

# F - gas uredba za radne tvari

---

Vugdragović, Nika

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:261767>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE**  
**SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ**

Nika Vugdragović

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE**  
**SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ**

Nika Vugdragović

**F – GAS UREDBA ZA RADNE TVARI**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Veljko Filipan

Zagreb, rujan 2023.

## SAŽETAK

U prvom dijelu rada opisuje se problem globalnog zagrijavanja koji se odvija već dugi niz godina. Negativan utjecaj na okoliš od strane čovjeka popraćen emisijama raznih stakleničkih plinova neke su od pojava koje doprinose globalnom zatopljenju. Ideja o smanjenju posljedica provedena je od strane Europske unije kroz F – gas regulativu. Kroz rad opisani su ciljevi i zahtjevi regulative koji bi pridonijeli poboljšanju situacije u budućnosti. Uredbom se propisuje postupno smanjivanje i ukidanje štetnih tvari, a odnosi se na radne tvari u rashladnoj tehnici o kojima je riječ u drugom dijelu rada.

## **ABSTRACT**

The first part of the paper describes the problem of global warming, which has been going on for many years. Negative impact on the environment by people accompanied by emissions of various greenhouse gases are some of the things that contribute to global warming. The idea of reducing the consequences was implemented by the European Union through the F-gas regulation. This paper describes the goals and requirements of the regulation that would have a good impact on improving the situation in the future. The regulation establishes the gradual reduction and elimination of harmful substances, and it refers to working substances in refrigeration technology, which are discussed in the second part of the paper.

# Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. STAKLENIČKI PLINOVİ.....	2
2.1 Učinak staklenika.....	2
2.2 Vrste stakleničkih plinova .....	3
2.3 Fluorirani plinovi .....	4
2.3.1 CFC I HCFC .....	4
2.3.2 HFC .....	4
2.3.3 Perfluorirani F-plinovi.....	5
3. F- GAS REGULATIVA .....	6
3.1 Ciljevi regulative .....	6
3.2 Prirodne rashladne tvari .....	8
3.2.1 Ugljikov dioksid.....	9
3.2.2 Amonijak .....	10
3.2.3 Ugljikovodici .....	11
3.2.4 Voda i zrak .....	12
3.3 Odabir rashladnog sredstva .....	13
4. RADNE TVARI U RASHLADNOJ TEHNICI .....	14
4.1 Preporučeni uvjeti za radnu tvar .....	14
4.2 Imenovanje radnih tvari .....	15
4.3 Utjecaj na okoliš .....	17
4.4 Osobine radnih tvari.....	18
5. UVOD U TEHNIKU HLAĐENJA .....	19
5.1 Prirodno i procesno hlađenje .....	19
5.2 Rashladni uređaji .....	21
5.2.1 Opis kompresijskog rashladnog procesa .....	22
6. ZAKLJUČAK .....	23
7. LITERATURA .....	24

# 1. UVOD

Posljedice klimatskih promjena osjećaju se u svim dijelovima svijeta. Dolazi do stalnog porasta temperature koja postaje zabrinjavajući faktor današnjice. Konstantno zagrijavanje Zemljine površine uzrokuje ekstremne meteorološke pojave poput suša, velikih količina padalina koje uzrokuju poplave, otapanje ledenjaka, rast razine mora. Razdoblje 2011. – 2020. bilo je najtoplije desetljeće od kad postoje mjerenja. Povećanje temperature od 2 °C u odnosu na temperaturu u predindustrijskom vremenu imat će ozbiljne negativne učinke na prirodni okoliš i zdravlje ljudi, kao i rizik od potencijalnih promjena u globalnom okruženju.[1] Staklenički plinovi iz ljudskih aktivnosti najznačajniji su pokretač klimatskih promjena. Bez navedenih plinova i efekta staklenika temperatura bi pala ispod poželjne te bi bilo prehladno za održavanje života na Zemlji. Međutim, od industrijske revolucije ljudi mijenjaju prirodni učinak staklenika prekomjernim korištenjem fosilnih goriva u prometu i proizvodnji energije što predstavlja glavni razlog povećanja koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi. Budući da mnogi staklenički plinovi ostaju u atmosferi desecima do stotinama godina, njihov učinak trajat će dugo vremena i iz tog razloga predstavlja problem sadašnjih i budućih generacija. Utjecaj globalnog zatopljenja, odnosno emisije stakleničkih plinova nastoji se smanjiti postavljanjem novih zakona i uredba. F – plinovi čine mali dio stakleničkih plinova, ali uvelike doprinose globalnom zatopljenju. Iz tog razloga jedan od najpoznatijih projekata od strane EU naziva se F-gas regulativa.

## 2. STAKLENIČKI PLINOVİ

Staklenički plinovi su plinovi koji zadržavaju sunčevu toplinu i sprječavaju njen povratak u svemir, čime se stvara efekt staklenika koji održava temperaturu Zemlje višom od očekivane. Učinak pojedinog plina na Zemljinu klimu ovisi o njegovoj kemijskoj prirodi i relativnoj koncentraciji u atmosferi. U ovu skupinu pripadaju ugljikov dioksid, metan, dušikov oksid te fluorirani plinovi na kojima će biti naglasak u narednom poglavlju. [2]

