

Tehnike korištenja ukapljenog naftnog plina (UNP)

Vukušić, Kristina

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:143795>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-19**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Kristina Vukušić

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas, dipl. ing.

Student:

Kristina Vukušić

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentoru dr. sc. Davoru Ljubasu na kvalitetnom mentorstvu i znanju koje mi je prenio tijekom pisanja završnog rada, kao i dipl. ing. Borisu Labudoviću koji mi je odobrio korištenje svojih ilustracija.

Posebne zahvale idu obitelji na bezuvjetnoj potpori te bliskim ljudima koji su mi uljepšali dosadašnje studiranje.

Kristina Vukušić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Kristina Vukušić**

JMBAG: 0035224378

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Tehnike korištenja ukapljenog naftnog plina (UNP)**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Techniques of liquefied petroleum gas (LPG) use**

Opis zadatka:

Konvencionalna fosilna kapljevita goriva uglavnom su motorni benzin, dizelsko gorivo i ukapljeni naftni plin (UNP). Među njima najpovoljniji utjecaj na okoliš ima UNP. U ovom završnom radu bit će potrebno:

- navesti i analizirati osnovna fizikalna i kemijska svojstva UNP-a te bitne razlike između UNP-a i drugih fosilnih kapljevih goriva,
- proučiti i pojasniti načine proizvodnje UNP-a,
- prikazati trenutno važeće strukovne smjernice/norme kojima se regulira sastav UNP-a i sigurnost korištenja,
- pojasniti tehnike korištenja UNP-a za različite namjene – za pogon motornih vozila, za kuhanje, za grijanje te za druge namjene,
- navesti i opisati osnovnu plinsku opremu za korištenje UNP-a (sigurnosnu, zapornu i regulacijsku),
- posebno obratiti pažnju na zahtjeve prema UNP-u za slučajevne skladištenja i slučaj nekontroliranog ispuštanja, uz poseban osvrt na konstrukcijska ograničenja spremnika, materijale izrade te probleme koji se pojavljuju tijekom njihovog održavanja,
- predvidjeti moguće utjecaje UNP-a na okoliš u slučajevima nepravilnog skladištenja ili nepravilne primjene.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD	1
1.1. VELIČINE STANJA PLINOVA	1
1.2. PROCES IZGARANJA	3
2. UKAPLJENI NAFTNI PLIN	5
3. FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTA UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA	7
4. NAČINI PROIZVODNJE UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA	15
4.1. PROIZVODNJA IZ PRIRODNOG PLINA	15
4.2. PROIZVODNJA IZ NAFTE	15
5. TRANSPORT UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA	17
6. SPREMNICI UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA	19
6.1. PLINSKE BOCE	23
7. INSTALACIJE UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA	28
7.1. PRETAKALIŠTA UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA	29
7.2. ISPARIVAČI ZA UKAPLJENI NAFTNI PLIN	31
7.3. MJEŠALIŠTA ZA UKAPLJENI NAFTNI PLIN	33
8. PLINSKA OPREMA	34
8.1. SIGURNOSNA OPREMA	34
8.2. SIGURNOSNO-REGULACIJSKA OPREMA	34
8.2.1. Sigurnosno-regulacijska oprema pri opskrbi iz boca	35
8.2.2. Zaporni elementi	36
9. TEHNIKE KORIŠTENJA UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA	37
9.1. UKAPLJENI NAFTNI PLIN U DOMAĆINSTVU	37
9.1.1. Kuhanje	37
9.1.2. Zagrijavanje vode	38
9.1.3. Grijanje	38
9.2. UKAPLJENI NAFTNI PLIN ZA POGON VOZILA	39
9.2.1. Instalacije u vozilima	40
9.2.2. Usporedba ukapljenog naftnog plina s drugim kapljevitim fosilnim gorivima	44
10. LEGISLATIVA	46
11. UTJECAJ NA OKOLIŠ	48
12. ZAKLJUČAK	49

LITERATURA.....	50
PRILOZI	52

POPIS SLIKA

Slika 1. Shematski prikaz ložišta, adaptirano prema [5]

Slika 2. Kemijske strukture propana i izo-butana

Slika 3. Trokut za očitavanje tlaka smjese propana i izomera butana (n-butana i izo-butana) [9]

Slika 4. Dijagram ovisnosti specifičnog volumena i gustoće ukapljenog naftnog plina o temperaturi i udjelu komponenata [9]

Slika 5. Krivulje tlaka zasićenja u ovisnosti o temperaturi propana, izo-butana te n-butana [9]

Slika 6. Dijagram brzine širenja plamena pojedinih plinova u odnosu na smjesu s kisikom [9]

Slika 7. Shema proizvodnje ukapljenog naftnog plina podrijetlom iz nafte, adaptirano prema [2]

Slika 8. Prikaz autocisterne [2]

Slika 9. Prikaz vagon-cisterne [2]

Slika 10. Prikaz tankera za ukapljeni naftni plin [2]

Slika 11. Podjela spremnika za ukapljeni naftni plin, adaptirano prema [2]

Slika 12. Dijagram za određivanje godišnje potrošnje ukapljenog naftnog plina [9]

Slika 13. Osnovni dijelovi plinske boce mase 10 kg [9]

Slika 14. Osnovni dijelovi plinske boce mase 35 kg [9]

Slika 15. Shema plinske stanice ukapljenog naftnog plina [9]

Slika 16. Spremnik ukapljenog naftnog plina za napajanje vozila (Foto: Dominik Dragutin Fojs)

Slika 17. Shema visokotlačnog i niskotlačnog postrojenja mješališta za ukapljeni naftni plin [8]

Slika 18. Shema dvostupanjske regulacijske skupine u postrojenju ukapljenog naftnog plina [9]

Slika 19. Prikaz postavljene boce za ukapljeni naftni plin u element pukućstva [17]

Slika 20. Dijagram mogućnosti nastajanja prizemnog ozona različitih goriva, adaptirano prema [2]

Slika 21. Smještaj dijelova plinske instalacije u automobilu [9]

Slika 22. Proces punjenja ukapljenog naftnog plina (Foto: Dominik Dragutin Fojs)

Slika 23. Shema plinskog postrojenja vozila opremljena motorom s reguliranim katalizatorom i ubrizgavanjem plina [9]

Slika 24. Naljepnica za oznaku vozila s pogonom na ukapljeni naftni plin [20]

Slika 25. Primjer znakova sigurnosti prilikom rada s ukapljenom naftnim plinom [22]

POPIS TABLICA

Tablica 1. Osnovna svojstva trgovačkog propana i butana, rađeno prema [8]

Tablica 2. Specifične topline isparivanja propana i butana ovisno o temperaturi, rađeno prema [9]

Tablica 3. Brojčane vrijednosti metanskog i Wobbeovog broja te ogrjevne vrijednosti propana, propena, izo-butana i n-butena, adaptirano iz [2][11]

Tablica 4. Sigurnosne udaljenosti stabilnih spremnika, adaptirano prema [16]

Tablica 5. Sigurnosne udaljenosti skid-jedinica, adaptirano prema [16]

Tablica 6. Sigurnosna udaljenost skladišta boca, adaptirano prema [16]

Tablica 7. Sigurnosna udaljenost crpki i kompresora za pretakanje, adaptirano prema [16]

Tablica 8. Sigurnosne udaljenosti isparivača različitih kapaciteta, adaptirano prema [16]

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	m^2	Površina
A_{kap}	m^2	Površina spremnika koju oplahuje kapljevita faza
d_{UNP}	-	Relativna gustoća ukapljenog naftnog plina
E	J	Energija
F	N	Sila
F_n	N	Normalna komponenta sile
H	J	Entalpija zatvorenog sustava
\dot{H}	W	Entalpija otvorenog sustava
Δh_g	J/kg	Gornja ogrjevna vrijednost goriva
Δh_d	J/kg	Donja ogrjevna vrijednost goriva
K	-	Obujmni korekcijski faktor
m	Kg	Masa
m_i	kg/s	Količina isparenog ukapljenog naftnog plina
P	Pa	Tlak
P	W	Snaga
$p_{\text{kr},i}$	Pa	Kritični tlak i-tog sastojka ukapljenog naftnog plina
p_0	Pa	Tlak pri normalnim uvjetima
$p_{\text{pskr,UNP}}$	Pa	Pseudokritični tlak ukapljenog naftnog plina
R	J/kg	Specifična toplota isparivanja vode pri temperaturi $\vartheta=0^\circ\text{C}$
S	J/K	Entropija zatvorenog sustava
S_s	-	Najveći stupanj punjenja spremnika
T	K	Termodinamička temperatura
T_0	K	Termodinamička temperatura pri normalnim uvjetima
T_{ok}	K	Temperatura okolice
T_{vr}	K	Temperatura vrelišta ukapljenog naftnog plina
$T_{\text{kr},i}$	K	Kritična temperatura i-tog sastojka ukapljenog naftnog plina
$T_{\text{pskr,UNP}}$	K	Pseudokritična temperatura ukapljenog naftnog plina
T	s	Vrijeme
U	J	Unutrašnja energija zatvorenog sustava
\dot{U}	W	Unutrašnja energija otvorenog sustava
V	m^3	Obujam (volumen)
V_{max}	L	Najveći dopušteni obujam punjenja spremnika prilikom pretakanja
V_p	L	Obujam spremnika
v	m^3/kg	Specifični volumen
Q	J	Toplina
Q_{isp}	J	Toplina isparivanja

q_v	m^3/s	Volumenski protok
Q	kg/s	Protok
W	J	Rad
W_g	MJ/m^3	Gornji Wobbeov indeks
W_d	MJ/m^3	Donji Wobbeov indeks
y_i	$kmol/kmol$	Molni (količinski) udio i – tog sudionika smjese
x_i	kg/kg	Maseni udio i – tog sudionika smjese
Grčke oznake:		
α	W/m^2K	srednji koeficijent prijelaza topline
B	K^{-1}	koeficijent volumnog toplinskog širenja
ϑ	$^{\circ}C$	Celzijeva temperatura
ρ_i	kg/m^3	Gustoća i – tog sudionika
ρ_{UNP}	kg/m^3	Gustoća
$\rho_{0,UNP}$	kg/m^3	Gustoća UNP-a u referentnom stanju
Φ_{12}	W	Toplinski tok

SAŽETAK

Fosilna su goriva imala jednu od najvažnijih uloga u oblikovanju suvremenog svijeta. Prva industrijska revolucija, oslanjajući se primarno na fosilna goriva, ostvarila je globalni ekonomski napredak te je postavila temelj modernog društva. S gotovo 80 postotnim udjelom trenutačno su primaran izvor energije. Njihovim izgaranjem nastaju plinovi kao što su ugljikov dioksid, monoksid te sumporov dioksid. Kontinuirano oslanjanje na fosilna goriva ostavilo je traga u ekosustavu pa je iz tih razloga od iznimne važnosti posegnuti prema istraživanju i razvoju alternativa koja mogu smanjiti ugljikov otisak na Zemlji. Jedna od tih mogućnosti, radi svojih čišćih i održivijih svojstava, je ukapljeni naftni plin (UNP). Tematika ovog završnog rada su svestrane tehnike korištenja ukapljenog naftnog plina, koji kao prijelazni izvor energije nudi brojne prednosti na putu prema klimatskoj neutralnosti.

Ključne riječi: ukapljeni naftni plin, fosilna goriva, plinska tehnika, ekološki utjecaj

SUMMARY

Fossil fuels have played one of the most important roles in shaping the modern world. The first industrial revolution, relying primarily on fossil fuels, achieved global economic progress and laid the foundation of modern society. Fossil fuels with an almost 80 percent share are currently the primary source of energy. Their combustion produces gases such as carbon dioxide, monoxide and sulfur dioxide. The continuous reliance on fossil fuels has left its mark on the ecosystem, so for these reasons it is extremely important to reach out for research and development of alternatives that can reduce the carbon footprint on Earth. One of these possibilities, due to its cleaner and more sustainable properties, is liquefied petroleum gas (LPG). The topic of this thesis is the versatile techniques of using liquefied petroleum gas, which, as a transitional energy source, offers numerous advantages on the way to climate neutrality.

Key words: liquefied petroleum gas, fossil fuels, gas technology, enviromental impact

1. UVOD

Goriva su tvari koja kemijskim procesom izgaranja daju veliku količinu toplinske energije. To su uglavnom organski spojevi koji su sastavljeni većinom od elemenata ugljika, vodika, sumpora, kisika, dušika, te pepela i vlage. Shodno tome, fosilna goriva su goriva koja nastaju od prirodnih kapaciteta, anaerobnim raspadanjem mrtvih mikroorganizama starih više milijuna godina. Ona se mogu pojaviti u tri agregatna stanja: kruto, kapljevito i plinovito. Plinovita goriva su plinovi ili plinske smjese, koji oksidacijom gorivih sastojaka odaju toplinu korištenu u brojim industrijskim procesima, od sustava grijanja do pogona vozila.

Prema načinu dobivanja, plinovita goriva se dijele na [1]:

- Prirodna – dobivena iz zemlje
- Umjetna – dobivena preradom iz prirodnih goriva ili drugih tvari

Prema osobinama izgaranja, plinska goriva se kategoriziraju po sposobnosti miješanja sa zrakom, uspješnosti izgaranja te izgledom plamena. Navedena podjela je uvedena kako bi se standardizirala proizvodnja plinske opreme [2].

1.1. VELIČINE STANJA PLINOVA

Veličine stanja i procesa kojima se plinovi i plinske mješavine najčešće klasificiraju su :

Temperatura

Temperatura je jedna od osnovnih fizikalnih veličina po Međunarodnom sustavu veličina (SI sustavu). Definira toplinsko stanje i govori o sposobnosti tijela da izmjenjuju toplinu s okolišem; odnosno mjerljivo je termodinamičko svojstvo tijela. Jedinica za temperaturu u SI sustavu je kelvin (K).

Tlak

Tlak je fizikalna veličina koja analizira djelovanje diferencijala normalne komponente sile na diferencijal površine, usto opisuje ponašanje plinova. Tlak na površinu spremnika je posljedica kumulativnog efekta djelovanja molekula koje se sudaraju sa stijenkom spremnika [3].

$$p = \frac{dF_n}{dA} \quad (1)$$

pri čemu su:

p – tlak [Pa]

F_n – normalna komponenta sile [N]

A – površina [m^2]

Jedinica za tlak u SI sustavu je paskal (Pa), no u tehničkoj se praksi češće koristi jedinica bar, također prema SI sustavu.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100\,000 \text{ Pa} \quad (2)$$

Masa, protok i obujam

Masa je jedna od osnovnih jedinica u SI sustavu, s jedinicom kilograma (kg).

Obujam (volumen) je izvedena fizikalna veličina s jedinicom prostornog kubičnog metra (m^3).

Volumen plina se često izražava normnim kubnim metrom, količinom plina koja je pri normalnim uvjetima ($T_0 = 273,15 \text{ K}$ i $p_0 = 101325 \text{ Pa}$) sadržana u jednom kubnom metru njegova obujma [3].

$$1 \text{ m}_n^3 = \frac{1}{22,41} \text{ kmol} \quad (3)$$

Protok je fizikalna veličina koja opisuje količinu ili masu plina što struji kroz određeni presjek u određenom vremenskom intervalu. Prema SI mjerna jedinica za protok je kg/s.

Rad, toplina, energija, entalpija, entropija i snaga

Rad [J] je fizikalna veličina koju definiramo umnoškom prijeđenog puta i sile duž istoga, a termodinamički rečeno, definiran je kao prijenos energije kroz granicu sustava [3].

$$\Delta W = F ds \quad (4)$$

Toplina [J] je prijenos energije kroz granicu sustava radi postojanja temperaturne razlike. Tijelo više temperature uvijek predaje toplinu niže temperature.

$$Q_{12} = \int_1^2 \delta Q \quad (5)$$

Energija je sposobnost nekog tijela da obavi rad. Pojavljuje se u raznim oblicima od kojih je većina vezana uz samu tvar. Kinetička, potencijalna, kemijska, nuklearna su samo neki od oblika energije.

