

Tehno-ekonomska usporedba plinskog sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode sa sustavom temeljenom na obnovljivim izvorima energije

Kovačević, Toni

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:860656>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

**TEHNO-EKONOMSKA USPOREDBA PLINSKOG SUSTAVA
GRIJANJA I PRIPREME POTROŠNE TOPLE VODE SA SUSTAVOM
TEMELJENOM NA OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE**

Diplomski rad

Toni Kovačević

N 393

Zagreb, 2023.

TEHNO-EKONOMSKA USPOREDBA PLINSKOG SUSTAVA GRIJANJA I
PRIPREME POTROŠNE TOPLE VODE SA SUSTAVOM TEMELJENOM NA
OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

Toni Kovačević

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Klimatske promjene dovode čovječanstvo na prekretnicu u kojoj je jedina prihvatljiva opcija održivi razvoj. Europska unija je postavila cilj da do 2050. godine bude ugljično neutralni kontinent, tj. da energetika EU bude potpuno neovisna o fosilnim gorivima. Jedan od načina za to u sektoru stanovanja jest korištenje nekog od obnovljivih izvora energije, kao npr. solarne panele, PV elektrane ili dizalice topline. Solarni paneli su uređaji koji služe za pripremu potrošne tople vode u kućanstvima. Postoji nekoliko vrsta prikazanih u ovom radu. PV elektrane su uređaji koji sunčevu svjetlosnu energiju u fotonaponskim ćelijama pretvaraju u električnu energiju koja se može koristiti na mjestu proizvodnje ili, ako je ima previše, slati izravno u električnu mrežu. Dizalice topline su uređaji koji imaju nekoliko različitih izvedbi. Dizalice topline koriste električnu energiju za uklanjanje topline s hladnijeg mjesta te je prenose na toplije mjesto, pružajući željenu temperaturu. Dizalice topline su se u ovom radu pokazale kao najefikasnije energentsko rješenje za obiteljsku kuću.

Ključne riječi: održivi razvoj, obnovljiv izvor energije, plinski bojler, solarni kolektor, priprema PTV, PV elektrana, dizalica topline

Diplomski rad sadrži: 58 stranica, 29 tablica, 28 slika i 20 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad je pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Mentor: Dr. sc. Nikola Vištica, docent RGNf-a

Ocjenjivači: 1. Dr. sc. Nikola Vištica, docent RGNf-a

2. Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNf-a

3. Dr. sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNf-a

Datum obrane: 7. srpnja 2023., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

TECHNO-ECONOMIC COMPARISON OF A GAS HEATING AND HOT WATER
PREPARATION SYSTEM WITH A SYSTEM BASED ON RENEWABLE ENERGY
SOURCES

Toni Kovačević

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy,
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Climate change is bringing humanity to a turning point where sustainable development is the only acceptable option. The European Union has set a goal to be a carbon-neutral continent by 2050, i.e. to make EU energy completely independent of fossil fuels. One way to do this in the housing sector is to use one of the renewable energy sources, such as solar panels, PV power plants or heat pumps. Solar panels are devices that are used to prepare domestic hot water. There are several species presented in this paper. PV power plants are devices that convert sunlight energy in photovoltaic cells into electricity that can be used at the point of production or, if there is too much, sent directly to the electricity grid. Heat pumps are devices that have several different designs. Heat pumps use electricity to remove heat from a colder location and pump it to a warmer location, providing the desired temperature. In this paper, heat pumps proved to be the most efficient energy solution for a family house.

Keywords: gas boiler, renewable energy source, solar collector, water heating

Thesis contains: 58 pages, 29 tables, 28 figures and 20 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Supervisor: Associate Professor Nikola Vištica, PhD

Reviewers: 1. Associate Professor Nikola Vištica, PhD
2. Full Professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD
3. Associate Professor Luka Perković, PhD

Date of defense: July 7, 2023, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
University of Zagreb

Sadržaj

POPIS SLIKA.....	I
POPIS TABLICA	III
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA.....	V
1. UVOD	1
2. POLITIKA EUROPSKE UNIJE O RAZVOJU ENERGETIKE I NJEZINA PRIMJENA U REPUBLICI HRVATSKOJ	3
2.1 Nacionalna razvojna strategija RH do 2030. godine	4
2.2 Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu	5
2.3 Ugljični otisak građevine	7
3. PLINSKI BOJLER.....	9
3.1 Kombi bojler	9
3.2 Kondenzacijski bojler	11
4. SOLARNI KOLEKTORI	14
4.1 Sunčeva energija	14
4.2 Varijacije sunčevog zračenja kroz godinu	16
4.3 Optimalni kut solarnog kolektora	18
4.4 Vrste solarnih kolektora.....	20
4.5 Pločasti solarni kolektori	22
4.5.1 Dimenzije pločastih solarnih kolektora.....	23
4.5.2 Hibridni fotonaponski/solarni kolektori (PV/T).....	23
4.6 Vakuumski kolektori.....	25
5. DIZALICE TOPLINE	27
5.1 Dizalice topline	27
5.1.1 Princip rada dizalice topline	29
5.1.2 Vrste dizalica topline	32
5.1.3 Dizalice topline voda-zrak.....	33
5.1.4 Dizalice topline zrak-voda.....	34
5.1.5 Dizalice topline voda-voda.....	34
6. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA NA PRIMJERU IZ PRAKSE.....	36
6.1 Uvod.....	36
6.2 Gunja.....	36

6.2.1	<i>Scenarij 1: plin</i>	37
6.2.2	<i>Scenarij 2: drvna biomasa i solarni kolektori</i>	39
6.2.3	<i>Scenarij 3: dizalica topline zrak-zrak</i>	41
6.3	Bošnjaci	43
6.3.1	<i>Scenarij 4: plin i PV</i>	43
6.3.2	<i>Scenarij 5: plin, solarni kolektori i PV</i>	45
6.4	Kapitalni troškovi pojedinog scenarija	47
6.4.1	<i>Scenarij 1</i>	47
6.4.2	<i>Scenarij 2</i>	48
6.4.3	<i>Scenarij 3</i>	49
6.4.4	<i>Scenarij 4</i>	49
6.4.5	<i>Scenarij 5</i>	50
6.5	Komparativna analiza	51
7.	ZAKLJUČAK	56
8.	LITERATURA	57

POPIS SLIKA

Slika 3-1. Shematski prikaz plinskog bojlera spojenog na dimnjak	10
Slika 3-2. Shematski prikaz plinskog bojlera – fasadni uređaj	10
Slika 3-3. Shematski prikaz kondenzacijskog bojlera.....	12
Slika 3-4. Shematski prikaz principa rada kondenzacijskog bojlera.....	13
Slika 4-1. Proces prijenosa topline putem zračenja između Sunca, Zemlje i svemira.....	15
Slika 4-2. Ilustrativni primjer izravnog i difuznog solarnog zračenja	16
Slika 4-3. Gibanje Zemlje u orbiti oko Sunca i promjena nagiba zemljine osi	16
Slika 4-4. Promjena dnevne sunčeve insolacije horizontalne površine tijekom godine za vedre dane i različite geografske širine	17
Slika 4-5. Optimalni kut nagiba kolektora ovisno o godišnjim dobima	18
Slika 4-6. Mogućnosti promatranja Sunca s obzirom na promjenu godišnjih doba u odnosu na promatrača na Zemlji.....	19
Slika 4-7. Očitane vrijednosti godišnje insolacije kolektora H za različite kutove nagiba (0-90°).....	19
Slika 4-8. Optimalne vrijednosti kuta nagiba kolektora kroz kalendarsku godinu	20
Slika 4-9. Klasifikacija solarnih kolektora.....	21
Slika 4-10. Shematski prikaz pločastog solarnog kolektora: (a) bokocrt i (b) 3D prikaz..	22
Slika 4-11. Hibridni PV/T kolektor.....	24
Slika 4-12. Vakuumski solarni kolektor.....	25
Slika 4-13. H-tip (lijevo) i T-tip (desno) solarnih vakuumskih kolektora	26
Slika 5-1. Sankeyjev dijagram dizalice topline za prosječnu obiteljsku kuću	28
Slika 5-2. Sankeyjev dijagram plinskog kondenzacijskog bojlera za prosječnu obiteljsku kuću	28
Slika 5-3. Shematski prikaz principa rada dizalice topline	29

Slika 5-4. Dijagram temperatura-entropija koji prikazuje idealnu kompresiju pare.....	30
Slika 5-5. Shematski prikaz SAHP sustava voda-zrak	34
Slika 5-6. Shematski prikaz SAHP sustava voda-voda.....	35
Slika 6-1. Jedinična emisija CO ₂ po pojedinom scenariju	51
Slika 6-2. Ukupne godišnje emisije CO ₂ po pojedinom scenariju	52
Slika 6-3. Godišnja potrošnja primarne energije po pojedinom scenariju	53
Slika 6-4. Godišnji troškovi energenata po pojedinom scenariju	53
Slika 6-5. Kapitalni trošak investicije te ukupni troškovi pojedinih scenarija nakon 10 i 20 godina	54

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Usporedba glavnih odrednica razmatranih scenarija.....	6
Tablica 6-1. Ulazni parametri svakog scenarija	36
Tablica 6-2. Klimatološki podatci lokacije objekta.....	37
Tablica 6-3. Scenarij 1; podatci o potrošnji i proizvodnji energije	38
Tablica 6-4. Scenarij 1; godišnji troškovi energenata	38
Tablica 6-5. Scenarij 1; Godišnja emisija CO ₂	39
Tablica 6-6. Scenarij 1; godišnja primarna energija.....	39
Tablica 6-7. Scenarij 2; podatci o potrošnji i proizvodnji energije	40
Tablica 6-8. Scenarij 2; godišnji troškovi energenata	40
Tablica 6-9. Scenarij 2; Godišnja emisija CO ₂	40
Tablica 6-10. Scenarij 2; godišnja primarna energija.....	41
Tablica 6-11. Scenarij 3; podatci o potrošnji i proizvodnji energije	42
Tablica 6-12. Scenarij 3; godišnji troškovi energenata	42
Tablica 6-13. Scenarij 3; Godišnja emisija CO ₂	42
Tablica 6-14. Scenarij 3; godišnja primarna energija.....	42
Tablica 6-15. Scenarij 4; podatci o potrošnji i proizvodnji energije	44
Tablica 6-16. Scenarij 4; godišnji troškovi energenata	44
Tablica 6-17. Scenarij 4; Godišnja emisija CO ₂	45
Tablica 6-18. Scenarij 4; godišnja primarna energija.....	45
Tablica 6-19. Scenarij 5; podatci o potrošnji i proizvodnji energije	46
Tablica 6-20. Scenarij 5; godišnji troškovi energenata	46
Tablica 6-21. Scenarij 5; Godišnja emisija CO ₂	46
Tablica 6-22. Scenarij 5; godišnja primarna energija.....	47
Tablica 6-23. Scenarij 1; kapitalni troškovi.....	48

Tablica 6-24. Scenarij 2; kapitalni troškovi.....	49
Tablica 6-25. Scenarij 3; kapitalni troškovi.....	49
Tablica 6-26. Scenarij 4; kapitalni troškovi.....	50
Tablica 6-27. Scenarij 5; kapitalni troškovi.....	50
Tablica 6-28. Zbirni podatci za komparativnu analizu.....	51

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA

OZNAKA	OPIS	JEDINICA
HP	Dizalica topline (<i>engl. Heat Pump</i>)	/
SWHP	Dizalice topline za prijenos topline iz površinske vode (<i>engl. Surface Water Heat Pump</i>)	/
GWHP	Dizalice topline za prijenos topline iz podzemne vode (<i>engl. Groundwater Heat Pump</i>)	/
SAHP	Dizalice topline sa solarnim panelima (<i>engl. Solar Assisted Heat Pump</i>)	/
DHW	Potrošna topla voda (<i>engl. Domestic Hot Water</i>)	/
UNEP	Program Ujedinjenih naroda za okoliš (<i>engl. United Nations Environment Programme</i>)	/
SBCI	Globalna inicijativa za održivu izgradnju (<i>engl. Sustainable Buildings and Climate Initiative</i>)	/
WRI	Svjetski institut za resurse (<i>engl. World Resources Institute</i>)	/
Q^{''}_{H,ND}	Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje	kWh/(m ² a)
Q^{''}_{C,ND}	Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje	kWh/(m ² a)
Q_{H,ND}	Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje	kWh/a
Q_{C,ND}	Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje	kWh/a
A_K	Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade	m ²
PTV	Potrošna topla voda	/
E_{PRIM}	Godišnja primarna energija	kWh/a
E^{''}_{PRIM}	Specifična godišnja primarna energija	kWh/(m ² a)
Q_W	Potrebna godišnja toplinska energija za pripremu PTV	kWh/a
E_{EEL,RES}	Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade	kWh/a
E_{HW,RES}	Godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade	kWh/a
E_{DEL}	Godišnja isporučena energija	kWh/a

1. UVOD

Posljednjih desetljeća ljudi su značajno povećali ekološku svijest, što je dovelo do povećanog fokusa na obnovljive izvore energije kao načina smanjenja emisija stakleničkih plinova i minimiziranja ugljičnog otiska. Jedno od područja gdje je ovaj zaokret itekako prisutan jest grijanje vode za kućanstvo. Povijesno gledano, plinski bojleri bili su primarna metoda grijanja u većini zemalja u kojima je bio raspoloživ prirodni plin. Korištenje solarnih kolektora za grijanje vode je posljednjih godina postalo popularnije zbog njihove ekološke prihvatljivosti i sve nižih operativnih troškova.

Korištenje plinskih bojlera za grijanje poznata je tehnologija koja se koristi desetljećima. Plinski bojleri zagrijavaju vodu izgaranjem prirodnog plina (ili ukapljenog naftnog plina) uz korištenje izmjenjivača topline. Topla voda se zatim usmjerava tamo gdje je potrebna, kao što su slavine u kupaonici ili kuhinji, ili u radijatore za zagrijavanje prostorija. Dok se plinski bojleri općenito smatraju učinkovitima i pružaju visoku dozu komfora, oni ipak imaju nekoliko nedostataka.

Prvo, plinski bojleri se sve manje smatraju ekološki prihvatljivom opcijom. Proizvodnjom, transportom i izgaranjem fosilnih goriva kao što je prirodni plin oslobađa se ugljični dioksid, metan i drugi staklenički plinovi u atmosferu, pridonoseći time globalnom zatopljenju i klimatskim promjenama. To je glavna briga za one koji žele smanjiti svoj ugljični otisak i pridonijeti održivom razvoju.

Drugo, plinski kotlovi uvelike ovise o stalnoj opskrbi plinom, što znači da nisu prikladni za korištenje u udaljenim područjima ili na mjestima gdje nema pristupa plinskim cjevovodima. Iako postoji i tehnologija korištenja stlačenog prirodnog plina u spremnicima, ipak su zbog stalne opskrbe manje prikladni za neka kućanstva, osobito ona u ruralnim područjima ili područjima s nepouzdanom opskrbom plinom. Također, u kriznim razdobljima, kao što je rat ili pandemija, može doći do nestašice svih dobara i usluga, a ponajprije su to energenti, tako da je raspoloživost plina iz uvoza u tim trenutcima upitna.

S druge strane, solarni kolektori su stekli popularnost kao alternativa plinskim bojlerima za grijanje vode. Solarni kolektori rade tako da apsorbiraju toplinsku energiju sunca i koriste je za zagrijavanje vode u spremniku. Ta se energija apsorbira kroz niz ploča ili cijevi koje su postavljene na krov ili na samostalnu strukturu. Topla voda se zatim sprema u spremnik

za korištenje kada je to potrebno, a najčešće se ta voda koristi za proizvodnju električne energije u dizalicama topline.

Jedna od glavnih prednosti solarnih kolektora jest njihova ekološka prihvatljivost uporabe. Ne oslanjaju se na fosilna goriva i ne ispuštaju stakleničke plinove u atmosferu. Stoga se smatraju održivom i ekološki odgovornom opcijom za zagrijavanje vode. Još jedna prednost solarnih kolektora su niski operativni troškovi. Jednom instalirani, zahtijevaju malo održavanja te nema nikakvih troškova goriva. To ih čini privlačnom opcijom za kućanstva koja žele smanjiti svoje račune za energiju i dugoročno uštedjeti novac.

Međutim, solarni kolektori imaju i svoja ograničenja. Oni ovise o sunčevoj svjetlosti i stoga su manje učinkoviti u područjima s ograničenom sunčevom svjetlošću ili tijekom razdoblja oblačnog vremena. Također zahtijevaju značajna početna ulaganja za ugradnju, što može biti nepremostiva prepreka za neka kućanstva.

Svrha ovog diplomskog rada jest usporediti učinkovitost i isplativost plinskih bojlera, solarnih kolektora i dizalica topline za grijanje, s ciljem identificiranja najpovoljnije i ekološki najprihvatljivije opcije za kućnu upotrebu. Usporedba će uključivati analizu tehničkih specifikacija svake metode i analizu troškova kako bi se utvrdilo koja je metoda dugoročno održivija. Usporedba će pomoći identificirati prednosti i ograničenja svake metode, kao i njihov potencijalni utjecaj na okoliš i isplativost svake opcije.

Ukratko, usporedba plinskih bojlera, solarnih kolektora i dizalica topline za grijanje vode važno je područje istraživanja koje ima značajne implikacije na okoliš, gospodarstvo i društvo. Cilj ovog rada jest dati detaljnu analizu svake metode, uzimajući u obzir njihove tehničke specifikacije, isplativost i utjecaj na okoliš.

2. POLITIKA EUROPSKE UNIJE O RAZVOJU ENERGETIKE I NJEZINA PRIMJENA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Politika Europske unije o razvoju energetike je usmjerena prema postizanju ciljeva održivog razvoja i smanjenju emisija stakleničkih plinova. EU ima nekoliko ciljeva u području energetike, uključujući, već spomenuto, smanjenje emisija stakleničkih plinova i postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine (Europska komisija (a), n.d.).

Strategija održivog razvoja EU do 2030. godine (EU SDS) je strateški dokument koji postavlja ciljeve i mjere u područjima kao što su klimatske promjene, okoliš, gospodarstvo, društvo i zapošljavanje, a koji ima za cilj osigurati održivi i inkluzivni razvoj EU do 2030. godine. Strategija je usvojena u ožujku 2021. godine i nadovezuje se na raniju strategiju EU-a do 2020. godine (Europska komisija (b), n.d.).

Neki od ključnih ciljeva Strategije uključuju:

- smanjenje emisija stakleničkih plinova EU-a za najmanje 55% do 2030. godine u usporedbi s razinama iz 1990. godine,
- povećanje udjela obnovljivih izvora energije u potrošnji energije EU-a na najmanje 32,5% do 2030. godine,
- povećanje energetske učinkovitosti EU-a za najmanje 32,5% do 2030. godine i
- smanjenje upotrebe kemikalija i povećanje održivog korištenja resursa.

Svaka članica Europske unije, pa tako i Hrvatska, je obvezna uskladiti svoje nacionalno zakonodavstvo i politike s ciljevima EU SDS-a kako bi se postigao održivi razvoj na europskoj razini.

Konkretno, Hrvatska je usvojila niz zakona i strategija kojima se promovira održivost i zaštita okoliša, kao što su Nacionalna strategija održivog razvoja RH do 2030. godine, Strategija energetske razvoja RH do 2030. s pogledom na 2050. godinu, Zakon o zaštiti okoliša i dr. Ti dokumenti se u većoj ili manjoj mjeri već usklađuju s ciljevima EU SDS-a, ali postoji potreba za kontinuiranim praćenjem provedbe tih zakona i politika kako bi se osiguralo postizanje ciljeva EU SDS-a.

Usklađivanje hrvatskih zakona i politika s ciljevima EU SDS-a jest ključno za ostvarenje održivog razvoja u Hrvatskoj. To podrazumijeva donošenje novih zakona, poboljšanje postojećih zakona te njihovu adekvatnu provedbu i nadzor. U slučaju da se

zakoni i politike ne usklade s ciljevima EU SDS-a, Hrvatska bi mogla biti izložena sankcijama koje propisuje Europska unija.

Primjena ovakvih politika u Republici Hrvatskoj uključuje niz mjera koje su usmjerene na povećanje korištenja obnovljivih izvora energije, povećanje energetske učinkovitosti, smanjenje emisija stakleničkih plinova i razvoj infrastrukture za proizvodnju i distribuciju zelene energije.

2.1 Nacionalna razvojna strategija RH do 2030. godine

Nacionalna strategija održivog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine je strateški dokument koji postavlja smjernice za održivi razvoj u Hrvatskoj u trećem desetljeću 21. stoljeća. Strategija je usvojena u veljači 2021. godine te predstavlja obvezujući okvir za politike i aktivnosti koje će se provoditi na nacionalnoj razini u cilju postizanja održivog razvoja u Hrvatskoj (Vlada Republike Hrvatske, 2021).

Ključni ciljevi Nacionalne strategije održivog razvoja RH do 2030. godine su održivi gospodarski rast, zaštita okoliša i promicanje socijalne kohezije. Strategija ima za cilj stvoriti okvir za održivi razvoj u Hrvatskoj, koji će osigurati uravnoteženi razvoj gospodarstva i društva, uz zaštitu okoliša i prirodnih resursa (Vlada Republike Hrvatske, 2021).

U Strategiji se navodi niz mjera i aktivnosti koje bi trebale doprinijeti ostvarenju navedenih ciljeva. Primjerice, predviđa se povećanje udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije, unaprjeđenje energetske učinkovitosti zgrada, promicanje kružne ekonomije, smanjenje emisija stakleničkih plinova, zaštita biološke raznolikosti, te poboljšanje kvalitete zraka, vode i tla.

