Primjena ukapljenog prirodnog plina u cestovnom prometu

Drljača, Branko

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:957874

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij naftnog rudarstva

PRIMJENA UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA U CESTOVNOM PROMETU

Diplomski rad

Branko Drljača

N-221

Zagreb, 2018.

Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

PRIMJENA UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA U CESTOVNOM PROMETU

BRANKO DRLJAČA

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

Sažetak

Proteklih godina ukapljeni prirodni plin sve više ulazi kao gorivo u cestovni i pomorski promet, a polako se planira njegov ulazak i u željeznički promet. Ovaj trend potican je od strane državnih administracija nekih zemalja, međunarodnih organizacija koje u ukapljenom prirodnom plinu vide isplativiju i ekološki prihvatljivu alternativu dizelu. Diljem svijeta pokrenut je niz projekata izgradnje infrastrukture koja bi bila osnova za širu upotrebu ukapljenog prirodnog plina u različitim granama prometa. Ovaj rad ukratko opisuje tehnologiju ovakvih punionica, prednosti i mane vozila pokretanih ukapljenih plinom te se bavi mogućim utjecajima ovog projekta na razvoj transporta, energetike i očuvanja okoliša.

Ključne riječi: Alternativna goriva, ukapljeni prirodni plin teška cestovna vozila, održivi razvoj, cestovni transport

Diplomski rad sadrži: 63 stranica, 12 tablica, 22 slike i 39 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, izvanredna profesorica RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, izvanredna profesorica RGNF
Dr. sc. Lidia Hrnčević, izvanredna profesorica RGNF
Dr. sc. Luka Perković, docent RGNF

Datum obrane: 19. 01. 2018., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master'sThesis

APPLICATION OF LIQUIFIED NATURAL GAS IN ROAD TRAFFIC

BRANKO DRLJAČA

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

Abstract

During the last few years, liquefied natural gas has been established as an important fuel in road, marine and railroad traffic worldwide. This situation was supported by state administrations of some nations, multinational agencies and companies, which consider LNG to be more cost effective and environmentaly friendly alternative to the established diesel and other conventional fuels. Throughout the world, a series of projects has begun with a goal of building infrastructure for vehicles run by LNG. This thesis describes the technology used by fueling stations and vehicles of this type, pros and cons of LNG run vehicles, as well as possible implications of this project on the development of transport and the application of natural gas as an alternative fuel for sustainable development and environmental protection.

Keywords: LNG fuelling, LNG, alternative fuels, heavy duty vehicles, road transport

The thesis contains: 63 pages, 12 tables, 22 figures and 39 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: Associate professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD

Reviewers: Associate professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD
Associate Professor Lidia Hrnčević, PhD
Assistant Professor Luka Perković, PhD

Defense date: January 19th, 2018, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,University of Zagreb

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. SVOJSTVA UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA- 2
2.1. Ukapljeni prirodni plin kao gorivo 5
2.1.1. Područje primjene 5
2.1.2. Sigurnosni aspekti 6
2.1.3. Ekološki aspekti 7
2.1.4. Financijski aspekti 10
3. PRIMJENA UPP GORIVA U SVIJETU 14
4. SITUACIJA U EUROPI 16
4.1. Stanje UPP vozila i drugih alternativnih goriva u Hrvatskoj 24
5. OPIS PUNIONICE UPP-A ZA CESTOVNA VOZILA 28
5.1. Način rada UPP-a za cestovna vozila 30
5.2. Promjene svojstava kriogenog goriva tijekom rada i mirovanja stanice 32
5.3. Ekonomski aspekti punionica za UPP cestovna vozila 38
5.4. Regulacije i standardi UPP-a za cestovna vozila 43
6. SUSTAV VOZILA NA UPP GORIVA 45
6.1. Komponente sustava 47
6.2. Usporedba dizel i UPP motora 53
6.3. Operacije s UPP sustavom na vozilima 56
6.3.1. Punjenje spremnika 56
6.3.2. Punjenje toplog spremnika 56
7. ZAKLJUČAK 58
8. LITERATURA 60

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Dijagram dvofaznog područja uobičajenog sastava prirodnog plina (88% metana, 4% etana, 2% propana, 2% butana, 2% pentana i 2% dušika)..... 3
Slika 4-1. Prikaz UPP Blue koridora duž Europe,..... 19
Slika 4-2. Punjenje brodskog spremnika direktno iz UPP cisterne 23
Slika 4-3. Raspored UPP punionica duž hrvatskih autocesta i u lukama do 2030. godine . 27
Slika 5-1. UPP-SPP punionica 30
Slika 5-2. Skica sustava stanice za punjenje motornih vozila kriogenim gorivom. 31
Slika 5-3. Skica UPP dispenzera goriva 33
Slika 6-1. Iveco Strails Natural Power, 330 konjskih snaga 45
Slika 6-2. Sustav UPP goriva sa dva spremnika na kamionu..... 46
Slika 6-3. Presjek kamionskog spremnika UPP goriva 48
Slika 6-4. Spremnik goriva opremljen ventilima s vanjske strane 48
Slika 6-5. Punjenje spremnika UPP gorivom 51
Slika 6-6. Čep otvora za pražnjenje spremnika 51
Slika 6-7. Sustav ubrizgavanja goriva 52

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Prosječni sastavi UPP-a ovisno o mjestu proizvodnje 4
Tablica 2-2. Usporedba gustoće energije baterija električnih vozila, UPP-a,SPP-a, dizela i benzina..... 6
Tablica 2-3. Usporedba emisija dizela sa UPP gorivom 7
Tablica 1-4. Usporedbe cijene goriva po kilometru za dizel i UPP 11
Tablica 2-5. Prikaz operativnih troškova dizel kamiona. .... **Error! Bookmark not defined.**
Tablica 2-6. Prikaz operativnih troškova UPP kamiona..... **Error! Bookmark not defined.**
Tablica 3-1. Zemlje s najvećim brojem NGV vozila 14
Tablica 4-1. Kapaciteti UPP terminala u Europi 17
Tablica 4-2. Broj punionica u zemljama u kojima je izgradnja infrastrukture UPP goriva počela 2014. godine i planirane punionice 18
Tablica 5-1. Indikatori isplativosti u slučaju prodaje 40 000 kg UPP-a mjesečno..... 41
Tablica 5-2. Indikatori isplativosti u slučaju prodaje 80 000 kg UPP-a na mjesec..... 41

Tablica 5-3. Indikatori isplativosti u slučaju prodaje 80 000 kg UPP-a na mjesec 42
Tablica 6-1. Razlike između dizel motora i motora na prirodni plin 54

POPIS KRATICA

AFV - vozila na alternativni pogon (engl. *Alternative Fuel Vechicles*)

CO_2 - ugljikov dioksid

ECA - područija kontroliranih emisija (engl. *Emission Control Areas*)

EFTA - Europska slobodna trgovinska zona (engl. *European Free Trade Association)*

EU - Europska unija

IMO - Međunarodna pomorska agencija (engl. *International Maritime Organization*)

NGV - Vozila pogonjena prirodnim plinom (engl. *Natural Gas Vechicles*)

NGVA Europe - Europsko udruženje za vozila pogonjena prirodnim plinom (engl. *Natural Gas Vechicles Association Europe*)

NO_x - dušikovi oksidi

NOP - Nacionalni okvir politike

P_x - spojevi fosfora

IAE - Međunarodna energetska agencija (engl. *International Energy Agency*)

SO_x - sumporovi oksidi

SPP - stlačeni prirodni plin

SSL - manje postrojenje za ukapljivanje/uplinjavanje prirodnog plina (engl. *Small Scale Liquification*)

TER - Terminal za ukapljivanje/uplinjavanje prirodnog plina

UPP-SPP - Prerada ukapljenog prirodnog plina u stlačeni prirodni plin.

UPP - ukapljeni prirodni plin

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

cp - specifična toplina čelika (480 J/kgK)

C - toplinska vodljivost (W/mK)

D - promjer spremnika (m)

hg - entalpija metana u plinovitom stanju

hl - entalpija tekućeg metana

km - toplinska vodljivost višeslojne izolacije (W/mK)

ks - toplinska vodljivost čelika (W/mK)

m1 - masa otparenog goriva (kg)

m2 - masa otparenog goriva koje se vraća iz spremnika vozila (kg)

m3 - masa otparenog goriva pri hlađenju vodova i dispenzera (kg)

m4 - masa otparenog goriva zbog toplinskog curenja (kg)

m - masa ukupnog otparenog goriva (kg)

ms - masa čelika (kg)

q - tok topline (W)

r - maseni udio otparenog goriva (%)

Rm - toplinski otpor višeslojne izolacije, (m^2K/W)

Rs - toplinski otpor čelika

R - toplinska otpor spremnika

S - površina (m^2)

Ss - površina presjeka (m^2)

Tamb - temperatura okoline (K)

T - temperatura (K)

V - volumen (m^3)

β - omjer površine i volumena,S/V, (1/m)

Δh - debljina spremnika (m)

ΔT - razlika temperature (K)

1. UVOD

Globalno tržište prirodnog plina prolazi kroz velike promjene potaknute povećanjem proizvodnje u Sjedinjenim Američkim Država. Očekuje se da će globalna potražnja za plinom porasti 1,6% godišnje idućih pet godina, te će dosegnuti razinu od gotovo 4 bilijarde kubičnih metara do 2022. godine, u odnosu na $3{,}63\times10^{12}$ metara kubnih koliko je iznosila potražnja 2016. godine. Potražnja u industrijskom sektoru postaje glavni pokretač rasta potrošnje plina, zamjenjujući sektor proizvodnje električne energije, gdje su plinu sve više konkurentni obnovljivi izvori, ali i dalje ugljen. Sjedinjene Američke Države, kao najveći svjetski potrošač i proizvođač prirodnog plina na svijetu, činit će 40% svjetske dodatne proizvodnje plina do 2022. godine zahvaljujući izuzetnom porastu domaće proizvodnje. Do 2022. godine proizvodnja SAD-a bi trebala iznositi $890\text{x}10^{9}$ metara kubnih, ili više od petine globalne proizvodnje plina. Proizvodnja iz Marcellusa, jedne od najvećih svjetskih plinonosnih regija, povećat će se za oko 45% između 2016. i 2022. godine, usprkos relativno niskim cijenama, zahvaljujući povećavaju učinkovitosti. Dok američka domaća potražnja za plinom raste, zahvaljujući potrošnji industrijskog sektora, više od polovice povećanja proizvodnje koristit će se za proizvodnju ukapljenog prirodnog plina (u daljnjem tekstu UPP) za izvoz. Do 2022. godine Međunarodna energetska agencija (engl. *International Energy Agency*) procjenjuje da će Sjedinjene Američke Države moći izvoziti količinu UPP-a blizu količine najvećih zemalja izvoznica UPP-a, Australije i Katara. Istovremeno, povećanje dostupnost UPP-a stvara i novu konkurenciju plinovodima, što bi u konačnici moglo koristiti potrošačima zbog niže cijene plina. Ovo intenzivno tržišno natjecanje smanjuje cijene i ugovorne krutosti koje su tradicionalno obilježile trgovinu putem plinovoda (IEA, 2017.).

2. SVOJSTVA UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA-

Ukapljeni prirodni plin zauzima oko 1/600 volumena prirodnog plina u plinovitom stanju što ga čini ekonomičnim za prijevoz brodovima. Uz to je bez boje i mirisa, nije toksičan i ne korodira. Proces ukapljivanja jednog kilograma prirodnog plina ili biometana zahtijeva 0,65-0,9 KWh energije.

UPP se proizvodi od prirodnog plina u postrojenjima za ukapljivanje odakle se dalje najčešće transportira brodovima. Proces ukapljivanja počinje izdvajanjem vode, kiselih plinova i težih ugljikovodika koji bi se u procesu smrznuli i postali krutina ili bi na drugi način mogli oštetiti postrojenje. UPP obično sadrži između 85% i 95% metana, ali može i sadržavati neke druge komponente, poput etana, propana, butana, dušika i slično.

Očišćeni plin zatim prolazi kroz više kolona za ukapljivanje, gdje predaje svoju unutarnju energiju rashladnom sredstvu i hladi se do temperature od -162 ^{o}C (vrelište metana). Na slici 2-1 se može vidjeti područje prijelaza očišćenog prirodnog plina određenog sastava (88% metana, 4% etana, 2% propana, 2% butana, 2% pentana i 2% dušika) iz plinovite faze u kapljevitu. Treba napomenuti da sastav UPP-a nije uvijek jednak. Prosječni sastavi UPP-a iz različitih dijelova svijeta dani su u tablici 2-1.

Ukapljeni prirodni plin (UPP) je pročišćeni plin rashlađivanjem preveden u tekuće stanje, radi smanjenja obujma i lakšeg prijevoza.

. Najveća toplinska vrijednost izgaranja UPP-a procjenjuje se na 24 MJ/L. Najniža toplinska vrijednost izgaranja UPP-a je 21 MJ/L. Gustoća energije UPP-a je 2,4 puta veća od stlačenog prirodnog plina (SPP). Energetski intenzitet je usporediv s energetskim intenzitetom propana, ali iznosi samo 60% energetskog intenziteta dizela i 70% u odnosu na benzin.

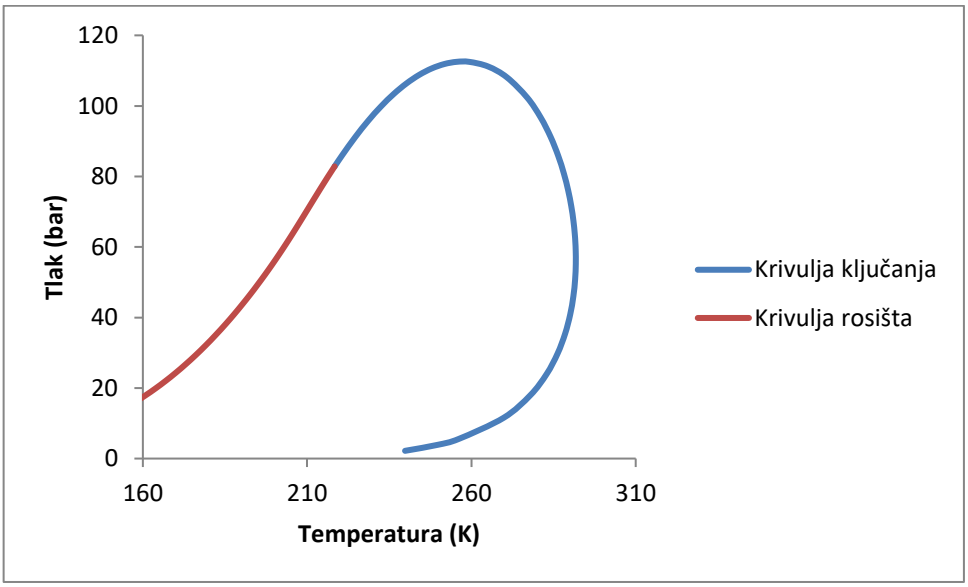
Postoji nekoliko pokazatelja kvalitete UPP-a kao goriva, koji su slični kao i kod ostalih goriva. Metanski broj, slično kao i oktanski broj, određuje otpor plina prema detonaciji ako mu se dovede uzročnik paljenja. Metanski broj ovisi o molarnom udjelu metana i vodika, gdje čisti metan ima metanski broj 100, a vodik 0 (Kumar i drugi, 2011.).

Wobbeov indeks se rabi radi usporedbe različitih gorivih plinova spaljivanih na plameniku. Ako dva goriva imaju identičan Wobbeov indeks, pri istim uvjetima izgaranja, na istom plameniku će se osloboditi ista količina energije. Wobbeov indeks se obično izražava u MJ/m^3, a za UPP obično iznosi 50 do 55 MJ/m^3 (Johannesson, 2013.).

UPP se transportira brodovima metanijerima, posebno namijenjenim za transport UPP-a. Većina UPP se s metanijera prebacuje na UPP terminale za uplinjavanje UPP-a, gdje se

UPP zagrijavanjem uplinjava i transportira dalje cjevovodima prema potrošačima u industriji, kućanstvima i za potrebe energetskih transformacija. Unutar spremnika, UPP stalno ključa. Dok god se kapljevina koja ključa drži na istom tlaku, bez obzira na količinu topline koja je ušla u kapljevinu iz okoline, temperatura kapljevine će ostati ista. Ovaj proces se zove „samo-hlađenje“. U spremnicima metanijera, na atmosferskom tlaku, temperatura UPP-a iznosi -162 ^{o}C, dok temperatura u manjim spremnicima na većem tlaku može biti viša.

Manji dio UPP-a rabi se kao gorivo u pomorskom i cestovnom transportu. Iako su cijene ovakvih vozila veće, UPP kao gorivo ima brojne prednosti u usporedbi s konvencionalnim dizelom i stlačenim plinom (SPP) što će biti raspravljeno u idućem poglavlju.



Slika 2-1. Dijagram dvofaznog područja uobičajenog sastava prirodnog plina (88% metana, 4% etana, 2% propana, 2% butana, 2% pentana i 2% dušika)

Tablica 2-1. Prosječni sastavi UPP-a ovisno o mjestu proizvodnje (Johannesson, 2013.)

Mjesto podrijetla	Dušik (%)	Metan (%)	Etan (%)	Propan (%)	Visokomolekularni ugljikovodici (%)	Gornja goriva vrijednost (MJ/m^3)	Wobbeov indeks (MJ/m^3)
Alžir-Arzew	0,56	87,98	9	1,99	0,47	41,68	52,62
Alžir-Bethloua 1	1,2	87,59	8,39	2,12	0,7	41,01	51,96
Alžir-Bethloua 2	0,92	91,39	7,17	0,52	0	39,78	51,41
Alžir-Skikda	1,02	91,19	7,02	0,66	0,11	39,87	51,42
Egipat-Damietta	0,08	97,7	1,8	0,22	0,2	38,39	51,03
Egipat-Idku	0	97,2	2,3	0,3	0,2	38,61	51,19
Libija	0,69	81,57	13,38	3,67	0,69	44,02	53,82
Nigerija	0,08	91,28	4,62	2,62	1,4	41,76	52,87
Abu Dhabi	0,29	84,77	13,22	1,63	0,09	42,45	53,16
Oman	0,35	87,89	7,27	2,92	1,57	42,73	53,27
Katar	0,36	90,1	6,23	2,32	0,99	41,58	52,65
Trinidad	0,03	96,82	2,74	0,31	0,1	38,82	51,29
Aljaska	0,17	99,73	0,08	0,01	0	37,75	50,62
Australija	0,09	87,39	8,33	3,35	0,84	42,74	53,4
Brunei	0,05	90,61	4,97	2,89	1,48	42,09	53,06
Indonezija-Arun	0,06	91,16	6,01	1,84	0,93	41,32	52,64

Malezija	0,16	91,15	4,96	2,79	0,94	41,52	52,7

2.1. Ukapljeni prirodni plin kao gorivo

2.1.1. Područje primjene

Prirodni plin, bilo SPP ili UPP, je lakši od benzina ili dizela, ali je nižeg energetskog sadržaja, što znači da će za istu prijeđenu udaljenost biti potreban veći spremnik. Jedna litra dizel goriva ima istu energetsku vrijednost kao 1,7 litara UPP-a. Ako bi se uspoređivali SPP i UPP najznačajnija je razlika u gustoći (UPP na -162 ^{o}C ima gustoću od 466 kg/m^3, a SPP na tlaku od 250 bar i sobnoj temperaturi ima gustoću od 215 kg/m^3). Potrebno je 2,4 litre SPP-a da se proizvede ista količina energije kao iz jedne litre UPP-a. Ovo čini UPP boljim gorivom kad je riječ o većim vozilima i vozilima koja prelaze velike udaljenosti. UPP ima nekoliko prednosti u transportu, pogotovo za motore velike snage (Madden i drugi, 2014.).

Kapljevito stanje UPP-a omogućava veliki dotok prilikom punjenja spremnika i omogućava dotok punjenja koji je ekvivalentan punjenju spremnika dizelom.

Motori velike snage zahtijevaju visoki tlak ubrizgavanja goriva u cilindar, za što je UPP daleko bolji od SPP-a.

Do sada se prirodni plin rabio kao gorivo za teška vozila samo u vozilima za lokalnu upotrebu, do 450 kilometara od punjenja do punjenja, poput javnog prijevoza i odvoza smeća. Razlog tome je što 1 litra dizela predstavlja ekvivalent 5 litara prirodnog plina stlačenog na 250 bar. Zbog toga bi zapremnina spremnika goriva za komprimirani plin trebala biti oko pet puta veća u odnosu na spremnik dizela ako bi se htjelo prijeći isti put, što kod većih udaljenosti smanjuje praktičnost. Time se naglašavaju prednosti ukapljenog prirodnog plina, kod kojeg je 1,7 litara dovoljno da nadomjesti litru dizela (Bloomers i Oulette, 2013.). Usporedba gustoće energije UPP i SPP s drugim gorivima se može vidjeti na tablici 2-2.

Tablica 2-2. Usporedba gustoće energije baterija električnih vozila, UPP-a,SPP-a, dizela i benzina (Bloomers i Oulette 2013. i Coetzer, 1986.)