### 2.1 Učinak staklenika

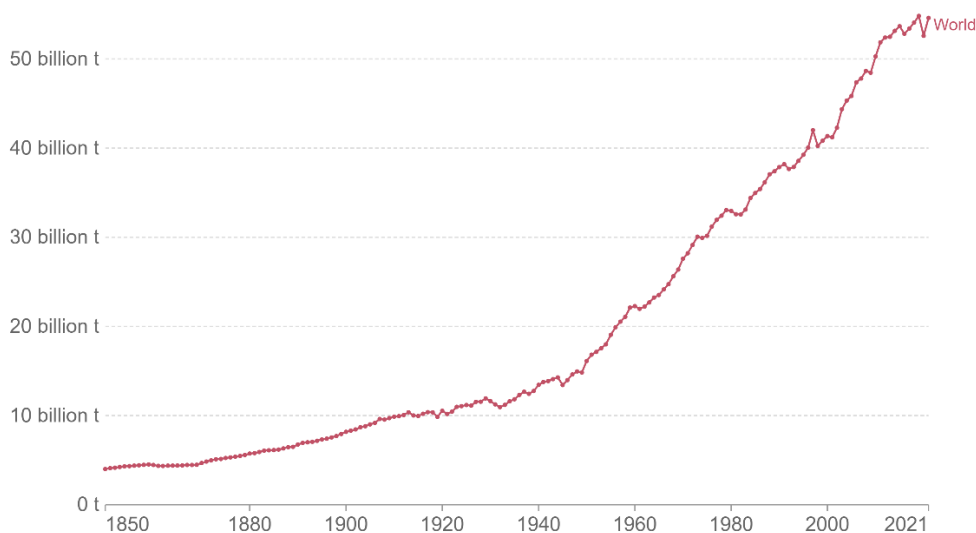
Negativan učinak očituje se kroz niz radnji koje se odvijaju diljem svijeta. Dolazi do povlačenja ledenjaka, poplavljenih otoka i obalnih gradova zbog globalnog porasta razine mora. U razdoblju od 1901. do 2010. razina mora porasla je za 19 centimetara. [3] Efekt staklenika ne uzrokuje ekstremne klimatske događaje već povećava njihov intenzitet. Porast temperature mora povezuje se s nastankom uragana za koje je veća vjerojatnost da će se dogoditi pri visokim temperaturama mora. Većina životinjskih vrsta bit će prisiljena promijeniti svoje stanište kako bi opstala u nadolazećim uvjetima. Ekstremne suše i poplave rastjerat će ljude iz svojih domova. Globalno zatopljenje izazvat će širenje raznih bolesti poput malarije, kolere ili denga groznice, što je povezano s migracijom ljudi u druga područja. Pogoršanje kardiovaskularnih i respiratornih problema usko je povezano s ekstremnim vrućinama. Iako većina protokola i regulativa ukazuje na suzbijanje efekta staklenika smanjenjem emisija stakleničkih plinova, to nije jedino rješenje. Ljudi kao glavni pokretači problema današnjice uz korištenje obnovljive energije, javnog prijevoza i drugih sredstava koja ne zagađuju okoliš mogu pridonijeti rješavanju problema.



## 2.2 Vrste stakleničkih plinova

U ovu skupinu ubrajaju se:

- Ugljikov dioksid – ulazi u atmosferu prilikom izgaranja fosilnih goriva i kemijskih reakcija, pri čemu ga biljke putem procesa fotosinteze uklanjaju iz atmosfere.
- Metan – emitira se kod proizvodnje i prijevoza ugljena, prirodnog plina i nafte te kroz razne poljoprivredne djelatnosti prilikom propadanja organskog otpada
- Dušikov oksid – nastaje kao rezultat mikrobnog djelovanja u tlu, uporabe gnojiva, spaljivanja drva i kemijske proizvodnje
- Fluorouglikovodici – odgovorni su za većinu emisija fluoriranih plinova, a uglavnom se koriste za apsorpciju topline u hladnjacima, zamrzivačima i klimatizacijskim uređajima



Slika 1. Promjena globalnih emisija stakleničkih plinova tijekom vremena [4]

U današnje vrijeme emitira se oko 50 milijardi tona  $CO_2$  svake godine, što je 40 % više od emisija 1990. godine kada je vrijednost iznosila 35 milijardi tona. Kyotskim protokolom i Pariškim sporazumom obuhvaćene su sve vrste stakleničkih plinova čiji je cilj smanjiti njihovu emisiju, a time i problem globalnog zatopljenja. [3]

## 2.3 Fluorirani plinovi

Fluorirani spojevi pronašli su široku primjenu u rashladnoj, farmaceutskoj i agrokemijskoj industriji te kao pogonski plinovi, površinski aktivne tvari, polimeri i sredstva za suzbijanje požara. Često imaju niske površinske energije i niska vrelišta što vrijedi i za F- plinove. Fluorirani plinovi uključuju klorofluorouglikove (CFC), hidrofluorouglikove (HFC), perfluorouglikove (PFC), sumporov heksafluorid (SF<sub>6</sub>) i hidroklorofluorouglikove (HCFC). Emisija fluoriranih plinova jedan je od najvećih problema i gubitaka za okoliš jer se smatraju snažnim stakleničkim plinovima.

### 2.3.1 CFC I HCFC

Navedeni plinovi koristili su se kao rashladna sredstva zbog niske toksičnosti, niske zapaljivosti, visoke hlapljivosti te visoke kemijske i toplinske stabilnosti. CFC plinovi imaju vrlo dug životni vijek u atmosferi i prodiru u stratosferu gdje se razgrađuju UV zračenjem. Oni reagiraju s ozonom i oštećuju ozonski omotač što predstavlja veliki ekološki problem budući da ozonski omotač štiti zemlju od štetnog UV zračenja. Montrealskim protokolom predviđeno je postupno ukidanje CFC-a. Privremena zamjena CFC tvari bila je korištenje HCFC plinova koji imaju kraći životni vijek u atmosferi i manji doprinos oštećenju ozona. Manji nije značilo potpuni pa se nastavlja postupno ukidanje istih.

### 2.3.2 HFC

Hidrofluorouglikovodici predstavljaju oko 2 % ukupnih stakleničkih plinova. Njihova uporaba je naglo porasla posljednjih nekoliko desetljeća, a doprinos tome može biti neprestano povećanje temperature čime raste potražnja za klimatizacijskim i rashladnim uređajima, osobito u zemljama u razvoju. Većina HFC-a sadržana je u opremi za hlađenje, tako da su emisije rezultat trošenja, neispravnog održavanja ili curenja na kraju životnog vijeka proizvoda. Većina HFC tvari ima potencijal globalnog zagrijavanja iznad 1000 i shodno tome smatraju se vrlo snažnim stakleničkim plinovima. Potencijal globalnog zagrijavanja analizira količinu energije koju će jedna tona emitiranog plina apsorbirati tijekom određenog razdoblja što je najčešće 100 godina u odnosu na jednu tonu emitiranog ugljikovog dioksida.[5]

U svrhu globalnog smanjenja HFC-a predlaže se zamjena svih tvari klimatski prihvatljivim ili prirodnim alternativama.

