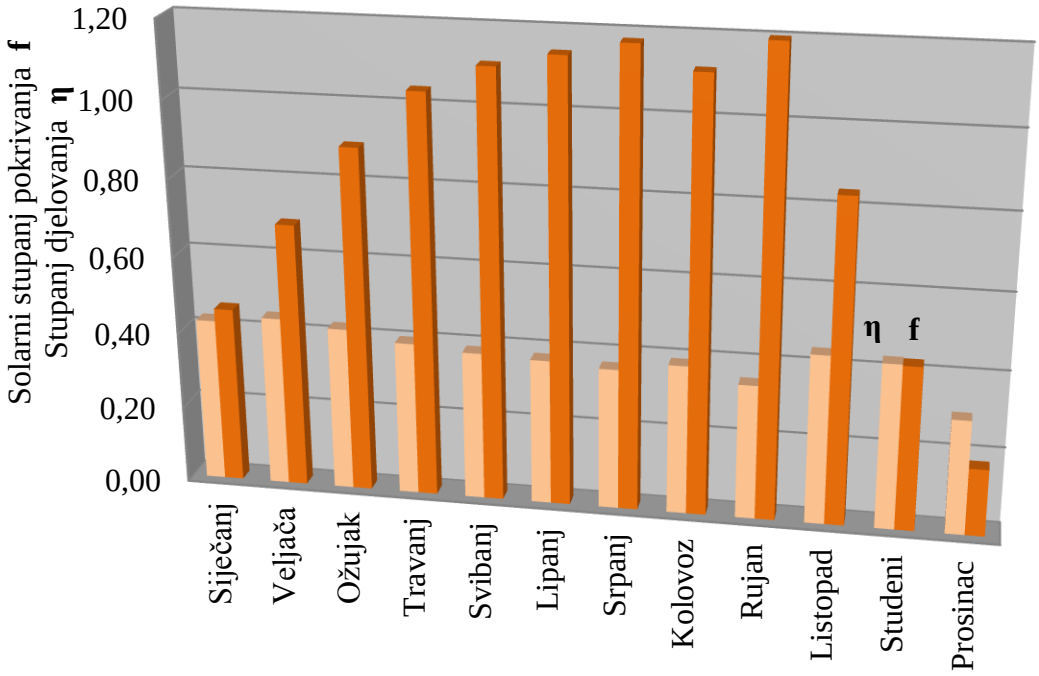
Tablica 5. 3. Mjesečne vrijednosti srednje dnevne ozračenosti plohe pod kutem β

	N	Q_{ptv}	θ_Z	X	Y	f	Q_k	Q_d	η
	-	GJ	˚C	-	-	-	GJ	GJ	-
Siječanj	31	1,3	-1,8	3,7	0,9	0,6	0,71	0,58	0,45
Veljača	28	1,2	1,6	3,6	1,4	0,8	0,92	0,24	0,44
Ožujak	31	1,3	4,5	3,5	1,8	1,0	1,26	0,02	0,41
Travanj	30	1,2	10,8	3,2	2,1	1,1	1,36	-0,11	0,39
Svibanj	31	1,3	15,6	3,1	2,5	1,2	1,53	-0,24	0,37
Lipanj	30	1,2	18,7	3,0	2,6	1,2	1,52	-0,28	0,36
Srpanj	31	1,3	20,4	2,9	2,8	1,3	1,61	-0,33	0,34
Kolovoz	31	1,3	19,5	2,9	2,5	1,2	1,54	-0,25	0,37
Rujan	30	1,2	15,8	3,1	2,8	1,3	1,56	-0,31	0,34
Listopad	31	1,3	10,4	3,3	1,6	0,9	1,16	0,12	0,44
Studeni	30	1,2	4,0	3,5	0,9	0,5	0,67	0,57	0,46
Prosinac	31	1,3	0,6	3,6	0,5	0,3	0,35	0,94	0,39
Godina		**15,1**	**10,0**			**0,7**	**14,2**	**2,5**	**0,4**

Tablica 5. 4. Potrebna mjesečna dodatna toplinska energija, stupanj pokrivanja i stupanj djelovanja solarnih toplinskih kolektora

	Energija kolektora	Dodatna energija	Dobitak energije kolektora		Smanjenje energije za PTV	
	kWh	kWh	kWh	%	kWh	%
$\beta_{opt.god.}$	3821,29	777,32	-	-	-	-
$\beta_{opt.mj.}$	3938,82	687,58	117,53	3,0	89,74	11,5

Tablica 5. 5. Dobitak energije sustava za PTV optimalizacijom kuta nagiba kolektora



Slika 5. 1. Grafički prikaz rezultata f-chart proračuna

Kako smo već ranije prikazali za FN sustav tako i u ovom slučaju u tabeli 5. 5. možemo vidjeti koliko energije dobivamo iz solarnih toplinskih sustava ako se mijenja kut nagiba kolektora (15°/45°/60°) spram energije sa konstantnim kutem nagiba (34°) kroz godinu s tim da je ovdje prikazana i količina smenjenja energije koju bi trebalo dodati sustavu za pripremu PTV-e koja za ovaj slučaj iznosi 11,5 %, a također u tabeli 5.6. je prikazana količina smanjenja energije za pripremu PTV istim sustavom instaliranom na području Splita.

	Energija kolektora	Dodatna energija	Dobitak energije kolektora		Smanjenje dodatne energije za PTV	
	kWh	kWh	kWh	%	kWh	%
ST	4726,29	19,92	787,47	16,66	667,66	97,10
BJ	3938,82	687,58	-	-	-	-

Tablica 5. 6. Usporedba doprinosa sustava u Splitu i Bjelovaru

5. 2. Dimenzioniranje sustava podnog grijanja i hlađenja

Kao ogrijevna tijela koristit ćemo površinske cijevi za podna grijanja, koje će biti montirana u ploće s čepićima, dimenzija 14 x 2 mm proizvođaća *Prineto* a proračun vršimo prema standardu EU 1264 te tabelama i grafikonima proizvođaća u kojima su dati podaci o vrijednostima toplinskih tokova po prostornom metru zavisno od temperatura polaznog i povratnog voda grijanja te srednje temperatura poda, podne obloge te razmaka postavljanja cijevi grijanja a cijeli se proračun bazira na podacim o toplinskim gubicima pojedine prostorije prikazanih u trećem poglavlju rada.

U tabelama 5.4. i 5.5. prikazane su vrijednosti proračuna potrebne instalirane snage prostorija te parametri postavljanja: razmak, raspored, površina, dužina, protok, brzina strujanja te pad tlaka pojedine cijevne sekcije-kruga.

Razmak među cijevima kod polaganja ovisi o potrebnoj snazi te raspoloživoj površini a duljina cijevi jednod kruga ne smije biti veća od 120 m radi pada tlaka pa je po potrebi dijelimo na nekoliko kraćih dionica.

Prostorija	**A**	**T**	**$\Phi_{prost.}$**	**$\Phi_{pod.}$**	**$\Phi_{potr.}$**	**$\Phi_{inst.\ pod.}$**
Prizemlje	m^2	°C	W	W	W	W
Dnevni boravak	76	21	1384	453	931	1065
Hodnik prizemlja	15	21	255	86	168	242
WC	5	21	79	29	50	114
Tehnika	8	21	112	44	67	112
KAT						
Hodnik kat	14	21	223	0	223	290
Kupaona	9	21	171	13	158	228
Garderoba	5	21	76	0	76	121
Spavaća soba 1	19	21	368	14	353	477
Spavaća soba 2	19	21	396	0	396	477
Dječja soba	12	21	156	0	156	261
Radna soba	15	21	469	26	443	543
Σ	**196**		**3687**	**666**	**3021**	**3931**

Tablica 5. 7. Instalirana snaga sustava grijanja po prostorijama

Prostorija	Krug	T_{cjevi}	$\Phi_{spec.}$	A_{kruga}	L_{cjevi}	Φ_{kruga}	q_m	$R_{cjev.}$	Δp
	-	m	W/m^2	m^2	m	W	kg/h	mbar/m	mbar
Prizemlje									
Dnevni boravak	P - 1 -1	0,3	24	22	74,6	532	92	1,06	78,7
	P - 1 -2	0,3	24	22	74,6	532	92	1,06	78,7
Σ				44	149,2	1065			157,5
Hodnik prizemlja	P - 2	0,3	24	10	34	242	42	0,22	7,4
WC	P - 3	0,3	38	3	10,9	114	20	0,05	0,5
Tehnika	P - 4	0,3	28	4	15,2	112	19	0,05	0,7
Kat									
Hodnik kat	K - 1	0,3	24	12	41,6	290	50	0,31	13,1
Kupaona	K - 2	0,3	38	6	21,8	228	39	0,19	4,2
Garderoba	K - 3	0,3	24	5	18,5	121	21	0,05	1,0
Spavaća soba 1	K - 4	0,2	28	17	87	477	82	0,85	73,8
Spavaća soba 2	K - 5 - 1	0,2	28	17	87	477	82	0,85	73,8
Dječja soba	K - 6	0,25	26	10	42	261	45	0,25	10,6
Radna soba	K - 7 - 1	0,1	42	6,5	67	271	47	0,27	18,4
	K - 7 - 2	0,1	42	6,5	67	271	47	0,27	18,4
Ukupno				**141**	**641**	**3931**	**493**		**379**

Tablica 5. 8. Proračunate karakteristične veličine ogrijevnih tijela podnog grijanja

Vrijednosti dobivene u proračunima potrošne tople vode te podnog grijanja koristimo kao parametre za dimenzioniranje - izbor toplinske pumpe koji je prikazan u nastavku.

Potrebe za hlađenjem pokrivaju se iz sustava pasivnog hlađenja toplinskom pumpom pri ćemu se koristi samo cirkulacijska pumpa bez rada kompresora sa projektnim režimom vode kruga podnog grijanja ulaz/izlaz 18/21°C te unutarnjom temperaturom od 23°C i vanjskom od 35°C a dobiveni proračuni su prikazani u tabeli 5. 8..

Prostorija	**Krug**	**ΔT_{mlog}**	**$R_{podloge}$**	**T_{cjevi}**	**$\Phi_{spec.}$**	**A_{kruga}**	**L_{cjevi}**	**$\Phi_{potr.}$**	**Φ_{kruga}**
	-	°K	m^2K/W	m	W/m^2	m^2	m	W	W
Prizemlje									
Dnevni boravak	P-1-1	3,3	0,15	0,3	7,5	22	74,6		
	P-1-2	3,3	0,15	0,3	7,5	22	74,6		
Σ							149,2	246	330
Hodnik prizemlja	P-2	3,3	0,15	0,3	7,5	10	34	44	75
WC	P-3	3,3	0,01	0,3	10,5	3	10,9	12	31
Tehnika	P-4	3,3	0,01	0,3	10,5	4	15,2	16	42
Kat									
Hodnik kat	K-1	3,3	0,15	0,3	7,5	12	41,6	58	90
Kupaona	K-2	3,3	0,01	0,3	10,5	6	21,8	43	63
Garderoba	K-3	3,3	0,15	0,3	7,5	5	18,5	20	37,5
Spavaća soba 1	K-4	3,3	0,15	0,2	8,5	17	87	98	144
Spavaća soba 2	K-5-1	3,3	0,15	0,2	8,5	17	87	111	144
Dječja soba	K-6	3,3	0,15	0,25	8	10	42	41	80
Radna soba	K-7-1	3,3	0,10	0,1	14	6,5	67	64	91
	K-7-2	3,3	0,10	0,1	14	6,5	67	64	91
Ukupno							**641,2**	**822,6**	**1220**

Tablica 5. 9. Vrijednosti potrebne topline hlađenja pojednih prostorija

Iz tablica 5. 7. i 5. 8. vidimo kako sustave niskotemperaturnog podnog grijanja i hlađenja projektiramo ovisno o toplinskim gubicima određene prostorije, promjeru cijevi razvoda grijanja, vrsti podloge, razlici temperatura polaznoga i povratnoga voda grijanja, te temperaturama prostorija prema kojima računamo potrebnu srednju logaritamsku temperaturu podnog sustava grijanja te zatim prema toj vrijednosti iz grafičkih prikaza za dani promjer cijevi, otpor podloge te razmak postavljanja cijevi određujemo vrijednost toplinskog toka grijanja ili hlađenja.