Entalpija je termodinamička funkcija stanja ravnoteže sustava, a sačinjena je od sume unutarnje energije, umnoška tlaka i obujma sustava. U zatvorenom sustavu je prikazana u džulima, a u otvorenom u vatima.

$$H = U + pV \quad (6)$$

$$\dot{H} = \dot{U} + pq_v \quad (7)$$

Entropija (S) je termodinamička veličina koja opisuje stupanj kaosa tijela. Jedinica za entropiju je [J/s].

Snaga, odnosno toplinski tok opisuje brzinu obavljanja mehaničkog rada ili izmjene energije. Prikazana su jedinicom vat [W].

$$\Phi_{12} = \frac{Q_{12}}{t_{12}} \quad (8)$$

$$P_{12} = \frac{W_{12}}{t_{12}} \quad (9)$$

1.2. PROCES IZGARANJA

Izgaranje je visokotemperaturna egzotermna kemijska reakcija oksidacije u kojoj se gorivo spaja s kisikom, oslobađajući energiju [4]. Shema ložišta prikazana je u nastavku, na slici 1.



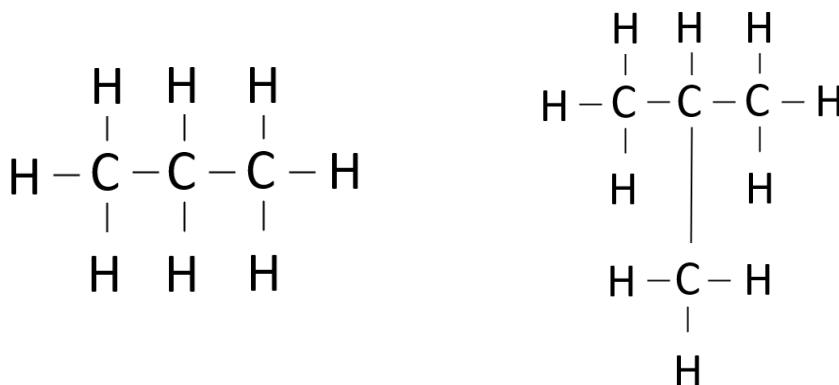
Slika 1. Shematski prikaz ložišta, adaptirano prema [5]

Kao što se vidi iz navedenog, sudionici reakcije su zrak i gorivo, dok su produkti reakcije dimni plinovi te pepeo (odnosno kruti ostaci). Vodik, ugljik i sumpor su elementi u gorivu koji se mogu spajati s kisikom, interesantni u tehničkoj praksi. Maseni (količinski) izračun se izvodi pomoću stehiometrijskih jednadžbi, no pretpostavimo li da promatrani kemijski elementi u jednadžbi reakcije odražavaju istovremeno i molarnu količinu promatrane tvari, stehiometrijske jednadžbe predstavljaju ujedno jednadžbe izgaranja [5]. Prilikom potpunog izgaranja, kod kojeg se ne pojavljuju kruti ostaci, kao produkti reakcije mogu doći ugljikov i sumporov dioksid (CO_2 , SO_2), vodena para (H_2O), te kisik (O_2) i dušik (N_2) iz zraka, ukoliko je dovedeno više no

što je potrebno. U nepotpunom izgaranju ostaje bar nešto izgorenih, no zapaljivih tvari. Ugljikov monoksid (CO), vodik (H₂), te pojedini ugljikovodici (C_nH_{n+2}) su samo neki od plinovitih neizgorenih ostataka koji se pojavljuju u dimnim plinovima [6]. U procesu izgaranja također je bitan faktor postotak zraka i goriva, koji u ispravnom omjeru omogućuje optimalnu učinkovitost izgaranja. Premalo kisika dovodi do nepotpunog izgaranja (bogata smjesa), dok prekomjerna količina kisika za izgaranje (siromašna smjesa) rezultira nižom temperaturom izgaranja.

2. UKAPLJENI NAFTNI PLIN

Ukapljeni naftni plin (UNP, propan-butan, eng. liquefied petroleum gas) fosilno je gorivo koje se prvenstveno sastoji od mješavine propana (C_3H_8) i butana (C_4H_{10}), točnije njihovih izomera (spojeva koji imaju isti kemijski sastav, ali različite karakteristike zbog razlika u rasporedu atoma u molekuli [7]).



Slika 2. Kemijske strukture propana i izo-butana

UNP obično sadrži, uz ugljikovodike, razne kontaminante u različitim količinama kao što su [9]:

- inertne ili tzv. neštetne tvari: dušik i kisik
- onečišćenja: voda (uzrokuje razvoj čvrstih hidrata s ugljikovodicima i smrzavanja dijelova sustava zimi), amonijak (korozivan, osobito za bakar ili njegove legure), sumpor i njegovi spojevi (otrovni i zagađuju okoliš)
- aditivi: metanol (djeluje kao sredstvo protiv zamrzavanja zbog niskog ledišta)

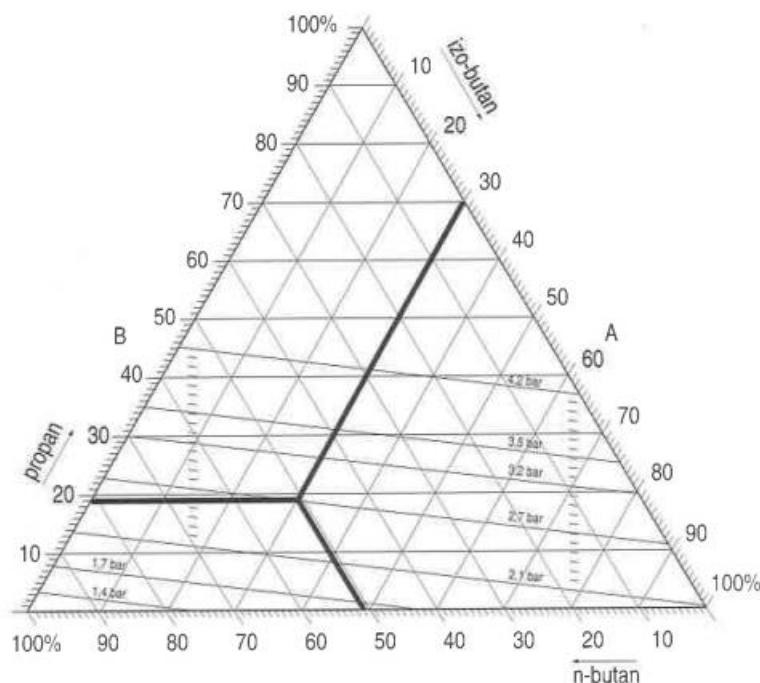
Nema miris ni boju, nije otrovan i u vodi je netopljiv, a kako mu je gustoća niža od gustoće vode, pliva na njoj, pa se iz tog razloga ne ubraja u medije štetne za vodu. Za ukapljivanje pri normalnim uvjetima mu je potrebna temperatura od $-42,6^\circ\text{C}$, dok mu je kritična točka na $+96,8^\circ\text{C}$ pri tlaku od 43,3 bar [10]. Kao naftni derivat, dobiva se rafinacijom nafte i spada u lake destilate. Drugi način dobivanja je obradom prirodnog plina. Budući da se može transportirati i pohranjivati kao kapljevinu, a koristiti u plinovitom stanju, veoma je pogodan za prijevoz, skladištenje i uporabu. Energija koju proizvodi može se odmah upotrijebiti, što minimizira gubitke, a maksimizira iskoristivost. Tablica 1. prikazuje osnovna svojstva ukapljenog naftnog plina.

Tablica 1. Osnovna svojstva trgovačkog propana i butana, izrađeno prema [8]

Svojstvo		Trgovački propan	Trgovački butan
ρ_{293K} [kg/dm^3]		$\geq 0,502$	$\geq 0,559$
Tlak zasićenja, bar	pri 15°C	7,5	1,7
	pri 50°C	11,5 – 19,3	6,9
ΔH_{md} (293K)	MJ/kg	46	45,6
	kWh/kg	12,79	12,66
Najviša temperatura plamena na zraku, °C		1915	1920
Maseni udio sumpora, %		$\leq 0,005$	$\leq 0,005$

3. FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTA UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA

Fizikalna i kemijska svojstva ukapljenog naftnog plina ovise o udjelima komponenata trgovačkog propana i butana, ovisno o načinu proizvodnje i postavljenim zahtjevima. Trgovački propan sadrži oko 90% propana, 5% propena, a preostali udio popunjavaju etan, eten, butan i buten. Komercijalni butan se sastoji 95% od izomera butana, a preostalih 5% čine izomeri propana i pentana [2]. Tlak smjese se određuje pomoću trokuta miješanja (slika 3.), ali se može i numerički odrediti poznavajući vrijednosti njihovih udjela, kao i vrijednosti pojedinih svojstva.



Slika 3. Trokut za očitavanje tlaka smjese propana i izomera butana (n-butana i izo-butana) [9]

Nadalje, UNP se pojavljuje u dva stanja (kapljevito i plinovito), te u tri faze (kapljevitoj, plinovitoj i parnoj). Pojam stanja se odnosi na njegovo agregatno stanje tvari, a pojam faze na zbivanje u zatvorenom spremniku pri normalnim uvjetima temperature (T_0) i tlaka (p_0) [9]. Samim time, propan i butan, ugljikovodici koji tvore osnovne sastojke UNP-a, pri normalnim se uvjetima nalaze u plinovitom stanju. Budući da je UNP smjesa s više poddomena, gustoća, kao intenzivna veličina stanja jednaka je u svakome dijelu sustava, a utvrđuje se sumom doprinosa gustoće svakog pojedinog sudionika [3]:

$$\rho_{\text{UNP}} = \sum x_i \rho_i \quad (10)$$

pri čemu su:

ρ_{UNP} – gustoća UNP-a u plinovitom stanju [kg/m^3]

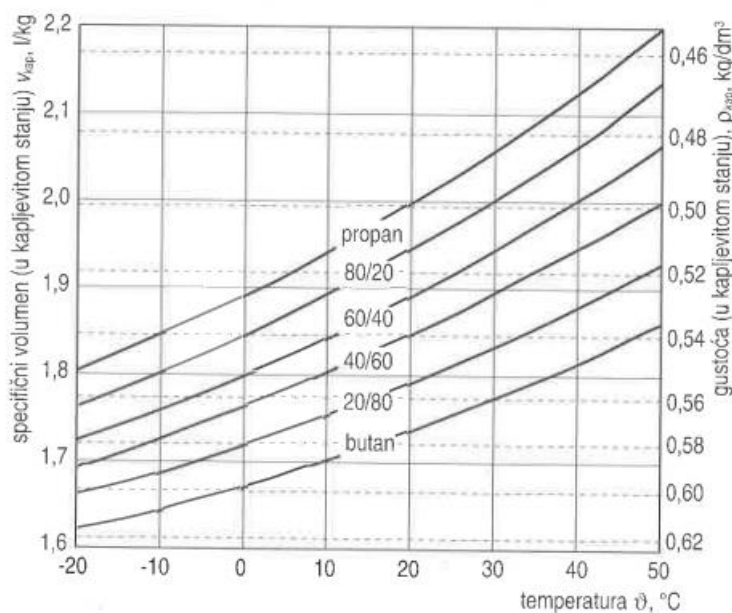
x_i – maseni udio i-tog sastojka smjese UNP-a [kg/kg]

ρ_i – gustoća i-tog sastojka UNP-a u plinovitom stanju [kg/m^3]

Na temelju vrijednosti gustoće mogu se odrediti specifični volumen i relativna gustoća, te su obje veličine ovisne o temperaturi. Specifični volumen je omjer volumena V UNP-a i njegove mase m [3]:

$$v = \frac{V}{m} \quad (11)$$

Dijagram ovisnosti specifičnog volumena i gustoće UNP-a o temperaturi i udjelu komponenata može se vidjeti na slici 4.



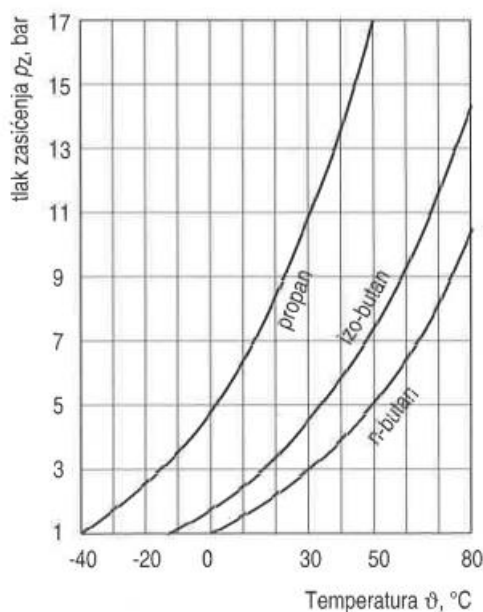
Slika 4. Dijagram ovisnosti specifičnog volumena i gustoće ukapljenog naftnog plina o temperaturi i udjelu komponenata [9]

Relativna gustoća predstavlja omjer gustoće UNP-a i gustoće referentnog stanja [9]:

$$d_{\text{UNP}} = \frac{\rho_{\text{UNP}}}{\rho_{0,\text{UNP}}} \quad (12)$$

Valja napomenuti da je relativna gustoća UNP-a veća od relativne gustoće zraka ($d_{UNP} > 1$). U tom kontekstu, veličina koja prikazuje koliko je gustoća UNP-a u kapljevitom stanju veća od gustoće vode pri 15°C se naziva specifična težina.

Promjenama agregatnog stanja UNP-a upravlja se manipulacijom tlaka i temperature. U zatvorenom spremniku, koji se nalazi pod određenim tlakom p ($p > p_0$) i pri okolišnoj temperaturi T_0 postoje kapljevita i parna faza (mokra para) koje su u međusobnoj ravnoteži [9]. Ravnoteža podrazumijeva stabilnost dvofaznog sustava; ne dolazi do isparivanja ni ukapljivanja. Jedna od ključnih veličina kojom se u tom trenutku opisuje ponašanje UNP-a je tlak zasićenja, a temperatura pri kojoj se dolazi do promjene agregatnog stanja iz kapljevito u plinovito je poznata kao vrelište. Usprkos činjenici da je ukapljeni naftni plin mješavina, tlak zasićenja ovisi o udjelu sastojaka propana te izomera butana, a njihova ovisnost o temperaturi prikazana je na slici 5.



Slika 5. Krivulje tlaka zasićenja u ovisnosti o temperaturi propana, izo-butana te n-butana [9]

Toplina koja se izmjenjuje pri promjeni agregatnog stanja naziva se latentna toplina, a pri isparivanju, toplina koja se dovodi naziva se toplina isparivanja (Q_{isp}). Ona se izmjenjuje dok se zadnja čestica kapljevine ne pretvori u plin. Ovisi o temperaturi kapljevine i različita je za razne medije, tako da pri istoj toplini isparavanja prije vrije propan, budući da je on lakši sastojak, tj. sadrži manji specifični toplinski kapacitet (on govori koliko se topline mora dovesti određenom mediju da bi mu se temperatura povisila za 1°C ili za 1 K [3]). U sljedećoj se tablici može vidjeti razlika u specifičnoj toplini isparivanja propana i butana.

