

# Izazovi ugradnje split klima uređaja

---

**Đogaš, Martin**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:655591>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni diplomski studij**

**IZAZOVI UGRADNJE SPLIT KLIMA UREĐAJA**

**Diplomski rad**

**Martin Đogaš**

**Osijek, 2024.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac D1: Obrazac za ocjenu diplomskog rada na sveučilišnom diplomskom studiju****Ocjena diplomskog rada na sveučilišnom diplomskom studiju**

<b>Ime i prezime pristupnika:</b>	Martin Đogaš
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni diplomski studij Elektrotehnika, Elektroenergetika
<b>Mat. br. pristupnika, god.</b>	D-1443, 07.10.2022.
<b>JMBAG:</b>	0165082825
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
<b>Sumentor:</b>	Mario Primorac, univ. mag. ing. el.
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	dr. sc. Matej Žnidarec
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Izazovi ugradnje split klima uređaja
<b>Znanstvena grana diplomskog rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	Poremećaj opskrbe prirodnim plinom doveo je do pojačanog interesa za split sustave klimatizacije koji mogu grijati prostore. Zadatak diplomskog rada je provesti analizu izazova koji mogu dovesti do problema u radu prilikom ugradnje split klima uređaja. Rad treba pružiti pregled teorijske osnove rashladnog ciklusa, vrsta radnih tvari, tehnologije split klima uređaja i spoja na elektroenergetsku instalaciju. Pored navedenog treba dati pregled načina ugradnje kao i ekonomske parametre kako bi se mogla donijeti odluka o isplativosti dopunskog sustava grijanja.
<b>Datum ocjene pismenog dijela diplomskog rada od strane mentora:</b>	07.09.2024.
<b>Ocjena pismenog dijela diplomskog rada od strane mentora:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Datum obrane diplomskog rada:</b>	20.9.2024.
<b>Ocjena usmenog dijela diplomskog rada (obrane):</b>	Izvrstan (5)
<b>Ukupna ocjena diplomskog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije diplomskog rada čime je pristupnik završio sveučilišni diplomski studij:</b>	20.09.2024.

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

Osijek, 20.09.2024.

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Martin Đogaš
<b>Studij:</b>	Sveučilišni diplomski studij Elektrotehnika, Elektroenergetika
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	D-1443, 07.10.2022.
<b>Turnitin podudaranje [%]:</b>	14

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Izazovi ugradnje split klima uređaja**

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

i sumentora Mario Primorac, univ. mag. ing. el.

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1. Zadatak diplomskog rada.....	2
1.2. Povijesni razvoj klima uređaja.....	2
1.3. Pregled postojećih znanja iz područja split klima uređaja.....	4
<b>2. ANALIZA RASHLADNOG CIKLUSA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Osnove rashladnog ciklusa .....	5
2.2. Komponente rashladnog uređaja .....	7
<b>3. RADNE TVARI U SUSTAVU KLIMATIZACIJE.....</b>	<b>10</b>
3.1. Povijesni razvoj radnih tvari .....	10
3.2. Klasifikacija radnih tvari.....	12
3.3. Ekološki pokazatelji radne tvari.....	20
<b>4. UTJECAJ SUSTAVA KLIMATIZACIJE NA OKOLIŠ.....</b>	<b>22</b>
4.1. Utjecaj klimatizacije na atmosferu.....	22
4.2. Ekološki prihvatljive radne tvari.....	25
<b>5. TEHNOLOGIJE SPLIT KLIMA UREĐAJA I PRAVILA UGRADNJE.....</b>	<b>28</b>
5.1. Pokazatelji energetske učinkovitosti klima uređaja.....	28
5.2. Izbor klima uređaja .....	30
5.3. Pravila ugradnje klima uređaja .....	31
5.4. Spoj na mrežu i električna konfiguracija klima uređaja .....	35
5.4.1. Spoj klima uređaja na elektroinstalaciju stambenog objekta.....	35
5.4.2. Električna shema klima uređaja .....	37
5.5. Mono split klima uređaj.....	39
5.5.1. Princip rada i osnovne komponente.....	40
5.5.2. Unutarnja jedinica .....	41
5.5.3. Vanjska jedinica.....	42
5.6. Klima uređaj u režimu rada dizalice topline.....	45
<b>6. POSTUPAK UGRADNJE SPLIT KLIMA UREĐAJA .....</b>	<b>49</b>
6.1. Pripreme radnje.....	50

6.1.1. Odabir lokacije za unutarnju jedinicu.....	50
6.1.2. Odabir lokacije za vanjsku jedinicu.....	50
<b>6.2. Slijed ugradnje unutarnje jedinice .....</b>	<b>50</b>
6.2.1. Postavljanje montažne ploče.....	50
6.2.2. Bušenje rupe za cijevi.....	51
6.2.3. Montaža unutarnje jedinice.....	52
6.2.4. Priprema bakrenih cijevi: Pertlovanje .....	52
6.2.5. Povezivanje cijevi i odvoda .....	54
<b>6.3. Slijed ugradnje vanjske jedinice.....</b>	<b>55</b>
6.3.1. Postavljanje nosača za vanjsku jedinicu .....	55
6.3.2. Postavljanje vanjske jedinice .....	56
6.3.3. Povezivanje cijevi i ožičenje.....	57
<b>6.4. Provjera i puštanje u rad .....</b>	<b>59</b>
6.4.1. Provjera curenja plina.....	59
6.4.2. Vakuumiranje sustava .....	60
6.4.3. Puštanje u rad.....	62
<b>7. ISPLATIVOST GRIJANJA SPLIT KLIMA UREĐAJEM.....</b>	<b>63</b>
<b>8. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>82</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>84</b>
<b>SAŽETAK .....</b>	<b>90</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>91</b>
<b>ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>92</b>

# 1. UVOD

Postizanje optimalne unutarnje klime u stambenim objektima predstavlja ključni izazov zbog promjenjivih klimatskih uvjeta i sve većih zahtjeva za energetske učinkovitosti. Split klima uređaji, osobito mono split sustavi, najzastupljeniji su u stambenim objektima zbog svoje sposobnosti da pružaju učinkovito hlađenje i grijanje. U ovom diplomskom radu analizirat će se izazovi ugradnje split klima uređaja, s posebnim naglaskom na mono split sustave, koji će se u daljnjem tekstu referirati kao split klima uređaji.

Važne teme koje su obuhvaćene zadatkom diplomskog rada uključuju detaljnu analizu karakteristika split klima uređaja, s posebnim naglaskom na njihove tehničke i mehaničke komponente. U fokusu je i razmatranje različitih vrsta radnih tvari koje se koriste u ovim sustavima te njihovi ekološki i energetske aspekti. Rad također obuhvaća najnovije tehnologije i inovacije koje omogućuju poboljšanje učinkovitosti i smanjenje ekološkog otiska split klima uređaja. Korištenje ekološki prihvatljivih radnih tvari i implementacija naprednih tehnologija za optimizaciju rada sustava od ključne su važnosti za smanjenje negativnog utjecaja na okoliš. Posebna pažnja posvećena je metodama spajanja spojnih vodova pertlanjem, ključnim za osiguranje nepropusnosti i dugotrajnosti sustava, kao i testiranju sustava nakon instalacije kako bi se osigurala optimalna funkcionalnost i sigurnost.

Glavna prednost ovih sustava leži u njihovoj sposobnosti da pruže visoku razinu udobnosti uz relativno nisku potrošnju energije, što ih čini popularnim izborom među potrošačima. Također, rad će obuhvatiti pregled metoda održavanja sustava, kao i ekonomske parametre koji utječu na odluku o isplativosti korištenja ovih uređaja kao dopunskog sustava grijanja.

Kroz pregled literature, razmotrit će se rezultati i zaključci prethodnih istraživanja koja su se bavila tematikom split klima uređaja. Posebna pažnja bit će posvećena ekološkim aspektima korištenja radnih tvari, energetske pokazateljima učinkovitosti klima uređaja, te zakonskim regulativama koje definiraju standarde ugradnje i održavanja ovih sustava. Pregled će obuhvatiti povijesni razvoj klima uređaja, tehnološke inovacije, te trenutne trendove i buduće perspektive u ovom području.

Struktura diplomskog rada podijeljena je u nekoliko poglavlja. Prvo poglavlje predstavlja uvod u kojem se definira problem i cilj rada, daje pregled postojećih znanja iz literature i obuhvaća povijesni razvoj klima uređaja. Drugo poglavlje analizira rashladni ciklus, uključujući osnovne komponente i njihov rad. Treće poglavlje bavi se radnim tvarima u sustavu klimatizacije, njihovim

razvojem, klasifikacijom i ekološkim pokazateljima. Četvrto poglavlje razmatra utjecaj sustava klimatizacije na okoliš, dok se peto poglavlje fokusira na tehnologije split klima uređaja i pravila njihove ugradnje. Šesto poglavlje detaljno opisuje pripreme radnje i slijed ugradnje split klima uređaja kroz fotodokumentaciju, dok će sedmo poglavlje analizirati isplativost grijanja korištenjem ovih sustava.

## **1.1. Zadatak diplomskog rada**

Poremećaj opskrbe prirodnim plinom doveo je do pojačanog interesa za split sustave klimatizacije koji mogu grijati prostore. Zadatak diplomskog rada je provesti analizu izazova koji mogu dovesti do problema u radu prilikom ugradnje split klima uređaja. Rad treba pružiti pregled teorijske osnove rashladnog ciklusa, vrsta radnih tvari, tehnologije split klima uređaja i spoja na elektroenergetsku instalaciju. Pored navedenog treba dati pregled načina ugradnje kao i ekonomske parametre kako bi se mogla donijeti odluka o isplativosti dopunskog sustava grijanja.

## **1.2. Povijesni razvoj klima uređaja**

Sustavi za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju (HVAC, engl. *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) potječu iz drevnih civilizacija, gdje su razvijeni sustavi za grijanje i hlađenje kako bi se osigurala udobnost i zdravlje. U razdoblju starog Rima, centralni sustavi grijanja koristili su se u domovima i javnim kupalištima, dok su se vjetro tornjevi koristili za hlađenje kuća.

Tijekom 19. stoljeća, za vrijeme industrijske revolucije, povećana je potreba za sustavima grijanja i hlađenja u tvornicama i velikim zgradama, što je dovelo do razvoja ranih HVAC sustava. U svojim počecima, ovi sustavi koristili su kotlove na ugljen i velike ventilatore za ventilaciju. Sredinom 19. stoljeća započela je uporaba ranih tehnologija za hlađenje zraka [1]. Dr. John Gorrie iz Floride dizajnirao je stroj za stvaranje leda koristeći kompresor koji je mogao biti pokretan konjima, vodom, vjetroturbinama ili parom. Uspješno je demonstrirao ovaj stroj za izradu leda 1848. godine. Godine 1851. dobio je američki patent broj 8080 za svoj rashladni uređaj. Do 1880-ih, hlađenje je postalo dostupno za industrijske svrhe, s glavnim namjenama poput zamrzavanja mesa za prijevoz i proizvodnju leda [2].

Prvi mehanički sustav klimatizacije za zgrade razvio je 1902. godine Willis Carrier, američki strojar inženjer. Njegov sustav koristio je vodeni sprej za kontrolu vlažnosti i temperature rosišta u prostoru te za filtriranje čestica prašine. U početku, Carrier svoj izum nije nazivao klima uređajem [3]. Vlasnik tvornice tekstila, Stuart W. Cramer prvi je upotrijebio izraz "klimatizacija" u svom patentnom zahtjevu kako bi opisao tehniku za kontrolu vlažnosti i izmjenu zraka u



tvornicama tekstila. Godine 1908. G.B. Wilson postao je prva osoba koja je taj izraz koristila u udžbeniku [4].

Na Svjetskom sajmu u St. Louisu 1904. godine, javnost je prvi put upoznata s čudima klimatizacije. Klima uređaj je u Missouri State Building, koja je bila domaćin Svjetskog sajma u St. Louisu, mogao cirkulirati više od 16,52 m<sup>3</sup>/s. Stroj za klimatizaciju hladio je sve prostorije na dva kata, osim knjižnica i kupaonica. U to vrijeme, nitko nije mogao zamisliti da je nešto takvo moguće. Ovaj sustav instalirala je tvrtka United Iron Works Co. Nažalost, kotao za sustav eksplodirao je u studenom te godine i izazvao požar u zgradi. Godine 1906. Carrier je patentirao svoj izum, "klima uređaj", a 1914. patentirao je sustav upravljanja za klima uređaj [1].

Kako bi poboljšao performanse i smanjio troškove klima uređaja, Carrier je 1922. godine izumio centrifugalni rashladni uređaj s manje pokretnih dijelova i nižim stupnjem kompresije od postojećih jedinica. Ovaj revolucionarni sustav povećao je pouzdanost i smanjio troškove velikih klima uređaja, što je uvelike proširilo njihovu upotrebu diljem zemlje.

Godine 1928. Thomas Midgley, Albert Henne i Robert McNary iz General Motorsa sintetizirali su klorofluorouglik (CFC, engl. *Chlorofluorocarbons*) kao radne tvari za tvrtku Frigidaire. Ove kemikalije bile su prve nezapaljive rashladne tekućine na svijetu, što je značajno poboljšalo sigurnost klima uređaja. Međutim, desetljećima kasnije, otkriveno je da ove kemikalije uzrokuju oštećenje ozonskog sloja.

Frigidaire je 1929. godine predstavio novi split sustav sobnog hladnjaka na tržištu. Frank Faust iz General Electrica unaprijedio je ovaj dizajn, razvijajući samostalni sobni hladnjak. Tvrtka je proizvela 32 slična prototipa između 1930. i 1931. godine.

H. H. Schultz i J. Q. Sherman predstavili su patent za klimatizacijski uređaj koji se može postaviti na rub prozora. Jedinice su se pojavile na tržištu 1932. godine, ali zbog visoke cijene nisu bile masovno kupovane. Također, 1931. godine, Frigidaire je počeo plasirati cjelogodišnje centralne klimatizacijske sustave za domove. Henry Galson razvio je kompaktne, jeftine prozorske klima uređaje i uspostavio proizvodne linije za nekoliko proizvođača. Do 1947. godine, u Sjedinjenim Državama prodano je 43000 takvih jedinica.

Oak Ridge National Laboratory razvio je prvu verziju modela toplinske pumpe, hardverskog alata za projektiranje opreme za kompresiju pare. Ovaj alat pomaže industriji u stvaranju energetski učinkovitijih i isplativijih tehnologija klimatizacije. Kako su se CFC-i postupno ukidali zbog kemikalija koje oštećuju ozon, 1991. godine radna tvar R-134a, hidrofluorouglik (HFC, engl.

*Hydrofluorocarbons*), dobila je na popularnosti. Iako HFC ne uništavaju ozon, oni su snažni staklenički plinovi.

Početak 2000-tih, Allied Signal (sada Honeywell) pomogao je uspostaviti R-410A kao vodeću zamjenu za radnu tvar u klimatizacijskim uređajima. Ova kemikalija ne samo da zamjenjuje starije radne tvari, već također poboljšava energetske učinkovitost [4].

### **1.3. Pregled postojećih znanja iz područja split klima uređaja**

Prvi izazov ugradnje split klima uređaja je izbor odgovarajućeg uređaja. Pravilan izbor klima uređaja opisali su razni distributeri klima opreme na čijim web stranicama se mogu naći smjernice općoj populaciji, [5, 6]. Naglašavaju da je bitno obratiti pozornost na potrošnju klima uređaja i njihovu energetske učinkovitost. Pokazatelji energetske učinkovitosti klima uređaja najbolje su opisani u pravilniku [7].

Odabir radne tvari također predstavlja značajan izazov zbog njenog utjecaja na okoliš. A. B. Khan, A. Naeem i H. A. Rab su u znanstvenom radu [8] opisali tri pokazatelja utjecaja radnih tvari na okoliš. Potraga za ekološki prihvatljivijim alternativama, poput prirodnih radnih tvari koje smanjuju ekološki otisak klima uređaja opisali su autori S. S. Bhatti, A. Kumar, R. Reetu i R. Singh u znanstvenom radu [9].

Ugradnja split klima uređaja zahtijeva pažljivu pripremu i izvršenje kako bi se osigurala optimalna funkcionalnost i dugovječnost sustava. Pravilno postavljanje unutarnje i vanjske jedinice, pravilno spajanje cijevi i električnih vodova, korištenje odgovarajućih alata i tehnika te pravilno ispitivanje sustava ključno je za uspješnu instalaciju. Na primjer, postupak pripreme bakrenih cijevi uključuje rezanje, oblikovanje i spajanje pertlanjem kako bi se osigurala nepropusnost i trajnost spojeva, te samo ispitivanje sustava klimatizacije važno je za osiguranje ispravnog rada kao što proizvođači opisuju u uputstvima za postavljanje klima uređaja, [10-13].

Prilikom same ugradnje klima uređaja potrebno je pridržavati se nekoliko ključnih zakona kako bi se osigurala sigurnost, učinkovitost i ekološka prihvatljivost instalacije. Hrvatski zakoni dostupni u Narodnim Novinama, [14-19] definiraju tehničke standarde, energetske zahtjeve, ekološke smjernice i zaštitu kulturne baštine koje moraju biti ispunjene. Također je važno slijediti tehničke propise i norme koji definiraju specifične tehničke zahtjeve i standarde koji su dostupni u Narodnim Novinama, [20-22]. Sama ugradnja vanjske jedinice klima uređaja zahtijeva pridržavanje niza zakonskih odredbi i regulativa koji se razlikuju ovisno o lokalnim samoupravama te su opisani u službenim glasnicima, [23-26].

## 2. ANALIZA RASHLADNOG CIKLUSA

Rashladni ciklus, ključan za rad klima uređaja i hladnjaka, predstavljaju jedan od najznačajnijih spoznaja modernog doba. Omogućujući preciznu kontrolu temperature u domaćinstvima, poslovnim prostorima i industriji, ove tehnologije su postale nezamjenjive u svakodnevnom životu. Od očuvanja hrane i lijekova na sigurnim temperaturama do pružanja termalne udobnosti, rashladni ciklusi su temelj koji podržava širok spektar aplikacija. Klima uređaji i hladnjaci, iako služe različitim svrhama, koriste iste termodinamičke principe za postizanje svojih ciljeva. Osim toga, kako svijet napreduje prema održivijim i ekološki osviještenim rješenjima, inovacije u tehnologiji rashladnih ciklusa igraju ključnu ulogu u smanjenju potrošnje energije i minimiziranju utjecaja na okoliš. U ovom kontekstu, istraživanje i razumijevanje rashladnih ciklusa ne samo da predstavlja tehnički izazov već i pruža priliku za doprinos boljem i održivijem svijetu.

### 2.1. Osnove rashladnog ciklusa

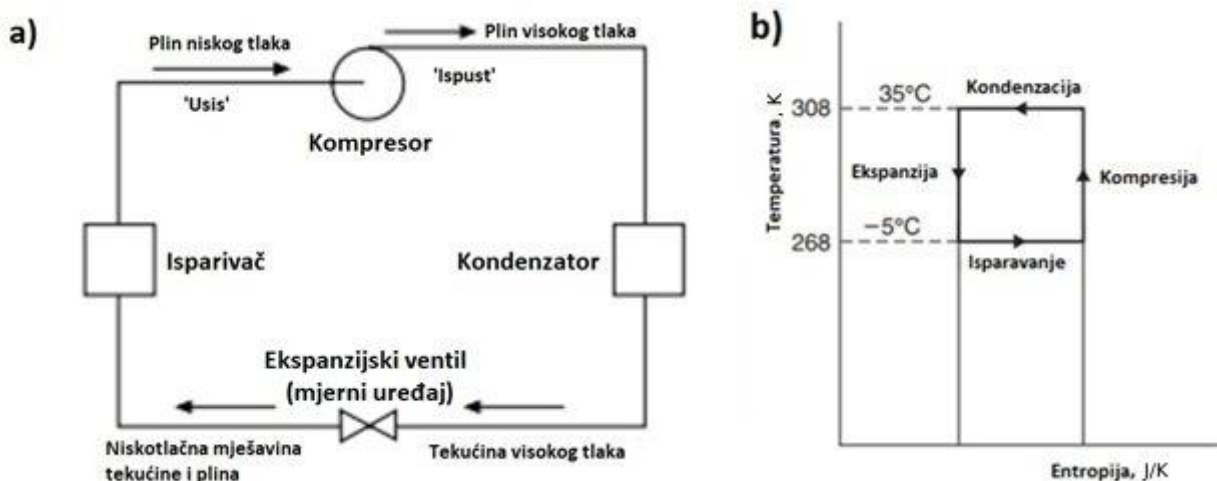
U razmatranju osnova rashladnih ciklusa, koji omogućuju rad klima uređaja i hladnjaka, ključno je razumjeti zakone termodinamike, termodinamičke procese i principe prijenosa topline koji transformiraju toplinsku energiju i omogućuju kontrolu temperature unutar zatvorenih prostora i hladnjaka.

Prvi zakon termodinamike, koje je poznato kao zakon očuvanja energije, tvrdi da u izoliranom sustavu energija ne može biti ni stvorena ni uništena. Ovaj zakon nalazi primjenu u sustavima hlađenja, gdje radna tvar preuzima toplinu iz unutrašnjosti uređaja, poput hladnjaka, ili prostorije u slučaju klima uređaja, a zatim tu istu toplinu otpušta van. Dakle, toplinska energija se ne gubi, već se samo preusmjerava s jednog mjesta na drugo. S druge strane, drugi zakon termodinamike bavi se konceptom entropije, koja se može shvatiti kao mjera nereda unutar nekog sustava. Prema ovom zakonu, toplina spontano prelazi s objekta više temperature na objekt niže temperature. Sustavi hlađenja efikasno invertiraju ovaj spontani protok topline kroz obavljanje rada, koji se najčešće ostvaruje upotrebom kompresora, prenoseći toplinu iz hladnijih unutarnjih prostora u toplije vanjsko okruženje [27].

Procesi, koji su prikazani na slici 2.1. a) uključuju kompresiju, kondenzaciju, ekspanziju i isparavanje koji se redom odvijaju u kompresoru, kondenzatoru, mjernom uređaju (ekspanzijskom ventilu) i isparivaču, ne samo da čine osnovu za rashladne sustave, već i demonstriraju primjenu temeljnih termodinamičkih procesa u praktičnim tehnologijama.

Kroz ciklus kompresije, kondenzacije, ekspanzije i isparavanja, rashladni ciklus kontinuirano prenosi toplinu iz unutrašnjosti uređaja u vanjsko okruženje, osiguravajući time hladni zrak ili održavanje niske temperature unutar hladnjaka. Ova sinergija procesa omogućava klima uređajima i hladnjacima da pruže ključnu funkcionalnost koja podržava moderni način života, osiguravajući očuvanje svježine hrane i lijekova, te pružajući udobnost kroz kontrolu klime.

Prijenos topline u rashladnom ciklusu odvija se kroz navedene faze, gdje se toplina efikasno prenosi s toplijeg na hladnije mjesto. Dodavanje i odbacivanje topline odvija se pri konstantnoj temperaturi, a ti se procesi prikazuju kao horizontalne linije na slici 2.1. b). Rad se prenosi u sustav tijekom kompresije i iz sustava tijekom ekspanzije. Toplina se prenosi preko granica sustava pri konstantnim temperaturama tijekom isparavanja i kondenzacije. U ovom ciklusu neto količine rada i topline su u omjerima koji pružaju maksimalnu količinu hlađenja za minimalnu količinu rada. Omjer je Carnotov koeficijent učinka. Ovaj se ciklus ponekad naziva obrnutim Carnotovim ciklusom jer je originalni koncept bio toplinski motor i za proizvodnju energije ciklus radi u smjeru kazaljke na satu, generirajući neto rad [28].



**Slika 2.1.** a) Kružni proces unutar rashladnog uređaja [29]; b) Temperaturno-entropijski dijagram [28].

Hlađenje i klimatizacija ključni su u modernoj infrastrukturi, iako služe različitim svrhama, rade prema sličnom principu. Tablica 2.1. pruža usporedni pregled hlađenja i klimatizacije, ističući različite uloge i mehanizme svakog sustava. Hlađenje je usmjereno na hlađenje i očuvanje kvarljive robe izvlačenjem topline iz nje, dok je klimatizacija usmjerena na stvaranje ugodnog i zdravog unutarnjeg okruženja kroz kontrolu temperature i vlažnosti.

**Tablica 2.1.** Prikaz razlike između hlađenja i klimatizacije [30].

Hlađenje	Klimatizacija
Hlađenje ima ključnu ulogu u očuvanju kvarljivih proizvoda kao što su hrana i lijekovi, pri čemu se toplina odvodi iz njihove neposredne okoline.	Klimatizacija ima za cilj stvoriti ugodno i zdravo unutarnje okruženje putem regulacije temperature i vlažnosti zraka.
Proces se temelji na korištenju radne tvari koja, kroz ciklus kompresije i ekspanzije, apsorbira toplinu iz prostora i izbacuje je u vanjsko okruženje.	Ovaj proces se ostvaruje kroz cirkulaciju zraka preko rashladne zavojnice, gdje se uklanja suvišna vlaga i toplina, koje se zatim izbacuju izvan prostorije.
Dijelovi rashladnih sustava uključuju kompresor, kondenzator, isparivač i mjerne uređaje, koji zajedno djeluju kako bi učinkovito uklonili toplinu iz rashlađenih područja i održavali stabilnu temperaturu.	Sustavi za klimatizaciju su opremljeni naprednim funkcijama kao što su filtriranje zraka, odvlaživanje i ventiliranje, kako bi se osigurala optimalna kvaliteta unutarnjeg zraka.
Primjena hlađenja je najizraženija u sektoru skladištenja i prijevoza hrane u komercijalne i industrijske svrhe.	Sustavi za klimatizaciju su neophodni u različitim vrstama objekata, uključujući stambene jedinice, poslovne prostore i medicinske ustanove.
Sustavi za hlađenje dizajnirani su da funkcioniraju na nižim temperaturama te često zahtijevaju povećanu izolaciju i specijaliziranu opremu poput rashladnih kamiona i zamrzivača kako bi se osigurala optimalna funkcionalnost.	Sustavi za klimatizaciju rade na višim temperaturama i pažljivo su dizajnirani ne samo da održavaju temperaturu već i da upravljaju razinama vlažnosti zraka.

## 2.2. Komponente rashladnog uređaja

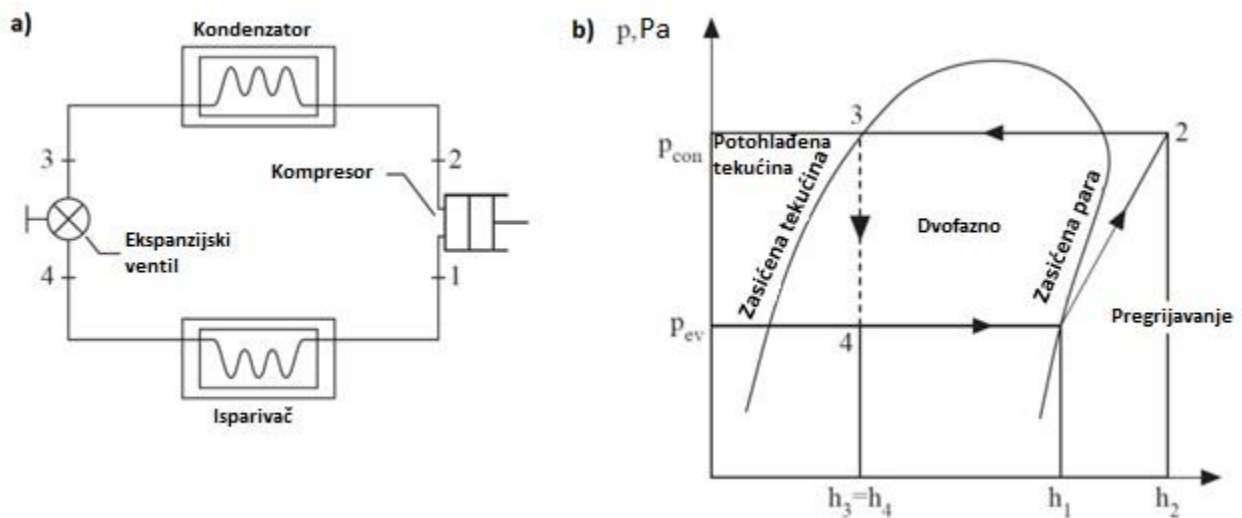
Četiri osnovne komponente rashladnog ciklusa su kompresor, kondenzator, ekspanzijski ventil (mjerni uređaj) i isparivač kao što je prikazano na slici 2.2. a).

Pregrijana para ulazi u kompresor kao niskotlačna, niskotemperaturna para. Kompresor povećava tlak radne tvari, podižući njezinu temperaturu. Iz kompresora izlazi kao visokotlačna, visokotemperaturna, pregrijana para.

Visokotlačna, visokotemperaturna, pregrijana para ulazi u kondenzator. Radna tvar u kondenzatoru odbija toplinu u okolinu, prelazeći iz plinovitog stanja natrag u tekuće. Iz kondenzatora izlazi kao visokotlačna, visokotemperaturna, pothlađena tekućina.

Visokotlačna, visokotemperaturna tekućina ulazi u ekspanzijski ventil (mjerni uređaj). Radna tvar u ekspanzijskom ventilu doživljava pad tlaka i temperature, dijelom isparava i hladi se. Iz ventila izlazi kao niskotlačna, niskotemperaturna tekućina.

Niskotlačna, niskotemperaturna tekućina ulazi u isparivač, gdje apsorbira toplinu iz okoline. Dok radna tvar apsorbira toplinu, prelazi iz tekućeg u plinovito stanje, hladeći unutrašnjost hladnjaka ili prostoriju u slučaju klima uređaja. Iz isparivača izlazi kao niskotlačna, niskotemperaturna, pregrijana para, koja zatim ponovno ulazi u kompresor [27].