Jedan od ključnih aspekata Strategije jest integriranje održivog razvoja u sve sektore i politike, što bi trebalo osigurati usklađenost djelovanja različitih sektora i doprinijeti ostvarenju održivog razvoja na nacionalnoj razini.

U Strategiji se također naglašava važnost sudjelovanja javnosti i civilnog društva u procesu ostvarenja ciljeva, te se predviđa suradnja između vlade, civilnog društva, znanstvene zajednice, poslovnog sektora i drugih relevantnih aktera u društvu.

2.2 Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu

Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu predstavlja ključni dokument koji određuje smjer razvoja energetskeg sektora u Hrvatskoj u narednim desetljećima. Cilj ove strategije jest uspostava održivog i sigurnog energetskeg sustava koji će doprinijeti ostvarivanju ciljeva održivog razvoja i zaštiti okoliša, a istovremeno osigurati sigurnost opskrbe energijom za građane i gospodarstvo.

Strategija je usmjerena na razvoj energetskeg sektora koji će biti temeljen na energetskeg učinkovitosti, obnovljivim izvorima energije, kao i na diverzifikaciji opskrbe energijom. U skladu s tim, strategija predviđa tri scenarija razvoja:

- 1) Scenarij razvoja uz primjenu postojećih mjera (S0) – predstavlja razvoj energetskeg sektora u Hrvatskoj u skladu s trendovima u prošlosti i kontinuitet sadašnje politike,
- 2) Scenarij ubrzane energetske tranzicije (S1) – predstavlja razvoj energetskeg sektora u kojem se naglasak stavlja na energetskeg učinkovitost, odnosno smanjenje potrošnje energije u svim sektorima i
- 3) Scenarij umjerene energetske tranzicije (S2) – sličan je scenariju ubrzane energetskeg tranzicije, ali ima niže ciljeve energetskeg obnove zgrada i manje novoizgrađenih zelenih elektrana, te sporiju tranziciju u prometu i gospodarstvu.

Usporedba glavnih odrednica razmatranih scenarija nalazi se u Tablici 2-1.

Kroz ova tri scenarija, Strategija se bavi pitanjima poput proizvodnje i potrošnje energije, energetskeg učinkovitosti, zaštite okoliša i klimatskih promjena, te razvoja obnovljivih izvora energije. Na taj način, Strategija se nastoji uskladiti s EU SDS-om, kao i drugim međunarodnim obvezama koje je Republika Hrvatska preuzela.

Ključni ciljevi Strategije energetskeg razvoja RH do 2030. godine su:

- smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima i povećanje udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije,
- povećanje energetskeg učinkovitosti i smanjenje potrošnje energije,
- smanjenje emisija stakleničkih plinova i
- povećanje sigurnosti opskrbe energijom.

Da bi se postigli navedeni ciljevi, Strategija predviđa različite mjere i aktivnosti, kao što su:

- povećanje udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije na skoro 37% do 2030. godine,
- povećanje energetske učinkovitosti zgrada i vozila,
- promoviranje električne mobilnosti i energetski učinkovitih vozila,
- unaprjeđenje infrastrukture za proizvodnju i distribuciju obnovljivih izvora energije, kao što su vjetroelektrane i solarne elektrane,
- smanjenje emisija stakleničkih plinova iz industrije i energetskog sektora te
- razvoj "pametne" mreže i tehnologija za bolje upravljanje potrošnjom energije.

Važno je napomenuti da je Strategija energetskog razvoja RH do 2030. godine dinamični dokument koji se prilagođava novim trendovima i izazovima u energetskom sektoru. Stoga, redovita praćenja provedbe Strategije, kao i njezino ažuriranje i prilagodba novim okolnostima su ključni za postizanje ciljeva održivog razvoja (Vlada Republike Hrvatske, 2020).

Tablica 2-1. Usporedba glavnih odrednica razmatranih scenarija (Vlada Republike Hrvatske, 2020)

	Početno stanje	S0		S1		S2	
	2016./ 2017.*	do 2030.	do 2050.	do 2030.	do 2050.	do 2030.	do 2050.
Očekivano smanjenje emisije stakleničkih plinova**	21,8%	32,8%	49,3%	37,5%	74,4%	35,4%	64,3%
Promjena neposredne potrošnje energije***	-7%	7,3%	-3,8%	2,6%	-28,6%	8,1%	-15%
Energetska obnova fonda zgrada	0,2%	u sadašnjem opsegu	u sadašnjem opsegu	3% godišnje	3% godišnje	1,6% godišnje	1,6% godišnje
Udio električnih i hibridnih vozila u ukupnoj putničkoj aktivnosti u cestovnom prometu	1%	2,5%	30%	4,5%	85%	3,5%	65%
Udio OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije	27,3%	35,7%	45,5%	36,7%	65,6%	36,6%	53,2%
Udio OIE u proizvodnji električne energije	45%	60%	82%	66%	88%	61%	83%

*početno stanje je 2017. godine osim kod emisija stakleničkih plinova kada je za početno stanje relevantna 2016. godina

**u odnosu na razinu emisije iz 1990. godine

***u odnosu na potrošnju iz 2005. godine

2.3 Ugljični otisak građevine

Vodeći stručnjaci iz cijelog svijeta razvili su standardiziranu metodu mjerenja ugljičnog otiska građevine omogućavajući dosljedno procjenjivanje i usporedbu emisija stakleničkih plinova iz zgrada bilo gdje u svijetu. U slučaju već postojećih zgrada, također je moguće izmjeriti ugljični otisak i predložiti poboljšanja.

UNEP-SBCI-WRI označava partnerstvo između tri organizacije: Programa Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP (*engl. United Nations Environment Programme*)), Globalne inicijative za održivu izgradnju (SBCI (*engl. Sustainable Buildings and Climate Initiative*)) i Svjetskog instituta za resurse (WRI (*engl. World Resources Institute*)). Ovo partnerstvo ima za cilj razvoj i promicanje mjera za smanjenje emisija stakleničkih plinova iz sektora građevinarstva. To partnerstvo je 2009. godine donijelo dokument pod nazivom: „*Common Carbon Metric*“. Taj dokument predstavlja protokol za mjerenje potrošnje energije i izračun emisija stakleničkih plinova u graditeljstvu.

Dok sve faze tijekom životnog ciklusa zgrade (projektiranje, izgradnja, korištenje) proizvode emisije stakleničkih plinova, korištenje zgrade čini 80-90% tih emisija koje proizlaze iz energije potrošene uglavnom za grijanje, hlađenje, ventilaciju, rasvjetu i električne uređaje. Faza korištenja zgrade je u fokusu protokola. Protokol daje smjernice i standarde za mjerenje energetske i ugljične intenziteta građevine (UNEP, n.d.).

Energetski intenzitet se odnosi na količinu energije koja se troši za postizanje određenog rezultata ili proizvodnju određene usluge. U kontekstu građevinskog sektora, energetski intenzitet obično se izražava kao omjer potrošene energije (izražene u kilovat-satima (kWh)) i površine zgrade. Niži energetski intenzitet ukazuje na veću energetske učinkovitost, što znači da zgrada troši manje energije po jedinici površine ili postiže više rezultata koristeći istu količinu energije (UNEP, n.d.).

Ugljični intenzitet se odnosi na količinu emisija stakleničkih plinova, posebno ugljičnog dioksida (CO₂), koje proizvodi zgrada ili aktivnost u odnosu na rezultate ili usluge koje pruža. Mjeri se kao omjer emisija CO₂ (izraženih u kilogramima (kg)) i površine zgrade. Niži ugljični intenzitet emisija CO₂ po jedinici površine ukazuje na manji utjecaj zgrade na klimatske promjene i veću ekološku održivost (UNEP, n.d.).

Energetski i ugljični intenzitet su važni pokazatelji u procjeni energetske učinkovitosti i ekološke održivosti zgrada i predstavljaju vodeće pokazatelje korištene prilikom izrade

energetskog certifikata građevine. Smanjenje energetskog i ugljičnog intenziteta postiže se primjenom mjera za povećanje energetske učinkovitosti; uvođenjem obnovljivih izvora energije, optimizacijom sustava grijanja, hlađenja i rasvjete, boljom izoliranošću objekata te drugih strategija koje smanjuju potrošnju energije i emisije stakleničkih plinova.

3. PLINSKI BOJLER

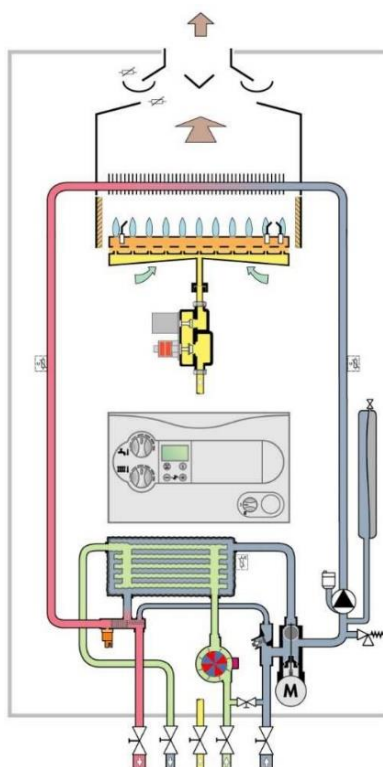
Plinski bojleri su široko korišteni uređaji za zagrijavanje koji se koriste u kućanstvima i poslovnim prostorima diljem svijeta. Plinski bojleri su popularni iz nekoliko razloga, uključujući brzo zagrijavanje vode, učinkovitost i relativno nisku cijenu. Ovi bojleri koriste plin kao izvor energije za zagrijavanje vode, a postoji nekoliko vrsta plinskih bojlera (Perković et al., 2017):

- 1) protočni bojler,
- 2) cirkulacijski bojler i
- 3) kombinirani bojler (kombi bojler).

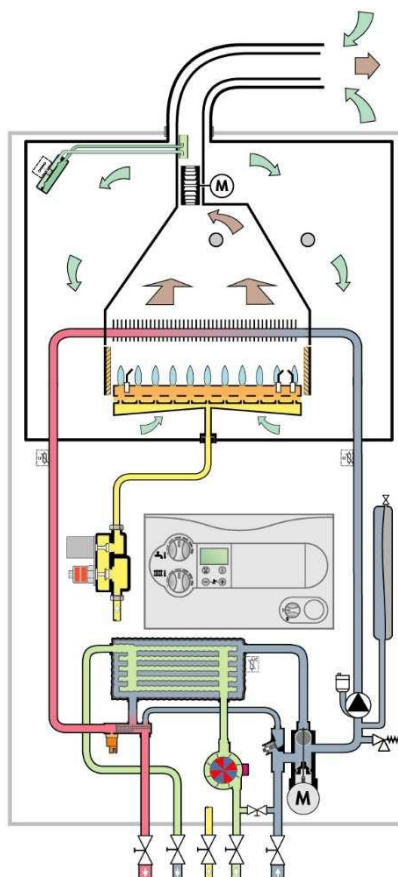
Protočni bojler se koristi samo za grijanje sanitarne vode, cirkulacijski samo za centralno grijanje, dok je kombi bojler kombinacija prva dva, te kao takav je i najčešće korišten u privatnim kućanstvima (Perković et al., 2017).

3.1 Kombi bojler

Svi plinski bojleri sastoje se od istih osnovnih komponenti koje omogućuju pretvaranje topline dobivene izgaranjem plina u vodu za centralno grijanje i zagrijavanje sanitarne vode. Ove komponente uključuju plamenik, izmjenjivač topline, cirkulacijsku pumpu i sustav za odvod dimnih plinova. Postoje dva načina priključenja plinskih bojlera, ovisno o tome koristi li se dimnjak ili fasadni priključak. Glavna razlika između ove dvije sheme je u načinu izbacivanja dimnih plinova, budući da plinski bojleri priključeni na dimnjak koriste podtlak dimnjaka, dok fasadni uređaji koriste ventilator. Osim toga, fasadni uređaji uzimaju zrak izvana, dok uređaji priključeni na dimnjak koriste zrak iz prostora. Na Slici 3-1. prikazana je shema bojlera spojenog na dimnjak, a na Slici 3-2. prikazana je shema bojlera spojenog na fasadni priključak.



Slika 3-1. Shematski prikaz plinskog bojlera spojenog na dimnjak (Perković et al., 2017)



Slika 3-2. Shematski prikaz plinskog bojlera – fasadni uređaj (Perković et al., 2017)

Kombi bojler je uređaj koji radi u modu čekanja dok ne dobije signal od termostata da treba podići temperaturu u prostoru. Prije paljenja, uređaj obavlja sigurnosne provjere kako bi se uvjerio da su uvjeti za nesmetani rad ispunjeni. Ako su svi uvjeti ispunjeni, uređaj pali plin pomoću elektroda za paljenje, puštajući iskre električne energije. Nakon paljenja prolazi sigurnosno vrijeme u kojem se mora dobiti povratna informacija od ionizirajuće elektrode je li došlo do paljenja. Ako paljenje nije uspješno, uređaj će pokušati ponovno. Ako ne uspije nakon određenog broja pokušaja, uređaj će se ugasi i prikazati grešku. Uspješnim paljenjem uređaj nastavlja s radom i predaje toplinu tekućini u sustavu centralnog grijanja preko primarnog izmjenjivača. Ako trebamo toplu sanitarnu vodu, otvaramo toplu vodu na slavini, što pokreće uređaj da prebacuje tok vode na sekundarni izmjenjivač gdje se toplina prenosi na sanitarnu vodu.

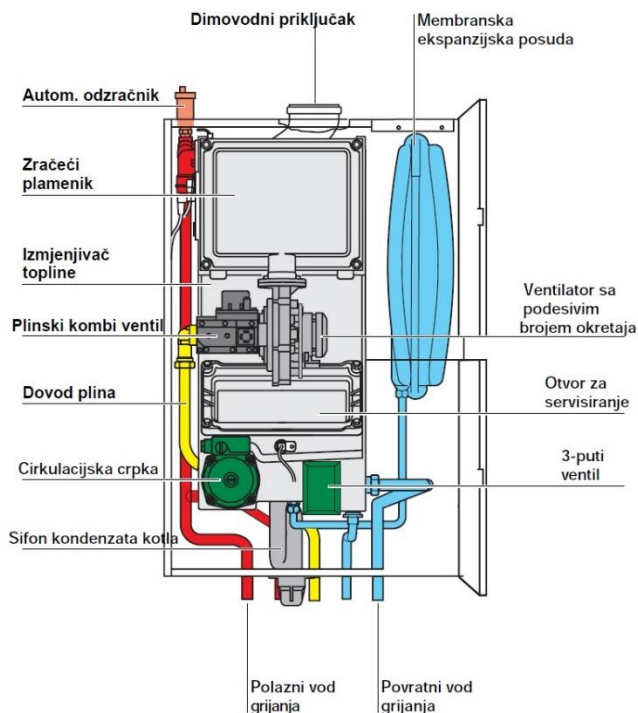
Da bi se osigurao nesmetani rad uređaja, važno je redovito i kvalitetno održavanje svake godine. Ako se servis ne obavlja pravilno, npr. samo se obriše prašina ili se uopće ne obavi, to može dovesti do otežanog rada uređaja, buke, nekvalitetnog izgaranja, povećane potrošnje plina, a u najgorem slučaju čak i do gušenja ugljičnim monoksidom.

3.2 Kondenzacijski bojler

Kondenzacijski bojler, moglo bi se to tako reći, jest usavršeni kombi bojler. Iako se na prvi pogled ne razlikuje puno od konvencionalnog kombi bojlera u izgledu i principu rada, kondenzacijski bojler ima neke bitne razlike. Naime, veličina primarnog izmjenjivača topline je veća, što omogućuje bolje iskorištenje kondenzata pri nižim temperaturama rada. Osim toga, kondenzacijski bojler je spojen na odvod kako bi se učinkovito zbrinjavalo kondenzat koji se stvara tijekom rada uređaja. Na Slici 3-3. jest shematski prikaz kondenzacijskog bojlera.

Da bi se postigla veća učinkovitost i stvorio kondenzat, preporučuje se rad na nižim temperaturama (30-40°C) (Perković et al., 2017). Ako se održavaju preporučene temperature i pravilno podešava uređaj, učinkovitost može doseći do 100% (Perković et al., 2017). Ova učinkovitost se postiže dodatnim iskorištavanjem topline dimnih plinova, što dovodi do stvaranja kondenzata. Kada dimni plinovi prolaze kroz primarni izmjenjivač topline, toplina se predaje tekućini u sustavu centralnog grijanja, a dimni plinovi se ohlade prije nego što

izađu iz dimnjaka, što znači da su niske temperature i tek nešto topliji od temperature povratne vode centralnog grijanja.

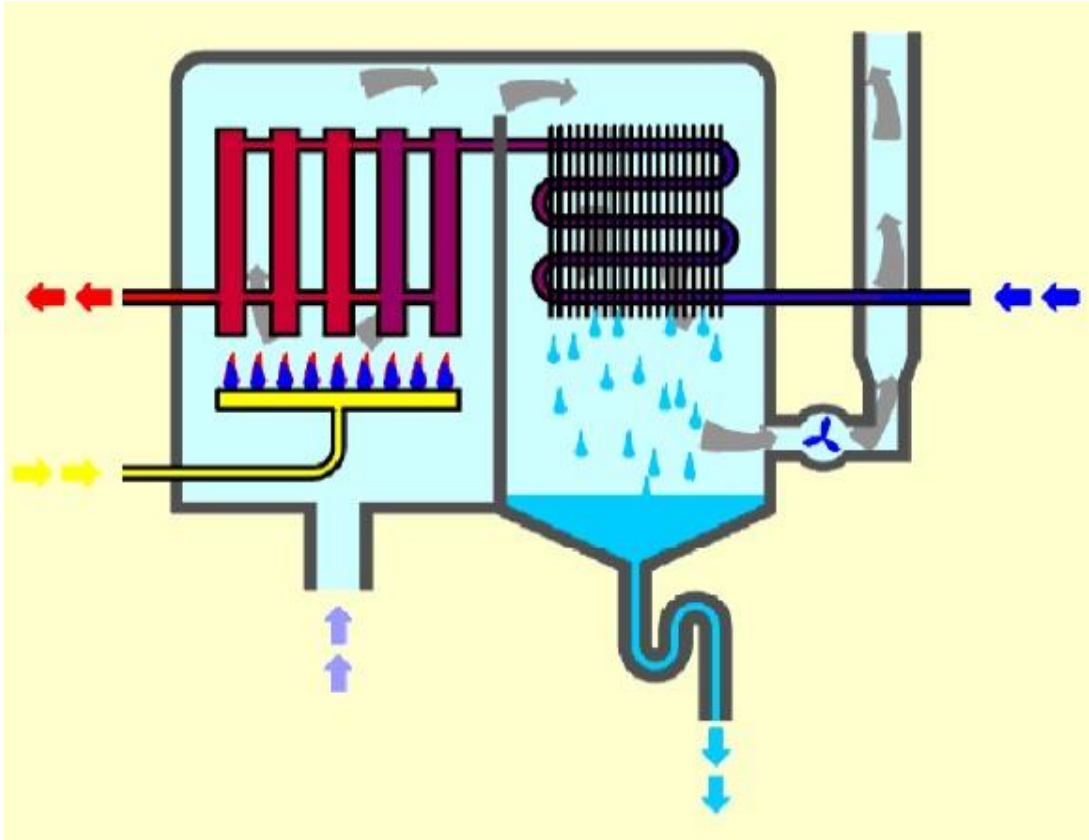


Slika 3-3. Shematski prikaz kondenzacijskog bojlera (Perković et al., 2017)

Kod kondenzacijskog uređaja, toplina koja se dobije izgaranjem plina se prenosi na tekućinu u centralnom grijanju kroz prvi dio izmjenjivača topline. U drugom dijelu izmjenjivača, koristi se toplina dimnih plinova kako bi se prenio ostatak topline i kondenzirala vlaga iz dimnih plinova na zidove izmjenjivača. Međutim, ovaj proces smanjuje prirodni uzgon dimnih plinova, pa se moraju izbaciti pomoću ventilatora. Budući da kondenzacijski uređaj radi na nižim temperaturama, potrebno je dulje vrijeme rada da bi se zagrijala tekućina i radijatori na temperaturu koja će osigurati ugodan boravak u prostoru, zato se češće koriste u kombinaciji s podnim grijanjem. Na Slici 3-4. se nalazi shematski prikaz principa rada kondenzacijskog bojlera.