Nadalje, prema vrijednosti tog toplinskog toka, ukupnog opterećenja objekta te razmaku polaganja cijevi, određujemo potrebnu površinu pokrivanja cijevima za danu prostoriju.

5. 3. Dimenzioniranje toplinske crpke

Kao potporu sustavu grijanja koristimo toplinsku crpku zemlja-voda koja se također koristi i kao dodatni izvor za zagrijavanje potrošne vode kada energija solarnih toplinskih kolektora nije dostatna.

Toplinsku crpku odabiremo prema vrijednostima toplinskog toka (snage), dobivenim u proračunima podnog grijanja te pripremi potrošne tople vode koji u ovom slućaju zajedno iznose 5,43 kW pa prema tome odabiremo toplinsku crpku geoTHERM plus WVS 64/3 od 6,1 kW proizvođaća *Vaillant* za koju ćemo prikazati proračun režima B-2/W35 te prema tome odrediti površinu vanjskog kolektorskog polja, duljinu i broj petlji, volumen rasoline i padove tlaka. Na slici 2.18. prikazuje se termodinamički proces radne tvari toplinske pumpe plina R-407 u p-h dijagramu za režim B5/W35.

Entalpija isparavanja	h_1	kJ/kg	**419**
Entalpija kompresije	h_2	kJ/kg	**464**
Entalpija kondenzacije-ekspanzije	$h_3 - h_4$	kJ/kg	**236**
Temeratura okoliša	$T_{okol.}$	°C	**5**
Temperatura polaznog voda	$T_{pol.}$	°C	**35**
Toplina kondenzacije	$\Phi_{kond.}$	W	**5430**
Specifična toplina zemlje	$\Phi_{zem.spec.}$	W/m^2	**22**
Razmak cijevi izmjenjivača	s	m	**0,7**
Max. duljina cijevi izmjenjivača	$L_{max.}$	m	**100**
Topllinski kapacitet rasoline	$c_{pras.}$	J/kgK	**3590**
Topllinski kapacitet vode	$c_{pvode.}$	J/kgK	**4185**
Razlika temperature rasoline	$\Delta T_{prim.}$	°K	**3,5**
Razlika temperature vode	$\Delta T_{sek.}$	°K	**5**
Duljina spojnih cijevi	$L_{sp.cv.}$	m	**10**
Specifični volumen medija cijevi izmjenjivača	$V_{spe.sp.cij.}$	l/m	**0,835**
Volumen razdijelnika	$V_{razd.}$	l	**3**
Specifični volumen medija spojnih cijevi	$V_{spe.sp.cij.}$	l/m	**0,835**
Gustoća rasoline	$\rho_{ras.}$	kg/m^3	**1050**
Radius cijevi zemnog kolektora	$r_{cj.zk.}$	m	**0,016**
Radius spojne cijevi	$r_{sc.}$	m	**0,016**

Tablica 5. 10. Ulazne vrijednosti za proračun toplinske pumpe

U tablici 5. 10. prikazane su vrijednosti dobivenog proračuna parametara toplinske pumpe i zemnih kolektora koji nam daju uvid o potrebnoj površini zemljišta koje ćemo koristiti za postavljenje zemnih kolektora - P_{kol}, duljini - L_{kol} i broju krugova cijevi kolektora N_{kr} , ukupnom tlaku u cjevovodima primarnog kruga $\Delta p_{zem.\ Izmj}$, brzini strujanja fluida odnosno potrebnom masenom protoku- q_{ras}, toplini oduzimanja cijevi kolektora od zemlje odnosno primljene topline radne tvari toplinske crpke - Φ_{isp}, volumenu rasoline - radnog medija primarnog kruga - V_{ras} a također je proračunata snaga kmpresora Φ_{kom}, te koeficijent učinkovitost toplinske pumpe η_{cop} koji se mijenja ovisno o vrijednostima temperature okoliša za svaki mjesec i polaznoga voda grijanja i varira od 4 do 5, a čije se vrijednosti očitavaju sa grafičkog prikaza proizvođača za vrijednosti temperatura polaznoga voda grijanja te temperatura rasoline na ulazu u toplinsku pumpu (temperatura okoliša).

q_{vod}	q_{ras}	Φ_{isp}	Φ_{kom}	η_{cop}	P_{kol}	$L_{kr.min}$	N_{min}	N_{kr}	L_{kol}	V_{ras}	$\Delta p_{zem.\ Izmj}$
kg/s	kg/s	W	W	-	m^2	m	-	-	m	l	Pa
0,26	0,33	4153	1278	4,25	189	269,7	2,7	3	300	262	6360

Tablica 5. 11. Vrijednosti parametara toplinske pumpe i zemnog izmjenjivaća

Na temelju podataka o ukupnom padu tlaka cjevovoda $\Delta p_{zem.\ Izmj}$ te visine dobave integrirane cirkulacijske pumpe toplinske crpke od približno 34 200 Pa vrijedi:

$$\Delta p_{cp} = 6360 \text{ Pa} < 34\,200 \text{ Pa} ;$$

Pa možemo zaključiti da integrirana cirkulacijska pumpa dizalice topline zadovoljava. Ovdje je još potrebno odrediti volumen kompenzacijske posude okolišnog kruga koja je uključena uz toplinsku pumpu i njezin volumen je 6 l što je dovoljno za pokrivanje vrijednosti od 600 l rasoline te je instalirana na najvišoj točci izvora toplinske crpke i služi kao odzračivač. Pri stavljanju u pogon se preporuča punjenje do cca. 2/3. Izmjena volumena mješavine u omjeru voda/zaštitno sredstvo (2:1) iznosi ca. 0,8% pri temperaturi 20K.

Tlak u krugu rasoline nesmije biti niži od 0,6 bara, jer će u suprotnom doći do stvaranja mjehurića i time izazvati smanjeni protok rasoline. Ukoliko tlak pada ispod 0,6 bara (dulje od 2 minute), isključit će se toplinska crpka i crpka za rasolinu.

5. 4. Dimenzioniranje hidrauličkih komponenti sustava

U ovom dijelu ćemo dati proračune ostalih hidrauličkih dijelova sustava grijanja i pripreme PTV-a koji obuhvaćaju dimenzioniranje cjevovoda kruga grijanja, PTV-a te solarnog kruga odnosno odabir potrebnih cirkulacijskih pumpi i ekspanzijskih posuda.

Hidraulička 3 D shema prikazana na slici u prilogu C, sa svim dijelovima sustava, iz koje vidimo da se toplinska pumpa koristi za direktno zagrijavanje vode u podnom grijanju te za pasivno hlađenje putem troputnog ventila i za dogrijavanje potrošne tople vode.

5. 4. 1. Dimenzioniranje cjevovoda kruga grijanja

Sustav cjevovoda se sastoji od cjevovoda koji povezuju toplinsku pumpu sa spremnikom PTV-a te onih u krugu podnog grijanja, a svrha dimenzioniraja je ta da se utvrdi dali integrirana cirkulacijska crpka toplinske pumpe može funkcionirati za dobivene padove tlaka sustava cijevi, a u tablicama 5. 11. i 5. 12. su prikazane vrijednosti padova tlaka te ostalih veličina potrebnih za dimenzioniranje cjevovoda sustava i možemo reći da pumpa toplinske crpke zadovoljava sa svojih 395 mbar nasprem dobivenih 120,35 mbar pada tlaka sustava.

Q_n	**q_m**	**D**	**v**	**R**	**L**	**ζ**	**RL**	**Z**	**RL+Z**
W	kg/s	mm	m/s	Pa/m	m	-	Pa	Pa	Pa
5430	0,260	32	0,32	45,91	3	3,5	137,7	182,9	320,7
1500	0,072	20	0,23	46,07	3	6	138,2	156,8	295,0
3930	0,188	25	0,38	84,33	20	9,3	1686,5	683,5	2370,0
2397	0,115	20	0,37	103,03	7	6,8	721,2	454,1	1175,3
									12034,9

Tablica 5. 12. Vrijednosti padova tlaka pojedinih dionica te ukupni pad tlaka sustava

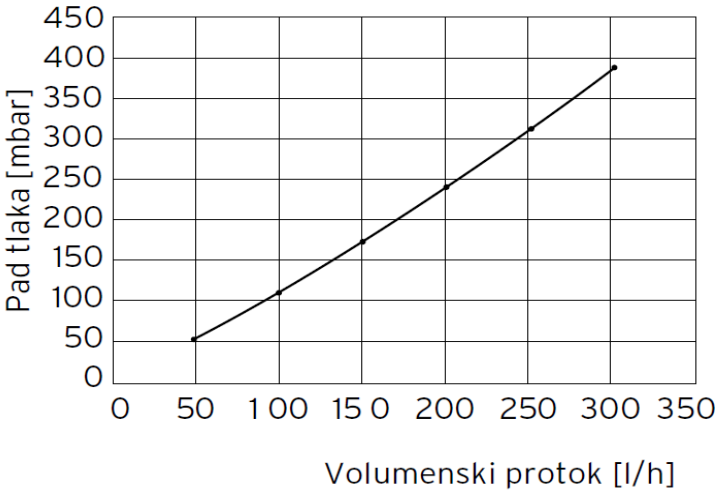
ν	**R_e**	**η**	**ρ**	**λ**	**A**
m^2/s	-	Pa*s	kg/m^3	-	m^2
7,24E-07	14857,8	0,00072	995	0,02784	0,0008
7,24E-07	5275	0,00072	995	0,03722	0,00031
7,24E-07	14798	0,00072	995	0,02787	0,00049
7,24E-07	10709,5	0,00072	995	0,03039	0,00031

Tablica 5 13. Vrijednosti karakterističnih veličina strujanja u cjevovodima

5. 4. 2. Dimenzioniranje cjevovoda solarnog kruga

Za sustav pripreme potrošne tople vode koristimo tri paralelno vezana pločasta kolektora ukupne površine 7,05 m^2 te spremnik od 350 l koji su međusobno povezani cjevovodima ukupne duljine 18 m te je za njihovo optimalno funkcioniranje potrebno odrediti maseni protok, brzinu strujanja radne tvari za odabrani presjek cijevi i padove tlaka sustava te prema tome odabrati solarnu pumpnu stanicu.

Za konkretan ćemo slučaj uzeti tzv. high-flow način rada (40 l/m^2h) zbog nešto većih prinosa ali i zbog toga što je za manje sustave potreban manji protok pa se mogu koristiti i manje dimenzije cjevovoda.