Tablica 2. Specifične topline isparivanja propana i butana ovisno o temperaturi, rađeno prema [9]

Temperatura ϑ , °C	Specifična toplina isparivanja, Q_{isp} , kJ/kg	
	propan	butan
-50	431,53	431,65
-40	423,11	423,28
-30	413,73	413,23
-20	403,39	404,02
-10	392,3	393,55
0	378,65	383,92
10	364,16	373,46
20	348,55	361,73
30	330,92	351,69
40	310,7	339,12
50	289,39	326,56

Spomenuta promjena može uzrokovati zapreke pri nižim temperaturama. Kako latentna toplina uzrokuje promjenu agregatnog stanja, kapljevita faza ukapljenog naftnog plina prolazi kroz toplinsko istezanje i promjenu obujma. Shodno tome, spremnici za skladištenje moraju biti ispunjeni do 85% kapljevite faze, kako bi se moglo ostaviti dovoljno prostora za paru koja nastaje zagrijavanjem goriva. Promjena volumena izražava se sljedećom jednadžbom [9]:

$$V_2 = V_1(1 + \beta(\vartheta_2 - \vartheta_1)) \quad (13)$$

gdje su:

V_1 i V_2 , odnosno ϑ_1 i ϑ_2 – početni i krajnji obujam [m^3], odnosno temperatura [°C] UNP-a toplinskog istezanja

β – koeficijent volumnog toplinskog širenja tj. promjena obujma ΔV uslijed promjene temperature ΔT [K^{-1}].

Pri tlakovima između 1,7 i 7,5 bara, te T_0 UNP prelazi iz plinovite u kapljevitu fazu. Poznato je da ukapljivanjem tvari dolazi do smanjenja volumena pa se time rečeno propanu smanjuje volumen oko 260 puta [2][8].

Kritično stanje medija je krajnje stanje kod kojeg postoji jasna granica između kapljevine i plina. Iznad njega se plin ni pod kojom veličinom stanja ne može ukapljiti. UNP ima pseudokritični tlak i temperaturu koji se računaju iz kritičnih tlakova sudionika [9]:

$$p_{\text{pskr,UNP}} = \frac{\sum p_{\text{kr},i} y_i}{\sum y_i} \quad (14)$$

$$T_{\text{pskr,UNP}} = \frac{\sum p_{\text{kr},i} y_i}{\sum y_i} \quad (15)$$

pri čemu su:

$p_{\text{pskr,UNP}}$ – pseudokritični tlak UNP-a [Pa]

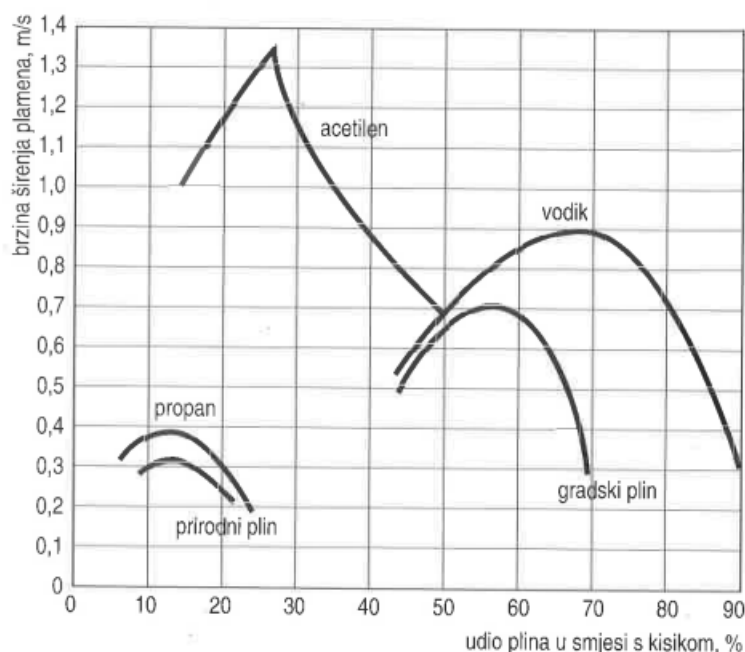
$p_{\text{kr},i}$ – kritični tlak i-tog sastojka UNP-a [Pa]

y_i – molni udio i-tog sastojka smjese UNP-a [kmol/kmol]

$T_{\text{kr,UNP}}$ – pseudokritična temperatura UNP-a [K]

$T_{\text{kr},i}$ – kritična temperatura i-tog sastojka UNP-a [K]

Dovoljna količina energije može dovesti medij do razbijanja molekule goriva i kisika, te procesom oksidacije uzrokovati zapaljenje. To se djelovanje odvija pri temperaturi zapaljenja [3]. Ona se može dogoditi i spontano, bez vanjskog poticaja. Za zadano gorivo, temperatura zapaljenja ovisi i o okolišnim uvjetima, kao i o udjelu plinovitog goriva u smjesi plinovitog goriva i zraka. Propan i butan imaju niže temperature zapaljenja od metana. Da bi izgaranje plina napredovalo, goriva molekula se mora nalaziti dovoljno blizu molekuli kisika, kako bi taj molekularni par mogao primiti dostatnu količinu topline od zapaljene struje. Brzina širenja plamena (slika 6.) ovisi o načinu strujanja te udjelu plina u smjesi plinovitog goriva i zraka, kao i prostoru u kojem dolazi do kemijske reakcije oksidacije.



Slika 6. Dijagram brzine širenja plamena pojedinih plinova u odnosu na smjesu s kisikom [9]

Područje zapaljivosti goriva limitirano je gornjom i donjom granicom zapaljivosti i do eksplozije je moguće doći samo ako je njezin sastav unutar zadanih okvira [9]. Propan i butan imaju relativno usko žarište eksplozivnosti. Ogrjevna vrijednost goriva nalaže koliko se kemijske energije pretvori u entalpiju ili toplinsku energiju. Razlikuje se gornja i donja, te pogonska ogrjevna vrijednost [9]. Kod gornje ogrjevne vrijednosti se uz razliku specifičnih entalpija pretpostavlja i potpuna kondenzacija pare (oslobođenja dodatne topline kondenzacije), dok kod donje ogrjevne vrijednosti pretpostavljamo da para nije kondenzirala. Gornja i donja jednadžba se mogu povezati sljedećom relacijom [3]:

$$\Delta h_d(\vartheta) = \Delta h_g(\vartheta) - m_{H_2O}r(\vartheta) \quad (16)$$

Pri čemu su:

$\Delta h_d, \Delta h_g$ – donja, odnosno gornja ogrjevna vrijednost goriva [J/kg]

r – specifična toplota isparivanja vode pri temperaturi $\vartheta=0^\circ\text{C}$ [J/kg]

Pogonska ogrjevna vrijednost je ogrjevna vrijednost svedena na obujam suhog goriva pri normalnim uvjetima (p_0, T_0) [2].

Ogrjevna vrijednost UNP-a se računa sumom doprinosa ogrjevne vrijednosti svakog sudionika:

$$H_{\text{UNP}} = \sum y_i H_i \quad (17)$$

Pri čemu su:

H_{UNP} – ogrjevna vrijednost UNP-a [MJ/kmol]

y_i – molni udio i-tog sastojka smjese UNP-a [kmol/kmol]

H_i – ogrjevna vrijednost i-tog sastojka UNP-a [MJ/kmol]

U jedinicama ogrjevnosti se može prikazati Wobbeov indeks, koji predstavlja mjeru toplinskog opterećenja plamenika. Definiira se omjerom ogrjevnosti i korijena relativne gustoće plina [2]:

$$W = \frac{H}{\sqrt{d}} \quad (18)$$

Metanski broj je veličina koja pokazuje podložnost detonaciji pri uporabi plinskih goriva u motorima s unutarnjim izgaranjem (poput oktanskog broja kod benzinskog i cetanskog kod dizelskog goriva) [2]. Za današnje motore se preporučuje upotreba plinova kao goriva koji imaju metanske brojeve u okvirima od 60 do 90.

Upravo su ogrjevna vrijednost, metanski broj i Wobbeov indeks jedni od glavnih parametara za procjenu plinskih goriva [12].

Sljedeća tablica prikazuje brojčane vrijednosti Wobbeovog i metanskog broja te ogrjevnosti sastojaka ukapljenog naftnog plina [2][11].

Tablica 3. Brojčane vrijednosti metanskog i Wobbeovog broja te ogrjevnosti propana, propena, izo-butana i n-butena, adaptirano iz [2][11]

Plin	Formula	Ogrjevna vrijednost, MJ/kmol		Metanski broj M_b	Wobbeov indeks, MJ/m ³	
		H_g	H_d		W_g	W_d
propan	C ₃ H ₈	2219,17	2043,11	33	76,84	70,69
propen	C ₃ H ₆	2058,02	1925,97	18	72,89	68,21

izo-butan	C_4H_{10}	2868,2	2648,12	10	88,2	81,43
n-buten	C_4H_{10}	2877,4	2657,32	-	87,43	80,74

4. NAČINI PROIZVODNJE UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA

Osnovne sirovine za proizvodnju ukapljenog naftnog plina su prirodni plin i sirova nafta. Postrojenja za preradu prirodnog plina bogatih propanom i butanom čine oko 60% ukupne proizvodnje UNP-a, dok se ostatak proizvodi u rafinerijama nafte [2].

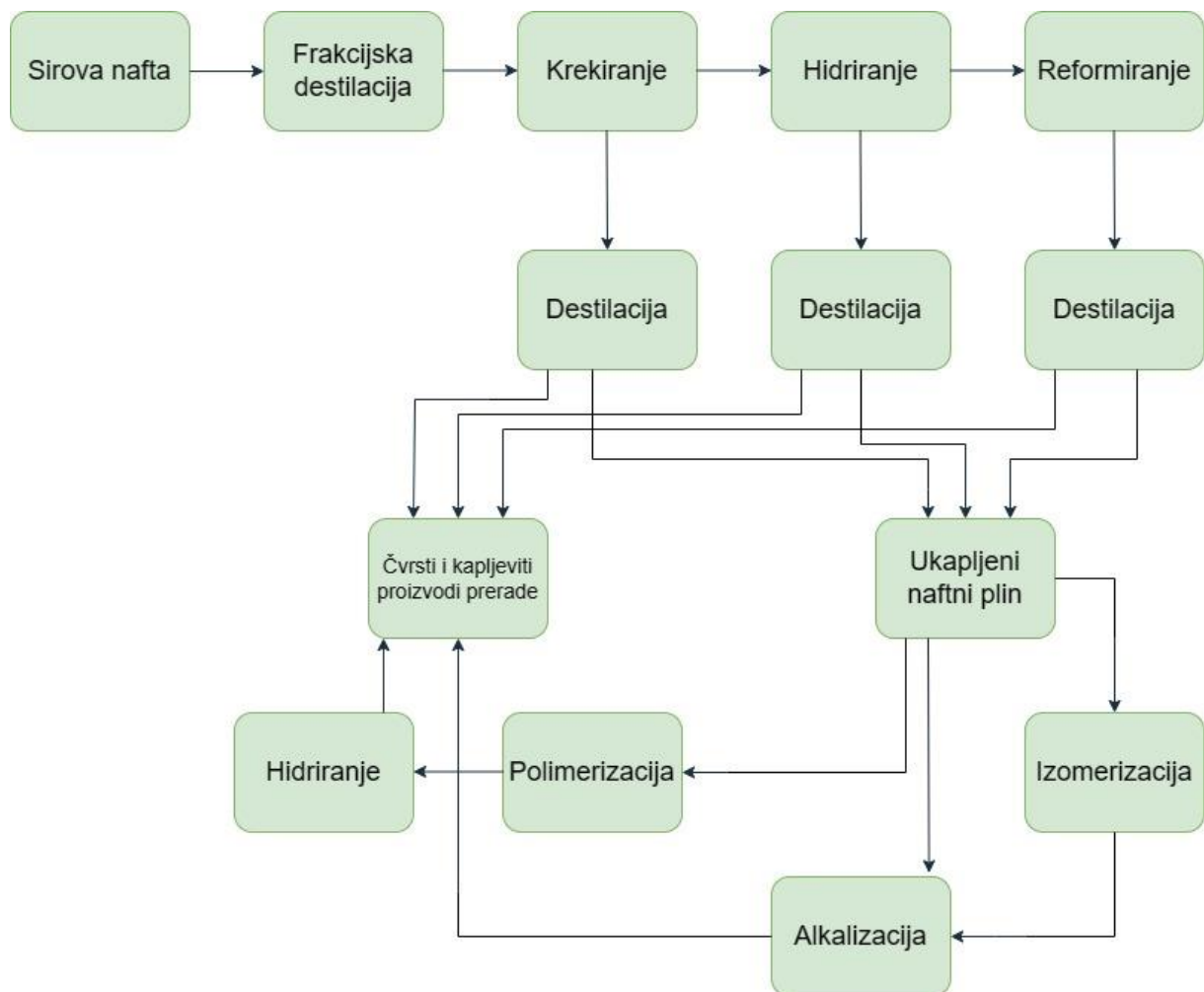
4.1. PROIZVODNJA IZ PRIRODNOG PLINA

Propan i butan, osnovni sastojci UNP-a, mogu se u promjenjivom omjeru naći u sastavu prirodnog plina. Koncentracija tih ugljikovodika ovisi o plinskom polju iz kojeg se crpe, a čak mogu varirati i od bušotine do bušotine na istome polju. Prilikom prerade sirovog prirodnog plina viši ugljikovodici se razdvajaju i oslobađaju u procesu kako bi se formirali etan, propan, n-butan i izo-butan. Smjesa njihovih struja u odgovarajućem omjeru tvori ukapljeni naftni plin. Postoje dvije skupine postupaka za izdvajanje viših ugljikovodika. Prva skupina obuhvaća postupke bez hlađenja ili uz umjereno hlađenje: apsorpcija (s hlađenjem i bez njega), adsorpcija, kompresija i jednostupanjsko vanjsko hlađenje, dok drugu skupinu sačinjavaju kriogeni postupci; višestupanjsko vanjsko hlađenje, te ekspanzija s vanjskim hlađenjem i s hladnom komorom [2]. Sukladno rečenom, kriogena goriva su goriva koja zahtijevaju pohranjivanje na izrazito niskim temperaturama [13]. Izbor postupaka ovisi o količini i kvaliteti ulaznog plina, željenom omjeru pojedinih proizvoda te potencijalnim uštedama pri proizvodnji.

4.2. PROIZVODNJA IZ NAFTE

Ukapljeni naftni plin je manja komponenta sirove nafte, koji se dobiva procesom rafiniranja nafte. Rafinacija označava pročišćavanje proizvoda, najčešće uz izdvajanje pojedinih sastojaka [14]. Nafta se razgrađuje frakcijskom destilacijom, te se na taj način proizvode laki benzin, loživo ulje i teški ostaci. UNP, dobiven procesom destilacije, često je neadekvatan za uporabu radi visokog udjela sumpora, što ima za posljedicu pročišćavanje i prerađivanje, a nerijetko se i koristi kao gorivo u samom procesu prerade. Daljnjom doradom najviše se komponenti UNP-a dobiva termokemijskim metodama, kao što su krekiranje, reformiranje i hidriranje. Krekiranje je postupak razgradnje velikih molekula ugljikovodika, na temperaturama od 400 °C do 500 °C na manje molekule [15]. Radi ubrzanja reakcije i poboljšanja stupnja iskoristivosti, prilikom procesa se katkad dodaju i katalizatori. Slijedom navedenog, reformiranje je u suštini proces sličan krekiranju, ali se odvija pri višim tlakovima i temperaturama [15]. Da bi se spriječilo stvaranje olefina, katrana i koks, u proces hidriranja se dodaje vodik pod određenim pritiskom.

Pogodan je i za derivate bogate sumporom, jer se ovim postupkom sumpor osiromašuje. Shema dobivanja ukapljenog naftnog plina iz nafte prikazana je na donjoj slici.



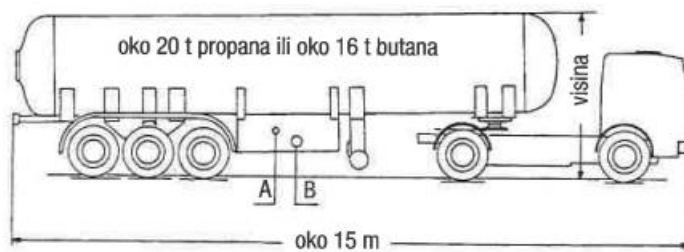
Slika 7. Shema proizvodnje ukapljenog naftnog plina podrijetlom iz nafte, adaptirano prema [2]

Postrojenja za proizvodnju ukapljenog naftnog plina igraju ključnu ulogu za dobavljanje ovog korisnog izvora energije, kao i osiguravanje stalne opskrbe.