Hibridna baterija s niklom	Litij-ionska baterija	UPP	SPP	Dizel	Benzin
0,504–1,08 MJ/L	0,9-2,63 MJ/L	22,5 MJ/L	9,45 MJ/L	35,8 MJ/L	34,2 MJ/L

Nedostatak primjene UPP-a, koji se mora uzeti u obzir, je što će njegova primjena u budućnosti biti ograničena na vozila s radnim ciklusom od 950 do 1200 kilometara između punjenja gorivom. Postoji više od 4,6 milijuna teških kamiona i autobusa koji rade u prosjeku 340 dana godišnje, što se čini idealnim tržištem za UPP. Uz to UPP se već primjenjuje i u pomorskom prometu, a u Norveškoj se razmatra upotreba i u željezničkom prijevozu. Najvjerojatnije da će se SPP nastaviti razvijati u sustavima gradskog prijevoza i dostavnim kamionima, gdje se SPP smatra privlačnijom opcijom. Unatoč tome postoji tip punionica koje mogu brzo i ekonomski isplativo generirati velike volumene SPP-a iz UPP-a za punjenje spremnika vozila (UPP-SPP punionice), što znači da bi UPP mogao ući na tržište SPP-a kao sirovina. UPP-SPP tip punionice je ekonomski puno isplativiji od SPP punionice što se tiče kapitalnih ulaganja i održavanja, te mogu puno brže napuniti spremnik vozila vozila zbog toga što je UPP kapljevina i zahtjeva manji pad tlaka za isti maseni protok u odnosu na plin.. Također, valja napomenuti da je cijena UPP-a nešto veća od SPP-a jer ga je tehnološki zahtjevnije proizvesti (Bloomers i Oulette, 2013.).

2.1.2. Sigurnosni aspekti

UPP se smatra relativno sigurnim gorivom budući da se godinama rabi bez većeg sigurnosnog incidenta (Foss, 2012.). UPP nema boje, nije toksičan niti kancerogen, ne drži se pod tlakom i može eksplodirati samo u zatvorenom prostoru u kombinaciji sa zrakom od 5%-15% (Kumar i drugi, 2011.). Unatoč tome potrebne su posebne mjere sigurnosti. UPP je kriogeno gorivo i opasan je ako dođe u dodir s kožom ili očima, zbog čega je obavezno prilikom rada s UPP-om rabiti vizir, rukavice i druge oblike zaštite. U usporedbi s ostalim gorivima, UPP je vrlo siguran u slučaju pridržavanja svih propisa.

2.1.3. Ekološki aspekti

Jedna od najočitijih prednosti UPP-a kao goriva vidljiva je ako se u obzir uzmu i ekološki aspekti. Tako je u transportnom sektoru u zemljama Europske unije 2009. godine transportni sustav bio odgovoran za 20% svih emisija. Europska unija potiče razvoj alternativnih goriva kako bi se smanjio ugljični otisak. Zemlje u razvoju i zemlje ovisne o uvozu nafte također razmatraju povećanje upotrebe vozila pokretanih prirodnim plinom u transportu o čemu će biti riječ u sljedećim poglavljima.

Napravljene su studije emisija stakleničkih plinova tijekom životnog ciklusa goriva dizela i UPP-a korištenog u teškim cestovnim vozilima u Europi. Za UPP su upotrjebljena dva scenarija: direktna kupovina s terminala za ukapljivanje (TER) ili kad ga se proizvodi lokalno na manjim postrojenjima (engl. *Small Scale Liquification*, SSL). Životni vijek goriva je podijeljen u tri faze:

- Proizvodnja, koja također uključuje sabiranje i transport, kao i rafiniranje dizela i ukapljivanje UPP-a.;
- Distribucija, koja uključuje sve procese koji su potrebni da bi proizvedeno gorivo došlo do kupca;
- Izgaranje.

Rezultati su prikazani u tablici 2-3. Rezultati su dati u ekvivalentima kilogramima CO_2 po kilometru koje kamion prijeđe.

Tablica 2-3. Usporedba emisija dizela sa UPP gorivom (Arteconi i Brandoni, 2010.)

Gorivo	Proizvodnja	Distribucija	Izgaranje	Dizel pilot	Ukupno
Dizel	0,2003	0,0208	1,6353	0	1,8563
UPP-TER	0,1600	0,0879	1,4013	0,0105	1,6642
UPP-SSL	0,3887	0,0006	1,4013	0,0105	1,8055

Kao što je iz rezultata vidljivo, UPP ukapljen na velikom terminalu proizvodi oko 10% manje emisija od dizela, UPP ukapljen na malom postrojenju proizvodi nešto veću količinu emisija po prijeđenom kilometru, ali još uvijek manje od dizela. Autor (Arteconi i Brandoni, 2010.) navodi da je ova razlika u emisija uzrokovana smanjenom učinkovitošću procesa u malim postrojenjima za ukapljivanje.

U studiji (Arteconi i Polonara, 2013.) autori su naglasili pozitivne i negativne aspekte vezane uz UPP kao motorna goriva. Prvo, identificirali su najveće usko grlo u lancu UPP-a

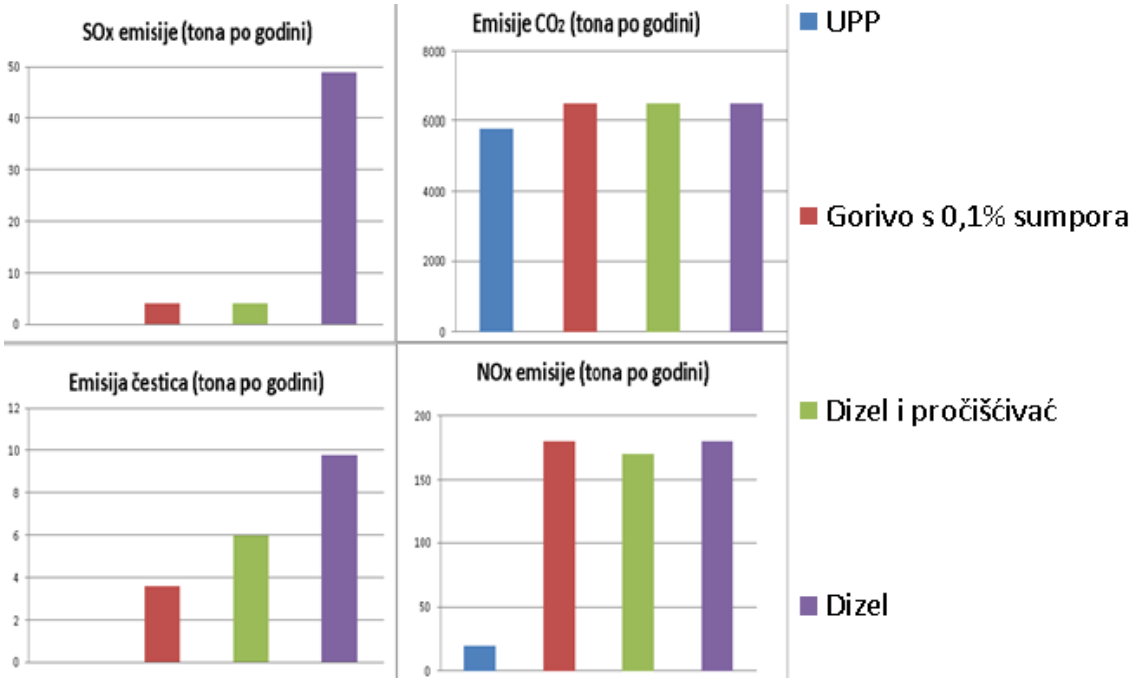
(u cestovnom prijevozu) - nedostatak infrastrukture za opskrbu gorivom kako bi se omogućila pravilna opskrba UPP-a barem u Italiji. Također, nedostatak nacionalnih propisa i standarda je još uvijek prepreka mogućim ulagačima koji su spremni ulagati u primjenu UPP-a. U studiji (Arteconi i Polonara, 2013.) donesen je zaključak da je UPP ekološki prihvatljivo gorivom s najvećim potencijalom za teška teretna vozila zbog veće gustoće energije u usporedbi s SPP-om i baterijama. Konačno, autori tvrde da je najkritičniji segment za uvođenje novog goriva njegova isplativost (razlika u cijeni između UPP i dizela) zajedno s razvijenom infrastrukturom, ali to nisu nužno i ekološki aspekti. Međutim, to bi moglo biti točno u talijanskom cestovnom prometu, ali ne nužno u zemljama koje pate od daleko većeg onečišćenja u gradovima (problemi sa smogom) poput Kine, Pakistana ili Brazila. Te zemlje nastoje implementirati UPP za kamione zbog konkurentnosti cijena i smanjenja emisija stakleničkih plinova.

Istraživači Ou i Zhang (2013.) su također procijenili utjecaj upotrebe vozila pokretanih alternativnim gorivima na emisije stakleničkih plinova u Kini. Emisije su izračunate na temelju Tsinghua modela analize životnog ciklusa goriva, posebno dizajniranog instrumenta za analizu goriva u Kini. U ovoj studiji emisije stakleničkih plinova izražene su kao masa emisije po jedinici energije (g/MJ). Otkriveno je da zbog manjeg udjela ugljika SPP vozila emitiraju 10-20% manje stakleničkih plinova od vozila na dizel i benzin, a UPP vozila emitiraju 5-10% manje stakleničkih plinova od vozila na dizel i benzin. Proizvedene emisije ovise i o načinu ukapljivanja UPP-a. UPP ukapljen na manjim postrojenjima emitirao je veće količine stakleničkih plinova, što se poklapa sa prethodno navedenim studijama (Ou i Zhang, 2013.).

Ekološku učinkovitost UPP-a su prepoznali i snažno poduprli akademski predstavnici i gospodarski subjekti u segmentu pomorskog transporta više nego u cestovnom sektoru. Autori (Acciaro,2014., Adamchak i Adede, 2013.) i Europska komisija slažu se da je UPP danas odgovor na stroge propise o okolišu koje nameće Međunarodna pomorska organizacija. Vlasnici brodova koji rade na teritorijima ECA-e (engl. *Emission Control Areas*, uključuje Sjeverno more, Baltičko more i većinu priobalnog pojasa Kanade i SAD-a) moraju se pridržavati kontrolne emisije SO_x u ispušnim plinovima od 0,1% od 1. siječnja 2015. godine. Osim toga, kontrola je stavljena i na emisije dušikovih oksida - brodograditelji su ih trebali smanjiti za 20% do 2016. godine u usporedbi s emisijama na početku 2015. godine (Burel i drugi, 2013.). U 2020. godini emisije sumpora će morati biti smanjene do 0,5% globalno, što UPP čini atraktivnim ne samo unutar teritorija ECA-e, već i u svijetu.

Europska komisija je izdala novi nacrt Direktive 2014/94/EU u kojem se UPP smatra povoljnim gorivom za pomorski transport tereta te zahtijeva da sve europske morske luke pružaju usluge punjenja UPP goriva. Jasno je da su strogi propisi o zaštiti okoliša glavni uzrok bržeg prodiranja UPP-a u pomorski transport u usporedbi s drugim sektorima prometa

Kako bi se udovoljilo novim propisima ECA-e, postoje tri glavne opcije: prijelaz na goriva veće kvalitete i niskog sadržaja sumpora, korištenje sustava za čišćenje ispušnih plinova (pomorski čistači) ili UPP (Acciaro 2014.). Autor (Acciaro 2014., Graugaard, 2013.) suglasni su da UPP može ponuditi značajno smanjenje emisije NO_x (za 80% -85%), SO_x (100%), P_x (100%) i CO_2 (20% -30%) tijekom rada brodova, pa čak i smanjiti operativne troškove za 35% u usporedbi s konvencionalnim gorivom (slika 2-3). UPP je ekološki najprihvatljiviji tip goriva u smislu svih glavnih onečišćivača zraka (Baltic Transport Journal, 2011.).



Slika 2-2. Usporedba emisija goriva upotrebljavanih u pomorskom prometu (Baltic Transport Jurnal, 2011.)

Analizirajući različita istraživanja moguće je zaključiti da postoji varijabilnost učinaka UPP na okoliš. Razlozi nepodudaranja rezultata istraživanja mogu biti sljedeći: razlika u dostupnim podacima, pretpostavkama, scenarijima nabave UPP-a itd. Stoga je teško izravno usporediti studije. Međutim, općenito se može reći da emisije stakleničkih plinova proizvedene tijekom životnog ciklusa goriva ovise o scenariju nabave. Također, emisije

stakleničkih plinova proizvedene tijekom životnog ciklusa UPP-a mogu biti znatno manje u usporedbi s dizelskim gorivom, ali ne u svim slučajevima.

Međutim postoje brojni izazovi vezani uz UPP: cijena nabave vozila, kretanja cijena UPP-a i konvencionalnih goriva, dostupnost UPP-a i pouzdanost opskrbnog lanca (dovoljan broj postrojenja za punjenje u europskim lukama) (Acciaro, 2014.). Stoga su plovila s UPP gorivom još uvijek novina u pomorskom prometu. Trenutno postoje 42 potpuno operativna broda na UPP i 39 brodova u izgradnji (Graugaard, 2013.). Norveška je pionir i trenutni lider u poticanju ove vrste plovila zahvaljujući snažnoj državnoj potpori, strožim ekološkim standardima i značajnim plinskim resursima. Predviđa se da će Norveška 2020. godine imati flotu od 1000 UPP brodova koji će ukupno trošiti 4-7 milijuna tona goriva godišnje. To bi odgovaralo 0,2%-0,3% globalne proizvodnje UPP-a 2010. godine. Iako izgleda kao mali udio, signalizira realni početak korištenja plovila nove generacije (Graugaard, 2013.). Potrebno je napomenuti da kamioni na prirodni plin emitiraju manje buke. To je od posebnog značaja u gradskim sredinama, gdje su u javnom gradskom prijevozu, odvozu smeća i drugdje, SPP vozila već neko vrijeme prisutna. Međutim, kao što je navedeno, UPP nije praktičan za takvu primjenu zato što zahtjeva teže spremnike, što bi na manjim vozilima bilo nepraktično.

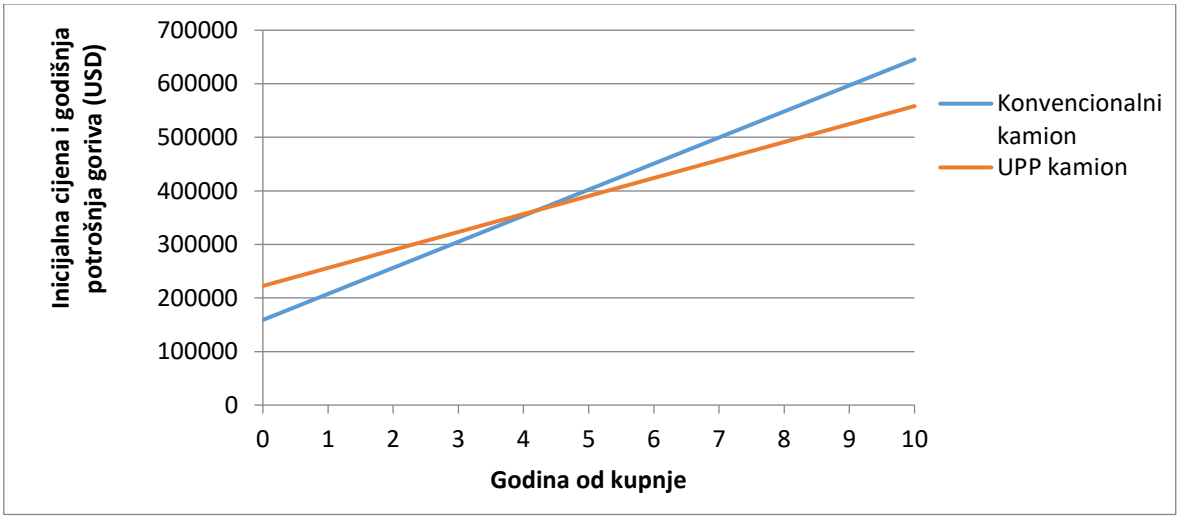
2.1.4. Financijski aspekti

Prema analitičarima Enerdata (Enerdata, 2014.), UPP kamion je u 2013. godini bio oko 30-40% skuplji od kamiona s diezel motorom. U analiziranom radu izvršena je usporedba cijene goriva po kilometru za kamion s UPP-om u odnosu na kamion s dizelskim gorivom (Enerdata, 2014.). Podaci analize pokazali su da je UPP kamion troši 0,138 USD/km manje od dizelskog kamiona. Diferencijalni trošak goriva je smanjen na 28% (od trenutne razine 31%) ako se polovica povećanja cijena (zaokružen na 0,05 USD/km) prenosi krajnjem korisniku. Ako se uračuna mogući porast cijena goriva, razlika u troškovima goriva po kilometru smanjuje se na 25%. Iako će se razdoblje povrata novca produžiti u potonjem slučaju, analitičari vjeruju da je ekonomično prebacivati se s dizel na UPP kamione (tablica 2-3) (Enerdata, 2014.).

Tablica 2-4. Usporedbe cijene goriva po kilometru za dizel i UPP (Enerdata, 2014.)

Tip goriva	Trošak goriva po km	Cijena goriva	Cijena goriva po km
UPP	0,46 m^3/km	0,666 USD/m^3	0,306 USD/km
Dizel	0,39 l/km	1,125 USD/l	0,444 USD/km

Ako se za primjer uzme novi kamion (2017 KENWORTH T370) koji košta 158 943,00 $i uz pretpostavku da bi cijena ekvivalentnog kamiona bila za 40% veća (222 520,2$), može se napraviti osnovni proračun koštanja kamiona kroz godine. Takav je proračun prikazan na slici 2-4. U proračunu je uzeta u obzir godišnja prijeđena udaljenost koja iznosi 109 620,5 km (AFDC, 2017.).



Slika 2-3. Usporedba troškova UPP kamiona s konvencionalnim kamionom unutar 10 godina

Prema ovom proračunu UPP kamion bi postao isplativiji od konvencionalnog nakon 4 godine i 2,5 mjeseca. Nakon jednog desetljeća ukupna ušteda bi iznosila oko 87 378,88 USD. Treba napomenuti da je prosječna starost kamiona u SAD-u oko 14,7 godina.

U usporedbi nisu računate moguće promjene cijena goriva tijekom godina.

U drugom proračunu je predpostavljeno da bi novi kamion pogonjen dizelom koštao 592 349,55 kn (80 000 eura), da bi njegova alternativa na UPP koštala 799 671,89 kn (108 000 eura) i da bi održavanje UPP kamiona bilo 20% skuplje (za potrebe proračuna uzeto je 1,262 kn za održavanje dizel kamiona po kilometru i 1,514 kn za održavanje UPP kamiona po kilometru). U danom scenariju uzeto je u proračun da kamion troši 30 litara dizel goriva na 100 kilometara ili 25 kg UPP na 100 kilometara. Uzeta je cijena dizela 8,53 kn po litri.

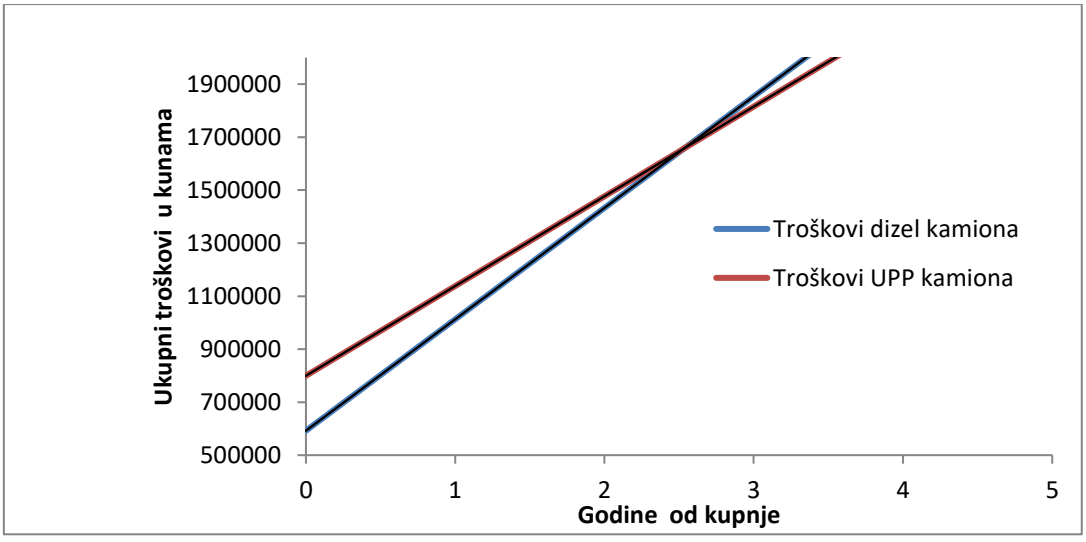
Cijena UPP proračunata je na sljedeći način: na Španjolskom hub-u je prosječna cijena UPP-a tijekom prvog kvartala 2017. iznosila oko 2,058 kn/kg. Prema podacima Agencije za zaštitu tržišnog natjecanja, između 30-35% maloprodajne cijene goriva otpada na veleprodajnu cijenu. Ako se uzme da je veleprodajna cijena 33% cijene u maloprodaji, dobije se iznos od 6,25 kn/kg goriva. U oba slučaja kamioni su godišnje prešli 110 000 km, tijekom 15 godina. Tablice 2-5, 2-6 i slika 2-4 prikazuju usporedbe investicija u UPP kamion u odnosu na konvencionalni kamion. Prikazani su samo troškovi koji bi varirali ovisno o tipu goriva

Tablica 2-5. Prikaz operativnih troškova dizel kamiona.