Slika 5. 2. Ovisnost pada tlaka o protoku kolektora

Prema podacima o protoku kroz jedan kolektor od 40 l/m^2h dobivamo ukupan protok od 280 l/h odnosno 93.4 l/h kroz svaki kolektor te prema tome određujemo pad tlaka u svakom kolektoru iz grafičkog prikaza sa slike 5. 2. koji iznosi oko 110 mbar.

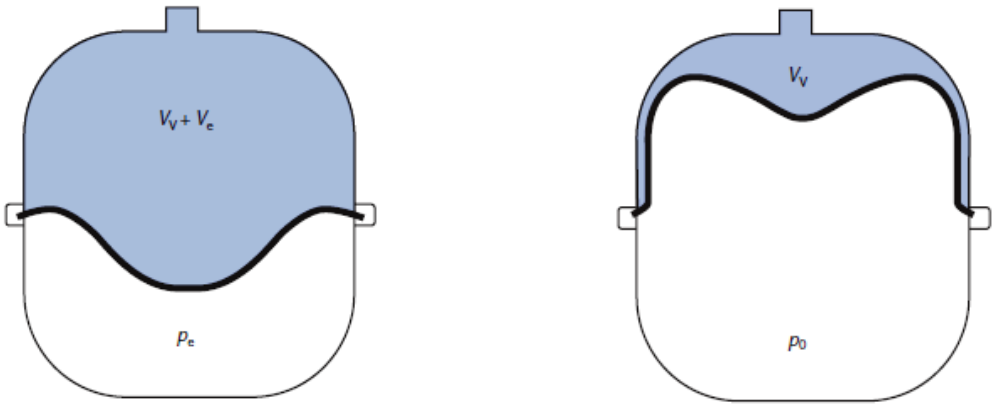
U tablici 5. 13. dane su vrijednosti proračunatih parametara cijevovoda solarnog kruga odnosno prikazuju ukupan protok, brzinu protjecanja i padove tlaka a prema navedenim se podacima, za ukupan tlak i protok, odabire solarna stanica od 6 l/min.

$q_{kol.}$	$q_{mukup.}$	$q_{mkol.}$	DN	v	R	L	$Rl_{dod.}$	$R_{dod.}$	$R_{S.C.}$	$R_{S.C.}$	h_p
l/h	l/h	l/hm^2	m	m/s	Pa/m	m	Pa	Pa	Pa	mbar	m
93	280	40	0,014	0,48	313	18	8442	17500	25942	259	**2,48**

Tablica 5. 14. Vrijednosti proračunatih parametara cijevovoda solarnog kruga

5. 4. 3. Dimenzioniranje ekspanzijske posude solarnog kruga

Solarni sustavi postavljaju posebne zahtjeve u području sigurnosti rada. Tu se, uz uobićajene sigurnosne ventile, dodatno uvjetuje vlastita pouzdanost sustava. Vlastita pouzdanost znaći da sustav može opet raditi nakon mirovanja automatski i bez dodatnog rukovanja. Ako se, primjerice, prilikom jakog sunčeva zračenja na temelju male potrošnje dosegne maksimalna temperatura spremnika, crpka solarnog sustava se zaustavlja. Temperature u kolektoru rastu do temperature stagnacije, pri ćemu u kolektoru može nastati para. U tom slučaju iz sigurnosnog ventila ili odzračivaća ne smije isteći solarna tekućina, budući da bi je nedostajalo nakon hlađenja sustava i trebalo bi je ručno dopuniti. Potrebna vlastita pouzdanost postiže se tako da ekspanzijska posuda prima ne samo širenje zbog zagrijavanja, već i istisnutu zapreminu zbog stvaranja pare u kolektoru. Izbjegava se otvaranje sigurnosnog ventila.



Slika 5. 3. Krajnji tlak ekspanzijske posude i tlak nakon punjenja

Jednadžba za proračun volumena ekspanzijske posude glasi:

$V_N = (V_e + V_K + V_r) * (p_e+1)/(p_e - p_0)$ di je:

$V_e = 0,085*V_a = 0,085*(V_K + V_R + V_V)$; volumen eksanzije;

$p_e = 0,9*p_{si}$; maksimalni tlak intalacije;

$p_0 = 0,8$ bar + $p_{stat.} = 0,8$ bar + 0,1 bar/m *h; tlak akumulacije.

v_r	h	L_R	L_r	V_K	V_r	V_R	V_{WT}	V_a	V_e	p_0	p_{si}	p_e	V_N
l/m	m	m	m	l	l	l	l	l	l	bar	bar	bar	l
0,131	7	15	2	5,55	0,262	1,965	10,7	18,215	7,36	1,5	6	5,4	**24,41**

Tablica 5. 15. Proračunate vrijednosti karaktrističnih veličina ekspanzijske posude

Prema podacima iz tablice odabiremo ekspanzijsku posudu od 35 l.

5. 4. 4. Dimenzioniranje ekspanzijske posude kruga grijanja

Volumen ekspanzijske posuda kruga grijanja ovisi o volumenu radnog medija, tlaku akumulacije, krajnjem tlaku te volumenu širenja radnog medija pri rastu temperature a dobiva se iz relacije:

$$V_{nmin} = (V_v + V_e) * (p_e + 1)/(p_e - p_0);$$

Proračunate vrijednosti karakterističnih veličina date su u tablici 5. 15. prema čemu i odabiremo ekspanzijsku posudu većeg volumena od V_{nmin}, odnosno vrijednosti 12 l.

$v_{rpg.}$	n	h	$L_{pg.}$	$L_{ost.}$	$V_{pg.}$	$V_{sus.}$	V_e	p_{si}	p_e	V_N
l/m	-	m	m	m	l	l	l	bar	bar	l
0,113	0,68	8	641,2	100,1	72,5	174,9	1,19	3	2,5	**9,77**

Tablica 5. 16. Proračunate vrijednosti karaktrističnih veličina ekspanzijske posude

5. 4. 5. Dimenzioniranje pumpe PTV-a

Protok medija kroz pumpu računamo prema:

$$V_p = Q_w/2,4 = (l_{wk}*q_{wk} + l_{ws}*q_{ws})/2,4 = 38,33 \text{ l/h}$$

Te prema protoku i promjeru DN 15 odabiremo pumpu proizvođača Wilo Star Z TT maksimalne visine dobave 1.1 i volumni protok 0.3 m^3/h.



Slika 5. 4. Recilkulacijska pumpa PTV-a

5. 5. Dimenzioniranje ventilacijskog sustava

Dimenzioniranje ventilacijskog sustava bitno je iz razloga što uvelike doprinosi ukupnoj energetskoj bilanci građevine i razini higijene što je vrlo bitno kod pasivnog načina gradnje za postizanje niskih vrijednoti potrebne toplinske energije.

Sustav funkcionira po principu prikazanom na slici 2. 26. a sastoji se od rekuperatora topline, dovodnih otvora svježeg zraka sa i bez zemnog izmjenjivača te unutarnjih razvodnih cijevi ventilacije i sabirnika.

Zemni se izmjenjivač ugrađuje iz razloga smanjivanja-povećanja ulazne temperature zraka ljeti-zimi odnosno kod vrijenosti temperature vanjskog zraka iznad 24 °C i ispod 5 °C a to je moguće otvaranjem zaklopke zemnog izmjenjivača na ulazu u rekuperator, s tim da se vanjski ljetni ohlađeni zrak (do $\Delta T \approx 12$ °C) uvodi direktno u prostoriju bez izmjene topline sa otpadnim zrakom iz prostorija koji se odvodi putem by-pass kanala, naravno ako je temperatura dovedenog svežeg zraka niža od otpadnog, i time se pridonosi smanjenju energije za hlađenjem dok se zimski hladni vanjski zrak zagrijava (do $\Delta T \approx 20$ °C) te tako možemo ostvariti željenu povratnu toplinu sa otpadnog toplog zraka rekuperaciom.

Za vrijeme prijelaznih temperatura proljeće-jesen najviše se koristi dovodni otvor sviježeg zraka bez izmjenjivanja topline sa zemljom na taj način da se otvori zaklopka na gornjem ulaznom kanalu i izmjenjuje toplina sa otpadnim zrakom kako prikazuje slika 2. 26.

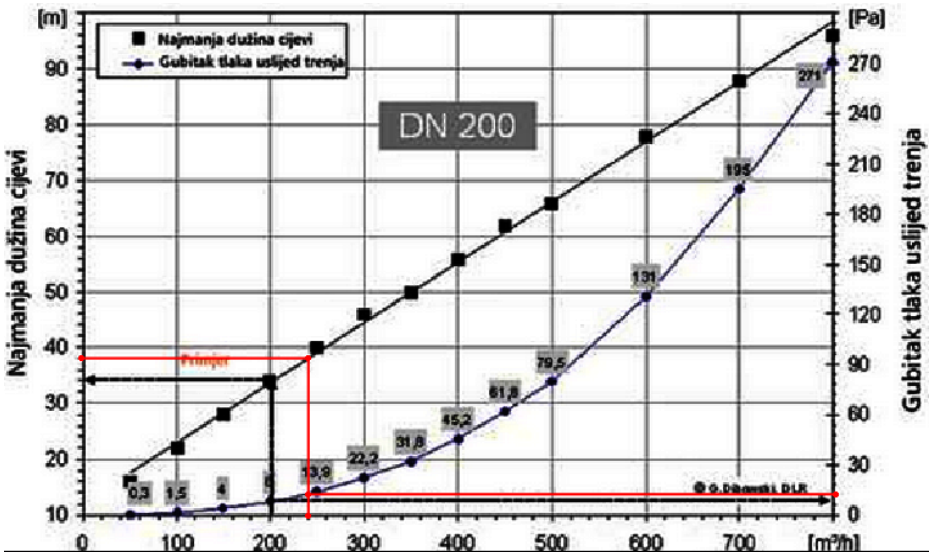
Za stabilan rad rekuperatora i minimizacije ventilacijskih gubitaka topline te smanjenje potrebne energije hlađenja potrebno je povoljno dimenzionirati cijelokupni sustav ventilacije odnosno izabrati povoljan materijal cijevi zemnog izmjenjivača, optimalnu dubinu polaganja cijevi, promjer cijevi ovisno o brzini strujanja odnosno protoku zraka, duljinu cijevi i način njihovog polaganja a sve to ovisno o srednjoj temperaturi i vrsti tla za danu dubinu polaganja.

Pravilan izbor svih parametara je dosta kompleksna zadaća a najvažniji su parametri protok zraka i potrebna ulazna temperatura u rekuperator te pod tlaka prema kojima se i određuje potrebna duljina cijevi izmjenjivača te izabire rekuperator.

Najčešće su dubine polaganja cijevi oko 1.5 do 2 m a ispod toga se ne dobiva znatna razlika na povišenju razlike u temperaturi ulaza i izlaza a povećavamo troškove.

Materijal cijevi za zračno-zemni izmjenjivač topline mora biti otpornan na utjecaje tla, dovoljno nepropusan, neotrovan, otporan na koroziju,glatke stijenke , ne smiju upijati prašinu niti imati higroskopna svojstva i dobar prolaz topline, a tome najbolje odgovaraju polietilenske cijevi za zrak.

