

Komparativna analiza emisija stakleničkih plinova iz UNP i benzinskih vozila kao odgovor na izazove energetske tranzicije

Comparative analysis of greenhouse gas emissions from LPG and gasoline driven vehicles in response to the challenges of energy transition

prof. dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar
Rudarsko–geološko–naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu
dkarasal@rgn.hr

Borna Leš
bles.rgnf@aol.com



Ključne riječi: UNP, plinovita goriva, alternativna goriva, smanjenje emisija stakleničkih plinova, procjena životnog vijeka, nisko-ugljično gospodarstvo, održivi razvoj

Key words: LPG, gaseous fuels, alternative fuels, GHG emissions mitigation, Life Cycle Assessment, low-carbon economy, sustainable development

Sažetak

Ukapljeni naftni plin, kao predstavnik plinovitih goriva, smatra se vodećim alternativnim gorivom u mnogim zemljama. Da je UNP čišće pogonsko gorivo od široko korištenog benzina i dizelskog goriva zaključak je mnogobrojnih analiza. S ciljem da se produbi procjena emisija iz putnički automobila, u ovom radu u okviru metodologije procjene životnog vijeka (LCA) pristupilo se analizi široj od standardnih testiranja. Umjesto uobičajenih metoda procjene emisija baziranih na emisijama ispušnih plinova, za

potrebe ovoga rada osmišljen je širi izračun, temeljen na praćenju i računanju izravne potrošnje dvaju testnih vozila EURO4 standarda. Svrha analize je projekcija ušteda emisija stakleničkih plinova pregradnjom benzinskog vozila na UNP kako bi se istaknule razlike u emisijama benzinskog kao tekućeg fosilnog i UNP kao plinovitog goriva. S ciljem dodatne potvrde socio-ekološke i ekonomske prednosti plinovitih goriva kao odgovarajućeg rješenja u prijelaznom razdoblju ka nisko-ugljičnom gospodarstvu, očekivani rezultati iskorišteni su za kreiranje imaginarnog scenarija u okvirima održivog razvoja te primijenjeni na sektor cestovnog prometa u RH.

Abstract

Liquefied petroleum gas (LPG), as a representative of gaseous fuels, is considered to be the leading alternative fuel in many countries. Many analyses concluded that LPG is a cleaner motor fuel compared to widely

used gasoline and diesel fuels. With the aim to widen the estimation of emissions from passenger vehicles, a deeper analysis within the framework of life cycle assessment methodology (LCA) has been introduced. Instead of applying standardized calculation methods mainly based on the exhaust emissions measurements, a broader calculation was designed for the purpose of this project, based on data obtained by tracking and calculating direct fuel consumption from two EURO4 test vehicles. The purpose of the analysis is to project the mitigation of GHG emissions by converting average gasoline car to LPG in order to highlight the differences in emissions of gasoline as liquid fossil fuel and LPG as gaseous fuel. With the focus on further confirmation of the socioecological and economic benefits of gaseous fuels as the appropriate transition solution to the low-carbon economy, the expected results were employed to model imaginary scenario in the frames of sustainable development and applied to the Croatian road transport sector.

1. Uvod

Većina emisija stakleničkih plinova iz sektora prometa povezana s emisijama ugljičnog dioksida (CO₂) koje nastaju izgaranjem proizvoda na bazi nafte kao što su benzin i dizel. Tijekom izgaranja u motorima s unutarnjim izgaranjem emitiraju se i relativno male količine metana (CH₄) i (di)dušikovog oksida (N₂O). Prema novijim podacima (EEA, 2017) emisije stakleničkih plinova u sektoru prometa u 2016. godini iznosile su 1,205 milijuna tona ekvivalenta CO₂, što transportni sektor s 27% od ukupnih emisija u EU čini najvećim sektorom u pogledu CO_{2eq} emisija, dok su za 41% od ukupnih emisija u sektoru prometa odgovorna upravo osobna vozila. Emisije iz prometa povećale su se za četvrtinu u odnosu na 1990. godinu i nastavljaju rasti tijekom 2017., paralelno s potrošnjom nafte u EU, i to najbržim tempom od 2001. godine (IEA, 2017).

Kako se velika većina emisija stakleničkih plinova oslobađa sagorijevanjem fosilnih goriva, predviđeni rast potrošnje u sektoru prometa u nadolazećem desetljeću pred nacionalna gospodarstva stavlja velike izazove u pogledu dekarbonizacije. Također, pretpostavka rastućeg trenda ukupnog broja vozila u EU (Eurostat, 2018; ACEA, 2018), ali i prisutnost trenda nabave snažnijih i većih vozila (Archer et al., 2018), izaziva niz pitanja i zabrinutost glede povećanja emisije CO₂, zagušenja prometa, iscrpljivanja resursa, onečišćenja zraka i sl. Ukoliko izostanu agresivne i održive

politike smanjenja emisija, emisije iz sektora prometa mogle bi se povećati i brže od emisija iz drugih sektora krajnje potrošnje energije (Hao et al., 2016). S obzirom da osobna vozila značajno doprinose ukupnim emisijama, uočava se nužnost za razumijevanjem dinamike rasta emisija CO₂ iz osobnih automobila na globalnoj razini kao i uočavanje ključnih izazova i mogućnosti u rješavanju spomenutih problema.

Danas, kao najviše prihvaćeno alternativno gorivo u automobilskom sektoru s više od 25 milijuna vozila koja prometuju širom svijeta navodi se ukapljeni naftni plin (engl. *liquefied petroleum gas* – LPG). Činjenica da se trenutno samo 10% svjetskih količina ukapljenog naftnog plina koristi u svrhe transporta ostavlja puno prostora za energetski manevar. Upravo razgranata infrastruktura diljem svijeta koja broji više od 70000 punionica, ali i kontinuirani doprinos poboljšanju kvalitete okoliša te smanjenja razine onečišćenja u cestovnom prometu, nameću ukapljeni naftni plin kao vodeće alternativno gorivo u mnogim zemljama. Zbog navedenog nas ne treba čuditi ni činjenica da je globalna potrošnja autoplina u svijeta porasla za 40% u proteklih 10 godina (auto-gas.net, 2019).