Operativni troškovi-Dizel	Cijena u kunama
Održavanje	138 868,95
Gorivo	281 490
Ukupno	420 358,95

Tablica 2-6. Prikaz operativnih troškova UPP kamiona.

Operativni troškovi-UPP	Cijena u kunama
Održavanje	166 642,74
Gorivo	171 875
Ukupno	338 517,74



Slika 2-4. Usporedba troškova dizel kamiona i UPP kamiona tijekom prvih 5 godina od kupnje

Tijekom 15 godina uštedilo bi se oko 1 020 295,82 kuna. UPP kamion postao bi isplativiji nakon 2,53 godine.

Prema Nacionalnom laboratoriju Argonna (Argonne National Laboratory, 2013.), nakon ispitivanja 18 UPP kamiona u razdoblju od 15 mjeseci su zaključili da UPP gorivo omogućuje značajno smanjenje troškova i štetnih emisija. UPP kamioni ostvarili su sličnu potrošnju goriva na osnovi ekvivalentne energije tijekom razdoblja proučavanja. Dakle, u prosjeku su troškovi goriva za UPP bili oko 0,22 USD/km dok konvencionalnim kamionom potroši 0,43 dolara po kilometru (UPP kamion troši 48% manje). S takvim procjenama troškova, razdoblje povrata sredstava je manje od tri godine (Argonne National Laboratory, 2013.).

.

3. PRIMJENA UPP GORIVA U SVIJETU

Tijekom posljednjih nekoliko godina došlo je do velikog porasta broja vozila na prirodni plin u svijetu (engl. *Natural Gas Vechicle*, NGV). U cijelom svijetu je bilo otprilike 14,9 milijuna NGV-a i 25 135 punionica za ta vozila. Na dan 30.6.2017. procijenjen je broj od 24 308 785 NGV-a i 29 079 punionica (tablica 3-1). Ove brojke uključuju sva vozila pokretana ukapljenim prirodnim plinom i stlačenim prirodnim plinom (NGV, 2017.).

Tablica 3-1. Zemlje s najvećim brojem NGV vozila (NGV, 2017.)

Zemlja	Broj NGV 2014. godine	Postotak svjetskih NGV-a	Broj NGV 2017. godine	Postotak svjetskih NGV-a
Kina	3 000 000	15,3%	5 000 000	20,6%
Iran	3 500 000	17,9%	4 000 000	16,5%
India	1 800 000	9,2%	3 045 268	12,5%
Pakistan	2 790 000	14,2%	3 000 000	12,3%
Argentina	2 359 673	12%	2 295 000	9,4%
Brazil	1 769 572	9%	1 781 102	7,3%
Italija	832 000	4,2%	883 190	3,6%
Kolumbija	476 506	2,4%	556 548	2,3%
Tajland	441 182	2,2%	474 486	2,0%

Vozila pogonjena ukapljenim prirodnim plinom sve se više razmatraju i upotrebljavaju, kako na cestama, tako i u pomorskom, željezničkom i van-cestovnom prometu. Po upotrebi ovakvih vozila najviše se ističe Kina, koja je u srpnju 2014. godine na cestama imala više od 100 000 kamiona pogonjenih na UPP i 2000 punionica na prirodni plin (ukapljeni i stlačeni), s planovima da se narednih godina taj broj poveća na 180 000 i da se broj punionica poveća na 12 000 do 2020. godine, čime bi kamioni trošili 40% ukupne kineske potrošnje UPP-a, SAD trenutno ima 143 UPP punionica diljem zemlje (76 javnih) (Alternativ Fuel Locator, 2017.). Mnoge nove punionice duž autocesta SAD-a čekaju dovoljnu potražnju za otvaranje, a nove se i dalje grade. Neki veliki prijevoznici već imaju veći broj kamiona pogonjenih UPP-om poput *Dillon Transport, Raven Transportation* i

UPS-a (zadnji od njih je imao više od 1200 ovakvih kamiona u veljači 2015.), a taj broj i dalje raste.

U SAD-u, velike uštede (do 50%) u gorivu predstavljaju privlačan razlog za razmatranje prijelaza s dizela na UPP. Ali, cijena goriva nije jedini razlog koji čini UPP privlačnom opcijom za korisnike vozila velike snage s dizel motorom. „Čisto“ izgaranje prirodnog plina ispunjava većinu kriterija zakonskih regulativa emisija ispušnih plinova (gdje one postoje). Motori na dizel zahtijevaju kompleksna i skupa tehnička rješenja kako bi ispunili zahtjeve emisijskih regulacija. U nekim slučajevima razlike u cijenama između dizel motora koji zadovoljava propise i ekvivalentnog motora na prirodni plin su zanemarive. Također, raste naglasak na određenim kriterijima emisija, poput dušikovih oksida i čestica. U zemljama, gdje do nedavno nisu postojale zakonske regulative emisija ispušnih plinova, poput Kine i Indije, loša kvaliteta zraka dovela je do razvoja upotrebe goriva s čišćim izgaranjem, posebno prirodnog plina, u transportu robe i putnika (Bloomers i Oulette, 2013.).

4. SITUACIJA U EUROPI

Krajem 2016. godine u Europskoj uniji nalazilo se 25 većih terminala za uplinjavanje prirodnog plina, uz 4 manja, s ukupnim kapacitetima od otprilike 210×10^9 m^3 plina godišnje. Trenutno su u izgradnji kapaciteti za dodatnih 5 milijardi metara kubnih koji bi se ukapljivali u 2 velika terminala i 4 manja. Planirana je izgradnja još 23 velika i 4 manja UPP terminala (tablica 4-1). Izgradnja ovih terminala povećala bi kapacitet za uplinjavanje Europske unije za 126 milijarde metara kubnih godišnje, što bi prestavljalo povećanje od 60% u odnosu na postojeće kapacitete. Najveće kapacitete za uplinjavanje imaju Španjolska (69 milijarde kubnih metara godišnje), Ujedinjeno Kraljevstvo (48 milijarde kubnih metara godišnje), Francuska (34 milijarde kubnih metara godišnje), Italija i Nizozemska. Iz navedenog se vidi da je UPP najdostupniji u zemljama zapadne Europe, na obalama Atlantskog oceana (GIE, 2016.b). Što se tiče raspoloživosti UPP objekata, operativni veliki terminali dostupni su duž zapadne i južne europske obale kao i na Baltičkom moru od kraja 2014. godine. Sadašnje države koje imaju prihvat UPP-a su Litva, Ujedinjeno Kraljevstvo, Nizozemska, Belgija, Francuska, Portugal, Španjolska, Italija, Grčka i Turska. U bliskoj budućnosti svoj terminal za UPP će vjerojatno imati i Poljska. Što se tiče malih UPP terminala, svi terminali (operativni, u izgradnji, planirani) trenutno se nalaze u Sjevernoj Europi (GIE, 2016.b).

Tablica 4-1. Kapaciteti UPP terminala u Europi, postojeći, u izgradnji i planirani (GIE, 2016.b)

	Kapaciteti za uplinjavanje UPP-a (milijarde metara kubnih)	Kapaciteti u izgradnji (milijarde metara kubnih)	Kapaciteti u planu (milijarde metara kubnih)
Španjolska	69	3	5
Ujedinjeno Kraljevstvo	48		13
Francuska	34		11
Italija	15		32
Nizozemska	12		4
Belgija	9		
Portugal	8		
Poljska	5		14
Grčka	5	2	11
Litva	4		
Švedska	1		1
Hrvatska			12
Latvija			5
Estonija			5
Irska			3
Ukupno	211	5	116

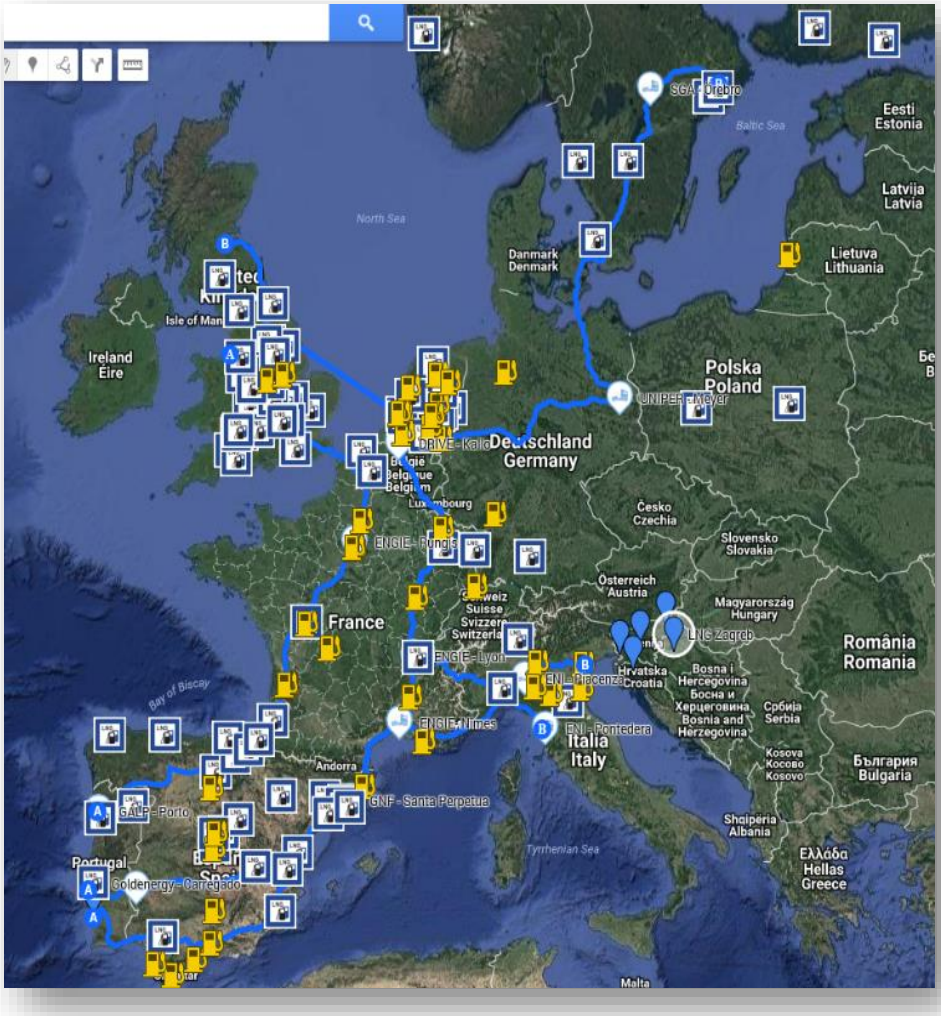
U Europi je u pogonu malo UPP kamiona u usporedbi s Kinom ili SAD-om, tek oko 1500. Također, u Europi se nalazi 100 UPP punionica za kamione i više od 30 punionica za brodove. UPP infrastruktura punionica najrazvijenija je u Sjeverozapadnoj Europi (Ujedinjeno Kraljevstvo, Nizozemska i Norveška) (GIE, 2016.a).

U 2016. godini 81% UPP-SPP punionica u Europi nalazilo se u Nizozemskoj, Ujedinjenom Kraljevstvu i Španjolskoj. U ostatku Europe izgradnja UPP i UPP-SPP postaja je započela 2014. godine. Situacija krajem 2016. godine je prikazana u tablici 4-2, a raspored postojećih punionica u Europi na slici 4-1 (žuto su označene punionice u izgradnji, dodatnim oznakam su označene planirane postaje u Sloveniji i Hrvatskoj do 2025. godine). Iz priloženog je vidljivo da na Jugoistoku Europe ne postoji infrastruktura za distribuciju UPP goriva u pomorskom i cestovnom transportu. Najveću penetraciju su NGV kamioni postigli na Islandu, više od 0,5% od ukupnog broja kamiona. Island, ipak

nema velik broj kamiona općenito, ali većinu plina dobiva iz bio-metana. Nakon Islanda, slijede Italija, Nizozemska i Švedska. U svim ostalim zemljama Europske unije i Europske slobodne trgovinske zone tržišna penetracija je manja od 0,05% ukupnog broja kamiona (GIE, 2016.b).

Tablica 4-2. Broj punionica u zemljama u kojima je izgradnja infrastrukture UPP goriva počela 2014. godine i planirane punionice

Država	Broj operativnih UPP punionica	Broj planiranih UPP punionica
Švedska	5	
Francuska	4	11
Italija	4	8
Poljska	2	
Belgija	2	
Norveška	1	
Njemačka	1	2
Slovenija		2
Hrvatska		1 (u drugom kvartalu 2018. godine)



Slika 4-1. Prikaz UPP Blue koridora duž Europe,(LNG Blue, 2016.)

Što se tiče UPP brodova, na početku 2017. g. ih je u Europskoj uniji bilo 100 operativnih, sa 72 koji su u izgradnji i daljnjih 101 koji su u planu. U isto vrijeme za te brodove postoji 57 postrojenja za punjenje spremnika goriva brodova. Ukupno se u Europskoj uniji nalazi 3408 punionica za vozila na prirodni plin koje opskrbljuju 1 315 787 vozila. Od toga je bilo 101 UPP postaja, što predstavlja povećanje od 348% u odnosu na 2013. godinu. Postoje predviđanja da će do 2030. godine u Europskoj uniji i Europskoj slobodnoj trgovinskoj zoni broj UPP vozila narasti do 400 000 od 2000 koliko ih je bilo u 2016. godini (European Commission, 2016.a).

Glavni ekološki cilj Europske unije je smanjenje globalne emisije stakleničkih plinova, a prometni sektor ima glavnu ulogu u postizanju tog cilja. Zapravo, Bijela knjiga o prijevozu Europske komisije (European Commision, 2016.a) predložila je smanjenje od

60% emisija stakleničkih plinova u prometu do 2050. godine, u usporedbi s razinama iz 1990. godine.

Prema istraživanjima (European Commision, 2016.a), korištenje prirodnog plina, vodika, električne energije, ukapljenog naftnog plina i bioplina za pokretanje vozila rješenja su koja daju najbolje rezultate za smjenjivanje emisija stakleničkih plinova. To će biti izvedivo kad se smanji ovisnost europskog prometa o derivatima nafte, a potom i uvede potrebna infrastruktura za primjenu alternativnih goriva. U 2012. godini u Europi je 94% transporta ovisilo o nafti, a 86% nafte je bilo uvezeno.

Prema Europskoj komisiji (European Commision, 2016.b) nedostatak infrastrukture za alternativna goriva je najveća prepreka kupnji vozila na alternativne pogone (engl. *Alternative Fuel Vehicle*, AFV). Vozila na alternativne pogone uključuju električna vozila, vozila na prirodni plin, vodik, biometan i ukapljeni naftni plin. Radi poticanja izgradnje infrastrukture alternativnih goriva, Europska unija je putem Direktive 2014/94/EU, ovlastila raspoređivanje infrastrukture alternativnih goriva. U tu svrhu su države članice Europske unije trebale definirati nacionalne ciljeve kako bi potaknule prodaju AFV-a, posebice električnih vozila (članak 4.), vozila na vodik (na dobrovoljnoj osnovi, članak 5.) i vozila s pogonom na prirodni plin (članak 6.).

Izgradnja infrastrukture za korištenje alternativnih goriva pridonijet će gospodarskom rastu i podržati otvaranje novih radnih mjesta u sektoru sve veće važnosti za Europu i širom svijeta. To će poboljšati konkurentnost industrije EU u području tehnologija alternativnih goriva za sve načine prijevoza, osobito u automobilskoj i brodskoj industriji (European Commision, 2016.b).

Izgradnja europske infrastrukture alternativnih goriva omogućit će i slobodnije kretanje roba i osoba diljem cijele Europske unije. To će olakšati razvoj jedinstvenog tržišta u Europskoj uniji za alternativna goriva i vozila koja će omogućiti industriji ekonomičniji transport.

Okvir politike u području alternativnih goriva uglavnom definira Europska unija posebice:

- Strategija Europa 2020 (2010.);
- Izvješće Europske ekspertne skupine o „budućim transportnim gorivima“ (prvo u siječanju 2012. godine, drugo u prosincu 2013. godine, i treće u srpnju 2015. godine);
- Bijela knjiga o prijevozu (2011. godine);

- Čisti energetski paket za transport (alternativna goriva za održivu mobilnost u Europi), COM 17 (2013. godine) i COM 18 (2013.);

Europska komisija je već postavila središnju referentnu točku za podatke, informacije i vijesti o alternativnim gorivima u Europi, što može pomoći državama članicama da postignu sukladnost s Direktivom 2014/94/EU (European Commision, 2016.a).

Iz tog razloga, komisija je uspostavila "Europski opservatorij za alternativna goriva " - web portal koji je pokrenut u veljači 2016. godine i ažurira se mjesečno. Opservatorij integrira sve relevantne statističke podatke o vozilima i infrastrukturi, relevantnim zakonima, programima podrške i poticaja, periodičnim analizama i općim informacijama kao što su vijesti i publikacije. Fokus je na električnim i hibridnim vozilima, te na prirodnom plinu i drugim alternativnim gorivima. Opservatorij će pomoći u podupiranju razvoja tržišta alternativnih goriva u EU i biti ključni alat za provedbu Direktive 2014/94/EU o raspoređivanju točaka punjenja alternativnim gorivom. Zajedničke strategije na europskoj razini mogu se uzeti u obzir za implementaciju nove infrastrukture za vozila s alternativnim gorivima. Posebno u vezi s razvojem UPP-a u Europi provedeni su glavni planovi kako bi stimulirali upotrebu alternativnih goriva u različitim granama prijevoza.

Kako bi se potaknulo raspoređivanje infrastruktura za alternativna goriva države članice mogu dodijeliti određeni proračun za raspodjelu infrastrukture alternativnih goriva. Države članice dužne su, putem svojih nacionalnih okvirnih politika, osigurati da odgovarajući broj točaka punjenja UPP-a bude uspostavljen do 31. prosinca 2025. godine, barem uz postojeću Transeuropsku transportnu mrežu (transportna mreža koji obuhvaća najvažnije željeznice, autoceste i plovne rijeke duž Europske unije) osim ako troškovi nisu nerazmjerni prednostima, uključujući naknade za zaštitu okoliša. Države članice osiguravaju, putem svojih nacionalnih okvirnih politika, da do 31. prosinca 2020. godine bude uspostavljen odgovarajući broj točaka dostupnih javnosti za opskrbu vozila na SPP kako bi SPP motorna vozila mogla voziti u urbanim i prigradskim aglomeracijama i drugim gusto naseljenim područjima i, gdje je to prikladno, u mrežama koje određuju države članice. Europsko udruženje za vozila pokretana prirodnim plinom (engl. *Natural Gas Vechicles Association Europe*, NGVA Europe) je 2013. godine u suradnji s Europskom komisijom pokrenulo projekt „LNG Blue Corridors“ s ciljem postavljanja UPP punionica duž četiri koridora koja bi pokrivala atlantsko i mediteransko područje te povezivala sjever Europe s jugom i istok sa zapadom. Određeni su koridori duž kojih se postavljaju punionice: MED-Blue (Sines Port-Venecija), Atlantic-Blue (Leca da Palmeira-

Edimbourg), SoNot-Blue (Lisabon-Stockholm) (LNG Blue, 2016.). Duž koridora planira se postaviti 14 novih punionica za UPP i izgraditi flotu od otprilike 100 teških vozila pokretanih UPP-om. Svrha ovog projekta je učvrstiti UPP kao prikladnu zamjenu za dizel.

Ovaj europski projekt je financiran kroz Sedmi okvirni program (FP7), u iznosu od 7,96 milijuna eura (ukupna ulaganja iznose 14,33 milijuna eura) i uključuje 27 partnera iz 11 zemalja. Od svakog je partnera zatraženo da dostavi informacije o tipu stanice (UPP ili UPP-SPP, stalna ili mobilna), procjenu mogućnosti provedbe, procijenjeni vremenski plan provedbe i kratke primjedbe za opisani scenarij. Svaki partner planira izgraditi trajnu stanicu s mogućnošću dispenzije i UPP-a i UPP-SPP-a. Iako su kapitalna ulaganja nešto veća postoje i brojne prednosti ovakvih punionica:

- Mogućnost dodatnog prihoda od usluživanja SPP vozila;
- Neka UPP vozila imaju i rezervne SPP spremnike;
- UPP-SPP stanice mogu UPP koji bude otparen preko punjenja pohraniti u SPP spremnik. Tako se gorivo, koje bi inače bilo otpareno u atmosferu može iskoristiti, istovremeno smanjujući negativni utjecaj na okoliš.