**Slika 2.2.** Prikaz rashladnog ciklusa: a) Shematski prikaz; b) p-h dijagram [31].

Postoje četiri procesa unutar rashladnog ciklusa kao što je prikazano na slici 2.2. b):

1. Izotermni proces isparavanja 4–1: Radna tvar potpuno isparava u isparivaču, stvarajući učinak hlađenja  $q_{rf}$  koji je prikazan izrazom (2-1):

$$q_{rf} = (h_1 - h_4) \quad (2-1)$$

gdje su  $h_1$ ,  $h_4$  entalpija radne tvari u točkama stanja 1 i 4.

2. Izentropski proces kompresije 1–2: Parna radna tvar ulazi u kompresor, gdje se komprimira izentropski od točke 1 do točke 2. Ulazni rad kompresora  $W_{in}$  je prikazan izrazom (2-2):

$$W_{in} = (h_2 - h_1) \quad (2-2)$$

gdje je  $h_2$  entalpija radne tvari u točki stanja 2.

Što je veća razlika u temperaturi ili tlaku između tlaka kondenzacije i tlaka isparavanja, veći će biti ulazni rad kompresora.

3. Izotermni proces kondenzacije 2–3: Vruća plinovita radna tvar koja izlazi iz kompresora kondenzira se u kondenzatoru u zasićenu tekućinu, pri čemu se latentna toplina kondenzacije odbacuje u vodu kondenzatora ili okolni zrak. Odbijanje topline tijekom kondenzacije,  $q_{2-3}$ , je prikazano izrazom (2-3):

$$q_{2-3} = (h_2 - h_3) \quad (2-3)$$

gdje je  $h_3$  entalpija radne tvari u točki stanja 3.

4. Proces prigušivanja 3–4: Tekuća radna tvar prolazi kroz uređaj za prigušivanje (npr. ekspanzijski ventil ili kapilarna cijev), pri čemu se njezin tlak smanjuje na tlak isparavanja. Dio tekućine isparava i ulazi u isparivač. Ovo je jedini ireverzibilni proces u rashladnom ciklusu, obično predstavljen isprekidanom linijom. Za proces prigušenja, pod pretpostavkom da je dobitak topline iz okoline zanemariv, vrijedi izraz (2-4) [31]:

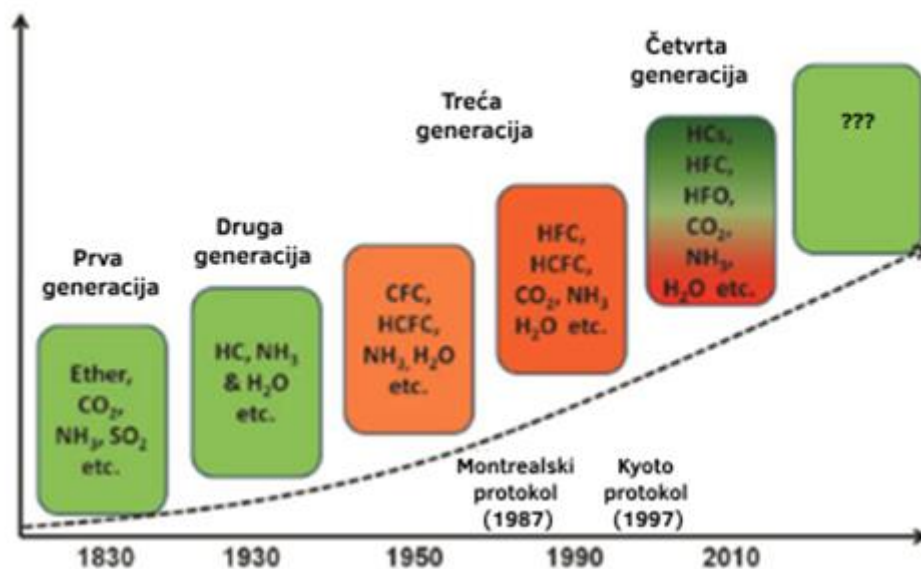
$$h_3 = h_4. \quad (2-4)$$

### 3. RADNE TVARI U SUSTAVU KLIMATIZACIJE

Radne tvari predstavljaju ključni element u svakom rashladnom ciklusu, omogućujući prijenos topline iz unutarnjeg prostora prema vanjskom okolišu, čime se ostvaruje hlađenje. Ova sredstva imaju sposobnost apsorbaranja topline prilikom isparavanja, što ih čini nezamjenjivim u radu klima uređaja. S obzirom na njihovu važnost, odabir odgovarajuće radne tvari utječe ne samo na energetske učinkovitost i performanse rashladnih sustava, već i na njihov ekološki otisak.

#### 3.1. Povijesni razvoj radnih tvari

Povijest radnih tvari može se podijeliti u četiri generacije materijala na temelju definicije kriterija odabira kao što je prikazano na slici 3.1.



Slika 3.1. Povijesni razvoj radnih tvari [32].

Prva generacija radnih tvari obuhvaća razdoblje od 1830. do 1930. godine, tijekom kojeg su korišteni amonijak, ugljični dioksid, sumporni dioksid, eteri, ugljikovodici i zrak kao radne tvari. Ove supstance su birane zbog svoje dostupnosti i opće primjenjivosti, no karakterizirala ih je visoka zapaljivost, toksičnost i reaktivnost.

Druga generacija radnih tvari pojavila se 1930-ih godina i uključivala je klorofluorouglikove (CFC, engl. *Chlorofluorocarbons*) i hidroklorofluorouglikove (HCFC, engl. *Hydrochlorofluorocarbons*). Ova nova, sigurnija kategorija radnih tvari smanjila je toksičnost i zapaljivost zahvaljujući svojoj stabilnosti, nezapaljivosti, netoksičnosti i kompatibilnosti s materijalima. CFC i HCFC su postali



široko korišteni, osobito u razvijenim zemljama. Pored njih, amonijak (NH<sub>3</sub>), ugljikovodici (HC, engl. *Hydrocarbons*) i voda (H<sub>2</sub>O) također su bili dio ove generacije.

Treća generacija radnih tvari razvijena je kao odgovor na Montrealski protokol. Ova generacija uključuje zamjenu klorofluorouglijika (CFC) s hidroklorofluorouglijicima (HCFC) zbog njihovog nižeg potencijala iscrpljivanja ozona (ODP, engl. *Ozone Depletion Potential*). Daljnjim razvojem su nastali hidrofluorouglijici (HFC, engl. *Hydrofluorocarbons*) i njihovi derivati ili mješavine, s fokusom na smanjenje gubitaka i emisija radnih tvari tijekom servisiranja i zbrinjavanja. Ovi fluidi predstavljaju radne tvari treće generacije. Kyoto Protokol, uveden 1994. godine, usmjeren je na kontroliranje emisija stakleničkih plinova. Trenutno, HCFC i HFC čine oko 2% ukupnog globalnog zagrijavanja, s planiranim postupnim ukidanjem do 2030. godine.

Četvrta generacija radnih tvari obuhvaća izomere fluoriranog propena (propilena) koji se odlikuju niskim globalnim potencijalom zagrijavanja (GWP, engl. *Global Warming Potential*). Novi razred fluorouglijikovih radnih tvari, hidrofluoroolefini (HFO, engl. *Hydrofluoroolefin*), karakterizira izrazito nizak GWP. Očekuje se da će HFO značajno zamijeniti HFC u raznim uporabama, s HFO-1234yf kao jednim od predstavnika ove nove klase [32].

U okviru povijesnog razvoja radnih tvari, međunarodni ekološki protokoli i sporazumi odigrali su ključnu ulogu u regulaciji i smanjenju emisija tvari koje oštećuju ozonski omotač i doprinose globalnom zagrijavanju.

Potpisan 1987. godine, Montrealski protokol je međunarodni ugovor koji ima za cilj zaštitu ozonskog omotača. Ovaj protokol predviđa postupno ukidanje proizvodnje i potrošnje tvari koje oštećuju ozonski omotač, poput klorofluorouglijika (CFC). Smatra se značajnim ekološkim dostignućem, s pozitivnim učincima na oporavak ozonskog omotača i na klimatske promjene. Prema podacima Programa Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP, engl. *United Nations Environment Programme*), Montrealski protokol je rezultirao smanjenjem od 99% tvari koje oštećuju ozonski omotač. Iako nije bio primarno usmjeren na klimatske promjene, postao je povijesni ekološki sporazum i model za buduće diplomatske napore u tom području. Sve zemlje svijeta su na kraju ratificirale ovaj ugovor. Godine 2016., Kigalijskim amandmanom (Kigali Amendment), stranke su se obvezale smanjiti i proizvodnju hidrofluorouglijika (HFC), snažnih stakleničkih plinova koji pridonose klimatskim promjenama.

Okvirna konvencija UN-a o klimatskim promjenama (UNFCCC, engl. *UN Framework Convention on Climate Change*), 1992. godine ratificirana je od strane 197 zemalja, uključujući Sjedinjene Države. UNFCCC je bio prvi globalni ugovor koji se izričito bavio klimatskim

promjenama. Uspostavio je godišnji forum, poznat kao Konferencija stranaka, za međunarodne rasprave usmjerene na stabilizaciju koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi. Ovi sastanci doveli su do stvaranja Kyoto Protokola i Pariškog sporazuma.

Usvojen 1997. godine, a stupio na snagu 2005., Kyoto Protokol je međunarodni sporazum koji obvezuje zemlje sudionice da smanje emisije stakleničkih plinova. Bio je prvi pravno obvezujući klimatski sporazum, postavljajući obvezujuće ciljeve za razvijene zemlje da smanje emisije za prosječno 5% ispod razina iz 1990. godine u periodu od 2008. do 2012. godine. Protokol je uspostavio sustav za praćenje napretka, ali nije obvezivao zemlje u razvoju, uključujući velike emitere poput Kine i Indije, na djelovanje. Iako je naišao na izazove i ograničenja, postavio je temelje za buduće međunarodne klimatske sporazume i povećao svijest o potrebi globalne akcije protiv klimatskih promjena. Sjedinjene Države su potpisale sporazum 1998., ali ga nikada nisu ratificirale te su kasnije povukle svoj potpis.

Pariški sporazum, usvojen 2015. godine, najznačajniji je globalni klimatski sporazum do danas. Zahtijeva od svih zemalja postavljanje ciljeva za smanjenje emisija, poznatih kao nacionalno određeni doprinosi (NDC, engl. *Nationally Determined Contributions*), s ciljem sprječavanja porasta globalne prosječne temperature za 2 °C iznad predindustrijskih razina, uz nastojanje da se taj porast ograniči na 1,5 °C. Cilj je također postići globalne neto nulte emisije stakleničkih plinova u drugoj polovici stoljeća, pri čemu bi količina emitiranih plinova bila jednaka količini uklonjenoj iz atmosfere, što je poznato kao klimatska ili ugljična neutralnost. Sporazum predstavlja značajan napredak u globalnoj klimatskoj akciji i uključuje odredbe o financijskoj pomoći zemljama u razvoju kako bi im se pomoglo u ublažavanju i prilagodbi učincima klimatskih promjena [33].

### **3.2. Klasifikacija radnih tvari**

Prema kemijskom sastavu i strukturi, radne tvari se mogu klasificirati u tri kategorije:

- Ugljikovodici i neorganske tvari
- Halougljikovodici
- Hidrofluoroolefini.

Ugljikovodici i neorganske tvari predstavljaju kategoriju radnih tvari koje obuhvaćaju amonijak, CO<sub>2</sub>, vodu i različite ugljikovodike. Često se ističu kao "prirodne radne tvari" zbog njihovih ekološki prihvatljivih svojstava poput nultog potencijala iscrpljivanja ozona (ODP), niskog globalnog potencijala zagrijavanja (GWP) i niske toksičnosti. Međutim, njihova primjena u malim rashladnim sustavima je ograničena. Radne tvari iz ove skupine uključuju etan, propan, butan,

izobutan, među ostalima. Glavni izazov korištenja ovih radnih tvari leži u njihovoj visokoj zapaljivosti, što ograničava njihovu primjenjivost u određenim rashladnim sustavima.

Halougljikovodici predstavljaju kategoriju radnih tvari koje uključuju CFC, HCFC, HFC i slične. Među najrasprostranjenijima su CFC-11, CFC-12, HCFC-22 i HFC-134a. CFC-i su postupno izbačeni iz upotrebe zbog njihove sposobnosti značajnog narušavanja ozonskog sloja u stratosferi.

Hidrofluoroolefini (HFO) predstavljaju kategoriju nezasićenih organskih molekula sastavljenih od ugljika, vodika i fluora. Ove molekule karakterizira nestabilnost uzrokovana prisutnošću dvostruke veze, što rezultira niskim globalnim potencijalom zagrijavanja (GWP) i kratkim vijekom trajanja u atmosferi. Za razliku od tradicionalnih HFC-a, koji su derivati alkana, HFO su derivati alkena. U ovoj klasi radnih tvari ističu se dvije vrste, HFO-1234yf i HFO-1234ze. HFO-1234yf i HFO-1234ze trenutno se smatraju jednim od najobedavajućih radnih tvari [32].

ANSI/ASHRAE standard 34 dodjeljuje identifikacijsko slovo i broj svakoj radnoj tvari kako bi je klasificirao prema opasnosti povezanoj s njenom uporabom. Veliko slovo označava klasu toksičnosti temeljenu na dopuštenoj izloženosti, dok broj označava razinu zapaljivosti. ANSI/ASHRAE standard 34 kao što je prikazano na slici 3.2. definira dvije klase sigurnosti prema toksičnosti. Klasa A označava radne tvari manje toksičnosti, dok klasa B označava radne tvari veće toksičnosti. Za zapaljivost postoje tri glavne klasifikacije i jedna podklasa. Klasa 1 obuhvaća radne tvari koje ne šire plamen prilikom testiranja prema standardu, klasa 2 obuhvaća radne tvari niže zapaljivosti dok klasa 3 obuhvaća visoko zapaljive radne tvari poput ugljikovodika. Iako postoje ove klasifikacije, ekstremni uvjeti okoline mogu, zajedno s prirodom radne tvari, dovesti do veće toksičnosti.

ASHRAE je nedavno ažurirao sigurnosnu klasifikacijsku matricu kako bi uključio novu podklasu zapaljivosti 2L, koja obuhvaća radne tvari klase 2 koje gore vrlo sporo. Neke HFO radne tvari, koje imaju vrlo nizak potencijal globalnog zagrijavanja, blago su zapaljive i klasificirane su kao A2L. To znači da su manje toksične i imaju malu brzinu gorenja [34].

		SIGURNOSNA SKUPINA	
POVEĆANJE ZAPALJIVOSTI ↑	Veća zapaljivost	A3	B3
	Manja zapaljivost	A2 A2L*	B2 B2L*
	Nema širenja plamena	A1	B1
		Niža toksičnost	Viša toksičnost
		POVEĆANJE TOKSIČNOSTI →	

**Slika 3.2.** Prikaz ASHRAE 34 standarda klasifikacije radnih tvari [34].

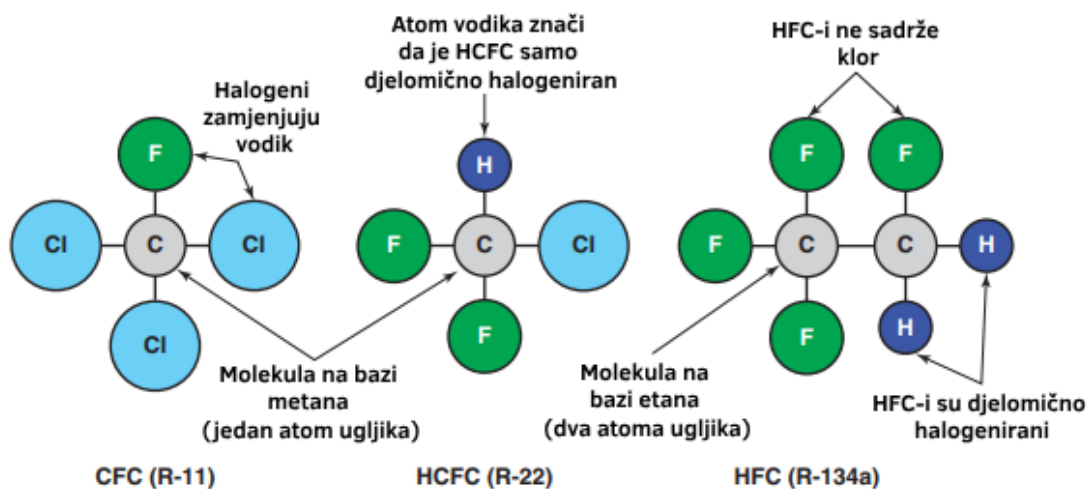
Na tržištu danas postoji širok spektar vrsta radnih tvari. Razlikuju se po toksičnosti, zapaljivosti, ekološkoj prihvatljivosti, dostupnosti i cijeni. Većina radnih tvari koje se koriste danas dizajnirana su kako bi bile manje toksične i manje zapaljive u usporedbi s drugim kemikalijama koje bi se mogle koristiti u iste svrhe. Nastavak je razvoja novih radnih tvari, s ciljem stvaranja supstanci koje ključaju i kondenziraju na temperaturama optimalnim za specifične upotrebe, čineći ih korisnima i efikasnim za svaku pojedinu primjenu.

Vrste radnih tvari:

- Klorfluorugljikovodici (CFC, engl. *Chlorofluorocarbons*)
- Hidroklorfluorugljikovodici (HCFC, engl. *Hydrochlorofluorocarbons*)
- Hidrofluorugljikovodici (HFC, engl. *Hydrofluorocarbons*)
- Mješavine radnih tvari (azeotropne i zeotropne)
- Hidrofluoroolefini (HFO, engl. *Hydrofluoroolefin*)
- Ugljikovodici (HC, engl. *Hydrocarbons*).

Klorfluorugljikovodici (CFC) razvijeni su prije više od osamdeset godina te su prve halogene radne tvari. Osim što su korištene kao radne tvari, CFC-i su također korišteni kao sredstva za ekspaniranje za proizvodnju izolacijskih materijala i pakiranja. CFC-i se sastoje od klora, fluora i ugljika. Dvije popularne CFC radne tvari su R-11 i R-12. CFC-i imaju visok ODP i jedan su od glavnih uzroka smanjenja ozonskog sloja. Zbog međunarodnog sporazuma, nisu se proizvodili u razvijenim zemljama od kraja 1995. godine. Međutim, CFC-i se još uvijek mogu pronaći u nekim klima uređajima i rashladnoj opremi proizvedenoj prije 1995. godine.

Hidrochlorofluorouglikovodici (HCFC) su radne tvari čije se molekule sastoje od vodika, klora, fluora i ugljika. HCFC molekule uključuju halogene u kombinaciji s metanom ( $\text{CH}_4$ ) ili etanom ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ). Primjeri HCFC radnih tvari su R-22 i R-123. Studije su pokazale da HCFC-i i određene mješavine radnih tvari imaju manji utjecaj na ozonski omotač u usporedbi s potpuno halogeniranim CFC-ima. CFC-i se smatraju potpuno halogeniranim jer su svi atomi vodika u izvornoj molekuli metana ili etana zamijenjeni halogenima, kao što su klor i fluor. Nasuprot tome, HCFC-i se smatraju djelomično halogeniranim jer nisu svi atomi vodika zamijenjeni klorom i fluorom kao što je prikazano na slici 3.3. Kao rezultat toga, HCFC-i imaju tendenciju razgradnje u donjem dijelu atmosfere i uzrokuju manje oštećenje ozonskog omotača od CFC-a.



**Slika 3.3.** Struktura molekula CFC, HCFC i HFC radnih tvari [35].

Hidrofluorouglikovodici (HFC) su radne tvari koje sadrže vodik, fluor i ugljik. Za razliku od CFC- a i HCFC-a, HFC-i ne sadrže atome klora. Smatra se da HFC-i imaju nulti ODP. HCFC-i i HFC-i su djelomično halogenirani, ali HFC-i imaju niži ODP jer ne sadrže atome klora kao što je prikazano na slici 3.3. To ih čini prikladnim zamjenama za radne tvari koje oštećuju ozon. Primjeri HFC radnih tvari uključuju R-32, R-410A, R-134a, R-152a i R-404A. Iako HFC-i imaju nulti ODP, neki od njih i dalje imaju visok GWP i počinju se zamjenjivati raznim alternativama s nižim GWP-om, poput ugljičnog dioksida, ugljikovodika i fluoroolefina (HFO). HFO-i su slični HFC-ima jer sadrže vodik, fluor i ugljik, ali imaju nešto drugačiju kemijsku strukturu.

Mješavine radnih tvari su kombinacije dvaju ili više postojećih radnih tvari. Na temelju svojih termodinamičkih svojstava, dijele se na azeotrope, zeotrope i skoro azeotrope. Mješavine spadaju u iste kemijske klasifikacije kao i pojedinačne tvari od kojih su napravljene. Ako mješavina sadrži CFC, klasificira se kao CFC. Ako mješavina sadrži HFC i HCFC, ali ne i CFC, tada je HCFC. Ako mješavina sadrži samo HFC, tada je klasificirana kao HFC. Na primjer, R-500 se sastoji od R-12

(CFC) i R-152a (HFC), pa se smatra CFC-om. Uobičajene radne tvari koje se često miješaju uključuju R-12, R-22 i R-134a. Kako se oprema sve više dizajnira za ekološki prihvatljivije radne tvari, mješavine koje sadrže radne tvari koje su postupno ukinuta, poput R-12 i R-22, smatraju se privremenim rješenjima zbog visokog GWP-a ili ODP-a.

Azeotropi su mješavine radnih tvari koje reagiraju na promjene tlaka i temperature poput jedinstvene radne tvari, s fiksnim točkama ključanja i kondenzacije. Azeotrop održava dosljedna svojstva tijekom svih radnih uvjeta. Pri atmosferskom tlaku, pojedinačne radne tvari neće se odvojiti dok se smjesa isparava ili kondenzira.

Zeotropi su mješavine radnih tvari gdje svaka pojedina radna tvar koja čini mješavinu reagira različito ovisno o uvjetima, temeljeći se na svojim individualnim karakteristikama. Zeotropna mješavina djeluje unutar raspona točaka ključanja i kondenzacije koje odgovaraju rasponu njenih pojedinačnih radnih tvari i postotku smjese koju svaka radna tvar čini.

Skoro-azeotropi reagiraju slično zeotropima, ali unutar manjeg raspona točaka ključanja i kondenzacije. Tehnički su zeotropi, ali omogućavanje njihove vlastite kategorije pomaže u točnijem razlikovanju.

Hidrofluoroolefini (HFO) su novija kategorija radnih tvari. Oni se sastoje od vodika, fluora i ugljika, ali imaju najmanje jednu dvostruku vezu između atoma ugljika. Iako su HFO tehnički skupina HFC-a, izrađuju se od olefina, a ne od alkana (parafina). HFO imaju nulti ODP i vrlo niske GWP vrijednosti. Neki od njih počinju se koristiti u sustavima klimatizacije automobila. Dvije najpopularnije HFO radne tvari su HFO-1234yf i HFO-1234ze. Oni imaju nisku toksičnost, ali su blago zapaljivi. HFO-1234yf se koristi kao zamjena za R-134a s niskim GWP-om u mobilnim klimatizacijskim sustavima u automobilskim primjenama u Europi i Sjedinjenim Državama. HFO-1234ze je dizajniran za zamjenu R-410A u stambenim i lakim komercijalnim uređajima za klimatizaciju i dizalice topline.

Ugljikovodici (HC) su organske tvari koje sadrže ugljik i vodik. Ove tvari su sastojci nafte i prirodnog plina. Često su poznati po svojoj upotrebi kao gorivo te u proizvodnji plastike, otapala i industrijskih kemikalija. Ugljikovodici se također mogu koristiti kao radne tvari. Čisti ugljikovodici imaju nulti ODP i nizak GWP u usporedbi s CFC-ima, HCFC-ima i HFC-ima. HC-ovi također imaju bolju energetska učinkovitost od HFC-ova. HC radne tvari imaju ASHRAE sigurnosnu klasifikaciju A3, što znači da imaju nisku toksičnost, ali visoku zapaljivost [35].

Prema Europskoj uredbi CE 517/2014, propisana je zamjena fluoriniranih radnih tvari, poput R-410A, s novim radnim tvarima kao što je R-32, koje imaju znatno manji učinak na globalne klimatske promjene. Cilj ove uredbe je smanjenje potrošnje HFC-a kako bi se smanjio utjecaj na globalne klimatske promjene i spriječili nepoželjni klimatski učinci.

Ova uredba obuhvaća vlasnike ili korisnike uređaja, servisere rashladnih i klimatizacijskih sustava, protupožarnih uređaja, kao i krajnje korisnike (građane). Normativnim rješenjem predviđa se smanjenje potrošnje ovih radnih tvari za 70% do 2030. godine [36].

R-32 je fluorougljik bez klora, siguran za ozonski omotač, s vrelištem od  $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$ . R-32 je sastavni dio R-410A, mješavine radne tvari koja se široko koristi u razvijenim zemljama kao glavna zamjena za HCFC-22, radnu tvar koja šteti ozonskom omotaču. Međutim, R-410A ima visok potencijal globalnog zagrijavanja (GWP) od 2088, što stvara potrebu za novom radnom tvari s nižim GWP-om kako bi se ublažile klimatske promjene.

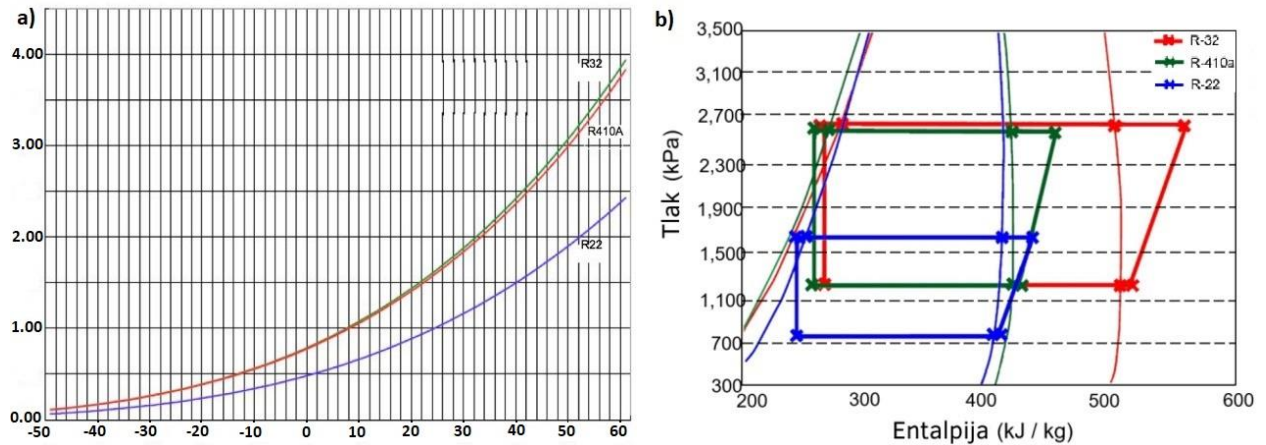
R-32 ima GWP otprilike jednu trećinu GWP-a R-410A kao što je prikazano na slici 3.4. i izvrsna svojstva kao radna tvar. Stoga je razvijena tehnologija koja ga koristi kao alternativna radna tvar za zamjenu R-410A. Posebno u sektoru klima uređaja, teško je odabrati alternativnu radnu tvar. Iako su predložene radne tvari s niskim GWP-om, poput prirodnih radnih tvari, različiti problemi moraju biti riješeni prije njihove praktične primjene.



**Slika 3.4.** Vrijednosti za stogodišnji potencijal globalnog zagrijavanja [37].

R-32 je gotovo netoksična, kemijski stabilna tvar koja je lako dostupna jer se komercijalno proizvodi. R-32 se može koristiti uz proširenje postojeće tehnologije jer ima sličan tlak kao R-410A i može osigurati izvrsnu energetska učinkovitost opreme. Sva ova svojstva čine R-32 obećavajućim izborom za sada. R-32 kao jednodijelna radna tvar privlači pažnju ne samo kao alternativa R-410A u razvijenim zemljama, već i kao alternativa HCFC-22 u zemljama u razvoju [37].

R-32 i R-410A imaju vrlo sličan radni tlak uslijed promjene temperature za razliku od R22 koji uslijed promjene temperature ima niže vrijednosti radnog tlaka što je vidljivo iz slike 3.5. a). R-32 ima veću mogućnost izmjene topline nego R410A i R22 kao što je vidljivo iz slike 3.5. b). Kao rezultat toga, R-32 ima 60% veći kapacitet nego R410A. Razlog tomu je što R-32 može raditi pri višim razinama entalpije i tlaka, što omogućuje veći kapacitet i učinkovitiju izmjenu topline [36].



**Slika 3.5.** Prikaz: a) dijagrama tlak-temperatura za radne tvari R-32, R-410A i R-22; b) dijagrama tlak-entalpija za radne tvari R-32, R-410A i R-22 [36].

R-32 pruža vrhunske performanse u kapacitetu hlađenja i grijanja te energetske učinkovitosti kao što je vidljivo iz tablice 3.1. U usporedbi s R-410A, volumetrijski kapacitet R-32 je otprilike 15% veći, kao i njegov koeficijent učinkovitosti (COP, engl. *Coefficient of Performance*) koji je oko 6% veći. To znači da, s obzirom na problem klimatskih promjena, može doprinijeti smanjenju neizravnog utjecaja opreme na emisiju CO<sub>2</sub>. Međutim, temperatura ispusnog plina kod R-32 je oko 20 °C viša, što je svojstvo koje se mora uzeti u obzir pri projektiranju opreme [38].