Tablica 1. Najčešće HFC tvari [5]

	Kemijska formula	Temperatura vrelišta u °C	GWP (100 godina)	Životni vijek u atmosferi izražen u godinama
HFC-23	$CHF_3$	-82.1	12,000	264
HFC-32	$CH_2F_2$	-51.7	550	5.6
HFC-125	$C_2HF_5$	-48.4	3,400	32.6
HFC-134A	$CH_2FCF_3$	-26.5	1,300	14.6
HFC-143a	$CF_3CH_3$	-47.5	4,300	48.3
HFC-152a	$C_2H_4F_2$	-24.2	120	1.5
HFC-227ea	$C_3HF_7$	-17.3	3,500	36.5

### 2.3.3 Perfluorirani F-plinovi

SF6 koristi se kao električni izolacijski plin u prekidačima, dalekovodima, transformatorima i trafostanicama. Nezapaljivost i bezopasnost čine ga jedinstvenim plinom u električnoj izolaciji i uglavnom ga je teško zamijeniti. Unatoč tome jedan je od najsnažnijih stakleničkih plinova i kao takav svojom emisijom doprinosi klimatskih promjenama. Perfluorougliciji upotrebljavaju se kao specijalizirana otapala, nadomjesci za krv i kao sredstva za suzbijanje požara. Imaju široku primjenu i u elektroničkoj industriji zbog niske površinske energije, dobre stlačivosti i visoke dielektrične čvrstoće. Smanjenje emisije PFC-a uključivalo je razmatranje alternativnih kemikalija te poboljšanje sustava za recikliranje i optimizaciju postojećih procesa. [6]

### **3. F- GAS REGULATIVA**

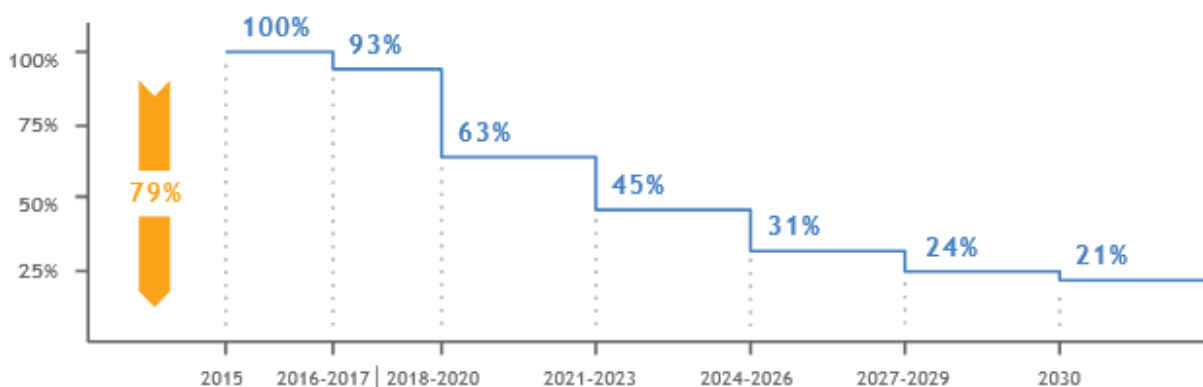
S ciljem smanjenja emisije stakleničkih plinova i razvoja industrije temeljene većinom na prirodnim alternativama Europska unija postaje korak bliže cilju uz uvođenje F- gas regulative. Uredba koja se primjenjuje od 1. siječnja 2015., zamjenjuje izvornu Uredbu o fluoriranim plinovima usvojenu 2006. godine.

#### **3.1 Ciljevi regulative**

Uredba obuhvaća hidrofluorouglikje, perfluorouglikje i sumporne heksafluoride, utvrđuje pravila o zadržavanju, uporabi i uništavanju F- plinova, postavlja opće godišnje ograničenje utjecaja HFC-a na klimu koje će se postupno smanjivati između 2015. i 2030. Također utvrđuje sljedeće obveze:

- Namjerno ispuštanje F – plinova je zabranjeno, osim ako je tehnički neophodno za namjeravanu upotrebu proizvoda.
- Operateri opreme koja sadrži F – plinove moraju poduzeti sve mjere opreza kako bi izbjegli bilo kakvo curenje
- Nacionalna tijela odgovorna su za uspostavu programa certificiranja i obuke za tvrtke i osobe uključene u instaliranje servisiranje, održavanje i popravak
- Regulativne faze zabranjuju od 2015. do 2025. prodaju novih artikala kao što su određene kategorije zamrzivača i hladnjaka, klimatizacijskih sustava, pjena i aerosola koji sadrže F – plinove
- Godišnja ograničenja za HFC
- Proizvođači, uvoznici, izvoznici, korisnici sirovina i poduzeća koja uništavaju F- plinove moraju podnositi godišnji izvještaj Komisiji
- Osigurava da EU poštuje svoje međunarodne obveze prema amandmanu iz Kigalija Montrealskom protokolu [7]

Jedan od ključnih stupova regulative je smanjenje HFC-a za oko 80% do 2030. godine. Najveći utjecaj reflektirat će se na industriju hlađenja.



Slika 2. Postupno smanjenje HFC-a [8]

Pad vrijednosti prosječnog globalnog potencijala imat će veliku ulogu u postizanju ciljeva regulative.

Regulativa se odnosi i na zabrane u određenim sektorima za novu opremu koja koristi HFC iznad vrijednosti potencijala globalnog zatopljenja.

Od operatera zahtijeva se da se poduzmu sve mjere opreza koje su tehnički i ekonomski izvedive za sprječavanje nenamjernog ispuštanja HFC-a

U tablici definirane su GWP granice, koje zapravo predstavljaju zabrane određenih rashladnih sredstva u određenim primjenama.

Tablica 2. Zabrane za novu opremu [9]

Zabrana na NOVU opremu:	Uvjet/ GWP iznos	Od datuma: 1. Siječanj
Kućanski hladnjaci i zamrzivači	≥ 150	2015
Komercijalni hladnjaci i zamrzivači, hermetički zatvoreni	≥ 2500	2020
	≥ 150	2022
Stacionarna rashladna oprema za temperature iznad -50° C	≥ 2500	2020
Multi-kompresorski centralni rashladni sustavi za komercijalnu upotrebu s rashladnim učinkom ≥ 40kW	≥ 150 i ≥ 1500 za primarni krug kaskade	2022
Pokretni sobni AC, hermetički zatvoreni	≥ 150	2020
Jedinični split klimatizacijski sustavi koji sadrže manje od 3kg HFC	≥ 750	2025

Plan opreza i smanjenja emisije fluoriranih plinova postavljen od strane Europske unije poziv je na razmatranje opcija s nižim potencijalom globalnog zatopljenja.