LNG Blue Corridors je Europska komisija ocijenila kao dobar primjer integracije među državama članicama (European Commision, 2016.b)

Europsko tržište za UPP gorivo za pomorski promet ograničeno je i infrastruktura gotovo ne postoji za transport i distribuciju manjih količina UPP-a. Tržište zahtijeva da luke imaju infrastrukturu za punjenje brodova UPP-om, dok luke očekuju dovoljnu potražnju za UPP-om prije nego krenu u izgradnju infrastrukture, što predstavlja začarani krug.

Neki od programa koje Europska komisija smatra poželjnim je LNG Rotterdam Gothenburg, kojemu je cilj razviti UPP infrastrukturu za UPP brodove u zemljama Sjeverne Europe. Postrojenje u Rotterdamu distribuira pohranjeni UPP u manjim količinama. Na ovom novom postrojenju mogu se opskrbiti i drugi UPP infrastrukturni objekti, a postoji mogućnost i prijevoza UPP-a kamionima cisternama prema drugim lukama gdje će puniti brodski spremnici ovim gorivom. Prvo mjesto gdje će se ovaj UPP distribuirati bit će Gothenburg (European Commision, 2016.b).

Još jedan od takvih projekta je i LNG Masterplan Dunav-Majna-Rajna. Ovaj projekt uključuje 12 zemalja Europske unije. Premda se ne nalazi na ovim rijekama, Italija također sudjeluje u ovom projektu kako bi stekla iskustva potrebna za provedbu sličnog projekta na rijeci Po. Cilj projekta je stvoriti razgranati lanac opskrbe UPP-om u prijevozu tereta na

ovim rijekama. LNG Masterplan je pripremljen da bi se omogućilo korištenje ovog goriva u sektoru pomorske i riječno-jezerske plovidbe. Projekt bi trebao omogućiti punjenje brodova duž plovnih rijeka između Sjevernog i Sredozemnog mora (European Commision, 2016.b).

Slični projekti na mediteranskoj obali Španjolske, u Dunkirk-u, na Crnom moru i drugdje su Europska komisija i Opservatorij za alternativna goriva ocijenili kao dobre primjere provođenja danih direktiva. Uz izgradnju infrastrukture i dobavnog lanca u svim većim europskim lukama, također se razmatra UPP kao alternativa u kranovima na terminalima.

Osim podrške pri izgradnji infrastrukture, neke države članice Europske unije pružaju pomoć u obliku poticaja za kupovinu teških vozila pokretanih UPP-om i drugih vozila na alternativne pogone.

U Njemačkoj se pri kupovini UPP vozila težeg od 16 tona može dobiti 18 000 €, s time da jedna prijevozna tvrtka može dobiti do 360 000 € poticaja godišnje. U Italiji se za isto takvo vozilo može dobiti 20 000 € poticaja, s maksimalnim poticajima od 600 000 € za jednu prijevoznu tvrtku godišnje. Prilikom kupnje manjih vozila na UPP ili SPP također se mogu dobiti poticaji, 3 500 € po vozilu od tri i pol do sedam tona, 8 000 € za vozila preko 7 tona. Za električna vozila od 3,5 do 7 tona poticaji su nešto veći i mogu iznositi do 10.500 € po vozilu (Medved, 2017.).



Slika 4-2. Punjenje brodskog spremnika direktno iz UPP cisterne (European Commision, 2016.b)

4.1. Stanje UPP vozila i drugih alternativnih goriva u Hrvatskoj

U RH ne postoji infrastruktura za UPP gorivo. Također, ne postoji niti jedno registrirano vozilo ili plovilo koje koristi ovaj energent. Nasuprot tome u 2016. godini bilo je registrirano 208 osobnih vozila, 84 teretna automobila, 10 mopeda, 6 motocikala, 108 autobusa te 11 traktora s pogonom na SPP, uz infrastrukturu od dvije punionice, u Zagrebu i u Rijeci (Narodne Novine, 2016.).

U 2016. godini u RH bila su registrirana 856 vozila koja koriste napajanje električnom energijom iz vanjskih izvora, od čega 299 osobnih vozila, 55 teretnih automobila, 250 mopeda, 183 motocikla, 3 autobusa, 66 traktora i necestovnih pokretnih strojeva, te je bilo dostupno nešto više od 126 javno dostupnih punionica (Narodne Novine, 2017.).

Visokonaponski kopneni priključci postoje na unutarnjim plovnim putovima, u lukama unutarnje plovidbe Vukovar i Sisak te u morskim lukama u Rijeci, Splitu i Dubrovniku. Postojeća opskrba električnom energijom u morskim lukama nije dovoljne snage za opskrbu brodova na kružnim putovanjima (Narodne Novine, 2016.).

Na svim hrvatskim međunarodnim zračnim lukama postoji opskrba električnom energijom zrakoplova u mirovanju (Narodne Novine, 2017.).

U RH je u 2016. godini bilo registrirano ukupno 57 911 vozila koja koriste pogon na ukapljeni naftni plin, od čega 56 914 osobnih vozila, 875 teretnih automobila, 8 mopeda i motocikla, 16 autobusa te 98 traktora i necestovnih pokretnih strojeva (Narodne Novine, 2017.).

Ukupan broj registriranih radionica za ugradnju i servisiranje plinskih instalacija u vozila u RH 2014. godine iznosio je 153, a broj punionica ukapljenog naftnog plina (u daljnjem tekstu UNP) iznosio je 334. U RH postoje tri pogona za proizvodnju biogoriva, od kojih dva pogona kao sirovinu koriste ulje uljarica, a jedan pogon koristi otpadno jestivo ulje (Narodne Novine, 2017.).

Biogoriva se u RH u najvećoj mjeri koriste umiješana u motorni benzin ili dizelsko gorivo u udjelu do 5%, odnosno 7% i takvo se gorivo ne mora posebno označavati na prodajnim mjestima (benzinskim postajama), stoga podatak o broju javnih punionica nije dostupan. Mješavine s 5-10% biogoriva u benzin, odnosno iznad 7% u dizelsko gorivo moraju se posebno označiti na prodajnim mjestima, a u RH takve mješavine koriste uglavnom prijevozničke tvrtke bilo u putničkom ili teretnom prijevozu i to kroz ugovore sa proizvođačima/trgovcima biogoriva (Narodne Novine, 2017.).

Hrvatski Sabor je, kako bi se uskladio sa Direktivom 2014/94/EU, donio Zakon o uspostavi infrastrukture za alternativna goriva 9.12.2016. godine. U trećem članku zakona definirani su pojmovi na koje se zakon odnosi te su UPP i SPP definirani kao alternativna goriva, uz vodik, ukapljeni naftni plin, biometan i slično. Četvrti članak nalaže da se osnuje Nacionalni okvir politike (u daljnjem tekstu NOP) u roku od šest mjeseci od stupanja na snagu (Narodne Novine, 2016.).

Zajednički okvir mjera za razvoj tržišta u pogledu alternativnih goriva u prometnom sektoru i za postavljanje odgovarajuće infrastrukture određuje se Nacionalnim okvirom politike, koji se donosi za razdoblje nakon 2016. godine do ispunjenja ciljeva za razvoj tržišta u pogledu alternativnih goriva u prometnom sektoru i za postavljanje odgovarajuće infrastrukture. NOP se prema zakonu bavi procjenama trenutačnog stanja i budućeg razvoja, određivanjem pojedinačnih i skupnih ciljeva, mjerama potrebnim za ostvarivanje ciljeva, određivanjem naselja, građevinskih područja naselja, odnosno gradskih/prigradskih aglomeracija, drugih gusto naseljenih područja i mreža koje, u skladu s potrebama tržišta, trebaju biti opremljene mjestima za opskrbu alternativnim gorivima, procjenama potrebe za instaliranjem mjesta za opskrbu alternativnim gorivima, usklađuje planove za razvoj infrastrukture alternativnih goriva s postojećim planovima i ostalim aktivnostima vezanim uz izgradnju infrastrukture alternativnih goriva. Prema zakonu „*Ministarstvo nadležno za promet uz suradnju s drugim javnim tijelima, na prijedlog nacionalnog koordinacijskog tijela, dostavlja Vladi Republike Hrvatske i Europskoj komisiji izvješće o provedbi NOP-a do 18. studenoga 2019. i potom svake tri godine*“.

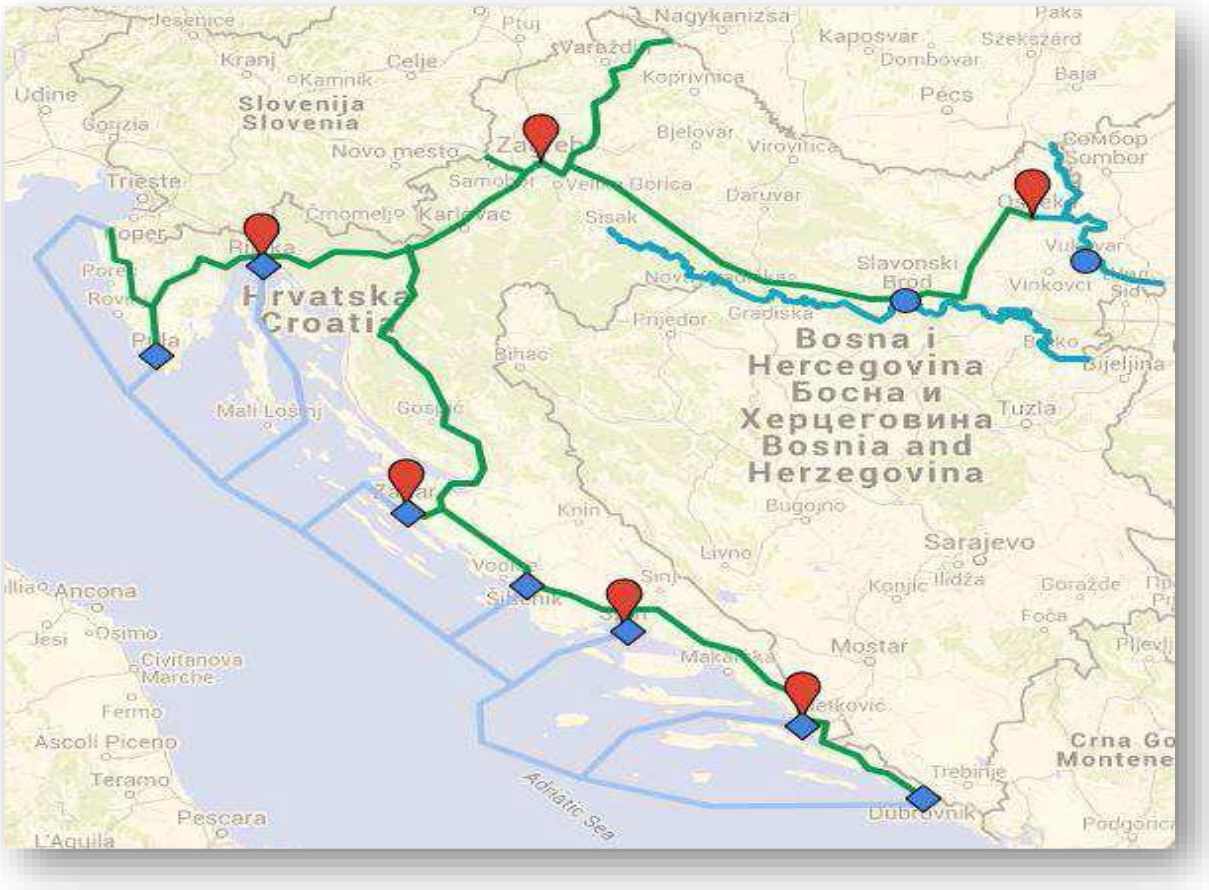
Osmi članak zakona se zasebno bavi prirodnim plinom, UPP-om i SPP-om, uspostavom odgovarajućih mjesta za opskrbom UPP-om u morskim lukama i lukama unutarnjih voda te u cestovnom prometu (osim ako troškovi nisu nesrazmjerni koristima, uključujući koristima za okoliš), postavljanjem distribucijskog sustava na prometnicama Republike Hrvatske, uključujući mjesta za pretankavanje UPP-a. Članak se također bavi i SPP infrastrukturom (Narodne Novine, 2016.).

Nacionalni okvir politike donesen je na sjednici vlade 6. travnja 2017. godine. Dio NOP-a koji se odnosi na uspostavu strukture UPP goriva za teška cestovna vozila nalaže: „*S ciljem omogućavanja prometovanja teških teretnih vozila po glavnim cestovnim prometnim pravcima RH, do 31. prosinca 2025. godine infrastruktura za opskrbu teških teretnih vozila UPP-om mora biti dostupna na rubnim dijelovima gradova Zagreba i Rijeke, a do 31. prosinca 2030. godine na rubnim dijelovima gradova Zadra, Splita, Ploča, Slavonskog Broda i Osijeka, osim ako se do 2020. godine za Zagreb i Rijeku i do 2025.*

godine za ostale nabrojane gradove ne pokaže potpuni nedostatak potražnje. U slučaju dovoljne potražnje, moguće je uz punionice na rubnim dijelovima gradova blizu autocesta predvidjeti i postavljanje mobilnih jedinica za opskrbu teretnih vozila UPP-om na autocestama".

Potrebna infrastruktura procijenjena je uzimajući u obzir potrebu osiguravanja mogućnosti prometovanja teških motornih vozila na UPP glavnim prometnim pravcima RH, uz naglasak na njihove dijelove koji čine dio osnovne mreže TEN-T te imajući na umu okvirni radijus teretnih vozila na UPP te postojeću infrastrukturu i prometnice RH (Narodne Novine, 2016.).

Prema NOP-u „*Cilj određivanja minimalne infrastrukture za opskrbu plovila/vozila UPP-om na teritoriju RH je stvaranje održivijeg pomorskog prometa, plovidbe unutarnjim plovnim putovima i cestovnog teretnog prometa te omogućavanje prometovanja plovilima i teškim teretnim vozilima na UPP po glavnim vodnim i cestovnim prometnim pravcima RH*". Slika 4-3 prikazuje raspored budućih punionica UPP-a na važnijim prometnim putevima u Hrvatskoj.Crvene oznake prikazuju lokacije planiranih punionica za cestovna vozila, a plave za plovila u morskim i riječnim lukama.



Slika 4-3. Raspored UPP punionica duž hrvatskih autocesta i u lukama do 2030. godine (Medved, 2017.)

5. OPIS PUNIONICE UPP-A ZA CESTOVNA VOZILA

UPP stanice mogu puniti spremnike sa samom kapljevinom (UPP), s plinom (UPP-SPP) ili s obje vrste goriva (UPP i UPP-SPP) stanice. Iako su stanice, koje mogu puniti i s UPP-om i SPP-om poželjne s tehnoloških i ekološkog stajališta (mogu poslužiti vozila koja koriste SPP kao i vozila koja koriste UPP i otpareni plin se ne mora ispuštati u atmosferu), velika početna ulaganja u ovakve stanice ih čine manje isplativijima. S druge strane, punionica koja puni obje vrste goriva može prodati gorivo većem broju vozila, smanjujući vrijeme povrata investicije.

Svaka od ovih punionica može biti izvedena u trajnoj, mobilnoj ili polu-mobilno konfiguraciji. Svaka konfiguracija ima svoje prednosti i mane. Trajne stanice su obično tehnološki najnaprednije i mogu podržavati opskrbljivati veći broj vozila. Mana trajnih punionica su veća početna ulaganja.

Mobilne stanice rade bez trajne infrastrukture osim izvora električne energije. Sposobnost ovakvih punionica da rade bilo gdje čini ih prikladnim za rad na područjima gdje još ne postoji potražnja za UPP-om. Niska cijena ovakvih punionica i mogućnost premještanja u područje s većom potražnjom smanjuje rizik investicije. Unatoč tome, punjenje traje duže nego kod trajnih punionica, ne može se puniti više od jednog kamiona istovremeno i imaju male prostore za skladištenje. Ako je potražnja velika, potrebna je česta isporuka UPP-a što čini logistiku skupom i kompliciranom.

Polu-mobilne konfiguracije mogu biti korištene kao privremena ili trajna rješenja. Ovakve stanice koriste mobilne spremnike UPP-a i jedan ili više trajnih dispenzera u modularnom formatu, što znači da se dispenzer, potrebne cijevi i električni instalacije mogu postaviti u jednom do dva dana) i mogu ponuditi brže punjenje od mobilnih punionica. U usporedbi s trajnim punionicama, spremnik je mali i inicijalna ulaganja su veća nego za mobilne stanice. Zbog toga se ovakav tip stanice rijetko rabi i nijedan od partnera LNG Blue se nije odlučio za ovakav tip postaje.

Idealni tip postaje ovisi o trenutnoj i predviđenoj potražnji za UPP-om i raspoloživoj tehnologiji. Zemlje koje imaju veće flote UPP kamiona i imaju neki oblik infrastrukture UPP punjenja već imaju uspostavljene rute, što čini odabir lokacije za trajnu postaju mnogo jednostavnijim.

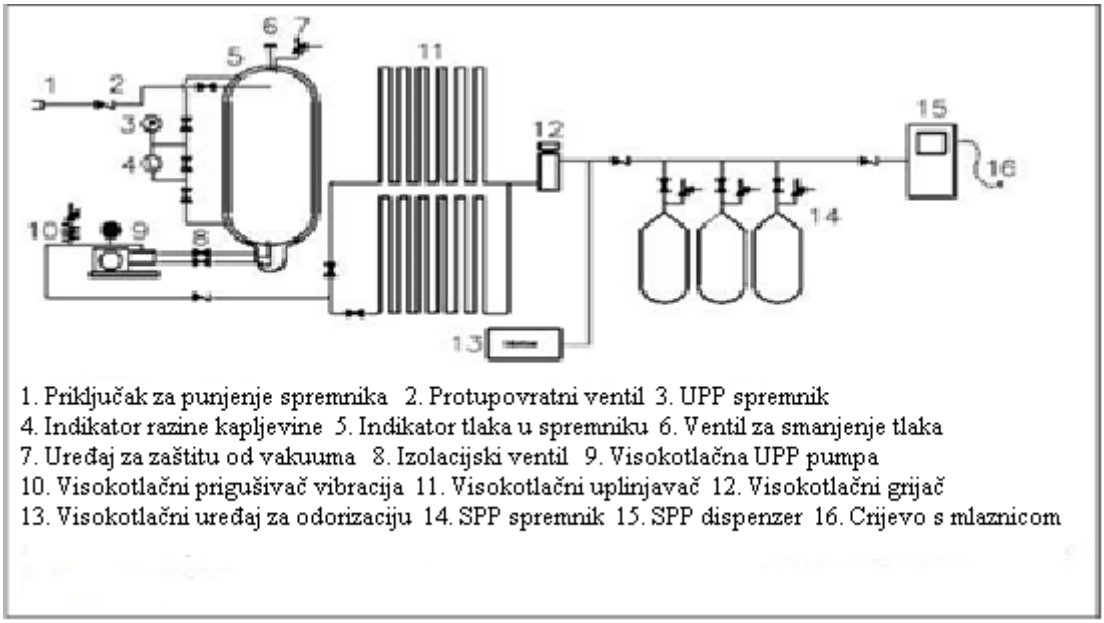
UPP stanice se u pravilu sastoje od (Gallego i Lebrarto, 2013.):

- Kriogenog spremnika za UPP, veličine od 60-70 m^3;

- Kriogene potopljene centrifugalne pumpe;
- Dispenzera s propisnim certifikatima, spojenih na sustav za naplaćivanje;
- Sustav hlađenja koji drži UPP hladnim i sprječava njegovo ispuštanje u atmosferu;
- Opreme za detektiranje curenja plina;
- Cjeloviti sustav kontrole koji podržava daljinski pristup;
- Opcionalno: sustav koji prevodi hladan tekući UPP u zasićeni UPP na višoj temperaturi UPP-SPP stanice;
- Uparivača;
- Jedinice za odorizaciju-sigurnosna mjera, olakšava detekciju curenja;
- Dispenzera za SPP.

Spremnik, zbog sigurnosnih razloga, može biti napunjen samo do 95% svog punog kapaciteta. Protok kriogene pumpe se obično kreće između 17 do 20 litara po minuti, s izlaznim tlakom od 350 bar i brzinom impelera od 450 r/min. Preko sustava kontrole, operator ima nadzor nad razinom kapljevine u spremniku UPP-a, temperaturom i tlakom spremnika, temperaturom voda za hlađenje, tlakom u vodovima i tlakom dispenzije UPP-a.

Izvođači dostavljaju podatke o zapremnini spremnika UPP-a, performansama crpki, tipu mlaznice i tlaku dispenzije, kao i detalje o UPP-SPP dispenziji, što uključuje „*ready fill*“ zapremninu za SPP i sposobnosti kompresora. Na slici 5-1 je skica UPP-SPP punionice.