**Tablica 3.1.** Usporedne karakteristike radnih tvari R-32, R-410A i R-22 [38].

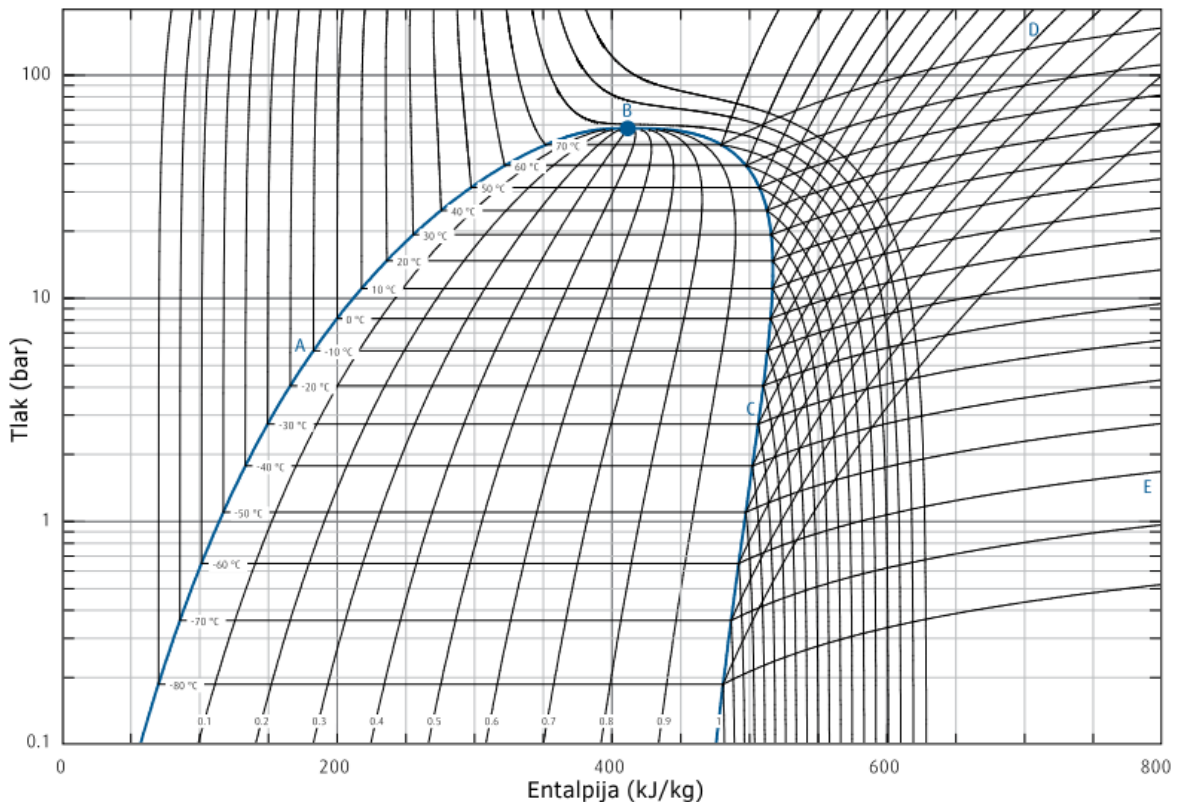
			R-32	R-410A	R-22
Tlak isparivača		MPa	0,81	0,80	0,50
Tlak kondenzatora		MPa	3,14	3,07	1,94
Klizanje u isparivaču		°C	-	0,11	-
Temperatura ispusnog plina		°C	106	83	88
Hlađenje	COP		2,75	2,57	2,90
	Kapacitet	kJ/m <sup>3</sup>	4812	4150	3010
Grijanje	COP		3,75	3,57	3,90
	Kapacitet	kJ/m <sup>3</sup>	6562	5764	4049

R-32 pripada kategoriji blago zapaljivih radnih tvari A2L, koja predstavlja najmanji rizik među zapaljivim kategorijama. Kategorija A2L označava da je brzina gorenja manja od 10 cm u sekundi, što znači da se plamen teško širi horizontalno. Također, A2L nije eksplozivna kategorija jer se plamen širi prema točki paljenja, a ne naglo u svim smjerovima. Iako je R-32 zapaljiv, rizik je minimalan i javlja se samo u specifičnim uvjetima kada se spoje određena koncentracija plina i energija paljenja. U normalnim uvjetima rada, uz odgovarajuću opremu, nema razloga za zabrinutost [36].

Dijagram tlaka i entalpije za radnu tvar R-32 prikazan je na slici 3.6. Dijagram tlaka i entalpije koristi se za analizu termodinamičkih svojstava radnih tvari u različitim uvjetima. Na dijagramu su prikazane sljedeće značajke:

- A - Zasićena linija tekućine
- B - Kritična točka
- C - Zasićena linija pare
- D - Entropijske linije pare
- E - Linije volumena pare.

Unutar dijagrama nalaze se izotermne linije koje prikazuju temperaturu u °C. Različiti dijelovi dijagrama omogućuju inženjerima i tehničarima da analiziraju promjene stanja R-32 pod različitim uvjetima tlaka i temperature, što je ključno za ispitivanje tlaka, procjenu performansi, sigurnosne provjere i optimizaciju rashladnih sustava [39].



Slika 3.6. Dijagram tlak-entalpija radne tvari R-32 [39].

### 3.3. Ekološki pokazatelji radne tvari

Tri glavna pokazatelja razvijena su diljem svijeta za procjenu utjecaja radnih tvari na okoliš. Ove indekse je 1987. godine uveo Montrealski protokol. Koriste se kao ljestvice za usporedbu različitih standarda.

Potencijal oštećenja ozona (ODP, engl. *Ozone Depletion Potential*) je mjera koliko radna tvar oštećuje ozonski omotač u usporedbi sa standardnom radnom tvari, triklorofluorometanom (CFC-11), koje je prihvaćeno kao globalni standard s vrijednošću ODP = 1. Veća vrijednost ODP radne tvari znači veći utjecaj na oštećenje ozonskog omotača, što predstavlja ozbiljan problem za zemlje diljem svijeta jer narušava njihove klimatske uvjete.

Globalni potencijal zagrijavanja (GWP, engl. *Global Warming Potential*) je mjera koja uspoređuje količinu topline koju zarobi ili apsorbira određena masa radne tvari prisutne u gornjoj atmosferi s količinom koju zarobi ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>) iste mase. Parametarska vrijednost dobivena ovom usporedbom daje GWP te radne tvari. U osnovi, GWP za CO<sub>2</sub> je postavljen na 1. Ova usporedba se provodi za dogovoreni vremenski interval koji može biti nekoliko desetljeća, na primjer, 30, 60 ili 100 godina. Što je veća vrijednost GWP radne tvari u usporedbi s 1, to je veći njen doprinos globalnom zagrijavanju.

Ukupni ekvivalentni učinak zagrijavanja (TEWI, engl. *Total Equivalent Warming Impact*) uzima u obzir globalni potencijal zagrijavanja rashladnog sustava tijekom njegovog životnog vijeka, uključujući količinu zračenja koje napušta sustav zbog odabrane radne tvari, kao i energiju potrebnu za rad sustava [8]. TEWI procjenjuje ukupni doprinos rashladnog sustava globalnom zagrijavanju, uključujući direktne emisije radnih tvari i indirektno emisije od potrošnje energije. Ukupni ekvivalentni utjecaj zagrijavanja prikazan je izrazom (3-1) [40].

$$\text{TEWI} = (\text{GWP} \cdot L \cdot n) + (\text{GWP} \cdot m[1 - C]) + n \cdot E \cdot \beta \quad (3-1)$$

Gdje je:

- GWP – globalni potencijal zagrijavanja radne tvari u odnosu na CO<sub>2</sub> (GWP CO<sub>2</sub>=1)
- L – godišnje curenje radne tvari [kg]
- n – radni vijek sustava izražen u godinama
- m – količina radne tvari [kg]
- C – punjenje radne tvari [kg]
- E – godišnja potrošnja energije [kWh]
- β – faktor indirektnih emisija [kgCO<sub>2</sub>/kWh].

## **4. UTJECAJ SUSTAVA KLIMATIZACIJE NA OKOLIŠ**

Potreba za hlađenjem prostorija i proizvoda raste, potaknuta sve višim temperaturama, ekonomskim razvojem, porastom broja stanovnika i urbanizacijom. Predviđa se da će se do 2050. godine broj dana koji zahtijevaju hlađenje povećati za 25%, s najvećim porastom u toplijim regijama. U urbanim sredinama, gdje efekt urbanog toplinskog otoka dodatno povećava temperature, potreba za hlađenjem postaje još izraženija. Kapaciteti za hlađenje pokvarljivih proizvoda također su se znatno povećali i očekuje se njihov daljnji rast, osobito u zemljama u razvoju.

Iako usluge hlađenja donose brojne društvene prednosti, njihov utjecaj na okoliš je značajan. Osim velike potrošnje energije, koriste radne tvari s visokim globalnim potencijalom zagrijavanja (GWP). Energija za rashladne uređaje često dolazi iz fosilnih goriva, što dodatno povećava ugljične emisije. U 2018. godini, sektor hlađenja trošio je oko 17% svjetske električne energije, s najvećim dijelom potrošnje unutar stambenog sektora. Hlađenje prostorija trošilo je oko 2000 TWh godišnje, što je rezultiralo emisijom od 1135 Mt CO<sub>2</sub> u 2016. godini, trostruko više nego 1990. godine. Očekuje se da će potreba za električnom energijom za hlađenje do 2050. godine porasti tri puta u odnosu na današnje razine [41].

### **4.1. Utjecaj klimatizacije na atmosferu**

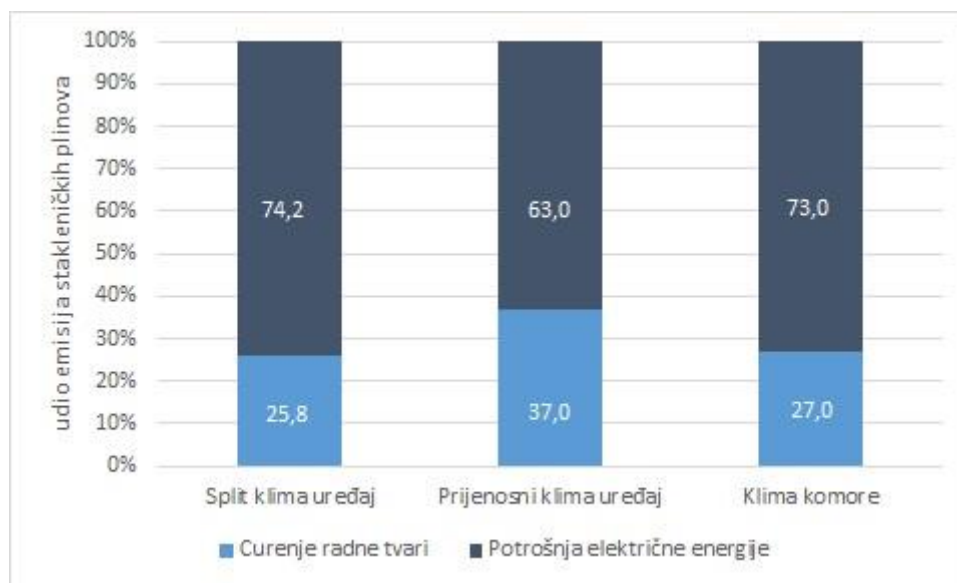
Kada se govori o emisijama stakleničkih plinova unutar sektora hlađenja, ključno je uspostaviti razliku između ukupnih emisija stakleničkih plinova, onih koje proizlaze iz oslobađanja radnih tvari u atmosferu koje se smatraju direktnim emisijama, te emisija nastalih zbog potrošnje energije, odnosno indirektnih emisija. Ukupne emisije stakleničkih plinova predstavljaju zbroj emisija dobivenih oslobađanjem radnih tvari te onih koje su posljedica upotrebe energije [41].

Iako je sprječavanje curenja radnih tvari osnovni temelj kvalitetnog dizajniranja, servisiranja i održavanja rashladnog sustava, pozornost usmjerena na minimiziranje curenja preusmjerila se ka procjeni financijskih i ekoloških troškova curenja. Curenje radne tvari financijski utječe na rashladne sustave i operativno poslovanje, uključujući:

- Gubitak radne tvari te povezani troškovi njene zamjene.
- Radni troškovi povezani s lociranjem i popravkom curenja, kao i s dopunom radne tvari.
- Povećani operativni troškovi sustava uzrokovani smanjenom količinom radne tvari.

Razlog tomu je da učinkovitost sustava zavisi od razine napunjenosti radne tvari u sustavu, te sustav koji nije adekvatno napunjen može potrošiti znatno više energije u usporedbi s onim koji je optimizirano napunjen [42].

Curenje radne tvari može se javiti u svim fazama upotrebe opreme za hlađenje, tijekom redovnog rada, pri montaži, popravcima, kao i na kraju životnog vijeka prilikom recikliranja. Prema prikazu na slici 4.1., curenje radne tvari doprinosi značajnom udjelu emisija stakleničkih plinova u sektoru hlađenja prostora. Konkretno, za split klima uređaje, curenje radne tvari čini 25,8% emisija. Kod prijenosnih klima uređaja, curenje radne tvari čini 37,0% emisija dok u slučaju klima komora, curenje radne tvari čini 27,0% emisija.



**Slika 4.1.** Postotak emisija stakleničkih plinova uslijed curenja radne tvari i potrošnje električne energije [41].

Trenutne i buduće procjene emisija iz potrošnje energije za hlađenje ukazuju na značajan ekološki utjecaj. Prema Međunarodnom institutu za hlađenje (IIR, engl. *International Institute of Refrigeration*), sektor hlađenja koristi oko 17% globalne električne energije, dok klima uređaji i ventilatori troše 10% svjetske električne energije. Većina emisija stakleničkih plinova u sektoru hlađenja proizlazi iz potrošnje energije, s oko 65% svjetske električne energije proizvedene iz fosilnih goriva.

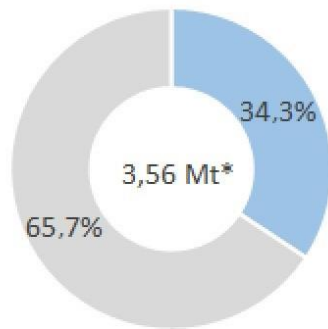
Svjetska potrošnja energije za hlađenje iznosi u prosjeku 440 kWh po osobi godišnje. Predviđa se da bi usluge hlađenja mogle doprinijeti povećanju globalne temperature za više od 0,5 °C do kraja 2100. godine. U zgradama, gotovo 20% električne energije koristi se za hlađenje. Bez poboljšanja energetske učinkovitosti klima uređaja, očekivani porast broja klima uređaja mogao bi rezultirati

emisijama između 230 i 430 GtCO<sub>2</sub> od 2020. do 2050. godine, ne računajući emisije iz klimatizacijskih sustava u vozilima.

Hlađenje prostorija značajno utječe na okoliš, posebno zbog vršne potražnje za električnom energijom u popodnevnim satima. To dodatno opterećuje električnu mrežu i povećava emisije stakleničkih plinova. U 2016. godini, hlađenje prostorija činilo je oko 14% ukupne vršne potražnje za električnom energijom [41].

Na slici 4.2. imamo prikaz situacije za Hrvatsku. Grafikon na slici 4.2. a) prikazuje postotni udio između izravnih emisija (34,3%) i neizravnih emisija (65,7%), s ukupno 3,56 Mt ekvivalenata CO<sub>2</sub>. Pored grafikona nalazi se tablica koja navodi da je iznos direktnih emisija za 2024. godinu 1,22 Mt ekvivalenata CO<sub>2</sub>, a neizravnih emisija 2,4 Mt ekvivalenata CO<sub>2</sub>. Linijski graf na slici 4.2. b) nam prikazuje tri različita scenarija projicirana od 2000. do 2048. godine, mjenjenih u Mt ekvivalenata CO<sub>2</sub>. Zeleni graf nam predstavlja Kigali implementacijski plan KIP (engl. *Kigali implementation plan*), svjetlo plavi graf nam predstavlja scenarij ublažavanja MIT (engl. *Mitigation scenario*), a tamno plavi graf nam predstavlja poslovanje po ustaljenom BAU (engl. *Business-as-usual*). Iz grafa možemo primijetiti da vrijednosti od 2000. do 2020. godine rastu te su jednake vrijednosti. Nakon 2020. godine KIP i MIT se smanjuju s vremenom, a BAU je nastavio s rastom do 2028. godine nakon koje se također smanjuje s vremenom.

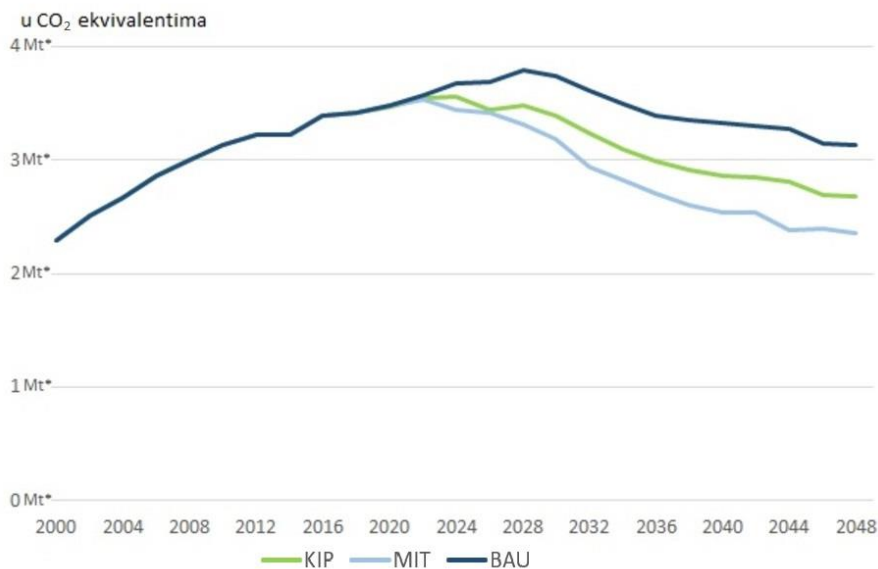
a)



Mt ekvivalenata CO <sub>2</sub>	2024
Izravne emisije	1,22
Neizravne emisije	2,34
<b>Ukupne emisije</b>	<b>3,56</b>

■ Izravne emisije ■ Neizravne emisije

b)



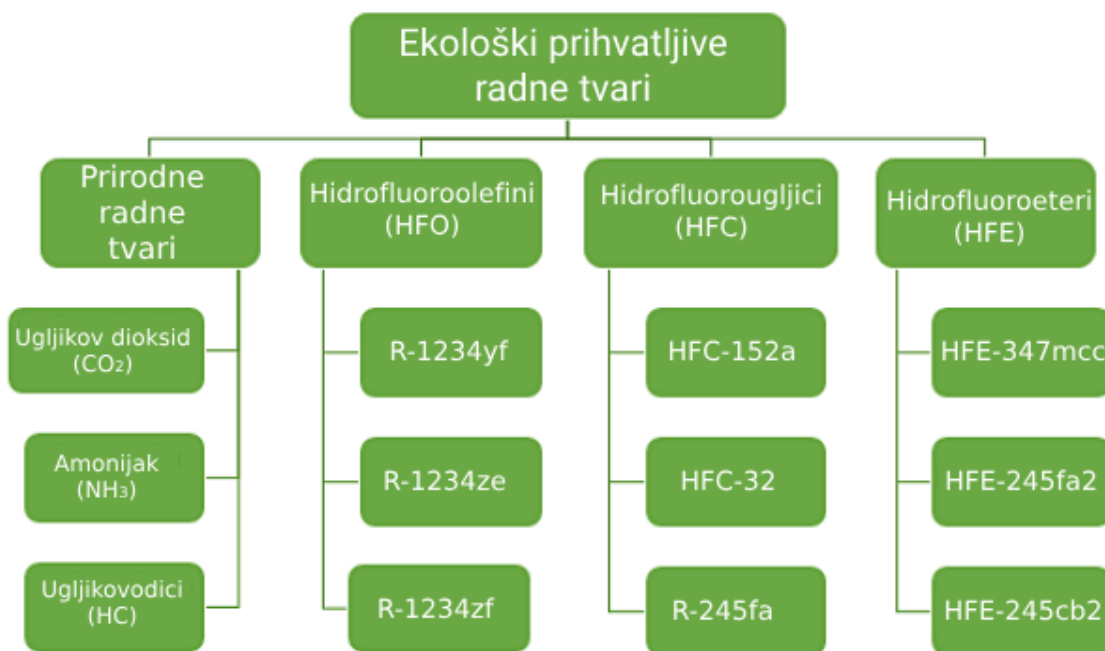
**Slika 4.2.** a) Neizravne i izravne emisije za 2024. godinu u Hrvatskoj; b) Linijski graf za tri različita scenarija projicirana od 2000. do 2048. godine za Hrvatsku [43].

## 4.2. Ekološki prihvatljive radne tvari

Kako je opisano u poglavlju 3.4., potencijal oštećenja ozonskog sloja (ODP) predstavlja mjerilo koje ukazuje na sposobnost određene tvari da doprinosi oštećenju ozonskog omotača. Klorofluorouglicji (CFC) i hidroklorofluorouglicji (HCFC) su dvije uobičajene radne tvari koje su identificirana kao primarni uzročnici oštećenja ozonskog sloja. Atomi klora, koji su sastavni dio CFC-a, oslobađaju se u stratosferu nakon što dospiju u visoke slojeve atmosfere. Ovi atomi klora zatim katalitički uništavaju ozonske molekule, što dovodi do oslabljenja ozonskog omotača. HCFC-i također mogu oštetiti ozonski sloj, ali su manje štetni u usporedbi s CFC-ima zahvaljujući svojoj strukturi koja uključuje atome klora i fluora, ali u manjim količinama. Tradicionalne radne

tvori također imaju visoke GWP vrijednosti. Za razliku od ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ), koji ima relativno nizak globalni potencijal zagrijavanja (GWP) u određenom vremenskom razdoblju, CFC-12, često korišten u starijim rashladnim sustavima, ima GWP od 10900. Ova vrijednost ukazuje na njegov značajan doprinos globalnom zagrijavanju. Iako imaju niže GWP vrijednosti u odnosu na CFC-12, hidroklorofluorouglicji (HCFC), poput HCFC-22 koji ima GWP od 1810, također znatno doprinosi globalnom zagrijavanju. Ove visoke vrijednosti GWP naglašavaju važnost razvoja alternativnih radnih tvari s nižim potencijalom globalnog zagrijavanja kako bi se smanjio njihov negativni utjecaj na klimatske promjene.

Prirodne radne tvari su postale izuzetno popularne kao sigurne alternative tradicionalnim radnim tvarima. Oni se ističu zbog svog minimalnog globalnog potencijala zagrijavanja i svojstava koja ne štete ozonskom omotaču, uz minimalan ili nikakav negativan utjecaj na okoliš. Amonijak ( $\text{NH}_3$ ), ugljikovodici (HC) i ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) su tri često korištene prirodne radne tvari koje pružaju efikasno hlađenje uz poštivanje ekoloških standarda. Na slici 4.3. se nalazi prikaz ekološki prihvatljivih radnih tvari.



**Slika 4.3.** Ekološki prihvatljive radne tvari [9].

Ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) koristi se kao radna tvar zbog svoje nulte GWP ocjene, što ga čini ekološki prihvatljivim izborom. Iako  $\text{CO}_2$  sustavi rade pod većim tlakovima, tehnološki napredak poboljšao je njihovu učinkovitost i održivost.  $\text{CO}_2$  je siguran, jeftin, netoksičan i nezapaljiv, čime se dodatno povećava njegova održivost u industriji.



Amonijak ( $\text{NH}_3$ ) je još jedna prirodna radna tvar s izvanrednim termodinamičkim svojstvima i nultim GWP-om. Iznimno je energetske učinkovit i ima velike mogućnosti prijenosa topline, no njegova toksičnost zahtijeva pažljivo rukovanje i primjenu sigurnosnih mjera.

Ugljikovodici poput propana (R-290) i izobutana (R-600a) također su prirodne radne tvari s niskim GWP-om. Često se koriste u malim kućanskim rashladnim sustavima i komercijalnoj opremi zbog energetske učinkovitosti i dobrih termodinamičkih karakteristika. Međutim, zbog njihove zapaljivosti potrebne su posebne sigurnosne mjere.

Hidrofluoroolefini (HFO) su nova kategorija radnih tvari s niskim GWP-om i snažnim termodinamičkim karakteristikama. Razvijeni su kako bi smanjili emisije stakleničkih plinova i usporili klimatske promjene, pružajući ravnotežu između performansi i ekološkog utjecaja.

Hidrofluorouglicji (HFC) su razvijeni kao zamjena za spojeve poput CFC-a i HCFC-a. Iako ne oštećuju ozon, imaju značajan GWP i pridonose klimatskim promjenama. Zamjenske radne tvari s niskim GWP-om, poput HFC-32 i HFC-152a, nude smanjenje GWP-a uz zadržavanje visoke učinkovitosti hlađenja.

Hidrofluoroeteri (HFE, engl. *Hidrofluoroeteri*) su sintetičke radne tvari s nultim ODP-om i niskim do umjerenim GWP-om. Nezapaljivi su i imaju dobru toplinsku stabilnost, koriste se kao otapala, sredstva za ekspanziju i tekućine za prijenos topline, ali mogu se primijeniti i kao radne tvari u aplikacijama s niskim temperaturama [9].

## 5. TEHNOLOGIJE SPLIT KLIMA UREĐAJA I PRAVILA UGRADNJE

Pravni okvir koji regulira postavljanje i upotrebu split klima uređaja varira ovisno o lokalnim i nacionalnim zakonodavstvima. Zakonske odredbe su osmišljene da osiguraju sigurnost, energetske učinkovitost te minimiziranje ekološkog utjecaja ovih uređaja. Poznavanje ovih pravila neophodno je za pravilno postavljanje i održavanje sustava, osiguravajući njihovu dugotrajnost i efikasnost.

Učinkovit rad split klima uređaja ovisi o nizu komponenata koje omogućuju promjenu stanja i upravljanje tlakom radne tvari. Split klima uređaji funkcioniraju prema principu izmjene topline, koristeći različite vrste unutarnjih i vanjskih jedinica za optimalno hlađenje i grijanje prostora. Kompresori igraju ključnu ulogu u radu klima uređaja, pridonoseći njihovoj učinkovitosti i pouzdanosti svojim specifičnim karakteristikama. Kondenzatori su također ključni elementi u rashladnom ciklusu. Oni osiguravaju odbacivanje topline apsorbirane iz prostora, omogućujući učinkovit prijenos topline i stabilan rad sustava.

Split klima uređaji predstavljaju ključnu tehnologiju u modernom upravljanju klimom u prostorima, kombinirajući efikasnost hlađenja s mogućnošću grijanja kroz funkcionalnost dizalica topline. Ova dualna sposobnost omogućava im da djeluju u različitim klimatskim uvjetima, pružajući konstantnu udobnost tijekom cijele godine.

### 5.1. Pokazatelji energetske učinkovitosti klima uređaja

Razumijevanje ključnih pokazatelja energetske učinkovitosti ključno je za evaluaciju i unaprjeđenje rashladnih sustava. Ti pokazatelji omogućavaju proizvođačima i korisnicima usporedbu efikasnosti i potrošnje energije rashladnih uređaja [27].

Nazivni faktor hlađenja ( $EER_{rated}$ , engl. *Energy Efficiency Ratio*) prikazan izrazom (5-1) predstavlja omjer između nazivnog učinka hlađenja i nazivne priključne električne snage za hlađenje.

$$EER_{rated} = \frac{\text{Nazivni učinak hlađenja}}{\text{Nazivna priključna električna snaga za hlađenja}} \quad (5-1)$$

Gdje je:

- Nazivni učinak hlađenja izražen u [kW]
- Nazivna priključna električna snaga za hlađenje izražena u [kW]
- $EER_{rated}$  – nazivni faktor hlađenja.

Nazivni faktor grijanja ( $COP_{\text{rated}}$ , engl. *Coefficient of Performance*) prikazan izrazom (5-2) predstavlja omjer između nazivnog učinka grijanja i nazivne priključne električne snage za grijanje.

$$COP_{\text{rated}} = \frac{\text{Nazivni učinak grijanja}}{\text{Nazivna priključna električna snaga za grijanje}} \quad (5-2)$$

Gdje je:

- Nazivni učinak grijanja izražen u [kW]
- Nazivna priključna električna snaga za grijanje izražena u [kW]
- $COP_{\text{rated}}$  – nazivni faktor grijanja.

Sezonski faktor hlađenja (SEER, engl. *Seasonal Energy Efficiency Ratio*) odnosi se na ukupno vrijeme rada uređaja u sezoni hlađenja, a računa se kao omjer referentne godišnje potrebne energije za hlađenje i godišnje potrošnje električne energije za hlađenje te je prikazan izrazom (5-3).

$$SEER = \frac{\text{Referentna godišnja potrebna energija za hlađenje}}{\text{Godišnja potrošnja električne energije za hlađenje}} \quad (5-3)$$

Gdje je:

- Referentna godišnja potrebna energija za hlađenje izražena u [kWh/a]
- Godišnja potrošnja električne energije za hlađenje izražena u [kWh/a]
- SEER – sezonski faktor hlađenja.

Sezonski faktor grijanja (SCOP, engl. *Seasonal Coefficient of Performance*) odnosi se na ukupno vrijeme rada uređaja u sezoni grijanja, a računa se kao omjer referentne godišnje potrebne energije za grijanje i godišnje potrošnje električne energije za grijanje te je prikazan izrazom (5-4) [7].

$$SCOP = \frac{\text{Referentna godišnja potrebna energija za grijanje}}{\text{Godišnja potrošnja električne energije za grijanje}} \quad (5-4)$$

Gdje je:

- Referentna godišnja potrebna energija za grijanje izražena u [kWh/a]
- Godišnja potrošnja električne energije za grijanje izražena u [kWh/a]
- SEER – sezonski faktor grijanja.