5. TRANSPORT UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA

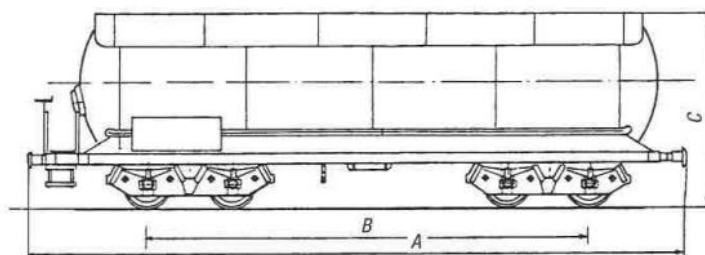
Jedan od primarnih razloga izuzetne privlačnosti ukapljenog naftnog plina je njegova jednostavnost transporta. Prilikom ukapljivanja, UNP je sposoban smanjiti obujam gotovo 260 puta. Do potrošača se najčešće prevozi kamionima (autocisternama), no ni transport željeznicom (vagon-cisternama), kao i pomorskim prijevozom (propanijerama) nije rijedak [2].

Autocisterne se većinom koriste za relativno kraće udaljenosti. Rezervoari kamiona su horizontalni cilindri kapaciteta 1 do 30 tona [15]. Svršishodno, dijele se na cisterne za prijevoz (putuju od proizvođača do centralnih distributera) i cisterne za distribuciju (transport od prodajnih tvrtki do potrošača). Slika 8. prikazuje izgled klasične autocisterne (dok na ilustraciji A i B predstavljaju priključne instalacije).



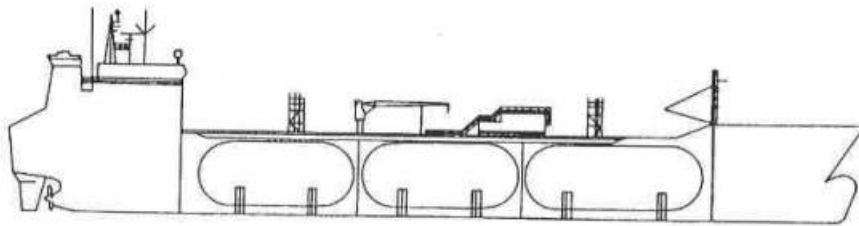
Slika 8. Prikaz autocisterne [2]

Prijevoz vagon-cisternama (slika 9.) efikasan je i ekološki prihvatljiv način transporta UNP-a, naročito na duge relacije. U eksploataciji cisterne mogu primiti 22 do 47 tona plina, a konstruirane su na dvoosovinskim ili četveroosovinskim vagonima [15]. Duljina između odbojnika je kotirana slovom A, B je vanjski osovinski razmak, dok C pripada ukupnoj visini.



Slika 9. Prikaz vagon-cisterne [2]

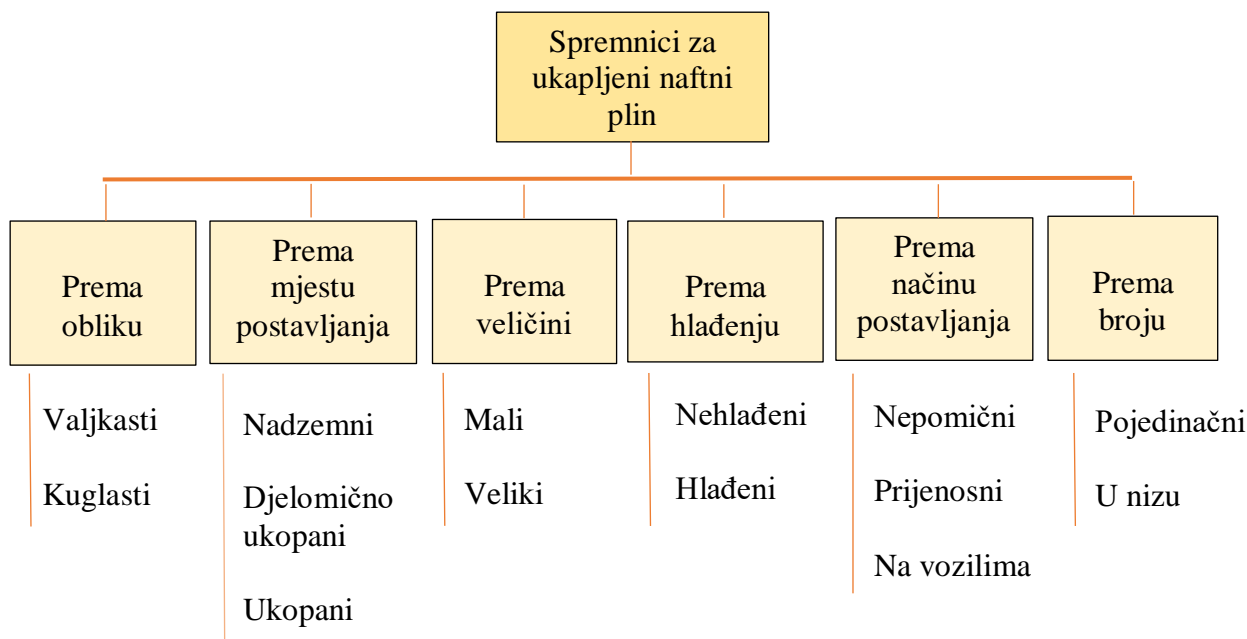
Propanieri (tankeri za UNP) brodovi su za prijevoz UNP-a, kao što se vidi na donjoj slici. Nakon drugog svjetskog rata transport nafte i njenih derivata doživljava procvat, tako da je prvi tanker za prijevoz plina prvi put pušten u pogon 1947. godine [15]. Dokazavši se veoma isplativim na duge rute, morski transport se proširio i na unutrašnje vode. Trenutno je jedan od najkorištenijih tranzita UNP-a za prekoceanske relacije, a to je osobito važno u današnjem svijetu, jer zbog kriznih situacija sve više vlada inzistira na više dobavnih vodova.



Slika 10. Prikaz tankera za ukapljeni naftni plin [2]

6. SPREMNICI UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA

Spremnik za ukapljeni naftni plin je prema NN 117/2007 svaka zatvorena posuda izrađena i namijenjena za punjenje UNP-om, certificirana prema propisima o tlačnoj opremi. Radi tlaka pare UNP-a (u odnosu na primjerice benzin), najsigurnija mjesta za skladištenje plina su upravo zatvorene posude pod pritiskom. Spremnici za UNP imaju različite podjele, koje se mogu vidjeti na slici 11.



Slika 11. Podjela spremnika za ukapljeni naftni plin, adaptirano prema [2]

Stabilni spremnici za ukapljeni naftni plin

Stabilni spremnici za UNP su postavljeni i učvršćeni na postolju. Mogu biti nadzemni i podzemni, a prema obliku valjkasti (ležeći ili stojeći) i kuglasti (iako su podzemni spremnici samo valjkasti ležeći) [8].

Nadzemni spremnici (obujma iznad $6,4 \text{ m}^3$) su projektirani za skladištenje UNP-a, iznad razine tla i na određenoj udaljenosti od građevinskih objekata, a točne mjere se nalaze u tablici 4. Spremnici moraju biti pravilno konstruirani, kako ne bi došlo do suvišnih naprezanja na oklopu rezervoara, a sve dodirne točke s drugim dijelovima konstrukcije zaštićene od korozije. Kako ne bi bio u mogućnosti apsorbirati sunčeve zrake, plašt spremnika mora biti obojan svijetlom bojom koja je reflektirajuća. Nadalje, postoje mnoge mjere zaštite kako bi se reducirala pojava bilo kakve nepravilnosti. Nadzemni spremnici su izvedeni s brojnim sigurnosnim i

regulacijskim ventilima, kao i s jasno naznačenim priključcima za punjenje ili pražnjenje s oznakom faze (para ili kapljevine) spajanja. Ovisno o zapremini plina koje se nalazi u rezervoaru, postoji protokol gašenja u slučaju toplinskog udara ili požara. Ukoliko se to dogodi, u razmaku ne više od 5 minuta potrebno je pokrenuti sustav za hlađenje (koja sadrži raspršenu vodu), koji se većinom nalazi na sigurnoj poziciji te upotrijebiti vatrogasni aparat, prije intervencije hitnih službi, ukoliko je potrebno.

Podzemni spremnici su definirani kao ukopani spremnici ili rezervoari ugrađeni u komore s razinom kućišta najmanje 60 cm ispod razine tla [8]. Mogu se postavljati i u prirodna udubljenja u podzemlju, ukoliko to geološki uvjeti dopuštaju, no prilikom postavljanja važno je osigurati nepomičnost spremnika. Uz to, iznad postavljenog spremnika se ne smiju nalaziti građevine ili objekti, kao i drugi rezervoari UNP-a, a za sigurno vađenje moraju na bočnim stranama biti zavareni dodaci. Za zaštitu od požara vrijede ista pravila kao za nadzemni spremnik, uz male varijacije glede raspršene vode.

Tablica 4. Sigurnosne udaljenosti stabilnih spremnika, adaptirano prema [16]

Ukupna zapremina spremnika	Sigurnosna udaljenost spremnika do susjednih objekata, javnog puta ili javne površine mjerena od gabarita nadzemnog ili okna podzemnog spremnika (m)		Sigurnosna udaljenost između spremnika (m)	
	nadzemni	podzemni	nadzemni	podzemni
6,4 – 100	5	5	2,0	1,0
101 – 500	20	10	2,0	1,0
500 – 1000	50	20	2,5	2,0
1001 – 2000	75	25	2,5	2,0

Prijenosni spremnici za ukapljeni naftni plin

Prijenosni spremnik za UNP je poglavito proizveden te opremljen za transport i skladištenje UNP-a. Pune se kod dobavljača ili na mjestu postavljanja UNP-a. Klasičan primjer prijenosnog spremnika za UNP je skid-jedinica, spremnik koji je postavljen na zajedničku podlogu zajedno s uređajem za istakanje i posebnim mehanizmima, kako bi se mogao transportirati i koristiti na

siguran način [16]. Skid-jedinice koriste vozila, brodovi, zrakoplovi itd. za opskrbu UNP-om.

Sigurnosne udaljenosti skid-jedinica, prema [16], određuje se sljedećom tablicom:

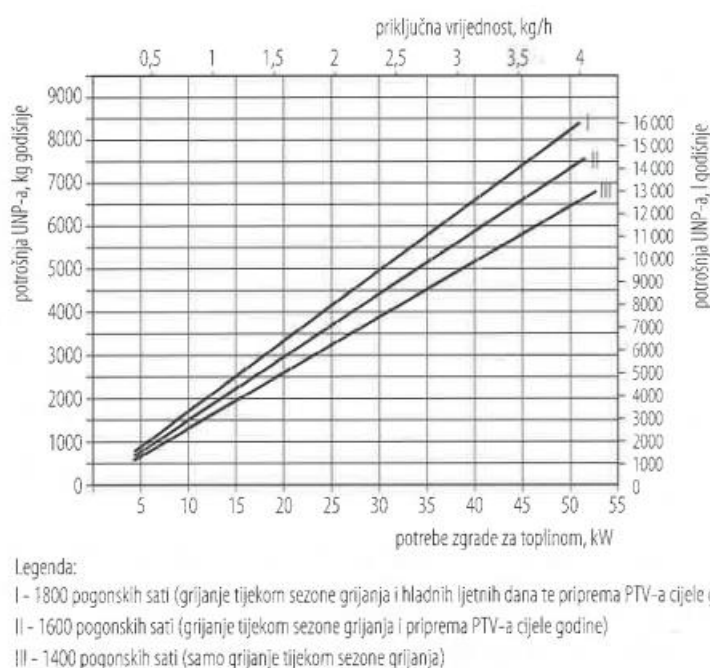
Tablica 5. Sigurnosne udaljenosti skid-jedinica, adaptirano prema [16]

	Sigurnosne udaljenosti				
	Spremnik UNP-a	Priključak za punjenje spremnika	Pumpa za UNP	Agregat za UNP	Vozilo koje se puni
Spremnik UNP-a	-	Nema*		0,5 m	3 m
Priključak za punjenje spremnika	nema	-	nema	1 m	3 m
Pumpa za UNP	Nema*	nema		nema	1,5 m
Agregat za UNP	0,5 m	1 m	nema		nema
Vozilo koje se puni	3 m	3 m	1,5 m	nema	
Ulazni otvor s priključkom za punjenje – na ukopanom spremniku goriva	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	nema
Ulazni otvor bez priključka za punjenje – na ukopanom spremniku goriva	3 m	3 m	3 m	3 m	nema
Agregati za dizel gorivo u protueksplozijskoj izvedbi	3 m	3 m	nema	nema	nema

* - ne dozvoljava se postavljanje ispod spremnika

Mali spremnici za ukapljeni naftni plin

Mali spremnici za UNP su obujma do $6,4 \text{ m}^3$, korišteni su uglavnom za opskrbu stanovništva i industrijskih objekata [9]. U skladu s propisima za UNP, mogu se koristiti za punjenje kamp-boca te spremnike za vozila. S obzirom na način postavljanja, mogu biti nadzemni, podzemni i djelomično ukopani, a u pravilu su cilindričnog oblika [9]. Određivanje veličine malih spremnika vrši se tijekom sezone grijanja, odnosom prosječne potrošnje plina u vremenskom intervalu, kao i frekvenciji punjenja plina, kao što se može vidjeti na slici 12. Toplinsko naprežanje se, shodno tome, izračunava prema HRN EN 12831 [9] (Sustavi grijanja u građevinama – Postupak proračuna normiranoga toplinskog opterećenja [8])



Slika 12. Dijagram za određivanje godišnje potrošnje ukapljenog naftnog plina [9]

Prema pravilniku za ukapljeni naftni plin, postoje dvije zone opasnosti. U prvoj zoni, na radijusu od jednog metra, nikada ni u kojem slučaju ne smije doći od izvora zapaljenja, dok se u drugoj zoni, dijametralno šest metara ne smije tokom punjenja nalaziti bilo kakav izvor zapaljenja [8].

Proizvodnja i postavljanje rezervoara za ukapljeni naftni plin veže za sobom određen protokol te potrebnu dokumentaciju. Uz odobrenje Državnog inspektorata, za proizvodnju je potrebno dobiti potvrdu i od Katedre za zavarivanje Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u

Zagrebu, dok je za postavljanje potrebno odobrenje Ministarstva unutarnjih poslova [2], zato što su sigurnosne mjere zaštite i detaljna razmatranja ključne za odgovornu uporabu i skladištenje UNP-a.

6.1. PLINSKE BOCE

Plinska boca je prijenosna tlačna posuda, proizvedena u skladu s Pravilnikom o tlačnoj opremi, i najčešće služi za opskrbu kućanstva i manjih industrijskih potrošača. Boce su cilindrične posude, izrađene od čeličnog lima i u pravilu su narančaste boje. Na bocama se moraju nalaziti sljedeći podaci: broj, volumen, masa plina pri punjenju i datum proizvodnje [9]. Boce mogu biti dimenzija obujma manjeg od 10 L i obujma većeg od 10 L, a prema načinu (fazi) potrošnje dijele se na [9]:

- boce s uronjenom cijevi, iz kojih se crpi kapljevita faza
- boce bez uronjene cijevi, iz kojih se crpi plinovita faza

Male boce (obujma do 10 L) su definirane kao prenosive posude najveće nazivne mase punjena 5 kg. Prema INA d.d., proizvedene su u tri osnovne veličine prema nazivnoj masi: 2, 3 i 5 kg. Nerijetko se nazivaju kamp-boce i korištene su u vojnim taborima, turističkim naseljima itd. Većina malih boca se na trošilo s ugrađenim igličastim ventilom ugrađuju probijanjem plašta, budući da nemaju ugrađen ventil [2]. U novije vrijeme INA d.d. se odlučila postavljati plastične matice, umjesto dosadašnjih čeličnih. Pri otvorenju boce, prsten se lomi što daje na znanje potrošaču da je boca ispravna [2]. Osnovni dijelovi boce su naznačeni na slici u nastavku.