2. Proizvodnja UNP-a

Unazad nekoliko desetljeća, veliki je dio kaptažnih plinova diljem svjetskih proizvodnih bušotina bio spaljivan na bakljama. Kako je s vremenom primijećen potencijal u proizvodnji lakših, tekućih ugljikovodika iz kaptažnih plinova (engl. *natural gas liquids*), industrija se okrenula iskorištavanju istih (Hahn, 2018). Premda se udio tekućih ugljikovodika u sastavu pridobivanog prirodnog plina može razlikovati ovisno o lokaciji bušotina, općenito, viši se postoci tekućih frakcija zamjećuju u onima koje proizvode iz kondenzatnih ležišta ili onima povezanim s proizvodnjom sirove nafte. Danas, više od 60% svjetskih rezervi ukapljenog naftnog plina (u daljnjem tekstu UNP) dolazi upravo iz procesnih jedinica za obradu prirodnog plina (engl. *natural gas processing plant*). Prilikom eksploatacije iz ležišta plin stiže na površinu kao smjesa više plinovitih i tekućih komponenata, a nakon što se plin izdvoji iz proizvodne struje unutar separatora, biva obrađen te procesiran u jedinicama za obradu plina gdje se UNP izdvaja kao nusprodukt u proizvodnji primarnog benzina. U procesu obrade eksploatiranog plina odstranjuju se nečistoće poput vode, ugljičnog dioksida i dušika kako ne bi spriječile ukapljivanje, a uklanja se i vodikov sulfid čijim se spaljivanjem uzrokuje značajno

onečišćenje zraka (McGuire i White, 2000). Pored procesnih jedinica za obradu prirodnog plina, UNP se proizvodi i u rafinerijama diljem svijeta. Sirova se nafta nakon desalinizacije, zagrijana na temperaturi od oko 350°C, provodi u destilacijski toranj. Frakcije ugljikovodika odvođe se sa strane destilacijskog tornja na različitim visinama od dna prema vrhu. Uz svaku se frakciju veže kontrolirana temperatura ekstrakcije kako bi se dostizanjem točaka vrelišta odvojile slijedom: teško plinsko ulje, lako plinsko ulje, dizel, kerozin, nafta, benzin i rafinirani plinovi. Dakle, UNP se kao frakcija s najnižom točkom vrenja izvlači s vrha destilacijskog tornja. UNP potom može biti upotrijebljen kao smjesa ili dalje razložen na propan, butan i izobutan (Hahn, 2018). Udio proizvedenog UNP-a iz sirove nafte ovisi o kakvoći same nafte, ali i stupnju sofisticiranosti samog postrojenja, te obično iznosi od 1 do 4%.

2.1. Autoplinska infrastruktura u Republici Hrvatskoj

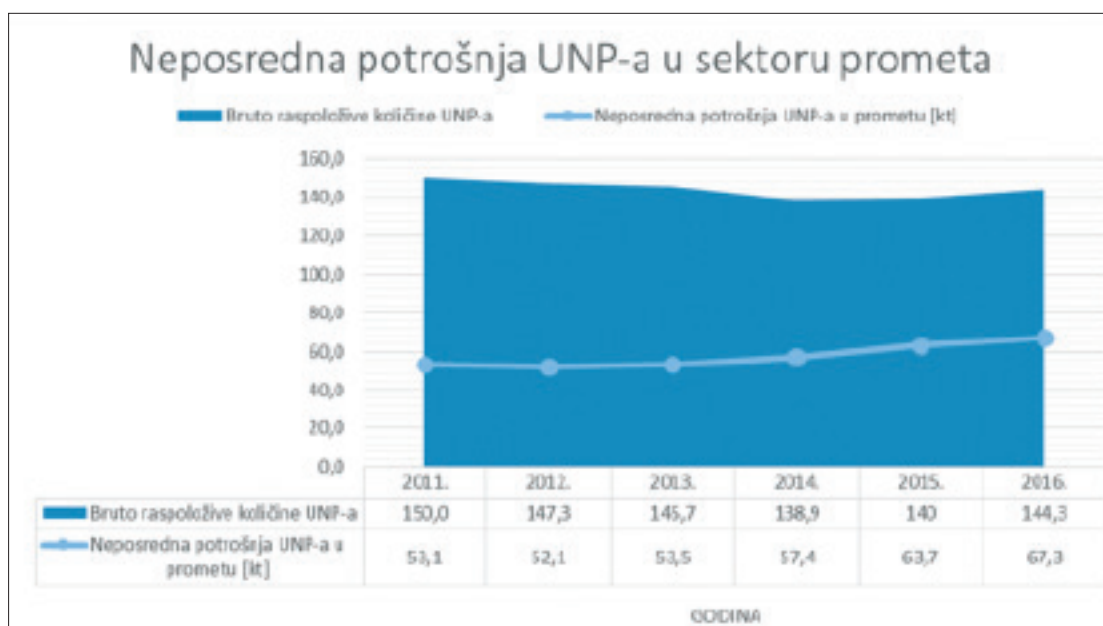
Na ukapljeni naftni plin (UNP) kao primarnu alternativu u Republici Hrvatskoj navodi više razloga među kojima valja izdvojiti sljedeće: prisutna infrastruktura u Hrvatskoj, aktualne energetske politike, ekonomske koristi primjene, ali i činjenica da je UNP odnosno autoplina jedino alternativno gorivo u Republici Hrvatskoj čija se potrošnja namiruje iz domaćih izvora u cijelosti (slika 2-1.).