Godišnja potrošnja energije prikazan izrazom (5-5) je pokazatelj koji prikazuje ukupnu količinu energije koju uređaj koristi unutar jedne godine, pružajući osnovu za izračunavanje troškova energije [27].

$$E_{god} = E_{dnev} \cdot N_{dana} \quad (5-5)$$

Gdje je:

- $E_{god}$  – godišnja potrošnja energije [kWh]
- $E_{dnev}$  – prosječna dnevna potrošnja energije [kWh]
- $N_{dana}$  – broj radnih dana u godini.

Iako Pravilnik o označavanju energetske učinkovitosti klima-uređaja (NN 48/13) više nije važeći s pravne strane, njegovi tehnički aspekti i dalje su korisni za razumijevanje i procjenu energetske učinkovitosti klima uređaja. U pravilniku su navedeni rasponi za SEER i SCOP ovisno o razredu energetske učinkovitosti klima uređaja. Najveći razred energetske učinkovitosti obuhvaća klima uređaje sa SEER vrijednostima većim ili jednakim 8,50 i SCOP vrijednostima većim ili jednakim 5,10. S druge strane, najmanji razred energetske učinkovitosti uključuje klima uređaje sa SEER vrijednostima manjim od 2,60 i SCOP vrijednostima manjim od 1,90 [7].

## 5.2. Izbor klima uređaja

Pri odabiru odgovarajućeg klima uređaja za određeni prostor ključno je uzeti u obzir omjer snage i učinkovitosti uređaja. Bolji omjer snage i učinkovitosti omogućava učinkovitije hlađenje ili grijanje prostora uz minimalne troškove. Za klima uređaje koji će se koristiti i za grijanje, preporučuje se odabir uređaja s oko 30% većom snagom nego što je potrebno za hlađenje.

Nekvalitetniji klima uređaji, čak i uz pravilan izbor, mogu imati poteškoće s učinkovitim grijanjem prostora pri vanjskim temperaturama oko ili ispod nule. Stoga je preporučljivo odabrati kvalitetnije klima uređaje, po mogućnosti one s inverterskom tehnologijom, koji mogu raditi pri vanjskim temperaturama do  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , trošeći pritom i do 40% manje električne energije u usporedbi sa standardnim uređajima.

Također je potrebno obratiti pozornost na potrošnju klima uređaja i njihovu energetska učinkovitost, označenu kao SEER i SCOP. Energetski razred klima uređaja postaje sve važniji faktor za kupce jer izravno utječe na potrošnju električne energije. Preporučuju se uređaji s višim energetska razredom (A++ ili A+++), jer omogućuju značajne godišnje uštede u usporedbi s prosječnim klima uređajima.

Sljedeći korak pri odabiru klima uređaja je izbor vrste odnosno tipa uređaja. Postoje različite vrste klima uređaja, uključujući split klime, koje se sastoje od unutarnje i vanjske jedinice. Split klime mogu biti mono ili multi sustavi. Mono split klima uređaji imaju jednu vanjsku i jednu unutarnju

jedinicu, dok multi split sustavi imaju jednu vanjsku jedinicu koja može biti povezana s do osam unutarnjih jedinica. Također, tu su i prijenosni (pokretni ili mobilni) klima uređaji koje su postale popularne zbog svoje praktičnosti. Ovi uređaji ne zahtijevaju montažu i mogu se lako premješati iz jedne prostorije u drugu.

Nakon odabira vrste odnosno tipa, ključno je uzeti u obzir veličinu i snagu (učin) klima uređaja. Pravilno odabrana snaga uređaja osigurava učinkovito hlađenje ili grijanje prostora bez nepotrebnog trošenja energije. Preveliki uređaji će se često uključivati i isključivati, što povećava potrošnju, dok preslabi uređaji neće moći učinkovito rashladiti ili zagrijati prostor.

Optimalna snaga klima uređaja za prosječno kućanstvo obično se kreće između 2,5 i 5 kW, pri čemu je najčešća snaga 3,5 kW, dok se tipičan raspon snage za stambene prostore kreće od 2,0 kW do 14,0 kW. Kako bi se odredila potrebna snaga, kvadraturu prostora treba podijeliti s deset, ali treba uzeti u obzir i dodatne faktore kao što su orijentacija, veličina i namjena prostora, kvaliteta izolacije, oslobođena toplina (osobe, rasvjetna tijela i kućanski aparati), broj osoba u prostoru, broj i kvaliteta prozora te koristi li se uređaj samo za hlađenje ili za hlađenje i grijanje.

Sljedeći korak prilikom odabira klima uređaja je izbor između inverterske i fix speed tehnologije. Inverterske klime koriste tehnologiju koja prilagođava brzinu kompresora prema potrebama, što omogućuje uštedu energije do 40% i pruža ujednačeniju temperaturu. S druge strane, fix speed klime rade samo punom snagom ili nikako, što rezultira većim temperaturnim amplitudama. Inverterske klime su skuplje, ali dugoročno isplativije za uređaje koji će raditi veći dio dana.

Klima uređaji osim osnovnih funkcija hlađenja, grijanja i filtracije, često nude i dodatne funkcije. Neki modeli imaju filtere koji pročišćavaju zrak od peludi, prašine i dima, te filtere za osvježavanje prostorija. Također, određeni uređaji dolaze s ionizatorima koji neutraliziraju negativne utjecaje magnetskog i električnog zračenja, dok pročišćavaju zrak.

Većina klima uređaja ima opciju odvlaživanja prostora i mogućnost vremenskog programiranja paljenja i gašenja. Napredniji modeli opremljeni su Wi-Fi upravljanjem koje omogućuje kontrolu s udaljene lokacije putem pametnog telefona ili računala. Također, imaju senzore prisutnosti koji prate kretanje osoba u prostoru, prilagođavajući rad uređaja kako bi se uštedjela energija i optimizirala temperatura [5, 6].

### **5.3. Pravila ugradnje klima uređaja**

Prilikom postavljanja klima uređaja, potrebno je pridržavati se nekoliko ključnih zakona kako bi se osigurala sigurnost, učinkovitost i ekološka prihvatljivost instalacije. Ovi zakoni definiraju

tehničke standarde, energetske zahtjeve, ekološke smjernice i kulturne zaštite koje moraju biti ispunjene.

Zakon o gradnji (NN 125/19) propisuje obveze vlasnika zgrada u vezi s pregledom i upravljanjem sustavima hlađenja i klimatizacije. Vlasnici zgrada dužni su osigurati redovite preglede dostupnih dijelova sustava hlađenja ili klimatizacije, odnosno kombiniranih sustava klimatizacije i ventilacije efektivne nazivne snage veće od 70 kW najmanje jednom u deset godina. Također, vlasnici nestambenih zgrada s efektivnom nazivnom snagom sustava grijanja, ventilacije, hlađenja ili klimatizacije većom od 290 kW moraju opremiti zgrade sustavima automatizacije i upravljanja. Energetsko certificiranje, energetski pregled zgrade i redoviti pregled sustava grijanja i hlađenja provode ovlaštene osobe koje imaju dozvolu Ministarstva [14].

Zakon o energetske učinkovitosti (NN 41/21) propisuje obveze i definicije vezane uz energetske obnovu zgrada te tehničke sustave koji uključuju opremu za hlađenje i klimatizaciju. Energetska obnova zgrade podrazumijeva primjenu mjera energetske učinkovitosti s ciljem poboljšanja energetske svojstva zgrade ili njezina dijela. Ove mjere uključuju energetski pregled i certificiranje zgrade, izradu projektne dokumentacije kojom se dokazuje ušteda energije, te unapređenje tehničkih sustava zgrade koji obuhvaćaju opremu za grijanje, hlađenje, ventilaciju i klimatizaciju. Ukupna korisna površina poda definira se kao površina poda zgrade ili dijela zgrade u kojoj se koristi energija radi postizanja određenih unutarnjih klimatskih uvjeta [15].

Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja (NN 127/19) propisuje obveze vezane uz servisiranje i održavanje rashladnih i klimatizacijskih uređaja, kao i kaznene odredbe za nepravilno obavljanje tih djelatnosti. Servisiranje obuhvaća djelatnosti prikupljanja, provjere propuštanja, ugradnje i održavanja rashladnih i klimatizacijskih uređaja, dizalica topline, nepokretnih protupožarnih sustava i aparata za gašenje požara koji sadržavaju kontrolirane tvari ili fluorirane stakleničke plinove. Novčanom kaznom u iznosu od 100.000,00 do 300.000,00 kuna kaznit će se pravna osoba koja obavlja te djelatnosti bez dozvole nadležnog tijela [16].

Zakon o komunalnom gospodarstvu (NN 68/18) regulira uređenje naselja i uspostavu komunalnog reda kroz odluke predstavničkih tijela jedinica lokalne samouprave. Odluka o komunalnom redu obuhvaća uređenje pročelja, okućnica i dvorišta zgrada u vlasništvu fizičkih ili pravnih osoba u dijelu koji je vidljiv površini javne namjene. Također, određuju se uvjeti za postavljanje tendi, reklama, plakata, spomen-ploča, klimatizacijskih uređaja, dimovodnih sustava, zajedničkih antenskih sustava i drugih uređaja na tim zgradama koji se grade bez građevinske dozvole i glavnog projekta [17].

Zakon o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara (NN 69/1999) postavlja temeljne odredbe za zaštitu kulturnih dobara kako bi se očuvala njihova povijesna, kulturna i estetska vrijednost. Svrha zaštite kulturnih dobara je sprječavanje svake radnje kojom bi se mogla promijeniti svojstva, oblik, značenje i izgled kulturnog dobra i time ugroziti njegova vrijednost. Ova zaštita obuhvaća sve intervencije na zgradama koje su zaštićene kao kulturna dobra, uključujući postavljanje tehničke opreme i uređaja. Time se osigurava da sve promjene, uključujući ugradnju uređaja za regulaciju klime, budu izvedene na način koji ne ugrožava povijesnu i kulturnu vrijednost zaštićenih dobara [18].

Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 138/21) promiče korištenje obnovljivih izvora energije, uključujući dizalice topline, kako bi se povećala energetska učinkovitost i smanjila emisija stakleničkih plinova. Korištenjem energije iz obnovljivih izvora energije ostvaruju se interesi Republike Hrvatske u području energetike, utvrđeni strateškim dokumentima energetske i klimatske politike, zakonima i drugim propisima, s ciljem ostvarenja nacionalnog cilja od najmanje 36,6% obnovljivih izvora energije u konačnoj bruto potrošnji energije do 2030. godine. Energija iz okoliša i geotermalna energija koja se upotrebljava za grijanje i hlađenje putem dizalica topline i sustava centraliziranog hlađenja uzima se u obzir za potrebe izračuna pod uvjetom da konačna proizvedena energija znatno premašuje primarni unos energije potrebne za pogon toplinske dizalice [19].

Osim pridržavanja zakonskih odredbi prilikom postavljanja klima uređaja, izuzetno je važno slijediti tehničke propise i norme koje definiraju specifične tehničke zahtjeve i standarde.

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 102/20) utvrđuje tehničke zahtjeve za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama, uključujući sustave grijanja, ventilacije, hlađenja, klimatizacije, pripreme potrošne tople vode i ugrađene rasvjete. Ovi zahtjevi trebaju se ispuniti prilikom projektiranja i građenja novih zgrada te tijekom uporabe zgrada koje se griju na unutarnju temperaturu višu od 12 °C. Izračunavaju se energetske potrebe za grijanje prostora, hlađenje prostora, ventilaciju i ugrađenu rasvjetu kako bi se optimizirali zahtjevi u pogledu zdravlja, kvalitete zraka u unutarnjem prostoru i udobnosti. Definiše se način izračuna energetske svojstva zgrade, minimalni obvezni udio obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji energije zgrade, kriteriji za zgrade gotovo nulte energije te zahtjevi za sustave u pogledu ukupnih energetske svojstva, ispravne ugradnje, odgovarajućeg dimenzioniranja, podešavanja i nadzora tehničkih sustava zgrade. Također se propisuju minimalni zahtjevi za energetska svojstva novih i postojećih zgrada kod kojih se provode rekonstrukcije i značajne

obnove. Dizalica topline definira se kao uređaj koji prenosi toplinu iz toplinskog spremnika niže temperaturne razine prema toplinskom spremniku više temperaturne razine, pri čemu toplinski spremnik može biti zrak, voda ili tlo. Norme povezane s postavljanjem klima uređaja iz ovog tehničkog propisa uključuju HRN EN 12831:2017, HRN EN 13779:2007, HRN EN 15251:2013, HRN EN 15316-1:2017 i HRN EN ISO 13790:2010 [20].

Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada (NN 03/07) određuje da tehnička svojstva sustava ventilacije s procesom grijanja zraka, sustava djelomične klimatizacije i sustava klimatizacije moraju biti takva da tijekom cijelog vijeka trajanja zgrade podnose sve uobičajene utjecaje uporabe i utjecaje okoliša. Sustavi moraju spriječiti širenje vatre i dima unutar zgrade te širenje vatre na susjedne građevine u slučaju požara. Uvjeti kvalitete zraka u zgradi moraju biti zadovoljeni, sprječavajući sakupljanje vlage u dijelovima zgrade ili na površinama unutar zgrade. Sigurnost korisnika mora biti osigurana dizajnom sustava kako bi se izbjegle moguće ozljede. Razina buke kao posljedica rada sustava mora biti na takvoj razini da ne ugrožava zdravlje, omogućava noćni mir te osigurava zadovoljavajuće uvjete za odmor i rad, a sustavi također moraju spriječiti širenje buke između pojedinih prostora u zgradi. Energetska učinkovitost i toplinski uvjeti moraju biti osigurani uz potrošnju energije jednaku ili nižu od one određene posebnim propisom. Norme povezane s postavljanjem klima uređaja iz ovog tehničkog propisa uključuju HRN EN 14511-1:2006, HRN EN 12831:2004, HRN EN 13779:2004, HRN EN ISO 7730:2003, HRN ENV 12102:2004, HRN EN 307:2004 [21].

Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada (NN 110/08) propisuje tehnička svojstva za sustave grijanja i hlađenja u zgradama, zahtjeve za projektiranje, izvođenje, uporabljivost i održavanje tih sustava. Sustav hlađenja definira se kao sustav koji služi za hlađenje zgrade, više prostorija ili samo jedne prostorije u zgradi. Sustavi hlađenja uključuju split sustave i sustavi promjenjivog volumena radne tvari, koji mogu koristiti vodu, etilenglikol-vodu ili ekološki prihvatljive ugljikovodike. Split sustavi hlađenja ili hlađenja/grijanja uključuju jednu vanjsku jedinicu i jednu ili više unutarnjih jedinica. Sustavi moraju imati tehnička svojstva koja omogućuju podnošenje svih uobičajenih utjecaja tijekom trajanja zgrade. Također, sustavi moraju spriječiti širenje vatre i dima unutar zgrade te zadovoljiti zadane temperaturne uvjete. Razina buke mora biti na razini koja ne ugrožava zdravlje i omogućava noćni mir. Održavanje sustava uključuje redovite i izvanredne preglede kako bi se osiguralo očuvanje tehničkih svojstava i ispunjenje zahtjeva određenih projektom zgrade i ovim propisom. Norme povezane s postavljanjem klima uređaja iz ovog tehničkog propisa uključuju HRN EN 14511-1:2006, HRN EN 12831:2004, HRN EN 13779:2004, HRN EN ISO 7730:2003, HRN ENV 12102:2004, HRN EN 307:2004 [22].



Prema normi Energetske značajke zgrada - Postupak ekonomske ocjene energetskih sustava u zgradama (EN 15459:2007) životni vijek klima uređaja bi trebao biti 15 godina te godišnje preventivno održavanje uključujući troškove rada, popravka i servisiranja u postotku početnog ulaganja bi trebalo biti 4% [44].

Zakonske odredbe za postavljanje vanjske jedinice klima uređaja razlikuju se ovisno o lokalnim samoupravama. Svaka općina ili grad može imati specifične odluke o komunalnom redu koje reguliraju postavljanje vanjske jedinice klima uređaja. U gradu Slavonski Brod vrijedi da klima jedinice, uključujući sve elemente potrebne za ugradnju i rad, moraju biti postavljene tako da nisu vidljive s javnih površina, odnosno s površina koje se koriste kao javne [23]. U Zagrebu se na vanjskim dijelovima zgrade vidljivim s javnih površina mogu držati cvijeće i ukrasno bilje, a iznimno, ako nema drugih prostornih mogućnosti, mogu se postaviti klimatizacijski uređaji [24]. U Vukovaru je postavljanje klima uređaja na vanjske dijelove zgrada koje su vidljive s javnih površina dopušteno samo uz suglasnost upravnog tijela nadležnog za komunalne poslove [25]. U Osijeku je dozvoljeno postavljanje tendi, reklama, klimatizacijskih uređaja, dimovodnih instalacija, zajedničkih antenskih sustava i drugih uređaja na zgradama i pripadajućim okućnicama u vlasništvu fizičkih i pravnih osoba, pod uvjetom da su vidljivi s javnih površina. Ovi uređaji mogu se postavljati na tim građevinama koje se prema posebnim propisima grade bez građevinske dozvole i glavnog projekta [26].

Povećanje energetske razreda zgrade ključno je za smanjenje potrošnje energije, troškova povezanih s potrošnjom energije te negativnog utjecaja na okoliš. Jedan od najučinkovitijih načina za postizanje višeg energetske razreda jest ugradnja sustava obnovljivih izvora energije. Ovi sustavi značajno doprinose smanjenju isporučene energije potrebne za rad zgrade, čime se direktno poboljšava njen energetske razred. Dizalice topline, posebno zrak-zrak sustavi, često su prvi izbor zbog svoje visoke učinkovitosti i relativno jednostavne ugradnje. One uzimaju toplinsku energiju iz okoline, koja se smatra obnovljivim izvorom energije, čime dodatno povećavaju energetske učinkovitost zgrade [45].

## **5.4. Spoj na mrežu i električna konfiguracija klima uređaja**

### **5.4.1. Spoj klima uređaja na elektroinstalaciju stambenog objekta**

U Hrvatskoj ne postoji izričiti pravilnik koji navodi da se klima uređaj mora spojiti na zaseban strujni krug. Međutim, opći zahtjevi i preporuke za električne instalacije nalaze se u Tehničkom propisu za niskonaponske električne instalacije (NN 5/2010) te međunarodnim standardima kao što su IEC 60364-5-52, koji se odnose na sigurnost i tehnička svojstva električnih instalacija.

Prema Tehničkom propisu za niskonaponske električne instalacije (NN 5/2010), instalacije moraju biti projektirane i izvedene na način koji osigurava sigurnost i funkcionalnost, ali ne postoji specifična odredba koja zahtijeva zaseban strujni krug za klima uređaje [46].

Međunarodni standardi, kao što je IEC 60364-5-52, preporučuju zasebne strujne krugove za uređaje veće snage kao što su klima uređaji kako bi se smanjio rizik od preopterećenja i osigurala sigurnost i učinkovitost instalacije. Ove preporuke su općenito prihvaćene kao dobra praksa, iako nisu specifično propisane u nacionalnom zakonodavstvu [47].

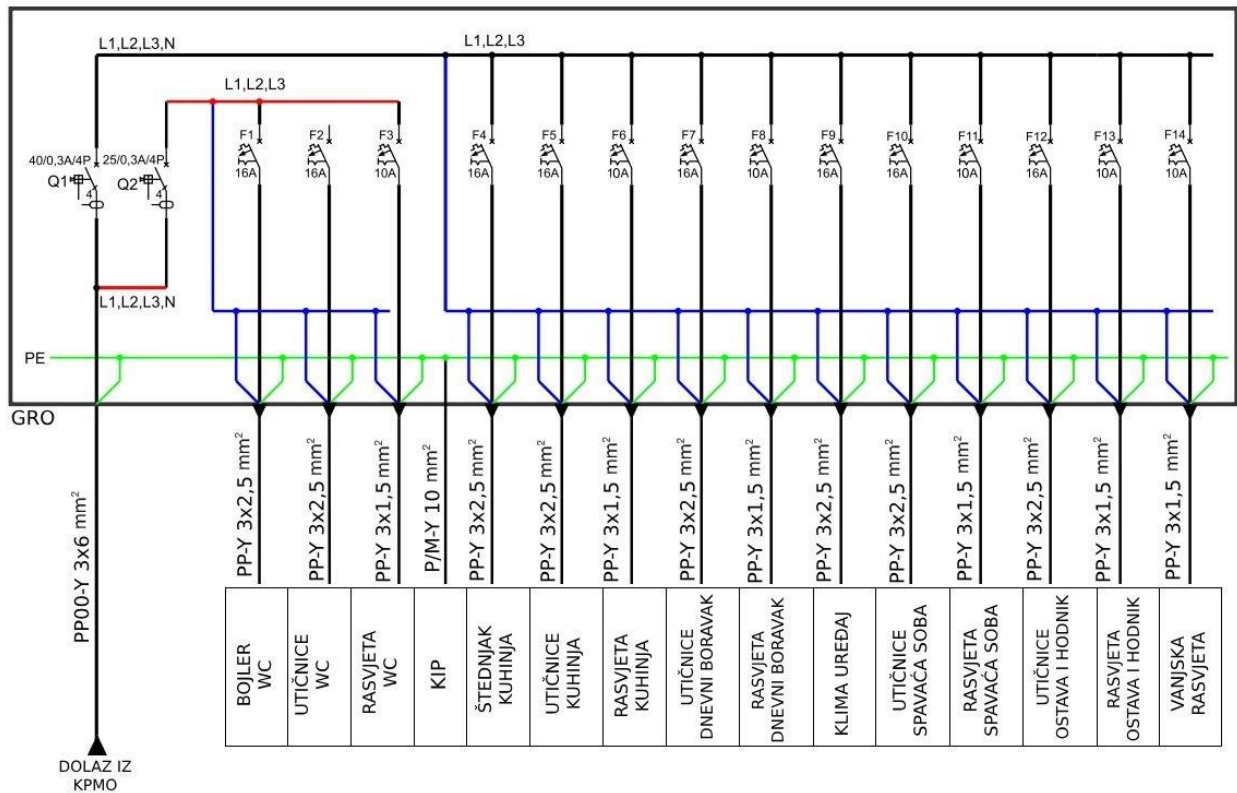
Za razliku od Hrvatske, u zemljama poput Sjedinjenih Američkih Država, Nacionalni električni kodeks (NEC, engl. *National Electrical Code*) prema članku 440. zahtijeva da klima uređaji budu spojeni na zaseban električni krug kako bi se osigurala adekvatna zaštita od preopterećenja i kratkog spoja [48].

Klima uređaj se može spojiti na postojeći strujni krug s drugim uređajima ako je slabije snage i ako elektroinstalacija zadovoljava tehničke uvjete. U novijim objektima, gdje su elektroinstalacije projektirane i izvedene prema suvremenim standardima, često je moguće sigurno spojiti klima uređaj na strujni krug s drugim uređajima, pod uvjetom da ukupna snaga ne prelazi kapacitet strujnog kruga.

Međutim, u starijim objektima, gdje specifikacije i presjeci vodova možda nisu poznati ili su nedovoljni za dodatna opterećenja, preporučuje se napraviti novi izvod za klima uređaj. To osigurava da elektroinstalacija može podnijeti dodatno opterećenje bez rizika od preopterećenja ili požara. Instalacija zasebnog strujnog kruga za klima uređaj u takvim slučajevima pruža veću sigurnost i dugoročnu pouzdanost sustava.

Prilikom projektiranja elektroinstalacija za stambeni objekt, neophodno je poznavati specifikacije klima uređaja. U fazi detaljnog projektiranja, projektant elektrotehnike mora dimenzionirati i odabrati električnu opremu i napajanja potrebna za pravilan rad klima uređaja. Ove informacije, koje je dizajnirao projektant elektrotehnike, moraju biti uključene na električnim nacrtima kako bi izvođači radova mogli ispravno izvršiti instalaciju.

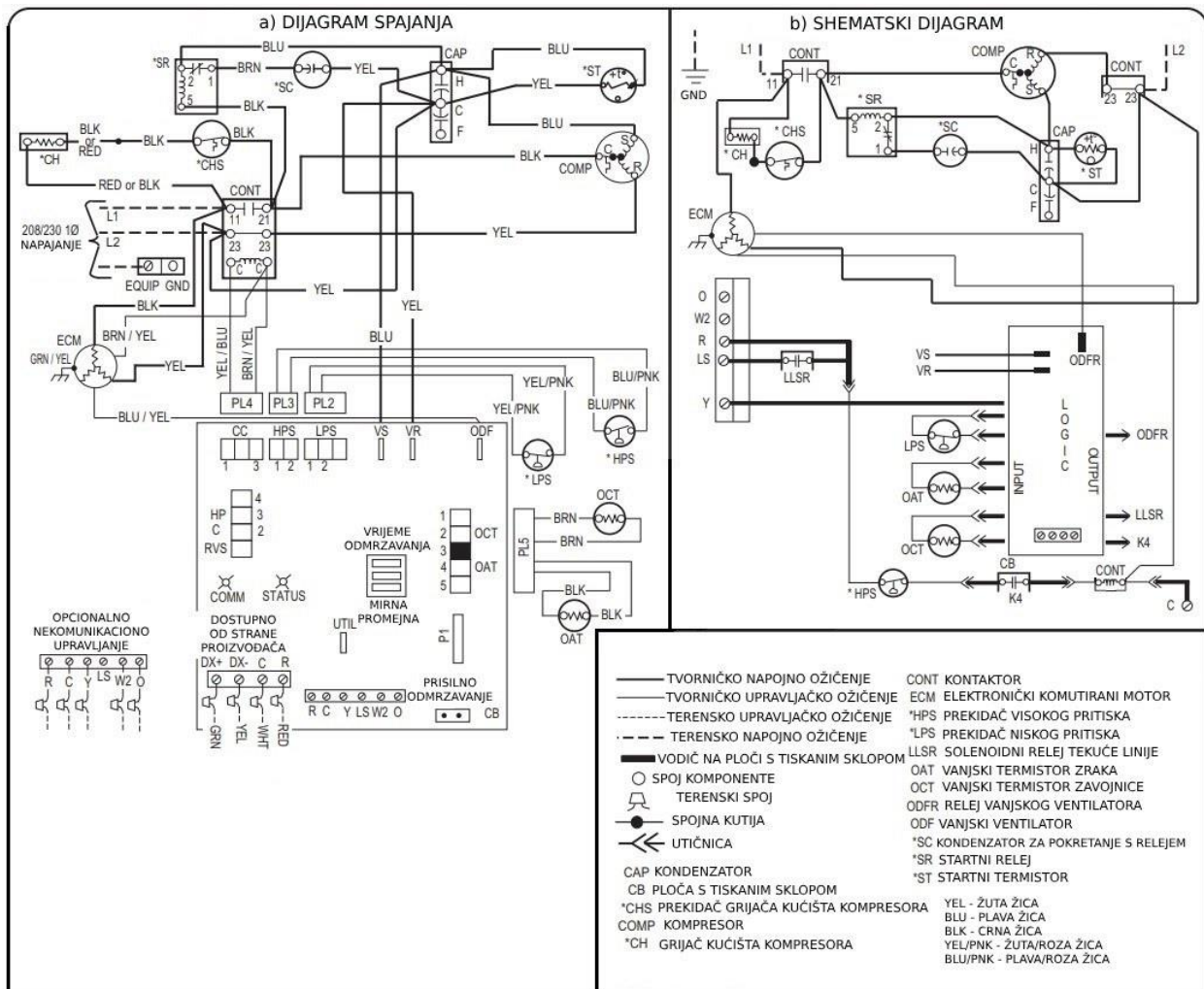
Jednopolna shema elektroinstalacije stambenog objekta prikazana je na slici 5.1. Prema shemi, klima uređaj je spojen na niskonaponsku mrežu u zasebnom strujnom krugu, što je preporučena praksa prema međunarodnim standardima kao što je IEC 60364-5-52.



Slika 5.1. Jednopolna shema elektroinstalacije stambenog objekta.

#### 5.4.2. Električna shema klima uređaja

Prilikom projektiranja elektroinstalacija za stambeni objekt, osim što je važno poznavati specifikacije klima uređaja, ključno je i razumijevanje električne sheme uređaja. Električna shema klima uređaja koja je prikazana na slici 5.2. prikazuje sve potrebne električne komponente i njihove međusobne veze unutar uređaja. Projektanti elektrotehnike koriste ove sheme za pravilno dimenzioniranje i odabir kabela, osigurača i drugih zaštitnih uređaja potrebnih za sigurno i učinkovito funkcioniranje klima uređaja. Svaki klima uređaj posjeduje metalnu pločicu koja se nalazi na vanjskoj jedinici, na kojoj su navedeni osnovni električni podaci uređaja, a ponekad se na toj pločici nalazi i prikaz sheme ili informacija vezana za ožičenje.



Slika 5.2. Električna shema klima uređaja [49].

Preporučuje se da se klima uređaji isključuju iz napajanja u razdoblju godine kada se ne koriste, budući da uređaji u stanju pripravnosti (engl. *standby*) mogu povući određenu količinu električne energije oko 20 W. Ova potrošnja na godišnjoj razini može predstavljati određeni nepotrebiti trošak.

Godišnja potrošnja električne energije se računa prema izrazu (5-6).

$$E = P \cdot t = 20 \cdot 8760 = 175,2 \text{ kWh} \quad (5-6)$$

Gdje je:

- $E$  – godišnja potrošnja električne energije [kWh]
- $P$  – potrošnja električne energije u stanju pripravnosti [W]
- $t$  – broj sati u godini [h].

Cijena električne energije u Hrvatskoj za plavi tarifni model iznosi 0,0703 €/kWh.