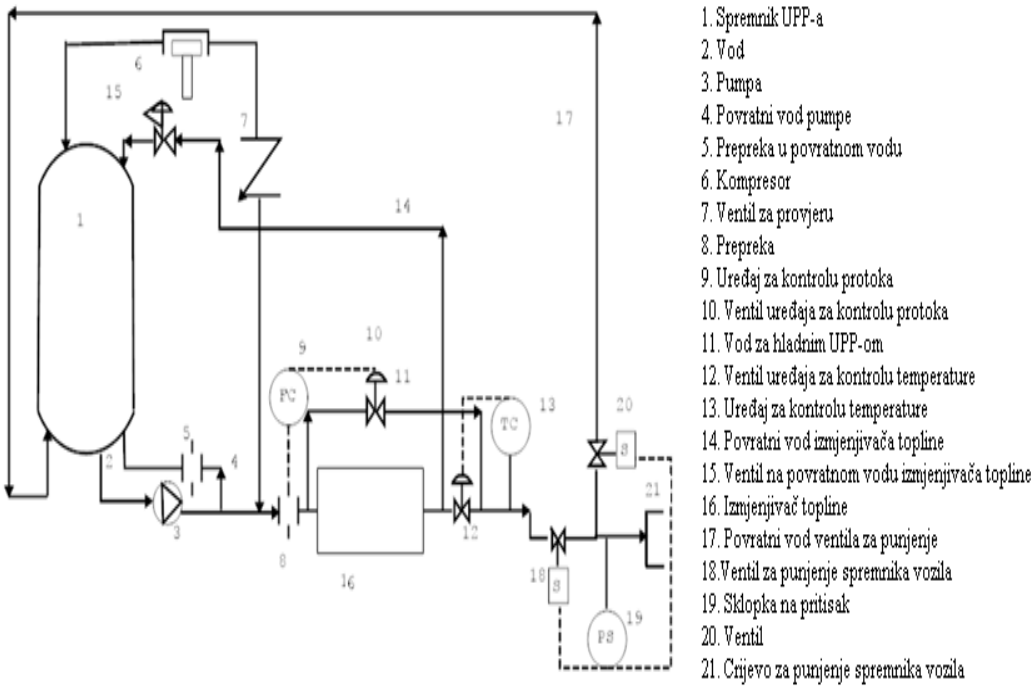


Slika 5-1. UPP-SPP punionica(Gallego i Lebrarto, 2013.)

Što se tiče mlaznica, potrebno je napomenuti da trenutno ne postoji standard mlaznice za UPP punionice. Još jedan problem je što mlaznice nisu kompatibilne s otvorima za punjenje spremnika. Postoje tri tipa mlaznica i otvora za punjenje spremnika JC Carter, Parker-Kodiak i Macrotech. JC Carter mlaznice su kompatabilne s JC Carter i Parker-Kodiak otvorima na spremniku, dok su ostale mlaznice kompatibilne samo s otvorima istog proizvođača.

5.1. Način rada UPP-a za cestovna vozila

Slika 5-2 prikazuje prvu iteraciju stanice za punjenje vozila kriogenim gorivima, patentiranu 30.6.1997. u Sjedinjenim Američkim Državama. Iz spremnika kriogenog goriva, UPP prolazi kroz izmjenjivač topline gdje se tlak i temperatura UPP-a povećavaju, alio ne iznad točke zasićenja. Nakon toga, ugrijani i stlačeni UPP puni spremnik u vozilu (Kooy i drugi, 1998.).



Slika 5-2. Skica sustava stanice za punjenje motornih vozila kriogenim gorivom. (Kooy i drugi, 1998.).

U dobro izoliranom primarnom spremniku, UPP se pohranjuje na relativno niskom tlaku (do 17,24 bar) i temperaturi u rasponu od 152 K do 115 K. Gornji dio spremnika je namjerno ostavljen prazan za prikupljanje para koje nastaju zbog toka topline u sam spremnik. Sam UPP se nalazi blizu točke vrenja.

Preko voda se UPP odvodi do pumpe. Pumpa može zahtijevati konstantan minimalni protok. Kada se vozilo ne puni, ventili nizvodno od pumpe su zatvoreni i UPP zasebnim vodom teče natrag u spremnik. Kad je vod nizvodno od pumpe zatvoren, protok kroz vod koji omogućuje stalnu cirkulaciju je otežan tako da je većina toka usmjerena prema izmjenjivaču.

Otpareni UPP se povlači s gornje strane spremnika pomoću kompresora. Otpareni UPP se odvodi u vod s tekućim UPP-om nizvodno od pumpe i uzvodno od kompresora. Pridruživanjem dvaju tokova doći će do kondenzacije para i manjeg povećanja temperature UPP-a.

Sustav uključuje i pregradu preko koje se mjeri protok UPP-a, koja je povezana s uređajem za kontrolu protoka. Preko ovog uređaja omogućuje se djelu kapljevine da zaobiđe izmjenjivač topline i time kontrolira tok preko pregrade. Uređaj za kontrolu

temperature također omogućuje miješanje tople i hladne kapljevine u određenom omjeru kako bi kapljevina imala idealnu temperaturu za daljnje vodove.

Kako UPP prolazi kroz izmjenjivač topline temperatura se može podići do željene sve dok temperatura u nizvodnim vodovima (gdje se miješaju ohlađeni i ugrijani UPP) ostaje u rasponu od 123 K i 185 K s odgovarajućim tlakom od 1,38 bar do 38 bar. Toplina potrebna za izmjenjivač se dobavlja iz okoliša ili ugrijanog zraka ili vode.

Nakon izmjenjivača topline i miješanja ugrijanog UPP-a s onim koji je zaobišao izmjenjivač, UPP teče kroz privremenu vezu između spremnika motornog vozila i voda.. Preko ove veze se spremnik puni (Kooy i drugi, 1998.).

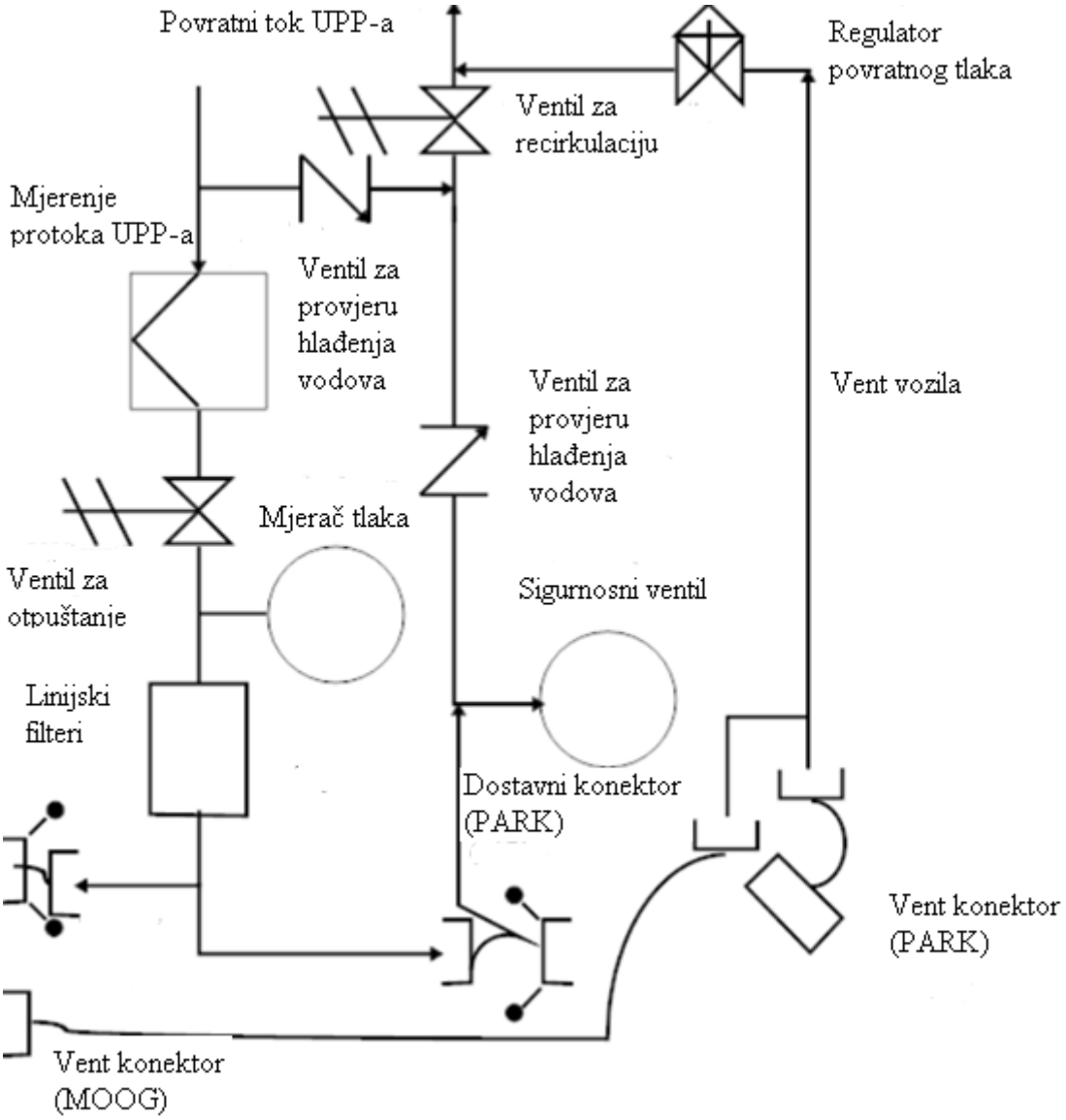
Uzvodno od veze s vozilom i nizvodno od miješanja UPP-a na različitim temperaturama, nalazi se vod s ventilima. Oba ventila se aktiviraju pomoću tlaka. Ako je tlak u crijevu (koji je jednak tlaku spremnika motornog vozila) veći od zadanog tlaka, ventil se otvara i omogućuje samo protok natrag u primarni spremnik. Ako je tlak manji, UPP teče u spremnik vozila (Kooy i drugi, 1998.).

Ovaj opis predstavlja samo opis osnovne opreme. U stvarnosti, osim dodatnih spremnika za povrat UPP-a, ako je tlak u crijevu prevelik, pripadajućih ventila i vodova može se ugraditi i brojna druga oprema.

5.2. Promjene svojstava kriogenog goriva tijekom rada i mirovanja stanice

UPP sustav punjenja, kao što je već spomenuto, sastoji se od spremnika, pumpi i dispenzera. U ovoj cjelini bit će ukratko opisano kako se mijenjaju agregatna stanja prirodnog plina u određenim cjelinama ovog sustava.

Veličina spremnika za UPP obično je u rasponu od 22 712 do 113 562 litara (6 000 do 30 000 galona). Unutrašnji dio spremnika se sastoji od čelika s 9% nikla i vanjskog djela od ugljičnog čelika, s dvostrukim stijenkama za učinkovitu izolaciju pod visokim vakuumom. Maksimalni radni tlak je obično ispod 17,24 bar-a. UPP pumpa je jedno ili više stupanjska pumpa uronjena u spremnik ili u zasebni, izolirani odjeljak i omogućuje trenutnu dobavu UPP goriva. Prikazani UPP modul dispenzera ima dvije vrste mlaznica za gorivo: MOOG i PARK. Dispenzer UPP-a sastoji se od sklopa upravljačkog ventila, volumetrijskog mjerača ili Coriolisovog masenog mjerača protoka i ventila za hlađenje recirkulacije (slika 5-3 i 5-4). Prije punjenja vozila UPP-om, crijeva i UPP dispenzer se ispiru UPP-om. Vrijeme hlađenja dispenzera može trajati do 5 minuta, osobito kad se punjenja odvijaju s velikim vremenskim odmakom (Chen i drugi, 2004.).



Slika 5-3. Skica UPP dispenzera goriva (Chen i drugi, 2004.)



Slika 5-4 UPP dispenzer za cestovna vozila (Gallego, 2014.)

Uplinavanje UPP-a u spremnicima može uzrokovati neželjeni porast tlaka. Uplinjavanje je uzrokovano prodorom topline u UPP gorivo tijekom skladištenja i punjenja.

Toplinski otpor stijenki spremnika može se prikazati preko sljedećih izraza (Chen i drugi, 2004.):

$$R = \frac{1}{Rm} + \frac{1}{Rs} \tag{5-1}$$

Gdje je:

R-toplinski otpor spremnika, (m^2K/W)

Rm-toplinska otpor višeslojne izolacije

Rs- toplinska otpor čelika

Toplinski otpor izolacije se izračunava na sljedeći način (Chen i drugi, 2004.):

$$Rm = \frac{\Delta h}{km*S} \tag{5-2}$$

Gdje je:

Δh-debljina stijenke (m)

km-toplinska vodljivost višeslojne izolacije (W/mK)

S-površina (m^2)

Toplinski otpor čelika je dobiven iz njegove debljine, toplinske vodljivosti i površine presjeka (Chen i drugi, 2004.):

$$Rs = \frac{\Delta h}{ks * Ss} \quad (5\text{-}3)$$

Ss-površina presjeka (m^2)

ks toplinska vodljivost čelika (W/mK)

Protok topline se izračunava pomoću sljedećeg izraza(Chen i drugi, 2004.) :

$$q = \frac{\Delta T}{R} = \Delta T * \left(\frac{kmS}{\Delta h} + \frac{ks*Ss}{\Delta h}\right) = \Delta T * \frac{km*S+ks*\alpha*S}{\Delta h} = \Delta T * (km + ks * \alpha) * \beta * \frac{V}{\Delta h} \quad (5\text{-}4)$$

Gdje je:

q-toplinski tok (W)

T-temperatura (K)

α je važan faktor, a on predstavlja omjer između površine presjeka i ukupne površine spremnika (Chen i drugi, 2004.):

$$\alpha = \frac{Ss}{S} \quad (5\text{-}5)$$

Gdje je:

α-omjer između površine presjeka i ukupne površine

Omjer između površine i volumena (Chen i drugi, 2004.):

$$\beta = \frac{S}{V} \quad (5\text{-}6)$$

Gdje je:

β-omjer površine i volumena, S/V, (1/m)

V-volumen (m^3)

Razlika u temperaturama okoline i unutrašnjosti spremnika (Chen i drugi, 2004.):

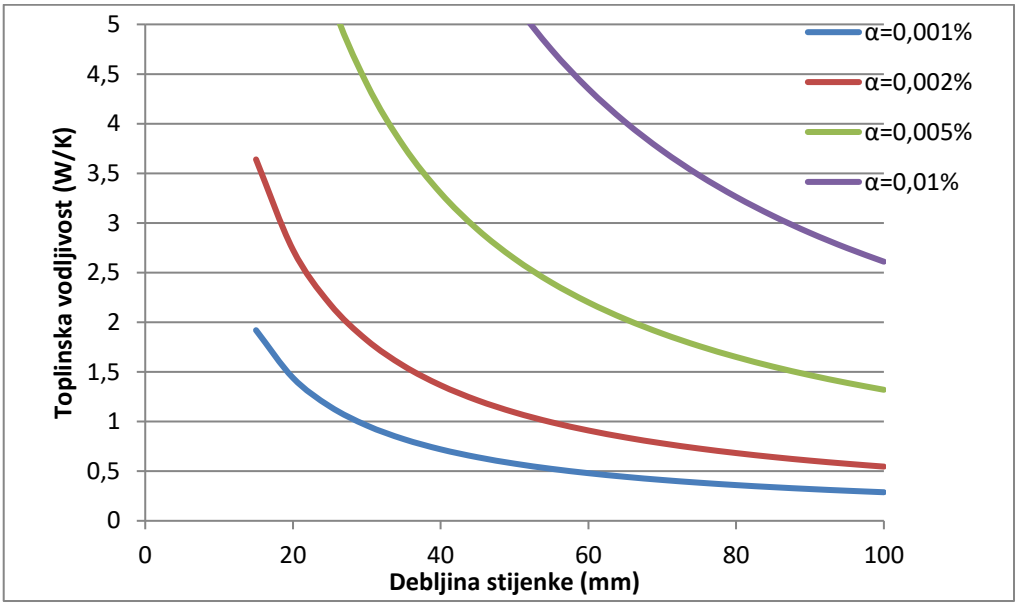
$$\Delta T = Tamb - T \quad (5\text{-}7)$$

Gdje je:

ΔT-razlika temperature (K)

Tamb-temperatura okoline

Ovisnost toplinske vodljivosti i debljine stijenke spremnika ovisno o faktoru α prikazani su na slici 5-5.



Slika 5-5. Ovisnost toplinske vodljivosti i debljine stijenke u (mm) za naznačene α. β faktor je 2, a volumen spremnika iznosi 30 m^3

Tijekom svakog dana, određeni dio ukapljenog goriva prijeđe u plinovito stanje. Udio otparenog plina može se izračunati na sljedeći način (Chen i drugi, 2004.):

$$r = \frac{m1}{V*\rho} = \Delta T * (km + ks * \alpha) * \beta / (\rho * \Delta h * (hg - hl)) \qquad (5\text{-}10)$$

Gdje je:

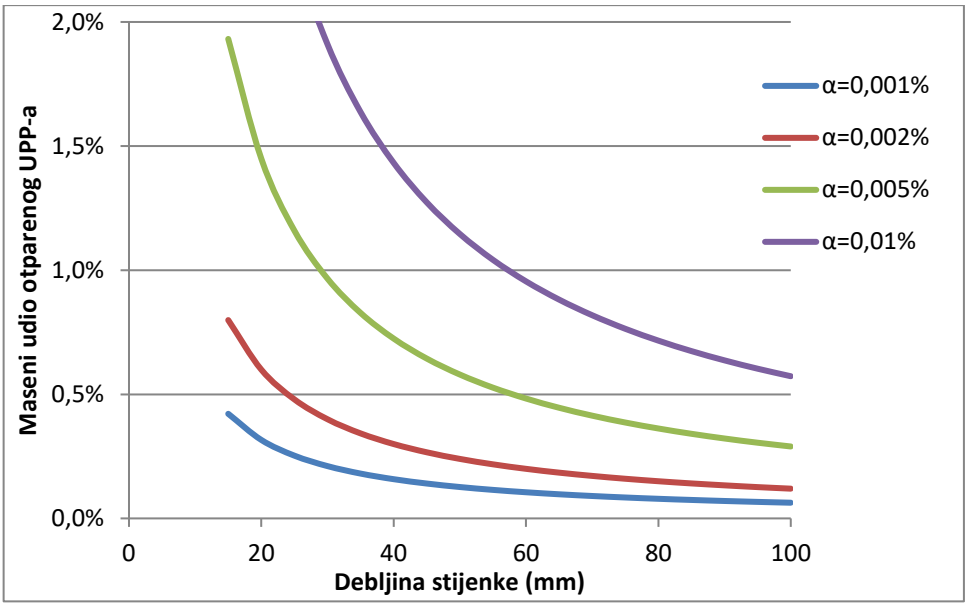
r-maseni udio otparenog goriva tijekom dana (%)

m1-masa otparenog goriva (kg)

hg-entalpija metana u plinovitom stanju (J/kg)

hl-entalpija tekućeg metana (J/kg)

Ovisnost masenog udjela otparenog goriva po danu, ovisno o debljini stijenke prikazana je na slici 5-6.



Slika 5-6. Ovisnost masenog udjela otparenog plina o debljini stijenke za različiti α. β faktor je 2, a volumen spremnika iznosi 30 m^3

Prije punjenja vozila, vodovi dispenzerskog modula moraju biti ohlađeni cirkulacijom UPP-a. Kao primjer crijevo dužine 3,66 metara, radijusa 0,016 metara i debljine 38 milimetara treba do 5 minuta da se ohladi i napuni spremnik vozila kapaciteta 567 litara preko mlaznice Moog LNG od 11,36 m^3/h. Ukupna količina otparenog plina pri punjenju vozila je zbroj mase otparenog goriva koje se vraća iz spremnika vozila, mase otparenog goriva pri hlađenju vodova i dispenzera, te mase otparenog plina zbog curenja topline u vodove i dispenzer (Chen i drugi, 2004.).

Otparivanje UPP-a može se podjeliti na nekoliko stavki (Chen i drugi, 2004.) :

$$m = m2 + m3 + m4 \tag{5-11}$$

Gdje je:

m-masa ukupnog otparenog goriva (kg)

m2-masa otparenog goriva koje se vraća iz spremnika vozila (kg)

m3- masa otparenog goriva pri hlađenju vodova i dispenzera (kg)

m4-masa otparenog goriva zbog toplinskog curenja (kg)

Masa otparenog goriva tijekom hlađenja se može izraziti kao (Chen i drugi, 2004.):

$$m3 = cp * \Delta T * \frac{ms}{hg-hl} \tag{5-12}$$

Gdje je:

cp-specifična toplina čelika (480 J/kgK)

ms-masa čelika (kg)

Masa otparenog goriva zbog curenja topline iznosi (Chen i drugi, 2004.):

$$m4 = \frac{q}{hg-hl} \tag{5-13}$$

$$q = \frac{\Delta T}{R} \tag{5-14}$$

Gdje je:

q-protok topline (W)

R-toplinski otpor

Gubitci otparenog goriva se smanjuju s brojem vozila koja se pune svaki dan. U spremniku od 49 210,35 l (13 000 galona) i toplinske vodljivosti od 2 W/mK s punjenjem dva autobusa dnevno, svaki dan otpari 19,5 kg goriva. U slučaju da se svaki dan pune četiri autobusa, gubitci se smanjuju na 3,4 kg dnevno. Ventiliranje goriva može se izbjeći u slučaju punjenja pet autobusa dnevno, ili u slučaju kad bi toplinska vodljivost spremnika iznosila 1 W/mK (Chen i drugi, 2004.).