Nadalje, u 2015. godini u RH bilo je registrirano ukupno 63.151 vozila na autoplina od čega su 61.944 činili osobni automobili (ZUNP HGK, 2017). Uz činjenicu da je potrošnja UNP-a u sektoru prometa 2016. godine doživjela rast od gotovo 15% u odnosu na 2011. valja dodati podatak da se na 26958 km (mppi.hr, 2019) od ukupne duljine ceste u RH nalazi 483 punionice autoplina, te 109 registriranih radionica za ugradnju i servisiranje plinskih instalacija. Navedeni brojevi jasno govori kako infrastruktura LPG-a u Hrvatskoj, iako dostatna ne samo za nastavak, već za i daljnju implementaciju tehnologije, nije iskorištena u potpunosti.

3. Usporedna WTW analiza emisija ispušnih plinova UNP i benzinskih vozila

Svrha istraživanja ovoga rada bila je evaluacija količine emisija ispušnih plinova upotrebom plinovitih goriva s ciljem da se širom analizom upotpune postojeći podaci i dodatno ukaže na prednost istih. Postupak, koji je osmišljen samostalno za potrebe ovog rada, temelji se na prikupljanju podataka o neposrednoj potrošnji osobnih vozila. Nadalje, izračunatim smanjenjem emisija iz ispušnih plinova vozila pregrađenih na UNP te analizom potrošnje energije metodom procjene cjelovitnog okolišnog utjecaja, bit će dana ocjena UNP-a kao pogonskog goriva u okvirima politike održivog razvoja.

Praćenjem dosadašnjih istraživanja te analizom stručnih članaka i publikacija na temu procjene emisija



Slika 2-1. Odnos raspoloživih količina UNP-a i potrošnje autoplina u sektoru prometa u razdoblju od 2011. do 2016. godine, prema podacima iz (EIHP, 2018)

Tablica 3-1. Usporedni tablični prikaz emisijskih konverzijskih faktora izraženi po jedinici goriva (DBEIS, 2018)

UNP (LPG)	Jedinica	kg CO ₂ eq	kg CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O
	tone	2937,32	2933,41	2,00	1,91
	litre	1,51906	1,51703	0,00104	0,00099
	kWh CV _{NET}	0,23030	0,22999	0,00016	0,00015
	kWh CV _{GROSS}	0,21448	0,21419	0,00015	0,00014
Benzin (100% mineral petrol)	Jedinica	kg CO ₂ eq	kg CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O
	tone	3153,66	3135,00	9,45	9,22
	litre	2,30531	2,29167	0,00690	0,00674
	kWh CV _{NET}	0,25349	0,25199	0,00076	0,00074
	kWh CV _{GROSS}	0,24082	0,23939	0,00072	0,00070

vozila na UNP (Tašić et al., 2011; Boureima et al., 2009; Unnasch, & Goyal, 2017; EIHP, 2018; JRC, 2014; Gumus, 2011), te temeljem podataka vlastitog istraživanja provedenog povodom LPG Summita održanoga u studenom 2018. godine u Rijeci, a koje se može smatrati pilot projektom za postizanje rezultata analize, postavljene su sljedeće hipoteze:

- Pregradnjom benzinskih osobnih vozila EURO4 standarda na UNP sa ciljem djelomične zamjene tekućih naftnih goriva, moguće je ostvariti uštede emisija u sektoru prometa veće od 10%.
- Emisije stakleničkih plinova goriva mogu se smanjiti kombiniranim proračunom krajnje potrošnje i potrošnje energije pri eksploataciji sirovine potrebne za samu proizvodnju goriva, kao i emisije vezane uz proizvodnju i distribuciju samog goriva.

3.1. Metodologija istraživanja

Prema Pravilniku o metodologiji za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteda energije u neposrednoj potrošnji NN 77/2012 (u daljnjem tekstu pravilnik NN 77/2012), ukupne uštede energije u sektoru prometa izračunavaju se zbrajanjem ostvarenih ušteda po pojedinim tipovima vozila i po pojedinim oblicima prijevoza. Sukladno aktualnim trendovima i nepovoljnim promjenama u strukturi vozila izračun energetske učinkovitosti u ovom radu bit će iskazan prema pokazatelju A1, Pravilnika NN 77/2012. Nadalje, izračun emisija na temelju specifične potrošnje energije osobnih automobila izraženih u l/100 km (pokazatelj A1 pravilnika NN 77/2012), bit će glavni pokazatelj energetske učinkovitosti testnih vozila. S obzirom da neposredno mjerenje emisija ispušnih plinova vozila s ciljem izračuna emisijskih faktora provode akreditirani i certificirani europski laboratoriji, u proračunu su korišteni konverzijski faktori (engl. *UK-GHG reporting conversion factors*)(DBEIS, 2018). Faktori su standardizirani i namijenjeni računanju emisija stakleničkih plinova

Tablica 3-2. Usporedni tablični prikaz WTT emisijskih konverzijskih faktora izraženi po jedinici goriva (DBEIS, 2018)

Gorivo	Jedinica	kg CO ₂ e
UNP (LPG)	tone	369,40000
	litre	0,19102
	kWh CV _{NET}	0,02896
	kWh CV _{GROSS}	0,02697
Benzin (100% mineral petrol)	tone	815,10000
	litre	0,59585
	kWh CV _{NET}	0,06552
	kWh CV _{GROSS}	0,06224

koje su kompanije diljem Ujedinjenog Kraljevstva dužne dostaviti u svojim godišnjim izvješćima. Valja napomenuti da ti faktori ne opisuju točan iznos emisija, već da su izdani kao rezultat mnogobrojnih mjerenja referentno za svaku operaciju koja za posljedicu ima emisije stakleničkih plinova. U svrhu jednostavnijeg izračunavanja i iskazivanja emisija kombiniranih stakleničkih plinova, poput prisutnih u ispušnim plinovima, korišteni pretvorbeni faktori izraženi su u jedinicama kilograma ekvivalenta ugljikovog dioksida (kg CO₂eq). U proračunu su korišteni faktori konverzije stakleničkih plinova za automobile na benzinski odnosno za plinski pogon. Odabrani faktori, pokazani u tablicama 3-1. i 3-2., namijenjeni su vozilima do 2000 cm³ zapremnine cilindra te su korišteni u svrhu procjene emisija ispušnih plinova 2 testna vozila EURO4 standarda.