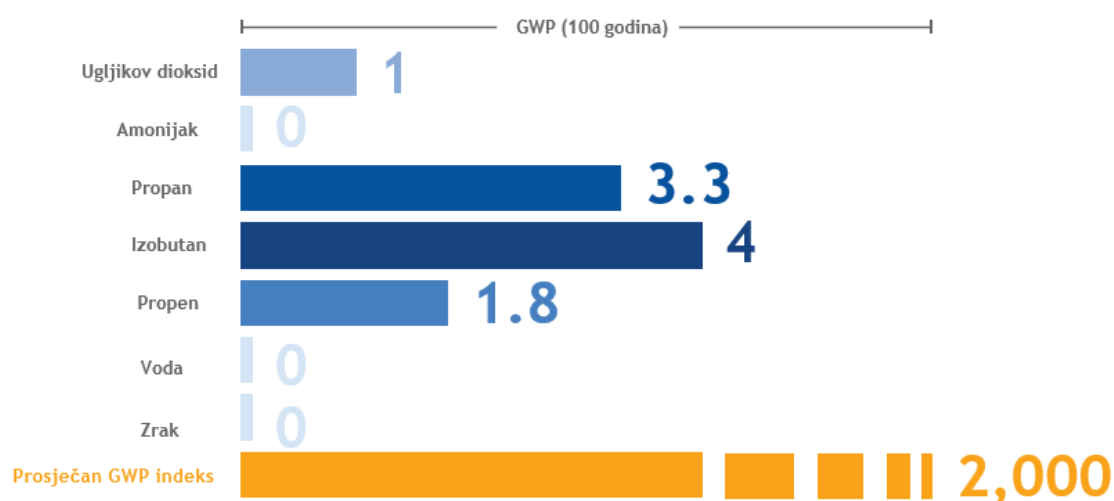
### 3.2 Prirodne rashladne tvari

Glavna zamisao je smanjiti sve štetno za okoliš pri čemu prirodne rashladne tvari zvuče kao dobra alternativa zbog povoljnih termodinamičkih svojstava, zanemarivog indeksa globalnog zatopljenja i niske cijene.

Ubrajaju se u kategoriju nesintetičkih tvari koje se javljaju u biokemijskim procesima, za razliku od kemikalija koje je stvorio čovjek.

Amonijak, ugljikov dioksid, i ugljikovodici, poput propana, izobutana i propena najčešće su prirodne rashladne tvari. Da bi se koristili kao takvi prolaze proces industrijskog pročišćavanja i proizvodnje. Uz njih mogu se koristiti i zrak i voda kao rashladna sredstva.

Danas postoji uspostavljena razlika između tvari poput prirodnih rashladnih čija su kemijska svojstva u cijelosti proučena za razliku od fluoriranih plinova koji ugrožavaju ekološku sigurnost te su predmet kontinuirane rasprave.



Slika 3. Prosječan potencijal globalnog zatopljenja prirodnih rashladnih tvari [8]

### 3.2.1 Ugljikov dioksid

Nezapaljiv, netoksičan i ekološki benigno prirodno rashladno sredstvo,  $CO_2$ , referentna je vrijednost za usporedbu izravnog utjecaja rashladne tvari na globalno zatopljenje.

Ugljikov dioksid je prirodno rashladno sredstvo koje pruža održivo i energetski učinkovito hlađenje u svemu, od skladišta do ledomata. Ima nekoliko jedinstvenih termo fizičkih svojstava što ga čini idealnim rashladnim sredstvom: izvrstan koeficijent prijenosa topline, visok energetski sadržaj, relativno neosjetljiv na gubitak tlaka, vrlo niska viskoznost tekuće faze.

Iz navedenog može se zaključiti da predstavlja dobru alternativu, ali se moraju uzeti u obzir određene sigurnosne mjere. Budući da ne ispušta miris i teži je od zraka, može istisnuti kisik do granica štetnih za zdravlje. Za razliku od ostalih prirodnih rashladnih sredstava ne može se prilagoditi bilo kojoj jedinici, bilo staroj ili trenutnoj. Zbog potrebe za radom pri visokim tlakovima sustavi zahtijevaju izuzetno otporne rezervoare i komponente projektirane u vidu karakteristika spomenutog plina.

Hlađenje s  $CO_2$  pokriva široko područje primjene od industrijskog sektora, transporta do komercijalnog sektora. Industrijski sektor odnosi se na korištenje sustava s ugljikovim dioksidom u industriji mlijeka i bezalkoholnih pića. Kako tehnologija napreduje, pronalaze se sve kompaktniji objekti koji rade s  $CO_2$  od onih korištenih prije nekoliko desetljeća.



Slika 4. R744 rashladno sredstvo,  $CO_2$  [10]

### 3.2.2 Amonijak

Amonijak je bezbojan plin pri atmosferskom tlaku s nulnim potencijalom globalnog zatopljenja. Poznat je po svojoj akutnoj toksičnosti zbog čega je njegova uporaba često zabranjena u javno dostupnim prostorijama. Kada se poduzmu odgovarajuće mjere opreza, rashladna sredstva s amonijakom nude mnoge prednosti u usporedbi s tradicionalnim jedinicama na bazi CFC-a ili HCFC-a. Znatno je jeftiniji za nabavu i uporabu, ne šteti ozonskom omotaču i zbog kratkog životnog vijeka u atmosferi smatra se biorazgradivim. Prepoznatljivi miris amonijaka može se otkriti u koncentracijama znatno nižim od onih koje se smatraju opasnim. Budući da je lakši od zraka raspršit će se u atmosferi ukoliko dođe do istjecanja plina.

Koristi se i kao sredstvo za čišćenje, u procesima vrenja, visoke temperature samozapaljenja, visoke topline isparavanja i uskog raspona zapaljivosti.

Amonijak prikladan za upotrebu kao rashladno sredstvo obično se naziva R717 u industriji rashladnih i klimatizacijskih uređaja.



Slika 5. Radna tvar, R717 [11]



### 3.2.3 Ugljikovodici

Netoksični rashladni fluidi koji zahvaljujući svojim izvrsnim termodinamičkim svojstvima, imaju jednaku ili bolju učinkovitost od HFC ili HCFC rashladnih sredstava u većini primjena.

Propan (R290), izobutan (R600a) i propilen (R1270) najčešće su vrste ugljikovodika koje se koriste kao rashladna sredstva. O propanu se raspravlja dugi niz godina kao zamjeni za CFC, a posebno za HCFC (R22). Osim visoke zapaljivosti ima vrlo slična svojstva kao i HCFC tvari. Ima dugu povijest u hlađenju, međutim njegova zapaljivost ograničila je upotrebu. Dok je izobutan uveden u kućanske aparate diljem svijeta u širokom spektru uređaja nakon postupnog ukidanja CFC-a.