Godišnji trošak električne energije se računa prema izrazu (5-7).

$$T = E \cdot C = 175,2 \cdot 0,0703 = 12,32 \text{ €} \quad (5-7)$$

Gdje je:

- $T$  – godišnji trošak električne energije [€]
- $E$  – godišnja potrošnja električne energije [kWh]
- $C$  – cijena električne energije [€/kWh].

Isključivanjem klima uređaja iz napajanja kada nisu u uporabi može se ostvariti ušteda od 12,32 € na godišnjoj razini.

Vanjska jedinica klima uređaja obično je najveći potrošač energije jer sadrži kompresor, koji je ključna komponenta za hlađenje i grijanje. Kompresor zahtjeva značajnu snagu za rad, što povećava ukupnu potrošnju energije klima uređaja. Pravilno projektiranje elektroinstalacija koje će podržati rad kompresora i drugih komponenata ključno je za osiguranje dugotrajnog i učinkovitog rada sustava. Prilikom projektiranja, neophodno je također uzeti u obzir dodatne komponente poput kondenzatora i ventilatora u vanjskoj jedinici, koji također doprinose ukupnoj potrošnji energije.

## 5.5. Mono split klima uređaj

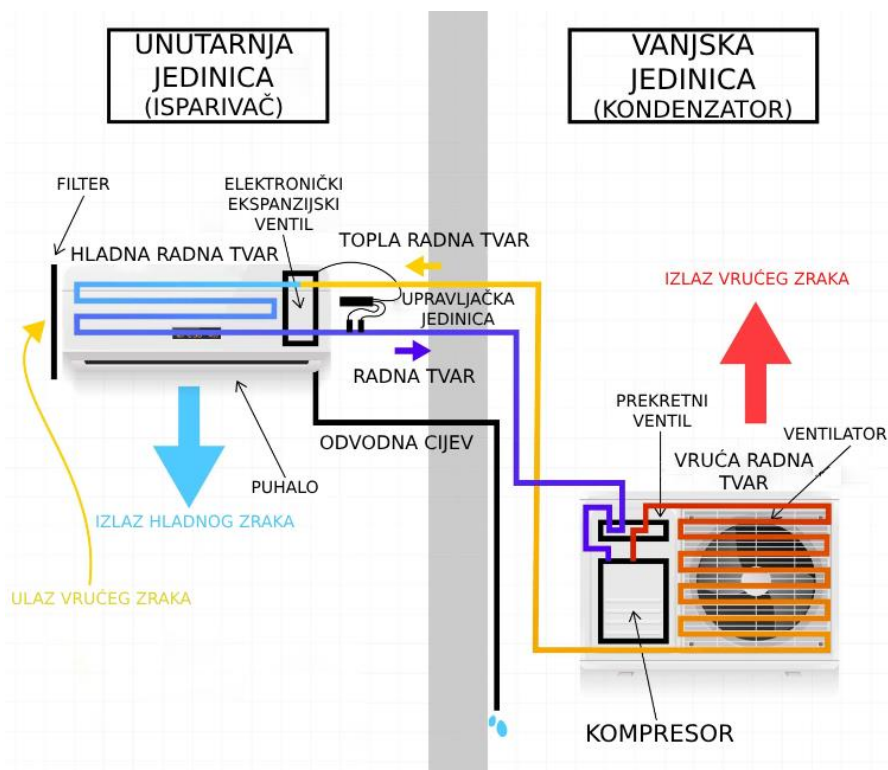
Split klima uređaj dobiva svoje ime zbog podjele komponenata na dva dijela gdje je jedan dio smješten unutar zatvorenog prostora, dok je drugi na otvorenom. Ti se dijelovi povezuju cijevima za radnu tvar omogućujući učinkovit prijenos topline između unutarnje i vanjske jedinice [50]. Ova tehnologija omogućava učinkovito hlađenje i grijanje prostorija uz visoku razinu energetske učinkovitosti.

Mono split sustavi posebno su popularni u stambenim i manjim poslovnim objektima zbog svoje fleksibilnosti i relativno jednostavne instalacije. Njihova primjena omogućava ciljano hlađenje ili grijanje pojedinih prostorija, što doprinosi optimizaciji potrošnje energije. Dostupne su razne vrste unutarnjih i vanjskih jedinica, što omogućuje korisnicima da odaberu one koje najbolje odgovaraju njihovim specifičnim potrebama i uvjetima prostora. Ovaj izbor osigurava optimalne performanse i udobnost, prilagođene specifičnim zahtjevima instalacije i estetike.

### 5.5.1. Princip rada i osnovne komponente

Osnovne komponente klima uređaja koje su prikazane na slici 5.3. su:

- Kompresor: Kompresor je dio gdje se radna tvar komprimira, pretvarajući je u vruću paru.
- Kondenzator: Kondenzator hladi i kondenzira radnu tvar, vraćajući je u tekuće stanje.
- Isparivač: Isparivač cirkulira radnu tvar i uklanja toplinu iz prostorije, što doprinosi procesu hlađenja.
- Ekspanzijski ventil (elektronički): Ovaj ventil ograničava protok radne tvari prema isparivaču, hladeći toplu radnu tvar. Također mjeri količinu radne tvari koja izlazi te regulira rad termostata.
- Prekretni ventil (ako klima uređaj također grije): Prekretni ventil se uključuje i isključuje kako bi usmjerio protok radne tvari, ovisno o tome radi li klima uređaj u načinu hlađenja ili grijanja.
- Puhalo: Puhalo puše hladan zrak unutar kuće, pomažući u distribuciji ohlađenog zraka.
- Filter: Filter uklanja prašinu i druge čestice iz zraka, osiguravajući čist i kvalitetan zrak.
- Ventilator: Ventilator hladi radnu tvar unutar kondenzatora.
- Odvodna cijev: Odvodna cijev uklanja kondenzaciju iz klima uređaja. Kondenzacija nastaje kada se hladna zavojnica isparivača susretne s toplim zrakom [51].



Slika 5.3. Princip rada i osnovne komponente split klima uređaja [51].

Unutar zavojnice nalazi se radna tvar pod tlakom koja olakšava prijenos topline. Kompresor se pokreće i komprimira radnu tvar, stvarajući visok tlak koji zagrijava radnu tvar koja zatim teče u zavojnicu kondenzatora. Uz pomoć puhala ili ventilatora, vanjski zrak cirkulira oko zavojnice i toplina se uklanja iz radne tvari, koja pritom gubi toplinu i pretvara se u tekuće stanje. Ekspanzijski ventil zatim hladi tekuću radnu tvar stvarajući situaciju niskog tlaka zbog čega se dio tekućine pretvara u plin, što dodatno hladi tekućinu. Hladna radna tvar zatim dolazi do zavojnice isparivača, koja također ima puhalo koje cirkulira zrak iz prostorije s pomoću zavojnice. Tako radna tvar apsorbira toplinu iz sobnog zraka, čineći prostoriju hladnijom i pretvara se uglavnom u plinovito stanje. Radna tvar se zatim vraća u kompresor. Dodatno, na kompresor je priključen akumulator koji osigurava da do kompresora prolazi samo plin, jer bi tekuća radna tvar mogla oštetiti kompresor [52].

### **5.5.2. Unutarnja jedinica**

Unutarnja jedinica, koja se sastoji od isparivača, ekspanzijskog ventila, ventilatora i zračnog filtra [53], dolazi u raznim oblicima, uključujući zidne, kanalne, kazetne, stropno/parapetne i podne jedinice. Svaka od ovih jedinica dizajnirana je za optimalno hlađenje ili grijanje različitih prostorija, nudeći prednosti kao što su estetski prihvatljiv izgled, ravnomjerna distribucija zraka i mogućnost skrivene montaže.

Zidni klima uređaj je najtraženiji tip unutarnje jedinice koji se koristi u domaćinstvima, turističkim objektima, uredima i server sobama. Njegove glavne prednosti su niža cijena, jednostavna montaža i lako održavanje. Zidne jedinice postavljaju se visoko na zid, s povratnim zrakom koji se povlači s vrha, dok se dovodni zrak isporučuje iz donjeg prednjeg dijela, što osigurava praktičnost i učinkovitost u stambenim prostorima.

Kanalni klima uređaj namijenjen je za ugradnju u poslovne prostore, hotele i banke. Glavna karakteristika je ravnomjerna raspršenost ohlađenog zraka koji se distribuira kroz sustav ugrađen u strop ili zid. Zrak se ne ispuhuje na fiksnom mjestu, već kroz cijeli sustav, osiguravajući ravnomjernu distribuciju topline u prostoru. Slim kanalne jedinice mogu se postaviti iznad spuštenog stropa ili u drugim dostupnim područjima kao što su ormari, tavani ili podrumi.

Kazetni klima uređaj se uglavnom koristi u poslovnim prostorima, hotelima, konferencijskim salama i drugim prostorima sa spuštenim stropovima gdje su potrebni veći kapaciteti hlađenja i grijanja. Ove jedinice imaju četvero smjerni ispuh koji osigurava odličnu distribuciju ohlađenog ili zagrijanog zraka. Stropne kazetne jedinice obično se ugrađuju u spuštene strop, ali mogu biti instalirane i u tvrdi strop.

Stropno/parapetni klima uređaji mogu se ugraditi pod strop ili na parapet, odnosno na zid do poda. Ovi uređaji se koriste uglavnom u većim prostorima gdje je potreban veći kapacitet i snažniji ispuh zraka, poput trgovina. Univerzalne podne/stropne jedinice mogu se montirati na pod ili strop, pružajući fleksibilnost u instalaciji u prostorijama s niskim stropovima ili ograničenim zidnim prostorom.

Podni klima uređaj se ugrađuje na pod, odnosno na zid do poda ili na cokla. Ovi uređaji se koriste u stambenim i poslovnim prostorima, s raspoloživim kapacitetima od 2,5 kW do 7 kW, spadajući u vrhunsku klasu. Mini podne konzolne jedinice idealne su za hodnike i prostore gdje je potrebna toplina na razini poda. Povratni zrak se povlači kroz prednju stranu jedinice, a dovodni zrak se može usmjeriti prema vrhu ili podu jedinice [54].

### **5.5.3. Vanjska jedinica**

Vanjske jedinice split klima uređaja odgovorne su za ispuštanje topline apsorbirane iz unutarnjeg prostora. Glavne vrste su jednozonska i višezonska vanjska jedinica. Jednozonske vanjske jedinice dizajnirane su za povezivanje s jednom unutarnjom jedinicom dok višezonske vanjske jedinice omogućuju povezivanje s više unutarnjih jedinica [55].

Tehnologija invertera u klimatizacijskim sustavima predstavlja pravu revoluciju u efikasnosti regulacije temperature. Opremljene kompresorom varijabilne brzine, inverterske vanjske jedinice automatski se prilagođavaju potrebama prostorije za hlađenjem, precizno usklađujući svoju brzinu s trenutnim zahtjevima. Energetski su učinkovitije, nude manje varijacije u temperaturi i tiši rad. Sposobnost prilagodbe dopušta uređaju da zadrži konstantnu sobnu temperaturu mijenjajući snagu kompresora, izbjegavajući tako neprekidno paljenje i gašenje. To rezultira povećanom udobnošću korisnika, značajnim uštedama energije te manjim trošenjem kompresora, što u konačnici doprinosi produljenju životnog vijeka i učinkovitosti cijelog sustava [56].

Glavne komponente vanjske jedinice klima uređaja su kompresor, kondenzator, ventilator i prijemnik.

Kompresor je "srce" rashladnog sustava. Komprimira paru radne tvari niske temperature i niskog tlaka u mnogo manji volumen. Tijekom kompresije, temperatura i tlak radne tvari rastu. Tlak se povećava s niskog na ulazu kompresora (usis) do visokog na izlazu (pražnjenje). Hladna radna tvar ulazi u kompresor kroz usisni ventil, noseći toplinu apsorbiranu tijekom isparavanja u isparivaču. Kompresor zatim pumpa ovu paru u kondenzator, gdje radna tvar oslobađa toplinu dok se kondenzira i pothlađuje [35].



Međutim, tijekom prolaska pare radne tvari kroz kompresor, para preuzima osjetnu toplinu iz dva izvora:

- Toplina motora, odnosno toplina koju generira motor kompresora.
- Toplina kompresije, odnosno toplina koja se generira tijekom procesa kompresije.

Ova dodatna osjetna toplina, zajedno s osjetnom toplinom iz usisne linije, pretvara se u oblik pregrijane pare. Ta toplina mora biti odbačena u prvom dijelu kondenzatora prije nego što para može dovoljno ohladiti i kondenzirati [57].

Kompresori korišteni za industrijske, komercijalne i kućanske primjene troše približno 17% svjetske električne energije. Većina ovih kompresora je deplasmanskog tipa, a trenutna svjetska stopa proizvodnje prelazi 200 milijuna jedinica godišnje. Najveći dio tih kompresora koristi se za sustave komprimiranog zraka i rashladne sustave [58].

Kompresore pokreće elektromotor, koji može biti montiran izvan kompresorske jedinice ili unutar njezinog kućišta. Kompresori se, na temelju brtvljenja radne tvari, mogu klasificirati na sljedeći način:

- Hermetički kompresori: Motor i kompresor su zabrtvljeni ili zavareni u istom kućištu kako bi se smanjilo curenje radne tvari i omogućilo hlađenje motora usisnom parom.
- Poluhermetički kompresori: Motor i kompresor su zatvoreni u istom kućištu, ali su dostupni iz glave cilindra za popravak i održavanje.
- Otvoreni kompresori: Kompresor i motor su zatvoreni u dva odvojena kućišta [59].

Kompresori se mogu dodatno klasificirati na temelju njihove metode kompresije, pri čemu su u upotrebi pet osnovnih tipova kompresora u industriji hlađenja i klimatizacije:

- klipni,
- rotacijski,
- spiralni,
- vijčani,
- centrifugalni.

Klipni kompresor funkcionira pretvaranjem rotacijskog gibanja koljenastog vratila u povratno gibanje klipova unutar cilindra te najčešće se koristi u malim i srednjim komercijalnim rashladnim sustavima. Također su popularni u stambenim i lakim komercijalnim klimatizacijskim sustavima, kao i spiralni i rotacijski kompresori. Spiralni kompresor stvara kompresiju pare

između stijenki fiksnog i orbitalnog spiralnog cilindra. Rotacijski kompresor je tip kompresora kod kojeg se kompresija pare odvija u prostorima između stijenke cilindra i izvan središta postavljenog rotora koji se vrti unutar cilindra. Vijčani kompresori koriste par posebnih spiralnih rotora za kompresiju pare radne tvari. Rotori hvataju i komprimiraju paru radne tvari dok se okreću u precizno obrađenom cilindru kompresora. Primarno se koriste u velikim komercijalnim i industrijskim sustavima. Centrifugalni kompresor je kompresor koji se sastoji od rotorskog kotača s radijalnim lopaticama (impeler) unutar spiralnog kućišta. Dok se rotor okreće, izbacuje paru radne tvari prema van, gdje se sabija u spiralnom kućištu. Centrifugalni kompresori često se koriste za hlađenje velikih zgrada. Tip kompresora koji se koristi za određenu primjenu ovisi o fizičkoj veličini jedinice, potrebnom kapacitetu hlađenja, troškovima, mogućnosti servisiranja i zahtjevima za razinu buke.

Isparivači i kondenzatori su najčešće prepoznati izmjenjivači topline u klimatizacijskim sustavima. Isparivač je dizajniran za apsorpciju neželjene topline, dok je kondenzator zadužen za izbacivanje te topline. Radna tvar visokog tlaka i visoke temperature ulazi u kondenzator iz ispusnog voda kompresora. Dok protječe kroz kondenzator, radna tvar gubi toplinu, što uzrokuje promjenu njegovog stanja iz pare u tekućinu. Kako nastavlja gubiti toplinu, njegova temperatura se malo snižava. Radna tvar izlazi iz kondenzatora kao topla tekućina pod visokim pritiskom. Kondenzator oslobađa toplinu apsorbiranu iz kondicioniranog prostora i radi pod znatno višim tlakom od isparivača, pa se stoga gradi s jačim cijevima. Tri osnovne vrste su:

- zrakom hlađeni kondenzatori,
- vodom hlađeni kondenzatori,
- isparivački kondenzatori.

Zrakom hlađeni kondenzatori koriste kretanje zraka za uklanjanje topline iz radne tvari u sustavu. Ovi kondenzatori su vrlo česti u stambenim i poslovnim sustavima gdje bi rashladna voda mogla biti previše korozivna, skupa ili logistički zahtjevna [35]. Kod vodom hlađenog kondenzatora, latentna toplina koja se oslobađa iz radne tvari tijekom kondenzacije prenosi se na vodu. Ova rashladna voda, često nazvana kondenzatorskom vodom, može se uzimati iz različitih izvora kao što su rijeke, jezera, mora, podzemne vode ili rashladni tornjevi [59]. Kondenzatori hlađeni vodom najprikladniji su kada je dostupna jeftina i upotrebljiva voda. Ovi kondenzatori zahtijevaju manje energije u usporedbi s kondenzatorima hlađenim zrakom slične veličine. Isparivački kondenzatori osiguravaju učinkovito uklanjanje neželjene topline iz radne tvari. Smješteni u ograđenom

prostoru sličnom rashladnom tornju, koriste raspršene kapljice vode i ventilatore za stvaranje isparavajućeg učinka na zavojnice kroz koje teče vruća para radne tvari [35].

Osnovni rad kondenzatora podijeljen je u tri faze:

- Uklanjanje pregrijane pare
- Kondenzacija
- Pothlađivanje.

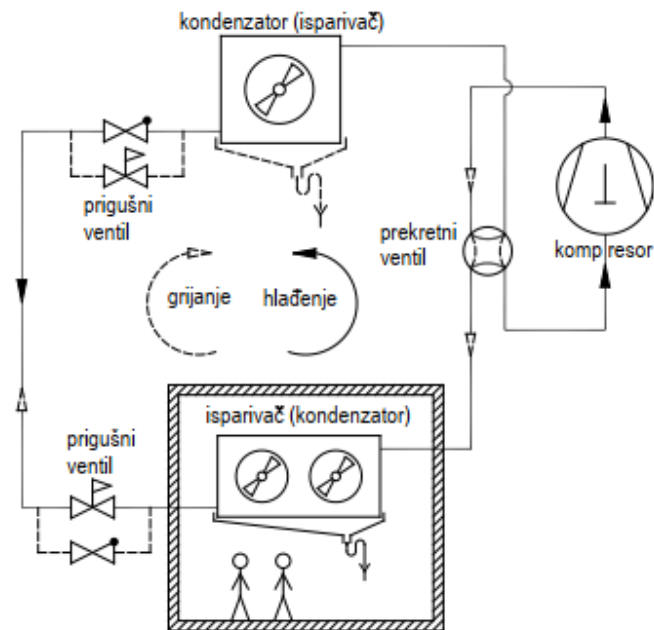
Pregrijana para je stanje radne tvari nakon što napusti kompresor. Ima višu temperaturu od temperature zasićenja zbog dodatne topline koja se apsorbira tijekom kompresije. U ovoj fazi, kondenzator uklanja dodatnu toplinu iz pregrijane pare kako bi radna tvar dosegla temperaturu zasićenja.

Kada radna tvar dosegne temperaturu zasićenja, počinje proces kondenzacije tijekom kojeg radna tvar prelazi iz plinovitog u tekuće stanje. Tijekom ovog procesa, latentna toplina isparavanja se uklanja iz radne tvari, pri čemu radna tvar ostaje na konstantnoj temperaturi zasićenja dok se kondenzira, a toplina se i dalje prenosi na medij za hlađenje.

Nakon što je cijela radna tvar kondenzirala u tekućinu, može se dodatno ohladiti ispod temperature zasićenja, što se naziva pothlađivanje. Pothlađivanje povećava učinkovitost rashladnog sustava jer sprječava prerano isparavanje radne tvari prije nego što dosegne isparivač. Radna tvar se hladi ispod svoje točke kondenzacije, čime se povećava količina latentne topline koju može apsorbirati kada ponovno isparava u isparivaču [57].

## **5.6. Klima uređaj u režimu rada dizalice topline**

Dizalica topline je uređaj koji podiže toplinsku energiju s niže na višu energetska razinu (temperaturu) uz dodatni vanjski rad, s ciljem korištenja te toplinske energije na višoj razini. Primarni cilj je korištenje toplinske energije proizvedene na visokotemperaturnom izmjenjivaču (kondenzatoru), primjerice za grijanje. Suprotno tome, rashladni uređaj koristi toplinsku energiju izmijenjenu na niskotemperaturnom izmjenjivaču (isparivaču). Stoga, svaki rashladni uređaj istovremeno je i dizalica topline. Razlika je u primarnom cilju, bilo da je riječ o korištenju rashladne ili ogrjevne energije. Zamjenom procesa, odnosno uloga isparivača i kondenzatora, isti uređaj može se koristiti za grijanje ili hlađenje. Shema na slici 5.4. prikazuje split klima uređaj s mogućnošću rada u režimu hlađenja i grijanja [60].



**Slika 5.4.** Mogućnost rada uređaja u načinu hlađenja, odnosno grijanja [60].

Zemlja apsorbira sunčevu energiju i pohranjuje je kao toplinsku energiju u tlu ili zraku. Dizalica topline može iskoristiti tu energiju prijenosom topline iz tla ili zraka u tekući medij, poput vode ili radne tvari. Dizalice topline dijelimo prema izvorima topline. Ako dizalica topline prenosi toplinu iz tla ili vode u klimatizirani prostor, zovemo je dizalicom topline s izvorom iz tla. Ako prenosi toplinu iz vanjskog zraka u klimatizirani prostor, nazivamo je dizalicom topline s izvorom iz zraka. Dizalice topline s izvorom iz zraka mogu se dodatno podijeliti na dizalice topline zrak-zrak i dizalice topline zrak-voda. Dizalice topline s izvorom iz tla koriste dvije različite metode za izmjenu topline sa zemljom ili tijelom vode: izravna izmjena i izmjena topline s vodom [35]. Vanjska jedinica se naziva kondenzacijska jedinica ako je sposobna samo za klimatizaciju. Ako vanjska jedinica može raditi u načinu rada klimatizacije i grijanja, naziva se toplinska pumpa. Trenutno su klima uređaji s toplinskom pumpom zrak-zrak najpopularniji tip sustava toplinske pumpe. Ovi uređaji mogu pružiti grijanje i hlađenje za zgrade. Klima uređaji s toplinskom pumpom zrak-zrak koriste zrak kao izvor topline tijekom faze grijanja, dok tijekom faze hlađenja koriste zrak za hlađenje [61].

Prvotno dizajniran kao klima uređaj, ovaj sustav usisava vanjski zrak na, primjerice, 30 °C (tijekom vrućeg dana) i ispuhuje još topliji zrak u atmosferu, čime se hladi unutrašnjost prostora. Prilikom grijanja, vanjski zrak može biti bilo koje temperature između minus 15 °C i plus 15 °C. Zrak prolazi kroz vanjski izmjenjivač topline i izlazi možda pet ili više stupnjeva hladniji. U ovom načinu rada toplina se izvlači iz vanjskog zraka i prenosi u prostor [62].

U načinu grijanja, unutarnja zavojnica djeluje kao kondenzator, dok vanjska zavojnica funkcionira kao isparivač. Ventilator vanjske jedinice uvlači zrak iz vanjskog prostora, koji struji preko vanjske zavojnice s radnom tvari u tekućem stanju. Tekuća radna tvar apsorbira toplinu iz zraka i isparava, prelazeći u plinovito stanje. Zbog toga se vanjska zavojnica naziva isparivačem. Nakon toga, rashladni plin se komprimira na višu temperaturu i tlak te se prenosi na unutarnju zavojnicu. Radna tvar tada predaje svoju toplinu unutarnjem zraku i kondenzira se natrag u tekućinu. Stoga se u načinu grijanja unutarnja zavojnica naziva kondenzatorskom zavojnicom. Ovaj proces automatski kontrolira termostat dok se ne postigne željena temperatura u prostoriji. Kada je potrebna dodatna toplina tijekom posebno hladnih dana, aktivira se dodatni električni otporni grijač kako bi se dodatno zagrijao zrak koji prolazi kroz sustav.

Tijekom ljetnih mjeseci, dizalica topline prelazi u način rada za hlađenje kada je vanjska temperatura viša od unutarnje temperature. U ovom načinu rada, unutarnja zavojnica funkcionira kao isparivač, dok vanjska zavojnica djeluje kao kondenzator. Zrak iz prostora prolazi preko isparivača (rashladne zavojnice), gdje se toplinska energija prenosi sa zraka na zavojnicu. Ova toplina se zatim prenosi na vanjsku zavojnicu, koja funkcionira kao kondenzator, te se tako toplina ispušta u vanjski prostor [63].

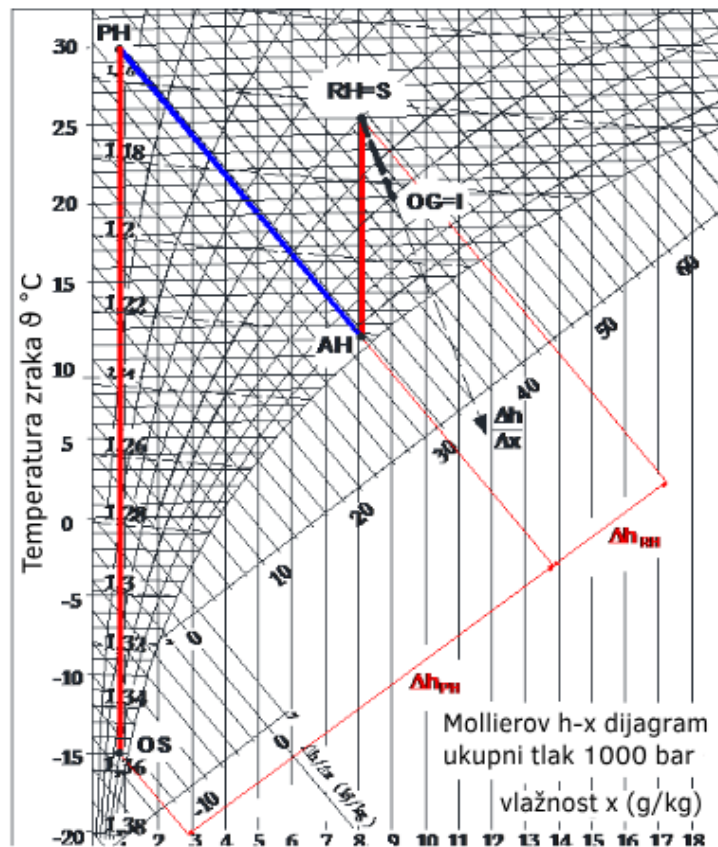
Toplinski množitelj (COP) ili faktor grijanja dizalice topline prikazan je izrazom (5-8) [60].

$$\varepsilon_{gr}(COP) = \frac{\phi_{kond}}{P_{EL}} \quad (5-8)$$

Gdje je:

- $\varepsilon_{gr}(COP)$  – Toplinski množitelj ili faktor grijanja
- $\phi_{kond}$  - Toplinska energija isporučena od kondenzatora [W]
- $P_{EL}$  - Električna snaga potrošena od strane sustava [W].

Slika 5.5. prikazuje proces predgrijavanja (OS-PH), adijabatskog ovlaživanja (PH-AH) i ponovnog grijanja (AH-RH) na Molliarovom h-x dijagramu tijekom dimenzioniranja u zimskom razdoblju. Tijekom promjene stanja vanjskog zraka, predgrijač zagrijava zrak do linije konstantne entalpije koju određuje adijabatski ovlaživač. Za definiranje potrošnje energije za grijanje potrebno je koristiti krivulju trajanja entalpije vanjskog zraka [64].



Slika 5.5. Mollierov h-x dijagram u zimskom razdoblju [64].

## 6. POSTUPAK UGRADNJE SPLIT KLIMA UREĐAJA

Ugradnja split klima uređaja zahtijeva pažljivo planiranje i preciznu izvedbu kako bi se osigurala optimalna funkcionalnost i dugotrajnost sustava. Proces uključuje različite korake, od odabira i postavljanja unutarnjih i vanjskih jedinica do tehničkih postupaka potrebnih za pravilnu instalaciju. Priprema cijevi, koja uključuje mjerenje, rezanje i spajanje, te korištenje moment ključa za pravilno zatezanje spojeva, ključni su elementi koji osiguravaju nepropusnost i pouzdanost sustava. Razmatranje ovih elemenata pruža temeljit uvid u izazove i rješenja pri instalaciji split klima uređaja, važnim za inženjere i tehničare koji se bave njihovom ugradnjom i održavanjem.

Prije nego što se započne s instalacijom split klima uređaja, važno je pridržavati se određenih sigurnosnih smjernica kako biste osigurali sigurnost i ispravnost ugradnje. Pridržavanje ovih smjernica smanjuje rizik od ozljeda, oštećenja imovine i osigurava dugotrajnost sustava.

Sigurnosne smjernice:

- Za kvalificirane osobe: Instalaciju smije obavljati samo kvalificirano osoblje kako bi se osigurala sigurnost i pridržavanje svih tehničkih specifikacija.
- Isključivanje napajanja: Prije bilo kakvih električnih radova isključite glavno napajanje. Provjerite da su sve sklopke isključene kako biste izbjegli električni udar.
- Pravilno uzemljenje: Osigurajte da su svi uzemljivači ispravno spojeni kako biste spriječili električne udare i oštećenje opreme.
- Izbjegavajte opasne lokacije: Ne instalirajte jedinice na mjestima s visokim koncentracijama zapaljivih plinova ili drugih opasnih tvari.
- Izbjegavajte pregrijavanje: Postavite unutarnju jedinicu dovoljno daleko od izvora topline kao što su radijatori, peći i drugo grijanje kako biste spriječili pregrijavanje i potencijalne požare.
- Provjera spojeva: Nakon instalacije provjerite sve spojeve na curenje plina koristeći detektor plina ili sapunicu.