Velike boce (od 10 do 500 L) se najčešće pojavljuju u veličinama od 10 i 35 kg [16]. Potrošačima najpoznatije narančaste boce od 10 kg, konstruirane su na taj način da je uvelike olakšan transport i montaža (slika 13.). Sadrže klasičan plinski ventil i slijepu maticu, a rukovanje je jednostavno: matica se odvrne nakon čega se na bocu priključuje regulator pritiska koji je gumenom cijevi spojen s trošilom.

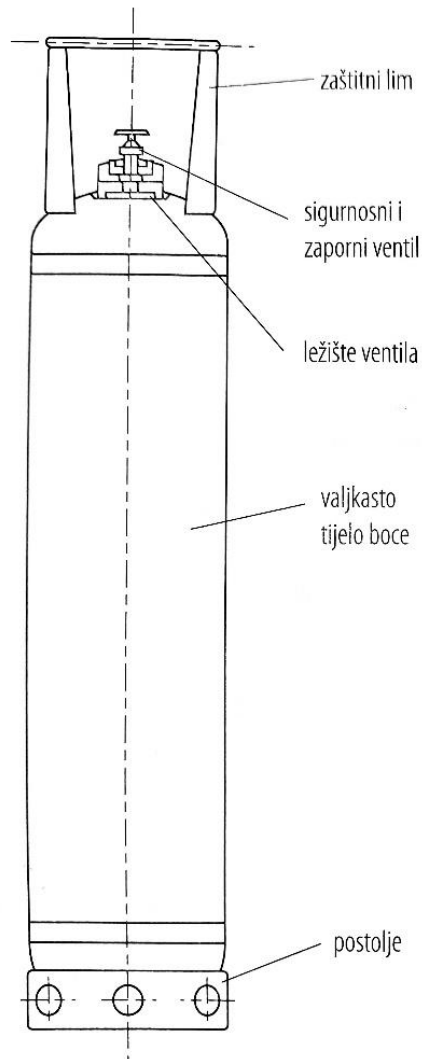


Slika 13. Osnovni dijelovi plinske boce mase 10 kg [9]

Nepropusnost se ispituje tako da se spoj natopi sredstvom koji stvara mjehuriće (primjerice sapunica). Može se postaviti u otvorenim i zatvorenim prostorima, dok u prostoriji u kojoj se nalazi trošilo mora biti udaljena od mogućeg žarišta zapaljenja, te podrumskih i kanalizacijskih otvora (prostorijama čiji je pod niži od razine okolnog tla) [2]. Sigurnosne udaljenosti od skladišta boca su spomenute u tablici 6. Valja napomenuti kako u prostoriji s korisničkom plinskom instalacijom mora biti postavljena samo jedna boca, dok se pričuvne moraju držati u drugoj prostoriji, sa zajamčenom ventilacijom. Slijedom navedenog, u objektu u kojem se nalazi trošilo treba biti dovoljna količina uzduha za izgaranje.

Boce od 35 kg su duguljaste i vizualnim izgledom slične bocama tehničkih plinova (slika 14.). Uz plinski, sadrže i sigurnosni ventil. Načinjene su od čeličnog lima, čija svojstva, dobivena procesom toplinske obrade (žarenjem na 650°C ili normalizacijom na 950°C) moraju biti u sljedećim okvirima:

- vlačna čvrstoća od 345 do 430 N/mm²
- produljenje do 21%
- granica razvlačenja 240 N/mm².



Slika 14. Osnovni dijelovi plinske boce mase 35 kg [9]

Sigurnosne udaljenosti od skladišta boca su također prikazane na tablici 6.

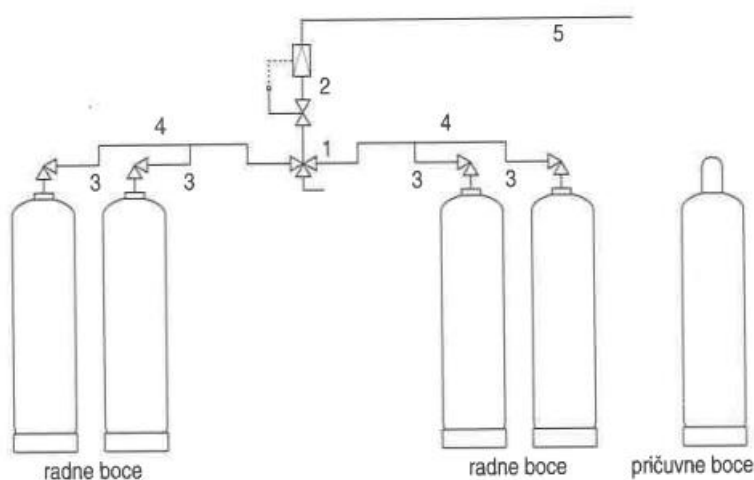
Tablica 6. Sigurnosna udaljenost skladišta boca, adaptirano prema [16]

Sigurnosna udaljenost od skladišta boca			
do	Skladišta do 3000 kg	Skladišta od 3000 do 10000 kg	Skladišta preko 10000 do 50000 kg
Skladišnog spremnika			
Pogona za punjenje	3 m	5 m	7,5 m
Pretakališta	3 m	5 m	7,5 m

Međususjednog zemljišta	3 m	5 m	7,5 m
Javnog puta	5 m	7,5 m	15 m
Bilo kojeg mogućeg stalnog izvora zapaljenja	5 m	15 m	30 m

Napomena: udaljenosti iz tablice 6. mogu se smanjiti za 50% postavljanjem zaštitnog zida, dok udaljenosti za skladište do 3.000 kg mogu se smanjiti postavljanjem zaštitnog zida za dvije trećine.

Sustav od više povezanih plinskih boca, najčešće od 35 kg, koje služe za opskrbu naziva se plinska stanica (slika 15.). Izrađena kao samostalna ili prislonjena zgrada (ovisno o potrebama), stanica mora biti zaštićena od vremenskih neprilika ili neautoriziranog pristupa. Također, zgrada mora sadržavati ventilaciju (prisilnu ili prirodnu), strop lake postave, vatrootporne zidove, kao i pod, uzdignut od okolnog tla za najmanje 10 cm, koji mora biti od nezapaljivog i antistatičkog materijala [16]. Ukoliko se velike boce skladište na otvorenom prostoru, obično je armatura pokrivena limenom kapom ili su spremljene u limeni ormarić, na kojem su naznačene prikladne naljepnice (koje se mogu detaljnije pogledati u poglavlju 10.) [9].



Slika 15. Shema plinske stanice ukapljenog naftnog plina [8]

Legenda:

- 1- Inverzorski sklop (SZV i odušna cijev)
- 2- Niskotlačni regulator i sigurnosni ventil

- 3- Spoj cijevi na kolektor
- 4- Kolektor
- 5- Priključak na korisnički sustav

7. INSTALACIJE UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA

Za iskorištavanje ukapljenog naftnog plina vitalan su korak plinske instalacije. Ovo poglavlje će se baviti opisom plinske instalacije s naglaskom na ključne dijelove. Instalacije ukapljenog naftnog plina su vodovi i uređaji namijenjeni za distribuciju UNP-a, te za opskrbu potrošača, kao i stambenih i industrijskih objekata. One uključuju cjevovode, spojne elemente, sigurnosnu opremu, isparivače, mješališta i dr. Pod cjevovodima, prema NN 117/2007, podrazumijevaju se oni koji služe za razvod parne i tekuće faze UNP-a, unutar postrojenja za UNP. Cjevovodi većih dimenzija i duljina se obično proizvode od čeličnih bešavnih cijevi, zato što je čelik sa svojim svojstvima najpogodniji materijal za izradu instalacija. Čelične se cijevi najčešće spajaju sljedećim kompozicijama [2]:

- privarenim prirubnicama – zavar prirubnica i spojnih dijelova koje je obloženo polietilenskim zaštitnim slojem
- spojnicama s brtvenim prstenom – korištene za precizne čelične cijevi, obložen privremenim slojem galvanskog pocinčavanja
- spajanjem navojnim spojevima – za rastavljivo spajanje čeličnih cijevi

Bakar, aluminij i mjed (do nazivnog promjera od 10 mm i duljina 1,5 m) su materijali koji se koriste za cijevi unutar objekata [2]. Iako UNP djeluje korozivno na bakar, cijevi tog elementa, nakon zaštite antikorozijskim slojem PVC-a, su veoma prikladne za kućne instalacije. Radi njegove iznimne gibljivosti postiže se mali broj spojeva. Isporučuju se u komadima od 25 – 50 m do promjera od 22 mm, a na tržištu se nalaze i prijelazni dijelovi (spojnice) izrađene od bakra i njegovih legura, koje se ugrađuju većinom tvrdim lemljenjem [2]. Stezni spojevi (prema njemačkim pravilnicima) se također mogu koristiti prilikom montaže, što pojednostavljuje vrijeme postavljanje instalacija. Sukladno rečenom, dijelovi instalacija ne moraju biti izrađeni samo od metalnih materijala. Izvedba plastičnih cjevovoda (izrađeni od polietilena visoke gustoće) vrlo je raširena, no isključivo za postavljanje pod zemljom [9]. Cijevi se spajaju raznim spojnicama, no budući da se cijevi spajaju termički, taj se zahvat također smatra zavarivanjem. Također se mogu spajati i s cijevima metalnih materijala. Manja trošila se većinom priključuju gumenim cijevima.

Cjevovodi za ukapljeni naftni plin se, prije prekrivanja građevinskim materijalom i puštanja u rad, moraju ispitati na provodljivost i čvrstoću, ovisno o tlaku u postrojenju.

Ograničenje izbora materijala

Valja napomenuti da se, pri odabiru materijala za instalacije, mora proučiti utjecaj plina, kao i njegova interakcija s izabranim proizvodom. Propan i butan mogu promijeniti mehanička svojstva materijala, jer radi niskih vrijednosti viskoznosti mogu prodrijeti i penetrirati mikrostrukturu materijala. Za brtvljenje je preporučeno koristiti umjetne materijale, dok je instalacije UNP-a najbolje tretirati samo mastima biljnog i životinjskog podrijetla, s dodanim grafitom, budući da ukapljeni naftni plin u tekućem stanju može otopiti brojne organske tvari (većinu masti, ulja, lakove, te prirodni kaučuk). Na kraju, cijevi ne smiju biti izložene pretjeranim temperaturnim naprezanjima, da ne bi došlo do zamora materijala.

7.1. PRETAKALIŠTA UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA

Pretakališta za ukapljeni naftni plin su objekti namijenjeni za rukovanje te prijenos plina iz jednog spremnika u drugi (osim u plinske boce), i posljedično distribuciju UNP-a. Razlikujemo dvije vrste, pretakališta kod dobavljača i kod korisnika. Ove stanice igraju važnu ulogu u lancu opskrbe UNP-om, osiguravajući učinkovit prijenos plina od proizvodnih izvora do raznih distribucijskih terminala i krajnjih korisnika. U postrojenju terminala nalaze se priključne instalacije za parovitu i kapljevitu fazu, zajedno sa svojim mjernim uređajima i sensorima, crpke i kompresori pomoću kojih se izvodi proces pretakanja, zajedno sa svojom sigurnosnom i regulacijskom opremom, električna nadogradnja elektromotornog pogona, te oprema protiv požara [8][15]. Najveća dopuštena količina punjenja kapljevito g plina koji se smije pretakati se izražava sljedećom jednadžbom [9]:

$$V_{\max} = \frac{V_p \cdot S_s}{100K} \quad (19)$$

Pritom su:

V_{\max} – najveći dopušteni obujam punjenja spremnika prilikom pretakanja [L]

V_p – obujam spremnika [L]

S_s – najveći stupanj punjenja spremnika [%], određuje se iz tablice 5. u Pravilniku o ukapljenom naftnom plinu, NN 117/2007.

K – obujmni korekcijski faktor, određuje se iz tablice 6. u Pravilniku o ukapljenom naftnom plinu, NN 117/2007.

Kao što je ranije rečeno, crpke i kompresori su zaslužni za pretakanje UNP-a, zbog razlike tlakova, iz jednog spremnika u drugi i to čini isključivo stručna osoba. Za crpke i kompresore postoje sigurnosne udaljenosti od drugih cjevovoda i aparature, sukladno tablici 7. Slika ispod prikazuje spremnik UNP-a za napajanje vozila.



Slika 16. Spremnik ukapljenog naftnog plina za napajanje vozila (Foto: Dominik Dragutin Fojs)

Tablica 7. Sigurnosna udaljenost crpki i kompresora za pretakanje, adaptirano prema [16]

Susjedni objekti	Najmanje sigurnosne udaljenosti (mjereno od gabarita), m
spremnici za skladištenje UNP-a	0,5
Priključni uređaji autocisterne	1
Priključni uređaji za prijenosne spremnike	0,5

Ostali objekti u kojima može postojati stalni izvor zapaljenja	7,5
Objekata čiji je vremenski raspon vatrootpornosti manji od 60 min	7,5

7.2. ISPARIVAČI ZA UKAPLJENI NAFTNI PLIN

Isparivač za ukapljeni naftni plin je uređaj koji pretvara tekući UNP u paru koju potrošači iskorištavaju u raznim industrijskim procesima. Budući da se UNP skladišti i prevozi kao kapljevina, da bi se mogao koristiti u većini uređaja, mora se pretvoriti u plinovito stanje, a isparivač služi kada toplina iz okoline nije dostatna za promjenu agregatnog stanja. Količina UNP-a koja može prirodno ispariti, apsorbirajući toplinu iz okoline, određuje se razlikom vanjske temperature zraka i vrelišta UNP-a, te površinom spremnika (ili boce) koju dodiruje kapljevita faza [8]. Opisana jednadžba glasi:

$$m_i = \frac{A_{\text{kap}}(T_{\text{ok}} - T_{\text{vr}})\alpha}{Q_{\text{isp,UNP}}} \quad (20)$$

pritom su:

m_i – količina isparenog UNP-a [kg/s]

A_{kap} – površina spremnika koju oplahuje kapljevita faza [m²]

T_{ok} – temperatura okoline [K]

T_{vr} – temperatura vrelišta UNP-a [K]

$Q_{\text{isp,UNP}}$ – toplina potrebna za isparivanje UNP-a [J/kg]

α – srednji koeficijent prijelaza topline ($\alpha = 11,63 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Odabrana vrsta isparivača određena je jedinstvenim potrebama pogona u kojem se nalazi, no većina se isparivača sastoji od istih konstrukcijskih obilježja. Osnovne komponente isparivača su [17]:

- Posuda
- Izmjenjivač topline
- Sigurnosna i regulacijska oprema (termometar, manometar, ventili, itd.)
- Uređaj za redukciju i regulaciju tlaka (često konstruiran kao stanica za redukciju isparivača)

- Termostat ili drugi sigurnosni mehanizam za sprječavanje propuštanja

Za isparivač također postoje sigurnosne udaljenosti (prikazane na tablici 8.) pri postavljanju, ovisno o vrsti i kapacitetu izmjenjivača, u ovom slučaju razlikujemo tri vrste: toplovodni, parni te električni [8].