Zapaljiva kemijska svojstva ugljikovodika dobro su poznata i njima se upravlja u različitim primjenama. Iz primjera široke upotrebe u kućanstvima dokazuje se njihova sigurnost koja je regulirana raznim standardima. Relativna cijena sustava koji koristi ugljikovodike uvelike ovisi o primjeni. U kućnim i lakim komercijalnim primjenama, cijena se slična onoj za sustave HFC-ima. Međutim, u industrijskim aplikacijama sustavi su relativno skupi zbog zahtjeva koji osiguravaju određenu sigurnost.



Slika 6. R600a, rashladno sredstvo izobutana [12]

### 3.2.4 Voda i zrak

Voda je jedno od najstarijih rashladnih sredstava korištena u svom tekućem, plinovitom i krutom stanju tisućama godina. Bez mirisa, boje, netoksična, nezapaljiva, lako dostupna i po cijeni najpristupačnija. U rashladnim sustavima, uporaba vode uglavnom je ograničena na apsorpcijske i adsorpcijske sustave koji se mogu pokretati izvorima topline poput solarne topline, biomase ili industrijske otpadne topline. Baš to pruža dodatne ekonomske i ekološke prednosti u usporedbi s električnim strojevima. S druge strane, visoko vrelište i ledište dva su glavna svojstva koja čine vodu nepoželjnim rashladnim sredstvom.

Zabrinutost za okoliš, podiglo je interes za alternativnu tehnologiju hlađenja na globalnoj razini. Međutim, uporaba zraka nije nova. Zrak se koristio na rashlađenim teretnim brodovima na prijelazu u 20. stoljeće. Šira uporaba je u Japanu i azijskim zemljama nego u Europi, gdje se koristi u skladištima na vrlo niskim temperaturama i kod brzog zamrzavanja. [8]

### 3.3 Odabir rashladnog sredstva

Kada se razmatra odabir rashladnog sredstva u kontekstu određenog dizajna sustava ili vrste oprema za uporabu mogu se ponuditi točnije smjernice. Upute mogu biti proizvoljne stoga se mora provesti procjena u više situacija uzimajući u obzir određene faktore vezane uz uporabu.

U nastavku iz tablice stupac koji prikazuje prijelaznu alternativu mora se prilagoditi s obzirom na navedene primjene i na dostupnosti prikladnih opcija u budućnosti. Pretpostavlja se da opisuje razdoblje između pet i deset godina. [13]

Tablica 3. Izbor rashladnog sredstva prema tržišnom segmentu i uporabi [13]

Dizajn sustava	Trenutno	Prijelazno	Buduća alternativa
Kondenzacijske jedinice i mala pakiranja <40 kW	R404A	R448A,R449A	R744, R290
	R134a	R450A,R513A	
	R407C	R407C	
Paketi s više kompresora uz izravnu ekspanziju i sekundarno	R404A	R448A,R449A	R744,R290
	R134a	R450A,R513A	
Nisko temperaturni i srednje temperaturni hibridni sustavi	R404A	R448A,R449A	R290
	R134a	R450A,R513A	
CO <sub>2</sub> sustavi za povećanje tlaka	R744	R744	R744
Samostalni sustavi	R404A	R448A,R449A	R290
	R134a	R450A,R513A	
Grijanje stambenih i poslovnih prostora	R407C	R407C	R290
	R410A	R410A	
Mali komercijalni rashladni uređaji	R410A	R410A	R290
Veliki komercijalni rashladni uređaji – R290	R410A	R410A	
	R134a	R134a	

## 4. RADNE TVARI U RASHLADNOJ TEHNICI

Radna tvar, radni medij ili djelatna tvar osigurava odvijanje termodinamičkih procesa. Prenosi energiju unutar rashladnog uređaja s jednog dijela na drugi pri čemu se postavlja niz kriterija koje mora ispuniti. Oni obuhvaćaju kemijska i fizikalna svojstva, termodinamička te posebnu važnost čini utjecaj na čovjeka i okoliš.

Postoje svojstva koja opisuju idealnu radnu tvar, no u stvarnosti neće svaka tvar ispunjavati sve zahtjeve već samo djelomično. Amonijak je radna tvar koja potvrđuje tu teoriju zbog svoje toksičnosti i jakog mirisa.

### 4.1 Preporučeni uvjeti za radnu tvar

Svojstva koja se odnose na očuvanje okoliša:

- što manji utjecaj na učinak staklenika
- utjecaj na razgradnju ozonskog omotača ne smije biti prisutan
- produkti koji nastaju razgradnjom ne bi smjeli ugrožavati okoliš

Termodinamičke i fizikalne osobine:

- mala vrijednost specifičnog toplinskog kapaciteta
- dobar parametar hlađenja
- dobra toplinska vodljivost
- mala dinamička viskoznost

Sigurnost i kemijske osobine:

- nezapaljiv
- lako prepoznavanje u zraku
- bezopasan za ljude i okoliš
- povoljni troškovi

## 4.2 Imenovanje radnih tvari

Međunarodno je određen način označavanja radnih tvari kako bi oznake u svijetu bile kratke i jasne. Veliko slovo R karakteristično je u nazivu svake radne tvari na početku oznake, a iza njega slijede dvije ili tri brojke.

Kod radnih tvari s anorganskim porijeklom specifična je prva brojka koja je uvijek 7, a preostale brojke prikazuju vrijednost molekulske mase tvari.

Tablica 4. Primjer radnih tvari anorganskog porijekla [14]

Tvar	Kemijska oznaka	Oznaka radne tvari
Amonijak	$NH_3$	R717
Voda	$H_2O$	R718
Ugljikov dioksid	$CO_2$	R744

Radne tvari organskog porijekla u tehnici hlađenja su neki ugljikovodici, uglavnom derivati metana i etana. Označavanje kod te skupine radnih tvari započinje također slovom R, a posljednja brojka označava broj fluorovih atoma u molekuli. Pretposljednji broj prikazuje broj vodikovih atoma uvećan za jedinicu, a broj prije njega predstavlja broj ugljikovih atoma umanjen za jedinicu.

Kod spojeva koji sadrže samo jedan atom ugljika taj broj bio bi nula i ne piše se, pa kod metana oznaka sadrži samo dvije brojke.

Tablica 5. Primjer radnih tvari organskog porijekla [14]

Tvar	Kemijska oznaka	Oznaka radne tvari
Metan	$CH_4$	R50
Etan	$C_2H_6$	R170
Propan	$C_3H_8$	R290

U azeotropskim smjesama oznake se pišu s brojevima koji počinju s 5 ili 6. Oznake nisu prema međunarodnom dogovoru, već su komercijalne.