Promijer cijevi ovisi o protoku tj. brzini strujanja zraka koja bi trebala biti oko 2-3m/s pa se prema tome za naš slučaj bira cijev DN 200 uz protok od oko 240 m^3/h odnosno brzini strujanja zraka od 2,1 m/s a sa slike 5. 5. očitavamo vrijednost duljine izmjenjivača koja je za naš slučaj min. 38 m uz pad tlaka zbog trenja od 12 Pa, uzimamo cijev dužine 40 m.



Slika 5. 5. Ovisnost duljine cijevi i pada tlaka zemnog izmjenjivača promijera 0.2 m

Prema navedenim podacima za izmjenjivač te srednjim mjesečnim temperaturama tla potrebno je odrediti srednje vrijednosti temperatura na ulazu u rekuperator za vrijeme zime i ljetnih mjeseci odnosno za min. temperaturu vanjskog zraka od -18 °C te max. od 35 °C.

Dobivene vrijednosti ulaznih temperatura zraka u rekuperator nakon prolaza kroz zemni izmjenjivač za min. i max. godišnje vrijednosti koriste se za projektiranje vršnog opterećenja sustava grijanja - hlađenja (gubitaka topline) odnosno podataka potrebnih za projektiranje sustava podnog grijanja.

Unutarnji se razvod sastoji od sabirnika i cijevi dovoda i odvoda zraka a izvode se kao plosnate-okrugle fleksibilne cijevi širine-promjera 10-20 cm i ugrađuju se u toplinsku izolaciju ispod stropa i ne smiju biti preblizu jedan drugome pa ih je u prostoru najbolje postaviti dijagonalno. Između dovodnih i odvodnih prostora mora biti odgovarajući protok zraka što se postiže podrezivanjem vrata do 1,5 cm. Slika sustava ventilacije - prilog E.

U tablicama 5.16. i 5.17. prikazuju se parametari zemnog izmjenjivača topline te rekuperatora odnosno prikazani su profili temperatura na ulazu i izlazu iz zemnog izmjenjivaća ($T_{ul.}$ i $T_{cj.iz.}$) te vrijednosti temperatura ulaznih i izlaznih struja rekuperatora (T_1', T_2', T_1'', T_2'') sa 85 % rekuperacijom, koje su važne za proračune vrijednosti ventilacijskih gubitaka.

Mjesec	D_u	T_{ul}	$T_{tla.}$	q_m	L	$\lambda_{cj.}$	η	$\lambda_{zr.}$	$\alpha_{zr.}$	q	$T_{cj.int.}$
	m	°C	°C	kg/s	m	W/mK	μNs/m2	W/mK	W/m2K	W/m	°C
Min.	0,2	-18,0	4,0	0,1	50,0	0,2	16,9	0,0	9,8	64,4	1,0
Max.	0,2	35,0	18,0	0,1	50,0	0,2	18,7	0,0	8,9	47,7	20,2
Sij.	0,2	-1,8	4,7	0,1	50,0	0,2	16,9	0,0	9,8	23,2	3,6
Velj.	0,2	1,6	5,1	0,1	50,0	0,2	18,7	0,0	9,0	14,8	4,4
Ožu.	0,2	4,5	6,4	0,1	50,0	0,2	16,9	0,0	9,8	19,8	5,5
Tra.	0,2	10,8	8,1	0,1	50,0	0,2	18,7	0,0	9,0	-	-
Svi.	0,2	15,6	11,5	0,1	50,0	0,2	16,9	0,0	9,8	13,4	12,1
Lip.	0,2	18,7	15,3	0,1	50,0	0,2	18,7	0,0	9,0	6,5	15,6
Srp.	0,2	20,4	16,8	0,1	50,0	0,2	16,9	0,0	9,8	6,7	17,1
Kol.	0,2	19,5	17,8	0,1	50,0	0,2	18,7	0,0	9,0	2,5	16,8
Ruj.	0,2	15,8	16,2	0,1	50,0	0,2	16,9	0,0	9,8	1,4	15,7
Lis.	0,2	10,4	12,7	0,1	50,0	0,2	18,7	0,0	9,0	-	-
Stu.	0,2	4,0	8,5	0,1	50,0	0,2	16,9	0,0	9,8	16,7	7,7
Pro.	0,2	0,6	5,5	0,1	50,0	0,2	18,7	0,0	9,0	16,6	4,7

Tablica 5. 17. Profili temperatura na ulazu i izlazu iz zemnog izmjenjivaća

Mjesec	T_2'	T_1'	T_1''	T_2''	$T_{2sr.}''$	T_1'	T_2'	T_1''	T_2''	$T_{2sr.}''$
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Min	-1,7	21,0	1,7	17,6	3,4					
Max	22,9	23,0	22,9	23,0						
Sij.	2,0	21,0	4,8	18,1		21,0	2,0	4,8	18,1	10,1
Velj.	3,0	21,0	5,7	18,3		21,0	3,0	5,7	18,3	10,6
Ožu.	3,3	21,0	6,0	18,3		21,0	3,3	6,0	18,3	10,8
Tra.	10,8	21,0	12,3	19,5	15,1	21,0	10,8	12,3	19,5	15,1
Svi.	13,6	21,0	14,7	19,9	16,8	21,0	13,6	14,7	19,9	16,8
Lip.	17,1	23,0	18,0	22,1		23,0	17,1	-	17,1	17,1
Srp.	18,6	23,0	19,3	22,3		23,0	18,6	-	18,6	18,6
Kol.	18,3	23,0	19,0	22,3		23,0	18,3	-	18,3	18,3
Ruj.	16,2	21,0	16,9	20,3	18,2	21,0	16,2	16,9	20,3	18,2
Lis.	10,4	21,0	12,0	19,4	14,9	21,0	10,4	12,0	19,4	14,9
Stu.	6,2	21,0	8,4	18,8		21,0	6,2	8,4	18,8	12,5
Pro.	3,1	21,0	5,7	18,3		21,0	3,1	5,7	18,3	10,7

Tablica 5. 18. vrijednosti temperatura ulaznih i izlaznih struja rekuperatora

5. 6. Upravljanje radom sustava grijanja i pripreme PTV-a

Cjelokupni se sustav regulacije sastoji od dva glavna regulacijska kruga a to su krug regulacije sustava podnog grijanja i temperature prostorija odnosno toplinske crpke, te krug za upravljanje radom solarnog sustava za pripremu PTV-e odnosno solarnom pumpom.

Krugom grijanja te pripreme PTV-e upravlja regulacija toplinske pumpe odnosno energetski atmosferski regulator a uloga mu je da uključuje i isključuje uređaje u ovisnosti o temperaturi polaznog voda grijanja te temperature PTV-e a osim toga upravlja i troputnim mješajućim ventilom za regulaciju temperature polaznoga voda, osjetnikom maksimalne temperature, cirkulacijskom pumpom kruga podzemnih kolektora, temperaturom spremnika te temperaturom povratnog voda grijanja.

Cijelokupni je sistem ovisan o vanjskom osjetniku temperature prema kojem se i mijenja temperatura polaznog voda, odnosno kad temperatura vani raste u polaznom vodu pada i obratno a ovisno o padu temperature u spremniku ili polaznom vodu grijanja cirkulacijska crpka preko troputnog ventila dobavlja radni medij do spremnika PTV-e ili prema krugu grijanja di se dalje ovisno o potrebnoj temperaturi polaznog voda kruga grijanja smanjuje temperatura putem troputnog mješajućeg ventila.

Sustav upravlja i temperaturama u prostorijama tako da se putem sobnog električnog osjetnika temperature - termostata postavi željena temperatura (ručno) i taj se signal promjene automatski prenosi do centralne jedinice krugova grijanja (bežično) koja dalje šalje signal do regulacije na razdijelniku koja upravlja otvaranjem ili zatvaranjem zonskih ventila potrebnih krugova za datu prostoriju putem pogonskih ventila odnosno mijenja se protok kruga, a cirkuliranje medija osigurava crpka toplinske pumpe koja također dobiva daljinski signal sa centralne jedinice.

Diferencijalna automatika u solarnom sustavu upravlja radom pumpe koja omogučuje cirkulaciju nosioca topline između kolektora i spremnika. Automatika uključuje pumpu kada je temperatura na izlazu iz kolektora nekoliko °C veća od one u spremniku na mjestu neposredno iznad izmjenjivača topline, a isključuje, kada je ta razlika manja od zahtijevane.

Tako se onemogućuje rashlađivanje spremnika u razdobljima kada je temperatura u spremniku viša od one u kolektoru (za oblačna vremena ili tijekom noći). Regulacija se sastoji od upravljačke jedinice, osjetnika temperature smještenog na izlazu iz kolektora i na različitim pozicijama u spremniku. Hidraulička shema sustava i potrebne regulacije prikazana je u prilogu C.

6. Ekonomsko ekološka analiza projekta

U ovom ćemo dijelu prikazati godišnju potrošnju energije za grijanje, hlađenje, potrošnu toplu vodu i električnu energiju po mjesecima te prikazati koliko se mora uložiti dodatne električne energije iz mreže za pokretanje toplinske pumpe i dogrijavanje PTV-a te paralelno prikazati dobitke električne energije iz FN sustava.

Na temelju mjesečne potrošnje primarne energije sustava dat ćemo ekonomsku mjesečnu računicu potrošnje i dobitaka iz FN sustava te njihovom razlikom prikazati koliki je čisti mjesečni dobitak FN sustava, s tim da se paralelno prikazuje sustav istih karakteristika ali za područje Splita radi usporedbe isplativosti projekta u različitim podnebljima.

Nakon toga dan je popis glavnih elemanata sustava sa njihovom vrijednostima izraženim u HRK da bi mogli dati ekonomsku analizu povrata investicije u iste.

U zadnjem dijelu poglavlja ekonomske analize dana je usporedba sustava Pasivne kuće ovog projekta sa sustavom klasične gradnje istih dimenzija, orijentacije, na identičnoj lokaciji sa klasičnim sustavom grijanja, hlađenja, pripreme PTV-a te istih električnih uređaja uređaja sa plinom i električnom energijom kao energentom, za koji će biti prikazani samo krajnje proračunate vrijednosti potrošnje energije radi mogućnosti usporedbe.

Na temelju tih usporedbi dolazimo do krajnjih vrijednosti ušteda i dobitaka Pasivne kuće iz kojih se može ocijeniti isplativost potencialnog ulaganja u dani projekt.

Na kraju rada je data ekološka analiza ovog projekta koja je isto tako vrlo važan faktor jel samim tim što smanjujemo potrebe za energijom na najmanju moguću mjeru također smanjujemo ispuštanje štetnih emisija u okoliš i, u maloj mjeri, smanjujemo globalno zagrijavanje Zemlje smanjivanjem tih emisija u atmosferi.

Ovdje promatramo samo emisije ugljičnog dioksida - CO_2 kao najzastupljenijeg stakleničkog plina iz građevinskog sektora.

I u ovom ćemo dijelu prikazati paralelnu usporedbu ispuštanja štetnih emisija Pasivne kuće sa klasičnom na osnovi potrošene primarne energije.

6. 1. Ekonomska analiza projekta

U tabeli 6. 1. prikazane su vrijednosti mjesečne potrošnje primarne energije odnosno energije za pripremu PTV-e, za grijanje, hlađenje, te za električnu energiju koja je ovdje dana kao vrlo "nestabilna" komponenta jel može varirati i ovisi o mnogo raznih parametara ali okvirno njezina je vrijednost dana na bazi potrošnje prosječne obiteljske kuće odnosno njezinih električnih uređaja, te vrijednosti dobitaka energije sa FN panela.