Perković i suradnici u svom radu iz 2017. godine povlače paralelu kao usporedbu kombi i kondenzacijskog bojlera. Usporedba je dana na primjeru vožnje automobilom od točke A do točke B. „Kako bi se prikazale prednosti takvog načina rada možemo povući analogiju vožnje automobilom od točke A do točke B. U prvom slučaju automobil se kretao brzinom od 150 km/h, te se zaustavljao nekoliko puta kako bi se vozači odmorili uz kavu, te je nakon 5 h stigao u točku B. Dok se u drugom slučaju automobil kretao konstantom brzinom od 75

km/h bez stajanja i stigao u točku B u istom vremenu. Prednosti koje se ostvaruju u drugom slučaju su manja potrošnja goriva, manje habanje dijelova, tiši rad. Što na kraju rezultira sa zadovoljnim korisnikom.“ (Perković et al., 2017)



Slika 3-4. Shematski prikaz principa rada kondenzacijskog bojlera (Perković et al., 2017)

4. SOLARNI KOLEKTORI

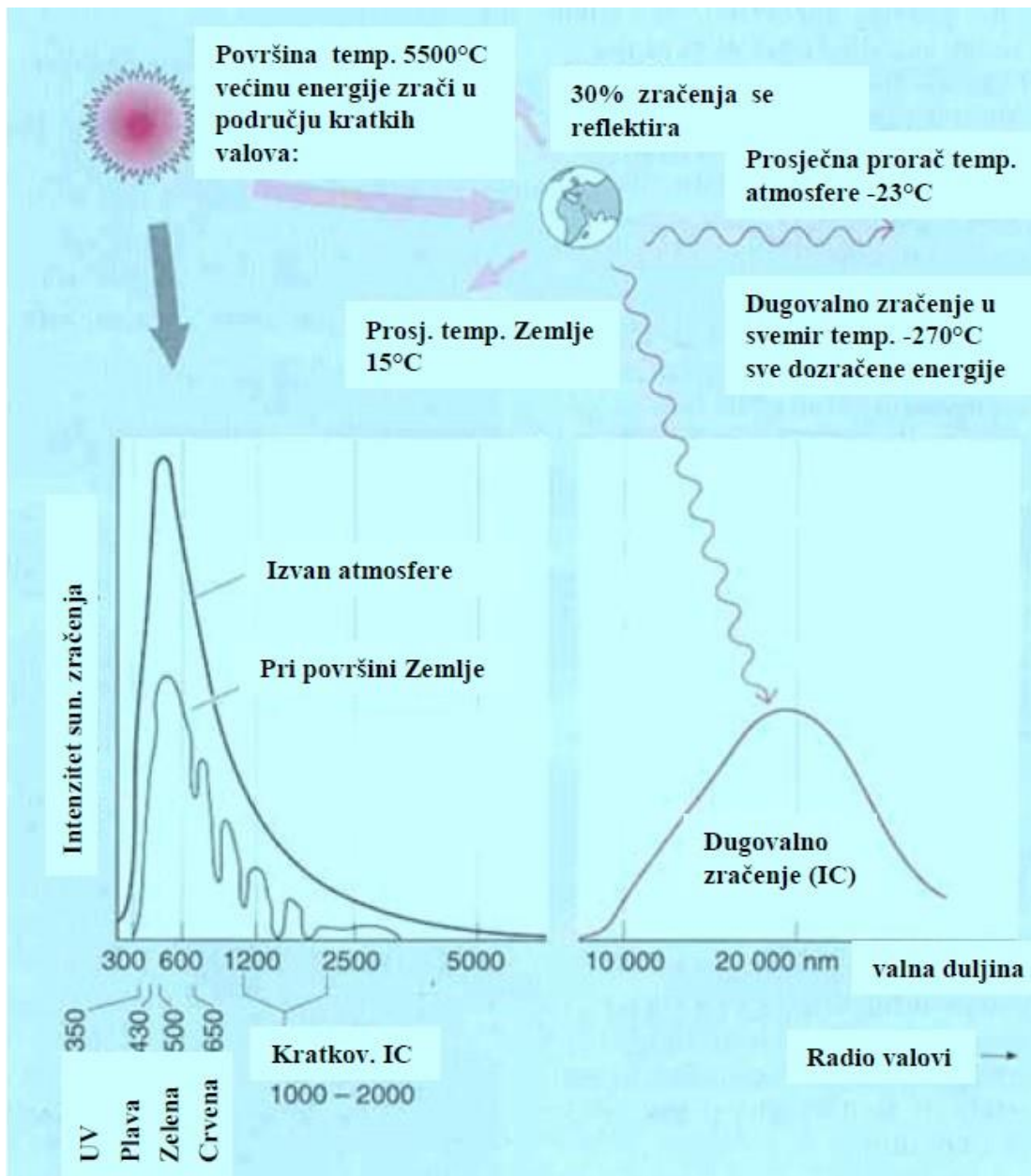
4.1 Sunčeva energija

Sva energija potrebna čovječanstvu mogla bi se dobiti iz sunčevog zračenja, pod pretpostavkom da je tehnologija prikupljanja energije dovoljno učinkovita. Sunčevo zračenje se raznim uređajima pretvara u toplinsku ili električnu energiju. U ovom diplomskom radu fokus će biti na pretvorbu sunčeve energije u toplinu. Sunčevo zračenje je kratkovalno zračenje koje se može nazvati i specifičnim tokom zračenja Sunca, a mjeri se u W/m^2 .

Spektar sunčevog zračenja (valne duljine između 0,3 i 100+ μm) podijeljen je u tri područja:

- infracrveno ili IC zračenje čiji je udio 51%,
- ultraljubičasto ili UV zračenje, čiji je udio 9%,
- vidljivo svjetlo čiji je udio 40%.

Reakcije nuklearne fuzije u središtu Sunca oslobađaju ogromnu energiju od otprilike $380\ 000 \cdot 10^9$ TWh. Prosječna temperatura u središtu sunčeve jezgre iznosi oko 10^7 K, a na površini 5777 K. Sunce zrači prema Zemlji elektromagnetskim valovima ukupne snage od 173 000 TW, od čega se otprilike 120 000 TW apsorbira na Zemlji. Spektralna raspodjela intenziteta zračenja po valnoj duljini je vrlo slična raspodjeli crnog tijela na temperaturi od 5777 K. Proces prijenosa topline putem zračenja između Sunca, Zemlje i svemira nalazi se na Slici 4-1. Stoga se većina sunčeve energije prenosi putem tzv. kratkovalnog zračenja u vidljivom i kratkovalnom infracrvenom području valnih duljina $\lambda = 0,3-2,5 \mu m$. U inženjerskoj praksi solarni spektar je ograničen na valne duljine između 0,3 i 2,5 μm , budući da većina zračenja dopire do Zemlje u tom rasponu (Dović, 2013).



Slika 4-1. Proces prijenosa topline putem zračenja između Sunca, Zemlje i svemira (Dović, 2013)

Količinu solarnog zračenja na granici zemljine atmosfere, izraženu po jedinici površine okomite na smjer zračenja, predstavlja površina ispod krivulje spektralne raspodjele intenziteta zračenja sa Slike 4-1., što iznosi 1367 W/m^2 . Ova vrijednost poznata je kao "solarna konstanta". Manji dio zemljine površine i oblaci odbijaju oko 30% ovog sunčevog zračenja natrag u svemir (uglavnom snijeg i led). Do 1000 W/m^2 preostalog zračenja apsorbira se djelomično u atmosferi i u potpunosti na površini Zemlje (Dović, 2013). Površina Zemlje izložena je izravnom i difuznom solarnom zračenju. Raspršivanjem dijela

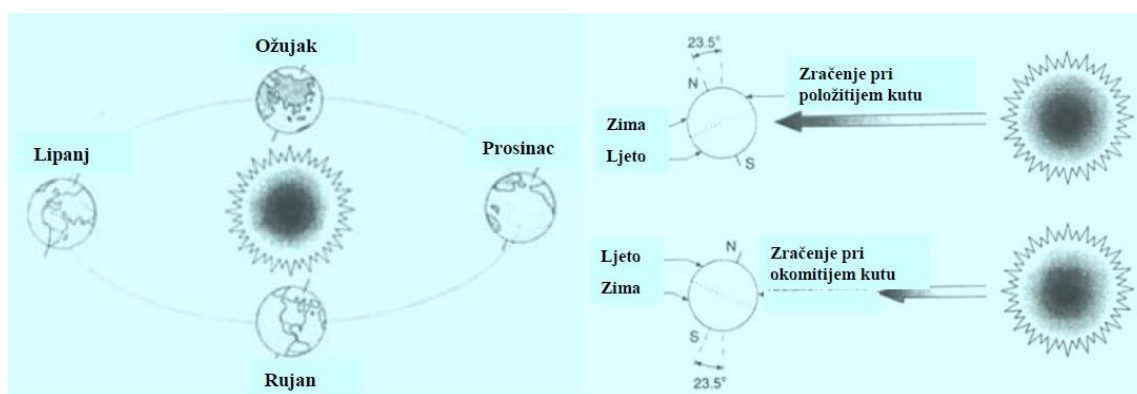
izravnog zračenja na molekule zraka, oblake, vodenu paru i prašinu nastaje difuzno zračenje. Ilustrativni primjer izravnog i difuznog solarnog zračenja nalazi se na Slici 4-2.



Slika 4-2. Ilustrativni primjer izravnog i difuznog solarnog zračenja (Dović, 2013)

4.2 Varijacije sunčevog zračenja kroz godinu

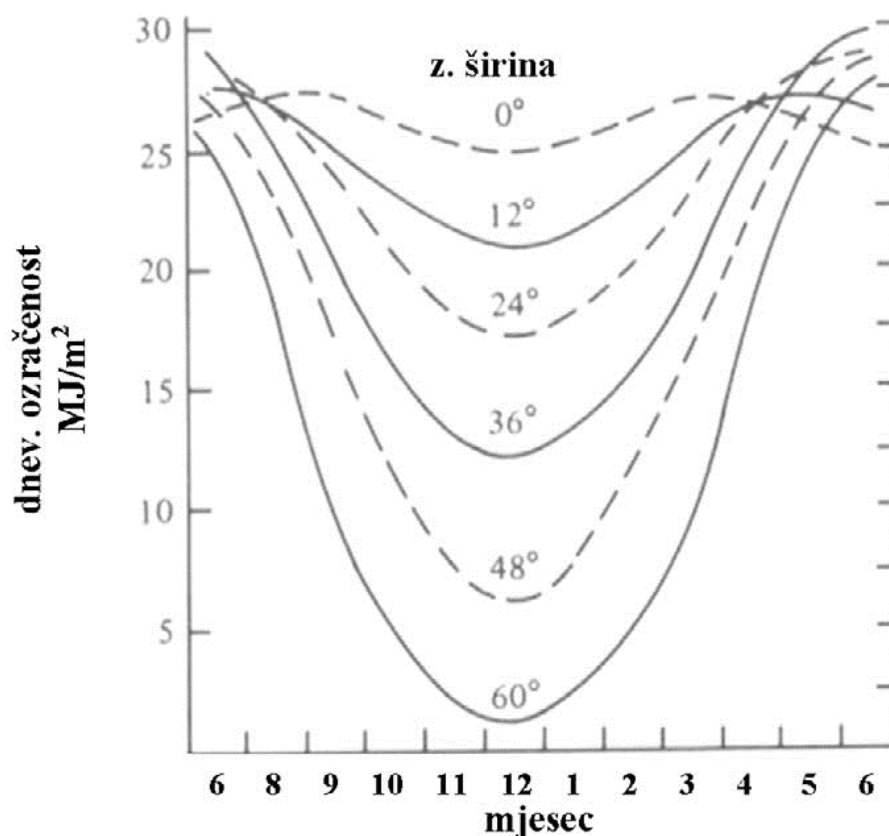
Gibanje Zemlje u orbiti oko Sunca, prikazano na Slici 4-3., uzrok je godišnje varijacije solarnog zračenja. To dovodi do promjene kuta pod kojim sunčeve zrake upadaju na površinu Zemlje, što značajno utječe na količinu zračenja. Na sličan način, duljina putanje kojom sunčeve zrake prolaze kroz atmosferu također varira, utječući tako na količinu difuziranog, reflektiranog i apsorbiranog zračenja. Mjera promjene nagiba Zemljine osi u odnosu na ravninu orbite, nazvana deklinacija, mijenja se tijekom godine, od $-23,5^\circ$ zimi do $23,5^\circ$ ljeti (Dović, 2013).



Slika 4-3. Gibanje Zemlje u orbiti oko Sunca i promjena nagiba zemljine osi (Dović, 2013)

Ukupna količina sunčeve radijacije koja padne na vodoravnu površinu tijekom jedne godine naziva se "godišnja radijacija". Za područje Zagreba vrijednost godišnje radijacije je 1200 kWh/m^2 , a Splita 1600 kWh/m^2 (Dović, 2013).

Dijagram prikazan na Slici 4-4. na specifičnoj geografskoj širini od 45° ukazuje da postoji značajna varijabilnost razine izloženosti solarnom zračenju u Republici Hrvatskoj. Tijekom prijelaznog razdoblja između zime i ljeta, postoji značajna razlika u vrijednosti solarne radijacije, pri čemu je vrijednost u siječnju otprilike pet puta manja u usporedbi s mjesecom lipnjem. Također je zanimljivo da se 75% ukupne godišnje količine solarnog zračenja koncentrira u toplijem dijelu godine, točnije u ljetnom razdoblju. Vremensko razdoblje u kojem se pojavljuje najveća insolacija jest razdoblje od travnja do listopada. Ova činjenica stvara poteškoće u dizajniranju solarnih sustava koji se moraju instalirati. Tijekom zimskih mjeseci, kada su energetske potrebe na vrhuncu potrebno je osigurati dostatne količine toplinske energije za zadovoljavanje potreba korisnika te se sustavi najčešće dizajniraju prema zimskim mjesecima. Kako bi se izbjegli poremećaji u radnim aktivnostima tijekom ljetnih mjeseci zbog potencijalnog viška prikupljene solarne energije, potrebne su preventivne mjere. Ova vrsta energije koja nije iskoristiva naziva se neupotrebljivom energijom (Dović, 2013).



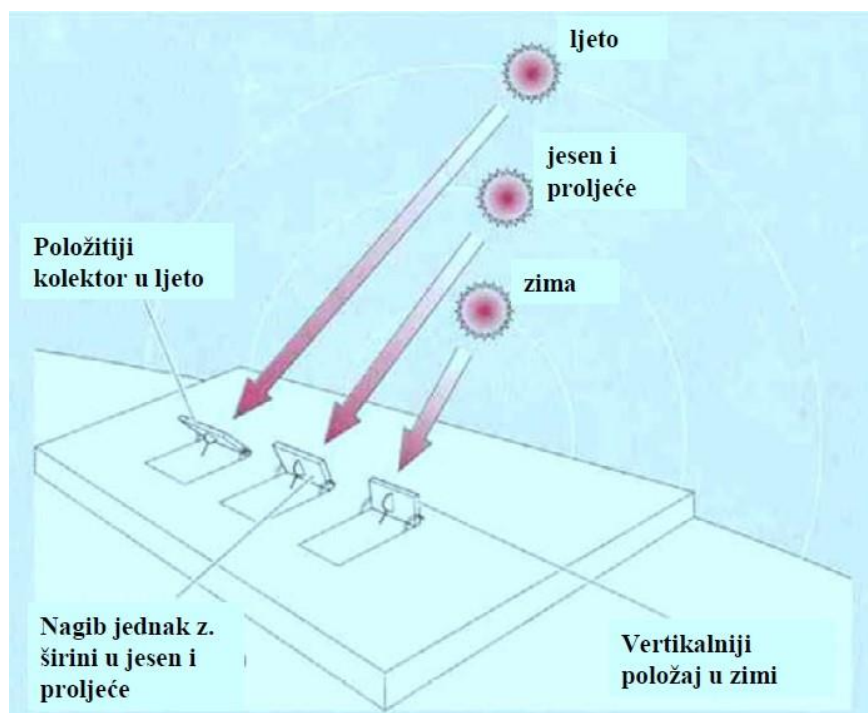
Slika 4-4. Promjena dnevne sunčeve insolacije horizontalne površine tijekom godine za vedre dane i različite geografske širine (Dović, 2013)

4.3 Optimalni kut solarnog kolektora

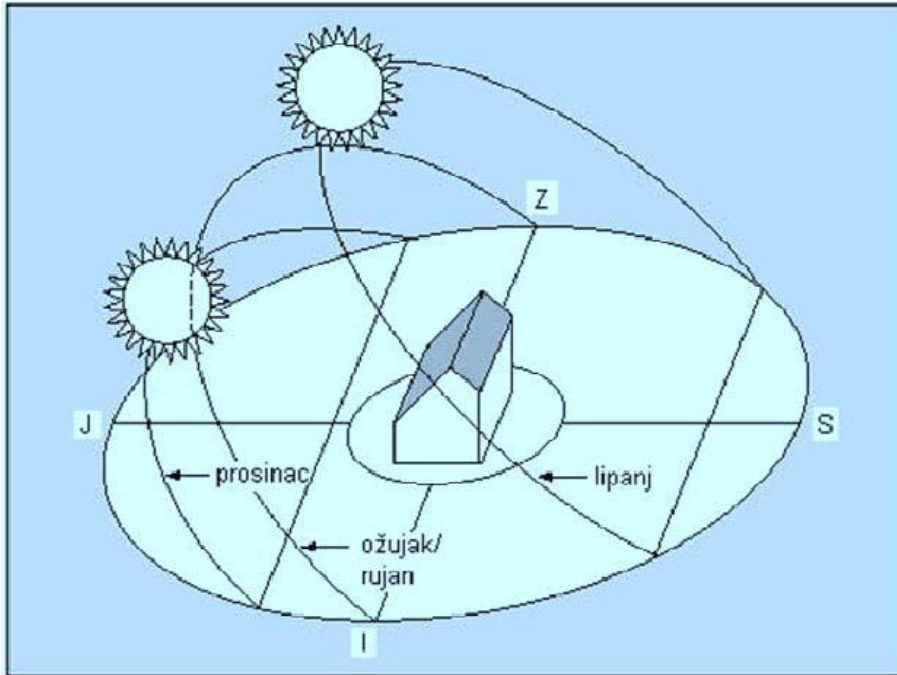
Preporuča se pozicioniranje solarnog kolektora pod optimalnim kutom u određenom periodu upotrebe. Ljetni mjeseci u godini pružaju optimalne uvjete za postizanje najvišeg nivoa izloženosti kolektora sunčevim zrakama. Optimalni kut mora biti određen kako bi se postigla maksimalna efikasnost solarnog kolektora.

Određivanje izloženosti solarnoj energiji ovisi o različitim čimbenicima, uključujući geografsku širinu, specifično vremensko razdoblje (kao što je prikazano na Slikama 4-5., 4-6. i 4-7.) i namjenu solarnog sustava. Godišnji kut kolektora za određeno područje obično je iznosom u blizini geografske širine. Za Republiku Hrvatsku optimalni kut je 37° . Ako je cilj sustava postizanje maksimalne količine energije tijekom ljetnih mjeseci (npr. kako bi se optimizirala energetska učinkovitost ili povećala održivost), preporučeni kut bi bio u rasponu od 10 do 20 stupnjeva (Dović, 2013).

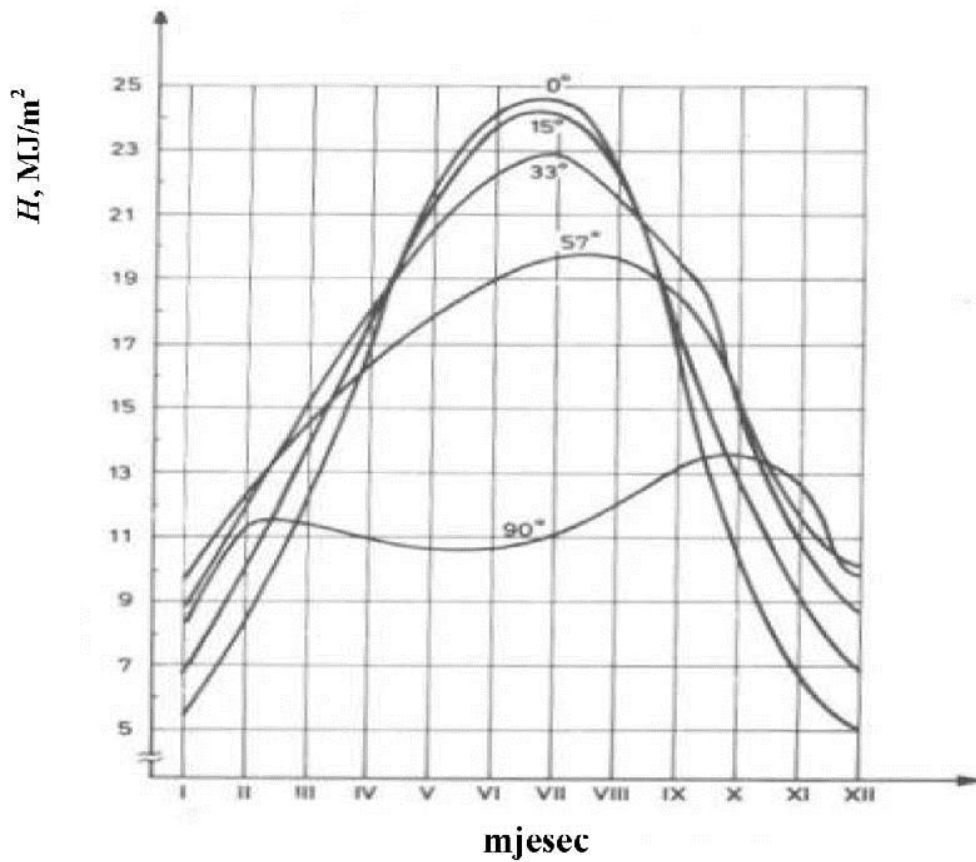
U turizmu, stanovnici obično borave u apartmanima i hotelima. U drugim industrijama, osim turizma, sezonski porast ekonomske aktivnosti obično se javlja tijekom ljetnih mjeseci. Važno je ograničiti prikupljanje toplinske energije tijekom određenih razdoblja godine kako bi se postigli željeni rezultati temeljeni na namjeravanim ciljevima. Tijekom određenog vremenskog razdoblja, optimalni kut može premašiti i 45 stupnjeva (Dović, 2013).