Općenito azeotropne smjese su smjese koje u određenoj točki imaju isti sastav parne i kapljevite faze. Kod isparavanja ne dolazi do promjene temperature i sastava pa kažemo da se ponašaju kao jednostavne tvari.

Tablica 6. Primjer azeotropskih smjesa [14]

Oznaka radne tvari	Sastav	Maseni omjer (%)
R500	R12/R152a	73,8/26,2
R507	R134a/R125	50/50
R505	R12/R31	78/22

Radne tvari zeotropskih smjesa imaju oznake koje na početku sadrže brojku 4 i također označavanje nije sukladno s međunarodnim dogovorom. To su smjese kod kojih pri promjeni agregatnog stanja dolazi do promjene temperature pri konstantnom tlaku.

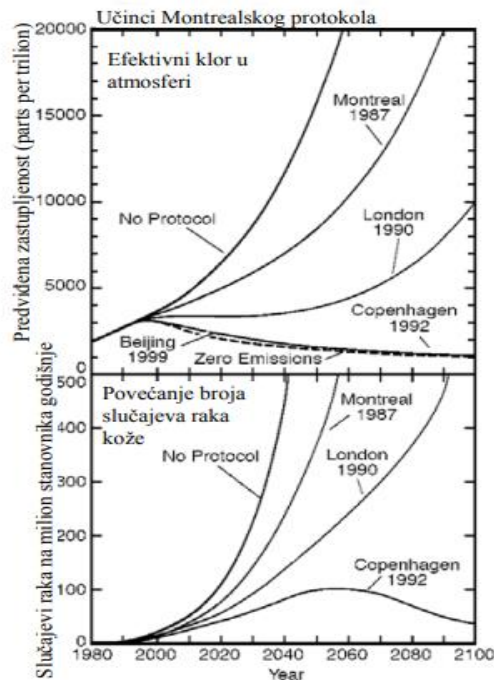
Tablica 7. Oznake kod zeotropskih smjesa [14]

Oznaka radne tvari	Sastav	Maseni omjer (%)
R404A	R125,R143,R134a	44/52/4
R407C	R125,R32,R134a	25/23/52
R410A	R32,125	50/50

CFC su halogenirani derivati zasićenih ugljikovodika, najčešće metana i etana, a HFC su većinom halogenirani derivati zasićenih ugljikovodika koji sadrže vodik.

### 4.3 Utjecaj na okoliš

Spomenuli smo da određene radne tvari loše utječu na ozonski sloj te je Montrealskim protokolom ograničena proizvodnja takvih tvari. Ozon se stvara na prirodan način u atmosferi i upija štetno UV zračenje. Bez njega život na Zemlji ne bi bio moguć. Također, njegova smanjena koncentracija uzrokuje porast raka kože kod životinja i ljudi, ima negativan učinak na imunitet što se očituje u porastu zaraznih bolesti.



Slika 7. Koncentracija klor u atmosferi i broj slučajeva raka kože [14]

U donjem dijelu slike prikazuje se pretpostavka povećanja slučajeva oboljelih s rakom kože da ne postoje odredbe Protokola i kako će se taj problem reducirati ako se primjenjuju odredbe.

Druga posljedica globalnog zagrijavanja je emisija štetnih tvari u atmosferu. Navedeni utjecaji ocjenjuju se određenim kriterijima:

Potencijal razgradnje ozona, ODP – predstavlja mogućnost razgradnje klor i broma, kao i vremena postojanosti u atmosferi. Referentna vrijednost ODP=1 prema kojoj se iskazuju sve ostale radne tvari usvojena je za R11.

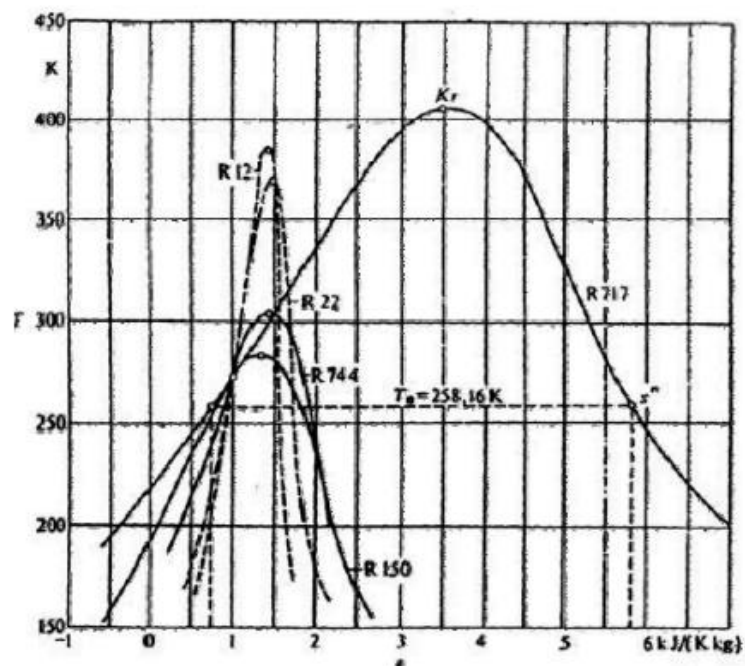
Potencijal globalnog zagrijavanja, GWP – broj koji predstavlja koliki je otprilike utjecaj određene tvari na stvaranje efekta staklenika u odnosu na učinak 1 kg  $CO_2$ . Uglavnom se navodi i vremenski period pri kojem je izražen potencijal globalnog zagrijavanja.

Totalni ekvivalentni utjecaj na globalno zagrijavanje, TEWI – računska je metoda pomoću koje se dobije vrijednost relativnog učinka jednog rashladnog sistema na globalno zagrijavanje.

$$TEWI = (GWP \times L \times n) + [GWP \times m \times (1 - \alpha_{rec})] + (n \times E_{god} + \beta)$$

Oznaka  $L$  [kg/god] predstavlja godišnje propuštanje radne tvari,  $n$  je vrijeme ukupnog rada postrojenja i mjeri se u godinama,  $M$  je oznaka za količinu radne tvari u kilogramima,  $\alpha_{rec}$  pokazuje udio radne tvari koji nestane u atmosferu prilikom čišćenja. Godišnji utrošak energije izražava se u  $E_{god}$  [kWh], a faktor  $\beta$  [kg/kWh] prikazuje emisiju ugljikovog dioksida za nastalu energiju. [14]

#### 4.4 Osobine radnih tvari



Slika 8. T, s – dijagram zasićenih područja pojedinih radnih tvari [14]

Iz dijagrama prikazanog na slici moguće je definirati topline isparavanja pri određenim temperaturama. Vidljivo je i područje rada postrojenja s obzirom na položaj kritične točke.