Uz vrijednosti potrošnje energije dana je ekonomska računica po mjesecima za ukupnu potrošnju i vrijednosti dobitaka sa FN panela u HRK i njihova razlika koja nam govori koliko je moguće "zaraditi" korištenjem FN panela te predajom energije dobivane na njima u električnu mrežu u ovom slučaju HEP-a uz naknadu od 2.3 HRK po kWh, što za naš konkretan slučaj iznosi 13 329 kWh energije godišnje te uz potrošnju primarne energije od 6699 kWh dobivamo razliku od 16 538 HRK/god., a kada bi se isti projekt provodio na području Splita vrijednosti dobitaka narasle bi na 22 268 HRK/god.

Ova nam je razlika bitna zbog procijene vremenskog povrata investiranih sredstava u sustave koji ćemo prikazati nakon popisa elemenata sustavu i njihove vrijednosti prikazanih u tablici 6. 2..

	Potrošnja energije sustavi			El. uređaji	ENERGIJA	FN moduli	RAZLIKA	Cijena energije	
Mjesec	PTV	Grijanje	Hladjenje		Ukupno		FN - Energija	Iz mreže	U mrežu
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Kn	Kn
Sij	40	153		492	685	569	-116	92	
Velj	17	80		446	544	744	201		461
Ožu	2	47		498	546	1094	548		1261
Tra		32	120	485	517	1241	725		1667
Svi		21	68	503	524	1505	982		2258
Lip		0	91	488	488	1531	1042		2398
Srp		0	158	505	505	1679	1174		2701
Kol		0	134	503	503	1505	1002		2305
Ruj		11	102	486	497	1647	1150		2645
Lis	9	87		496	591	957	366		842
Stu	39	79		476	595	533	-62	49	
Pro	65	150		491	706	323	-383	305	
Σ BJ	172	659	674	5868	6699	13329	**6630**	**446**	**16538**
Σ ST	32	488	606	5866	6991	16673	**9682**	**0**	**22268**

Tablica 6. 1. Godišnja potrošnje primarne energije, dobici energije iz FN sustava te ekonomska bilanca potrošnje energije i dobitaka na FN sustavima

	Popis elemenata	Količina	Vrijednost
			HRK
1.	Pločasti kolektor auroTHERM VFK 125	3	
2.	Solarna stanica + armatura + hidrauličke komponente	1	
3.	Solarna regulacija	1	
4.	Bivalentni solarni spremnik za PTV 400 l	1	
5.	Vaillant solarni set ukupno		25000
6.	FN moduli Solvis SV60-225	30	93000
7.	Inverter SMA SMC 10 000 TL	2	22000
8.	Toplinska crpka geoTHERM plus WVS 64/3	1	45000
9.	Razdijelne-sabirne stanice podnog grijanja	2	3900
10.	Cijevi podnog grijanja	641,2	2244,2
11.	Ekspanzijska posuda kruga grijanja	1	500
12.	Vanjski razdijelnik-sabirnik toplinske pumpe	2	1200
13.	Cijevi kolektorskog izmjenjivača topline	300	900
14.	Recirkulacijska pumpa za PTV	1	1800
15.	Bakrene cijevi DN 15	70	1260
16.	Bakrene cijevi DN 20	10	250
17.	Bakrene cijevi DN 25	20	700
18.	Bakrene cijevi DN 32	3	150
19.	Zaporni ventil	11	1650
20.	Sigurnosni ventili	2	600
21.	Troputni mješajući ventil	2	1600
22.	Ventilacijski sustav - rekuperator - kanali ventilacije	1	40000
23.	Armatura - ostalo	-	2000
	UKUPNO		**243754,2**

Tablica 6. 2. Prikaz elemenata energetskih sustava i njihove vrijednosti u HRK

Sada ako podijelimo ukupni iznos 243 754 HRK sa vrijednošću 16 673 HRK dobit ćemo vremenski povrat investicija cijelokupnog sustava od 14,6 godina za projekt na području Bjelovara te 11 godina za isti projekt na području Splita.

U tablicama 6. 3. i 6. 4. prikazujemo vrijednosti potrošnje primarne energije za građevinu dimenzija pasivne kuće ovog projekta "rađene" po standardu klasićne gradnje i konvencionalnog sustava sa plinom kao energentom za grijanje i pripremu PTV-e iste orjentacije sa dvostrukim PVC ostakljenjima, istih dimenzija, energetskog broja za grijanje od 66 kWh/m^{2}a godišnje, te dajemo usporedbu sa vrijednostima za pasivnu kuću ovog projekta na temelju ćega dobivamo iznos godišnje uštede.

Potrošnja energije							
	Sustavi			El. uređaji	Troškovi energije		
Mjesec	PTV	Grijanje	Hladjenje		Uređaji	Sustavi	Ukupno
	kWh	kWh	kWh	kWh	kn	kn	kn
Sij	376	3658		581	417	1856	2273
Velj	340	2465		525	376	1290	1667
Ožu	376	1364		581	417	801	1218
Tra	364	600	206	562	403	663	1067
Svi	376	38	387	581	417	601	1018
Lip	364	0	866	562	403	1086	1490
Srp	376	0	1757	581	417	2035	2452
Kol	376	0	1115	581	417	1355	1772
Ruj	364	26	440	562	403	646	1050
Lis	376	473		581	417	391	808
Stu	364	1987		562	403	1082	1485
Pro	376	3450		581	417	1760	2177
Ukupno	**4436**	**14066**	**4773**	**6848**	**4911**	**13 571**	**18 482**

Tablica 6. 3. Potrošnja i troškovi energije klasičnog načina gradnje

	Sustavi			El. uređaji	ENERGIJA	Razlika energije	Troškovi energije
Mj	PTV	Grijanje	Hladjenje		Ukupno		
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kn
Sij	377	3658	0	582	4617	4501	2181
Velj	340	2465	0	525	3331	3331	1667
Ožu	377	1365	0	582	2323	2323	1218
Tra	365	601	207	563	1735	1735	1067
Svi	377	39	387	582	1384	1384	1019
Lip	365	0	867	563	1794	1794	1490
Srp	377	0	1757	582	2715	2715	2453
Kol	377	0	1115	582	2074	2074	1773
Ruj	365	27	440	563	1395	1395	1050
Lis	377	473	0	582	1432	1432	808
Stu	365	1988	0	563	2915	2854	1437
Pro	377	3450	0	582	4409	4025	1873
Ukupno					**30124**	**29563**	**18036**

Tablica 6. 4. Smanjenje potrošnje i troškova energije putem pasivne kuće

Kako vidimo iz gornje tablice primjenom pasivnog standarda gradnje dodatno štedimo i to iznos od 18 036 HRK/god.

6. 2. Ekološka analiza

Na temelju godišnje potrošnje energije dobivene su vrijednosti u tablicama 6. 5. i 6. 6. za količine emisija CO_2 pasivne i klasićne gradnje na temelju kojih dolazimo do vrijednosti smanjenja od 9,125 t CO_2 godišnje pasivnim načinom gradnje.

	Potrošena energija					Dobitak	Razlika	Emisije CO_2
Mjesec	PTV	Grijanje	Hlađenje	Uređaji	Ukupno	FN	-	-
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kg
Sij	40	153	0	492	685	569	116	44
Velj	17	80	0	446	544	744		
Ožu	2	47	0	498	546	1094		
Tra	0	32	120	485	517	1241		
Svi	0	21	68	503	524	1505		
Lip	0	0	91	488	488	1531		
Srp	0	0	158	505	505	1679		
Kol	0	0	134	503	503	1505		
Ruj	0	11	102	486	497	1647		
Lis	9	87	0	496	591	957		
Stu	39	79	0	476	595	533	62	23
Pro	65	150	0	491	706	323	383	144
Σ BJ	**172**	**659**	**674**	**5868**	**6699**	**13329**	**561**	**211**

Tablica 6. 5. Količine emisija CO_2 pasivne kuće

	Emisije CO_2				
Mjesec	PTV	Grijanje	Hlađenje	Uređaji	Ukupno
	kg	kg	kg	kg	kg
Siječanj	99	966	0	223	1288
Veljača	90	651	0	201	942
Ožujak	99	360	0	223	683
Travanj	96	159	79	216	550
Svibanj	99	10	148	223	481
Lipanj	96	0	332	216	644
Srpanj	99	0	673	223	995
Kolovoz	99	0	427	223	749
Rujan	96	7	169	216	488
Listopad	99	125	0	223	447
Studeni	96	525	0	216	837
Prosinac	99	911	0	223	1233
Ukupno	**1171**	**3713**	**1828**	**2623**	**9336**

Tablica 6. 6. Emisije CO_2 klasičnog načina gradnje

7. Zaključak

Ovim smo radom pokazali kako se, gradnjom i korištenjem suvremenih pasivnih i nisko energetskih građevina odnosno načinom njihova projektiranja, izvedbom te korištenjem obnovljivih izvora, dobiva najbolji odnos između ekologije i energetske učinkovitosti odnosno doprinosi ukupnom smanjenju potrošnje primarne energije, ispuštanju štetnih emisija u okoliš te donosi energetsku neovisnost o uvoznoj energiji stranih zemalja.

Vidjeli smo da je potrebno već pri projektiranju građevine odrediti kakvog će energetskog razreda biti odnosno koje su mjere potrebne za postizanje željenog cilja pa se tako mora voditi računa o lokaciji, orijentaciji, dobroj izolaciji i ostakljenjima, sustavima grijanja i pripremi PTV-e , ventilacije te potrošnji električne energije.

Pasivne kuće primjenom solarnih sustava i toplinskih pumpi kao glavnim izvorima energije uz jako dobru izolaciju i ostakljenje, pravilnom lokaciom i orijentaciom troše vrlo malo energije, odnosno „šparaju“, te ujedno uvelike smanjuju štetne emisije, ponajprije CO_2, kao najzastupljenijeg stakleničkog plina i smanjuju istoimeni efekt koji je posljedica dugogodišnjeg korištenja-izgaranja fosilnih goriva.

Ovim smo projektom prikazali primjer planiranja i projektiranja jednog pasivnog objekta, konkretno pasivne montažne kuće drvene nosive konstrukcije, vrlo kvalitetne izolacije cijelokupnog omotača, kvalitetnim ostakljenjima s najpovoljnijom orijentaciom usklađenu sa raspodjelom i veličinama pojedinih prostorija u vidu kvalitetnog iskorištenja pasivne sunčeve energije.

Proračunima gubitka i dobitaka dobivamo potrebnu količinu toplinske energije za grijanje koja je u okviru granica za pasivne kuće te prema tome projektiramo potrebne sustave a to je u prvom redu toplinske crpka kao potpora niskotemperaturnom podnom grijanju uz koju još iskorištavamo sunčevu energiju za zagrijavanje PTV-e te FN sustava za dobivanje električne energije.

Daljnjim proračunima pokazali smo da pasivna kuća "troši" znatno manje energije od klasične pa tako manje opterećuje okoliš te da ugrađeni sustavi pružaju povrat uloženih sredstava koja se razlikuju za određena podneblja naše zemlje.

Dakle, pasivna gradnja zadovoljava dva glavna uvijeta energetske učinkovitosti, minimalni trošak energije i opterećenje okoliša, te uz sve stože mjere u pogledu potrošnje energije i ispuštanju štetnih emisija u okoliš, obvezne „energetske iskaznice“ te uz daljnji napredak tehnologija za iskorištavanje obnovljivih izvora i njihovo pojeftinjenje uz smanjenje zaliha fosilnih goriva predstavlja gradnju budućnosti.