Slika 4-5. Optimalni kut nagiba kolektora ovisno o godišnjim dobima (Dović, 2013)

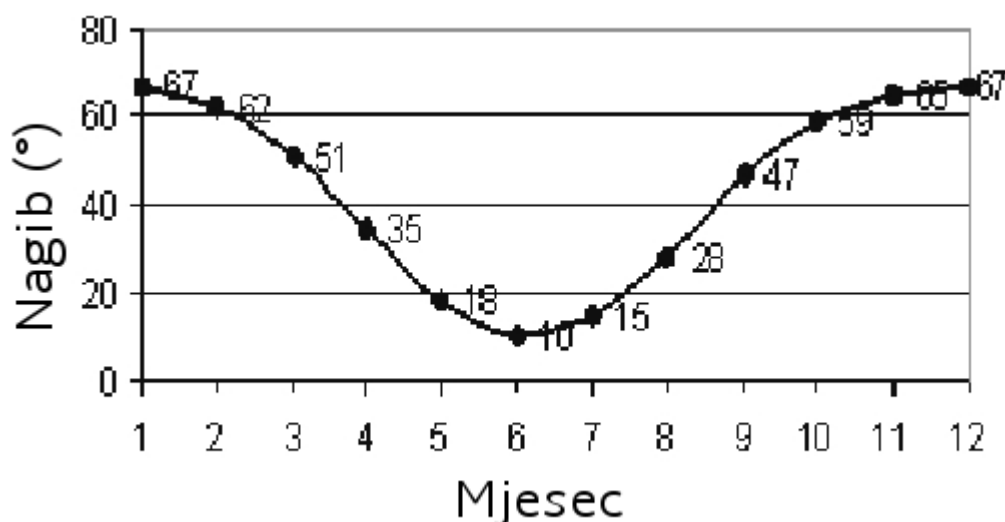


Slika 4-6. Mogućnosti promatranja Sunca s obzirom na promjenu godišnjih doba u odnosu na promatrača na Zemlji (Dović, 2013)



Slika 4-7. Očitane vrijednosti godišnje insolacije kolektora H za različite kutove nagiba ($0-90^\circ$) (Dović, 2013)

Ozračenje kolektora koji se nalazi u Splitu približno je 1900 kWh/m^2 ukoliko se kut nagiba solarnog kolektora mijenja optimalno u odnosu na vrijeme. Alternativno, kolektor koji je montiran pod kutom od 45 stupnjeva dao bi drugačiju vrijednost ozračenosti. Zabilježeno ozračenje iznosi 1800 kWh/m^2 , što označava razinu zračenja prisutnog na određenoj lokaciji. Razina apsorbirane sunčeve energije smanjena je za 6% . Što se tiče promjene optimalnog kuta kolektora, značajna količina pozornosti posvećena je razumijevanju čimbenika koji utječu na kut nagiba kolektora kako bi se postigla apsorpcija najveće količine sunčeve energije. Kao što je prikazano na Slici 4-8., optimalni kutovi se značajno mijenjaju tijekom godine. A tako mala varijacija, od 6% potvrđuje činjenicu da je difuzna komponenta zračenja manje osjetljiva na promjenu kuta nagiba kolektora i značajnije sudjeluje u ozračivanju kolektora (Dović, 2013).



Slika 4-8. Optimalne vrijednosti kuta nagiba kolektora kroz kalendarsku godinu (Dović, 2013)

4.4 Vrste solarnih kolektora

Solarni kolektori su uređaji koji apsorpcijom prikupljaju toplinsku energiju sunčevog zračenja. Toplinska energija tako pohranjena prenosi se kroz tekućinu koja teče kroz uređaj i koristi se za određene svrhe. Solarni kolektori se općenito klasificiraju kao:

- a) kolektori koji ne prate sunce i
- b) kolektori koji prate sunce.

Kolektori koji ne prate sunce su obično fiksni i nazivaju se stacionarni kolektori, dok su kolektori koji prate sunce dizajnirani da prate kretanje sunca kako bi uvijek bili okomiti na dolazno sunčevo zračenje.

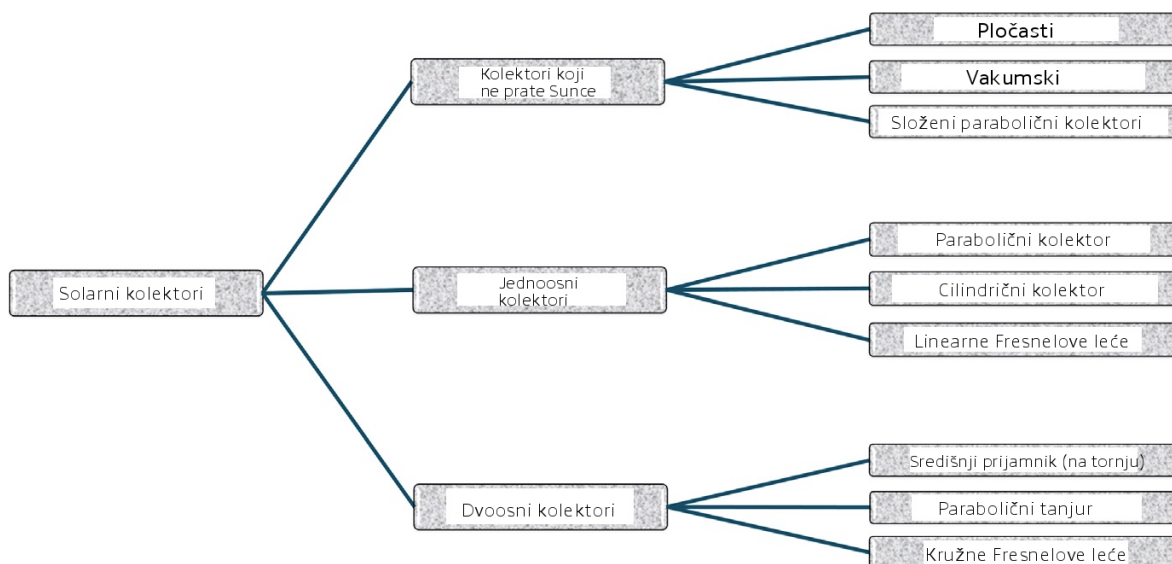
Kolektori koji prate sunce dalje se klasificiraju kao:

- a) jednoosni i
- b) dvoosni.

Kolektori koji ne prate sunce kategoriziraju se kao:

- a) pločasti,
- b) vakuumski i
- c) složeni parabolni kolektori.

Parabolni kolektor, cilindrični kolektor i linearne Fresnelove leće spadaju u kategoriju jednoosnih praćenih sustava, dok središnji prijarnik (na tornju), parabolni tanjur i kružne Fresnelove leće spadaju u kategoriju dvoosnih praćenih sustava. Slika 4-9. shematski prikazuje klasifikaciju solarnih kolektora.

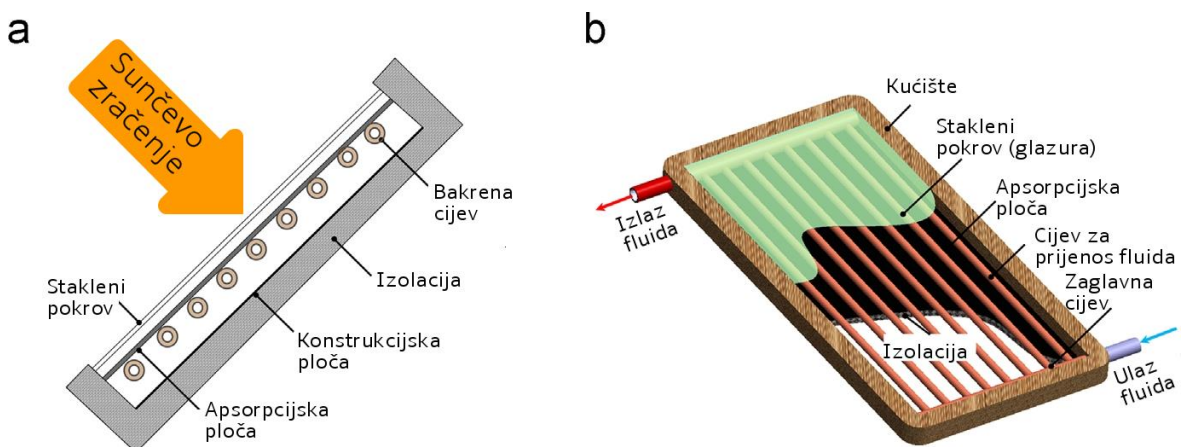


Slika 4-9. Klasifikacija solarnih kolektora (Suman et al., 2015)

4.5 Pločasti solarni kolektori

Pločasti solarni kolektor, prikazan na Slici 4-10., sastoji se od prozirnog staklenog pokrova, apsorpcijske ploče te paralelnom konstrukcijskom pločom. Ovisno o vrsti fluida (zrak ili voda), oblikuje se protok. Za zrak kao radni fluid, razmak između apsorpcijske ploče i pozadinske ploče služi kao protok za fluid. Kada se koristi voda kao radni fluid, bakrene cijevi pričvršćene na apsorpcijsku ploču služe kao medij za protok tekućine. U tom slučaju pozadinska ploča nije potrebna. Kolektor je izoliran sa svih strana kako bi se dodatno smanjio gubitak topline. Stakleni poklopac na vrhu pomaže u smanjenju konvencijskog i radijacijskog gubitka topline od apsorpcijske ploče prema atmosferi. Tijekom dugotrajne uporabe, prašina se može nataložiti na staklenom poklopcu kolektora što negativno utječe na njihovu učinkovitost. Čišćenje se obično vrši jednom od sljedećih metoda (Ghazi et al., 2014):

- a) pranje vodenim mlazom,
- b) ispuhivanje komprimiranim zrakom,
- c) ručno naginjanjem kolektora,
- d) korištenjem automatskog brisača,
- e) korištenjem super-hidrofilnog nano-filma i
- f) upotrebom elektrostatičke metode uklanjanja prašine (uspostavljanje ravnoteže električnog naboja dostupnog u prašini).



Slika 4-10. Shematski prikaz pločastog solarnog kolektora: (a) bokocrt i (b) 3D prikaz (Suman et al., 2015)

4.5.1 Dimenzije pločastih solarnih kolektora

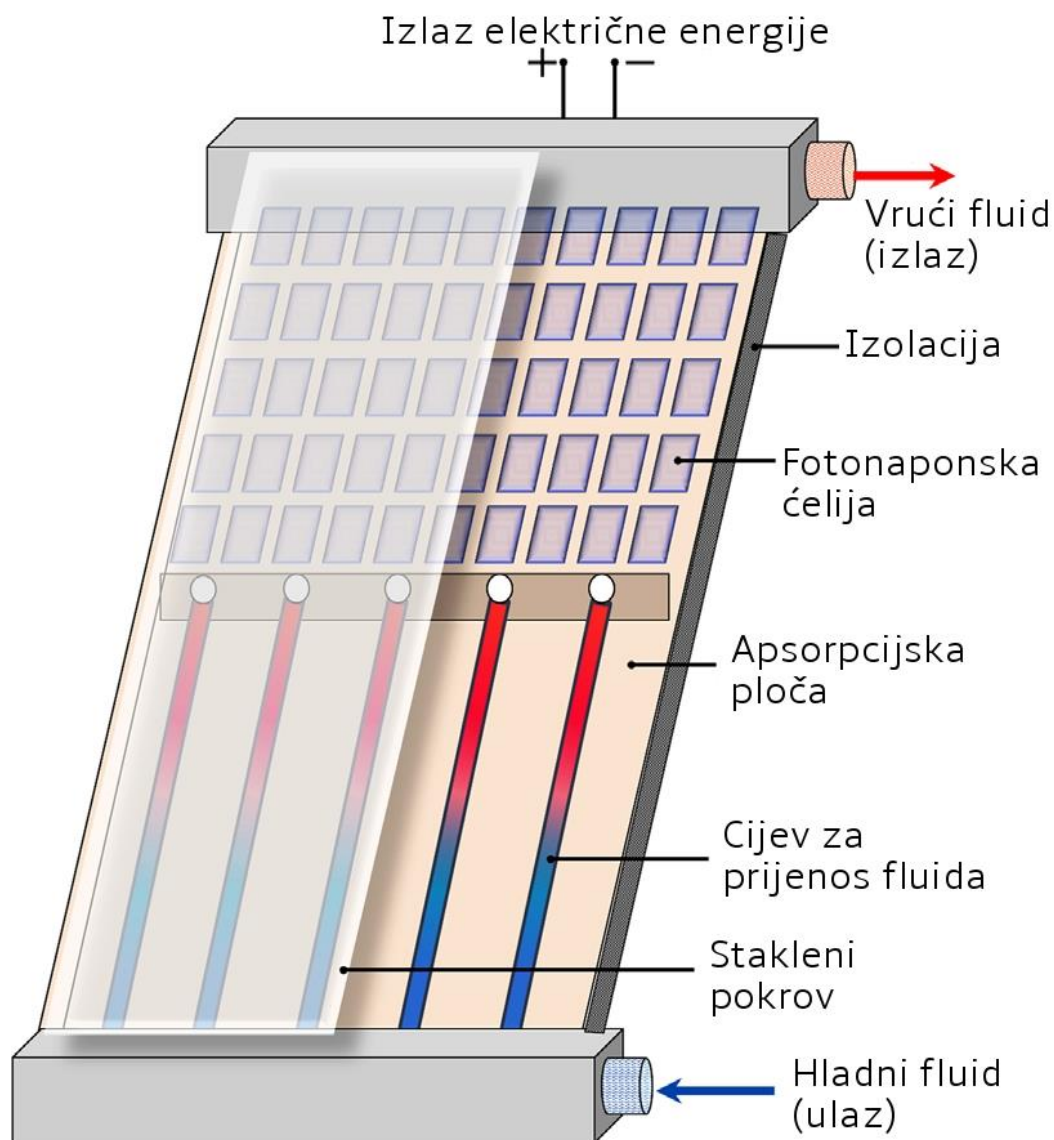
Izbor dimenzije kolektora (dužina i širina) značajan je i ovisi o vrsti primjene. Yeh i Lin (1995) su proveli analitička i eksperimentalna istraživanja kako bi istražili učinak omjera duljine i širine na učinkovitost ravnog pločastog kolektora. Otkrili su da se učinkovitost kolektora povećava s povećanjem omjera duljine i širine za konstantnu površinu kolektora. Ammari i Nimir (2003) razvili su solarni grijač vode zamjenom metalne apsorpcijske ploče pokrivačući vodene cijevi katranom. Ustanovili su da je takav kolektor imao bolje performanse od konvencionalnog ravnog pločastog kolektora u kasnim poslijepodnevним satima. Alvarez i suradnici (2004) su razvili ravan pločasti kolektor za u kojem su apsorpcijsku ploču zamijenili nizom recikliranih aluminijskih konzervi obojenih u crnu boju. Utvrdili su da je maksimalna postignuta termička učinkovitost bila 74%. Prednosti ovog tipa kolektora je recikliranje otpadnih limenki, manja cijena izrade i čišći okoliš.

4.5.2 Hibridni fotonaponski/solarni kolektori (PV/T)

Hibridni PV/T sustavi razvijeni su kako bi služili u svrhu izravne proizvodnje električne energije korištenjem fotonaponskih ćelija i apsorpcije topline sunčevog zračenja. Sustav se sastoji od fotonaponskih ćelija inkapsuliranih na jednoj strani apsorpcijske ploče, iza kojih postoji mogućnost protoka tekućine koja se zagrijana izlazi na drugoj strani apsorpcijske ploče. Učinkovitost PV ćelija opada pri visokim temperaturama; stoga će održavanje PV ćelija u određenom temperaturnom rasponu uklanjanjem topline iz njih, preko radnog fluida, rezultirati njihovom većom učinkovitošću, a toplinu koju primi fluid se također iskorištava. Takvi sustavi mogu se koristiti za istovremenu proizvodnju električne energije i tople vode niske temperature za potrebe kućanstva. PV/T sustavi imaju puno kraća ekonomska razdoblja povrata zbog integriranog rasporeda hlađenja solarne ploče.

Postoje razne konfiguracije PV/T hibridnih kolektora ovisno o: vrsti radnih fluida (rashladnih fluida), vrsti kolektora, materijalu fotonaponske ćelije, broju ostakljenja i protoku rashladnog fluida. Pločasti grijač zraka proizvodi nisko-temperaturni vrući zrak pogodan za sušenje poljoprivrednih proizvoda. Hibridni PV/T solarni kolektori zraka prikladni su za konvekcijsko grijanje zraka u prostoriji uz proizvodnju električne energije preko fotonaponskih ćelija.

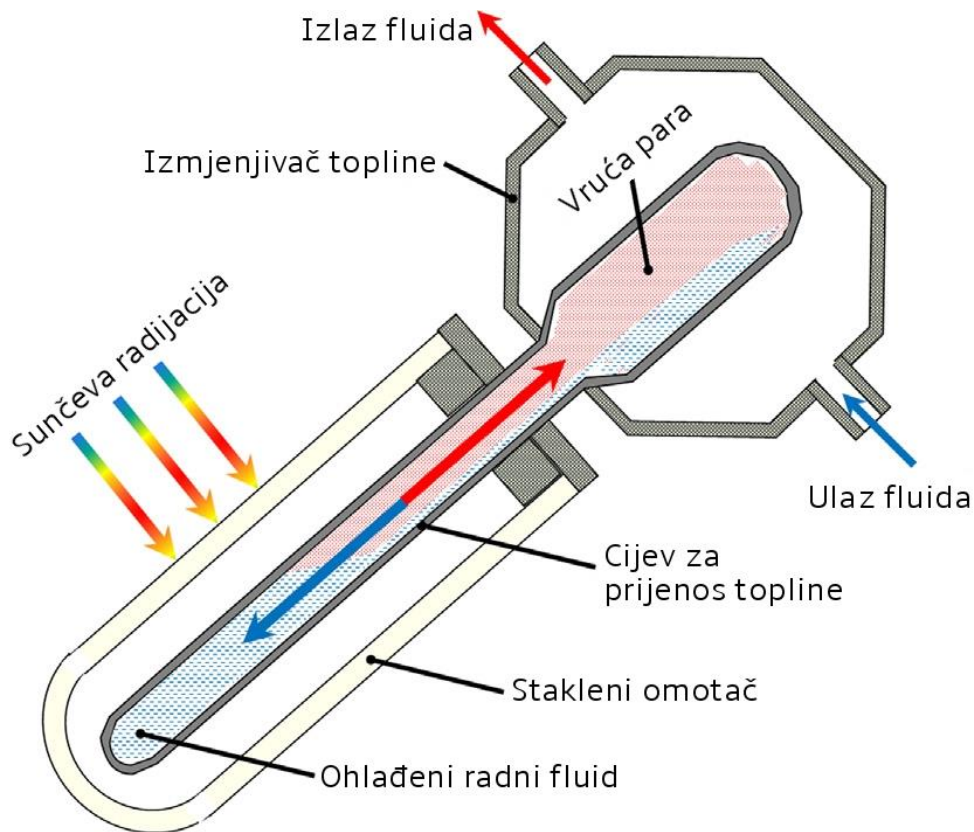
Većina do sada provedenih studija prvenstveno je bila usmjerena na solarni grijač zraka. Hibridni PV/T kolektori učinkovitiji su od svih fotonaponskih ili solarnih toplinskih sustava koji djeluju samostalno. PV/T sustav bi se mogao učiniti konkurentnijim povećanjem učinkovitosti PV-a i razvojem boljih načina za njegovu integraciju sa strukturnim komponentama zgrada, ali je cijena stabilnih nanofluida, koji se koriste kao rashladni fluid, i dalje jako visoka. Nedavno je predložen novi kombinirani sustav PV/T-gorivnih ćelija, koji se može istovremeno koristiti za izravnu proizvodnju električne energije, toplog zraka, pročišćene vode i vodika. Za rad velikih razmjera ili za dulje trajanje, količina čiste vode na izlazu može zadovoljiti čak i potrebe za pitkom vodom. Međutim, cijena je velika prepreka u tom pogledu pošto se i dalje radi o tehnologiji koja je u razvojnoj fazi (Zafar i Dincer, 2014). Na Slici 4-11. se nalazi shematski prikaz hibridnog PV/T kolektora.



Slika 4-11. Hibridni PV/T kolektor (Suman et al., 2015)

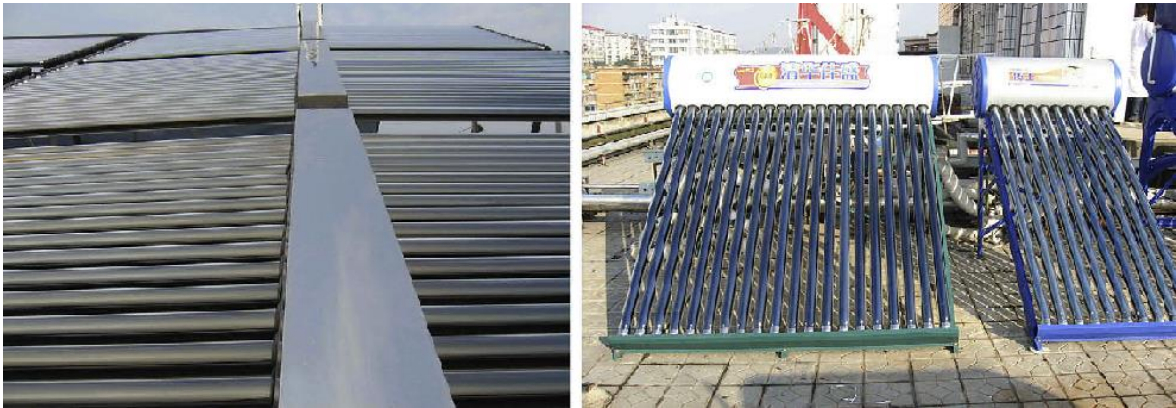
4.6 Vakuumski kolektori

Solarni kolektor s vakuumskim cijevima sastoji se od cijevi za prijenos topline koje su smještene u staklenom omotaču, kako je prikazano na Slici 4-12. Cijevi za prijenos topline često koriste različite radne fluide, uključujući etanol, metanol i vodu. Postupak prikupljanja sunčeve radijacije u obliku topline i prenošenje na radni fluid tijekom ciklusa isparavanja i kondenzacije može se smatrati akumulacijskim mehanizmom. Kada je izložen sunčevoj radijaciji, fluid koji se nalazi unutar cijevi za prijenos topline prolazi faznu tranziciju, što rezultira pretvaranjem tekućine u paru. Para se zatim uzdiže do gornjeg dijela cijevi, potaknuta silom uzgona. Proces prijenosa topline od pare do vode u gornjem dijelu izmjenjivača topline rezultira kondenzacijom pare natrag u njezino tekuće stanje. Tekućina se spušta u donji dio cijevi zbog sile gravitacije, te se nakon toga cijeli proces ponavlja u zatvorenoj petlji. Stakleni omotač tvori vakuum kako bi se smanjio gubitak topline putem konvekcije i spriječilo propadanje unutarnjih komponenti uzrokovano vanjskim čimbenicima. Cijevi za prijenos topline se nalaze u vakuumu, što omogućava pretvorbu faze radnog fluida na relativno niskim temperaturama. Utjecaj promjene kuta upada sunčeve radijacije na učinkovitost kolektora je zanemariv.