3.2. Ispitni uzorci

Temeljeći se na činjenice da vojni park diljem Europe stari, a emisije koje ta vozila generiraju rastu (Rešetar et al., 2017) provedeno je praćenje potrošnje na dva vozila EURO4 standarda, s četverocilindričnim motorima zapremnine 1600 kubičnih centimetara te pregrađenim Landi Renzo LPG sistemom. Navedena vozila bila su dostupna za ispitivanje i odabrana su

Testno vozilo	Marka; tip	Kategorija i namjena	Broj šasijske	Snaga motora [kw/ks]	Zapremnina cilindra [ccm]	Godinja proizvodnje/u prometu od	Prijeđena kilometraža uoči početka praćenja potrošnje [km]
1	Volkswagen GOLF 1.6; benzin-UNP	Osobno vozilo (M1)	VWZZZ1KZ9W028113	75/102	1595	2008./29.07.2008.	122361
2	Opel ZAFIRA 1.6; benzin-UNP	Osobno vozilo (M1)	W0L0AHM75AG012411	85/114	1598	2009./09.12.2009.	107876

Tablica 3-3. Opći podaci o testnim vozilima

Tablica 3-4. Ulazni i izvedeni podaci testnih vozila u periodu praćenja potrošnje za testna vozila

Testno vozilo	Razdoblje praćenja potrošnje					
	01.06.2016-09.04.2017		09.04.2017.-07.02.2018.		07.02.2018.-28.12.2018.	
	1	2	1	2	1	2
d [km]	15260	11650	16017	13385	13968	11627
AFc [l]	1514,93	1272,00	1382,99	1303,42	1304,89	1172,45
Gc [l]	236,94	152,58	172,67	126,64	301,88	153,12
eq.G [eq l]	1120,85	941,11	1023,23	964,36	965,45	867,46
tot.Gceq. [l]	1357,79	1093,69	1195,90	1091,00	1267,33	1020,58
Gsc` [l na 100 km]	8,90	9,39	7,47	8,15	9,07	8,78
AFsc [l na 100 km]	9,93	10,92	8,63	9,74	9,34	10,08
Gsc [l na 100 km]	1,55	1,31	1,08	0,95	2,16	1,32
EMspec.` [kg CO_{2eq} na 100 km]	20,51	21,64	17,21	18,79	20,92	20,24
EMspec. [kg CO_{2eq} na 100 km]	18,66	19,61	15,60	16,97	19,17	18,35
ΔEMspec. [kg CO_{2eq} na 100 km]	1,85	2,04	1,61	1,82	1,74	1,88

d – prijeđena udaljenost u razdoblju praćenja potrošnje [km];
 AFc – ukupna potrošnja alternativnog goriva (UNP-a) u razdoblju praćenja potrošnje [l];
 Gc – ukupna potrošnja benzina u razdoblju praćenja potrošnje [l];
 eq.G – ekvivalentna benzinska potrošnja u jedinici vremena praćenja potrošnje [eq l];
 tot.Gc_{eq.} – ukupna potrošnja ekvivalentnog vozila za dano razdoblje [l];
 Gsc` – prosječna specifična potrošnja ekvivalenta benzinskog goriva u jedinici vremena praćenja potrošnje [l na 100 km];

AFsc – ukupna potrošnja alternativnog goriva (UNP-a) u razdoblju praćenja potrošnje [l na 100 km];
 Gsc – prosječna potrošnja benzina testnog vozila u razdoblju praćenja potrošnje [l na 100 km];
 EMspec.` – specifična emisija ekvivalentnog vozila u jedinici vremena praćenja potrošnje [kg CO_{2eq} na 100 km];
 EMspec. – specifična emisija testnog vozila u razdoblju praćenja potrošnje [kg CO_{2eq} na 100 km];
 ΔEMspec. – razlika specifičnih emisija u danom razdoblju [kg CO_{2eq} na 100 km].

prema kriteriju redovno održavanih vozila. Opći podaci o testnim vozilima, dani su u tablici 3-3.

Podaci potrebni za izračun uštede svakog od vozila navedeni su redom:

1. ukupna udaljenost prijeđena automobilom izražena u kilometrima u mjerenom periodu
2. potrošnja UNP-a u automobilima izražena u litrama plinovitog goriva
3. potrošnja benzina u automobilima izražena u litrama tekućeg goriva
4. fizikalna svojstva goriva, u vidu kalorijske vrijednosti i gustoće
5. pretvorbeni emisijski faktori sagorijevanja UNP-a i benzina

6. pretvorbeni WTT emisijski faktori za benzin i UNPI izraženi u kg CO_{2eq}

Ulazni te izvedeni podaci potrebni za proračun oba testna vozila prikazana su u tablici 3-4. te su popraćeni opisom korištenih oznaka.

Valja istaknuti kako su podaci bilježeni u programu MS Excel 2013 kroz razdoblje u trajanju od 30 mjeseci odnosno od 1. 6. 2016. do 31. 12. 2018. godine. S ciljem dobivanja ulaznih parametara veće točnosti, praćenje potrošnje u navedenom razdoblju je razloženo na 3 jednaka dijela odnosno 3 razdoblja po 10 mjeseci.