8. Literatura

1. Bošnjaković F. : Nauka o toplini, II dio, Tehnička knjiga, Zagreb, 1976.
2. Đorđević B. : Termodinamika i termotehnika, Građevinska knjiga, Beogard, 1989.
3. Energetski institut „Hrvoje Požar“ : Program korištenja geotermalne energije, 1998.
4. Galović A. : Termodinamika I, FSB , Zagreb, 2002.
5. Galović A. : Termodinamika II, FSB , Zagreb, 2007.
6. Hrvatske komore arhitekata i inženjera u graditeljstvu : Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, 2005.
7. Hrs-Borković, Ž.: Primjeri iz prakse-realizirani projekti povećanja energetske efikasnosti, Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj, 2008.
8. Hrs-Borković Ž.: Savjeti za adaptaciju i rekonstrukciju postojećih zgrada u svrhu povećanja energetske efikasnosti, Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj, 2008.
9. HEP toplinarstvo d.o.o. : Energetska učinkovitost u zgradarstvu, Zagreb, 2007.
10. Jui Sheng H.: Solar energy engineering, New Jersey, 1986.
11. Knapp V. : Novi izvori energije, Školska knjiga, Zagreb, 1985.
12. Labudović B. : Obnovljivi izvori energije, Energetika i marketing, Zagreb, 2002.
13. Labudović B.: Priručnik za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju, Energetika i marketing, Zagreb, 2005.
14. Lambić M.: Solarni uređaji, Tehnička knjiga, Beograd, 1987.
15. Majdandžić Lj. : Solarni sustavi, Graphis, Zagreb, 2010.
16. Majdandžić Lj. : Obnovljivi izvori energije, Graphis, Zagreb, 2008.
17. Matić M.: Energetska ekonomija u praksi, Školska knjiga, Zagreb, 2003.
18. Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva : Metodologija provođenja energetskog pregleda zgrada, Zagreb, 2009.
19. Milinčić D. : Prostiranje toplote, Mašinski fakultet, Beograd, 1979.

20. Piani G.: Protokol iz Kyota, Graphis, Zagreb, 2011.

21. Požar H. : Osnove energetike I, Školska knjiga Zagreb, 1992.

22. UNDP : Priručnik za energetske savjetnike, Zagreb, 2008.

23. Viessmann d.o.o. : Serija stručnih publikacija, Zagreb, 2006.

24. Zbašnik-Senegačnik M. : Pasivna kuća, Sun Arh, Zagreb, 2009.

25. http://www.izvorienergije.com/

26. http://www.horvatic.hr/

27. http://www.hrastovic-inzenjering.hr/

28. http://www.energetska-efikasnost.undp.hr/

29. http://www.energetika-net.com/

30. http://www.eihp.hr/

31. http://www.pasivna-kuca.info/

32. http://www.zelenaenergija.org/

33. http://www.pasivnakuca.hr/

34. http://www.pasivnakuca.net/

35. http://www.obnovljivi-izvori.hr/

36. http://obnovljiviizvorienergije.com/

37. http://www.casopis-građevinar.hr/

38. http://www.ekologija.com.hr

39. http://www.fzoeu.hr/hrv/index.asp

40. http://www.mzoip.hr/

41. http://passiv.de/en/

42. http://www.herz.eu/

43. http://www.wunderground.com/

9. Prilozi

Prilog A - proračuni dobitaka energije sunčeva zračenja kroz ostakljenja prema EN 13 790

SIJEČANJ

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	54,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,98	52,88	14,69
W	99,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	3,10	306,50	85,14
S	201,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	20,00	7,20	1447,20	402,00
E	99,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,86	85,54	23,76
Ukupno							**33,72**	**12,14**	**1892,12**	**525,59**

VELJAČA

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	73,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,98	71,48	19,86
W	143,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	3,10	442,73	122,98
S	243,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	20,00	7,20	1749,60	486,00
E	143,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,86	123,55	34,32
Ukupno							**33,72**	**12,14**	**2387,36**	**663,16**

OŽUJAK

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	126,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,98	123,38	34,27
W	256,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	3,10	792,58	220,16
S	335,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	20,00	7,20	2412,00	670,00
E	256,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,86	221,18	61,44
Ukupno							**33,72**	**12,14**	**3549,14**	**985,87**

TRAVANJ

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	164,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,98	160,59	44,61
W	327,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	3,10	1012,39	281,22
S	318,00	0,25	0,74	0,50	0,45	0,80	20,00	1,33	423,58	117,66
E	327,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,86	282,53	78,48
Ukupno							**33,72**	**6,27**	**1879,08**	**521,97**

SVIBANJ

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	206,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,24	50,43	14,01
W	384,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	0,77	297,22	82,56
S	308,00	0,25	0,74	0,50	0,45	0,80	20,00	1,33	410,26	113,96
E	384,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,22	82,94	23,04
Ukupno							**33,72**	**2,57**	**840,84**	**233,57**

LIPANJ

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	213,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,24	52,14	14,48
W	391,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	0,77	302,63	84,07
S	291,00	0,25	0,74	0,50	0,45	0,80	20,00	1,33	387,61	107,67
E	391,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,22	84,46	23,46
Ukupno							**33,72**	**2,57**	**826,84**	**229,68**

SRPANJ

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	214,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,24	52,39	14,55
W	431,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	0,77	333,59	92,67
S	323,00	0,25	0,74	0,50	0,45	0,80	20,00	1,33	430,24	119,51
E	431,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,22	93,10	25,86
Ukupno							**33,72**	**2,57**	**909,31**	**252,59**

KOLOVOZ

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	186,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,24	45,53	12,65
W	385,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	0,77	297,99	82,78
S	341,00	0,25	0,74	0,50	0,45	0,80	20,00	1,33	454,21	126,17
E	385,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,22	83,16	23,10
Ukupno							**33,72**	**2,57**	**880,89**	**244,69**

RUJAN

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	135,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,24	33,05	9,18
W	313,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	0,77	242,26	67,30
S	373,00	0,25	0,74	0,50	0,45	0,80	20,00	1,33	496,84	138,01
E	313,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,22	67,61	18,78
Ukupno							**33,72**	**2,57**	**839,75**	**233,27**

LISTOPAD

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	96,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,24	23,50	6,53
W	205,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	0,77	158,67	44,08
S	330,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	20,00	1,80	594,00	165,00
E	205,00	0,25	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,22	44,28	12,30
Ukupno							**33,72**	**3,03**	**820,45**	**227,90**

STUDENI

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	55,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,98	53,86	14,96
W	97,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	3,10	300,31	83,42
S	181,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	20,00	7,20	1303,20	362,00
E	97,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,86	83,81	23,28
Ukupno							**33,72**	**12,14**	**1741,18**	**483,66**

PROSINAC

Orijentacija	$q_{ins.}$	F_s	F_{sh}	g_{gln}	g_{gl}	$1-F_f$	$A_{pr.uk}$	$A_{sol.}$	$Q_{insol.}$	$Q_{ins.}$
	MJ/m^2	-	-	-	-	-	m^2	m^2	MJ	kWh
N	40,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,72	0,98	39,17	10,88
W	62,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	8,60	3,10	191,95	53,32
S	117,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	20,00	7,20	842,40	234,00
E	62,00	1,00	1,00	0,50	0,45	0,80	2,40	0,86	53,57	14,88
Ukupno							**33,72**	**12,14**	**1127,09**	**313,08**

Prilog B - proračuni gubitaka topline prema EN 12 831

VENTILACIJSKI GUBICI									
n	V_A	V	$V_{int.}$	V_{uzgon}	λ	$H_{vent.}$	$H_{rek.}$	$H_{vent.}$	$\Phi_{VENT.}$
h^{-1}	$m^3/(h\ m^2)$	m^3	m^3 / h	m^3 / h	-	W/K	W/K	W/K	W
Dnevni boravak									
0,5	1,2	175,6	87,8	17,6	0,0	35,3	0,0	35,3	120,4
Hodnik prizemlja									
0,5	1,4	33,5	16,7	3,3	0,0	6,7	0,0	6,7	23,0
WC									
0,5	1,0	11,4	5,7	1,1	0,0	2,3	0,0	2,3	7,8
Tehnika									
0,5	1,0	17,3	8,6	1,7	0,0	3,5	0,0	3,5	11,8
Hodnik kat									
0,5	0,9	43,2	21,6	4,3	0,0	8,7	0,0	8,7	29,6
Kupaona									
0,5	0,9	21,0	10,5	2,1	0,0	4,2	0,0	4,2	14,4
Garderoba									
0,5	0,9	11,7	5,9	1,2	0,0	2,4	0,0	2,4	8,0
Spavaća soba 1									
0,5	0,9	45,6	22,8	4,6	0,0	9,2	0,0	9,2	31,2
Spavaća soba 2									
0,5	0,9	46,0	23,0	4,6	0,0	9,2	0,0	9,2	31,5
Dječja soba									
0,5	0,9	28,5	14,3	2,9	0,0	5,7	0,0	5,7	19,6
Radna soba									
0,5	0,9	37,2	18,6	3,7	0,0	7,5	0,0	7,5	25,5
	UKUPNO								**323**

Transmisijski gubici

Dnevni boravak							
Površina	A	U	H	ΔT	$\Phi_{TRANS.}$	$\Phi_{VENTIL.}$	Φ
-	m^2	W/m^2K	W/K	K	W	W	W
Vanjski zid	62,77	0,11	6,95	39,00	271,06		
Pod	86,44	0,13	11,62	39,00	453,06		
Strop	13	0,14	1,86	39,00	72,41		
Otvori	14,6	0,82	11,97	39,00	466,91		
Σ					1263,43	120,43	1383,86

Hodnik prizemlja							
Površina	A	U	H	ΔT	$\Phi_{TRANS.}$	$\Phi_{VENTIL.}$	Φ
-	m^2	W/m^2K	W/K	K	W	W	W
Vanjski zid	12,024	0,11	1,33	39,00	51,92		
Pod	16,48	0,13	2,22	39,00	86,39		
Strop	0	0,14	0,00	39,00	0,00		
Otvori	2,4	1,00	2,40	39,00	93,60		
Σ					**231,91**	**22,96**	**254,87**

WC							
Površina	A	U	H	ΔT	$\Phi_{TRANS.}$	$\Phi_{VENTIL.}$	Φ
-	m^2	W/m^2K	W/K	K	W	W	W
Vanjski zid	6,12	0,11	0,68	39,00	26,43		
Pod	5,59	0,13	0,75	39,00	29,31		
Strop	0	0,14	0,00	39,00	0,00		
Otvori	0,48	0,82	0,39	39,00	15,35		
Σ					**71,09**	**7,79**	**78,88**

Tehnika							
Površina	A	U	H	ΔT	$\Phi_{TRANS.}$	$\Phi_{VENTIL.}$	Φ
-	m^2	W/m^2K	W/K	K	W	W	W
Vanjski zid	9,25	0,11	1,02	39,00	39,94		
Pod	8,49	0,13	1,14	39,00	44,50		
Strop	0	0,14	0,00	39,00	0,00		
Otvori	0,48	0,82	0,39	39,00	15,35		
Σ					**99,79**	**11,83**	**111,62**