Slika 4-12. Vakuumski solarni kolektor (Suman et al., 2015)

Kako bi se postigla što veća efikasnost kolektora, mnoge vakuumske cijevi su međusobno povezane. Dva su tipa rasporeda koji se često koriste za vakumske kolektore: H-tip i T-tip kolektora. Treba napomenuti da T-tip kolektori na godišnjoj razini prikupljaju nešto više radijacije u usporedbi s H-tipom kolektora (Tang et al., 2009). H-tip i T-tip kolektora prikazani su Slikom 4-13.



Slika 4-13. H-tip (lijevo) i T-tip (desno) solarnih vakuumskih kolektora (Tang et al., 2009)

5. DIZALICE TOPLINE

Hibridni sustavi koji kombiniraju solarne kolektore i dizalice topline sve su popularniji kao održiva opcija za grijanje i hlađenje zgrada. Solarni kolektori koriste sunčevu energiju za zagrijavanje vode, dok dizalice topline izvlače toplinu iz okoline i koriste ju za grijanje ili hlađenje zraka u zgradi.

Kombiniranje solarnih kolektora i dizalica topline u hibridni sustav omogućuje veću energetska učinkovitost i smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima. U zimskim mjesecima, kada sunčeva radijacija nije toliko jaka, dizalice topline mogu preuzeti veći dio posla zagrijavanja zgrade, dok se solarni kolektori mogu koristiti tijekom sunčanih dana kako bi se dodatno zagrijala voda. Ljeti, kada je potrebno hlađenje, dizalice topline se mogu koristiti za izvlačenje topline iz zraka u zgradi, a solarni kolektori mogu pružiti toplu vodu za kućanstvo.

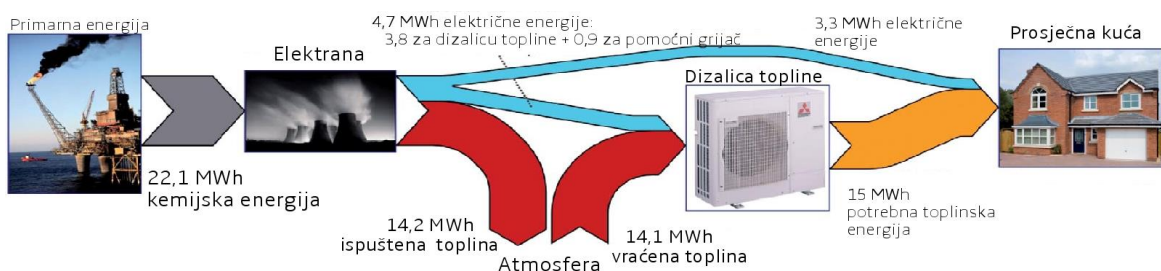
Hibridni sustavi sa solarnim kolektorima i dizalicama topline mogu biti skupi za instalaciju, ali se dugoročno isplate kroz smanjenje troškova energije i doprinose održivom razvoju. Takvi sustavi pružaju energetska neovisnost i smanjuju emisiju stakleničkih plinova, što je sve važnije u današnjem svijetu u kojem se sve više prepoznaje važnost održivog razvoja.

5.1 Dizalice topline

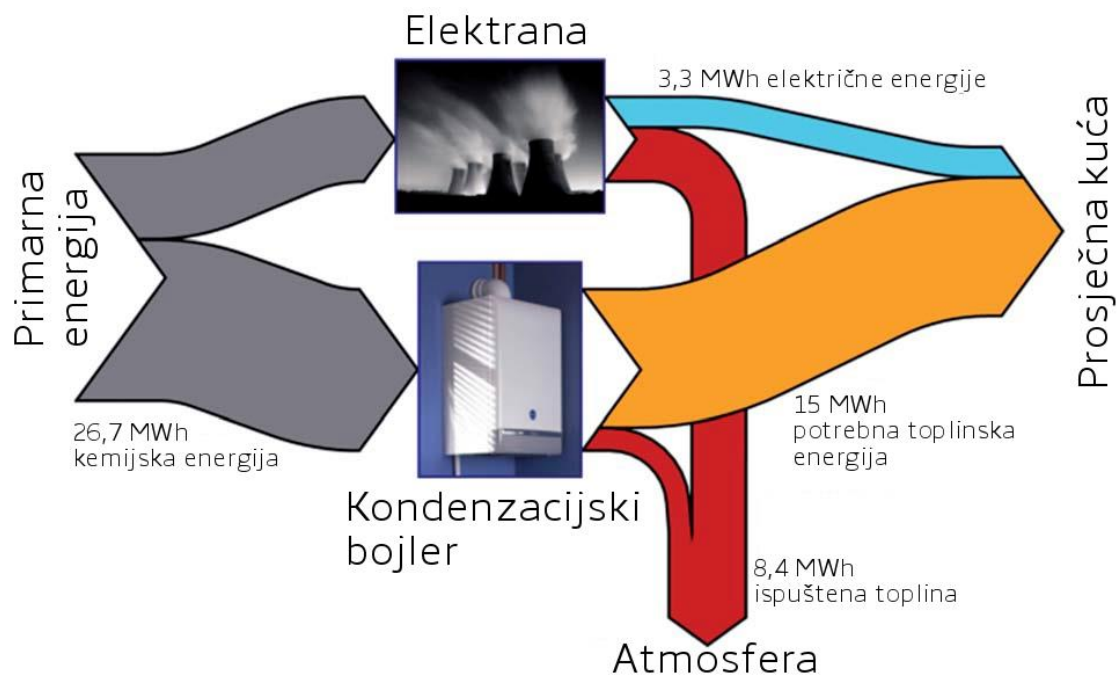
Dizalice topline ili toplinske pumpe (HP (*engl. Heat Pump*)) najčešće se susreću u hladnjacima i klima uređajima. U oba slučaja koriste električnu energiju za uklanjanje topline s hladnijeg mjesta i prenose je na toplije mjesto, pružajući željenu temperaturu za hranu ili ljude. Mogu osigurati grijanje i hlađenje tako što rade i u obrnutom smjeru: izvlače toplinu iz okoline koja je relativno hladna te povećavajući njezinu temperaturu zagrijavaju prostor i vodu. Iako za rad zahtijevaju električnu energiju koja najčešće dolazi iz neobnovljivih izvora energije, većina energije koju koriste jest toplina iz okoline. Ta toplina se dobiva kroz sunčevu radijaciju i stoga je ona dobivena bez emitiranja stakleničkih plinova te je gotovo neograničena.

Slika 5-1. prikazuje Sankeyjev dijagram koji prikazuje tokove energije potrebne za grijanje i napajanje tipične kuće tijekom godine uz korištenje toplinske pumpe. Strelice

označavaju prijenos energije iz jednog sustava u drugi, a njihova debljina je proporcionalna količini energije, na temelju reprezentativnih podataka iz Ujedinjenog Kraljevstva. Tipična obiteljska kuća zahtjeva 15 MWh godišnje toplinske energije za grijanje prostora i vode iz oko 5 MWh električne energije, koja bi pak bila generirana iz oko 13 MWh primarne energije. To u konačnici daje iskorištenje primarne energije veće od 1, jer se više topline oporavlja iz okoline nego što se gubi u generiranju električne energije za grijanje. Kada se usporede s uobičajenom alternativom kondenzacijskog plinskog bojlera (Slika 5-2.), dizalice topline mogu smanjiti potrošnju primarne energije u kući za 15-50% (Staffell et al., 2012).



Slika 5-1. Sankeyjev dijagram dizalice topline za prosječnu obiteljsku kuću (Staffell et al., 2012)



Slika 5-2. Sankeyjev dijagram plinskog kondenzacijskog bojlera za prosječnu obiteljsku kuću (Staffell et al., 2012)

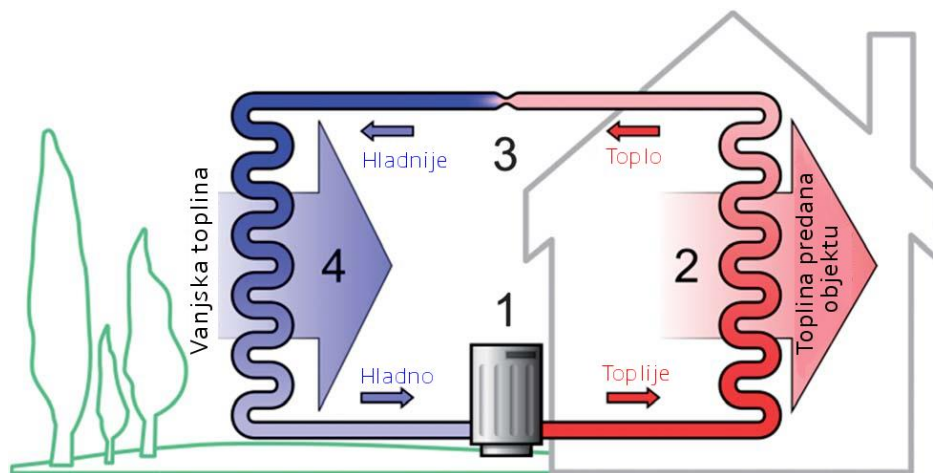
Prva funkcionalna dizalica topline temeljena na radu Carnota i Kelvina izgrađena je 1856. godine, ali tek su se u 1930-ima počeli razvijati modeli za korištenje u praksi. U SAD-u i Japanu, toplinske pumpe i obrnute klima uređaje počeli su se sve više koristiti tijekom 1950-ih zbog sezonskih potreba za klimatizacijom i grijanjem prostora. Iako je osnovni dizajn dizalica topline ostao skoro nepromijenjen gotovo stoljeće, kroz postupnu evoluciju su poboljšavane učinkovitost i materijali izrade (Staffell et al., 2012).

5.1.1 Princip rada dizalice topline

Osnovni princip rada toplinske pumpe je obrnut od principa rada toplinskog stroja; koristi se mehanički rad kako bi se premjestila topline iz hladnijeg u toplije područje, npr. izvana u unutrašnjost kuće. Kao rashladno sredstvo koristi se radni fluid poput komprimiranog CO₂ koji ima fizičke karakteristike lakog isparavanja i kondenzacije kako bi prenosio toplinu.

Slika 5-3. prikazuje četiri glavne komponente toplinske pumpe:

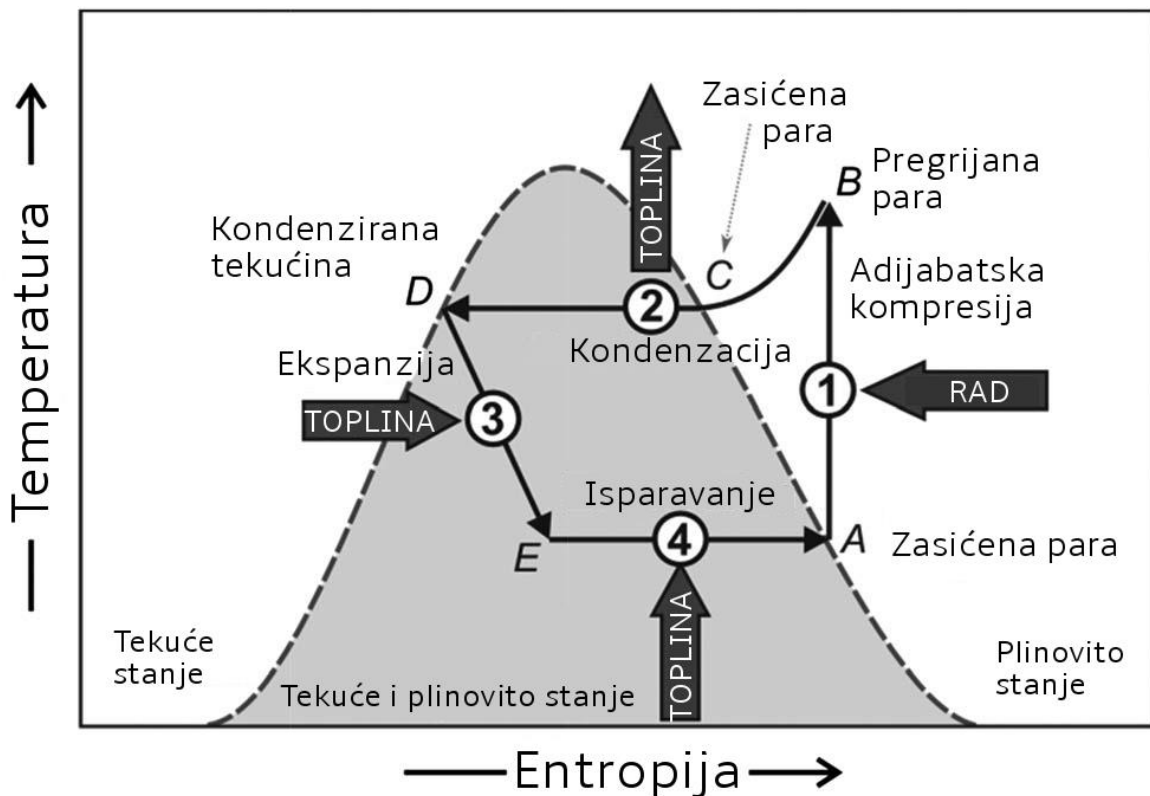
- 1) kompresorsku jedinicu koja povećava tlak rashladnog sredstva i njegovu temperaturu te pretvara hladnu okolnu toplinu u korisnu,
- 2) unutarnji izmjenjivač topline ili kondenzator koji distribuira toplinu u kuću ili za zagrijavanje vode,
- 3) ekspanzijski ventil koji vraća rashladno sredstvo na temperaturi ispod okolne i
- 4) vanjski izmjenjivač topline ili isparivač koji prikuplja toplinu iz okoline.



Slika 5-3. Shematski prikaz principa rada dizalice topline (Staffell et al., 2012)

Većina dizalica topline može istovremeno djelovati i kao rashladni uređaji okretanjem smjera protoka radnog fluida. To mijenja uloge dvaju izmjenjivača topline, izvlačeći pritom toplinu iz kuće i ispuštajući ju u atmosferu radi hlađenja. To se može prikazati na Slici 5-3. obrnutim strelicama i zamjenom oznaka 2 i 4: vruće rashladno sredstvo bi se pumpalo van, a zatim bi ekspandiralo na nižu temperaturu radi hlađenja kuće.

Prema drugom zakonu termodinamike, topline se ne može spontano prenositi s hladnijeg mjesta na toplije bez primjene rada iz vanjskog izvora energije na sustav. Termodinamika idealnog ciklusa pare prikazana je na Slici 5-4. i predstavlja promjenu temperature i entropije koja se događa tijekom ciklusa. Područje lijevo od krivulje zvonolikog oblika predstavlja tekuće agregatno stanje, para se nalazi desno, a ispod krivulje (unutar sive zone) jest dvofazna mješavina tekućine i pare.



Slika 5-4. Dijagram temperatura-entropija koji prikazuje idealnu kompresiju pare (Staffell et al., 2012)

U procesu 1, koji se odvija u kompresorskoj jedinici (stavka 1 na Slici 5-3.), radna tvar u fazi suhe pare (A) prolazi kroz adijabatsku kompresiju, zagrijavajući plin u prethodno pregrijanu fazu (B). Tu se uvodi rad u sustav u obliku električne energije putem kompresora. Proces 2 prvo uključuje otpuštanje prekomjerne topline (B-C), a zatim i otpuštanje topline

kondenzacije (C-D). To se događa pri konstantnom tlaku i tada se toplina prikuplja i otpušta na toplije mjesto. Nakon toga tekuća radna tvar prolazi kroz ventil za ekspanziju (3) gdje joj se tlak naglo smanjuje, što uzrokuje isparavanje uz pripadajuću apsorpciju topline iz niskotemperaturnog spremnika. Mješavina tekućine i pare zatim potpuno ispari unosom topline iz hladnijeg okruženja (4), te se radna tvar vraća u fazu suhe pare.

Slika 5-4. prikazuje idealni ciklus, no u praksi se javlja trenje, ireverzibilnost tijekom kompresije, ponašanje plina koje nije idealno te konačna temperaturna razlika između izmjenjivača topline te svi ti faktori uzrokuju odstupanje ciklusa od idealnog i smanjuju omjer izlazne topline prema ukupnoj količini ulazne topline zbrojenom s radom. Najznačajniji i najveći dio od svih komponenti dizalice topline jest kompresor, koji troši najviše energije i ima najveću cijenu. Osnovni modeli toplinskih pumpi koriste reciprocirajući kompresor s fiksnom brzinom koji može raditi samo na punoj snazi. Stoga se moraju redovito uključivati i isključivati kako bi održali željenu unutarnju temperaturu. Ponavljana pokretanja i zaustavljanja utječu na energetska potrošnja sustava i smanjuju učinkovitost (iako mogu biti korisna za geotermalne toplinske pumpe). Također, visoki omjer kompresije i nemogućnost reguliranja izlazne temperature (smanjenje kada je potreba za grijanjem blaga) također smanjuju performanse toplinskih pumpi s jednom brzinom. Ovaj osnovni dizajn prošao je kroz uzastopna poboljšanja uvođenjem scroll, šupljih vijčanih, klipnih rotacijskih, dvostupanjskih i potpuno modulirajućih kompresora koji su doveli do konstantnog poboljšanja učinkovitosti za cca. 1% godišnje u proteklih 20 godina (Staffell et al., 2012).

Najbolji modeli dizalice topline koriste dva kompresora ili dvostupanjski kompresor. To omogućava sustavu da radi na dvije brzine, što smanjuje broj uključivanja/isključivanja na način da većinu vremena radi na niskoj brzini (oko 2/3 snage), a na punoj brzini radi samo za najhladnije (ili najtoplije) dane u godini. Ovaj dizajn poboljšava učinkovitost za oko 5-10% u odnosu na modele s jednom brzinom, ali uz veće gabarite i cijenu (Staffell et al., 2012).

5.1.2 Vrste dizalica topline

Postoji nekoliko različitih izvedbi dizalica topline. Dizalice topline dijele se na temelju toga što je izvor topline te na temelju toga što se zagrijava, tj. koji medij se zagrijava/hladi. Tako se prema izvoru topline, toplinske pumpe dijele na one koje koriste sljedeće izvore topline za rad (Sarbu i Sebarchievici, 2017):

- plin ili zrak (vanjski zrak, topli zrak iz ventilacije ili vrući plinovi iz industrijskih procesa),
- tekućina:
 - površinska voda (rijeka, jezero ili more),
 - podzemne vode ili
 - ispuštene tople vode (kućanske, tehnološke ili vode koje se koriste u rashladnim tornjevima) i
- tlo (prednost tla je u pristupačnosti).

Dizalica topline ispušta toplinsku energiju na višoj temperaturi bez obzira radi li se o grijanju ili hlađenju objekta. Dizalice topline mogu zagrijavati sljedeće sustave (Sarbu i Sebarchievici, 2017):

- grijanje prostora (koje se odnosi na niskotemperaturne sustave grijanja: radijacijski paneli (podni, zidni, stropni ili podno-stropni), topli zrak ili konvektivni sustavi) i
- grijanje vode (bazeni, potrošna ili tehnološka topla voda).