1 „Government emission conversion factors for greenhouse gas company reporting 2018“

3.3. „Life Cycle Assessment“ (LCA) metoda

Procjena cjeloživotnog okolišnog utjecaja, ujedno poznata i pod nazivom „metoda analize životnog vijeka proizvoda“ (engl. *Life Cycle Assessment – LCA*), jest metoda kojom se cjeloživotni vijek proizvoda/sustava rasčlanjuje na niz međusobno ovisnih segmenata. Drugim riječima, dijelove proizvoda/sustava nužno je proučavati kroz njihove zasebne utjecaje gdje u zatvorenom ciklusu svaka od faza doprinosi okolišnom otisku u određenoj mjeri. LCA kao metoda omogućuje procjenu zasebnih, ali i kumulativnih utjecaja na okoliš koji proizlaze iz svih faza životnog ciklusa proizvoda, procesa i sustava. Poput prikazanog na primjeru putničkog automobila na slici 3-1., LCA ciklus započinje ekstrakcijom sirovina iz zemlje kako bi se stvorio proizvod, a završava u trenutku kada se svi materijali vrate u zemlju to jest u trenutku odlaganja otpada. Dakle, svaki proizvod, proces ili industrijski sustav zahtijeva određenu količinu sirovina i energije u svakoj od faza svog životnog ciklusa, odnosno od dobivanja sirovine za proizvodnju, same proizvodnje, distribucije, korištenja i održavanja te odlaganja ili recikliranja.

Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO) izradila je standardiziranu metodologiju procjene životnog ciklusa, definiranu ISO 14040 i ISO 14044 standardima. Sukladno navedenim standardima, definirano je prikupljanje i procjena ulaznih i izlaznih vrijednosti te potencijalnih utjecaja sustava proizvoda na životni ciklus tijekom samog životnog vijeka (Bossagh et al., 2012). Glavna primjena LCA analize jest upravo identificiranje prilika za poboljšanje okolišnog otiska proizvoda u različitim točkama njihovog životnog ciklusa. Valja istaknuti kako je LCA po svojoj primjeni vrlo kompleksna metodologija koja prikazuje skupno djelovanje svih utjecaja proizvoda ili industrijskog procesa na okoliš. Kako bi se izračunao detaljan okolišni otisak bilo kojeg proizvoda/procesa,

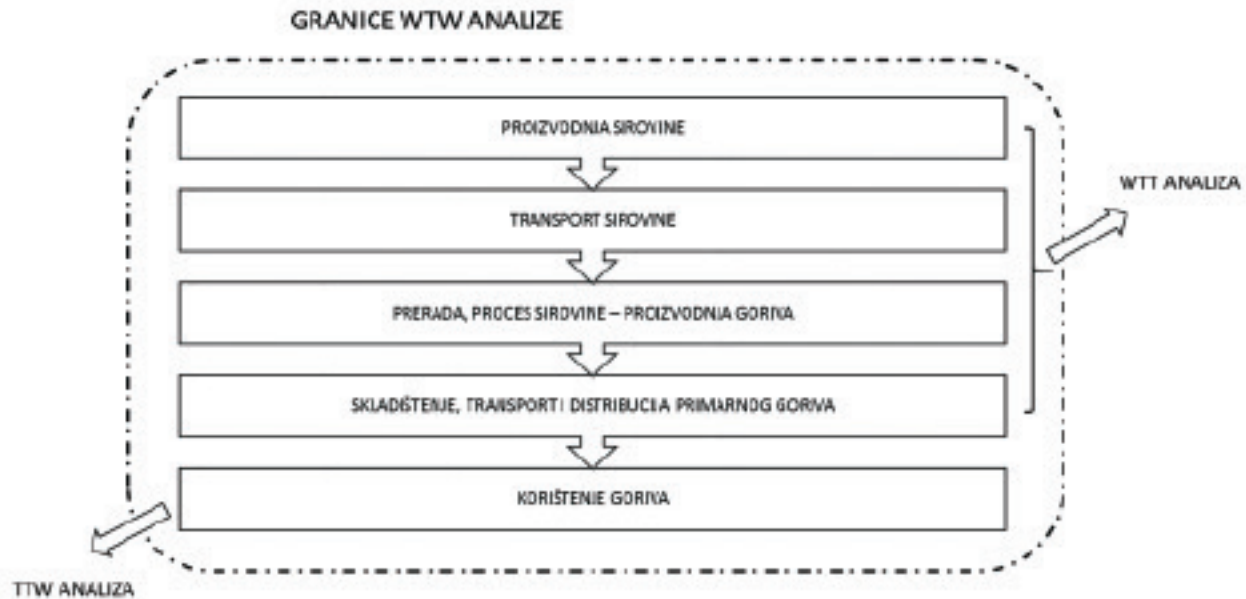
potrebni su složeni proračuni i širok spektar sakupljenih podataka te jasno definirane granice sustava što samu metodologiju čini složenijom u smislu provedbe analiza. Također, transparentnost prikupljenih podataka za svaki dio ciklusa uvelike može ograničiti usporedbu različitih okolišnih otisaka (JRC, 2014). Zbog navedenih razloga te budući da je komparacija na testnim vozilima izvršena s aspekta pogona na dva različita goriva s ciljem utvrđivanja efikasnosti i emisija svakog od njih, kao i zbog činjenice da se radi o istim vozilima, primjena potpune LCA metodologije smatra se neprikladnom. Uzevši u obzir da je ishod rada definiran kao usporedba između dviju različitih opcija, promatrane su isključivo emisije nastale kao posljedica neposredne potrošnje goriva u okviru analize, dok su one uslijed proizvodnje i odlaganja vozila (slika 3-1.) poistovjećene te time zanemarene.