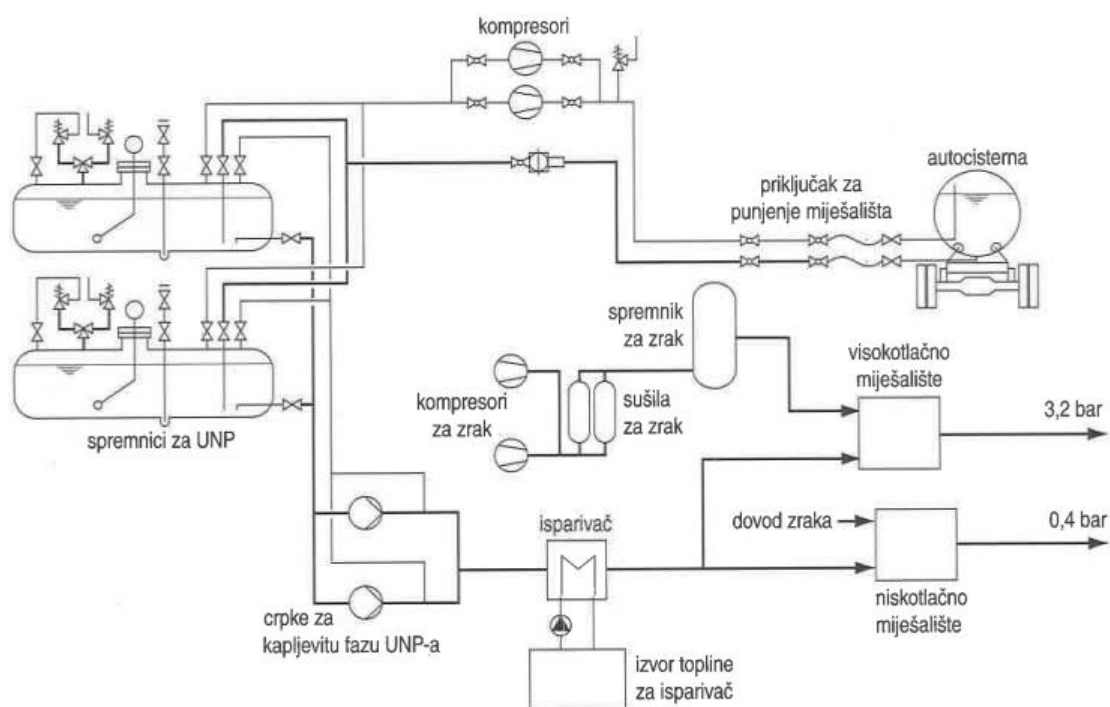
Tablica 8. Sigurnosne udaljenosti isparivača različitih kapaciteta, adaptirano prema [16]

Susjedne instalacije za UNP	Kapacitet isparivača, kg/h		
	Do 40	40 - 60	Veći od 60
	Najmanje sigurnosne udaljenosti, m		
Boce na otvorenom	U istom prostoru	3	Nije dopušteno
Boce u posebno namijenjenoj građevini	U istom prostoru	Na otvorenom prostoru	Nije dopušteno
Boce u prostoriji u sklopu druge građevine	Na otvorenom prostoru	Nije dopušteno	Nije dopušteno
Spremnici na otvorenom	0,6	1,5	3
Spremnici u posebno namijenjenoj građevini	Na otvorenom prostoru	Na otvorenom prostoru	Na otvorenom prostoru
Spremnici s volumenom većim od 10 m ³	3	U posebnom prostoru udaljenom najmanje 3 m	U posebnom prostoru udaljenom najmanje 7,5 m

Za učinkovit rad isparivača potrebna je pravilna ugradnja i redovito održavanje.

7.3. MJEŠALIŠTA ZA UKAPLJENI NAFTNI PLIN

Mješalište za ukapljeni naftni plin je dio postrojenja u kojem se struje UNP plinova miješaju u pogodnom omjeru sa zrakom ili drugim gorivima, kako bi se dobila smjesa određenog sastava i kvalitete. Ugrađuju se iza isparivača s kojom čine regulacijsku stanicu isparivača, koja se obično sastoji od dva voda s uređajem za miješanje (radni i pomoćni) i spremnika miješanog plina [8]. Postrojenje koje sadrži niskotlačno i visokotlačno mješalište prikazano je na sljedećoj ilustraciji.



Slika 17. Shema visokotlačnog i niskotlačnog postrojenja mješališta za ukapljeni naftni plin [8]

Bitna stavka mješališta je onemogućavanje masovnog miješanja goriva i zraka koje bi moglo uzrokovati zapaljivu smjesu, a brojni senzori i sigurnosni elementi su postavljeni kako bi se pomno pratio proces u slučaju istjecanja iz instalacije.

8. PLINSKA OPREMA

Plinska oprema dio je instalacije ukapljenog naftnog plina i ona uključuje sigurnosne, zaporne i mjerne uređaje. Osnovni je preduvjet za valjan i siguran rad instalacija plina. Sigurnosni, protulomni i protupovratni ventili primjeri su sigurnosne opreme, dok za praćenje promjena temperature, tlaka i protoka služe regulacijska i mjerna aparatura [9].

8.1. SIGURNOSNA OPREMA

Sigurnosni ventili se koriste radi prevencije rasta tlaka iznad dopuštene vrijednosti. Ugrađuju se na svim spremnicima, plinskim stanicama i uređajima za kontrolu i redukciju, te između parova zapornih ventila i temeljni im je cilj ispustiti dio plina u okoliš, kako pritisak u spremniku ne bi porastao.

Protulomni ventili zatvaraju protoke plina u slučaju loma ili popuštanja spoja, cijevi ili dijela instalacije ispred ventila, kako bi se spriječilo istjecanje medija u okolicu i stvaranje havarije. Poremećaji ili zazori u dijelovima konstrukcije rezultiraju smanjenjem tlaka, a istovremeno povećanjem brzine toka, pa su ventili podešeni na način da se zatvaraju ukoliko se protok plina poveća za 50 do 100% [9]. Uspostavom protoka na nominalnu vrijednost, ventil se automatski ponovno otvara.

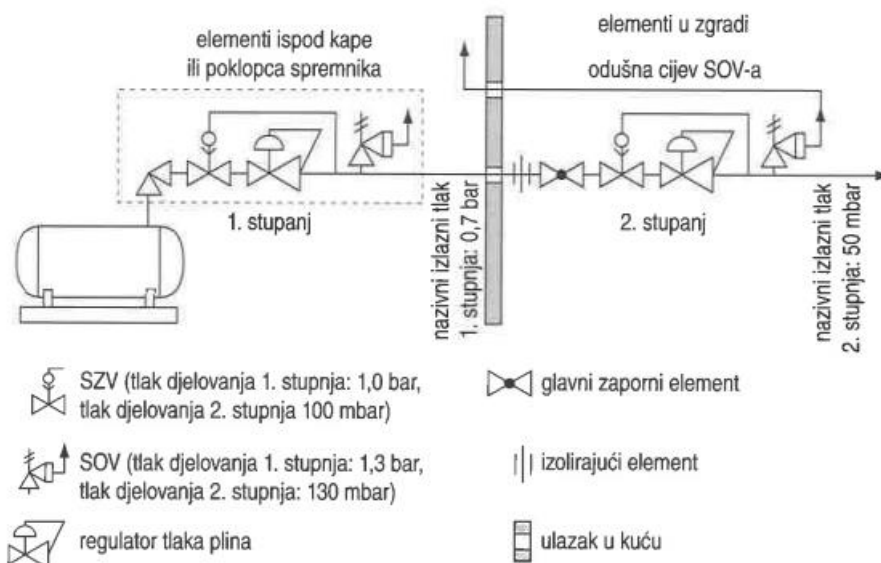
Protupovratni ventili se najčešće koriste prilikom punjenja spremnika UNP-om iz autocisterne, a upotrebljavaju se za sprječavanje protoka plina u smjeru suprotnom od predviđenog. Izrada mora biti specijalno namijenjena za ukapljeni naftni plin, ne smiju se koristiti ventili izrađeni za vodu, mokru paru ili uzduh.

8.2. SIGURNOSNO-REGULACIJSKA OPREMA

Sigurnosno-regulacijska oprema odnosi se na regulatore tlaka povezane sa sigurnosnim zapornim i odušnim ventilom, često izvedenim u sklopu. Regulator osigurava održanje pritiska na propisanu vrijednost preko dvostupanjske regulacije [9]:

- prvostupanjskom regulacijom se snižava tlak na vrijednost koja se nalazi u regulatoru 2. stupnja (0,7 – 2 bar)
- drugostupanjskom regulacijom se tlak snizi na vrijednost u korisničkoj instalaciji.

Sljedeća skica prikazuje jednu od mogućnosti ugradnje dvostupanjske regulacije. Kao što se vidi iz priloženog, to su odvojene jedinice, jedna je u zgradi, a druga ispod poklopca spremnika.



Slika 18. Shema dvostupanjske regulacijske skupine u postrojenju [9]

Sigurnosni zaporni ventili (SZV), radi sprječavanja oštećenja korisničke instalacije, prekidaju protok plina u slučajevima pojave tlaka većeg od dopuštenog na izlazu regulatora. Ventil se, nakon snižavanja tlaka na prihvatljivu vrijednost ne otvara automatski, već ga ovlaštena osoba mora ručno ponovno otvoriti.

Sigurnosni odušni ventili (SOV) se koriste kada nije moguće zaustaviti povišenje pritiska, unatoč radu SZV-a. Snižava tlak tako da ispusti određenu količinu plina u okolicu, nakon čega se automatski zatvara. Ukoliko su SOV i SZV smješteni su zatvorenom prostoru, odušnu SOV cijev treba ugraditi tako da je jedan dio povezan s vanjskim prostorom (npr. izvan zgrade u okolicu) [9].

Dio instalacije za UNP koja se sastoji od SZV-a, SOV-a, regulatora tlaka plina, izolacijskih, zapornih i drugih elemenata povezanih u cjelinu naziva se regulacijska skupina.

8.2.1. Sigurnosno-regulacijska oprema pri opskrbi iz boca

Postoje dvije vrste sigurnosno-regulacijske opreme za opskrbu iz boca, ovisno o veličini boce [9]:

- Prva vrsta: boce mase punjenja do 10 kg koje se povezuju izravno na trošilo

- Druga vrsta: boce mase punjenja do 35 kg koje se spajaju na korisničku instalaciju

Sigurnosno-regulacijska oprema prve vrste se sastoji od regulatora tlaka plina, a poneke mogu sadržavati i manometar, te automatski termički zaporni osigurač.

Oprema boca mase punjenja do 35 kg se sastoji od SZV-a, SOV-a i regulatora tlaka plina.

8.2.2. Zaporni elementi

Zaporna armatura služi za prekidanje protjecanja fluida kroz cjevovode u slučajevima zastoja, propuštanja ili drugih oblika kvarova u instalacijama ukapljenog naftnog plina ili prilikom remonta [15]. Razlikujemo tri osnovne vrste zapornih elemenata: kuglasti, membranski, te brzozatvarajući, a oni se ugrađuju, izuzev gumenih cijevi, između gotovo svih dijelova instalacije i to na pristupačnim mjestima kako bi rukovanje istim bilo jednostavno i prilagodljivo. Glavni zaporni armaturni dio je kuglasti ventil, poznatiji kao slavina, te on predstavlja primarni zaporni faktor u građevini, koja se može postavljati unutar i izvan iste.

9. TEHNIKE KORIŠTENJA UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA

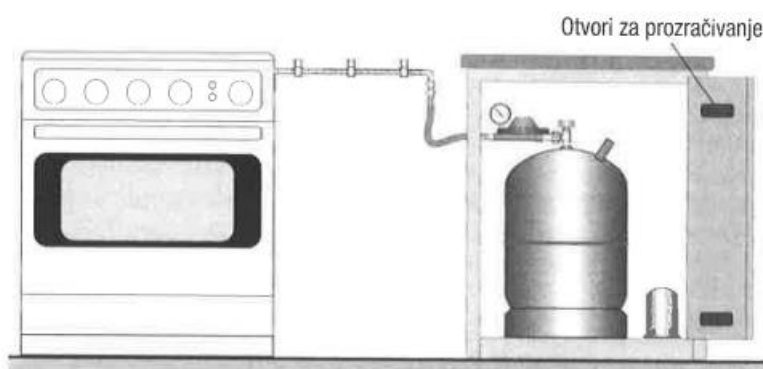
Komercijalna upotreba ukapljenog naftnog plina krenula je od potreba u kućanstvima, dok se kasnije proširila i na industrijsku primjenu. Prilagodljivost, učinkovitost i dostupnost samo su neke od kvaliteta koje čine UNP atraktivnim u svakodnevnom životu.

9.1. UKAPLJENI NAFTNI PLIN U DOMAĆINSTVU

Primjena UNP-a u domaćinstvu je velika, može se koristiti za kuhanje, zagrijavanje vode, grijanje i hlađenje prostorija, itd.

9.1.1. *Kuhanje*

Štednjak na plinsko kuhanje je na početku milenija bilo najzastupljeniji oblik trošila za pripremu hrane (slika 19.). Opremljeni su jednostavnim plamenicima (kuhalima), obično s ručnim upravljanjem (regulator koji određuje jačinu plamena, tj. protok plina) i termoelektričnim osiguračem plamena koji sprječava protok plina ukoliko se plamen ugasi. Spada u plinska trošila koja zrak potreban za izgaranje goriva uzimaju iz prostorije u kojoj se nalaze te nisu konstruirana s nikakvim posebno izvedenim sustavom za otpadnu toplinu dimnih plinova [17].



Slika 19. Prikaz postavljene boce za ukapljeni naftni plin u element pokućstva [17]

Plin kao energent za pripremu hrane je vrlo povoljan zato što je učinkovitost prijenosa topline velika, omogućuje trenutnu i preciznu kontrolu topline, nema gubitaka kod zagrijavanja ili hlađenja uređaja, s obzirom da plamen postiže radnu temperaturu odmah nakon uključivanja. Slijedom navedenog, regulacija jačine plamena je također ručno podesiva. Plamen na štednjaku stvara plamenik, uređaj koji služi za izgaranje goriva. Plamen je plave boje,

1550°C [18]. Boja plamena ovisi o procesu izgaranja i vrsti plina koje izgara. Gorivo koje potpuno oksidira ima dovoljnu količinu kisika potrebnu za izgaranje i vrlo malo krutih ostataka, što uz kemijski sastav UNP-a rezultira čistim plavim plamenom na štednjaku. Naprotiv, žuti ili narančasti plamen na štednjaku može ukazivati na nedovoljnu smjesu uzduha i goriva, što pridonosi nepotpunom izgaranju, nečistoćama u plinu ili nepravilnostima u plameniku.

9.1.2. Zagrijavanje vode

Plinski uređaji za zagrijavanje vode (bojleri) česta su trošila u mnogim kućanstvima. Većinom se koriste kao izvor topline prilikom pripreme potrošne tople vode, koju pohranjuju u svojim izoliranim spremnicima. Postoji više vrsta plinskih zagrijača vode, a najistaknutije vrste su akumulacijski i protočni (cirkulacijski) zagrijači [17]. Protočni bojleri se sastoje od niza grijača koji, za razliku od akumulacijskih, u kojima se voda zagrijava u izoliranoj posudi, predaju toplinu vodi iz vodovodne mreže [17]. Prednosti plinskih uređaja za zagrijavanje vode su ekonomičnost, visoka iskoristivost topline u sustavima (nema većih gubitaka zbog hlađenja) i svakodnevna dostupnost potrošačima.