Hodnik kat							
Površina	A	U	H	ΔT	$\Phi_{TRANS.}$	$\Phi_{VENTIL.}$	Φ
-	m^2	W/m^2K	W/K	K	W	W	W
Vanjski zid	4,792	0,11	0,53	39,00	20,69		
Pod	0,00	0,14	0,00	39,00	0,00		
Strop	23,17	0,13	3,12	39,00	121,65		
Otvori	1,6	0,82	1,31	39,00	51,17		
Σ					**193,51**	**29,62**	**223,13**

Kupaonica							
Površina	A	U	H	ΔT	$\Phi_{TRANS.}$	$\Phi_{VENTIL.}$	Φ
-	m^2	W/m^2K	W/K	K	W	W	W
Vanjski zid	16,04	0,11	1,78	39,00	69,26		
Pod	2,28	0,14	0,33	39,00	12,70		
Strop	11,26	0,13	1,52	39,00	59,13		
Otvori	0,48	0,82	0,39	39,00	15,35		
Σ					**156,45**	**14,40**	**170,85**

Garderoba							
Površina	A	U	H	ΔT	$\Phi_{TRANS.}$	$\Phi_{VENTIL.}$	Φ
-	m^2	W/m^2K	W/K	K	W	W	W
Vanjski zid	4,53	0,11	0,50	39,00	19,56		
Pod	0,00	0,14	0,00	39,00	0,00		
Strop	6,27	0,13	0,84	39,00	32,95		
Otvori	0,48	0,82	0,39	39,00	15,35		
Σ					**67,86**	**8,02**	**75,88**

Spavača soba 1							
Površina	A	U	H	ΔT	$\Phi_{TRANS.}$	$\Phi_{VENTIL.}$	Φ
-	m^2	W/m^2K	W/K	K	W	W	W
Vanjski zid	19,74	0,11	2,19	39,00	85,24		
Pod	2,58	0,14	0,37	39,00	14,37		
Strop	24,43	0,13	3,29	39,00	128,27		
Otvori	3,4	0,82	2,79	39,00	108,73		
Σ					**336,61**	**31,24**	**367,85**

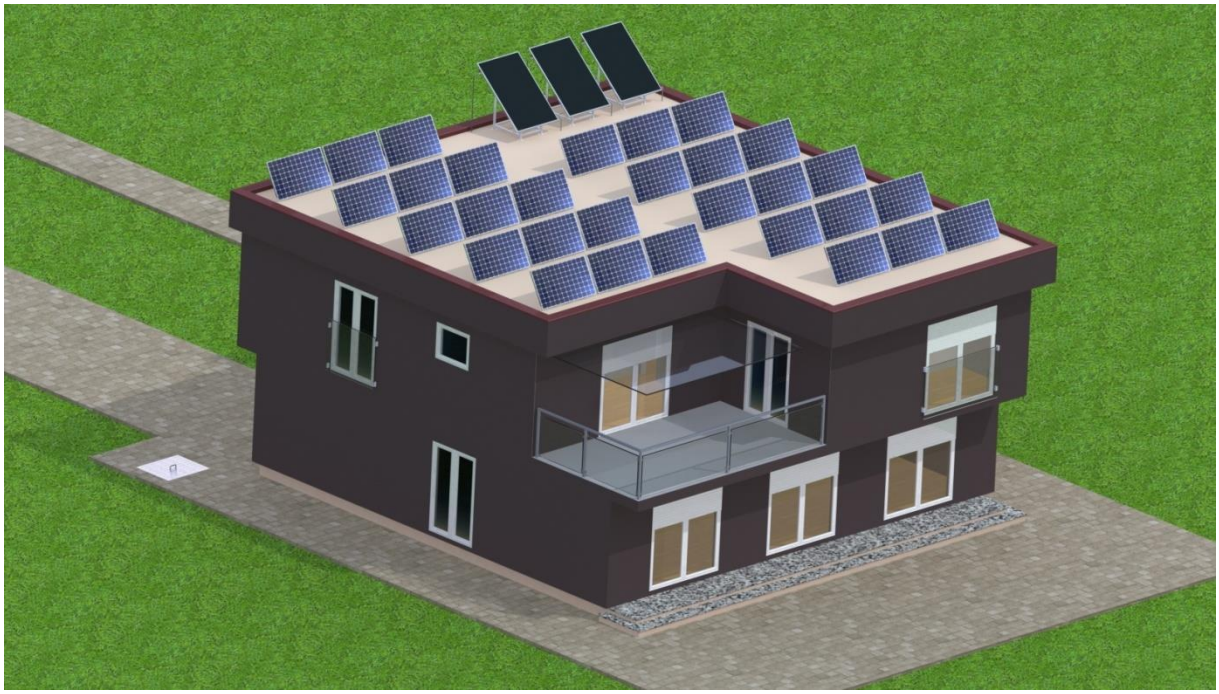
Spavača soba 2							
Površina	A	U	H	ΔT	$\Phi_{TRANS.}$	$\Phi_{VENTIL.}$	Φ
-	m^2	W/m^2K	W/K	K	W	W	W
Vanjski zid	18,8	0,11	2,08	39,00	81,18		
Pod	0,00	0,14	0,00	39,00	0,00		
Strop	24,66	0,13	3,32	39,00	129,49		
Otvori	4,8	0,82	3,94	39,00	153,50		
Σ					**364,17**	**31,53**	**395,71**

Dječja soba							
Površina	A	U	H	ΔT	$\Phi_{TRANS.}$	$\Phi_{VENTIL.}$	Φ
-	m^2	W/m^2K	W/K	K	W	W	W
Vanjski zid	6,97	0,11	0,77	39,00	30,10		
Pod	0,00	0,14	0,00	39,00	0,00		
Strop	15,29	0,13	2,06	39,00	80,29		
Otvori	0,8	0,82	0,66	39,00	25,58		
Σ					**135,97**	**19,55**	**155,52**

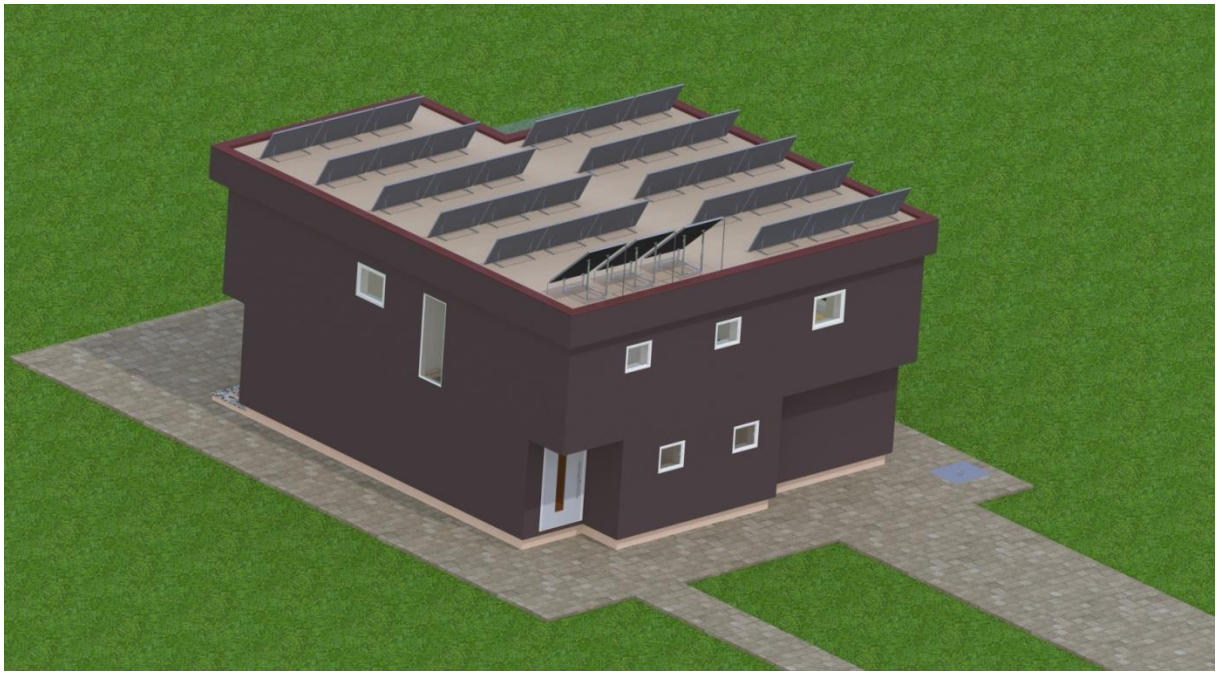
Radna soba							
Površina	A	U	H	ΔT	$\Phi_{TRANS.}$	$\Phi_{VENTIL.}$	Φ
-	m^2	W/m^2K	W/K	K	W	W	W
Vanjski zid	23,61	0,11	2,61	39,00	101,95		
Pod	4,65	0,14	0,66	39,00	25,90		
Strop	19,92	0,13	2,68	39,00	104,62		
Otvori	6,6	0,82	5,41	39,00	211,07		
Σ					**443,54**	**25,48**	**469,01**

Prostorija	**A**	**T**	**$\Phi_{TRANS.}$**	**$\Phi_{VENTIL.}$**	**Φ**	**$\Phi_{spec.}$**
	m^2	°C	W	W	W	W/m^2
Dnevni boravak	76,36	21,00	1263,43	120,43	1383,86	18,1
Hodnik prizemlja	14,56	21,00	231,91	22,96	254,87	17,5
WC	4,94	21,00	71,09	7,79	78,88	16,0
Tehnika	7,5	21,00	99,79	11,83	111,62	14,9
Ukupno prizemlje	103,36		1666,22	163,01	1829,23	
Hodnik kat	14	21,00	193,51	29,62	223,13	15,9
Kupaona	8,75	21,00	156,45	14,40	170,85	19,5
Garderoba	4,875	21,00	67,86	8,02	75,88	15,6
Spavaća soba 1	18,98	21,00	336,61	31,24	367,85	19,4
Spavaća soba 2	19,16	21,00	364,17	31,53	395,71	20,7
Dječja soba	11,88	21,00	135,97	19,55	155,52	13,1
Radna soba	15,48	21,00	443,54	25,48	469,01	30,3
Ukupno kat	93,125		1698,11	159,837	1857,95	
Σ	**196,5**		**3364,3**	**322,8**	**3687,2**	