Otpareni plin se može koristi za napajanje električnog generatora ili može biti ponovo ukapljen. Pošto većina industrijskih ukapljivača ima veći minimalni kapacitet od količine otparenog plina, pa je proizvodnja električne struje izgaranjem otparenog plina ekonomičnija opcija (Chen i drugi, 2004.).

5.3. Ekonomski aspekti punionica za UPP cestovna vozila

Neki ekonomski aspekti stanice za punjenje UPP i UPP-SPP nisu vezani uz tehnologiju ni lokaciju, kao što su:

- Radovi i usluge: razvoj projekta, projektiranje, menadžment, vanjska pomoćna oprema;
- Sustavi daljinskog upravljanja i sustav naplaćivanja;
- Pomoćna postrojenja i usluge: ventilacija i odvodnja, vatrogasna zaštita, komprimirani zrak, zaštita posjeda i slično.

Neki od troškova koji ovise o tipu izabrane tehnologije i lokacije, te mogu biti manji ako se radi na već postojećoj stanici su (Mariani, 2016.):

- Kupovina zemljišta, raščišćavanje zemljišta, izrada pristupa punionici;
- Radovi na prenamjeni postojeće punionice;
- UPP sustav utovara i skladištenja;
- UPP pumpe i sustav obrade UPP-a;
- SPP sustavi na UPP-SPP punionicama: sustavi uplinjavanja, kompresije, odorizacije i skladištenja;
- Dispenzeri za UPP i SPP;
- Električne instalacije;
- Vodovod i odvodnja.

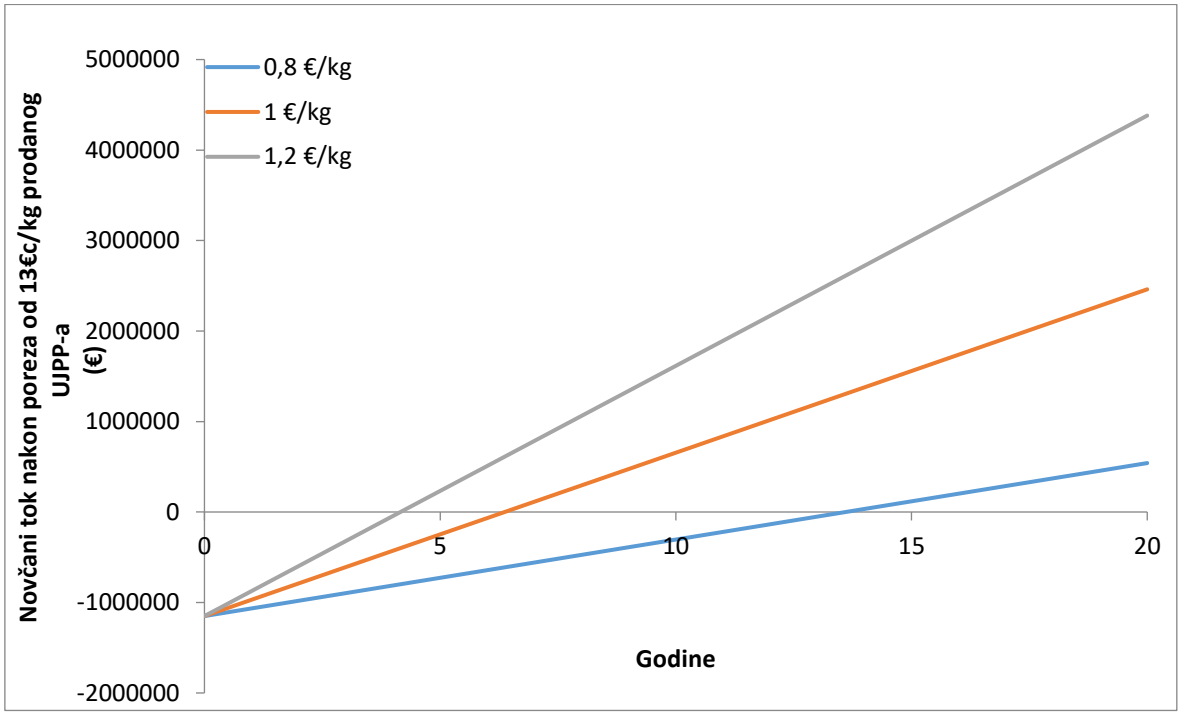
Zbog premalog broja punionica ne postoje precizni podaci o cijenama operativnih troškova UPP-SPP stanice. Prema dostupnim podatcima i procjenama, osnovna vrijednost punionice bi mogla iznositi do 1 150 000 eura (Mariani, 2016.). U ovaj model nije uračunato da bi se tijekom tog razdoblja, moglo pristupiti daljnjem modularnom razvoju stanice. Generalno, dodatni moduli bi mogli povećati profitabilnost stanice te bi se mogli lako dodati ili ukloniti.

Troškovi vođenja i poslovnog upravljanja procijenjeni su na 20.000 eura godišnje. U nekim slučajevima cijena je bila znatno veća, čak 2000 eura mjesečno (Mariani, 2016.).

Što se osoblja tiče, potreban je jedan zaposlenik više nego za benzinske i dizel stanice. Troškovi osoblja ovise i o državi u kojoj se punionica nalazi. Prosječni troškovi koji su razmatrani su 17 000 eura godišnje po zaposleniku. Punionica s jednom vrstom goriva može biti potpuno samoposlužna i ne zahtijevati osoblje. Drugačije punionice trebale bi minimalno dvije do tri osobe. U analizu *LNG Blue Corridors*-a uzete su dvije osobe, s ukupnim troškovima od 35 000 eura godišnje. Operativni troškovi električne energije procijenjeni na temelju podataka partnera *LNG Blue Corridors*-a iznosili su 2000 eura godišnje, pri 63 000 prodanih kilograma UPP-a (0,32 eura po kilogramu) i industrijskoj cijeni električne energije od 0,128 eura po kWh (Mariani, 2016.). Prilikom izračuna cijene prirodnog plina uzete su u obzir dvije stavke, nabavna cijena i troškovi transporta. Ukupna cijena prirodnog plina i transporta se kretala između 0,29 eura po kilogramu i 0,36 eura po kilogramu. Za proračun je uzeta cijena od 0,29 €/kg. Valja napomenuti da su neki partneri *LNG Blue Corridors* kupovali UPP po cijeni od 0,206 €/kg.

Podatci o troškovima održavanja punionice jako variraju. Mjesečni troškovi održavanja su bili praćeni na pet različitih punionica, s različitim razdobljima praćenja od 12 do 22 mjeseca. Pretpostavljeno je za prvi proračun da se svaki mjesec proda 40 000 kg UPP-a po

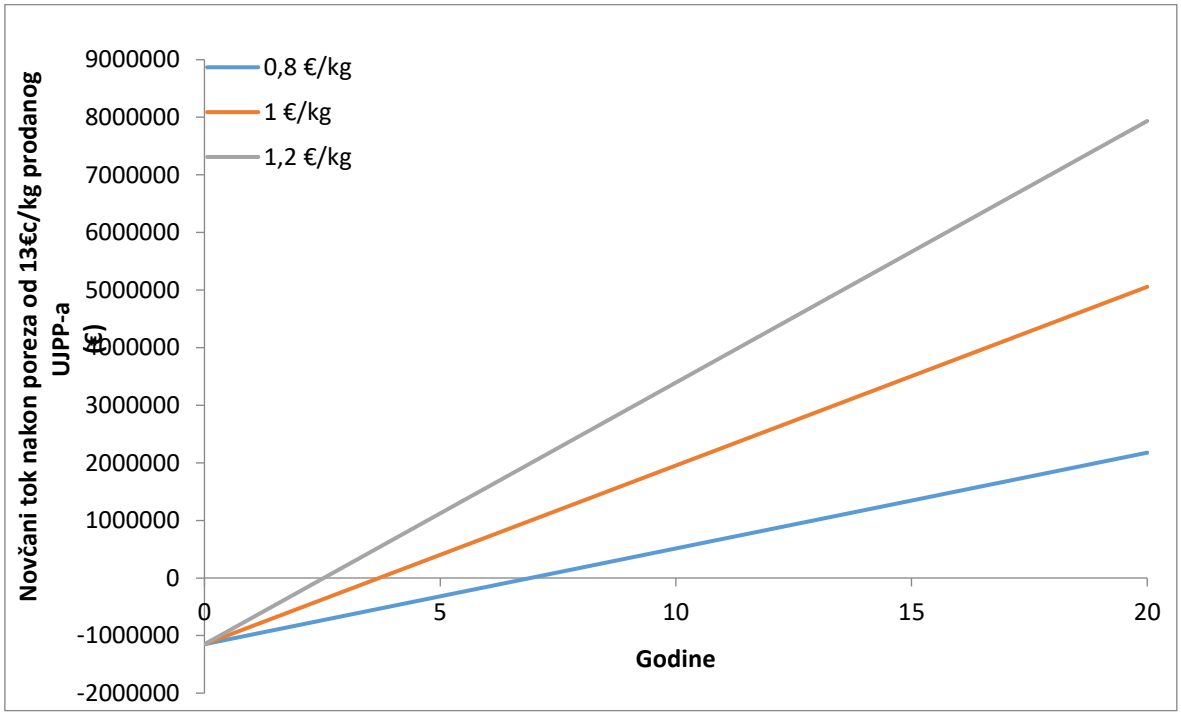
tri različite cijene 0,8 €/kg, 1 €/kg i 1,2 €/kg. Pretpostavljeni porez na gorivo iznosio je 13 euro centa po kilogramu UPP-a. Diskontna stopa za ovaj i za druge slučajeve je 4%. Slika 5-7 i tablica 5-1 pokazuju rezultate analize za 40 000 prodanih kg mjesečno. Slika 5-8 i tablica 5-2 prikazuju rezultate analize u slučaju prodaje 60 000 kg mjesečno a slika 5-9 i tablica 5-3 prikazuju analizu u kojoj je prodano 80 000 kg mjesečno.



Slika 5-7. Novčani tok u slučaju prodaje 40 000 kg UPP-a mjesečno

Tablica 5-1. Indikatori isplativosti u slučaju prodaje 40 000 kg UPP-a mjesečno

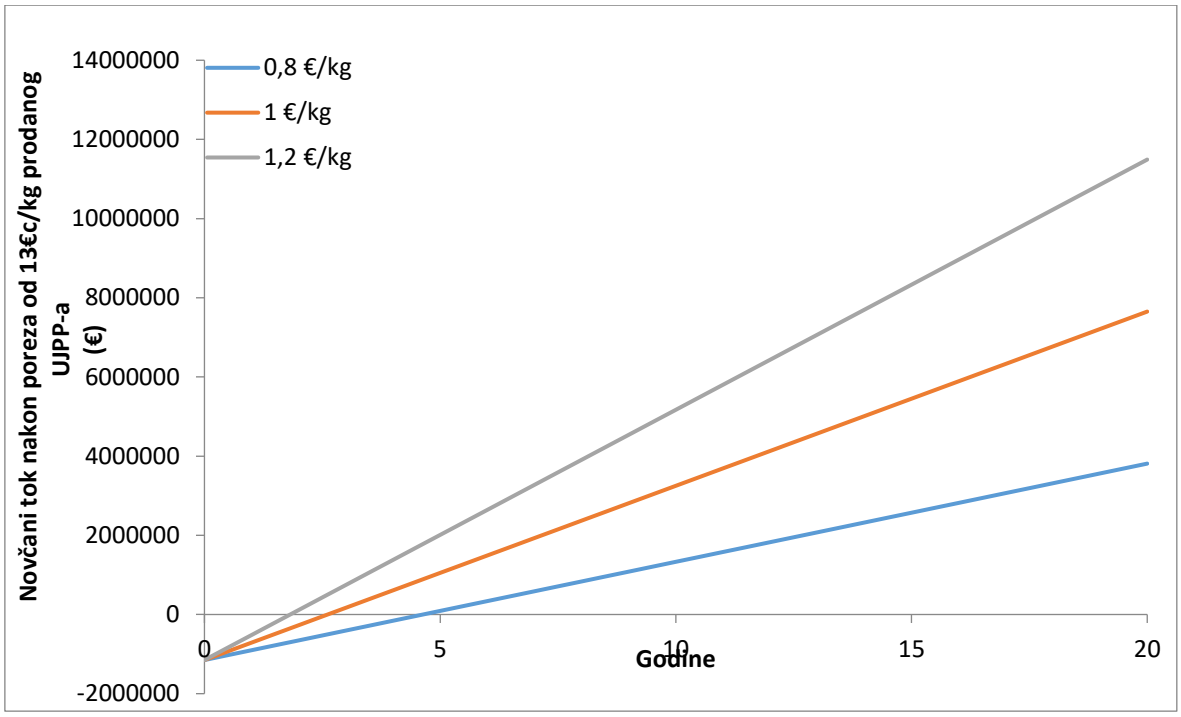
Cijena	Neto sadašnja vrijednost (€)	Interna stopa rentabilnosti	Godina otplate
0,8 €/kg	-1 080,03	3,99%	13,6
1 €/kg	1 205 335	13,94%	6,37
1,2 €/kg	2 796 365	32,42%	4,16



Slika 5-8. Novčani tok u slučaju prodaje 60 000 kg UPP-a mjesečno.

Tablica 5-2. Indikatori isplativosti u slučaju prodaje 80 000 kg UPP-a na mjesec

Cijena	Neto sadašnja vrijednost (€)	Interna stopa rentabilnosti	Godina otplate
0,8 €/kg	1 067 435,62	13%	6,91
1 €/kg	2 949 173,11	27%	3,7
1.,2 €/kg	5 119 372,15	53%	2,53



Slika 5-9. Novčani tok u slučaju prodaje 80 000 kg UPP-a mjesečno

Tablica 5-3. Indikatori isplativosti u slučaju prodaje 80 000 kg UPP-a na mjesec

Cijena	Neto sadašnja vrijednost (€)	Interna stopa rentabilnosti	Godina otplate
0,8 €/kg	2 135 951,27	21%	4,64
1 €/kg	4 644 934,6	38%	2,61
1,2 €/kg	7 442 379,46	74%	1,82

Porez i operativni troškovi prilagođeni su količini plina namijenjenoj za prodaju. Ovi slučajevi su konzervativno procijenjeni i ostavljaju dosta mjesta za spekulaciju i daljnja razmatranja isplativosti. Ipak treba napomenuti da su zbog tih mogućnosti neki troškovi pretpostavljeni veći nego što bi bi bilo realistično (poput osnovnih troškova i cijene nabave goriva koja je uzeta kao 2,9 €/kg premda su neki operatori nabavljali UPP po cijeni od 2,06 €/kg).

5.4. Regulacije i standardi UPP-a za cestovna vozila

Ovaj segment razmatra regulative i standarde Europske unije koji su vezani specifično uz UPP punionice. Osim navedenih standarda i regulativa potrebno je primijeniti čitav niz zakonskih propisa.

ISO 16924: 2016 (EVS, 2016.b) specificira projektiranje, izgradnju, rad, održavanje i pregled punionica za punjenje vozila ukapljenim prirodnim plinom, uključujući opremu, sigurnosne i upravljačke uređaje.

ISO 16924: 2016 (EVS, 2016.b) također specificira projektiranje, izgradnju, rad, održavanje i pregled punionica za korištenje UPP-a, punionica za korištenje SPP-a (UPP-SPP), uključujući sigurnosne i upravljačke uređaje punionice i specifičnu opremu UPP-SPP punionice. Posebnu SPP opremu regulira ISO 16923.

ISO 16924: 2016 (EVS, 2016.a) primjenjuje se na postaje koje primaju UPP i druge plinove s ukapljenim metanskim gorivima koji su u skladu s lokalnim propisima o sastavu plina ili sa zahtjevima kvalitete plina ISO 13686

ISO 16924: 2016 (EVS, 2016.b) uključuje svu opremu od priključka za punjenje UPP spremnika do mlaznice za ulijevanje goriva u vozilo.

Standard ISO 16924: 2016 je izdala Internacionalna Organizacija za Standardizaciju u prosincu 2016. i prolazi kroz revizije svakih pet godina. Prema ovom standardu punionica mora biti izgrađen tako da su u obzir uzete promjene tlaka, temperature i vremena koje bi se mogle očekivati tijekom normalnog rada ili vanrednih okolnosti i u skladu sa zahtjevima standarda kriogene opreme. Određeno je da barem jedna kvalificirana osoba (obično vozač UPP cisterne) mora nadzirati dva, nepovezana sustava mjerenja razine UPP-a preko sučelja, da se spremnik ne bi previše napunio i da ne bi došlo do prevelikog tlaka. Standard također opisuje dizajn ventila, temelja i vodova spremnika kriogenog UPP goriva. Sustav vodova spremnika mora biti od nehrđajućeg čelika i prikladan za servis na temperaturi od -196 ^{o}C. Centrifugalna pumpa za UPP mora biti u skladu ISO 24490 i ISO 13709. Za recipročne pumpe također vrijedi standard ISO 24490 i trebaju biti projektirane tako da ne dolazi do vibracija i pulsacija. Proces odorizacije mora biti nadziran, a sredstvo za odorizaciju može varirati ovisno o državnim regulacijama te aparatura i procesi moraju biti usklađeni s državnim regulacijama. Kompresori se trebaju pridržavati standarda ISO 16923. Kod projektiranja ventila treba uzeti u obzir specifične probleme poput toplinskog stresa i pridržavati se standarda ISO 21011 (Desrumax, 2014.).

Prema ISO 16924 gašenje sustava u slučaju nužde trebalo bi se provoditi u slučaju:

- Ispuštanja plina;
- Pojave plamena;
- Niske temperature temelja;
- Zatajenja električne mreže ili dijela opreme;
- Ručnog uključivanja gašenja sustava.

Kad je sustav ugašen iz sigurnosnih razloga trebali bi se aktivirati zvučni i vizualni signali.

Električna oprema treba se pridržavati normi poput IEC 60204-1, IEC 60079-14, IEC 62305 i drugih. Električna oprema treba biti izolirana od zona u kojima je moguća prisutnost zapaljivih plinova i kapljevina. Prilikom instalacije posebna je pozornost posvećena varenju, koje zahtjeva certificirane profesionalce i treba biti obavljeno u skladu s ISO 15609-1 ili ISO 15609-2 (Desrumax, 2014.).

Sva oprema pod tlakom treba redovito biti vizualno pregledana i testirana na tlak od strane ovlaštene osobe.

Pošto se UPP gorivo još ne upotrebljava u mnogim državama Europe, velik broj zemalja Europske unije još nema regulative koje se specifično odnose na UPP (Desrumax, 2014.).

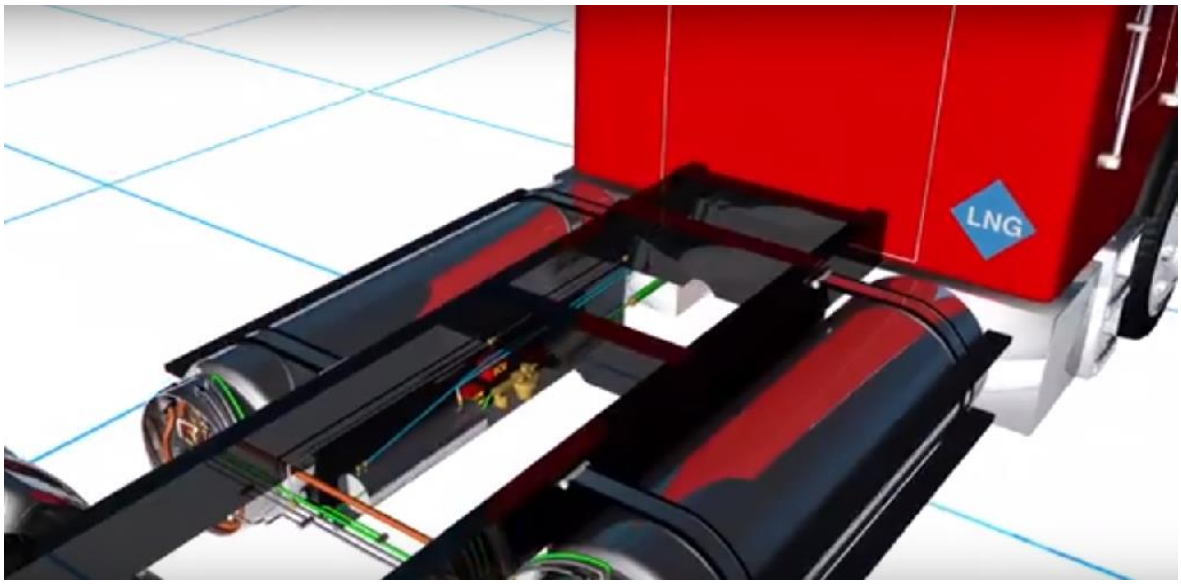
6. SUSTAV VOZILA NA UPP GORIVA

Ovo poglavlje bavi se dijelovima sustava goriva specifičnim za vozila na UPP. Neki od težih UPP kamiona dostupnih na europskom tržištu su Iveco Strails Natural Power (slika 6-1), Volvo FM Methane Diesel i Hardstaff Merceds Benz Actros.