9.1.3. Grijanje

Ukapljeni naftni plin se može koristiti i u svrhu grijanja prostora. Postoje razna trošila koja djeluju kao izvori topline u sustavima grijanja, kao što su plinske peći, plinski kotlovi, te infracrvene plinske grijalice. Svrha plinskih peći je zagrijavanje prostorija, a njihov ogrjevni učin iznosi 3 – 12 kW, ovisno o potrebama prostorije, odnosno na osnovi toplinskih gubitaka u prostoriji [17]. Pogoni se najčešće dijele na povremene, trajne i periodičke, a suvremene plinske peći sadržavaju termostate, koji održavaju zadanu vrijednost temperature u prostoriji. Kotlovi za grijanje plinski su uređaji koji služe kao izvori topline u sustavima centralnog grijanja i namijenjeni su grijanju više prostorija odjednom. Učin se također računa na osnovi toplinskih gubitaka u prostoriji, a pri tome se koristi proračunski postupak prema HRN EN 12831 [17]. Često se pojavljuju u kombiniranom postrojenju, uz sustav grijanja omogućuju i pripremu potrošne tople vode. Takvi su kotlovi opremljeni posebnim elementima, koji se nalaze u zajedničkom kućištu postavljenom češće u zidnom nego u podnom izdanju. Sukladno navedenom, postoji i varijacija kombiniranih plinskih kotlova kod kojih postoji mogućnost iskorištavanja otpadne topline dimnih plinova. U takvim se postrojenjima u izmjenjivaču, toplinom kondenzacije predgrijava voda u povratnom vodu sustava, pa se slijedom toga takva trošila nazivaju kondenzacijski kotlovi. Takvi sustavi uvjetuju povećanjem termičkog stupnja

djelovanja na više od 100% [17]. Za grijanje većih zatvorenih i natkrivenih prostora uglavnom se upotrebljavaju plinske infracrvene grijalice, čiji je izvor zračenja ugrijano tijelo. Uz toplinsku energiju koju prenose, emitiraju i elektromagnetske valove. Infracrveno zračenje nalazi se na spektru od 0,75 – 10 μm , zračenje koje distribuiraju grijalice su valne duljine manje od 0,75 μm [16]. Ovisno izvedbi, postoje: grijalice tamnog zračenja koje emitiraju toplinsko zračenje bez pojave svjetlosnih valova, i grijalice svijetlog zračenja, koje emitiraju toplinsko zračenje uz pojavu svjetlosnih valova. U prostorijama na visinama od 4 m grijalice se postavljaju horizontalno, a pod kutom pri visinama manjim od 4 m [15].

9.2. UKAPLJENI NAFTNI PLIN ZA POGON VOZILA

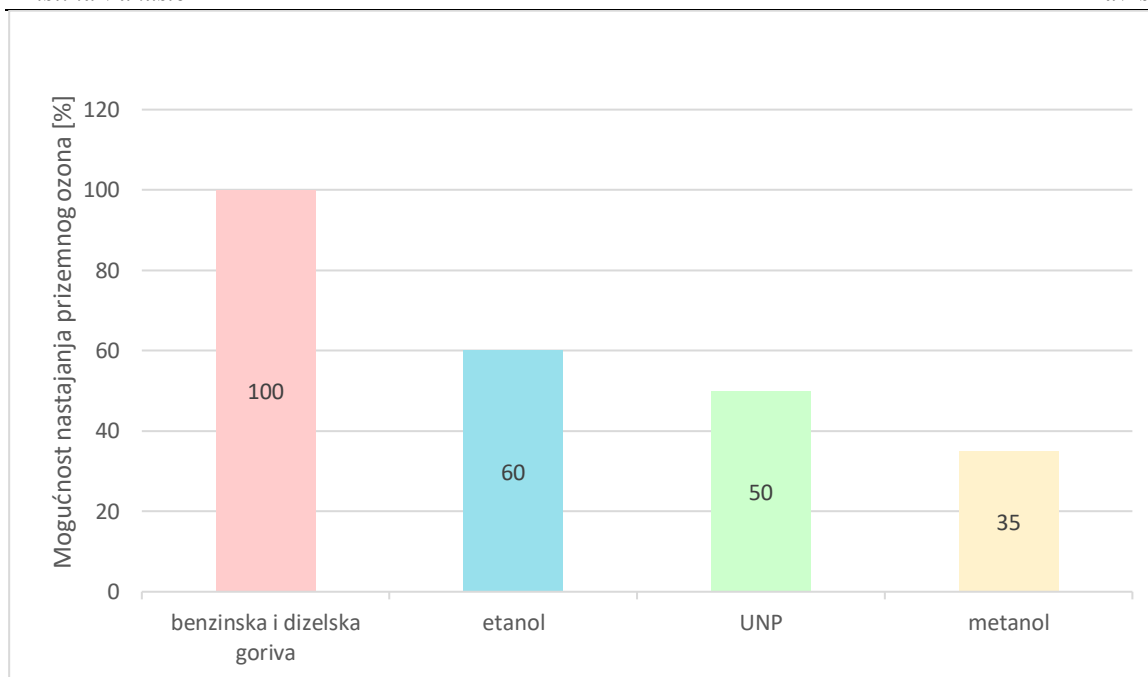
Prvo vozilo na UNP datira od početka 20. stoljeća, no u posljednje vrijeme doživljava nagli rast te se sve više korisnika odlučuje izabrati pogon vozila na prirodni ili ukapljeni naftni plin. Razlog leži u tome što plin kao pogonsko gorivo u motorima s unutarnjim izgaranjem (tzv. autoplina) sadrži brojne prednosti u odnosu na uobičajena benzinska ili dizelska goriva.

Ekonomske prednosti UNP-a za pogon vozila

Jedan od glavnih razloga primjene UNP-a kao gorivo za pogon vozila je znatno povoljnija cijena u odnosu na klasična goriva. UNP je sličan benzinskom gorivu po karakteristikama pri izgaranju u Ottovim motorima. Kao rezultat toga, osim ugradnje posebnog plinskog sustava za dodatno napajanje benzinskog motora, uz postojeću opskrbu benzinskim gorivom, nije potrebna promjena postojećeg motora [9]. Dorade su konstruirane tako da se za pogon vozila može koristiti i benzin i plin tj. vozilo je bivalentne prirode. Između ostalog, UNP kao gorivo ima takva svojstva detonacije da motori s pogonom na plin mogu trajati dulje od onih na benzin [19].

Ekološke prednosti UNP-a za pogon vozila

Korištenjem plina kao goriva u motorima s unutarnjim izgaranjem, emisije dušičnih oksida i ugljičnog monoksida su manje za 80%, dok su emisije sumpornih spojeva, aldehida i benzola minimalne [2]. UNP se lako miješa sa zrakom, a izgara bez dima, čađe te olova. Valja napomenuti da je uporabom plina kao gorivo mogućnost nastajanja prizemnog ozona smanjena za više od 50%, kao što prikazuje dijagram ispod [2].



Slika 20. Dijagram mogućnosti nastajanja prizemnog ozona različitih goriva, adaptirano prema [2]

UNP je danas mnogo češći plin za pogon vozila u odnosu na prirodni plin, zato što se njegov spremnik nalazi na neusporedivo manjem tlaku (6 do 7 bara) u odnosu na prirodni plin (200 bara) [9]. Ta spoznaja korisnicima pruža subjektivni osjećaj sigurnosti, radi činjenice što se ne nalaze u vozilu sa spremnikom plina pod visokim tlakom. Nadalje, jednostavnija je opskrba UNP-om, nego prirodnim plinom, što čini ovaj plin pogodnim medijem za daljnji razvitak voznog parka i autoplinске infrastrukture. Danas je u uporabi više od 5 milijuna vozila na plin, od kojih 4 milijuna opada na korisnike UNP-a. Većinom su to vozila javnog gradskog prijevoza, komunalna poduzeća i sl. Valja izdvojiti da su plinska postrojenja najčešće ugrađena u vozila talijanske marke Fiat, kao i vozila istočnoeuropskog podrijetla, a broj će im nedvojbeno porasti rastom cijena benzinskih i dizelskih goriva [2].

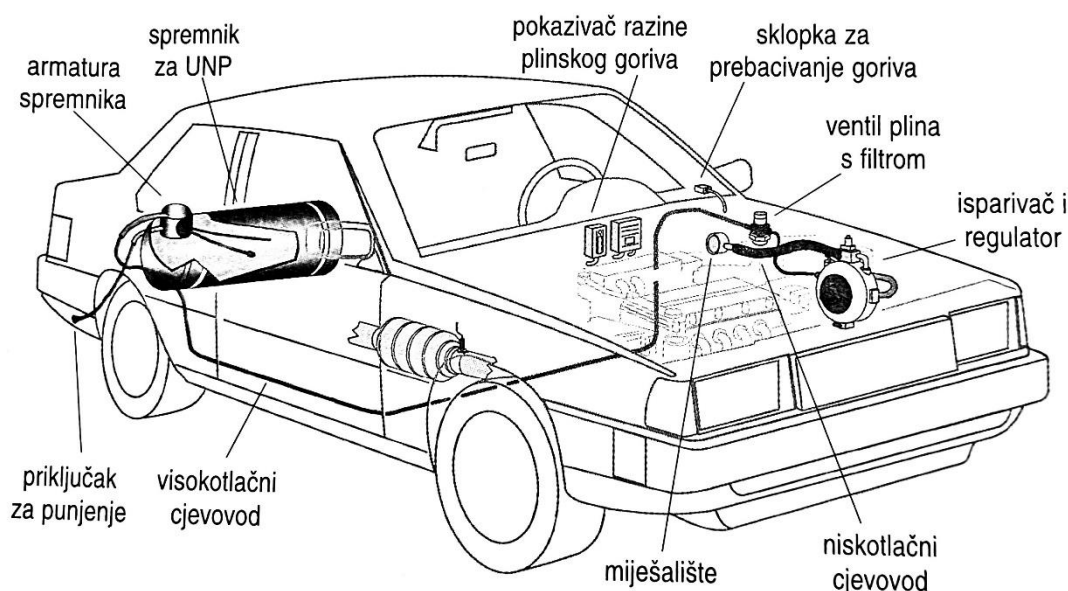
9.2.1. Instalacije u vozilima

Primarne komponente instalacije ukapljenog naftnog plina za pogon vozila su [9]:

- Spremnik i prateća oprema
- Pročistač i isparivač
- Regulator tlaka i glavni ventil
- Sklopka za prijelaz plina na konvencionalno gorivo (benzinsko ili dizelsko)

- Cjevovodi niskog i visokog tlaka

Na svakom vozilu koje posjeduje Ottov motor moguće je ugraditi posebnu plinsku instalaciju za dodatnu opskrbu, te implementirati pogon na plin [20]. Plinsko postrojenje ovisi o konstrukciji vozila, kao i tipu motora na koji se ugrađuje kako bi se što efektivnije iskoristilo, a tipična instalacija je prikazana na slici 21. Armatura spremnika zajedno s tlačnom posudom za UNP, kao i priključak za punjenje najčešće su smješteni u prtljažnik ili prostor ispod njega (koji je konstrukcijski predviđen za zamjensku gumu). Ugradnjom spremnika, prtljažni prostor se reducira otprilike 20 – 30% [19]. U pojedinim varijantama ugrađuju se na krov ili ispod poda vozila. Ostatak opreme se postavlja u prednjem dijelu na motorni kompleks. Pritom, na ploči s instrumentima ili na drugom, lako uočljivom i dostupnom mjestu nalazi se pokazivač razine plina, te naprava koja omogućuje prebacivanje s jednog na drugo gorivo, ovisno o vrsti i marki automobila.



Slika 21. Smještaj dijelova plinske instalacije u automobilu [9]

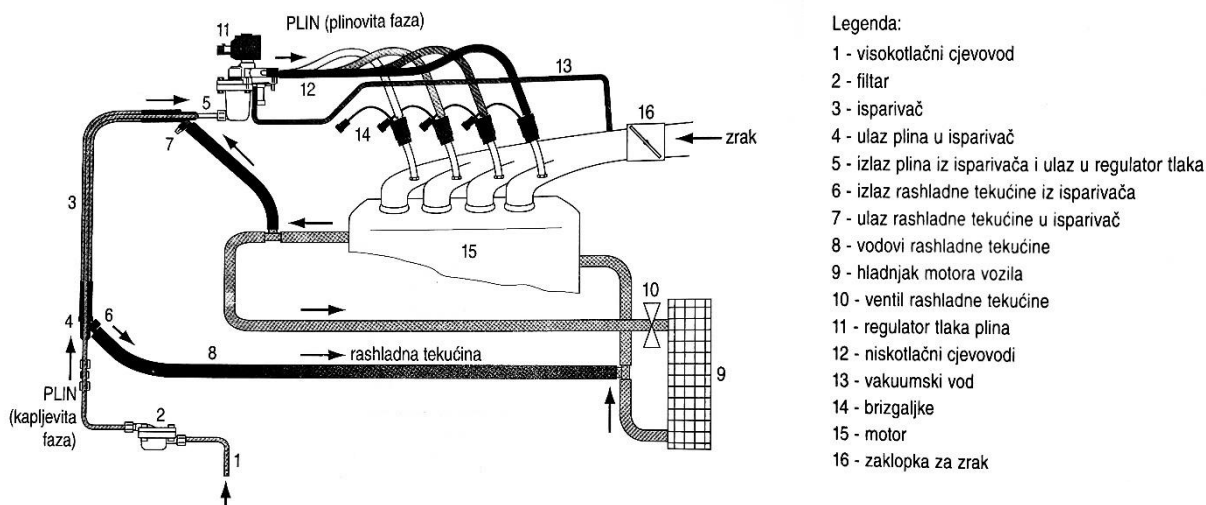
Rezervoari se, ovisno o masi, dimenzijama i obliku ugrađuju u vozilo na podupiračima kako bi se izbjegao direktan dodir s okolnim metalnim dijelovima vozila. Usto, učvršćuju se i čeličnim ovojnica obloženim gumom kako bi se onemogućilo kretanje, a omogućilo laku demontažu u slučaju remonta ili nepravilnosti. Ograničenja u okviru odabira materijala vrijede sukladno poglavlju 7., dok se za zaštitu od korozije dodaje izolacija između spremnika i podupirača. Priključci spremnika (višenamjenski ventil) grupa su od nekoliko uređaja od kojih svaki služi određenoj svrsi. Oni uključuju ventile spremnika plina, sigurnosne uređaje, zaštitno kućište,

priključak za punjenje, protupovratni, te zaporni ventil i indikatore količine plina [9]. Kako bi se spremnik osigurao od curenja plina, izravno na spremnik ventil je ugrađen i u tu svrhu [19]. Kako bi UNP došao do motora s unutarnjim izgaranjem, mora proći čitava procedura kako bi se ostvarila smjesa sa zrakom, koja je pogodna za kemijsku reakciju oksidacije. Prije svega, iz autocisterne ili punionice preko priključka za punjenje i pražnjenje UNP se ubrizgava u spremnik (uz minimalne gubitke). Slika 22. prikazuje proces punjenja ukapljenog naftnog plina.



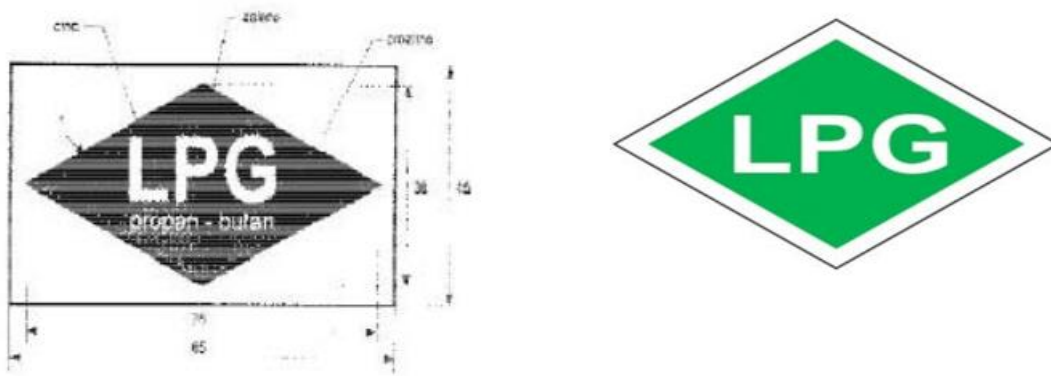
Slika 22. Proces punjenja ukapljenog naftnog plina (Foto: Dominik Dragutin Fojs)

Zatim pod visokim pritiskom kapljevina plina dolazi do prednjeg dijela isparivača i regulatora preko ventila za dovod plina umjesto benzina. Isparivač i rashladni sustav zagrijavaju plin, te na taj način mijenjaju agregatno stanje UNP-u, koji se u plinovitom stanju, nakon regulacije pritiska, miješa sa zrakom u željenom omjeru i odvodi do cilindra u kojem nastupa proces izgaranja [9][19]. Ilustracija ispod prikazuje shemu plinskog postrojenja za vozila opremljena motorom s reguliranim katalizatorom i ubrizgavanjem plina [9].