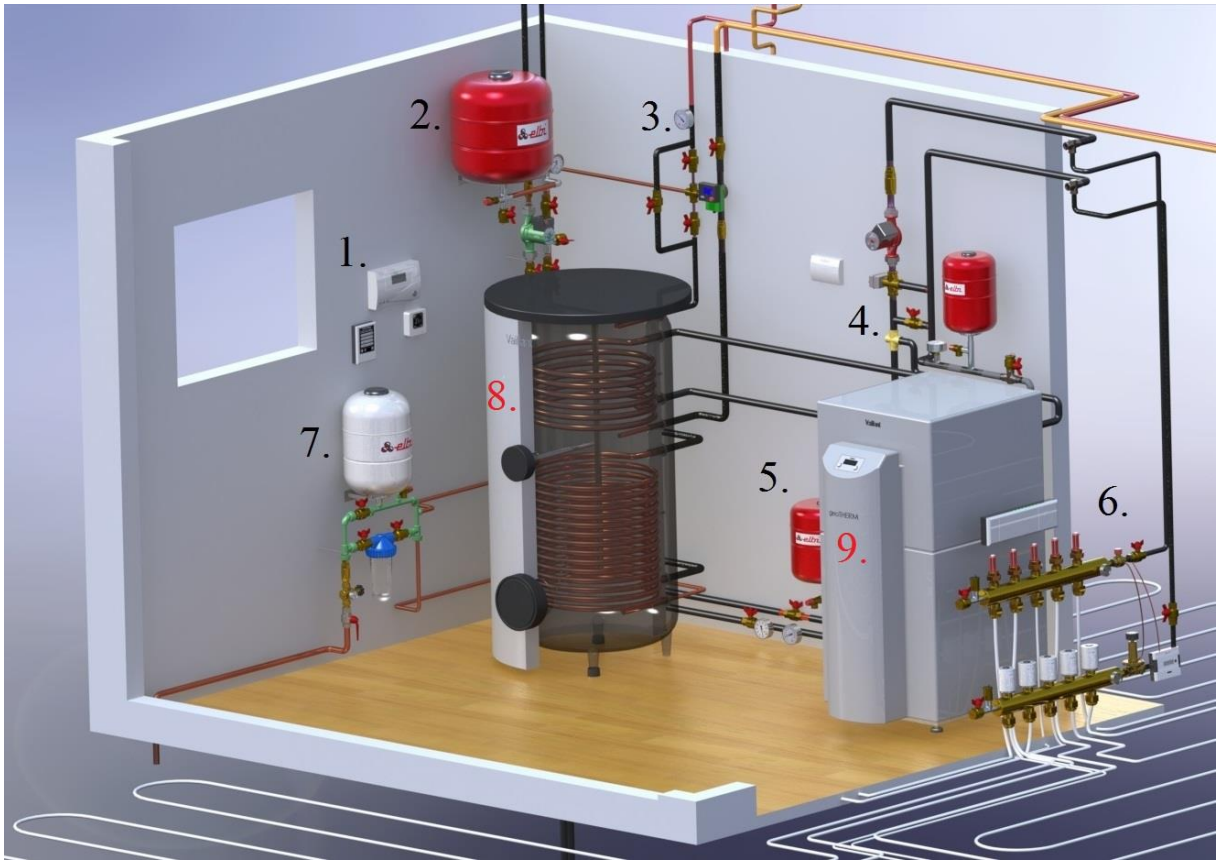
Prilog C - 3 D prikaz građevine i hidrauličkog sustava



Prikaz južne strane građevine



Prikaz sjeverne strane građevine



Izdvojeni prikaz komponenti za pripremu PTV-e i potpore grijanja:

1. Regulacijski set solarnoga kruga i regulacija temperature prostorije sa bežičnom centralnom jedinicom sustava grijanja koji prima signal sa svih sobnih termostata

2. Solarni set sa cirkulacionom pumpom, solarnom ekspanzijskom posudom, zapornim, nepovratnim, sigurnosnim i odzračnim ventilima, termomanometrom i termometom

3. Set tople vode i recirkulacije sa recirkulacijskom pumpom, zapornim, nepovratnim i troputnim mješajućim ventilom te termometrom

4. Set grijanja i dogrijavanja PTV-e sa ekspanzijskom posudom, troputnim ventilom, troputnim mješajućim ventilom sa servo motorom, cirkulacijskom pumpom te sigurnosnim i odzračnim ventilom i slavinom za punjenje i pražnjenje

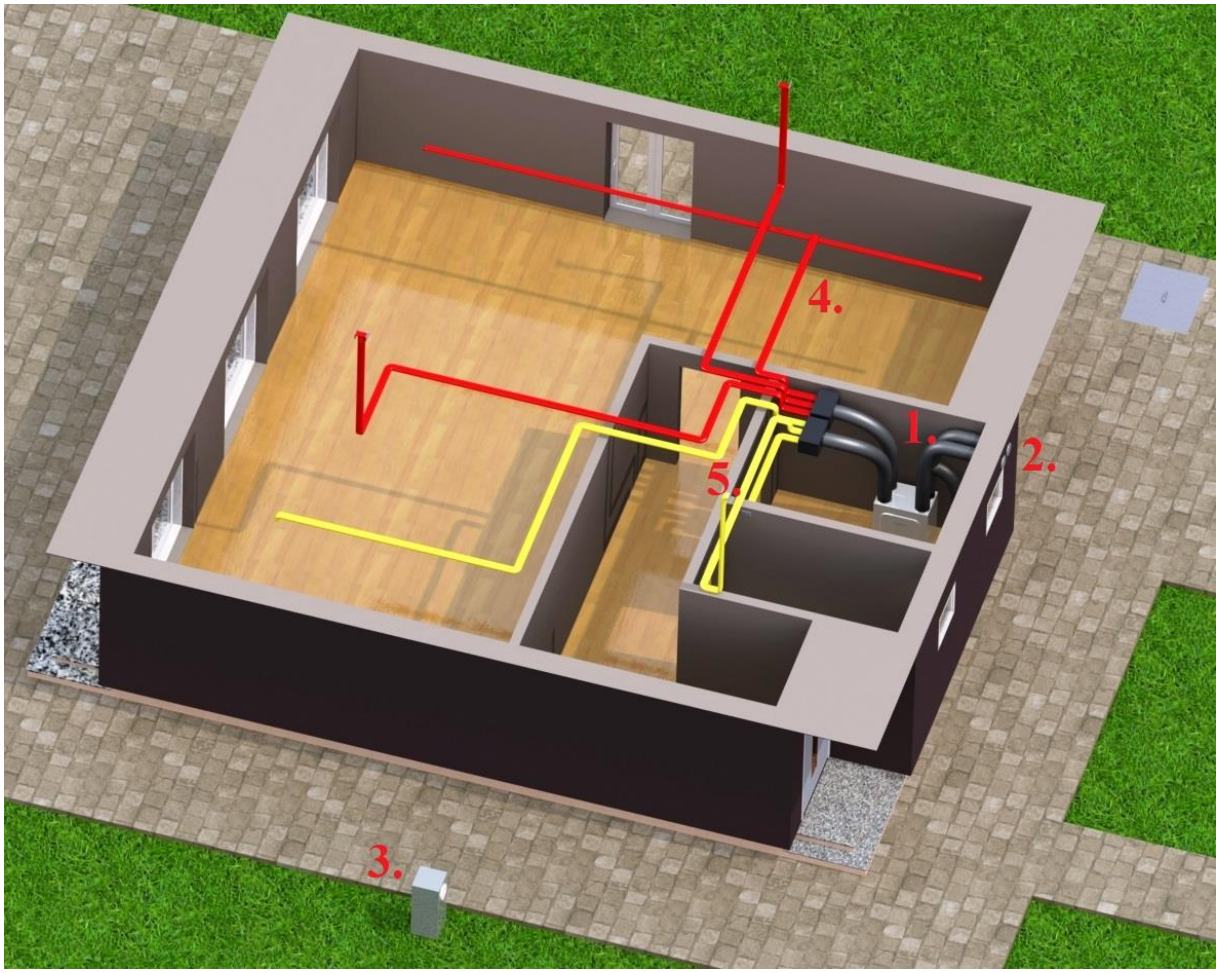
5. Ulazni set toplinske crpke sa ekspanzijskom posudom, zapornim ventilima, termometrom, manometrom i odzračnim ventilom

6. Set podnog grijanja s hidrauličkom regulaciom,

7. Set hladne vode sa ekspanzijskom posudom, glavnom zapornom slavinom, zapornim, nepovratnim, odzračnim i reducir ventilima te filter sa omekšivaćem vode,

8. Bivalentni spremnik PTV-e sa gornjim izmjenjivačem za ulaz toplinske crpke i donjim izmjenjivačem za solarni ulaz,

9. Toplinska crpka.



Ventilacijsko-rekuperacijski sustav sa razvodom ulaznih (crvene) i izlaznih (žute) cijevi:

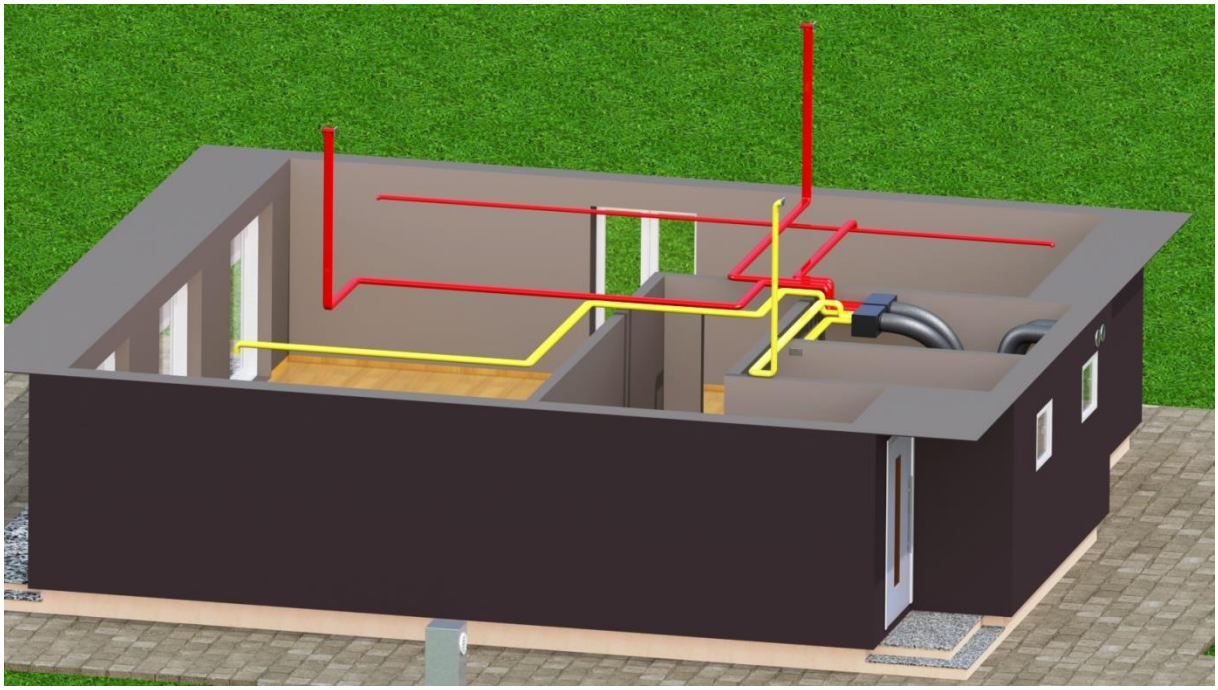
1. Rekuperator sa ulazno-izlaznim sabirnicima zraka i ulazno-izlaznim cijevima

2. Vanjski otvori cijevi za ulaz svježeg zraka korištenog pri temperaturi okolnog zraka od 5 do 23 °C i cijev izlaz iskorištenog zraka

3. Ulaz zraka u zračno-zemni izmjenjivač koji se koristi pri temperaturama vanjskog zraka ispod 5 i iznad 23 ° C

4. Razvodne cijevi sjvežeg ulaznoga zraka u prostorije

5. Razvodne cijevi ustajalog izlaznog zraka iz prostorija



Bočni prikaz ventilacijskog sustava



Prikaz zračno-zemnog izmjenjivača rekuperatora i zemnog vodoravnog kolektorskog polja toplinske pumpe ukopanih 1.5 m pod zemljom