Svaki klima uređaj dolazi s priloženim uputama koje pružaju detaljne informacije o instalaciji, radu i održavanju uređaja. Važno je napomenuti da se upute razlikuju od jednog proizvođača do drugog, što može utjecati na specifične korake i preporuke u procesu instalacije i servisa. Zbog raznih tehničkih specifikacija i dizajnerskih pristupa, svaki proizvođač prilagođava svoje upute kako bi osigurao optimalne performanse i dugovječnost svog proizvoda.

Sljedeća potpoglavlja napisana su uz pomoć uputa proizvođača Carrier [10, 11], Cooper & Hunter [12] i Daikin [13], što omogućuje analizu i usporedbu različitih smjernica i preporuka.

## **6.1. Pripremne radnje**

Priprema za ugradnju split klima uređaja zahtijeva pažljivo planiranje i izvođenje nekoliko ključnih koraka kako bi se osigurala sigurnost, funkcionalnost i dugotrajnost sustava. Ovaj dio obuhvaća odabir lokacije, pripremu potrebnih alata i opreme, te pregled sigurnosnih mjera.

### **6.1.1. Odabir lokacije za unutarnju jedinicu**

Unutarnju jedinicu treba postaviti na mjesto koje zadovoljava sljedeće kriterije:

- Mjesto koje omogućava slobodan protok zraka oko uređaja, bez prepreka koje bi mogle ometati cirkulaciju zraka.
- Lokacija daleko od izravne sunčeve svjetlosti i izvora topline ili pare.
- Mjesto koje je udaljeno najmanje 1 metar od bilo kojeg televizora ili radijskog prijemnika kako bi se spriječile smetnje u radu uređaja.
- Udaljenost od elektronskih uređaja koji emitiraju elektromagnetske valove kako bi se spriječilo ometanje signala daljinskog upravljača.

### **6.1.2. Odabir lokacije za vanjsku jedinicu**

Vanjska jedinica treba biti postavljena na lokaciju koja:

- Omogućava dovoljno prostora oko jedinice za ventilaciju.
- Može izdržati težinu jedinice i smanjiti vibracije i buku.
- Nije izložena jakim vjetrovima ili curenju zapaljivih plinova.
- Nije u blizini prepreka koje bi ometale rad ili pristup za održavanje.
- Nije smještena na sunčanoj strani kako bi se izbjeglo pregrijavanje i smanjila opterećenost rashladnog sustava.

## **6.2. Slijed ugradnje unutarnje jedinice**

### **6.2.1. Postavljanje montažne ploče**

Montažna ploča treba biti sigurno pričvršćena na zid pomoću vijaka na gornjim i donjim dijelovima, kao što je prikazano na slici 6.1.

Potrebno je provjeriti da je montažna ploča postavljena horizontalno kako bi se osigurala pravilna montaža unutarnje jedinice.



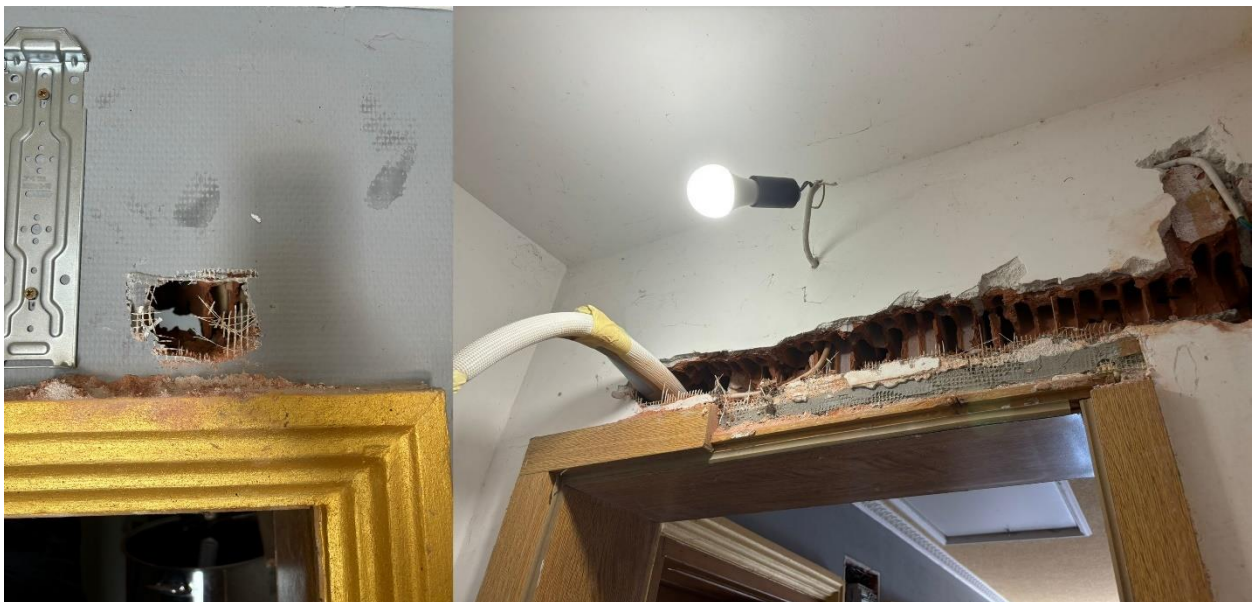


**Slika 6.1.** Postavljanje montažne ploče za unutarnju jedinicu.

### **6.2.2. Bušenje rupe za cijevi**

Potrebno je odrediti poziciju rupe za cijevi te izbušiti rupu promjera 50 mm pod blagim kutom prema vani, kao što je prikazano na slici 6.2.

Treba osigurati da rupa omogućava lagani nagib za odvod kondenzata.



**Slika 6.2.** Bušenje rupe za cijev klima uređaja.

### 6.2.3. Montaža unutarnje jedinice

Cijevi i kabel treba provesti kroz rupu na zidu.

Unutarnja jedinica treba biti pričvršćena na montažnu ploču, prvo gornjim kukama, a zatim donjim dijelom, kako je prikazano na slici 6.3.

Potrebno je provjeriti čvrstoću montaže pomicanjem uređaja lijevo-desno.



**Slika 6.3.** Montaža unutarnje jedinice.

### 6.2.4. Priprema bakrenih cijevi: Pertlovanje

Priprema bakrenih cijevi za split klima uređaj uključuje nekoliko koraka koji su od ključne važnosti za osiguravanje ispravnog rada i dugotrajnosti sustava. Pertlovanje je proces kojim se krajevi bakrenih cijevi obrađuju kao što je prikazano na slici 6.4. kako bi se osiguralo njihovo pravilno spajanje.



**Slika 6.4.** Priprema krajeva bakrenih cijevi za spajanje na cijevi unutarnje jedinice.

Postupka pripreme cijevi sastoji se od mjerenja i rezanja cijevi, uklanjanja srhova te pertlovanja krajeva cijevi.

### **Mjerenje i rezanje cijevi**

Potrebno je izmjeriti duljinu cijevi koja će spojiti unutarnju i vanjsku jedinicu.

Cijev treba izrezati na točnu duljinu pomoću rezača cijevi. Prilikom rezanja, treba paziti da je rez pod pravim kutom (90°) kako bi se izbjegle deformacije.

Pravilno rezanje sprječava probleme s nepropusnošću.

### **Uklanjanje srhova**

Srhovi mogu utjecati na nepropusnost spojeva, stoga ih je potrebno potpuno ukloniti.

Cijev treba držati pod blagim kutem prema dolje kako bi se spriječio ulazak srhova unutar cijevi.

Alat za uklanjanje srhova ili turpija koristi se za uklanjanje svih srhova s izrezanog dijela cijevi.

### **Pertlovanje krajeva cijevi**

Prije početka pertlovanja, maticu treba postaviti na cijev, a alat za pertlovanje pravilno namjestiti na kraj cijevi. Potrebno je provjeriti da je kraj cijevi izvan alata za pertlovanje.

Ručka alata za pertlovanje okreće se u smjeru kazaljke na satu dok cijev ne bude potpuno pertlovana.

Nakon pertlovanja, potrebno je pregledati kraj cijevi na pukotine i jednolikost.

### 6.2.5. Povezivanje cijevi i odvoda

Cijevi za radnu tvar treba spojiti prema uputama, pazeći na pravilno spajanje i zatezanje vijaka, kao što je prikazano na slici 6.5.

Odvodna cijev treba biti postavljena s nagibom prema dolje kako bi se osigurao slobodan protok kondenzata.

#### Spajanje cijevi

Sredinu dvije cijevi koje će biti spojene treba poravnati.

Pertlovane spojeve treba ručno zategnuti što je više moguće.

Ključ za zatezanje matice treba postaviti na vrijednosti iz tablice 6.1.

**Tablica 6.1.** Tablica s vrijednostima zateznog momenta [11].

Vanjski promjer cijevi, (mm)	Zatezni moment, Nm	Dodatni zatezni moment, Nm
Ø 1/4" (6,35)	15	16
Ø 3/8" (9,52)	25	26
Ø 1/2" (12,7)	35	36
Ø 5/8" (16)	45	47
Ø 3/4" (19)	65	67



**Slika 6.5.** Spajanje bakrenih cijevi.

Pri zatezanju vijaka, matica i drugih pričvrstnih elemenata na dijelovima i sklopovima klima uređaja, važno je precizno mjeriti stupanj zatezanja kako bi se spriječilo iskrivljenje ili nepravilno poravnanje dijelova. Za to se koristi moment ključ. Moment ključevi su obično ručke koje prihvaćaju nastavke različitih veličina. Ručka je opremljena građuiranom skalom ili pokazivačem kalibriranim u Nm [65].

Proizvođač klima uređaja daje vrijednost zateznog momenta za spoj na temelju vanjskog promjera cijevi. Za svaku veličinu cijevi može biti navedena jedna ili dvije vrijednosti zateznog momenta. Ako su navedene dvije vrijednosti, prva je nešto niža od druge. Prvo, potrebno je postaviti početnu vrijednost zateznog momenta  $i$ , dok se čvrsto drži adapter, zategnuti konusnu maticu do odgovarajuće vrijednosti zateznog momenta. Moment ključ će kliknuti kada je ta vrijednost postignuta. Zatim je potrebno otpustiti spoj, podesiti moment ključ na višu vrijednost i konačno zategnuti konusnu maticu na adapter. Spoj je tada dovršen. Ako proizvođač specificira samo jednu vrijednost zateznog momenta, spoj je dovršen nakon postizanja te vrijednosti.

### **6.3. Slijed ugradnje vanjske jedinice**

#### **6.3.1. Postavljanje nosača za vanjsku jedinicu**

Potrebno je odabrati čvrstu i stabilnu podlogu za postavljanje nosača.

Nosači za vanjsku jedinicu trebaju se pričvrstiti, kao što je prikazano na slici 6.6., na zid ili podlogu pomoću vijaka i matica promjera  $\text{Ø}8$  mm ili  $\text{Ø}10$  mm.

Potrebno je provjeriti da su nosači postavljeni horizontalno i da mogu izdržati težinu vanjske jedinice.

Ako je potrebno, treba instalirati dodatne komponente za zaštitu jedinice od snijega i jakih vjetrova.



**Slika 6.6.** Postavljanje nosača za vanjsku jedinicu.

### **6.3.2. Postavljanje vanjske jedinice**

Vanjska jedinica treba biti sigurno pričvršćena na nosače pomoću vijaka i matica, kao što je prikazano na slici 6.7. Potrebno je provjeriti čvrstoću montaže i osigurati da jedinica nije nagnuta ili nestabilna.

Potrebno je da vanjska jedinica bude postavljena niže od unutarnje jedinice. Ova konfiguracija pomaže spriječiti povrat ulja iz kompresora u unutarnju jedinicu, što može uzrokovati začepljenje vodova i smanjiti učinkovitost ili čak oštetiti sustav. Ako je vanjska jedinica postavljena više od unutarnje, postoji rizik da ulje iz kompresora, koje je vitalno za podmazivanje i hlađenje sustava, može otjecati natrag prema unutarnjoj jedinici tijekom rada ili nakon gašenja uređaja. Ovo može dovesti do nakupljanja ulja u cijevima, što smanjuje protok rashladnog sredstva i može uzrokovati neispravan rad klima uređaja.



**Slika 6.7.** Montaža vanjske jedinice.

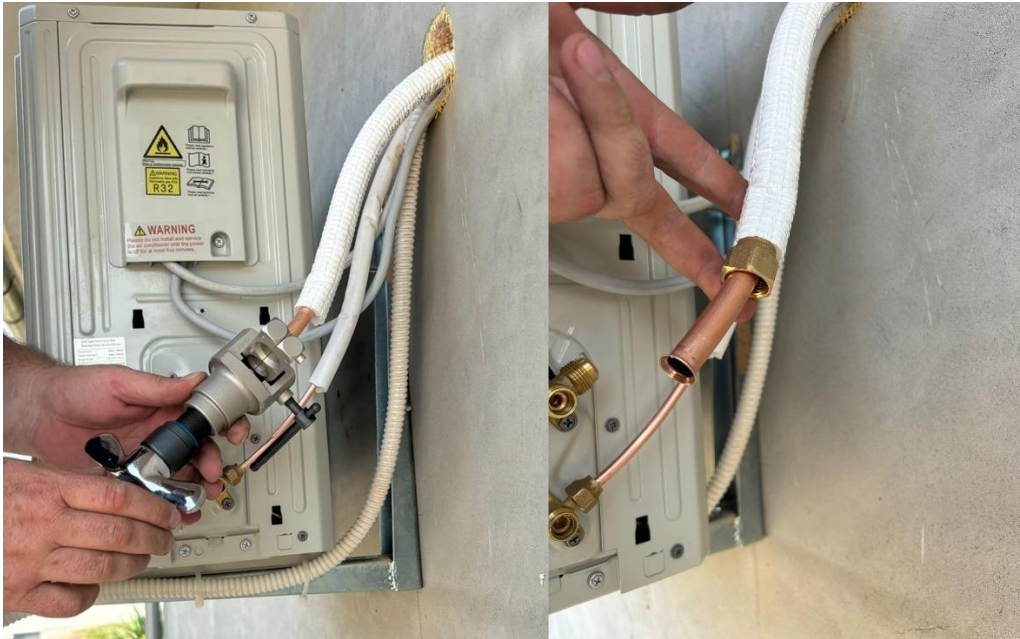
### **6.3.3. Povezivanje cijevi i ožičenje**

Krajevi cijevi obrađuju se postupkom opisanim u potpoglavlju 6.2.4., koristeći odgovarajuće alate i metode kako bi se osiguralo pravilno spajanje bez curenja plina, kao što je prikazano na slici 6.8. Cijevi za radnu tvar spajaju se na vanjsku jedinicu koristeći odgovarajuće alate i metode za sprječavanje curenja plina, prema prikazu na slici 6.9. a).

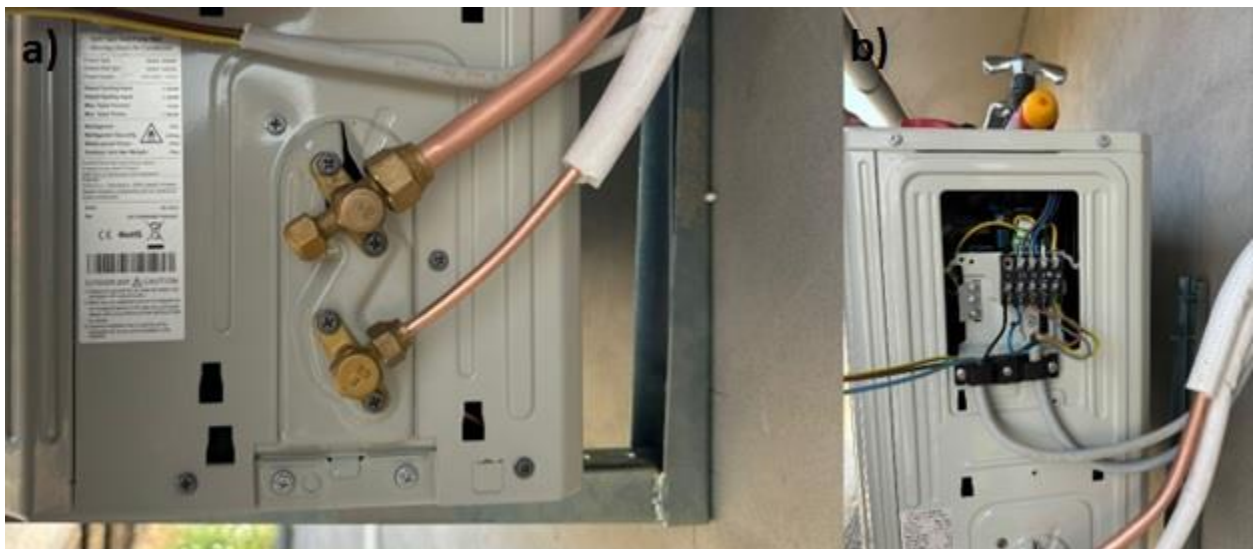
Povezivanje cijevi s vanjskom jedinicom izvodi se sljedećim postupkom:

1. Poklopac ventila s bočne strane vanjske jedinice odvije se.
2. Uklone se zaštitne kapice s krajeva ventila.
3. Kraj bakrene cijevi poravna se sa svakim ventilom, a matica se ručno zategne što je čvršće moguće.
4. Tijelo ventila pridržava se pomoću ključa, pri čemu se ne smije držati matica koja zatvara servisni ventil.
5. Dok se tijelo ventila čvrsto pridržava, matica se zategne moment ključem prema ispravnim vrijednostima momenta.
6. Matica se lagano otpusti, a zatim ponovno zategne.
7. Koraci 3 do 6 ponavljaju se za preostalu cijev.

Električni kabeli povezuju se prema shemi ožičenja, pri čemu se osigurava pravilno uzemljenje i zaštita od električnih udara, kao što je prikazano na slici 6.9. b). Pri spajanju vanjske i unutarnje jedinice klima uređaja, važno je pažljivo odabrati odgovarajući kabel s presjekom od 2,5 mm<sup>2</sup>. Ako klima uređaj služi isključivo za hlađenje, koristi se trožilni kabel, dok je za klima uređaje koji služe za grijanje i hlađenje potrebno koristiti peterožilni kabel.



**Slika 6.8.** Priprema krajeva bakrenih cijevi za spajanje na vanjsku jedinicu.



**Slika 6.9.** a) Spajanje bakrenih cijevi na vanjsku jedinicu; b) Povezivanje električnih kabela na vanjsku jedinicu.



## 6.4. Provjera i puštanje u rad

### 6.4.1. Provjera curenja plina

Provjera curenja pomoću sapuna i vode:

- Korištenjem mekane četke, sapunska voda ili tekući deterdžent nanosi se na sve spojne točke cijevi na unutarnjoj i vanjskoj jedinici. Pojava mjehurića ukazuje na prisutnost curenja.

Provjera curenja pomoću detektora curenja:

- Ako se koristi detektor curenja, potrebno je slijediti upute za uporabu uređaja kako bi se osigurala pravilna provjera.

Provjera curenja plina tijekom testnog rada:

- Tijekom rada klima uređaja, tlak u rashladnom krugu povećava se, što može otkriti curenja koja nisu bila vidljiva tijekom početne provjere. Tijekom testnog rada potrebno je dvostruko provjeriti sve spojne točke rashladnih cijevi kako bi se osiguralo da nema curenja.

Ispitivanje tlaka:

- Ispitivanje tlaka koristi se kao dio postupka provjere curenja.

Postupak ispitivanja tlaka:

1. Crijevo mjerača se spaja na priključak za punjenje ventila niskog pritiska.
2. Vakuumska pumpa se pokreće i sustav se evakuira najmanje 15 minuta ili dok mjerač ne očita -101,32 kPa.
3. Zatvara se niska strana mjerača, isključuje se vakuumska pumpa i čeka se 5 minuta.
4. Ako dođe do promjene tlaka, potrebno je provjeriti curenja prema uputama.
5. Ako nema promjene tlaka, odvija se kapica s ventila visokog pritiska, otvara se ventil i zatvara nakon 5 sekundi.
6. Provjerava se tlak na mjeraču kako bi se osiguralo da nema promjene tlaka.

Provjera curenja pomoću suhog dušika:

- Sustav se drži pod pritiskom od 3,45 MPa (maksimalno 3,79 MPa) najmanje 30 minuta pomoću suhog dušika.

## 6.4.2. Vakuumiranje sustava

Koraci vakuumiranja sustava:

1. Crijevo mjerača spaja se na servisni priključak ventila niskog pritiska vanjske jedinice.
2. Drugo crijevo mjerača spaja se na vakuumsku pumpu.
3. Otvara se ventil za niski pritisak na mjeraču, dok ventil za visoki pritisak ostaje zatvoren.
4. Uključuje se vakuumska pumpa kako bi se evakuirao sustav.
5. Vakuum se održava najmanje 15 minuta ili dok mjerač ne očita -101,32 kPa.
6. Zatvara se ventil za niski pritisak na mjeraču, a vakuumska pumpa se isključuje.
7. Čeka se 5 minuta, zatim se provjerava je li došlo do promjene tlaka u sustavu.
8. Ako je došlo do promjene tlaka, potrebno je provjeriti curenja prema prethodnim uputama. Ako nema promjene tlaka, odvija se kapica ventila visokog pritiska.
9. Šesterokutni ključ umetne se u ventil visokog pritiska i ventil se otvara okretanjem ključa za četvrtinu kruga u smjeru suprotnom od kazaljke na satu. Sluša se izlazak plina iz sustava, a ventil se zatvara nakon 5 sekundi.
10. Mjerač tlaka provjerava se jednu minutu kako bi se osiguralo da nema promjene tlaka. Mjerač bi trebao pokazivati nešto viši tlak od atmosferskog.
11. Crijevo za punjenje uklanja se sa servisnog priključka.
12. Šesterokutnim ključem potpuno se otvaraju ventili visokog i niskog pritiska.
13. Kapice ventila na svim ventilima (servisni priključak, visoki pritisak, niski pritisak) zatežu se ručno, a po potrebi se dodatno zatežu korištenjem moment ključa.

Proces vakuumiranja sustava je prikazan na slici 6.10.



**Slika 6.10.** Prikaz vakuumiranja sustava [66].

Metoda dubokog vakuuma:

- Metoda dubokog vakuuma zahtijeva vakuumsku pumpu sposobnu za postizanje vakuuma od 66,66 Pa te vakuumski mjerič koji može precizno mjeriti ovu dubinu vakuuma. Ova metoda je najpouzdaniji način osiguranja da je sustav potpuno slobodan od zraka i vlage.

Metoda trostruke evakuacije:

- Metoda trostruke evakuacije preporučuje se u slučajevima kada vakuumska pumpa nije sposobna postići vakuum od 66,66 Pa, a sustav ne sadrži tekuću vodu.

Postupak trostruke evakuacije:

1. Sustav se ispumpava do 200 Pa, a vakuumska pumpa nastavlja raditi dodatnih 15 minuta.
2. Zatvaraju se servisni ventili, a vakuumska pumpa se isključuje.
3. Boca sa suhim dušikom i regulator spajaju se na sustav, te se dodaje suhi dušik dok tlak u sustavu ne dostigne 13,79 Pa.
4. Servisni ventil se zatvara, a sustav ostavlja da stoji 1 sat, tijekom čega se suhi dušik difuzira kroz sustav apsorbirajući vlagu.
5. Ovaj postupak ponavlja se dva puta. Nakon toga, sustav bi trebao biti potpuno slobodan od vodene pare.

### 6.4.3. Puštanje u rad

Probni rad uređaja izvršava se kako bi se provjerila ispravnost svih funkcija, kao što je prikazano na slici 6.11.

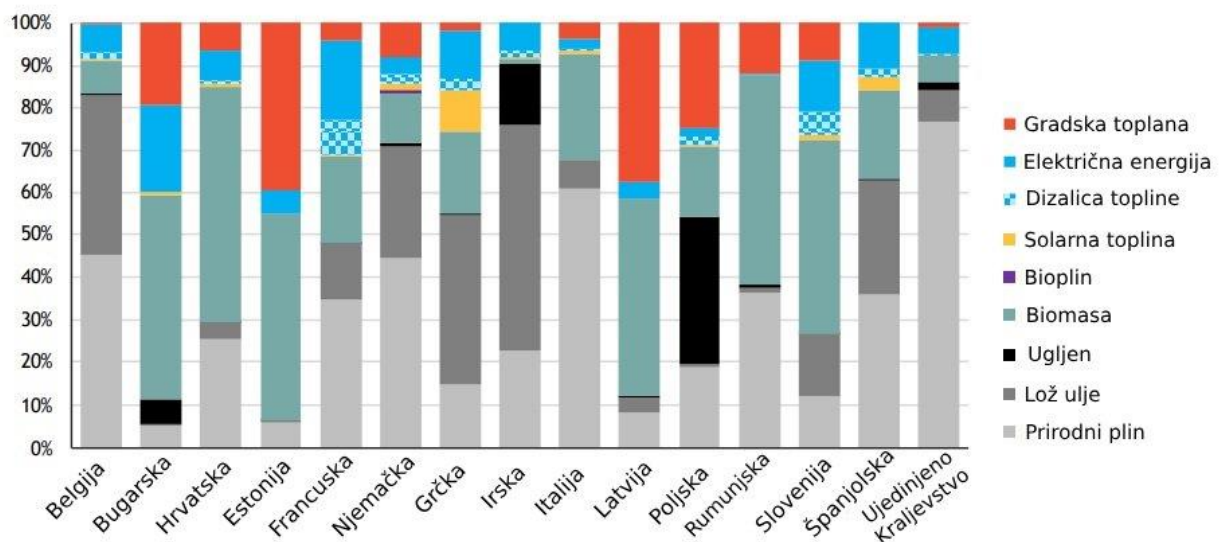


**Slika 6.11.** Puštanje u rad.

## 7. ISPLATIVOST GRIJANJA SPLIT KLIMA UREĐAJEM

Grijanje na električnu energiju, posebno putem klima uređaja, sve je popularnije među korisnicima. Osim što ljeti učinkovito hlade, klima uređaji mogu služiti i za grijanje zimi, što postaje sve relevantnije zbog blažih zimskih temperatura. U stambenim objektima diljem Europe mnogi se i dalje griju zastarjelim, neefikasnim sustavima, dok energetska kriza i visoke cijene plina i drva za ogrjev potiču prelazak na grijanje na električnu energiju [67].

Većina domova u Europi još uvijek koristi sustave grijanja koji se oslanjaju na fosilna goriva, kao što je prikazano na slici 7.1. Potrošnja energije u kućanstvima europskih zemalja za grijanje prostora i vode u 2021. godini sastojala se od 38% prirodnog plina, 20% biomase, 15% lož ulja, 11% iz gradske toplane i samo 11% električne energije (pri čemu se ne koristi sva električna energija u dizalicama topline).



**Slika 7.1.** Pregled goriva za grijanje korištenih (konačna potrošnja energije) u 2021. godini [68].

Za bolji uvid potencijala dizalica topline za smanjenje troškova i emisija, važno je razmotriti razlike u karakteristikama između fosilnih sustava grijanja i dizalica topline. Bojleri na fosilna goriva, poput visokoučinkovitih plinskih ili uljnih bojlera, relativno su jeftini za kupnju i ugradnju. Cijena takvih uređaja kreće se oko 2500 €. Većina troškova tijekom životnog ciklusa ovih uređaja odnosi se na gorivo. Nasuprot tome, dizalice topline zahtijevaju veća početna ulaganja, koja mogu iznositi i do 10 000 € za kupnju i ugradnju, ovisno o proizvođaču, ali općenito imaju niže operativne troškove zbog vrlo visoke električne učinkovitosti (COP) od 300% do 400%, u usporedbi s manje od 100% za većinu fosilnih sustava grijanja.

Međutim, viša cijena električne energije u usporedbi s fosilnim gorivima, zbog viših tržišnih cijena i poreznih razina, djelomično neutralizira ovu prednost. Relativna financijska ušteda od grijanja toplinskom pumpom ovisi o početnoj investicijskoj premiji u odnosu na bojlere te omjeru cijene električne energije i fosilnih goriva [68].

Osim cijene električne energije, nekoliko čimbenika je ključno za procjenu operativnih troškova dizalica topline, uključujući energetske standard zgrade, veličinu grijane površine i učinkovitost samih dizalica topline. U usporedbi s fosilnim gorivima, cijena električne energije u 2021. godini u Njemačkoj, koja je gotovo četiri puta veća od cijene lož ulja i prirodnog plina, čini dizalice topline skupljim izborom. Međutim, s uvođenjem novih CO<sub>2</sub> cijena od 2021. godine i planiranim smanjenjem EEG (njemački Zakon o obnovljivoj energiji, engl. *German Renewable Energy Act*) nadoplate, dizalice topline su postale ekonomski isplativije.

Mjesečni troškovi grijanja za kuće u Njemačkoj s različitim energetske standardima (neobnovljene, djelomično obnovljene i obnovljene), opremljene dizalicama topline i plinskim bojlerima, prikazani su na slici 7.2. Za dizalice topline uzete su u obzir prosječna cijena električne energije od 24 centa po kWh i smanjena cijena od 20 centi po kWh zbog EEG nadoplate. Mjesečni troškovi su prikazani u odnosu na učinkovitost dizalice topline (COP), dok su za plinske bojlere razmatrane zakonom uvedene cijene CO<sub>2</sub> za 2021. i 2025. godinu te procjene za kasnije godine. Pretpostavlja se da je učinkovitost plinskog bojlera 90%.



**Slika 7.2.** Mjesečni operativni troškovi za kuću sa 150 m<sup>2</sup> grijane površine i različitim energetske standardima [69].