Veza između tlaka i temperature zasićenja pokazuju krivulje zasićenja. Poželjan slučaj kod temperature isparavanja su viši tlakovi od okolišnog kako zrak ne bi završio u sustavu. Iz njih mogu se odrediti kompresijski omjeri pri željenim temperaturama isparavanja i kondenzacije.



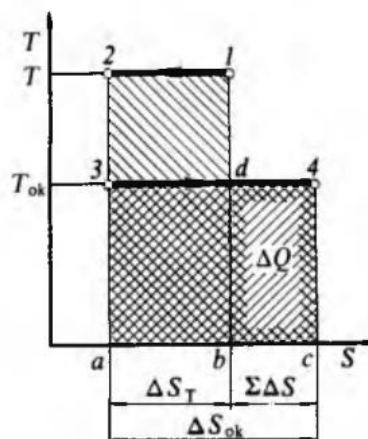
## 5. UVOD U TEHNIKU HLAĐENJA

Tehnika hlađenja bavi se postupcima i pojavama hlađenja tijela. Ona obuhvaća sve procese i postupke, kao i uređaje, postrojenja i komponente koji služe postizanju, održavanju i korištenju temperatura nižih od okolišne temperature. [15]

Osnovni postupci rashladne tehnike su termodinamički kružni procesi, čija se energetska učinkovitost neprestano poboljšava zahvaljujući suvremenoj rashladnoj tehnici. Energija za hlađenje koristi se svakodnevno u različitim područjima. Prehrambena industrija, medicinska tehnika, klimatizacija jedva su zamislivi bez nje.

### 5.1 Prirodno i procesno hlađenje

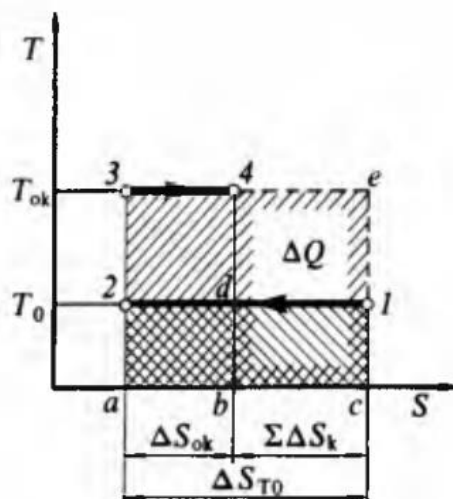
Prirodno hlađenje odvija se samo od sebe, jer hlađeno tijelo određene temperature nepovrativo teži toplinskoj ravnoteži temperature okoline uz uvjet da je temperatura tijela viša od temperature okoline. Iz tog razloga popraćeno je pozitivnim porastom entropije.



Slika 9. Prikaz T, s -dijagrama kod prirodnog hlađenja [15]

Iz toplinskog dijagrama odvedena toplina prikazana je površinom 1-2-a-b, a negativan prirast entropije dužinom b-a. Tu toplinu istodobno preuzima okoliš, što je prikazano površinom 3-4-c-a, a pozitivni prirast entropije očituje se u dužini a-c.[15] S obzirom da je temperatura tijela veća od temperature okoline suma entropije će biti veća od nule što potvrđuje činjenicu da će se proces odvijati sam od sebe.

Procesno hlađenje nužno je kada se hlađeno tijelo mora ohladiti na temperaturu koja je niža od temperature okoline. U tom slučaju se hlađenom tijelu odvodi toplina pa će porast entropije biti negativan.



Slika 10. Prikaz T,S – dijagrama pri procesnom hlađenju uz dovođenje dodatne topline okolišu [15]

Dakle, kod procesnog hlađenja takav postupak prijenosa topline pri negativnom prirastu entropije protivi se drugom glavnom zakonu termodinamike, i ne može se provesti spontano. Naime, točno time se bavi rashladna tehnika. Da bi se omogućio prijenos topline s niže temperature na višu temperaturu okoline potrebno je ispuniti na neki način drugi glavni zakon termodinamike. To se može ostvariti ako se pri prijenosu topline iz nekoga izvora dovede okolišu dodatna topline koja je prikazana površinom 4-e-c-b, i tako se dobije dodatni pozitivan prirast entropije okoliša prikazan dužinom b-c. U većini rashladnih procesa mehanički rad je tražena kompenzacijska energija, u nekima je to topline ili kemijska energija pri miješanju različitih tvari. Odavde slijedi faktor hlađenja, pomoću kojeg se može utvrditi kvaliteta rashladnog procesa. Faktor hlađenja predstavlja toplinu koja se može povisiti od temperature tijela na temperaturu okoliša utroškom mehaničkog rada. [15]

Temperatura okoline je očigledno presudna u rashladnoj tehnici. Hlađenje zimi, zbog niske temperature okoliša tumači se kao prirodno hlađenje, dok je ljeti potrebno zbog visoke temperature okoline procesno hlađenje. Iz tog se zaključuje da temperatura okoline predstavlja granicu između prirodnog i procesnog hlađenja.

## 5.2 Rashladni uređaji

Održavanje potrebne niske temperature u određenoj sredini moguće je jedino uključivanjem lijevokretnog kružnog procesa, odnosno utroškom određenog mehaničkog rada. Rashladni uređaji imaju mehaničke elemente koji mu olakšavaju održavanje niskih temperatura kako bi ciklus hlađenja bio uspješan. U njih uključujemo kompresor, kondenzator, ekspanzijski ventil ili prigušni uređaj i isparivač. Između ostalog, mora koristiti rashladno sredstvo koje mora proći kroz sve te komponente kako bi se postigla željena temperatura.