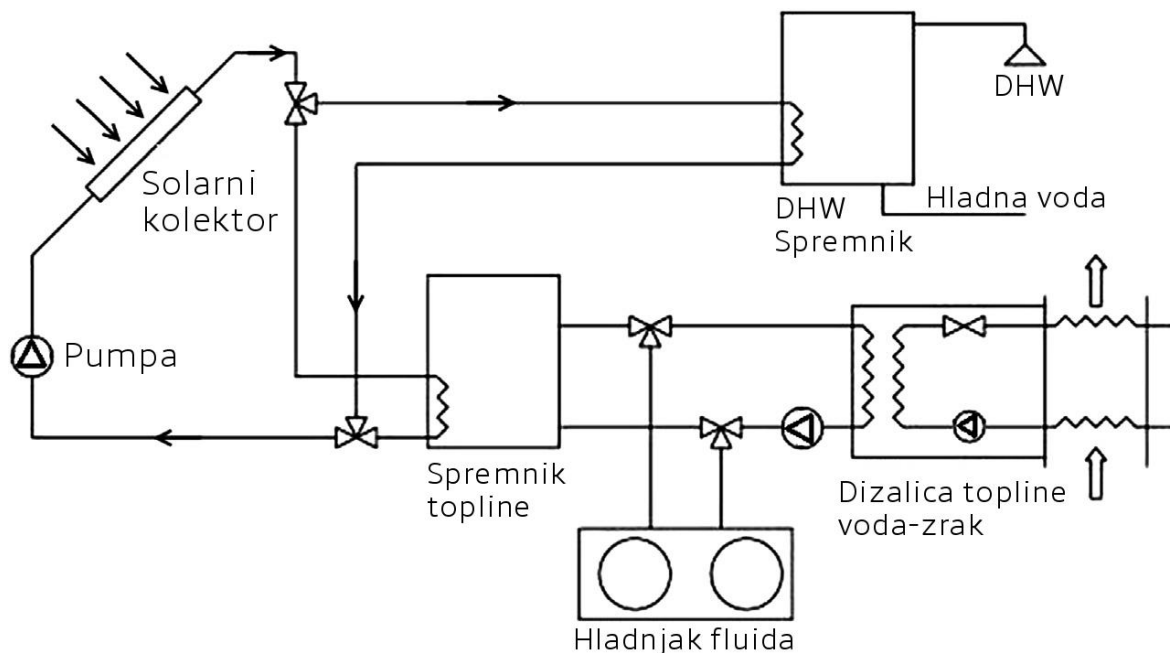
5.1.3 Dizalice topline voda-zrak

Dizalice topline za prijenos topline iz vode u zrak koriste vodu kao vanjski izvor topline te se u modu hlađenja toplina iz objekta ispušta u vodu, te koriste zrak za prijenos topline na ili iz prostora. Vrste takvih dizalica topline su sljedeće (Sarbu i Sebarchievici, 2017):

- Dizalice topline za prijenos topline iz površinske vode (SWHP (*engl. Surface Water Heat Pump*)), koje koriste površinsku vodu iz mora, jezera ili potoka kao izvor topline,
- Dizalice topline za prijenos topline iz podzemne vode (GWHP (*engl. Groundwater Heat Pump*)), koje koriste podzemnu vodu iz bušotina kao izvor topline i
- Dizalice topline sa solarnim panelima (SAHP (*engl. Solar Assisted Heat Pump*)), koje se oslanjaju na solarnu energiju kao izvor topline.

SAHP sustav je razvijen kao napredni sustav za prijenos topline, u kojem se solarna energija povezuje s evaporacijskom stranom dizalice topline. Shematski prikaz tog sustava prikazan je na Slici 5-5. Solarni kolektori postavljeni na krovu opskrbljuju toplinom spremnik smješten na evaporacijskoj grani dizalice topline. Cirkulacijska pumpa solarnog kolektora kontrolira se da radi kada je dostupna toplina od solarnih kolektora i kada postoji kapacitet za skladištenje topline. Spremnik topline održava se do 45 °C, pri čemu se dodatno solarno grijanje koristi za smanjenje opterećenja za zagrijavanje potrošne tople vode (DHW (*engl. Domestic Hot Water*)). U slučaju da spremnik topline padne ispod 5 °C i postoji potražnja za toplinom, dizalica topline se zaustavlja, a aktivira se električni grijač kako bi se održali željeni uvjeti grijanja. U režimu hlađenja, toplina se odbacuje putem rashladne tekućine, a solarno grijanje se koristi za pokrivanje potražnje za zagrijavanjem potrošne tople vode. Spremnik za potrošnu toplu vodu ima električni grijač kako bi se osigurala adekvatna temperatura potrošne tople vode.

Najčešće ovakvi sustavi koriste spremnik vode za skladištenje, povezan u seriji između solarnog kruga i evaporatora dizalice topline. U ovoj konfiguraciji, toplina se također može pohraniti u spremnik kada dizalica topline radi u načinu hlađenja.



Slika 5-5. Shematski prikaz SAHP sustava voda-zrak (Sarbu i Sebarchievici, 2017)

5.1.4 Dizalice topline zrak-voda

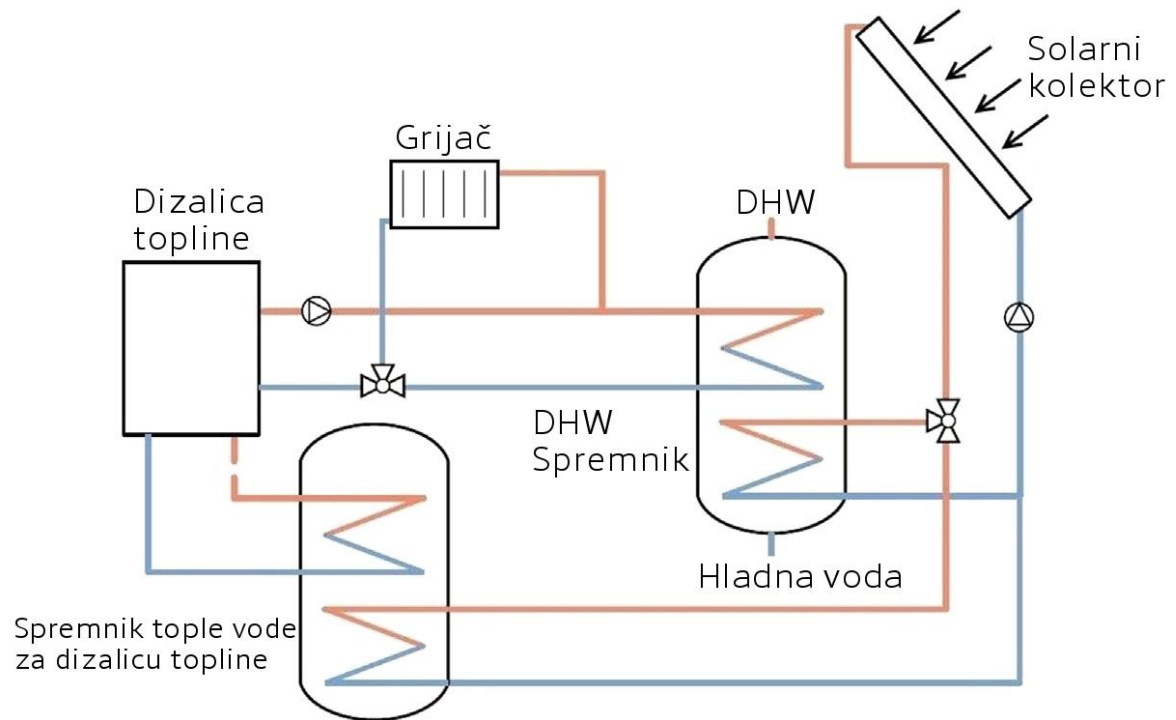
Dizalice topline za prijenos topline iz zraka u vodu koriste vanjski zrak kao izvor topline i uglavnom se koriste u sustavima grijanja, kao i za hlađenje, povrat topline i proizvodnju tople vode. Unutarnja jedinica sadrži glavne komponente i postavljena je unutar zgrade, zaštićena od vremenskih uvjeta i smrzavanja. Vanjska jedinica je povezana s unutarnjom jedinicom putem rashladnih cijevi. Eliminacijom zračnih ventilacijskih kanala za prijenos zraka omogućuje se korištenje izuzetno tihih i energetski učinkovitih ventilatora.

5.1.5 Dizalice topline voda-voda

Dizalice topline za prijenos topline iz vode u vodu djeluju najčešće kao GWHP-ovi ili SWHP-ovi. Takve dizalice topline za prijenos topline iz vode u vodu koriste vodu (npr. izvore vode iz podzemnog akvifera, jezera, mora ili potoka) kao izvor topline za grijanje i hlađenje. Takve dizalice topline koriste smjesu vode i inhibitora smrzavanja u zatvorenoj petlji.

Slika 5-6. prikazuje sustav koji koristi solarne panele kao izvor topline za dizalicu topline. Solarni kolektor najprije zagrijava zalihe tople vode za kućanstvo, a ako generirana

solarna toplinska energija nadilazi zahtjeve ili su generirane temperature preniske, solarna toplina se uvodi u spremnik tople vode koji se koristi kao izvor topline za dizalicu. Spremnik tople vode osigurava da se solarna toplinska energija može, po potrebi, koristiti kasnije nakon njezina generiranja.



Slika 5-6. Shematski prikaz SAHP sustava voda-voda (Sarbu i Sebarchievici, 2017)

6. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA NA PRIMJERU IZ PRAKSE

6.1 Uvod

U ovom dijelu diplomskog rada bit će napravljena usporedna analiza različitih sustava zagrijavanja. Bit će uspoređene dvije obiteljske kuće sličnih veličina bruto površine. Jedna kuća se nalazi u Gunji, a druga u Bošnjacima. Postoji nekoliko različitih energetsko-gradevinskih rješenja za svaki objekt. U računalnom programu KI Expert napravljeni su izračuni za svaki od pojedinih scenarija te je rezultate moguće prezentirati u obliku energetskih certifikata građevine. U nastavku slijedi analiza svakog od scenarija te, u konačnici, usporedba istih. Tehničke podatke ustupila je tvrtka Crnov d.o.o. Cijena plina i električne energije preuzeta je sa stranica Hrvatske energetske regulatorne agencije, a faktor za emisije CO₂; kg/kWh, kao i faktor primarne energije f_p sa stranica Ministarstva prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine. Tablicom 6-1. sažeto su prikazani ulazni parametri svakog scenarija.

Tablica 6-1. Ulazni parametri svakog scenarija

	PLOŠTINA KORISNE POVRŠINE GRIJANOG DIJELA ZGRADE	IZVOR ENERGIJE ZA GRIJANJE ZGRADE	IZVOR ENERGIJE ZA PRIPREMU PTV	GODIŠNJA POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA GRIJANJE (kWh/a)	GODIŠNJA POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA PRIPREMU PTV	GODIŠNJA POTREBNA TOPLINSKA ENERGIJA ZA HLAĐENJE
Scenarij 1	132,71	prirodni plin	prirodni plin	6960,03	1658,87	5739,60
Scenarij 2	132,71	drvena biomasa	Sunčeva energija	6960,03	1658,87	5739,60
Scenarij 3	132,71	dizalica topline zrak-zrak	dizalica topline zrak-zrak	6960,03	1658,87	5739,60
Scenarij 4	114,55	prirodni plin	prirodni plin	5322,98	1431,88	2010,91
Scenarij 5	114,55	prirodni plin	Sunčeva energija	5322,98	1431,88	2010,91

6.2 Gunja

U Gunji se nalazi obiteljska kuća građevinske bruto površine od 156,13 m², a ploština korisne površine grijanog dijela zgrade (A_K) iznosi 132,71 m²; $A_K=132,71$ m² Radi se o građevini s jednostavnim tehničkim sustavom. Izgrađena je 2005. godine. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje ($Q_{H,nd}$) prema stvarnim klimatskim podacima iznosi 6 960,03 kWh/a. Kada se $Q_{H,nd}$ podijeli s A_K dobije se specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje ($Q''_{H,nd}$). Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje iznosi 52,45

kWh/(m² a); $Q''_{H, nd}=52,45$ kWh/(m² a). Tolika specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje svrstava tu kuću u „C“ energetski razred zgrade. Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje ovisi o klimi koja vlada na području objekta i o kvaliteti izolacije objekta. Potrebna godišnja toplinska energija za pripremu PTV (Q_w) iznosi 1 658,87 kWh/a; $Q_w=1 658,87$ kWh/a. Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje ($Q_{C, nd}$) iznosi 5 739,60 kWh/a; $Q_{C, nd}=5 739,60$ kWh/a, dok specifična godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje ($Q''_{C, nd}$) iznosi 43,25 kWh/(m² a); $Q''_{C, nd}=43,25$ kWh/(m² a).

Općina Gunja se nalazi u istočnom dijelu Republike Hrvatske. Administrativni dio je Vukovarsko-srijemske županije. Referentna meteorološka postaja je ona u gradu Županji. Tablicom 6-2. prikazan je godišnji hod temperature, tlaka vodene pare, relativne vlažnosti zraka, brzine vjetra i te broj dana grijanja godišnje ovisno o prosječnoj vanjskoj temperaturi.

Tablica 6-2. Klimatološki podatci lokacije objekta (Crnov d.o.o., 2023)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Temperature zraka (° C)													
m	0,5	2,2	7,4	12,3	17,6	20,4	22,6	21,7	17,2	12	6,3	2	11,9
min	-13,8	-13,2	-8,6	0,6	6	8,2	13,6	11	8,8	0,6	-6	-11	-13,8
max	11,4	14,8	19,7	24,2	27	30,2	31,5	30,2	27,5	21,6	19,8	16,2	31,5
Tlak vodene pare (Pa)													
m	530	610	720	950	1320	1650	1780	1760	1480	1110	810	610	1110
Relativna vlažnost zraka (%)													
m	84	81	72	67	67	70	67	69	74	78	83	85	75
Brzina vjetra (m/s)													
m	2,4	2,6	2,9	3	2,8	2,8	2,7	2,4	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6
Broj dana grijanja													
Temperatura vanjskog zraka											≤ 10 ° C	161,2	
											≤ 12 ° C	180,4	
											≤ 15 ° C	200,2	

6.2.1 Scenarij 1: plin

U prvom scenariju se za zagrijavanje građevine koristi prirodni plin, koji se također koristi i za zagrijavanje potrošne tople vode. Za hlađenje se koristi električna energija. Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje je u svim scenarijima ista te iznosi 52,45 kWh/(m² a). Godišnja isporučena energija (E_{del}) iznosi 14 358,51 kWh/a. Godišnja primarna energija (E_{prim}) iznosi 18 701,41 kWh/a. Dijeljenjem E_{prim} s A_K dobije se specifična godišnja primarna energija (E''_{prim}). Specifična godišnja primarna energija u prvom scenariju iznosi 140,92 kWh/m² a; $E''_{prim}=140,92$ kWh/(m² a). E''_{prim} od 140,92

kWh/(m² a) svrstava tu kuću u „C“ energetski razred zgrade. Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade ($E_{EL,RES}$) u ovom slučaju iznosi 0 kWh/a, kao i godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade ($E_{HW,RES}$). Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava iznosi 0 %. Ukupna godišnja emisija CO₂ iznosi 3 245,59 kg. U ovom scenariju specifična godišnja emisija CO₂ iznosi 24,46 kg/(m² a). Faktori primarne energije i emisija CO₂ su različiti za svaku vrstu energenta, a dalje su dani u tablicama (Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, 2017), a podaci o cijenama energenata na internetskim stranicama HERA-e (HERA, 2023). Svi podaci iz prvog scenarija su prikazani Tablicom 6-3., Tablicom 6-4. prikazani su godišnji troškovi prirodnog plina i električne energije, Tablicom 6-5. prikazana je godišnja emisija CO₂, a Tablicom 6-6. prikazan je izračun godišnje primarne energije.

Tablica 6-3. Scenarij 1; podaci o potrošnji i proizvodnji energije (Crnov d.o.o., 2023)

Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade:	132,71 m²
Izvor energije za grijanje zgrade:	prirodni plin
Izvor energije za pripremu potrošne tople vode:	prirodni plin
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje:	6960,03 kWh/a
Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu PTV:	1658,87 kWh/a
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje:	5739,60 kWh/a
Godišnja isporučena energija:	14358,51 kWh/a
Godišnja primarna energija:	18701,41 kWh/a
Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade:	0 kWh/a
Godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade:	0 kWh/a
Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava:	0%
Specifična godišnja emisija CO ₂ :	24,46 kg/(m² a)

Tablica 6-4. Scenarij 1; godišnji troškovi energenata

Energent	E_{del} [kWh]	Godišnja potrošnja	Jedinica mjere	Cijena [€]	Ukupna cijena [€]
Prirodni plin	8 618,91	8 618,91	kWh	0,0603	519,72
Električna energija	5 739,60	5 739,60	kWh	0,0702	406,71
Ukupno					926,43

Tablica 6-5. Scenarij 1; Godišnja emisija CO₂

Energent	E _{del} [kWh]	Faktor CO ₂ [kg/kWh]	Godišnja emisija CO ₂ [kg]
Prirodni plin	8 618,91	0,2202	1 897,88
Električna energija	5 739,60	0,2348	1 347,71
Ukupno			3 246,59

Tablica 6-6. Scenarij 1; godišnja primarna energija

Energent	Svrha / Potrošač	E _{del} [kWh]	Faktor f _p	E _{prim} [kWh]
Prirodni plin	Energija za grijanje	6 960,03	1,095	7 621,24
Električna energija	Energija za hlađenje	5 739,60	1,614	9 263,71
Prirodni plin	Energija za PTV	1 658,87	1,095	1 816,47
Ukupno		14 358,51		18 701,41

6.2.2 Scenarij 2: drvna biomasa i solarni kolektori

U ovom scenariju radi se o istom objektu, stoga su godišnje potrebe za energijom iste. Promijenjeni su samo izvori energije za grijanje zgrade i pripremu PTV. Za grijanje zgrade koristi se drvna biomasa, točnije peć na pelete, dok se za pripremu PTV koristi solarni kolektor. Izvor energije za hlađenje je električna energija. Također, integriran je i fotonaponski sustav za proizvodnju električne energije. Vršna električna snaga PV sustava pri referentnom sunčevom zračenju iznosi 3,2 kW te električna energija proizvedena u fotonaponskom (PV) sustavu iznosi 2 610,25 kWh/a. Godišnja isporučena energija iznosi 10 089,38 kWh/a. Godišnja primarna energija iznosi 5 906,85 kWh/a. Dijeljenjem E_{prim} s A_K dobije se specifična godišnja primarna energija. Specifična godišnja primarna energija u prvom scenariju iznosi 44,21 kWh/m² a; $E''_{prim}=44,51$ kWh/(m² a). E''_{prim} od 44,51 kWh/(m² a) svrstava tu kuću u „A+“ energetske razred zgrade. Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade u ovom slučaju iznosi 2 610,25 kWh/a, a godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade iznosi 4 269,12 kWh/a. Godišnja proizvedena toplinska energija zbroj je toplinske energije za pripremu PTV i godišnje proizvedene električne energije iz fotonaponskih ćelija; 1 658,87+2 610,25=4 269,12. Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava iznosi 82

% . Ukupna godišnja emisija CO₂ iznosi 974,23 kg. U ovom scenariju specifična godišnja emisija CO₂ iznosi 7,34 kg/(m² a). Svi podatci iz drugog scenarija su prikazani Tablicom 6-7., Tablicom 6-8. prikazani su godišnji troškovi energenata, Tablicom 6-9. prikazana je godišnja emisija CO₂, a Tablicom 6-10. prikazan je izračun godišnje primarne energije.

Tablica 6-7. Scenarij 2; podatci o potrošnji i proizvodnji energije (Crnov d.o.o., 2023)

Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade:	132,71 m²
Izvor energije za grijanje zgrade:	drvena biomasa
Izvor energije za pripremu potrošne tople vode:	Sunčeva energija
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje:	6960,03 kWh/a
Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu PTV:	1658,87 kWh/a
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje:	5739,60 kWh/a
Godišnja isporučena energija:	10.089,38 kWh/a
Godišnja primarna energija:	5.906,85 kWh/a
Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade:	2610,25 kWh/a
Godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade:	4269,12 kWh/a
Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava:	82%
Specifična godišnja emisija CO ₂ :	7,34 kg/(m² a)

Tablica 6-8. Scenarij 2; godišnji troškovi energenata

Energent	E _{del} [kWh]	Ogrijevna vrijednost	Godišnja potrošnja	Jedinica mjere	Cijena [€]	Ukupna cijena [€]
Drveni peleti	6 960,03	5,0000	1 392,01	kg	0,2120	295,11
Električna energija	3 129,35	1,0000	3 129,35	kWh	0,0702	219,68
Sunčeva energija	0,00	0,0000	0,00		0,00	0,00
Ukupno						514,79

Tablica 6-9. Scenarij 2; Godišnja emisija CO₂

Energent	E _{del} [kWh]	Faktor CO ₂ [kg/kWh]	Godišnja emisija CO ₂ [kg]
Drveni peleti	6 960,03	0,0344	239,43
Električna energija	3 129,35	0,2348	734,80
Sunčeva energija	0,00	0,0000	0,00
Ukupno			974,23

Tablica 6-10. Scenarij 2; godišnja primarna energija

Energent	Svrha / Potrošač	E_{del} [kWh]	Faktor f_p	E_{prim} [kWh]
Drveni peleti	Energija za grijanje	6 960,03	0,123	856,08
Električna energija	Energija za hlađenje	5 739,60	1,614	9 263,71
Sunčeva energija	Energija za PTV	0,00	0,000	0,00
Električna energija	Fotonaponski sustav 1	-2 610,25	1,614	-4 212,94
Ukupno		10 089,38		5 906,85

6.2.3 Scenarij 3: dizalica topline zrak-zrak

U trećem scenariju za obiteljsku kuću u Gunji koristi se dizalica topline zrak-zrak. Dizalica topline služi za zagrijavanje objekta, pripremu PTV i hlađenje objekta. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje, hlađenje i pripremu PTV ostaje ista kao u prethodnim scenarijima jer ovisi o karakteristikama objekta i klime na lokaciji građevine. Godišnja isporučena energija iznosi 1 085,06 kWh/a. Godišnja primarna energija iznosi 1 751,28 kWh/a. Dijeljenjem E_{prim} s A_K dobije se specifična godišnja primarna energija. Specifična godišnja primarna energija u prvom scenariju iznosi 13,20 kWh/m² a; $E''_{prim}=13,20$ kWh/(m² a). E''_{prim} od 13,20 kWh/(m² a) svrstava tu kuću u „A+“ energetske razred zgrade. Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade u ovom slučaju iznosi 0 kWh/a pošto nema fotonaponskih ćelija, a godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade iznosi 5 382,27 kWh/a. Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava iznosi 83 %. Ukupna godišnja emisija CO₂ iznosi 254,78 kg. U ovom scenariju specifična godišnja emisija CO₂ iznosi 1,92 kg/(m² a). Svi podaci iz trećeg scenarija su prikazani Tablicom 6-11., Tablicom 6-12. prikazani su godišnji troškovi energenata, Tablicom 6-13. prikazana je godišnja emisija CO₂, a Tablicom 6-14. prikazan je izračun godišnje primarne energije.