3.3.1. Well-To-Wheel (WTW) analiza

Od izvora do kotača (engl. *Well-To-Wheel analiza – WTW*) posebna je metoda unutar LCA koja se primjenjuje za transportna goriva i vozila s ciljem iskazivanja njihovog ugljičnog otiska. Kao što je prikazano na slici 3-2., kvantitativna raspodjela emisija stakleničkih plinova svakog goriva uključuje emisije stakleničkih plinova uslijed proizvodnje sirovine, transporta i proizvodnje samog goriva. Pri iskazivanju emisija stakleničkih plinova važna je pretpostavka da WTW metodologija implicitno pretpostavlja da konzumacija energije i emisije stakleničkih plinova imaju jednak utjecaj na globalnoj razini bez obzira odakle potječu (JRC, 2014). Gledajući cjelokupni europski kontekst isto se ne može reći za druge pokazatelje, kao što su onečišćenje zraka i voda, koji više ovise o lokalnim uvjetima i učincima. Iako bitni, za njihovu procjenu razvijeni su drugačiji pristupi. Iz tog razloga njihov utjecaj u radu nije analiziran. Analiza se često raščlanjuje u dvije faze:



Slika 3-1. Shema procjene cjeloživotnog okolišnog otiska putničkih automobila (LCA)



Slika 3–2. Obuhvat WTW analize, prema skici (Unnasch i Goyal, 2017)

1. od izvora do spremnika (*engl. Well-To-Tank – WTT*) koja uključuje emisije uslijed eksploatacije i transporta sirovine (sirova nafta ili prirodni plin), proizvodnje goriva rafinerijskim procesima te njihovog daljnjeg transporta i distribucije, skladištenja i prodaje krajnjem korisniku.
2. od spremnika do kotača (*engl. Tank-To-Wheel – TTW*) koja uključuje emisije uslijed sagorijevanja samog goriva u motoru.

WTW analiza se uobičajeno koristi za procjenu ukupne potrošnje, kao pokazatelj učinkovitosti pretvorbe energije te utjecaj emisija kroz životni ciklus transportnog goriva. Time se daje kompletna i stvarna slika ukupnih emisija.

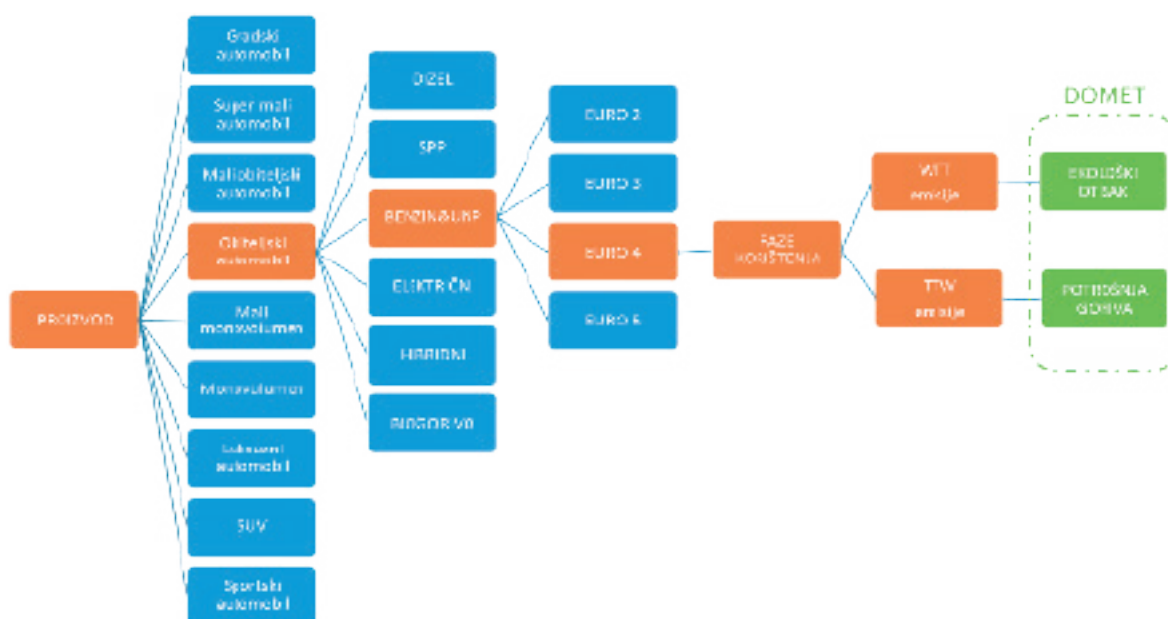
3.4. Izračun emisija ispušnih plinova UNP i benzinskih vozila WTW metodom

3.4.1. Model izračuna emisija

Usporedna analiza, temeljena na parametrima prikazanim blok shemom na slici 3-3., korištena je u svrhu procjene ukupnog WTW okolišnog otiska odvojeno za benzinska i vozila pogonjena na UNP. Kao ulazni parametar uzeta je stvarna potrošnja energije dobivene na temelju praćenja potrošnje goriva kroz razdoblje od 30 mjeseci. Prateći potrošnju goriva vozila s pogonom na UNP, a s ciljem definiranja njegovih okolišnih otisaka, moguće je odrediti energiju oslobođenu uslijed sagorijevanja goriva. Koristeći

konzumiranu energiju kao ulazni parametar moguće je prema kalorijskoj vrijednosti ukupno potrošenog goriva u danom periodu izraziti ukupne WTW emisije, prikazane kao zajednički zbroj WTT i TTW emisija (Unnasch i Riffel, 2012). Valja istaknuti kako su emisije CO₂, CH₄ te NO₂ u ispušnim plinovima nastale kao posljedica nepotpunog sagorijevanja u motoru, objedinjene u TTW emisijama.

Također, pri računanju WTT emisija za UNP pretpostavljen je model da je UNP neželjen nusprodukt rafiniranja sirove nafte. Pretpostavka je uzeta u obzir da većina proizvedenog UNP-a potječe od intenzivnog procesiranja dugolančanih ugljikovodika s ciljem proizvodnje vrijednih naftnih derivata poput benzina, dizela i sl. Optimiziranje tih procesa s ciljem maksimalne proizvodnje naftnih derivata svakako utječe na povećanje emisija stakleničkih plinova. Ciljana uporaba rafinerijskih jedinica poput onih za hidrokrekiranje, omogućuje da se te emisije pripišu primarnim to jest ciljanim produktima procesa, a ne neželjenim nusproduktima (Unnasch i Goyal, 2017). Drugim riječima, upravo činjenica da UNP nije ciljani produkt procesa, ugljični otisak uslijed spomenutih emisija bit će pripisan komponentama poput benzina, što će u konačnici rezultirati manjim WTT, a samim time i ukupnim WTW emisijama. Podatak da je 2016. godine više od 86% od ukupno proizvedenih količina UNP-a u Republici Hrvatskoj poteklo iz rafinerija (EIHP, 2018) ide u prilog pretpostavljenom modelu. Isto je vidljivo u tablici 3-5.