Slika 6-1. Iveco Strails Natural Power, 330 konjskih snaga (FavCars.com, 2012.)

Većina kamiona ima nekoliko paralelnih spremnika UPP goriva postavljenih slično kao i klasični dizel spremnici (engl. *siderail*), što se može vidjeti na slici 6-2. Izrađeni su od nehrđajućeg čelika. Nekoliko spremnika je postavljeno da paralelno djeluju. Operator ih ne mora zasebno puniti. Sustav ima jednu vezu za dobavu goriva i jednu vezu za ventiliranje prema punionici. Drugi dijelovi sustava uključuju isprepleteni sustav cijevi i vodova, izmjenjivač topline (uplinjač) i nekoliko uređaja za kontrolu goriva poput ventila za automatski prekid dobave goriva, regulator tlaka, pokazivača razine goriva u spremniku, smještenog u kabini, kao i lampice koje će se upaliti u slučaju niske temperature ili niskog tlaka u spremniku. Neki sustavi rabe pumpe, a neki, poput sustava *Agility Fuel Solutions*, rabe tlak samog spremnika kako bi uspješno opskrbljivali motor potrebnim gorivom, za što je potreban nabijač tlaka za hladna goriva kako bi sustav imao dovoljan tlak za učinkovitu dobavu goriva motoru.



Slika 6-2. Sustav UPP goriva sa dva spremnika na kamionu (Agility systems, 2014.)

Iako je spremnik dobro izoliran, ulazak topline će uzrokovati dodatni porast tlaka u spremniku (0,69 -1,03 bar po danu, za Agility sustav) i temperature (1,7-2,8 K po danu). Regulatori tlaka moraju spriječiti da tlak spremnika preraste 15,86 bar, kao i da tlak dobave ne prijeđe 10,34 bar. Spremnik se sastoji od unutarnjeg i vanjskog dijela. Unutarnji spremnik je obložen s nekoliko slojeva izolacija, a između dva spremnika je vakuum. Na stražnjoj strani se nalazi čep otvora za pražnjenje. Unutar spremnika nalazi se dodatna komora koja omogućuje povećanje volumena goriva. Spremnik se puni preko zasebnog otvora i kao što je prethodno opisano, mora biti spojen na mlaznicu punionice posebnom bravom.

Nepovratni ventil na spremniku onemogućuje ispuštanje goriva u slučaju da dođe do oštećenja spremnika. Regulator tlaka na spremniku omogućava dobavu iz spremnika kada je vozilo uključeno. Regulator dobavlja paru kada je tlak u spremniku iznad 8,3 bar ili kapljevinu kad je tlak manji od 8,3 bar. Kad se iz spremnika povlači para, tlak u spremniku pada, kad se iz spremnika povlači kapljevina tlak se održava. Kako tijekom vremena u spremnik ulazi toplina, stvaranjem pare raste tlak u spremniku. Povlačenjem pare iz spremnika na većim tlakovima sprječava se da tlak prijeđe zadanu veličinu. Ventil za isključivanje omogućuje izolaciju spremnika tijekom servisa, ali ostaje otvoren kad je vozilo u upotrebi ili na raspolaganju. Na spremniku se nalazi i ventil za povratak pare u stanicu tijekom punjenja.

Senzor nivoa kapljevine nalazi se u spremniku. Spremnik šalje signal elektroničkoj kontrolnoj jedinici, koja ga dalje prenosi do pokazivača razine goriva u vozačevoj kabini.

Spremnik je također opremljen s dva ili više indikatora tlaka. Primarni i sekundarni ventili za rasterećenje sprječavaju da tlak unutar spremnika prijeđe 15,86 bar. Ako je tlak unutar spremnika veći od 15,86 bar, ventil će se otvoriti i pustiti višak pare. Sekundarni ventil se ne otvara do 24,13 bar. Ako se tijekom rada ili servisa sekundarni ventil ošteti ili izgubi, spremnik se ne može smatrati sigurnim za rad.

Izmjenjivač topline služi za pretvaranje ukapljenog goriva u plin koji je potreban za rad motora. Nakon izmjenjivača topline nalazi se ventil za automatsko isključivanje Prije nego što uplinjeno gorivo uđe u motor, ono mora proći kroz regulator koji sprječava da tlak goriva koji ulazi u motor ne prijeđe 10,34 bar (Neeser i drugi, 1992.).

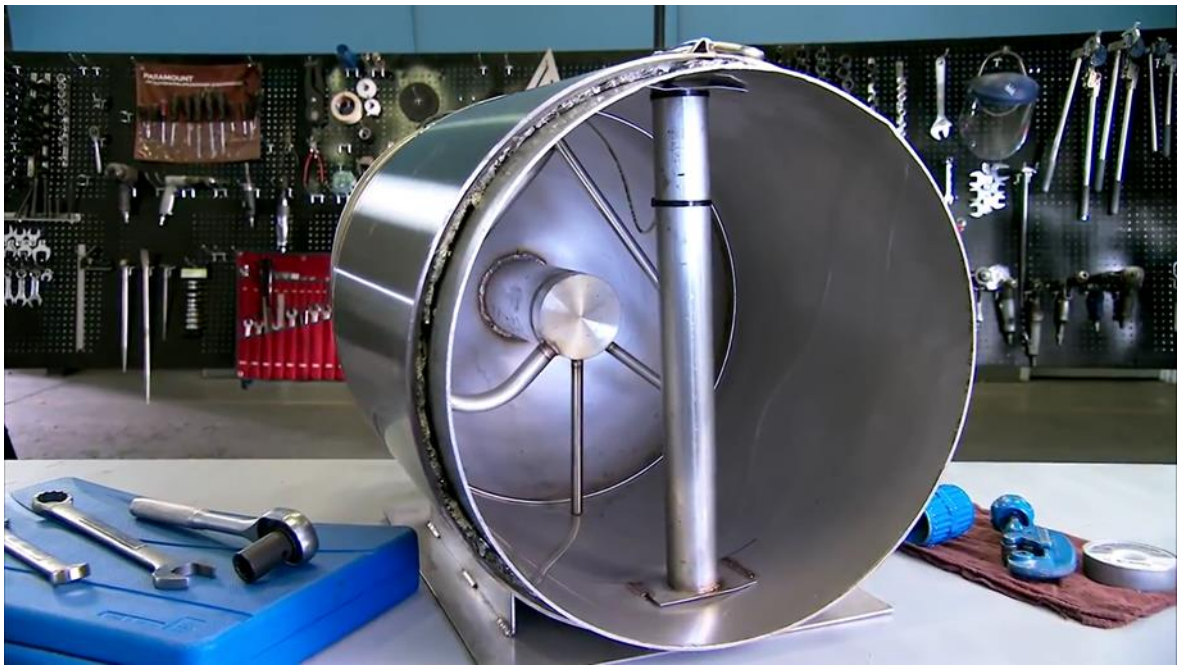
UPP spremnik goriva je kriogeni spremnik. To znači da se gorivo, to jest, prirodni plin pohranjuje kao visoko hlađena tekućina pri niskom tlaku. Tipična temperatura goriva je oko -130 °C, a tlak goriva je oko 6,9 bar. Razlog kriogenskog skladištenja je da je prirodni plin gušći kao tekućina niske temperature nego što je komprimirani plin. Obično se može dobiti tri puta više plina u istom prostoru i s oko pola težine ako je pohranjena kao kriogena tekućina umjesto kao komprimirani plin

6.1. Komponente sustava

Nakon što je ukratko opisan način funkcioniranja UPP sustava goriva, u ovoj cjelini su opisane karakteristike zasebnih komponenti UPP sustava goriva.

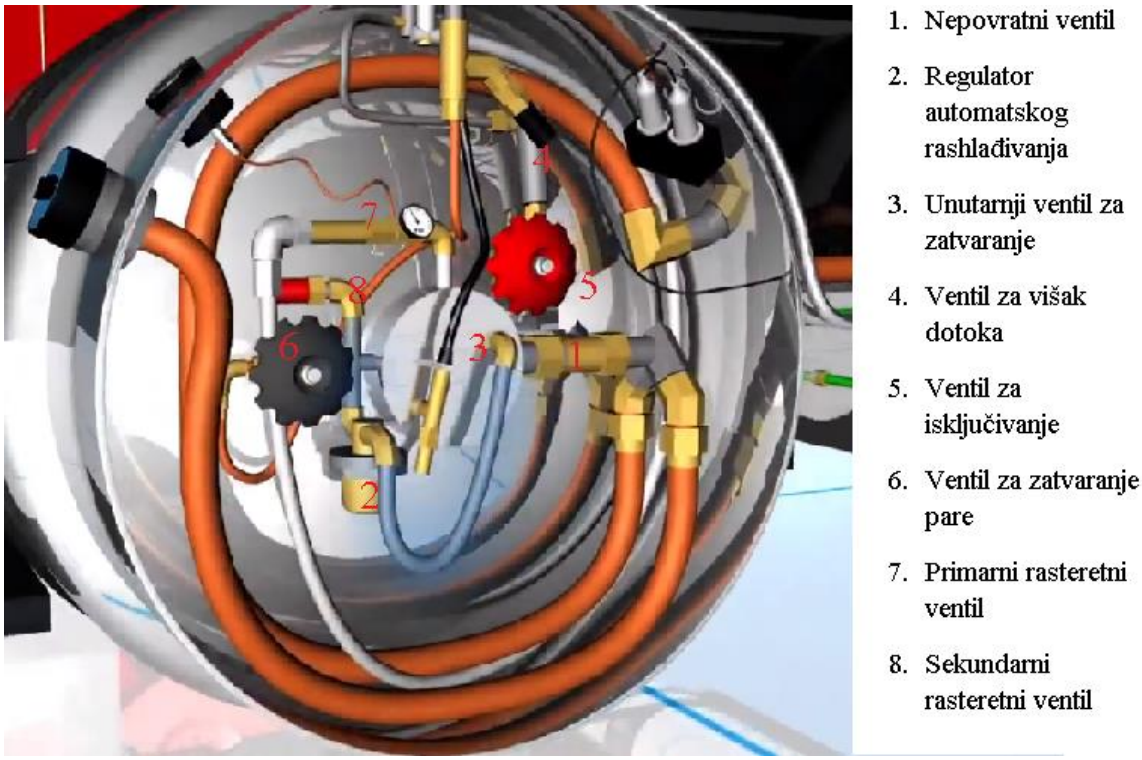
Da bi se kriogena goriva zadržala bez korištenja bilo kojeg vanjskog izvora hlađenja, spremnik mora biti izuzetno dobro izoliran. Da bi se postigla visoka razina učinkovitosti izolacije, UPP tlačna posuda je pokrivena izolacijom i zatvorena vanjskim vakuumskim posudama. Vakuum se vuče između spremnika UPP i vanjske ljuske (Neeser i drugi, 1992.). Ova kombinacija izolacije i vakuuma, koja se naziva „super-izolacija“, ima najveću toplinsku učinkovitost i vrijednost R-a je veća od 5000 (Chen i drugi, 2004.).

Ova vrsta izolacije omogućuje razdoblje neaktivnosti od preko tjedan dana bez gubitka proizvoda. Unutarnja tlačna posuda i vanjska posuda za vakuum su konstruirane od nehrđajućeg čelika. Nehrđajući čelik ima otpornost na niske temperature dovoljnu za zadržavanje kriogenskog goriva i otpornost na visoke temperature kako bi omogućio zaštitu unutarnje posude pod tlakom. S potporom od nehrđajućeg čelika, spremnik za gorivo UPP može izdržati godine rada bez gubitka performansi (Chart Industries, 2013.).



Slika 6-3. Presjek kamionskog spremnika UPP goriva (Agility systems, 2014.)

S vanjske strane spremnika postavljeno je nekoliko ventila koji omogućavaju kvalitetnu dobavu goriva daljnjem sustavu, kao i za osiguranje u slučaju nesreće ili kvara sustava ili vozila (slika 6-3) (Chart Industries, 2013.).



Slika 6-4. Spremnik goriva opremljen ventilima s vanjske strane (Agility systems, 2014.)

Nepovratni ventil je ventil s mekim sjedištem, izrađen od bronce. Njegova je zadaća spriječiti protjecanje kroz liniju punjenja u slučaju kvarova spremnika goriva ili nesreće vozila. Kontrolni ventil punjenja se spaja na gornji vod za punjenje unutar spremnika (Chart Industries, 2013.).

Regulator automatskog rashlađivanja (engl. *economizer*) je brončani ventil za smanjenje tlaka koji je otvoren pod tlakom iznad zadane točke i zatvoren pri tlaku ispod njegove zadane točke. Njegova je zadaća dopustiti da pare dođu u vod za gorivo tijekom rada vozila, ponovno hlađenje kapljevine i smanjenje tlaka spremnika do zadane točke. Zadana vrijednost regulatora je postavljena tvornički. Protok kroz regulator nije usmjeren, on će biti otvoren kad god je tlak u cjevovodima goriva iznad njegove zadane točke. Neki spremnici UPP-a imaju sustav filtriranja plina u regulatoru tlaka. Filteri su ugrađeni u armature na ulazu i izlazu regulatora. Njihova funkcija dozvoljava da se čestice unutar goriva uhvate prije ulaska ili oštećenja bilo kojeg dijela sustava goriva (Chart Industries, 2013.).

Unutarnji ventil za zatvaranje nalazi se unutar voda na spremniku, iza koljena koje povezuje razvodnik s ekonomizerskim vodom. Ovaj povratni ventil pruža povratni tlak od 0,14 bar-a na vod za uklanjanje tekućine kako bi pomogao regulatoru tlaka u brzom smanjenju tlaka spremnika (Chart Industries, 2013.).

Ventil za prekomjerni dotok je specijalizirani nepovratni ventil s tvrdim metalnim sjedištem, dizajniranim za odvod goriva ako protok premaši određenu granicu. Njegova je zadaća zaštititi vod između spremnika i izmjenjivača topline od nekontroliranog ispuštanja goriva u slučaju nesreće vozila. Nije dizajniran za zaštitu vodova nizvodno od izmjenjivača topline. To je funkcija elektronički kontroliranog automatskog zatvaranja ventila za gorivo. Za integrirane spremnike koristi se automatski ventil umjesto ovakvog ventila (Chart Industries, 2013.).

Ventil dovoda goriva je ručni ventil s brončanom kuglicom s mekim sjedištem. Njegova je zadaća osigurati prekid dovoda goriva radi servisiranja i održavanja. Spremnik za zatvaranje goriva povezuje se s vodom za povlačenje kapljevine na dnu spremnika i linijom za odvajanje pare na vrhu spremnika kroz regulator tlaka. Zaporni ventil za gorivo je otvoren za vrijeme normalnog upravljanja vozilom (Chart Industries, 2013.).

Ventil za zatvaranje pare (ventil za odzračivanje) je ručni ventil s brončanim kuglicama s mekim sjedištem. Njegova je zadaća osigurati prekid linije za odvajanje pare radi servisiranja i održavanja. Ventil se spaja na vod za odvajanje pare na vrhu spremnika.

Ventil za paru zatvoren je za vrijeme normalnog upravljanja vozilom (Chart Industries, 2013.).

Primarni rasteretni ventil je postavljen na najveći dopušteni radni tlak spremnika. Njegova je funkcija otparivanje goriva u atmosferu ako tlak u spremniku premašuje najveći dopušteni tlak. Priključen je na gornji vod punjenja, čime se osigurava dodatna sigurnost protiv prekomjernog tlačenja spremnika. Osnovni rasteretni ventil opremljen je cijevima koje omogućavaju odvod ventiliranih plinova na sigurno mjesto na vozilu (Chart Industries, 2013.).

Sekundarni rasteretni ventil je postavljen na 1,5 maksimalnog dopuštenog radnog tlaka spremnika. Njegova je funkcija odušak proizvoda u atmosferu kako bi se spriječilo zatajenje spremnika u slučaju kvara primarnog rastretnog ventila (Neeser i drugi, 1992.).

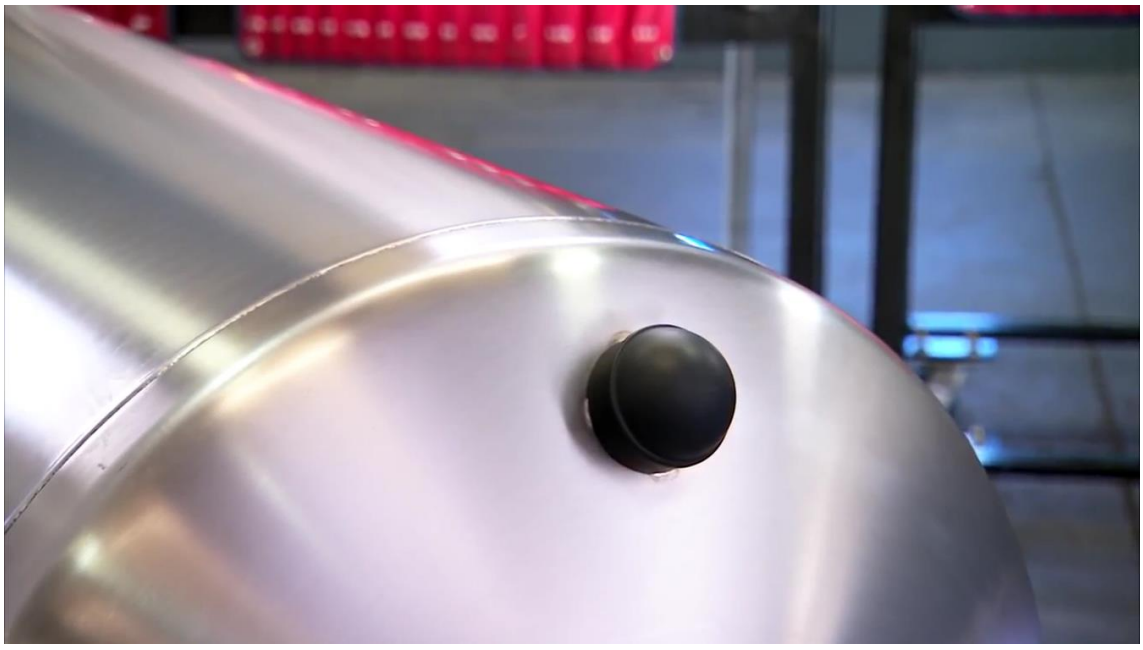
Povezan je s linijom za odvajanje pare koja osigurava sekundarni put do spremnika. Zaštićen je od čestica i upada vode crvenim plastičnim poklopcem i nikada ne smije biti odvojen (Chart Industries, 2013.).

Svaki sustav goriva mora sadržavati kriogeni spoj za punjenje. Funkcija priključka za punjenje je osigurati spojnu točku na stanicu za ponovno punjenje goriva koja omogućuje kriogeni prijenos tekućine (slika 6-3). Uređaj za punjenje ima ugrađen uređaj za zatvaranje kako bi spriječio propuštanje goriva pri odvajanju. Svaka priključnica za gorivo mora biti sposobna izdržati opterećenje od 1100 N. To je neophodno u slučaju da dođe do neplaniranog odvajanja prilikom punjenja. Svaki spremnik za gorivo trebao bi biti opremljen zapečaćenom kapicom kako bi se spriječio ulazak vode ili čestica u spremnik (Chart Industries, 2013.).



Slika 6-5. Punjenje spremnika UPP gorivom (Agility system, 2014.)

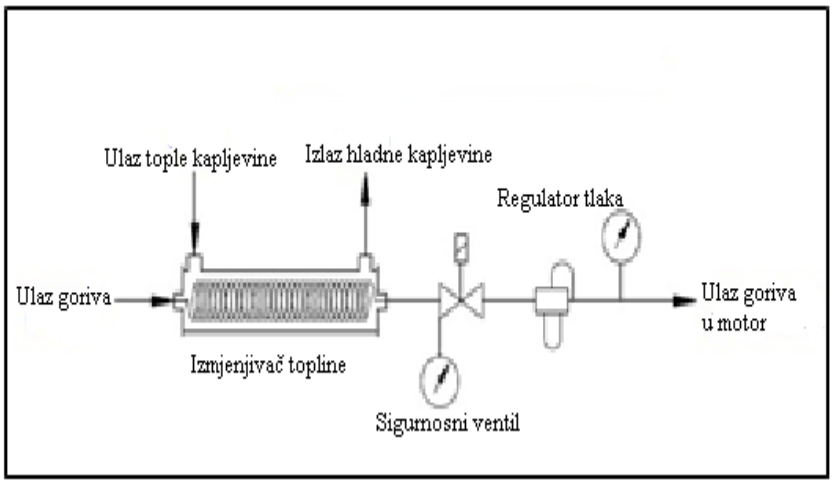
Zadatak otvora za pražnjenje je osigurati ponovno spajanje spoja za pražnjenje spremnika, prikazan na slici 6-5. Njegova sekundarna funkcija je osigurati put za rasterećenje tlaka sustava u slučaju ispuštanja proizvoda u vakuumskom prostoru.