Tablica 6-11. Scenarij 3; podatci o potrošnji i proizvodnji energije (Crnov d.o.o., 2023)

Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade:	132,71 m²
Izvor energije za grijanje zgrade:	dizalica topline zrak-zrak
Izvor energije za pripremu potrošne tople vode:	dizalica topline zrak-zrak
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje:	6960,03 kWh/a
Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu PTV:	1658,87 kWh/a
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje:	5739,60 kWh/a
Godišnja isporučena energija:	1085,06 kWh/a
Godišnja primarna energija:	1751,28 kWh/a
Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade:	0 kWh/a
Godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade:	5382,27 kWh/a
Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava:	83%
Specifična godišnja emisija CO ₂ :	1,92 kg/(m² a)

Tablica 6-12. Scenarij 3; godišnji troškovi energenata

Energent	E _{del} [kWh]	Ogrijevna vrijednost	Godišnja potrošnja	Jedinica mjere	Cijena [€]	Ukupna cijena [€]
Električna energija	1 085,06	1,0000	1 085,06	kWh	0,0702	76,17
Ukupno						76,17

Tablica 6-13. Scenarij 3; Godišnja emisija CO₂

Energent	E _{del} [kWh]	Faktor CO ₂ [kg/kWh]	Godišnja emisija CO ₂ [kg]
Električna energija	1 085,06	0,2348	254,78
Ukupno			254,78

Tablica 6-14. Scenarij 3; godišnja primarna energija

Energent	Svrha / Potrošač	E _{del} [kWh]	Faktor f _p	E _{prim} [kWh]
Električna energija	Dizalica topline	1 085,06	1,614	1 751,28
Ukupno		1 085,06		1 751,28

6.3 Bošnjaci

U Bošnjacima se nalazi obiteljska kuća građevinske bruto površine od 135,72 m², a ploština korisne površine grijanog dijela zgrade iznosi 114,55 m²; $A_K=114,55 \text{ m}^2$ Radi se o građevini s jednostavnim tehničkim sustavom. Izgrađena je 2022. godine. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje prema stvarnim klimatskim podacima iznosi 5 322,98 kWh/a. Kada se $Q_{H, nd}$ podijeli s A_K dobije se specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje. Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje iznosi 52,45 kWh/(m² a); $Q''_{H, nd}=46,47 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$. Tolika specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje svrstava tu kuću u „B“ energetske razred zgrade. Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje ovisi o klimi koja vlada na području objekta i o kvaliteti izolacije objekta. Potrebna godišnja toplinska energija za pripremu PTV iznosi 1 431,88 kWh/a; $Q_W=1 431,88 \text{ kWh/a}$. Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje iznosi 2 010,91 kWh/a; $Q_{C, nd}=2 010,91 \text{ kWh/a}$, dok specifična godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje iznosi 17,55 kWh/(m² a); $Q''_{C, nd}=17,55 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$.

Općina Bošnjaci se nalazi u istočnom dijelu Republike Hrvatske. Administrativni dio je Vukovarsko-srijemske županije. Referentna meteorološka postaja je ona u gradu Županji. Pošto je Tablicom 6-2. prikazan godišnji hod temperature, tlaka vodene pare, relativne vlažnosti zraka, brzine vjetra i te broj dana grijanja godišnje ovisno o prosječnoj vanjskoj temperaturi za Gunju s iste referentne meteorološke postaje, ti podatci su isti i za ovu lokaciju građevine.

6.3.1 Scenarij 4: plin i PV

U prvom scenariju za objekt u Bošnjacima se za zagrijavanje građevine koristi prirodni plin, koji se također koristi i za zagrijavanje potrošne tople vode. Za hlađenje se koristi električna energija. Također, ugrađen je i fotonaponski sustav za proizvodnju električne energije. Vršna električna snaga PV sustava pri referentnom sunčevom zračenju iznosi 3,0 kW te električna energija proizvedena u fotonaponskom sustavu iznosi 2 631,30 kWh/a. Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje je u svim scenarijima za objekt u Bošnjacima ista te iznosi 46,47 kWh/(m² a). Godišnja isporučena energija iznosi 6 134,46 kWh/a. Godišnja primarna energija iznosi 6 395,25 kWh/a. Dijeljenjem E_{prim} s A_K dobije se specifična godišnja primarna energija. Specifična godišnja primarna energija u ovom

scenariju iznosi 55,83 kWh/m² a; $E''_{prim}=55,83$ kWh/(m² a). E''_{prim} od 55,83 kWh/(m² a) svrstava tu kuću u „A“ energetski razred zgrade. Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade u ovom slučaju iznosi 2 631,30 kWh/a, kao i godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade. Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava iznosi 31 %. Ukupna godišnja emisija CO₂ iznosi 1 341,75 kg. U ovom scenariju specifična godišnja emisija CO₂ iznosi 11,71 kg/(m² a). Svi podaci iz prvog scenarija su prikazani Tablicom 6-15., Tablicom 6-16. prikazani su godišnji troškovi prirodnog plina i električne energije, Tablicom 6-17. prikazana je godišnja emisija CO₂, a Tablicom 6-18. prikazan je izračun godišnje primarne energije.

Tablica 6-15. Scenarij 4; podatci o potrošnji i proizvodnji energije (Crnov d.o.o., 2023)

Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade:	114,55 m²
Izvor energije za grijanje zgrade:	prirodni plin
Izvor energije za pripremu potrošne tople vode:	prirodni plin
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje:	5322,98 kWh/a
Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu PTV:	1431,88 kWh/a
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje:	2010,91 kWh/a
Godišnja isporučena energija:	6134,46 kWh/a
Godišnja primarna energija:	6395,25 kWh/a
Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade:	2631,30 kWh/a
Godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade:	2631,30 kWh/a
Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava:	31%
Specifična godišnja emisija CO ₂ :	11,71 kg/(m² a)

Tablica 6-16. Scenarij 4; godišnji troškovi energenata

Energent	E_{del} [kWh]	Godišnja potrošnja	Jedinica mjere	Cijena [€]	Ukupna cijena [€]
Prirodni plin	6 754,86	6 754,86	kWh	0,0603	407,32
Električna energija	-620,39	-620,39	kWh	0,0702	-43,55
Ukupno					363,77

Tablica 6-17. Scenarij 4; Godišnja emisija CO₂

Energent	E _{del} [kWh]	Faktor CO ₂ [kg/kWh]	Godišnja emisija CO ₂ [kg]
Prirodni plin	6 754,86	0,2202	1 487,42
Električna energija	-620,39	0,2348	-145,67
Ukupno			1 341,75

Tablica 6-18. Scenarij 4; godišnja primarna energija

Energent	Svrha / Potrošač	E _{del} [kWh]	Faktor f _p	E _{prim} [kWh]
Prirodni plin	Energija za grijanje	5 322,98	1,095	5 828,67
Električna energija	Energija za hlađenje	2 010,91	1,614	3 245,60
Prirodni plin	Energija za PTV	1 431,88	1,095	1 567,90
Električna energija	Fotonaponski sustav 1	-2 631,30	1,614	-4 246,92
Ukupno		6 134,46		6 395,25

6.3.2 Scenarij 5: plin, solarni kolektori i PV

U ovom scenariju se za zagrijavanje građevine koristi prirodni plin, a za zagrijavanje PTV se koriste solarni kolektori. Za hlađenje se koristi električna energija. Također, ugrađen je i fotonaponski sustav za proizvodnju električne energije. Vršna električna snaga PV sustava pri referentnom sunčevom zračenju iznosi 3,0 kW te električna energija proizvedena u fotonaponskom sustavu iznosi 2 631,30 kWh/a. Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje je u svim scenarijima za objekt u Bošnjacima ista te iznosi 46,47 kWh/(m² a). Godišnja isporučena energija iznosi 4 702,59 kWh/a. Godišnja primarna energija iznosi 4 827,35 kWh/a. Dijeljenjem E_{prim} s A_K dobije se specifična godišnja primarna energija. Specifična godišnja primarna energija u ovom scenariju iznosi 42,14 kWh/m² a; E''_{prim}=42,14 kWh/(m² a). E''_{prim} od 42,14 kWh/(m² a) svrstava tu kuću u „A+“ energetske razred zgrade. Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade u ovom slučaju iznosi 2 631,30 kWh/a, a godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade iznosi 4 063,18 kWh/a. Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava iznosi 47 %. Ukupna godišnja emisija CO₂ iznosi 1 026,45 kg. U ovom scenariju specifična godišnja emisija CO₂ iznosi 8,96 kg/(m² a).

Svi podatci iz prvog scenarija su prikazani Tablicom 6-19., Tablicom 6-20. prikazani su godišnji troškovi prirodnog plina i električne energije, Tablicom 6-21. prikazana je godišnja emisija CO₂, a Tablicom 6-22. prikazan je izračun godišnje primarne energije.

Tablica 6-19. Scenarij 5; podatci o potrošnji i proizvodnji energije (Crnov d.o.o., 2023)

Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade:	114,55 m²
Izvor energije za grijanje zgrade:	prirodni plin
Izvor energije za pripremu potrošne tople vode:	Sunčeva energija
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje:	5322,98 kWh/a
Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu PTV:	1431,88 kWh/a
Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje:	2010,91 kWh/a
Godišnja isporučena energija:	4702,59 kWh/a
Godišnja primarna energija:	4827,35 kWh/a
Godišnja proizvedena električna energija iz OIE na lokaciji zgrade:	2631,30 kWh/a
Godišnja proizvedena toplinska energija iz OIE na lokaciji zgrade:	4063,18 kWh/a
Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava:	47%
Specifična godišnja emisija CO ₂ :	8,96 kg/(m² a)

Tablica 6-20. Scenarij 5; godišnji troškovi energenata

Energent	E _{del} [kWh]	Godišnja potrošnja	Jedinica mjere	Cijena [€]	Ukupna cijena [€]
Prirodni plin	5 322,98	5 322,98	kWh	0,0603	320,98
Električna energija	-620,39	-620,39	kWh	0,0702	-43,55
Sunčeva energija	0,00	0,00		0,00	0,00
Ukupno					277,43

Tablica 6-21. Scenarij 5; Godišnja emisija CO₂

Energent	E _{del} [kWh]	Faktor CO ₂ [kg/kWh]	Godišnja emisija CO ₂ [kg]
Prirodni plin	5 322,98	0,2202	1 172,12
Električna energija	-620,39	0,2348	-145,67
Sunčeva energija	0,00	0,0000	0,00
Ukupno			1 026,45

Tablica 6-22. Scenarij 5; godišnja primarna energija

Energent	Svrha / Potrošač	E _{del} [kWh]	Faktor f _p	E _{prim} [kWh]
Prirodni plin	Energija za grijanje	5 322,98	1,095	5 828,67
Električna energija	Energija za hlađenje	2 010,91	1,614	3 245,60
Sunčeva energija	Energija za PTV	0,00	0,000	0,00
Električna energija	Fotonaponski sustav 1	-2 631,30	1,614	-4 246,92
Ukupno		4 702,59		4 827,35

6.4 Kapitalni troškovi pojedinog scenarija

U ovom dijelu rada bit će obrađeni kapitalni troškovi instalacije pojedinog energetskog rješenja objekta. Podatke o troškovima je ustupila tvrtka Crnov d.o.o. te Centar za vještačenje i procjene d.o.o. U proračun troškova spadaju građevinski, strojarski te projektantski radovi. Također u ukupne troškove ulazi i utrošeni materijal te cijena uređaja.

6.4.1 Scenarij 1

U proračunu troškova za scenarij 1 potrebno je uzeti u obzir sve radove koji su potrebni za instalaciju sustava plinskog grijanja kao i same uređaje i potrošni materijal. Prije same plinske instalacije u objektu potrebno je spojiti se na gradsku plinovodnu mrežu. Stoga, potrebno je provesti određene građevinske radove, kao što je geodetsko snimanje trase za plinski priključak, iskop rova, zasipanje rova pijeskom na kojeg će se poleći plinski priključak te u konačnici i zatrpavanje rova. Nakon što su obavljeni građevinski radovi, slijede strojarski radovi. Potrebno je instalirati plinsku armaturu i provući je po objektu gdje je potrebno. Koriste se čelične bešavne cijevi. Treba uračunati i sve ventile, prijelaze, regulatore tlaka, plinomjer, termostat, itd. Glavni uređaj koji se koristi u scenariju s grijanjem na plin je plinski bojler. U ovom slučaju ugrađen je kombi bojler snage 25 kW (grijanje) tj. 30 kW (proizvodnja PTV). Konkretno radi se o modelu *Vaillant tip VUW INT I 256/5-5*. Bojler služi za zagrijavanje vode koja cirkulira po grijanom objektu i kroz radijatore te na taj način dolazi do zagrijavanja. Za sustav hlađenja građevine koristi se jedna vanjska

jedinica na koju je spojeno 4 unutarnje jedinice Tablicom 6-23. prikazan je ukupan trošak instalacije plinskog sustava grijanja i rashladnih uređaja u prvom scenariju.

Tablica 6-23. Scenarij 1; kapitalni troškovi (Centar za vještačenje i procjene d.o.o., 2023)

1.	Plinska instalacija	1.799,40 €
2.	Instalacija grijanja	9.656,25 €
3.	Instalacija hlađenja	2.586,70 €
	OSNOVICA UKUPNO	14.042,35 €
	PDV 25%	3.510,59 €
	UKUPNO:	17.552,94 €

6.4.2 Scenarij 2

U drugom scenariju se za zagrijavanje objekta koristi drvena biomasa, preciznije peć na pelete. Ugradnja takve peći slična je plinskom sustavu grijanja jer je sustav razvoda tople vode po kući isti. Razlika je u tome da nema potrebe za građevinskim radovima za plinski priključak te u tome što se umjesto bojlera koristi peć. Što se tiče pripreme PTV ona se obavlja preko solarnih panela. Potrebno je instalirati sustav solarnih panela na krov kuće. Korištena su tri panela *Vaillant auroTHERM VFK 145 V/H*. Za instalaciju solarnih panela potrebno je najprije na krov postaviti nosače panela, tj. montažne šine. Na montažne šine se postavljaju solarni kolektori koji se spajaju sa spremnikom tople vode. Također u sustav je potrebno dodati i ekspanzionu posudu koja služi za kompenziranje povećanja obujma fluida prilikom zagrijavanja, kao i elektroničke regulacijske uređaje. Troškovnik kapitalnih investicija scenarija 2 prikazan je Tablicom 6-24.

Tablica 6-24. Scenarij 2; kapitalni troškovi (Centar za vještačenje i procjene d.o.o., 2023)

1.	Instalacija grijanja	5.539,14 €
2.	Instalacija solarnih panela	2.741,97 €
3.	Instalacija PV elektrane	3.185,35 €
4.	Instalacija hlađenja	2.586,70 €
	OSNOVICA UKUPNO	14.053,16 €
	PDV 25%	3.513,29 €
	UKUPNO:	17.566,45 €

6.4.3 Scenarij 3

U trećem scenariju koristi se dizalica topline zrak-zrak. To je jednostavna instalacija koja se sastoji od vanjske i unutarnjih jedinica. Vanjska jedinica montira se na zid preko nosača ili se postavlja na nosače na podu. Unutarnja jedinica također može biti na podu, ali je češće montirana na zidu zbog praktičnosti i bolje iskoristivosti prostora. Na vanjsku jedinicu je moguće spojiti do 3 unutarnje jedinice. Troškovnik kapitalnih investicija scenarija 3 prikazan je Tablicom 6-25.

Tablica 6-25. Scenarij 3; kapitalni troškovi (Centar za vještačenje i procjene d.o.o., 2023)

1.	Sustav dizalice topline zrak-zrak	14.526,73 €
	OSNOVICA UKUPNO	14.526,73 €
	PDV 25%	3.631,68 €
	UKUPNO:	18.158,41 €

6.4.4 Scenarij 4

U ovom scenariju radi se o drugom objektu nego u prva tri scenarija. Iako su objekti različiti, potrebe za energijom su dosta slične pošto se radi o objektima s praktički istim klimatskim uvjetima i skoro istom površinom. Scenarij 4 sličan je scenariju 1, samo što u ovom scenariju se uz plin dodatno koriste PV elektrane ugrađene na krovu objekta. Hlađenje se kao i u prvom i drugom scenariju postiže klima uređajem, tj. na jednu vanjsku jedinicu su spojene 4 unutarnje jedinice klima uređaja. Troškovnik kapitalnih investicija scenarija 4 prikazan je Tablicom 6-26.

Tablica 6-26. Scenarij 4; kapitalni troškovi (Centar za vještačenje i procjene d.o.o., 2023)

1.	Plinska instalacija	1.799,40 €
2.	Instalacija grijanja	9.656,25 €
3.	Instalacija PV elektrane	2.885,35 €
4.	Instalacija hlađenja	2.586,70 €
	OSNOVICA UKUPNO	16927,7
	PDV 25%	4.231,93 €
	UKUPNO:	21.159,63 €

6.4.5 Scenarij 5

Peti scenarij je sličan četvrtom samo što se u petom scenariju za pripremu PTV ne koristi prirodni plin nego solarni kolektori. Troškovnik kapitalnih investicija scenarija 5 prikazan je Tablicom 6-27.

Tablica 6-27. Scenarij 5; kapitalni troškovi (Centar za vještačenje i procjene d.o.o., 2023)

1.	Plinska instalacija	1.799,40 €
2.	Instalacija grijanja	9.656,25 €
3.	Instalacija PV elektrane	2.885,35 €
4.	Instalacija solarnih panela	2.741,97 €
5.	Instalacija hlađenja	2.586,70 €
	OSNOVICA UKUPNO	19.669,67 €
	PDV 25%	4.556,93 €
	UKUPNO:	22.784,63 €

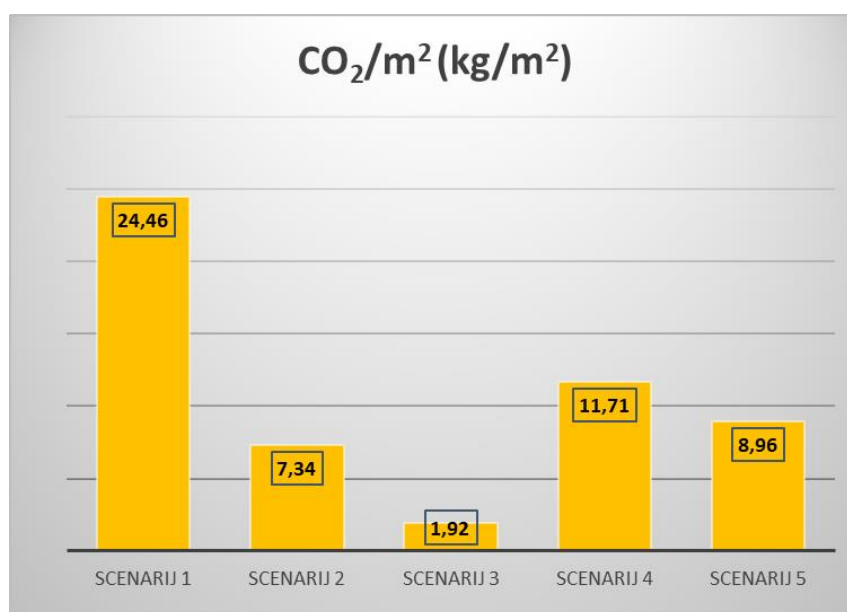
6.5 Komparativna analiza

Nakon analize svakog od scenarija, moguće je napraviti komparativnu analizu. Usporedba svakog od scenarija dovodi do zaključaka o razini potrošnje pojedinog scenarija te o najpovoljnijoj opciji. Tablicom 6-28. prikazani su podatci koji su analizirani za svaki od scenarija.