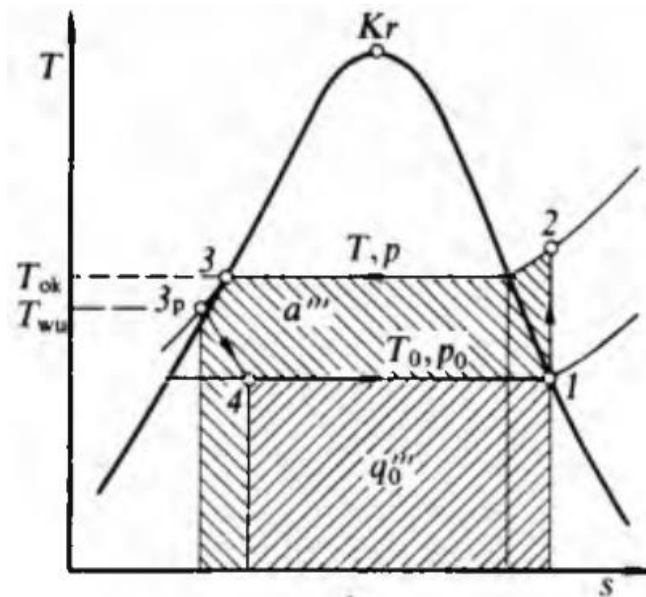
Kompresor ima za zadatak kontrolirati protok rashladnog sredstva tako da djeluje kao motor i pumpa. Time stvara pritisak na rashladno sredstvo i smanjuje njegov volumen. Klipni kompresor najčešći je oblik kompresora koji se koristi u kućnim i komercijalnim kuhinjskim hladnjacima.

Rashladno sredstvo ulazi u kondenzator vruće, pri čemu ga on hladi pretvarajući ga u tekuće stanje. Postoje različite vrste kondenzatora. Oni hlađeni zrakom koji se mogu pronaći u hladnjacima koji se koriste u kućama. Takvi kondenzatori dijele se na kondenzatore s prirodnom konvekcijom koji koristi prirodni protok zraka za hlađenje i kondenzator s prisilnom konvekcijom koji koristi ventilator za uvlačenje hladnog zraka. Kondenzatori hlađeni vodom koriste se u velikim postrojenjima gdje koriste vodu kako bi osigurali učinak hlađenja rashladnog sredstva.

Ekspanzijski ventil ima za svrhu smanjenje tlaka i temperature rashladnog sredstva. Nagli pad tlaka i temperature potiče učinak hlađenja. Također regulira količinu rashladnog sredstva koje je potrebno za određeni proces.

Isparivač apsorbira toplinu i djeluje kao medij za izmjenu topline. Ovdje je rashladno sredstvo hladno i kako dolazi do apsorpcije topline postaje sve toplije i pretvara se u plin. U plinovitom obliku vraća se natrag u kompresor. [16]

### 5.2.1 Opis kompresijskog rashladnog procesa



Slika 11. Parni rashladni proces [15]

Kompresor usisava suhozasićenu paru stanja 1 pri tlaku isparavanja i izentropski je komprimira do stanja 2. Para sa stanjem 2 ulazi u kondenzator. U kondenzatoru predajući toplinu rashladnom spremniku, potpuno kondenzira do stanja 3 i zatim se pothlađuje do stanja 3<sub>p</sub>. Razlog pothlađivanja je povećanje efikasnosti sustava budući da se proces pomiče više ulijevo i time se povećava toplina izmijenjena na isparivaču. Radna tvar se prigušuje do tlaka isparavanja, stanja 4. Dovođenjem topline iz hladionice zasićena para iz stanja 4 u isparivaču prelazi u stanje suhozasićene pare 1, čime ciklus postaje zatvoren. Ovakav dotjerani rashladni proces s parama postao je osnova realnih rashladnih uređaja.

## 6. ZAKLJUČAK

Globalno zatopljenje izazov je koji predstavlja značajne rizike za naš planet i njegove stanovnike. Rješavanje problema zahtijeva višestruki pristup koji uključuje pojedince, industrije i međunarodnu suradnju. Ovakav pristup podrazumijeva prelazak na obnovljive izvore energije, poboljšanje energetske učinkovitosti, zaštitu i obnovu ekosustava, usvajanje održivog prijevoza i poljoprivrednih praksi. Također, uključuje podizanje svijesti, zagovaranje promjena politike i potporu međunarodnim sporazumima usmjerenim na borbu protiv klimatskih promjena.

Učinkoviti propisi, kao što je Uredba Europske unije o F – plinu, igraju ključnu ulogu u postupnom smanjenju upotrebe navedenih plinova, promicanju alternativa i smanjenju emisija putem mjera za sprječavanje curenja i zadržavanja. Sada je vrijeme za djelovanje i jačanje ovih propisa jer se učinci globalnog zatopljenja već osjećaju, a učinkovite mjere presudne su za stvaranje održivije budućnosti za generacije koje dolaze.

## 7. LITERATURA

- [1] [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_hr](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_hr)
- [2] <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20230316STO77629/klimatske-promjene-i-staklenicki-plinovi-koji-uzrokuju-globalno-zagrijavanje>
- [3] <https://www.iberdrola.com/sustainability/greenhouse-effects-consequences-and-impacts>
- [4] <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>
- [5] <https://www.ccacoalition.org/short-lived-climate-pollutants/hydrofluorocarbons-hfcs>
- [6] Sheldon, J.D., Crimmin, R.M. (2022). Repurposing of F – gases : challenges and opportunities in fluorine chemistry (Pristupljeno: 8. kolovoz 2023.)
- [7] [https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j4nvk6yhcbpeywk\\_j9vvik7m1c3gyxp/vjs5ga5mq7xm](https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j4nvk6yhcbpeywk_j9vvik7m1c3gyxp/vjs5ga5mq7xm)
- [8] Skačanova, K. (2016). F – Gas Regulation shaking up the HVAC&R industry (Pristupljeno: 14. kolovoz 2023.)
- [9] Sever, M., Žilić, D. (2014). F – Gas uredba i održivost današnjih tehnologija u bliskoj budućnosti
- [10] <https://www.dean-wood.co.uk/allproducts/refrigerant/refrigerants/r744co2/co2smallv/r744-co2>
- [11] [https://www.lindegas.ae/en/products\\_and\\_supply/refrigerants/old/natural\\_refrigerants/r717\\_ammonia.html](https://www.lindegas.ae/en/products_and_supply/refrigerants/old/natural_refrigerants/r717_ammonia.html)
- [12] <https://oceaniagas.com/products/refrigerant-forane-r600a>
- [13] Emerson Climate Technologies, Inc.: “Refrigerant transition under F – gas regulation 517/2014”, s Interneta, [refrigerant-transition-under-f-gas-regulation-517-2014-en-gb-4214588.pdf \(copeland.com\)](https://www.copeland.com/~/media/Products/Refrigerants/517-2014-en-gb-4214588.pdf)
- [14] B. Pavković: Tehnika hlađenja-skripta; Tehnički fakultet; Sveučilište u Rijeci
- [15] [https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/rashladna\\_tehnika.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/rashladna_tehnika.pdf)
- [16] Lester, G. (2019). The truth about commercial refrigeration (Pristupljeno: 20. kolovoz 2023.)