Slika 3-3. Blok-shema analizom obuhvaćenih parametara, prema skici (Boureima et al., 2009)

Otprije je već spomenuto, iako suprotno hrvatskim prilikama, da 60% svjetskih količina UNP-a, biva proizvedeno kao nusprodukt u procesu izdvajanja težih ugljikovodika pri obradi prirodnog plina bogatog ugljikovodicima s 3 ili 4 ugljikova atoma, odnosno degazolizacijom (Labudović, 2007). Budući da je potrebna sirovina za dobivanje UNP-a u tom slučaju prirodni plin ili neka druga smjesa lakih ugljikovodika, manji ugljični otisak lakših ugljikovodičnih frakcija bit će popraćen smanjenjem WTT emisija stakleničkih plinova. Suprotno tome, konvencionalni benzin kao gorivo dobiveno frakcijskom destilacijom sirove nafte, uglavnom sačinjene od parafina (15% – 60%), naftena (30% – 60%), aromata (3% do 30%) te s asfaltom kao ostatkom, može sadržavati više od 200 različitih C₄₊ frakcija ugljikovodika u smjesi (Sethiya, 2007), što uvelike naglašava njegov WTT ugljični otisak.

Kada su izračunate ukupne emisije testnih vozila, za isti iznos potrošene energije izračunate su WTW emisije izražene po jedinici energije ukupno utrošenih količina benzina. Količini potrošenog ekvivalenta benzina nužno je dodati i stvarno utrošenu količinu benzina potrebnu za operativni minimum pri pokretanju vozila na UNP odnosno hladan start motora, ali i kao nadomjestak u slučaju nestašice plina tijekom vožnje. Usporedni rezultati izračuna WTW emisija dodatno bi trebali naglasiti razliku utjecaja okolišnih otisaka benzina i UNP-a.

3.4.2. Izračun ušteda emisija

Cilj izračuna bio je pokazati smanjenje emisija CO_{2eq} iz ispušnih emisija osobnih vozila pregradnjom na UNP. Sukladno već otprije opisanoj WTW analizi,

Tablica 3-5. Kretanje raspoloživih količina UNP-a u Republici Hrvatskoj u periodu od 2011. do 2016. godine, prema podacima (EIHP, 2018)

Hrvatsko tržište UNP-a [kt]	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.
Rafinerije	214,4	238,7	209,1	189	209,1	207,7
Degazolinaža	51,6	41,7	40,7	36,3	38,7	40,4
Ukupna proizvodnja	266	280,4	249,8	225,3	247,8	248,1
Uvoz	14	14,1	39,5	43,4	35,9	53,9
Izvoz	127,3	145,7	144,6	131,8	142,8	155,2
Saldo skladišta	-2,7	-1,5	1	2	-0,9	-2,5
Bruto raspoloživo	150	147,3	145,7	138,9	140	144,3

a s ciljem prikazivanja energetske uštede, proveden je izračun čiji postupak osmišljen samostalno za potrebe ovoga rada, a koji se sastoji od dva koraka. U prvom koraku računate su stvarne WTW emisije referentnih vozila korištenjem podataka dobivenih praćenjem potrošnje u navedenom periodu. Potom je u 2. koraku na temelju ukupno utrošene energije uslijed izgaranja UNP-a izračunat ekvivalent benzinske potrošnje. Prema formuli [5], ekvivalentna benzinska potrošnja zbrojena zajedno s potrošnjom benzina dobivenom praćenjem daje ukupnu potrošnju ekvivalentnog benzinskog vozila ($\text{tot.}G_{\text{ceq}} = G_c + \text{eq.}G$). Po završetku proračuna, od rezultata iz koraka 2 potrebno je oduzeti rezultat iz koraka 1. Dobivena razlika može se izraziti i kao postotak, referentno prema rezultatu WTW emisija ekvivalentnog vozila. Valja istaknuti kako navedeni izračun može biti korišten s ciljem projekcija WTW emisija za široki spektar goriva, naravno uz određene preinake glede samih ulaznih podataka. Postupak osmišljenog izračuna naveden je u nastavku:

1. Izračun WTW emisija referentnog UNP vozila:

a) projekcija TTW emisija izraženih u kg CO_{2eq}

$$EMttw = nm \times \frac{\sum_{i=1}^n EMspec.}{n} \times \frac{1}{100} \quad [1]$$

Gdje je:

nm – projekcija neto prijeđene kilometraža [km];

$\frac{\sum_{i=1}^n EMspec.}{n}$ – prosječna specifična emisija CO_{2eq} [kg CO_{2eq} na 100 km];

$EMttw$ – ukupne emisije izražene u CO_{2eq} za prijeđenu kilometražu [kg CO_{2eq}].

b) Specifična emisija $EMspec.$ u jedinici vremena praćenja potrošnje izražena u kg CO_{2eq} na 100 km računa se prema sljedećoj jednadžbi:

$$EMspec. = 100 \times \frac{(LPGc \times CF_lpg + G_c \times CF_g)}{d} \quad [2]$$

Gdje je:

G_c – ukupna potrošnja benzina u praćenom razdoblju [l];

CF_g – benzinski konverzijski faktor za CO_{2eq} (2,30531 kg/l);

$LPGc$ – ukupna potrošnja UNP-a u praćenom razdoblju [l];

CF_lpg – UNP konverzijski faktor za CO_{2eq} (1,51906 kg/l);

d – prijeđena udaljenost u praćenom razdoblju [km].