Tablica 6-28. Zbirni podatci za komparativnu analizu

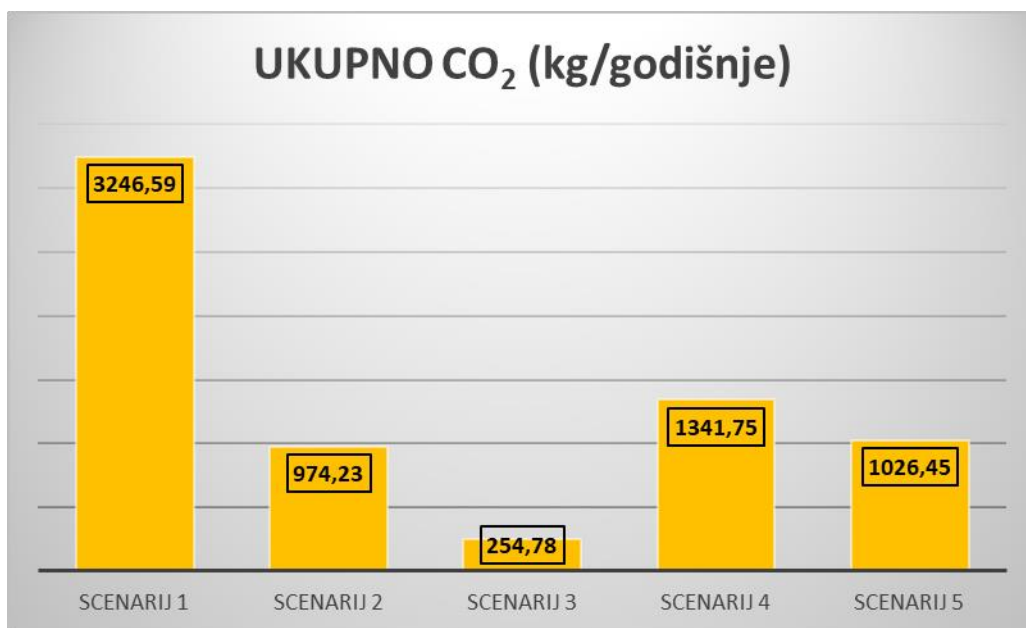
	CO ₂ /m ² (kg/m ²)	UKUPNO CO ₂ (kg/godišnje)	GODIŠNJA PRIMARNA ENERGIJA (kWh/godišnje)	GODIŠNJI TROŠKOVI ENERGENATA (€/godišnje)	KAPITALNI TROŠAK INVESTICIJE	UKUPAN TROŠAK NAKON 10 GODINA	UKUPAN TROŠAK NAKON 20 GODINA
Scenarij 1	24,46	3246,59	18701,41	926,43 €	17.552,94 €	26.817,24 €	36.081,54 €
Scenarij 2	7,34	974,23	5906,85	514,79 €	17.566,45 €	22.714,35 €	27.862,25 €
Scenarij 3	1,92	254,78	1751,28	76,17 €	18.158,41 €	18.920,11 €	19.681,81 €
Scenarij 4	11,71	1341,75	6395,25	363,77 €	21.159,63 €	24.797,33 €	28.435,03 €
Scenarij 5	8,96	1026,45	4827,35	277,43 €	22.784,63 €	25.558,93 €	28.333,23 €

Iz Tablice 6-28. vidljivo je da se u obzir uzeo jedinični ugljični otisak (CO₂/m²), ukupna emisija CO₂ (kg/godišnje), godišnja primarna energija (kWh/godišnje), godišnji troškovi energenata (€/godišnje), kapitalni trošak investicije, te ukupni troškovi nakon 10 i 20 godina korištenja. Tablica je ilustrativna te je u nijansama boja koje idu od tamno zelene do tamno crvene te se, intuitivno, može zaključiti koja je opcija po kojem kriteriju najpovoljnija. Svi podatci iz tablice u nastavku će biti prikazani i kroz stupčaste dijagrame.



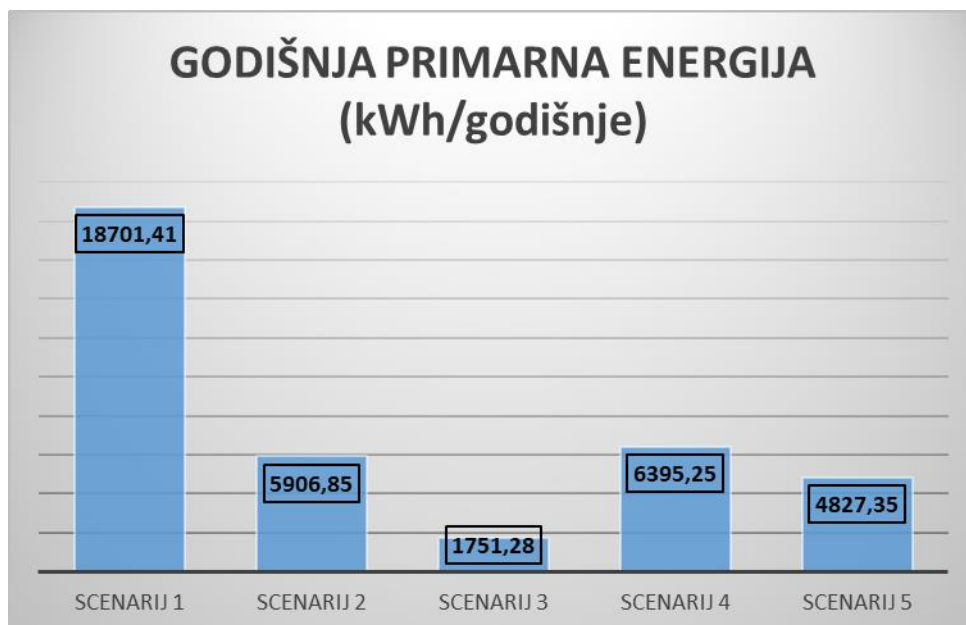
Slika 6-1. Jedinična emisija CO₂ po pojedinom scenariju

Na Slici 6-1. nalazi se dijagram koji grafički pokazuje jediničnu emisiju CO₂ po pojedinom scenariju. Vidljivo je da je scenarij 1 ekološki daleko najnepovoljniji, dok je scenarij 3 u kojem se koristi dizalica topline najpovoljniji. Ostali scenariji, koji kombiniraju obnovljive i neobnovljive izvore energije su približno sličnih vrijednosti jediničnih emisija CO₂.



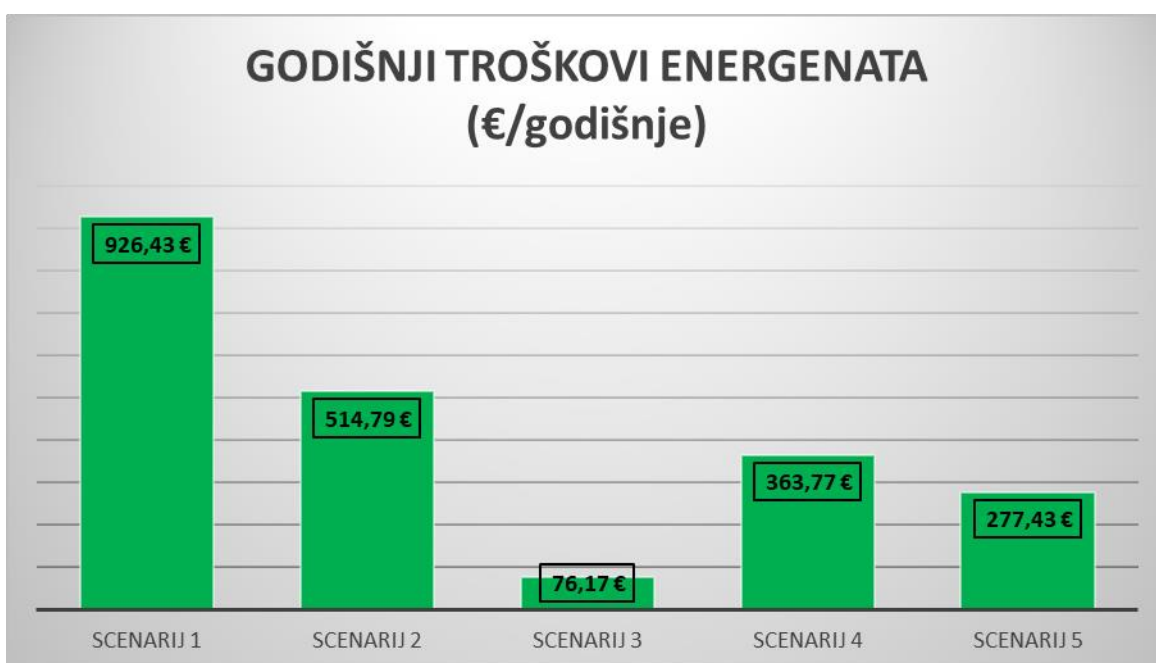
Slika 6-2. Ukupne godišnje emisije CO₂ po pojedinom scenariju

Slikom 6-2. prikazane su ukupne godišnje emisije CO₂ po pojedinom scenariju. Kao i Slika 6-1., i ova slika prikazuje slične odnose među rezultatima. Najviše kilograma CO₂ godišnje (3 246,59 kg) emitira se u prvom scenariju kod kojeg se isključivo koristi prirodni plin za grijanje i pripremu PTV, a hlađenje je klima uređajima električnom energijom iz mreže. Najmanje emisije CO₂ ostvaruju se u trećem scenariju kod kojeg je korištena dizalica topline zrak-zrak. Ostali scenariji imaju slične vrijednosti ukupnih emisija ugljičnog dioksida.



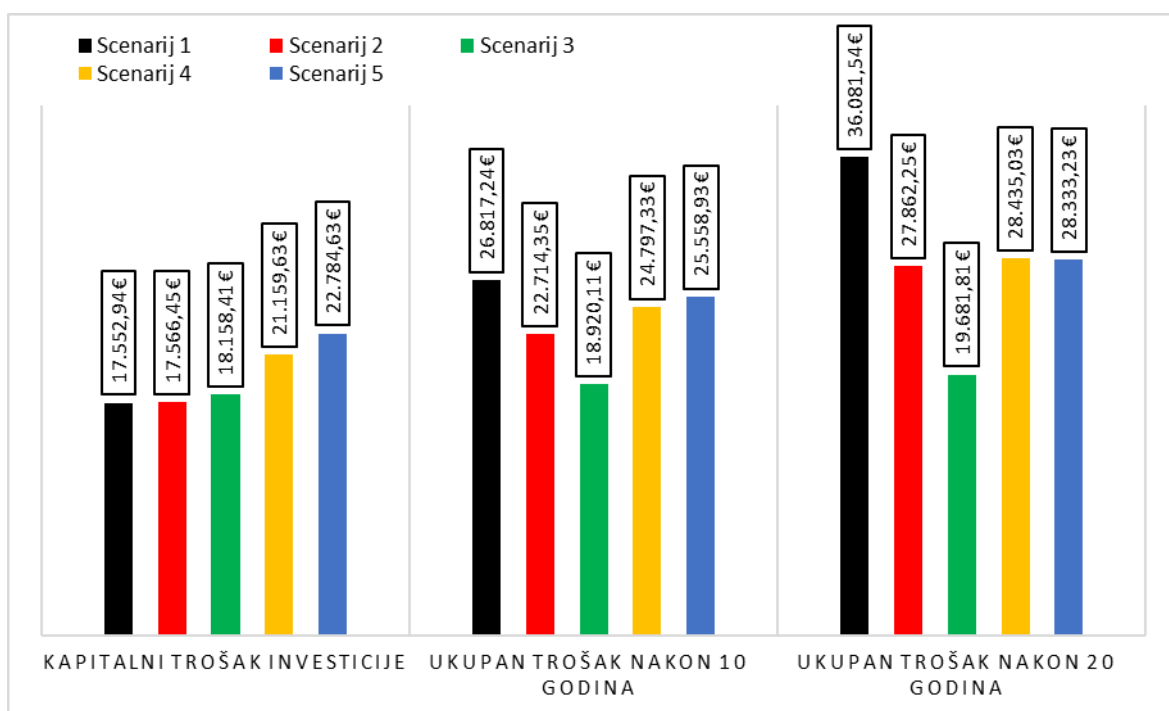
Slika 6-3. Godišnja potrošnja primarne energije po pojedinom scenariju

Slikom 6-3. prikazana je godišnja potrošnja primare energije po pojedinom scenariju. Iz slike je, ponovno, vidljiv sličan odnos među scenarijima. Daleko najnepovoljniji je prvi scenarij u kojem se za zadovoljavanje energetske potrebe objekta koristi 18 701,41 kWh godišnje, dok je najpovoljniji scenarij 3 u kojem je dovoljno i više od 90 % manje energije nego u prvom scenariju (1 751,28 kWh godišnje). Ostala tri scenarija imaju približno slične potrebe za primarnom energijom.



Slika 6-4. Godišnji troškovi energenata po pojedinom scenariju

Na Slici 6-4. nalaze se godišnji troškovi energenata po pojedinom scenariju. Ponovno se kao najnepovoljniji scenarij isprofilirao scenarij 1 s godišnjim troškovima energenata od 926,43 €. Nakon njega, nalazi se scenarij 2 u kojem je godišnja potrošnja na energente manja za cca. 45 % nego u prvom scenariju i iznosi 514,79 €. Četvrti scenarij ima 60-ak % manje godišnje troškove energenata od prvog scenarija te iznosi 363,77 €, a peti scenarij je jeftiniji za oko 70 % od prvog. Ponovno se ističe treći scenarij kao najpovoljniji te su kod njega godišnji troškovi energenata 76,17 €, što je čak i više od 90 % smanjenje u odnosu na prvi scenarij



Slika 6-5. Kapitalni trošak investicije te ukupni troškovi pojedinih scenarija nakon 10 i 20 godina

Slikom 6-5. prikazani su kapitalni troškovi investicije u pojedinom scenariju te ukupni troškovi nakon 10 i 20 godina korištenja. Ukupni troškovi nakon 10 ili 20 godina su zbroj kapitalne investicije s godišnjim troškom energenta pojedinog scenarija pomnoženog s brojem godina za koji se želi izračunati ukupni trošak. Iz ova tri dijagrama na Slici 6-5. vidljivo je da su scenariji 1, 2 i 3 poprilično slični što se tiče kapitalne investicije za instalaciju pojedinog energetskeg sustava te variraju između 17 552,94 i 18 158,41 €. Dok su scenariji 3 i 4 oko 20 % skuplji u startu i cijena im varira između 22 159,63 i 22 784,63 €.

Nakon 10 godina korištenja pojedinog scenarija situacija isplativosti već je drukčija. Naime, zbog visokih godišnjih troškova energenata koji se javljaju u prvom i drugom scenariju, dolazi do promjene u odnosu troškova među scenarijima. Najisplativiji scenarij nakon 10 godina korištenja je treći scenarij po kojem će za 10 godina korištenja biti potrebno 19 279,91 €. Scenariji 2, 4 i 5 su 30-ak % skuplji od trećeg scenarija nakon 10 godina, dok je prvi scenarij skuplji oko 40 % od trećeg scenarija.

Nakon 20 godina pojedinog scenarija situacija je slična kao i nakon 10 godina što se tiče odnosa isplativosti pojedinog scenarija. Treći scenarij i dalje ostaje najpovoljniji. Ukupan trošak nakon 20 godina prema trećem scenariju je 19 681,81 €. Drugi, četvrti i peti scenarij su i dalje 30-ak % skuplji. Ali, nakon 20 godina korištenja, dolazi do povećanja razlike u trošku između prvog, drugog i trećeg scenarija. Prvi scenarij je nakon 20 godina skuplji za oko 84 % od trećeg scenarija.

7. ZAKLJUČAK

Nakon provedene tehno-ekonomske analize jasno je da je treći scenarij najpovoljniji i prema okolišu i prema financijskim pokazateljima. U trećem scenariju korištena je dizalica topline zrak-zrak koja služi za grijanje, pripremu PTV i hlađenje objekta. Taj scenarij dovodi do najmanje emitirane količine ugljičnog dioksida, također taj scenarij je među povoljnijima prilikom kapitalne investicije te je nakon 10 i 20 godina korištenja najpovoljniji. Također, treći scenarij je onaj koji je u stvarnosti implementiran na objektu u Gunji, dok je na objektu u Bošnjacima implementiran peti scenarij.

Također, scenariji u kojima se uz grijanje na plin ili biomasu koriste dodatno još zeleni izvori energije, kao što su PV elektrane u četvrtom scenariju ili solarni paneli i PV elektrane u kombinaciji u drugom i petom scenariju, pokazali su se kao relativno povoljni što se tiče financijskih pokazatelja, ali je problem što se u takvim scenarijima i dalje emitira puno više (3-5 puta) CO₂ godišnje. Ipak, iz Slika (6-1. i 6-2.) vidljivo je kako samo upotrebom, barem i djelomično, nekog od obnovljivog izvora energije – može doći do smanjenja emisija CO₂ i pridonosenju održivog razvoja. Jer su svi ostali scenariji značajno bolji od prvog scenarija; koji je ekološki, energetske i financijske najpovoljniji.

Ovaj rad je pokazao da dizalice topline, solarni paneli i PV elektrane mogu biti dobra rješenja koja će dovesti do smanjenja emisija stakleničkih plinova, a time i klimatskih promjena. Te uz kombinaciju s ostalim zelenim energetske rješenjima; kao što su geotermalne elektrane, vjetroelektrane, hidroelektrane itd., mogu dovesti do značajnog poboljšanja stanja okoliša i smanjenje klimatskih promjena.

Održivi razvoj i korištenje prihvatljive zelene energije imaju sve veći značaj u modernim društvima. Kako dolazi do razvoja čovječanstva i tehnologije, dolazi i do sve veće potrebe za energijom. Implementacija zelenih politika može se pozitivno odraziti i na sektor stanovanja. Upotreba obnovljivih izvora energije, kao što je prikazano u ovom radu, može dovesti do značajnog smanjenja zagađenja okoliša i do financijske uštede. Potrebno je ustrajati na projektima, na svim razinama, koji dovode do povećanja energetske efikasnosti i smanjenja zagađenja okoliša kako bi budućim naraštajima ostavili naš planet Zemlju u onom stanju koji je povoljan za život.

8. LITERATURA

1. ALVAREZ, G., ARCE, J., LIRA, L., HERAS, M. R., 2004. *Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminum cans*. Solar Energy, 77(1), 107–113.
2. AMMARI, H. D., NIMIR, Y. L., 2003. *Experimental and theoretical evaluation of the performance of a tar solar water heater*. Energy Conversion and Management, 44(19), 3037–3055.
3. CRNOV d.o.o., 2023. *Tehnička dokumentacija*, neobjavljeno.
4. CENTAR ZA VJEŠTAČENJE I PROCJENE d.o.o., 2023. *Tehnička dokumentacija*, neobjavljeno.
5. DOVIĆ D., 2013. *Sunčani toplovodni sustavi*. Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.
6. GHAZI, S., SAYIGH, A., IP, K., 2014. *Dust effect on flat surfaces – A review paper*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 33, 742–751.
7. MINISTARSTVO PROSTORNOGA UREĐENJA, GRADITELJSTVA I DRŽAVNE IMOVINE, 2017. *Faktori primarne energije i emisija CO₂*.
8. PERKOVIĆ, B., BARIĆ, T., JANKOVIĆ, N., KOS, D., GLAVAŠ, H., 2017. *Održavanje plinskih i uljnih uređaja*. Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. 26. Međunarodni znanstveno-stručni skup „Organizacija i tehnologija održavanja“ - OTO 2017. - Zbornik radova.
9. SARBU, I., SEBARCHIEVICI, C., 2017. *Solar-Assisted Heat Pumps*. Solar Heating and Cooling Systems.
10. STAFFELL, I., BRETT, D., BRANDON, N., HAWKES, A., 2012. *A review of domestic heat pumps*. Energy & Environmental Science, 5(11), 9291.
11. SUMAN, S., KHAN, M.K., PATHAK, M., 2015. *Performance enhancement of solar collectors — A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49, 192–210. Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Patna, Patna 800013, India.
12. TANG, R., GAO, W., YU, Y., CHEN, H., 2009. *Optimal tilt-angles of all-glass evacuated tube solar collectors*. Energy, 34(9), 1387–1395.
13. VLADA REPUBLIKE HRVATSKE, 2020. *Strategija energetskeg razvoja RH do 2030. s pogledom na 2050. godinu*. Zagreb.

14. VLADA REPUBLIKE HRVATSKE, 2021. *Nacionalna razvojna strategija Republike Hrvatske do 2030. godine*. Zagreb.
15. YEH, H., LIN, T.-T., 1995. *The effect of collector aspect ratio on the collector efficiency of flat-plate solar air heaters*. Energy, 20(10), 1041–1047.
16. ZAFAR, S., DINCER, I., 2014. *Thermodynamic analysis of a combined PV/T–fuel cell system for power, heat, fresh water and hydrogen production*. International Journal of Hydrogen Energy, 39(19), 9962–9972.

Web izvori:

17. EUROPSKA KOMISIJA (a). *Energija*
URL: https://commission.europa.eu/topics/energy_hr (27. 3. 2023.)
18. EUROPSKA KOMISIJA (b). *Strategija održivog razvoja EU-a do 2030. godine*
URL: https://ec.europa.eu/info/publications/sustainable-development-goals-european-union-2030_en (27. 3. 2023.)
19. HERA. *iPLIN*
URL: <https://www.hera.hr/hr/iplin/> (10. 6. 2023.)
20. UNEP. *Common carbon metric*
URL: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7922> (1. 6. 2023.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad pod nazivom „*Tehnoekonomska usporedba plinskog sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode sa sustavom temeljenom na obnovljivim izvorima energije*“ izradio samostalno na temelju znanja i vještina stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.

Handwritten signature of Toni Kovačević in black ink, written in a cursive style. The signature is placed above a horizontal line.

Toni Kovačević



KLASA: 602-01/23-01/70
URBROJ: 51-70-12-23-2
U Zagrebu, 28.06.2023.

Toni Kovačević, student

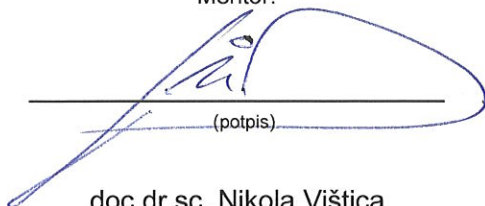
RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/70, URBROJ: 51-70-12-23-1 od 31.05.2023. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

TEHNO-EKONOMSKA USPOREDBA PLINSKOG SUSTAVA GRIJANJA I PRIPREME POTROŠNE TOPLE VODE SA SUSTAVOM TEMELJENOM NA OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada doc.dr.sc. Nikola Vištica nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

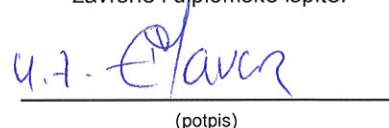
Mentor:


(potpis)

doc.dr.sc. Nikola Vištica

(titula, ime i prezime)

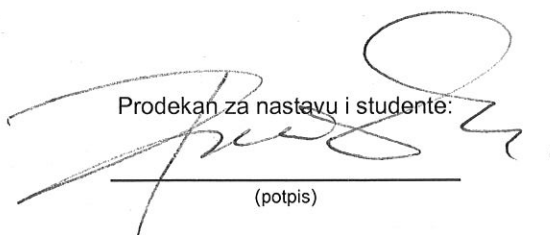
Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:


(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:


(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)