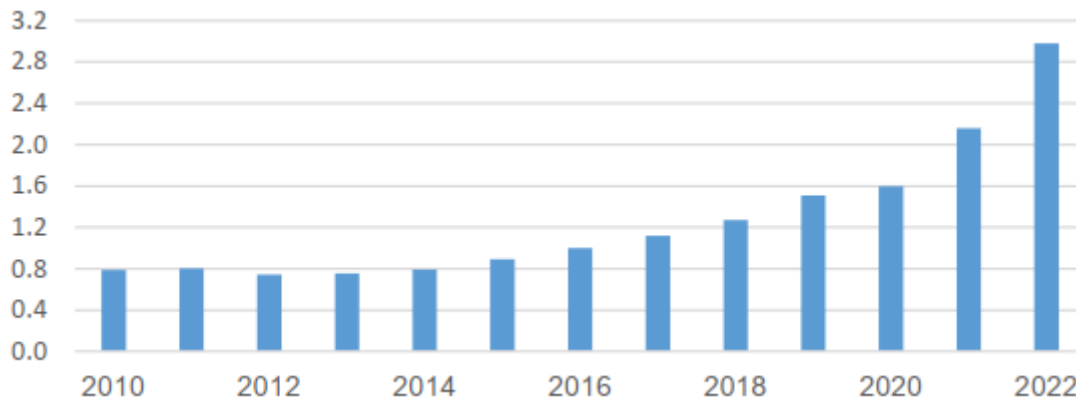
Učinkovitost toplinskih pumpi značajno utječe na operativne troškove. Na primjer, dizalica topline s COP 3,0 ima mjesečne troškove preko 40 € veće od dizalice topline s COP 4,0 za neobnovljenu kuću. Za djelomično obnovljenu kuću, razlika je oko 30 €, dok je za obnovljenu kuću razlika manja od 20 €. Uzimajući u obzir cijene u 2021. godini u Njemačkoj, dizalica topline mora postići COP od najmanje 3,5 kako bi imala otprilike iste pogonske troškove kao plinski bojler. Očekuje se da će cijene plina porasti za 1 cent po kWh, dosegnuvši 7,5 centi 2025. godine zbog sve većih troškova CO<sub>2</sub>. Posljedično, dizalica topline s COP 3,0 već će biti usporediva s plinskim bojlerom u smislu pogonskih troškova. Ukoliko cijena plina nastavi rasti ili cijena električne energije padne, na primjer zbog smanjenja EEG nadoplate, dizalice topline će ostvariti značajne troškovne prednosti. Tada će dizalica topline s COP 2,5 biti ekonomičnija od plinskog sustava grijanja.

Usporedba mjesečnih troškova grijanja za djelomično obnovljenu kuću s dizalicom topline (COP 3,0 i COP 3,5) i grijanjem plinom prikazana je na slici 7.3., uzimajući u obzir različite cijene električne energije i plina te smanjenje nadoplate. Zelene trake prikazuju najpovoljnije rješenje u svakom scenariju. Dizalica topline s COP 3,5 već s cijenama u 2021. godini pokazuje ekonomske prednosti u usporedbi s grijanjem plinom [69].



**Slika 7.3.** Usporedba mjesečnih troškova grijanja za dizalicu topline i grijanje plinom [69].

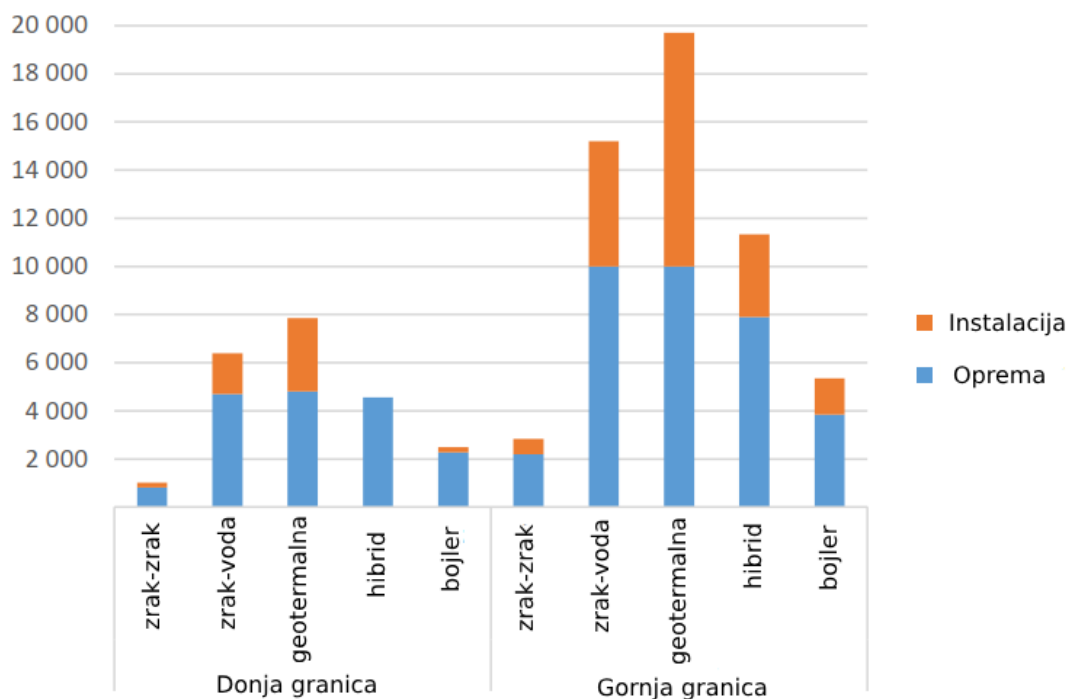
Prodaja dizalica topline u Europi bilježi brzi rast kao što je vidljivo na slici 7.4. U 2020. godini prodano je 1,62 milijuna jedinica. Tijekom 2020. godine prodano je 1,62 milijuna jedinica. Rast od oko 34% zabilježen je 2021. godine, dok je prodaja u 2022. porasla za 39%, dosegnuvši više od 3 milijuna jedinica (od toga 2,75 milijuna u 18 država članica Europske unije). Oko 90% prodaje bilo je namijenjeno za grijanje prostora, a ostatak za toplu vodu.



**Slika 7.4.** Prodaja dizalica topline u Europi, 2010.-2022. (u milijunima) [70].

Početni troškovi za pojedinačne sustave grijanja u državama članicama Europske unije (EU) prikazani su na slici 7.5., gdje donja granica označava nižu procjenu troškova, obuhvaćajući osnovne troškove opreme i minimalne troškove ugradnje, dok gornja granica predstavlja višu procjenu troškova, uključujući dodatne troškove za instalaciju, potrebne prilagodbe i druge moguće dodatne troškove koji mogu nastati tijekom ugradnje. Ovaj raspon omogućava razumijevanje varijacija u cijeni koje mogu nastati zbog različitih čimbenika kao što su veličina sustava, složenost instalacije i regionalne razlike u cijenama rada i materijala. Geotermalne dizalice topline imaju najveće ukupne troškove, s gornjom granicom troškova dosežući oko 19500 €, što je uglavnom posljedica visokih troškova instalacije. S druge strane, dizalice topline zrak-zrak imaju najniže ukupne troškove, čineći ih najpristupačnijom opcijom. Dizalice topline zrak-voda su srednje cjenovne kategorije, s troškovima koji se kreću od oko 6000 € do preko 14000 €. Hibridni sustavi, koji kombiniraju više tehnologija, imaju umjerene troškove, s gornjom granicom od oko 11000 €, dok plinski bojleri imaju druge najniže troškove instalacije i opreme, s gornjom granicom od oko 5000 €.





**Slika 7.5.** Uobičajeni početni troškovi za pojedinačne sustave grijanja u EU (u eurima) [70].

Električna snaga dizalica topline prikazanih na slici 7.5. iznosi:

- Dizalica topline zrak-zrak = 5-6,5 kW
- Dizalica topline zrak-voda = 7-9 kW
- Geotermalna dizalica topline = 7-9 kW
- Hibridni sustavi dizalica topline, koji kombiniraju dizalice topline s drugim tehnologijama poput plinskih bojlera = 5 kW (nema podataka za instalaciju donje granice)
- Bojler (plinski bojler) = 14 kW.

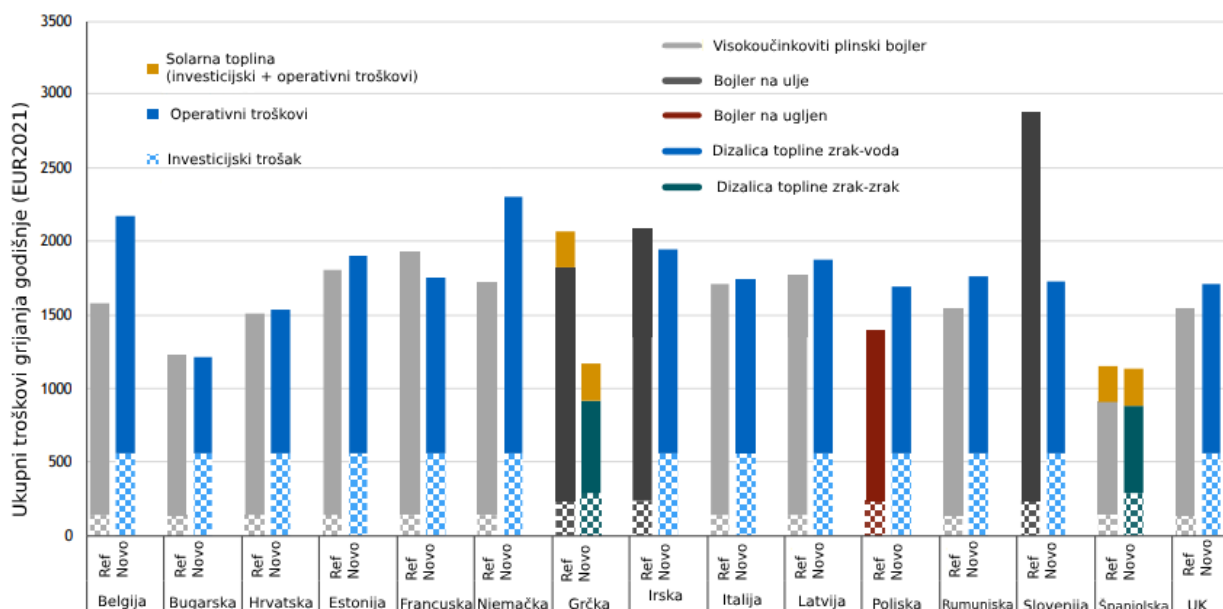
Treba napomenuti da, za razliku od bojlera, sustavi dizalice topline često dodatno omogućuju hlađenje ili ventilaciju uz grijanje. U nekim zemljama, može biti prikladno usporediti trošak dizalice topline s kombiniranim troškom bojlera i klima uređaja.

Važno je napomenuti da ekonomska isplativost dizalica topline može biti dodatno poboljšana kroz različite subvencije i poticaje koje nude vlade i energetske politike. Subvencije za kupnju dizalice topline u EU razlikuju se od zemalja koje ne nude nikakve subvencije kao što su Bugarska, Estonija, Grčka i Rumunjska do onih koje nude značajne iznose, poput 16750 € u Njemačkoj za geotermalnu dizalicu topline ili 90% u Italiji u obliku poreznih olakšica.

Iako je početno ulaganje važna prepreka, životni trošak tehnologije grijanja uglavnom se određuje troškovima njenog rada. Trošak rada dizalice topline ovisi o cijeni električne energije, energetskej

učinkovitosti zgrade, veličini prostora koji se grije i učinkovitosti same dizalice topline. Važno je napomenuti da veći početni trošak često znači veću učinkovitost, što smanjuje operativne troškove [70].

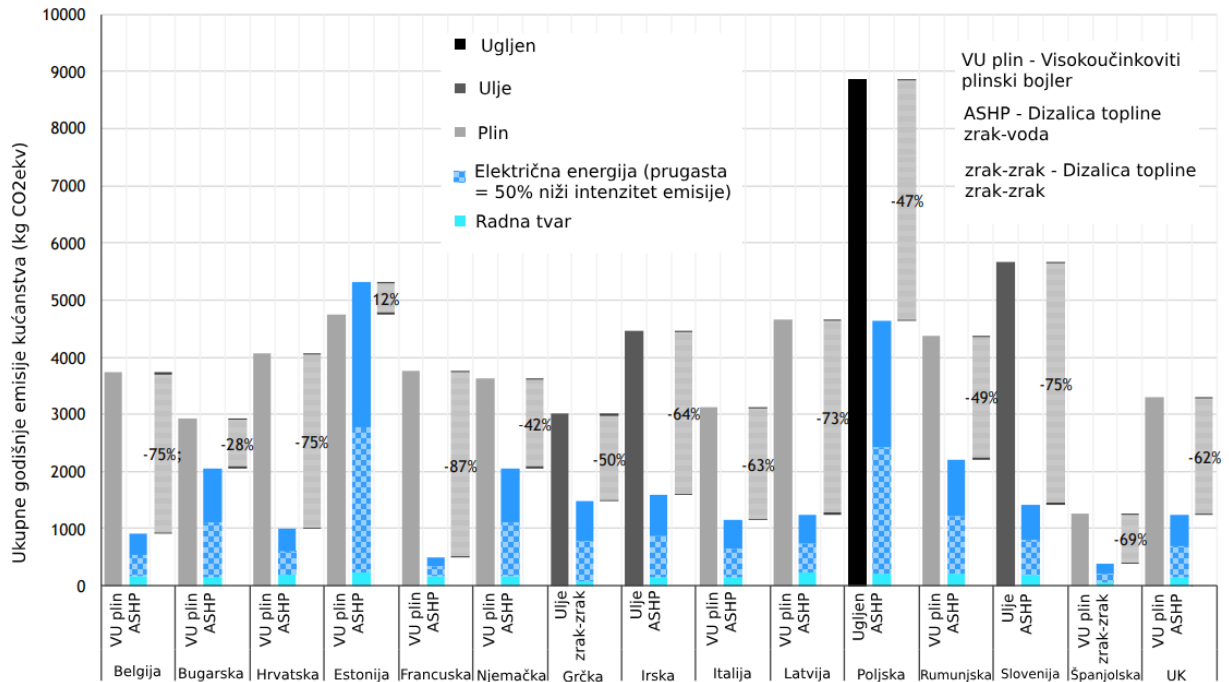
Prema slici 7.6., dizalice topline trenutno nude jeftinije rješenje za grijanje bez subvencija u 6 od 15 zemalja kada se uzmu u obzir svi životni troškovi. U prosjeku za sve zemlje u analizi, troškovi grijanja s dizalicom topline procjenjuju se jednakima troškovima fosilne alternative. U zemljama s višim troškovima grijanja toplinskom pumpom, razlika u troškovima je relativno mala, samo u 3 zemlje (Njemačka, Belgija i Poljska) grijanje dizalicom košta više od 20% više nego fosilna alternativa. Visoki troškovi grijanja dizalicom topline uglavnom su rezultat visokog omjera cijene električne energije i plina. Uzimajući u obzir postojeće sheme subvencija, dizalice topline bi postale jeftinije rješenje u više zemalja.



**Slika 7.6.** Usporedba godišnjih troškova grijanja za fosilne (Ref) i niskouglične (Novo) sustave u različitim europskim zemljama [68].

Osim potencijalnih ušteda, dizalice topline mogu značajno smanjiti potrošnju energije i emisije CO<sub>2</sub>. Dva su ključna razloga za ovo smanjenje emisija. Prvo, visoka energetska učinkovitost dizalice topline značajno smanjuje ukupnu potrošnju energije. Drugo, električna energija je nositelj energije koji se najlakše može dekarbonizirati korištenjem obnovljivih izvora energije. Stoga, prelazak na dizalice topline predstavlja ključni korak prema budućnosti s učinkovitim i dekarboniziranim sustavima grijanja.

Kao što je prikazano na slici 7.7., dizalice topline s trenutnim emisijskim intenzitetom električne mreže dovest će do prosječnog smanjenja emisija od 56% u odabranim zemljama. Ovo smanjenje može narasti do 90% godišnje kada obnovljivi izvori električne energije postanu dominantni u proizvodnji energije u EU tijekom životnog vijeka dizalice topline. Jedino će u Estoniji, zbog visokog udjela ugljena u proizvodnji električne energije, emisije kratkoročno porasti [68].



**Slika 7.7.** Smanjenje emisija za prosječno kućanstvo koje prelazi s grijanja na fosilna goriva na grijanje dizalicom topline [68].

Nakon teorijskog pregleda isplativosti grijanja split klima uređajem, u nastavku slijedi proračun koji prikazuje isplativost grijanja pomoću dizalice topline zrak-zrak i plinskog bojlera za sobu prikazanu na slici 7.8.

Specifikacije sobe:

- Površina sobe: 16 m<sup>2</sup> (4 m x 4 m)
- Volumen sobe: 40 m<sup>3</sup> (4 m x 4 m x 2,5 m)
- Debljina vanjskog zida: 30 cm + 10 cm (opeka + izolacija odnosno stiropor)
- Debljina unutarnjeg zida: 20 cm (opeka)
- Broj prozora: 2 (PVC prozor s trostrukim staklom)
- Dimenzija prozora: 1,2 m x 1,4 m
- Broja vrata: 1 (unutarnja drvena vrata)

- Dimenzija vrata: 2 m x 0,8 m
- Pod: 12 cm + 6 cm + 6 cm + 1 cm (betonska ploča + izolacija odnosno stiropor + estrih + laminat)
- Strop: 15 cm + 6 cm + 6 cm + 1 cm (betonska ploča + izolacija odnosno stiropor + estrih + laminat).



**Slika 7.8.** Model sobe za proračun isplativosti grijanja.

Gubitak topline kroz pojedini element (zidovi, vrata, prozori, pod, strop) računa se prema izrazu (7-1).

$$Q_{GT,PE} = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t \cdot n \quad (7-1)$$

Gdje je:

- $Q_{GT,PE}$  – gubitak topline [kWh]
- $U$  – koeficijent prolaska topline [ $W/m^2K$ ]
- $A$  – površina elementa [ $m^2$ ]
- $\Delta T$  – razlika između vanjske temperature i željene unutarnje temperature [ $^{\circ}C$ ]
- $t$  – vrijeme grijanja [h]
- $n$  – broj dana grijanja.

Površina vrata, prozora, stropa i poda računa se prema izrazu (7-2).

$$A = a \cdot b \quad (7-2)$$

Gdje je:

- $A$  – površina elementa [ $\text{m}^2$ ]
- $a$  – duljina [m]
- $b$  – širina [m].

Površina vanjskog i unutarnjeg zida računa se prema izrazu (7-3).

$$A = (a \cdot c) + (b \cdot c) \quad (7-3)$$

Gdje je:

- $A$  – površina elementa [ $\text{m}^2$ ]
- $a$  – duljina [m]
- $b$  – širina [m]
- $c$  – visina [m].

Otpor toplinskog prolaza računa se prema izrazu (7-4).

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (7-4)$$

Gdje je:

- $R$  – otpor toplinskog prolaza [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]
- $d$  – debljina materijala [m]
- $\lambda$  – toplinska provodljivost materijala [ $\text{W}/\text{mK}$ ].

Koeficijent prolaska topline računa se prema izrazu (7-5).

$$U = \frac{1}{R} \quad (7-5)$$

Gdje je:

- $U$  – koeficijent prolaska topline [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
- $R$  – otpor toplinskog prolaza [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ].

Tablica 7.1. prikazuje specifikacije građevinskih elemenata te njihove koeficijente prolaska topline.

**Tablica 7.1.** Specifikacije građevinskih elemenata i njihovi koeficijenti prolaska topline.

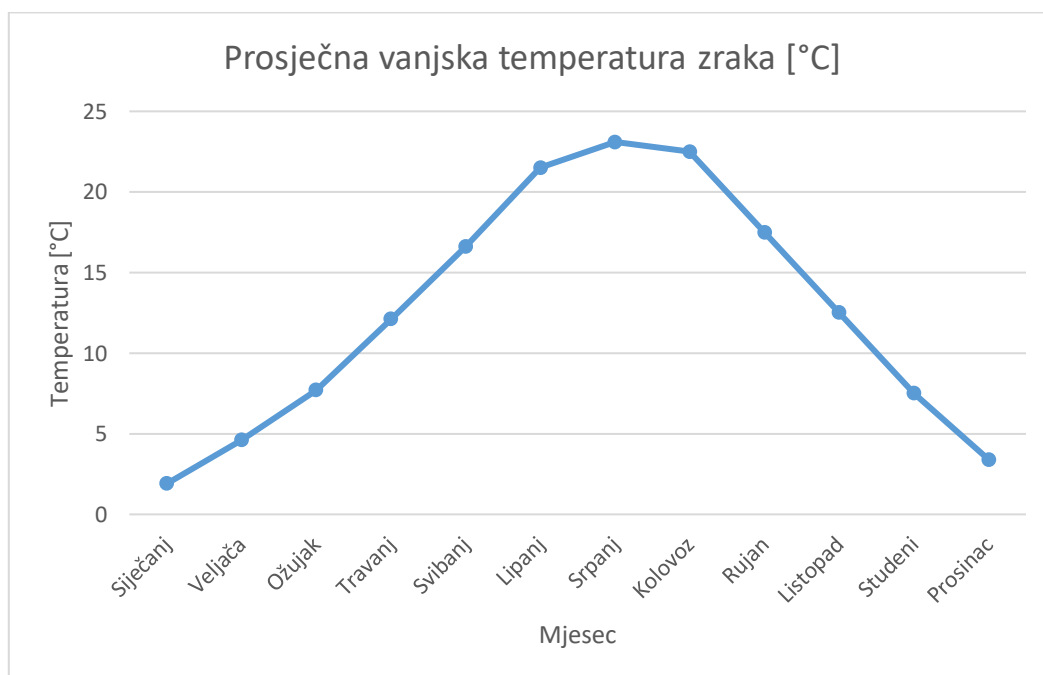
Element	Površina [m <sup>2</sup> ]	Debljina [m]	Toplinska provodljivost materijala [W/mK]	Otpor toplinskog prolaza [m <sup>2</sup> K/W]	Koeficijent prolaska topline [W/m <sup>2</sup> K]
Vanjski zid (opeka + stiropor)	20	0,3, 0,1	0,48, 0,037	0,625 + 2,703 = 3,328	0,3
Unutarnji zid (opeka)	20	0,2	0,48	0,42	2,38
Prozor (PVC trostruko staklo)	3,36	-	-	-	0,7
Vrata (drvena)	1,6	-	-	-	2,5
Pod (beton + stiropor + estrih + laminat)	16	0,12, 0,06, 0,06, 0,01	1,7, 0,037, 1, 0,15	0,071 + 1,622 + 0,06 + 0,067 = 1,82	0,549
Strop (beton + stiropor + estrih + laminat)	16	0,15, 0,06, 0,06, 0,01	1,7, 0,037, 1, 0,15	0,088 + 1,622 + 0,06 + 0,067 = 1,837	0,544

Tablica 7.2. prikazuje mjesečne klimatske vrijednosti i podatke o grijanju dok slika 7.9. grafički prikazuje prosječnu vanjsku temperaturu zraka po mjesecima.

Za izradu tablice 7.2. uzeta je željena temperatura prostora od 20 °C dok prosječna vanjska temperatura zraka predstavlja prosječnu temperaturu zraka za istočnu Hrvatsku u periodu od 2013. do 2023. godine. Razlika te dvije temperature predstavlja u tablici razliku u temperaturi po mjesecima.

**Tablica 7.2.** Mjesečne klimatske vrijednosti i podatci o grijanju.

Mjesec	Prosječna vanjska temperatura zraka [°C]	Razlika u temperaturi [°C]	Broj dana grijanja	Vrijeme grijanja [h]
Siječanj	1,9	18,1	31	14
Veljača	4,6	15,4	28	14
Ožujak	7,7	12,3	31	10
Travanj	12,1	7,9	30	6
Svibanj	16,6	3,4	0	0
Lipanj	21,5	-1,5	0	0
Srpanj	23,1	-3,1	0	0
Kolovoz	22,5	-2,5	0	0
Rujan	17,5	2,5	0	0
Listopad	12,5	7,5	31	6
Studeni	7,5	12,5	30	10
Prosinac	3,4	16,6	31	14



**Slika 7.9.** Prikaz prosječne vanjske temperature zraka.

Ukupni gubici topline kroz pojedini element računaju se prema izrazu (7-6).

$$Q_{UK,GT,PE} = Q_{VZ} + Q_{UZ} + Q_P + Q_V + Q_{POD} + Q_{STROP} \quad (7-6)$$

Gdje je:

- $Q_{UK,GT,PE}$  – ukupni gubici topline kroz pojedini element [kWh]
- $Q_{VZ}$  – gubitak topline kroz vanjske zidove [kWh]
- $Q_{UZ}$  – gubitak topline kroz unutarnje zidove [kWh]
- $Q_P$  – gubitak topline kroz prozore [kWh]
- $Q_V$  – gubitak topline kroz vrata [kWh]
- $Q_{POD}$  – gubitak topline kroz pod [kWh]
- $Q_{STROP}$  – gubitak topline kroz strop [kWh].

Tablica 7.3. prikazuje ukupne gubitke topline kroz pojedini element po mjesecu.

**Tablica 7.3.** Ukupni gubici topline kroz pojedini element.

Mjesec	Vanjski zid [kWh]	Unutarnji zid [kWh]	Prozori [kWh]	Vrata [kWh]	Pod [kWh]	Strop [kWh]	Ukupno [kWh]
Siječanj	47,13	373,92	18,48	31,42	69,00	68,37	608,32
Veljača	36,22	287,35	14,20	24,15	53,03	52,54	467,49
Ožujak	22,88	181,50	8,97	15,25	33,49	33,19	295,28
Travanj	8,53	67,69	3,34	5,69	12,49	12,38	110,12
Svibanj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lipanj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Srpanj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kolovoz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rujan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Listopad	8,37	66,40	3,28	5,58	12,25	12,14	108,03
Studeni	22,50	178,50	8,82	15,00	32,94	32,64	290,40
Prosinac	43,23	342,93	16,94	28,82	63,28	62,71	557,91

Gubitak topline kroz ventilaciju računa se prema izrazu (7-7).

$$Q_{vent} = n_{vent} \cdot V \cdot \Delta T \cdot t \cdot n \quad (7-7)$$

Gdje je:



- $Q_{vent}$  – gubitak topline kroz ventilaciju [kWh]
- $n_{vent}$  – koeficijent izmjene zraka
- $V$  – volumen sobe [ $m^3$ ]
- $\Delta T$  – razlika između vanjske temperature i željene unutarnje temperature [ $^{\circ}C$ ]
- $t$  – vrijeme grijanja [h]
- $n$  – broj dana grijanja.

Volumen sobe iznosi  $40 m^3$ , a koeficijent izmjene zraka iznosi 0,5.

Tablica 7.4. prikazuje gubitke topline kroz ventilaciju po mjesecu.

**Tablica 7.4.** Gubitak topline kroz ventilaciju.

Mjesec	Razlika u temperaturi [ $^{\circ}C$ ]	Broj dana grijanja	Vrijeme grijanja [h]	Gubitak topline kroz ventilaciju [kWh]
Siječanj	18,1	31	14	157,11
Veljača	15,4	28	14	120,74
Ožujak	12,3	31	10	76,26
Travanj	7,9	30	6	28,44
Svibanj	3,4	0	0	0,00
Lipanj	-1,5	0	0	0,00
Srpanj	-3,1	0	0	0,00
Kolovoz	-2,5	0	0	0,00
Rujan	2,5	0	0	0,00
Listopad	7,5	31	6	27,90
Studeni	12,5	30	10	75,00
Prosinac	16,6	31	14	144,09

Ukupni gubici topline računaju se prema izrazu (7-8).

$$Q_{GT} = Q_{UK,GT,PE} + Q_{vent} \quad (7-8)$$

Gdje je:

- $Q_{GT}$  – ukupni gubici topline [kWh]
- $Q_{UK,GT,PE}$  – ukupni gubici topline kroz pojedini element [kWh]
- $Q_{vent}$  – gubitak topline kroz ventilaciju [kWh].

Tablica 7.5. prikazuje ukupne gubitke topline po mjesecu.

**Tablica 7.5.** Ukupni gubici topline.

Mjesec	Ukupni gubici topline kroz pojedini element [kWh]	Gubitak topline kroz ventilaciju [kWh]	Ukupni gubici topline [kWh]
Siječanj	608,32	157,11	765,43
Veljača	467,49	120,74	588,23
Ožujak	295,28	76,26	371,54
Travanj	110,12	28,44	138,56
Svibanj	0,00	0,00	0,00
Lipanj	0,00	0,00	0,00
Srpanj	0,00	0,00	0,00
Kolovož	0,00	0,00	0,00
Rujan	0,00	0,00	0,00
Listopad	108,03	27,90	135,93
Studeni	290,40	75,00	365,40
Prosinac	557,91	144,09	702,00

Unutarnji izvor topline računa se prema izrazu (7-9).

$$Q_{UIT} = (P_o \cdot t_o \cdot n_o \cdot n) + (P_{\dot{z}} \cdot t_{\dot{z}} \cdot n_{\dot{z}} \cdot n) \quad (7-9)$$

Gdje je:

- $Q_{UIT}$  – unutarnji izvor topline [kWh]
- $P_o$  - snaga toplinske emisije osoba [W]
- $t_o$  - vrijeme koje osobe provode u sobi [h]
- $n_o$  - broj osoba
- $P_{\dot{z}}$  - snaga žarulje [W]
- $t_{\dot{z}}$  - vrijeme rada žarulje [h]
- $n_{\dot{z}}$  - broj žarulja
- $n$  - broj dana grijanja.

Za izračun unutarnjih izvora topline uzeti su sljedeći podatci:

- prisutne su dvije osobe koje provode 7 h dnevno u sobi

- snaga toplinske emisije jedne osobe je 115 W
- prisutna je jedna žarulja snage 60 W koja radi 4 h.

Tablica 7.6. prikazuje unutarnje izvore topline po mjesecu.