Slika 23. Shema plinskog postrojenja vozila opremljena motorom s reguliranim katalizatorom i ubrizgavanjem plina [9]

Ranije je naznačeno da vozila s pogonom na plin mogu trajati duže od vozila na benzin. U relacijskom smislu, ta činjenica se primarno odnosi na spomenutu bivalentnu prirodu motora zato što, nakon što se potroši količina plina za pogon motora u rezervoaru, vozilo se može nastaviti kretati benzinskim gorivom. Usput rečeno, potrošnja autoplina je za otprilike 10% veća od benzina [19], no ako uzmemo u obzir niže cijene UNP-a u odnosu na benzin, ekonomičnost je i dalje zadovoljena. Iako ugradnja plinskog sustava usporava vozilo za 5%, i snižava snagu za 10%, odlikuje ga mirniji i tiši rad u odnosu na konvencionalan pogon [19]. Ugradnju i održavanje rezervoara, kao i plinskog postrojenja mora provoditi ovlaštenu stručnjak, koji posjeduje registriranu servisnu radionu sukladno izdavanoj izjavi [21]. Uz to, vjetrobran odnosno stražnje staklo vozila s pogonom na plin mora sadržavati naljepnicu s oznakom UNP-a kao pogonskoga goriva [16], koje se mogu vidjeti na donjim slikama.



Napomena: lijeva slika predstavlja sliku iz pravilnika, dok je desna rekonstrukcija iste

Slika 24. Naljepnica za oznaku vozila s pogonom na ukapljeni naftni plin [20]

9.2.2. Usporedba ukapljenog naftnog plina s drugim kapljevitim fosilnim gorivima

Ukapljeni naftni plin kao fosilno gorivo ima brojne sličnosti s drugim kapljevitim fosilnim gorivima, kao što su benzin, dizelsko gorivo i prirodni plin. Međutim, postoje i značajne razlike između njih, od strukturalnih, do tehnoloških. U okviru sastava, UNP se prvenstveno sastoji od propana i butana, benzin je smjesa lančanih i cikličkih (s 5-11 atoma ugljika u molekuli), a dizelsko parafinskih ugljikovodika (s 12-20 atoma ugljika u molekuli), dok osnovu prirodnog plina čini metan (CH_4) [10]. Dok su pri normalnim uvjetima benzin i dizelsko gorivo kapljevine, UNP i prirodni plin su plinovi, koji se radi potrebe industrije mogu ukapljiti za pojedine svrhe. UNP se može dobiti iz više načina, zajedno s benzinom i dizelovim gorivom frakcijskom destilacijom nafte ili preradom prirodnog plina, čija se ležišta često pojavljuju uz nalazišta nafte ili samostalno. Za razliku od benzina i dizelskog goriva koji izgaranjem proizvode ugljikov monoksid (CO), dušikove okside, te krute ostatke koji mogu doprinijeti onečišćenju zraka, UNP i prirodni plin gore relativno čisto uz niske emisije štetnih zagađivača, što ih čini ekološki prihvatljivijim izborom. Vozila motora s unutarnjim izgaranjem su konstruirana za pogon benzinom, dizelovi motori dizajnirani su za rad dizelskim gorivom, no uz preinaku plinskog sustava za dodatnu opskrbu benzinskog motora, vozila mogu pogoniti i UNP, te prirodni plin. Prednosti plina u odnosu na benzin i dizelsko gorivo su otpornost detonaciji, kvalitetnija smjesa zraka i goriva, koja čisto izgara uz povoljniju potrošnju, mješavina plina i zraka je puno lakše zapaljiva, što rezultira trenutnim pogonom i smanjim nečistoćama pri radu [10]. Ukratko, iako su UNP, benzin, dizelsko gorivo i prirodni plin fosilna goriva, ukapljeni naftni te prirodni plin se ističu po mnogim svojstvima, koje ih čine održivom alternativom u brojnim granama industrije.

Zaključno, kako je svijet primoran adaptirati se prema održivijim oblicima goriva, autoplina ima ogroman potencijal za uporabu. Tehnološki napredak industrije pridonosi povećanju performansi vozila na pogon UNP-a. Također, želja za smanjenjem emisija štetnih plinova u budućnosti samo će povećavati potrebu o implementaciji alternativa na postojeće motore s unutarnjim izgaranjem.

10. LEGISLATIVA

Sve aktivnosti i postupci u plinskoj tehnici su striktno propisane zakonima, normama, te propisima. Nestručno konstruiranje, projektiranje i izvođenje radova dovodi do situacija opasnih po život i imovinu, dok nepoznavanje zakona i propisa nikoga ne oslobađa od odgovornosti, te može rezultirati zakonskim kaznama [17]. Prilikom projektiranja plinske instalacije, važno je angažirati kvalificiranog i ovlaštenog stručnjaka, koji je registriran i ovlašten za rad s plinskim instalacijama. Redovito održavanje, ispiranje i čišćenje plinskog postrojenja je također od iznimne važnosti, da ne bi došlo do sigurnosnog rizika radi akumulacije nepravilnosti.

Kako je ranije navedeno, UNP nema ni boju, ni okus, pa mu se radi toga dodaju odoranti, tvari koje mu daju miris, da bi se moglo detektirati istjecanje plina u slučaju popuštanja dijelova instalacija ili spremnika. Najčešće se dodaju etil-merkaptan ili tetrahidrotiofen [2]. Miris odoriranog plina je veoma oštar i ukoliko se osjeti propuštanje, prostorija se mora prozračiti, prekinuti potrošnja plina dok se ne ustvrdi izvor istjecanja, svaki plamen ili rasvjetno tijelo se mora ugaziti, kako ne bi došlo do stvaranja iskre i posljedično izvora zapaljenja. Granica eksplozivnosti je niska, od 2% do 10% [2] tako da se svaka prostorija koja sadrži bilo kakav oblik instalacije UNP-a mora moći dobro prozračiti. Iako UNP nije otrovan, velika koncentracija plina u zraku može izazvati gušenje, a udisanje njegovih para izaziva pospanost, jer je UNP u visokom stupnju narkotično sredstvo. Fizičke ozljede UNP može nanijeti u kapljevitom stanju, jer u dodiru s kožom dolazi do njegovog naglog isparivanja, što izaziva smrzotine, dok je topivost u krvi relativno mala. Koncentracija kisika u zraku također je važan faktor kod sigurnog baratanja UNP-om. U prostorijama u kojima se pojavljuju trošila, mora se osigurati dobava dovoljne količine zraka, zato što plin uzima kisik iz zraka prilikom izgaranja. Manjak kisika može uzrokovati opasnost od gušenja, te u krajnjim slučajevima do eksplozija.

Shodno navedenom, prilikom odabira smještaja spremnika, važno je odabrati pogodan prostor, sukladno posebnim propisima, u kojem je mala vjerojatnost od nastajanja nesreća. Prije svega, spremnici UNP-a se ne smiju postavljati ispod razine tla. Kao što je ranije navedeno, UNP je teži od zraka, što može stvoriti eksplozivnu smjesu ukoliko se pri istjecanju u atmosferu dio smjese taloži na dnu zatvorenog prostora, udubine ili kanala. Nadalje, izolacijsko postolje od betona ili drva mora biti postavljeno ispod svakog spremnika UNP-a, a instalacije moraju sadržavati sustav za odvođenje električne energije u tlo [16]. Izvor topline mora biti na dovoljnom mjestu udaljen od spremnika i armature plina, zato što toplina uvjetuje povećanju tlaka u spremniku i nepovoljno djeluje na fizikalna i kemijska svojstva. Prema NN 117/2007,

određeni prostori se smatraju opasnima, a postrojenja, oprema i instalacije unutar rizičnih zona se moraju ugraditi i održavati u skladu s posebnim propisima o zaštiti od eksplozija. Najlepnice sigurnosti prilikom rada s ukapljenim naftnim plinom su prikazane na slici 25.



Slika 25. Primjer znakova sigurnosti prilikom rada s ukapljenom naftnim plinom [22]

Hrvatski zakoni, podzakonski te strukovni propisi o ukapljenom naftnom plinu, kao i hrvatske norme se mogu pronaći u Plinarskom priručniku, 7. izdanje (Energetika marketing, Zagreb, 2014.) od strane 1000 do 1021.

11. UTJECAJ NA OKOLIŠ

Kao što je rečeno u ranijim poglavljima, ukapljeni naftni plin, iako fosilno gorivo, općenito se smatra čistim i ekološki prihvatljivijim izborom od drugih tipova fosilnih goriva, kao što su ugljen i nafta zato što izgara s manje krutih ostataka i spojeva štetnih po okoliš. Međutim, UNP nije u potpunosti čisto gorivo i alternativno rješenje u dugoročnom pogledu. Važno je prepoznati da u situacijama nepravilne primjene, kao i slučajevima neodgovarajućeg skladištenja UNP ima negativni utjecaj na okoliš. Budući da se UNP sastoji primarno od ugljikovodika propana i butana, njihovim izgaranjem nastaju spojevi (CO₂) koji su sami po sebi staklenički plinovi [23]. Kao rezultat toga, njihova iregularna emisija pridonosi klimatskim promjenama i globalnom zatopljenju, iako u manjoj količini u odnosu na ostala fosilna goriva, koja izgaranjem proizvode veću količinu glavnih zagađivača (primjerice ugljikov dioksid i metan). Rizik predstavlja i njegovo svojstvo zapaljivosti. Kod požara u zatvorenim prostorima može doći do oštećivanja manje otpornih dijelova plinske instalacije, što može uzrokovati istjecanje dodatnih količina plina te povećati mogućnost od eksplozije [8]. U tom kontekstu, u slučaju istjecanja može doći i do taloženja UNP-a na dno spremnika ili prostorije, a njegovo nakupljanje može prouzrokovati havarije štetne za ekosustav. Odgovarajuće mjere opreza, nadzor i često održavanje nad takvim situacijama od iznimne su važnosti za osiguravanje sigurnosti prilikom rada s ukapljenom naftnim plinom.

12. ZAKLJUČAK

Proučavanje osnovnih tehnika ukapljenog naftnog plina u ovome završnom radu pruža nam detaljnije razumijevanje svojstava tog plina, koji je dao veliki doprinos energetske potrebe u kućanstvima, kao i u raznim industrijskim i gospodarskim sektorima. Preradom nafte ili prirodnog plina UNP se obrađuje prije nego što se transportira potrošačima diljem svijeta. Budući da su njegove karakteristike relativno čistog izgaranja u raznim instalacijama i trošilima učinkovite, svijest o okolišu i klimatskim promjenama, kao i ekonomske prednosti trenutno čine UNP veoma prihvatljivom opcijom, te prikladnim rješenjem za širok raspon namjena, uključujući kuhanje, grijanje i transport, a sve to pridonosi udobnijem načinu života. Uz široku primjenu, UNP krase svestranost, jednostavna mogućnost prijevoza, najpovoljniji utjecaj na okoliš u odnosu na druga fosilna goriva, te ekonomičnost. Iako UNP ima brojne prednosti, važno je prepoznati i njegove nedostatke i poteškoće s kojima bi se susretali prilikom donošenja odluke u konzumaciji plina. Kao što je u prijašnjim poglavljima naznačeno, UNP je prije svega fosilno gorivo i temeljem toga, povezan je s ekološkim problemima s kojima se suočava sadašnjost. Emisije štetnih plinova UNP-a su blaže u odnosu na ostala fosilna goriva, no i dalje pridonose razvoju stakleničkih plinova, koji se smatraju jednim od glavnih krivaca za pojavu klimatskih promjena. Sigurnosni strah od uporabe plina, praćen velikom medijskom pažnjom nakon nesreća nastalih radi neiskustvenog i neispravnog korištenja, postao je svojevrsna društvena stigma. Uporaba UNP-a iziskuje izuzetno dobro poznavanje pravilnika i zakona, pažljivo planiranje i poštivanje propisa, koji se tiču skladištenja te redovito održavanje od strane ovlaštene osobe. Iako je potrebna velika doza sigurnosti prilikom korištenja, industrija UNP-a uvelike generira gospodarski rast. U današnje vrijeme ima posebno velik značaj, budući da zbog kriznih situacija (npr. rusko-ukrajinski sukob, moguće terorističke aktivnosti prema strateškim infrastrukturnim objektima ili prirodne katastrofe) sve više zemalja svijeta inzistira na dva ili više dobavna pravca energenata, pri čemu se UNP nameće kao odlična alternativa zbog lakoće transporta iz različitih dijelova svijeta. Procesi vezani uz proizvodnju, transport i skladištenje ovog plina će se gotovo sigurno još razvijati napretkom tehnologije, a trenutno UNP ostaje kao jedno od najboljih tranzicijskih rješenja do potpunog prelaska na obnovljive izvore energije.

LITERATURA

- [1] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Sajema d.o.o., Zagreb, 2009.
- [2] Labudović, B.: Ukapljeni naftni plin (propan-butan), osnovne primjene, Energetika marketing, Zagreb, 2000.
- [3] Galović A.: Termodinamika I, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2018.
- [4] Halasz, B.: Uvod u termodinamiku, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2019.
- [5] Galović A.: Termodinamika II, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2019.
- [6] Halasz B.: Podlošci za vježbe iz kolegija Termodinamika II, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2022.
- [7] Izometrija, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=28338> (29.08.2023.)
- [8] Strelec i suradnici,: Plinarski priručnik 7. izdanje, Energetika marketing, Zagreb, 2014.
- [9] Labudović, B.: Osnovne tehnike ukapljenog naftnog plina, Energetika marketing, Zagreb, 2007.
- [10] Ljubas D., Juretić H., Dobrović S.: Podloge za predavanja iz kolegija Gorivo i mazivo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, ak. god 2019../2020.
- [11] Boras I., Galović A., Halasz B.: Toplinske tablice, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017.
- [12] Analiza standardne kvalitete plina s obzirom na nove dobavne pravce u Republici Hrvatskoj, <https://www.hera.hr/hr/docs/2018/Upitnik-2018-08.pdf> (29.08.2023.)
- [13] Cryogenics, <https://www.britannica.com/science/cryogenics> (01.09.2023.)
- [14] Rafinacija, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51602> (03.09.2023.)
- [15] Muštović F.: Tečni naftni plin, Privredni pregled, Beograd, 1974.
- [16] Pravilnik o ukapljenom naftnom plinu, NN 117/2007, Narodne novine, Zagreb, 2007.
- [17] Labudović, B.: Osnovne tehnike instalacije vode i plina, Energetika marketing, Zagreb, 2018.
- [18] Vlastoručne bilješke s predavanja kolegija Voda, gorivo i mazivo E, ak. god. 2020./2021.
- [19] Štrumberger N., Šekerija Ž., Peraković D.: Autogas in road traffic, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2003.
- [20] Pravilnik o utvrđivanju cijena ukapljenog naftnog plina, NN 147/2010, Narodne novine, Zagreb, 2010.
- [21] Pravilnik o uvjetima kojima moraju udovoljavati uređaji i oprema za pogon motornih vozila plinom, NN 4/2000, Narodne novine, Zagreb, 2000.

[22] Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti, znakovi sigurnosti, <https://www.zirs.hr/znakovi-sigurnosti.aspx> (06.09.2023.)

[23] Şohret Y., Gurbuz H.: A comparison of gasoline, liquid petroleum gas, and hydrogen utilization in a spark ignition engine in terms of environmental and economic indicators, Journal of energy resources technology, 2021.

PRILOZI

I. CD-R disc