Slika 6-6. Čep otvora za pražnjenje spremnika (Agility system, 2014.)

U velikom broju UPP sustava na kamionima nema pumpi. Kada motor radi, prirodni plin pod tlakom izlazi iz spremnika prema motoru. Hladno gorivo pod tlakom prolazi kroz

izmjenjivač topline (Neeser i drugi,1992.). Izmjenjivač topline koristi toplinu iz rashladnog sredstva motora kako bi isparavao tekućinu i pretvorio je u plin. Kad izađe iz izmjenjivača topline gorivo je topli plin, pod tlakom spremnika, spreman za spaljivanje u motoru. Tlak u spremniku održava regulator tlaka koji ispušta višak tlaka tijekom rada motora (slika 6-6) (Chart Industries, 2013.).



Slika 6-7. Sustav ubrizgavanja goriva (Chart Industries, 2013.)

Svaki spremnik za gorivo opremljen je elektroničkim pokazivačem razine goriva. Tipični sustav sastoji se od dva dijela: pošiljatelja i pokazivača razine na upravljačkoj ploči. Pošiljatelj se nalazi na spremniku goriva. Njegova je funkcija pretvoriti elektronički signal iz unutarnje sonde razine goriva u signal koji je kompatibilan s pokazivačem na ploči. Sam uređaj je zapečaćena jedinica i nije moguće prilagoditi polja. Pošiljatelj točno odražava stvarnu količinu proizvoda u spremniku i ne utječe na stanje proizvoda, tlak ili temperaturu. Dizajniran je kako bi ublažio učinke ubrzanja, kočenja i promjene brzine, slično njegovom benzinskom ili dizelskom konkurentu. Očitava se od praznog do punog spremnika i ima točnost od jedne šesnaestine spremnika. Pokazivač, pošiljatelj i žica koja spaja pošiljatelja na spremnik goriva kalibriraju se kao sustav i moraju biti zamijenjeni identičnim dijelovima kako bi održali točnost mjerenja (Chart Industries, 2013.).

Svaki UPP sustav ubrizgavanja goriva mora sadržavati izmjenjivač topline. Funkcija izmjenjivača topline je da isparava kapljevito gorivo i isporučuje ga kao plin u motor.

Uređaj dobiva toplinu iz sustava hlađenja motora i povezuje se s vodenim hlađenjem motora preko fleksibilnog voda rashladne tekućine.

Svaki UPP sustav ubrizgavanja goriva mora sadržavati automatski ventil za isključivanje goriva. Njegova je zadaća isključiti dotok goriva u motor kada motor ne radi.

Preporučeno mjesto ugradnje ventila nalazi se na toplom izlazu plina izmjenjivača topline, što omogućava širok izbor ventila koji se koriste. Za integrirane spremnike, automatski zaporni ventil je već ugrađen unutar pokrova (Chart Industries, 2013.).

Neki motori pogonjeni prirodnim plinom ne mogu prihvatiti gorivo na maksimalnom tlaku spremnika za gorivo. Sustavi ubrizgavanja goriva na tim motorima moraju biti opremljeni s regulatorom tlaka kako bi se radni tlak održao unutar prihvatljivih granica za motor. Regulator tlaka montiran je na liniju goriva motora nizvodno od izmjenjivača topline i automatskog zapornog ventila. Radi zajedno s regulatorom na spremniku goriva radi održavanja željenog tlaka u sustavu ubrizgavanja goriva. Regulator tlaka u spremniku namješten je na normalni radni tlak spremnika. Regulator tlaka u cjevovodu goriva postavljen je na maksimalni radni tlak motora (Chart Industries, 2013.).

Modul hladnog goriva je uređaj koji omogućava da spremnik vozila radi normalno ako se napuni hladnim gorivom. Osigurava odgovarajući tlak ovisan o tome da li je motor pokretan isključivo UPP-om (paljenje sa svjećicama) ili je motor pokretan na dva goriva (kompresijsko paljenje). Automatski detektira i kompenzira mali tlak goriva. Njegov izlaz tlaka prilagodljiv je zahtjevima motora. Uređaj koristi električni sustav vozila (12V/24V) i može se naknadno ugraditi u postojeći ili novi UPP sustav goriva vozila (Chart Industries, 2013.).

6.2. Usporedba dizel i UPP motora

U tablici 6.1 je dan pregled pojedinih dijelova motora, kao i osnovne razlike između dizel motora i motora na prirodni plin. Kao što je vidljivo, mnogi dijelovi su isti ili jako slični. Neki modeli kamiona imaju ugrađen dizel sustav goriva uz UPP sustav goriva (dualni sustav goriva).

Tablica 5-1. Razlike između dizel motora i motora na prirodni plin (Omnitek Engineering, 2013.)

Komponenta motora	Dizel motor	Motor na prirodni plin	Napomene
Blok motora	Isto	Isto	Motori su slični izuzev klipa i kompresijskog omjera
Glava cilindra	Jedinstveni sustav ubrizgavanja	Jedinstveni dizajn svjećica	Sličan dizajn. Na glavi cilindra je otvor za svjećicu ili injektor goriva. Broj ventila može varirati
Dodatni pogon	Isto	Isto	
Sustav goriva	Zajednička injekcijska pumpa	Sustav miješanja plina sa zrakom	Najveća razlika u motorima. Sustav goriva je isti bez obzira rabi li motor SPP ili UPP
Sustav ispuha, turbopuhalo, ventil recirkulacije ispušnih plinova, hladnjak ispuha	Isto	Isto	Manje izmjene u turbopuhalu. ventil recirkulacije ispušnih plinova je skoro isti
Hladnjak recirkulacije ispušnih plinova	Isto	Isto	Mogu postojati manje razlike, ali u stvari ista tehnologija
Sustav paljenja	Ne treba	Dodan motoru	Uz sustav goriva, sustav paljenja razlikuje motore.
Savitljiva ploča montirana na radilicu	Isto	Isto	Razlikuju se ovisno o tome hoće li biti korišten automatski ili ručni sustav prijenosa
Sustav podmazivanja	Isto	Isto	Drugačiji tip maziva se upotrebljava u motorima na prirodni

			plin
Sustav hlađenja	Isto	Isto	Oba dva sustava rabe pumpu kako bi cirkulirali rashladnu tekućinu kroz sustav
Elektronička kontrola	Slični	Slični	Manje razlike zbog sustava paljenja
Dijagnostički sustav	Isto	Isto	Računalo koje iščitava sustav kontrole motora, čita kodove i bilježi podatke
Sustav paljenja i punjenja baterije	Isto	Isto	Različiti sustavi, ovisno o zahtjevima mušterijama

Pošto su sličnosti jako velike, postoji mogućnost preinake konvencionalnih dizel kamiona na UPP sustav goriva ili dvojni UPP-dizel sustav.

6.3. Operacije s UPP sustavom na vozilima

Kod upotrebe vozila koja koriste UPP kao pogonsko gorivo, neke radnje su drugačije nego kod konvencionalnih dizel ili SPP vozila. Razlog tome je kriogeno gorivo.

6.3.1. Punjenje spremnika

Proces punjena spremnika počinje povezivanjem mlaznice dispenzera za punjenje sa spremnikom. Otvara se ventil za punjenje i prati se porast tlaka kako punjenje napreduje. U početku punjenja dolazi do naglog porasta tlaka dok se vod za punjenje hladi. Protok i tlak ostaju stabilni tijekom ostatka punjenja. Kada se spremnik napuni, tlak brzo poraste do vrijednosti tlaka stanice. Tada se protok naglo smanji. Razlog zbog kojeg protok ne prestane odmah je dio spremnika za otpareni UPP. Kad se glavni spremnik napuni, još uvijek će postojati protok (obično 4-8 litara po minuti) u spremniku. Kada se uoči brz porast tlaka ili pad protoka, spremnik je pun, a ventil za punjenje se zatvara. Iako je moguće staviti više tekućine u spremnik nastavljajući punjenje, ostatak spremnika služi kako bi se omogućilo širenje goriva. Većina stalnih benzinskih postaja automatski nadgleda i provodi punjenje, tako da operator vozila mora samo spojiti mlaznicu na spremnik, osigurati ju i pokrenuti punjenje (Chart Industries, 2013.). Za vrijeme ove operacije operator vozila mora imati rukavice i zaštitni vizir kako UPP ne bi slučajno došao u dodir s kožom ili očima.

Iako je poželjna metoda punjenja spremnika preko jednog voda, moguće je otpariti spremnik. Budući da se obično ovo obavlja ručno zahtijeva više znanja operatora sustava. Spremnik vozila trebao bi se otpariti natrag u spremnik stanice ili u odvojeni spremnik. Poželjna metoda otparivanja je spajanje ispušnih mlaznica punionica s otvorom za ventilaciju spremnika vozila, a zatim polagano otvoriti ventil za otparivanje na spremniku vozila (Chart Industries, 2013.). Pare UPP-a se ispuste dok spremnika ne bude na željenom tlaku, a zatim se zatvori ventil za otparivanje. Nakon toga, punjenje spremnika se nastavlja kako je prethodno opisano.

6.3.2. Punjenje toplog spremnika

Kad vozilo nije bilo u upotrebi neko vrijeme potrebna je posebna procedura prilikom punjenja. Prilikom ulaska hladnog goriva u vrući spremnik, doći će do ubrzanog porasta tlaka, što u većini slučajeva, znači da se spremnik ne može napuniti. Preporučeno je da se spremnik prvi put, ili nakon dužeg vremena mirovanja, napuni s 40 do 80 litara goriva,

nakon čega se vozi 10 do 15 minuta. Za vrijeme vožnje, spremnik će se ohladiti i tlak će pasti povlačenjem plina u motor. Nakon toga se spremnik može normalno napuniti. Preporuča se da se spremnik puni na ovaj način nakon 10 ili više dana mirovanja vozila (Chart Industries, 2013.).

7. ZAKLJUČAK

UPP kao gorivo za teška teretna vozila ima brojne prednosti u odnosu na konvencionalna goriva te je upotreba ovog energenta, unatoč većim cijenama vozila, isplativija za investitore u usporedbi za konvencionalnim dizelskim gorivom. Nadalje, smanjenje emisija ispušnih plinova i buke i smanjenje ovisnosti o nafti su među strateškim ciljevima Europske unije koja UPP i druga alternativna goriva potiče kroz različite projekte i zakonske regulative. Još uvijek postoje prepreke širenju UPP-u kao gorivu u Europskoj uniji, a najveća je nedostatak infrastrukture punjenja goriva. Operatori ne nabavljaju UPP vozila zbog nedostatka infrastrukture, a infrastruktura ne postoji jer ne postoji dovoljno vozila koje bi ta infrastruktura opskrbljivala. Uz to postoje još neki manji problemi sa standardizacijom opreme na punionicama i neutvrđenim odredbama zakonskih propisa.

Od 2014. godine stvorili su se povoljni uvjeti za upotrebu UPP-a i drugih alternativnih goriva u velikom broju zemalja Europske unije. Države članice Europske unije su u skladu s odredbama Europske komisije usvojile zakonske okvire za upotrebu alternativnih goriva u različitim granama transporta. Zakonski okviri reguliraju poticaje za kupovinu vozila na alternativna goriva i poticanje izgradnje infrastrukture za punjenje ovih vozila. Gospodarski subjekti, međunarodna i državna tijela sudjeluju na nekoliko velikih projekata izgradnje infrastrukture za punjenje UPP goriva. Gospodarski subjekti prepoznaju dugoročnu isplativost upotrebe UPP-a kao goriva, a države Europske unije vide društvenu korist u poticanju upotrebe UPP-a kao goriva kroz povećanje energetske neovisnosti i smanjenje emisije stakleničkih plinova.

Hrvatska, kao članica Europske unije, slijedi direktive Europske komisije i doprinosi ispunjavanju strateških ciljeva Europske unije. Problem u Republici Hrvatskoj je to što u ovom trenutku još nisu definirani svi načini na koji bi se neka alternativna goriva poput UPP-a podupirala pri svom ulasku na tržište. Trenutno u Hrvatskoj nema infrastrukture za punjenje brodova UPP-om, kao ni infrastrukture za punjenje cestovnih vozila UPP-om. Situacija je ista u ostalim zemljama na jugoistoku Europe (na cestama od Austrije do Grčke nema ni jedne UPP punionice). Brojni projekti koji se provode diljem Europske unije mogu biti dobar primjer mjera koje se mogu poduzeti da bi se omogućila upotreba UPP-a kao goriva. Treba reći da bi Republika Hrvatska, njeni građani, operateri kamionskih flota, plovila, punionica kao i šire građanstvo mogli imati velike ekonomske i financijske koristi od poticanja UPP-a kao alternativnog goriva, pogotovo ako se uzme u obzir mogućnost izgradnje UPP terminala u Omišlju. Povećanje potrošnje SPP-a i UPP-a

bi otvorilo nova tržišta za UPP na kojima bi se Hrvatska postavila izgradnjom UPP terminala, poboljšavajući time svoj položaj unutar Europske unije i utvrđujući se na energetskoj karti Europe.

8. LITERATURA

1. ACCIARO, M., 2014. Real option analysis for environmental compliance: LNG and emission control areas. Transportation Research Part D. *Transport and Environment*, **2,** pp. 41-50.
2. ARGONNE NATIONAL LABORATORY, 2013. Case Study – Liquefied Natural Gas. 2013. Studija. Argonne, Illinois: Argonne National Laboratory
3. ARTECONI, A., BRANDONI, C., EVANGELISTA, D., POLONARA, F. 2010. Life-cycle greenhouse gas analysis of LNG as a heavy vehicle fuel in Europe. *Applied Energy*, **87**(6), pp.2005-2013.
4. ARTECONI, A., POLONARA F. 2013. LNG as vehicle fuel and the problem of supply: The Italian case study. *Energy Policy*, **62**, pp. 503-512.
5. BLOOMERS, P., OULETTE P., 2013. Lng as a fuel for demanding high horsepower engine applications : technology and approaches. Studija. Vancouver: Westport Innovations Inc
6. BUREL, F., TACCANI, R. i ZULIANI, N., 2013. Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion, *Energy*. **57**(10), pp. 412-420.
7. CHEN, Q. S., WEGRZYN, J., PRASAD, V. 2004. Analysis of temperature and pressure changes in liquefied natural gas (LNG) cryogenic tanks. *Cryogenics*, **44**(10),pp. 701-709.
8. COETZER, J. 1986. A new high energy density battery system. *Journal of power sources*, **18**(4),pp. 377-380.
9. EUROPEAN COMMISION 2016.a, Clean Transport - Support to the Member States for the Implementation of the Directive on the Deployment of Alternative Fuels Infrastructure-Fact Sheet on Alternative Fuels in Member States.Izvješće. Brussels: European Commision
10. EUROPEAN COMMISION 2016.b, Clean Transport - Support to the Member States for the Implementation of the Directive on the Deployment of Alternative Fuels Infrastructure-Good Practice Examples. Izvješće. Brussels: European Commision
11. GALLEGO, J., LEBRARTO, J., 2013. LNG stations Regulations. State of the art. Izvješće. Brussels: European Commision: FP7 LNG Blue Corridors, LNG-BC D4.

12. GALLEGO, J.,2014. LNG Blue Corridors Recommendation for Future Standardisation. Studija. Brussels:Europen Commision: LNG Blue Corridors, LNG BC D4.3
13. GRAUGAARD, C. W., 2013., LNG for Shipping – Current status. Izvješče. Studija. Kopenhagen: DNV
14. JOHANNESSON, S., 2013. LNG Blue Corridors Gas Quality. Studija. Brussels: European Commision:FP7 LNG Blue Corridors, LNG BC D3.2
15. KOOY, R. J., CONRAD, M. L., FORGASH, D. J., KORZONAS, R., NEUHALFEN, B. P., RHOADES, G. D., SUDDUTH, J. W. 1998. U.S. Patent No. 5,771,946. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
16. KUMAR, S., KWON, H. T., CHOI, K. H., LIM, W., CHO, J. H., TAK, K., MOON, I. 2011. LNG: An eco-friendly cryogenic fuel for sustainable development. *Applied Energy*, **88**(12),pp. 4264-4273.
17. MADDEN, M., WHITE, N., LE FEVRE, C., 2014. LNG in transportation. Studija.Rueil-Malmaison: Cedigaz
18. MARIANI, F., 2016. Cost analysis of LNG refuelling stations. Studija. Brussels: European Commision: FP7 LNG Blue Corridors, LNG BC D3.8
19. MEDVED, T., 2017. Promotni Projekt SiLNG, PowerPoint prezentacija. Zagreb: SiLNG: projekt prve UPP punionice u Hrvatskoj (nije objavljeno)
20. NARODNE NOVINE 2017. Odluku o donošenju nacionalnog okvira politike za uspostavu infrastrukture i razvoj tržišta alternativnih goriva u prometu, Zagreb: *Narodne Novine*, 34/2017,pp 10-22
21. NARODNE NOVINE, 2016. Zakon o uspostavi infrastrukture za alternativna goriva, Zagreb, *Narodne Novine*, 120/2016,pp 82-95
22. NEESER, T.A., HEDEGARD, K.W., MINNESOTA VALLEY ENGINEERING, INC., 1992. LNG delivery system for gas powered vehicles. U.S. Patent 5,127,230.
23. OU, X., ZHANG, X., 2013. Life-cycle Analyses of Energy Consumption and GHG Emissions of Natural Gas-Based Alternative Vehicle Fuels in China. *Journal of Energy* 2013: pp.1-8.

Online izvori:

24. ADAMCHAK, F., ADEDE, A., 2013. LNG as marine fuel, 17th International conference,URL: http://www.gastechnology.org/Training/Documents/LNG17-proceedings/7-1-Frederick_Adamchak.pdf, (15.08.2017)
25. AFDC, 2017. Average Annual Vehicle Miles Traveled of Major Vehicle Categories URL: https://www.afdc.energy.gov/data/10309 (15.8.2017.)
26. AGILTY SYSTEMS, 2014. LNG Segment 03_System Components.URL: https://www.youtube.com/watch?v=6WbcgMWr3JQ (18.08.2017.)
27. BALTIC TRANSPORT JOURNAL, 2011. The Best Solution is LNG URL :http://cleantech.cnss.no/wp-content/uploads/2011/11/LNG-articles-Baltic-Transport-Journal-October-2011.pdf (20.07.2017.)
28. CHART INDUSTRIES, 2013.Lng vehicle fuel tank system operations manual. URL: http://files.chartindustries.com/3835849_LNG-Operations-Manual-Final-Draft_010515_web.pdf (1.8.2017.)
29. CURRENT NATURAL GAS VECHICLE STATISTICS, 2017. URL: http://www.iangv.org/current-ngv-stats/, (16.08.2017.)
30. ENERDATA. 2014. Effect of price reforms on the demand of LNG in transport in China. URL: http://www.enerdata.net/enerdatauk/press-and-publication/energy-news-001/china-lng-price-reforms-effets_30271.html (20.07.2017.)
31. EVS, 2016.a, ISO 16923:2016, URL: https://www.evs.ee/products/iso-16923-2016(15.08.2017.)
32. EVS, 2016.b, ISO 16924:2016, URL: https://www.evs.ee/products/iso-16924-2016 (15.08.2017.)
33. FavCars.com, 2012. Photos of Iveco Stralis Hi-Road 330 Natural Power 4x2 URL: https://www.favcars.com/photos-iveco-stralis-hi-road-330-natural-power-4x2-2012-403909 (06.07.2017.)
34. FOSS, M. M., 2012. An overview on liquefied natural gas (LNG), its properties, the LNG industry, and safety considerations. URL : http://www. beg. utexas. edu/energyecon/INTRODUCTION% 20TO% 20LNG, (15.06.2017.) .
35. GIE –LNG Map, 2016.a, URL: https://www.gie.eu/index.php/maps-data/lng-map (15.07.2017.)
36. GIE Small Scale LNG Map, 2016.b, URL: http://www.gie.eu/index.php/maps-data/gle-sslng-map (15.08.2017.)
37. IEA, 2017. IEA sees global gas demand rising to 2022-as us drives-market transformation URL: https://www.iea.org/newsroom/news/2017/july/iea-sees-

global-gas-demand-rising-to-2022-as-us-drives-market-transformation.html, (20.8.2017.)

38. NGV Global-NGV Count ,URL: https://web.archive.org/web/20100110101111/http://www.iangv.org:80/tools-resources/statistics.html, (25.7.2017.)
39. Omnitek Engineering, 2013. Diesel-to Natural Gas Conversion System and Parts URL: http://www.omnitekcorp.com/altfuel.htm, (15.5.2017.)

IZJAVA

Ovime izjavljujem da sam ovaj rad napisao samostalno uz pomoć dostupne literature.

Branko Drljača