**Tablica 7.6.** Unutarnji izvori topline.

Mjesec	Broj dana grijanja	Unutarnji izvor topline [kWh]
Siječanj	31	57,35
Veljača	28	51,8
Ožujak	31	57,35
Travanj	30	55,5
Svibanj	0	0,00
Lipanj	0	0,00
Srpanj	0	0,00
Kolovoz	0	0,00
Rujan	0	0,00
Listopad	31	57,35
Studeni	30	55,5
Prosinac	31	57,35

Potrebna toplinska energija računa se prema izrazu (7-10).

$$Q = Q_{GT} - Q_{UIT} \quad (7-10)$$

Gdje je:

- $Q$  – potrebna toplinska energija [kWh]
- $Q_{GT}$  – ukupni gubici topline [kWh]
- $Q_{UIT}$  – unutarnji izvor topline [kWh].

Tablica 7.7. prikazuje potrebnu toplinsku energiju za grijanje sobe po mjesecu.

**Tablica 7.7.** Potrebna toplinska energija.

Mjesec	Ukupni gubici topline [kWh]	Unutarnji izvor topline [kWh]	Potrebna toplinska energija [kWh]
Siječanj	765,43	57,35	708,08
Veljača	588,23	51,80	536,43
Ožujak	371,54	57,35	314,19
Travanj	138,56	55,50	83,06
Svibanj	0,00	0,00	0,00
Lipanj	0,00	0,00	0,00
Srpanj	0,00	0,00	0,00
Kolovoz	0,00	0,00	0,00
Rujan	0,00	0,00	0,00
Listopad	135,93	57,35	78,58
Studeni	365,40	55,50	309,90
Prosinac	702,00	57,35	644,65

Za proračun isplativosti grijanja korišteni su sljedeći načini grijanja:

1. Grijanje s plinskim bojlerom:
  - a. Učinkovitost: 0,95
  - b. Cijena plina: 0,0637 €/kWh.
2. Dizalice topline zrak-zrak:
  - a. Učinkovitost (COP): 3,0
  - b. Cijena električne energije: 0,0703 €/kWh.

Učinkovitost nam predstavlja koliko toplinske energije sustav za grijanje proizvede za 1 kWh električne energije.

Potrošnja električne energije plinskog bojlera računa se prema izrazu (7-11).

$$E_{PB} = \frac{Q}{\eta_{PB}} \quad (7-11)$$

Gdje je:

- $E_{PB}$  – potrošnja električne energije plinskog bojlera [kWh]
- $Q$  - potrebna toplinska energija [kWh]
- $\eta_{PB}$  – učinkovitost plinskog bojlera.

Trošak grijanja plinskim bojlerom računa se izrazom (7-12).

$$C_{PB} = E_{PB} \cdot C_{PLIN} \quad (7-12)$$

Gdje je:

- $C_{PB}$  – trošak grijanja plinskim bojlerom [€]
- $E_{PB}$  – potrošnja električne energije za plinski bojler [kWh]
- $C_{PLIN}$  – cijena plina [€/kWh].

Potrošnja električne energije dizalice topline računa se prema izrazu (7-13).

$$E_{DT} = \frac{Q}{\eta_{DT}} \quad (7-13)$$

Gdje je:

- $E_{DT}$  – potrošnja električne energije dizalice topline [kWh]
- $Q$  - potrebna toplinska energija [kWh]
- $\eta_{DT}$  – učinkovitost (COP) dizalice topline.

Trošak grijanja plinskim bojlerom računa se izrazom (7-14).

$$C_{DT} = E_{DT} \cdot C_{EE} \quad (7-14)$$

Gdje je:

- $C_{DT}$  – trošak grijanja dizalicom topline [€]
- $E_{DT}$  – potrošnja električne energije za dizalicu topline [kWh]
- $C_{EE}$  – cijena električne energije [€/kWh].

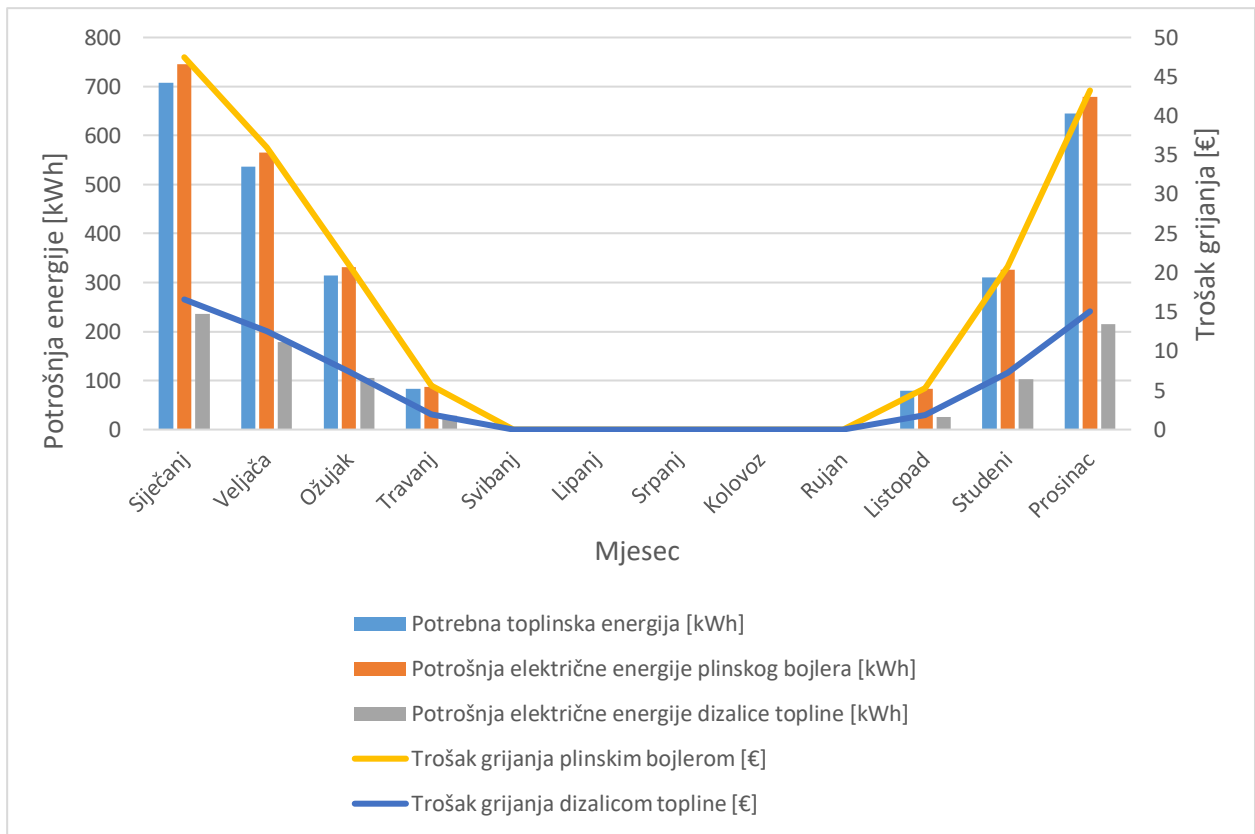
U tablici 7.8. prikazani su rezultati proračuna isplativosti grijanja po mjesecu.

**Tablica 7.8.** Prikaz troškova grijanja.

Mjesec	Potrebna toplinska energija [kWh]	Potrošnja električne energije plinskog bojlera [kWh]	Potrošnja električne energije dizalice topline [kWh]	Trošak grijanja plinskim bojlerom [€]	Trošak grijanja dizalicom topline [€]
Siječanj	708,08	745,35	236,03	47,48	16,59
Veljača	536,43	564,66	178,81	35,97	12,57
Ožujak	314,19	330,72	104,73	21,07	7,36
Travanj	83,06	87,43	27,69	5,57	1,95
Svibanj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lipanj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Srpanj	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kolovoz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rujan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Listopad	78,58	82,71	26,19	5,27	1,84
Studeni	309,90	326,21	103,30	20,78	7,26
Prosinac	644,65	678,58	214,88	43,23	15,11
	<b>2674,88</b>	<b>2815,66</b>	<b>891,63</b>	<b>179,36</b>	<b>62,68</b>

Usporedbom troškova grijanja sobe površine 16 m<sup>2</sup> (4 m x 4 m) plinskim bojlerom i dizalicom topline zrak-zrak utvrđeno je da je dizalica topline znatno isplativija opcija. Plinski bojler s učinkom od 0,95 rezultira godišnjim troškom grijanja od 179,36 €, dok dizalica topline s učinkom od 3,0 smanjuje taj trošak na 62,68 €. Visoka učinkovitost dizalice topline omogućava znatno niže troškove grijanja za istu količinu proizvedene toplinske energije, čime se potvrđuje da je dizalica topline zrak-zrak ekonomičniji izbor za grijanje.

Slika 7.10. grafički prikazuje rezultate proračuna isplativosti grijanja.



**Slika 7.10.** Prikaz troškova grijanja.

## 8. ZAKLJUČAK

Split klima uređaji predstavljaju ključnu tehnologiju za hlađenje i grijanje u stambenim i poslovnim prostorima, nudeći visoku učinkovitost i fleksibilnost. Međutim, njihova ugradnja može biti izazov zbog različitih faktora koji utječu na rad i učinkovitost sustava. U ovom diplomskom radu istraženi su ključni izazovi i rješenja vezana uz ugradnju split klima uređaja. Postavljeni ciljevi rada obuhvaćali su detaljnu analizu tehničkih karakteristika split klima uređaja, različitih vrsta radnih tvari, njihovih ekoloških i energetske pokazatelja, te metodologija za osiguranje nepropusnosti i dugotrajnosti sustava. Analiza je također uključivala pregled tehnologija, postupaka ugradnje i održavanja, kao i ekonomske aspekte isplativosti dopunskog sustava grijanja.

Ovaj diplomski rad naglašava nekoliko ključnih aspekata koji su od posebne važnosti. Split klima uređaji koriste različite radne tvari koje imaju značajan utjecaj na okoliš. Ekološki prihvatljive radne tvari pokazuju potencijal za smanjenje ekološkog otiska uz zadržavanje visoke energetske učinkovitosti. Pravilna priprema i montaža bakrenih cijevi, korištenje odgovarajućih alata kao što su moment ključ, te pravilno ispitivanje sustava, ključni su za osiguranje optimalnog rada klima uređaja. Redovito održavanje sustava dodatno doprinosi dugotrajnosti i učinkovitosti. Analiza ekonomskih parametara pokazala je isplativost korištenja split klima uređaja kao dopunskog sustava grijanja, što omogućuje donošenje informiranih odluka o investiranju u ovakve sustave.

Pogodnosti primjene dobivenih rezultata uključuju smanjenje operativnih troškova, povećanje energetske učinkovitosti i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš. Primjena ovih rezultata relevantna je za stambene i komercijalne prostore, industrijske objekte i medicinske ustanove.

Identificirani su i određeni izazovi koji zahtijevaju daljnje istraživanje. To uključuje razvoj novih, još učinkovitijih i ekološki prihvatljivijih radnih tvari te unapređenje tehnologija za praćenje i optimizaciju rada klima uređaja. Predložene su smjernice za daljnji rad, uključujući nastavak istraživanja i razvoja radnih tvari s niskim globalnim potencijalom zagrijavanja i nultim potencijalom oštećenja ozona. Razvoj naprednih sustava za praćenje i optimizaciju rada klima uređaja može doprinijeti dodatnim uštedama energije i smanjenju ekološkog otiska. Edukacija stručnjaka o najnovijim tehnologijama i metodama ugradnje i održavanja klima uređaja ključna je za postizanje optimalnih rezultata.

Zaključno, ovaj rad pružio je temelj za razumijevanje ključnih aspekata ugradnje split klima uređaja te naglasio važnost kontinuiranog unapređenja tehnologija i praksi u ovom području.



Detaljno opisani koraci i postupci potrebni za uspješnu ugradnju klima uređaja omogućuju bolje razumijevanje teorijskih koncepata i njihovu primjenu u stvarnim uvjetima, što je ključno za stručnjake u ovom području.

## LITERATURA

- [1] DeQuante R. Mckoy, R. Tesiero, Y. T. Acquah i B. Gokaraju, Review of HVAC Systems History and Future Applications, *Energies*, sv. 16(17):6109, 2023., DOI: 10.3390/en16176109
- [2] R. McDowall, *Fundamentals of HVAC Systems*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, 2007.
- [3] A. Kirkpatrick, *Introduction to Refrigeration and Air Conditioning Systems Theory and Applications*, Morgan & Claypool, San Rafael, California, 2017.
- [4] P. Lester, *History of Air Conditioning*, Department of Energy, 2015., dostupno na: <https://www.energy.gov/articles/history-air-conditioning> [28.05.2024.]
- [5] Klima koncept, Koji klima uređaj odabrati?, dostupno na: <https://www.klimakoncept.hr/hr/podrska-koji-klima-uredaj-odabrati-savjeti-i-preporuke-strucnjaka/1169/151> [29.06.2024.]
- [6] Klimatizacija.hr, Kako odabrati idealan klima uređaj, dostupno na: <https://klimatizacija.hr/blog/novosti/kako-odabrati-idealno-klima-uredaj-13/> [29.06.2024.]
- [7] Narodne Novine, Pravilnik o označavanju energetske učinkovitosti klima-uređaja, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_04\\_48\\_940.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_04_48_940.html) [28.06.2024.]
- [8] A. B. Khan, A. Naeem i H. A. Rab, TO COMPARE THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF VARIOUS REFRIGERANTS USED COMMERCIALY, 2018., DOI: 10.13140/RG.2.2.18827.03368
- [9] S. S. Bhatti, A. Kumar, Reetu R. i R. Singh, Environment-Friendly Refrigerants for Sustainable Refrigeration and Air Conditioning: A Review, *Current World Environment*, sv. 18(3), str. 933-947, 2024., DOI: 10.12944/CWE.18.3.03
- [10] Carrier, 38MHRC Outdoor Unit Single Zone Ductless System, Installation Instructions, 2021., dostupno na: <https://www.shareddocs.com/hvac/docs/1009/Public/0F/IM-38MHRC-02.pdf> [14.07.2024.]
- [11] Carrier, SPLIT-TYPE AIR CONDITIONER INSTALLATION MANUAL, Andoo, dostupno na: <https://www.andoo.com.au/public/manuals/53QHB070N8-1-Carrier-Installation-Guide.pdf> [14.07.2024.]

- [12] Cooper & Hunter, Installation Manual MINI SPLIT WALL MOUNTED AIR CONDITIONER, dostupno na: <https://api.cooperandhunter.us/storage/2801/Installation-manual.pdf> [14.07.2024.]
- [13] Daikin, »INSTALLATION MANUAL R32 Split Series, 2015. dostupno na: [https://www.daikin.eu/content/dam/document-library/installation-manuals/ac/split/FTXJ-MW\\_FTXJ-MS\\_3PEN393185-6K\\_Installation-manuals\\_English.pdf](https://www.daikin.eu/content/dam/document-library/installation-manuals/ac/split/FTXJ-MW_FTXJ-MS_3PEN393185-6K_Installation-manuals_English.pdf) [14.07.2024.]
- [14] Narodne Novine, Zakon o gradnji, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_12\\_125\\_2489.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_12_125_2489.html) [28.06.2024.]
- [15] Narodne Novine, Zakon o energetskej učinkovitosti, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021\\_04\\_41\\_811.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_04_41_811.html) [28.06.2024.]
- [16] Narodne Novine, Zakon o klimatskim promjenama i zaštiti ozonskog sloja, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_12\\_127\\_2554.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_12_127_2554.html) [28.06.2024.]
- [17] Narodne Novine, Zakon o komunalnom gospodarstvu, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_07\\_68\\_1393.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_07_68_1393.html) [28.06.2024.]
- [18] Narodne Novine, Zakon o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1999\\_07\\_69\\_1284.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1999_07_69_1284.html) [28.06.2024.]
- [19] Narodne Novine, Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021\\_12\\_138\\_2272.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_12_138_2272.html) [28.06.2024.]
- [20] Narodne Novine, Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti u zgradama, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020\\_09\\_102\\_1922.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_09_102_1922.html) [28.06.2024.]
- [21] Narodne Novine, Tehnički propis o sustavima ventilacije, djelomične klimatizacije i klimatizacije zgrada, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007\\_01\\_3\\_201.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007_01_3_201.html) [28.06.2024.]
- [22] Narodne Novine, Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008\\_09\\_110\\_3239.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_09_110_3239.html) [28.06.2024.]
- [23] Grad Slavonski Brod, Službeni glasnik Grada Slavonskog Broda, Odluka o komunalnom redu, Slavonski Brod, 2019.
- [24] Grad Zagreb, Službeni glasnik Grada Zagreba, Odluka o komunalnom redu, Zagreb, 2019.

- [25] Grad Vukovar, Službeno glasilo Grada Vukovara, Odluka o komunalnom redu, Vukovar, 2020.
- [26] Grad Osijek, Službeni glasnik Grada Osijeka, Odluka o komunalnom redu, Osijek, 2023.
- [27] FrigoSys, UNDERSTANDING THE REFRIGERATION CYCLE : A GUIDE TO COOLING, dostupno na: <https://www.frigosys.com/understanding-the-refrigeration-cycle-a-guide-to-cooling/> [29.04.2024.]
- [28] G. F. Hundy, A. R. Trott i T. C. Welch, Refrigeration and Air Conditioning, Fourth Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2008.
- [29] A. R. Trott i T. C. Welch, Refrigeration & Air-Conditioning, Third Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999.
- [30] N. Adenwala, Basic Concepts of Refrigeration and Air Conditioning, dizz Desing & Engineering, 2019. dostupno na: <https://dizz.com/basics-of-refrigeration-and-air-conditioning/> [29.04.2024.]
- [31] E. Khorshid, B. Alshuraiaan, A. Alsairafi, A. A. Alazemi i A. Alhaddad, Performance investigation on new refrigerant mixture, 2011., DOI: 10.1109/ICMSAO.2011.5775612
- [32] P. Arora, A. K. Tyagi i G. Seshadri, Fourth Generation Refrigerant: HFO 1234 yf, Current Science, sv. 115(08):1497, 2018., DOI: 10.18520/cs/v115/i8/1497-1503
- [33] L. Maizland , The Global Impact of the Montreal Protocol, Kyoto Protocol, and Paris Agreement, Council on Foreign Relations, 2023, dostupno na: <https://www.cfr.org/backgrounder/paris-global-climate-change-agreements> [28.06.2024.]
- [34] M. S. Owen i A. Eltalouny, Update on New Refrigerants Designations and Safety Classifications, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, Georgia, 2022.
- [35] A. D. Althouse, C. H. Turnquist, A. F. Bracciano, D. C. Bracciano i G. M. Bracciano, Modern Refrigeration and Air Conditioning, 20th Edition, The Goodheart-Willcox Company, Inc., Illinois, 2017.
- [36] MB Frigo Grupa, Nova radna tvar R32, Elitesecurity, dostupno na: [https://static.elitesecurity.org/uploads/3/8/3863118/R32\\_Interna\\_prezentacija.pdf](https://static.elitesecurity.org/uploads/3/8/3863118/R32_Interna_prezentacija.pdf) [29.06.2024.]
- [37] Daikin, R-32 THE MOST BALANCED REFRIGERANT, dostupno na: [https://www.daikin.com/air/daikin\\_techknowledge/benefits/r-32](https://www.daikin.com/air/daikin_techknowledge/benefits/r-32) [29.06.2024.]

- [38] Daikin, R32 Instructions for Use and Handling, dostupno na: [https://www.daikinchem.de/sites/default/files/pdf/Refrigerants/Daikin\\_R32\\_Handling\\_Brochure\\_EN.pdf](https://www.daikinchem.de/sites/default/files/pdf/Refrigerants/Daikin_R32_Handling_Brochure_EN.pdf) [29.06.2024.]
- [39] Linde Gas, dostupno na: [https://www.linde-gas.se/wcsstore/SE\\_REN\\_Industrial\\_Gas\\_CatalogueAS/docs/R32.pdf](https://www.linde-gas.se/wcsstore/SE_REN_Industrial_Gas_CatalogueAS/docs/R32.pdf) [29.06.2024.]
- [40] S. Benhadid-Dib i A. Benzaoui, Refrigerants and their Environmental Impact Substitution of Hydro Chlorofluorocarbon HCFC and HFC Hydro Fluorocarbon. Search for an Adequate Refrigerant, Energy Procedia, sv. 18, str. 807-816, 2012., DOI: 10.1016/j.egypro.2012.05.096
- [41] Y. Dong, M. Coleman i S. A. Miller, Greenhouse Gas Emissions from Air Conditioning and Refrigeration Service Expansion in Developing Countries, Annual Review of Environment and Resources, sv. 46, str. 59–83, 2021., DOI: 10.1146/annurev-environ-012220-034103
- [42] D. Cowan, J. Gartshore, I. Chaer, C. Francis i G. Maidment, REAL Zero – Reducing refrigerant emissions & leakage - feedback from the IOR Project, The Institute of Refrigeration, Bickenhill, Solihull, West Midlands, 2010.
- [43] Green Cooling Initiative, Global greenhouse gas emissions from the RAC sector, dostupno na: <https://www.green-cooling-initiative.org/country-data#!total-emissions/all-sectors/absolute> [14.06.2024.]
- [44] Europska organizacija za normizaciju (CEN), Energetske značajke zgrada -- Postupak ekonomske ocjene energetske sustava u zgradama (EN 15459:2007), Hrvatski zavod za norme (HZN), Zagreb, 2008.
- [45] I. Babić, Metodologija provođenja energetskeg pregleda zgrada, Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine Republike Hrvatske, Zagreb, 2021.
- [46] Narodne Novine, Tehnički propis za niskonaponske električne instalacije, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010\\_01\\_5\\_132.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_01_5_132.html) [20.07.2024.]
- [47] International Electrotechnical Commission (IEC), IEC 60364-5-52: Low-voltage electrical installations – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems, International Electrotechnical Commission (IEC), Geneva, 2009.
- [48] National Fire Protection Association (NFPA), 2017 National Electrical Code, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2017.

- [49] International Comfort Products, WIRING DIAGRAM MANUAL Split System Air Conditioner, Carrier, 2019., dostupno na: <https://www.shareddocs.com/hvac/docs/1011/Public/06/42103160000.pdf> [21.07.2024.]
- [50] J. E. Brumbaugh, HVAC Fundamentals Volume 3 Air-Conditioning, Heat Pumps, and Distribution Systems, Fourth Edition, Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2004.
- [51] CreativeBooster, How Does an AC (Air Conditioner) Work? With Picture (Easy-to-Understand), 2022., dostupno na: <https://creativebooster.net/blogs/home/how-does-an-ac-work> [11.07.2024.]
- [52] Home Particle, Understanding How Split Air Conditioner works with Diagram, 2021., dostupno na: <https://homeparticle.com/working-of-split-ac/> [11.07.2024.]
- [53] F. Zainuri, A. A. Abdillah, I. Wahyudi, A. Ekayuliana i W. Widiyatmoko, Design Of Split AC Modification Become Air Conditioning Of Geothermal Open System,ASAIS, Depok, 2019.
- [54] Klima koncept, Tipovi unutarnjih jedinica, dostupno na: [https://www.klimakoncept.hr/hr/podrska-tipovi\\_unutarnjih\\_jedinica-/1164/151](https://www.klimakoncept.hr/hr/podrska-tipovi_unutarnjih_jedinica-/1164/151) [11.07.2024.]
- [55] Daikin, SPLIT/MULTI-SPLIT TYPE AIR CONDITIONERS, dostupno na: [https://www.daikin.com/products/ac/lineup/split\\_multi\\_split](https://www.daikin.com/products/ac/lineup/split_multi_split) [11.07.2024.]
- [56] Arizaz Heating and Cooling, What is an Inverter Air Conditioner? Understanding Energy Efficiency in Cooling, dostupno na: <https://arizazheatingandcooling.com/blog/what-is-an-inverter-air-conditioner-understanding-energy-efficiency-in-cooling> [13.06.2024.]
- [57] D. Wirz, Commercial Refrigeration for Air Conditioning Technicians, Fourth Edition, Cengage Learning, Boston, Massachusetts, 2022.
- [58] N. Stošić, Review Article: Screw Compressors in Refrigeration and Air Conditioning, HVAC&R Research, sv. 10(3), str. 233-263, 2004.
- [59] S. K. Wang, Z. Lavan i P. Norton, Air Conditioning and Refrigeration Engineering, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2000.
- [60] B. Pavković i V. Zanaki, Priručnik za energetska certificiranje zgrada - dio 1, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP), Zagreb, 2010.
- [61] B. C. Langley, Fine Tuning Air Conditioning & Refrigeration Systems, The Fairmont Press Inc., Lilburn, Georgia, 2002.
- [62] J. Cantor, Heat Pumps for The Home, Second Edition, Ramsbury, The Crowood Press Ltd, Marlborough, 2011.

- [63] A. Bhatia, Heat Pumps for Heating and Cooling, Continuing Education and Development, Inc., New York, 2012., dostupno na: <https://www.cedengineering.com/userfiles/M06-047-Heat Pumps for Heating and Cooling - US.pdf> [22.06.2024.]
- [64] L. Kajtár, M. Kassai i L. Bánhidi, New calculation procedure to determine the energy consumption of air handling units, REHVA Annual Conference and Meeting, Timisoara, 2012.
- [65] A. D. Althouse i C. H. Turnquist, Modern Refrigeration and Air Conditioning, Goodheart-Willcox Co, Chicago, 1960.
- [66] M. Đogaš, H. Glavaš, M. Primorac i M. Žnidarec, Izazovi ugradnje split klima uređaja, PLIN 2024, Sveučilište u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2024.
- [67] MB Frigo, Grijanje na klimu je najisplativije?, dostupno na: <https://www.mbrfrigo.hr/grijanje-na-klimu-je-najisplativije-n46> [19.07.2024.]
- [68] Trinomics, Subsidies for fossil heating appliances in the EU and UK, Cool Products, Brussels, 2023., dostupno na: <https://www.coolproducts.eu/wp-content/uploads/2023/07/mission-possible-full-report.pdf> [19.07.2024.]
- [69] M. Miara, Isn't heating with heat pumps too expensive?, Innovation4E, 2021., dostupno na: <https://blog.innovation4e.de/en/2021/04/14/isnt-heating-with-heat-pumps-too-expensive/> [19.07.2024.]
- [70] L. Lyons, E. Lecomte, A. Georgakaki, S. Letout i A. Mountraki, Clean Energy Technology Observatory: Heat pumps in the European Union - 2023 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023.

## SAŽETAK

Diplomski rad analizira izazove ugradnje split klima uređaja, s posebnim naglaskom na mono split sustave. Glavni problem koji se razmatra odnosi se na izazovnost postupka ugradnje zbog nužnosti pridržavanja specifičnih regulativa kako bi se osigurala dugovječnost i učinkovitost sustava. U radu su detaljno opisane tehničke i mehaničke komponente split klima uređaja, kao i različite vrste radnih tvari te njihov utjecaj na okoliš. Posebna pažnja posvećena je pravilnom spajanju cijevi pertlovanjem i vakuumiranju sustava, što je ključno za osiguranje nepropusnosti. U radu, istaknuto je korištenje pravilnog zateznog momenta tijekom montaže, povezivanje klima uređaja na elektroinstalaciju te provjera sustava nakon ugradnje kako bi se osigurala optimalna funkcionalnost. Rad analizira ekološke aspekte korištenih radnih tvari i prezentira najnovije tehnologije koje doprinose poboljšanju energetske učinkovitosti i smanjenju ekološkog otiska. Kroz praktične primjere i fotodokumentaciju prikazani su ključni koraci u postupku ugradnje, uključujući odabir lokacije za unutarnju i vanjsku jedinicu. Postignuti rezultati ukazuju na visoku razinu energetske učinkovitosti i isplativost korištenja split klima uređaja za grijanje, što ih čini atraktivnim izborom za stambene objekte.

Ključne riječi: grijanje, pravila ugradnje, radne tvari, split klima uređaj, ugradnja.



## **ABSTRACT**

The thesis analyzes the challenges of installing split air conditioning systems, with a particular focus on mono split systems. The main issue discussed is the complexity of the installation process due to the necessity of adhering to specific regulations to ensure the longevity and efficiency of the system. The thesis provides a detailed description of the technical and mechanical components of split air conditioning systems, as well as various types of refrigerants and their environmental impact. Special attention is given to the proper connection of pipes through flaring and system vacuuming, which is crucial for ensuring leak-tightness. The thesis emphasizes the importance of using the correct torque during installation, connecting the air conditioner to the electrical system, and testing the system after installation to ensure optimal functionality. It also analyzes the ecological aspects of the refrigerants used and presents the latest technologies that contribute to improving energy efficiency and reducing environmental impact. Through practical examples and photo documentation, the key steps in the installation process are illustrated, including the selection of locations for the indoor and outdoor units. The results obtained indicate a high level of energy efficiency and cost-effectiveness of using split air conditioning systems for heating, making them an attractive choice for residential buildings.

**Keywords:** heating, installation rules, refrigerants, split air conditioning unit, installation.

## **ŽIVOTOPIS**

Martin Đogaš rođen je 27. studenog 2000. godine u Slavonskom Brodu. Odrastao je selu Trnjani gdje uspješno završava prva četiri razreda osnovne škole u Područnoj školi Trnjani. Preostala četiri razreda osnovne škole pohađao je u Osnovnoj školi Vjekoslav Klaić u Garčinu. Po završetku osnovne škole upisuje se u Tehničku školu u Slavonskom Brodu, smjer elektrotehničar. Nakon završene srednje škole upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Po završetku preddiplomskog studija, upisuje sveučilišni Diplomski studij Elektrotehnika na istom fakultetu, smjer Elektroenergetika, izborni blok DEB - Održiva elektroenergetika. Tijekom druge godine diplomskog studija obavlja praksu u tvrtki IN elektro d.o.o.