c) Projekcija WTT emisija za neto prijeđenu kilometražu računa se prema jednadžbi:

$$E_{wtt} = (\text{avg.}LPGsc \times CF_lpg_{wtt} + \text{avg.}Gsc \times CF_g_{wtt}) \times \frac{nm}{100} \quad [3]$$

Gdje su:

E_{wtt} – emisije CO_{2eq} emisije povezane s eksploatacijom sirovine te rafiniranjem i transportom goriva do krajnjeg potrošača; neposredno prije izgaranja [kg CO_{2eq}];

nm – neto prijeđena udaljenost [km];

CF_g_{wtt} – benzinski WTT konverzijski faktor za CO_{2eq} (0,59585 kg/l);

CF_lpg_{wtt} – UNP WTT konverzijski faktor za CO_{2eq} (0,19102 kg/l);

$\text{avg.}LPGsc$ – prosječna specifična potrošnja UNP [l na 100 km];

$\text{avg.}Gsc$ – prosječna specifična potrošnja benzina [l na 100 km].

Prosječne specifične potrošnje benzina i UNP-a referentnog vozila dobivaju se kao srednja vrijednost ulaznih podataka LPGsc i Gsc, dobivenih neposrednim praćenjem potrošnje u određenom vremenskom periodu.

2. Izračun WTW emisija ekvivalentnog benzinskog vozila:

a) projekcija TTW emisija izraženih u kg CO_{2eq}

$$EMttw' = nm \times \frac{\sum_{i=1}^n EMspec.'}{n} \times \frac{1}{100} \quad [4]$$

Gdje je:

nm – projekcija neto prijeđene kilometraže [km];

n – broj perioda praćenja potrošnje;

$\frac{\sum_{i=1}^n EMspec.'}{n}$ – prosječna specifična emisija CO_{2eq} [kg CO_{2eq} na 100 km];

$EMttw'$ – ukupne emisije izražene u CO_{2eq} za prijeđenu kilometražu [kg CO_{2eq}].

b) specifična emisija $EMspec.$ u jedinici perioda izražena u kg CO_{2eq} na 100 km računa se prema sljedećoj jednadžbi:

$$EMspec.' = 100 \times \frac{G_c + \frac{AFc \times CVvAF}{CVvG}}{d} \times CF_g \quad [5]$$

Gdje je:

G_c – ukupna potrošnja benzina u praćenom razdoblju [l];

AFc – ukupna potrošnja alternativnog goriva u praćenom razdoblju [l];

$CVvAF$ – kalorijska vrijednost alternativnog goriva izražena po jedinici volumena [MJ/l];

$CVvG$ – kalorijska vrijednost benzina izražena po jedinici volumena [MJ/l];

CFg – benzinski konverzijski faktor za CO_{2eq} (2,30531 kg/l);

d – prijeđena udaljenost u praćenom razdoblju [km].

c) Ogrjevna vrijednost goriva izražena po jedinici volumena može se preračunati izrazom:

$$CVv = CVgross \times \rho \times 10^{-3} \quad [6]$$

Gdje je:

$CVgross$ – gornja ogrjevna vrijednost goriva [MJ/kg];

ρ – gustoća goriva [kg/m³].

d) Projekcija WTT emisija za neto prijeđenu kilometražu računa se prema jednadžbi:

$$E_{wttG} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{sc}^i}{n} \times nm \times CF_{gwt} \quad [7]$$

Gdje su:

E_{wttG} – emisije CO_{2eq} povezane s eksploatacijom sirovine te rafiniranjem i transportom ekvivalenta goriva do krajnjeg potrošača [kg CO_{2eq}];

G_{sc} – prosječna specifična potrošnja ekvivalenta goriva u periodu [l na 100 km], odnosno

$$G_{sc} = (Gc + \frac{AFc \times CVvAF}{CVvG}) * \frac{100}{d};$$

n – broj perioda praćenja potrošnje;

nm – neto prijeđena udaljenost [km];

CF_{gwt} – benzinski WTT konverzijski faktor za CO_{2eq} (0,59585 kg/l).

3.5. Rezultati i rasprava

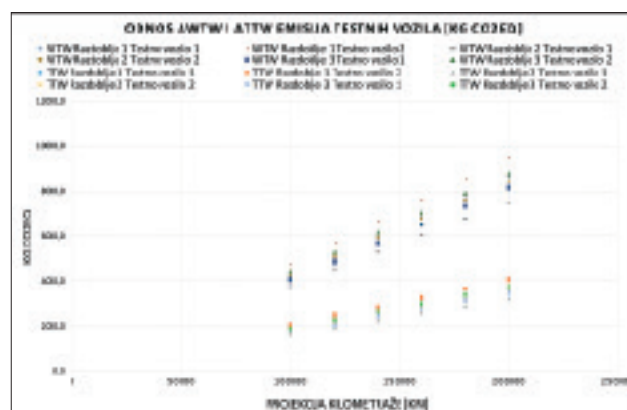
Nezaobilazna stavka svakog energetskeg izvješća jesu projekcije emisija s ciljem predviđanja njihovog kretanja u određenom razdoblju. Prema izvješću Hrvatske agencije za okoliš i prirodu (HAOP, 2017), ukupne emisije povezane s izgaranjem goriva u energetskeg sektoru, iznosile su 16.728 tisuća tona CO_{2eq} (u daljnjem tekstu kt) 2015. godine. Sukladno istim podacima, emisije iz sektora prometa iznosile su

5951,8 kt CO_{2eq} od čega je oko 95% ukupnih emisija u prometu, odnosno više od 5600 kt CO_{2eq} , generirao sektor cestovnog prometa (EIHP, 2018). Činjenica da je upravo sektor prometa odgovoran za više od 35% od ukupnog broja emisija CO_{2eq} u neposrednoj potrošnji u RH ističe veliki potencijal za provedbu mjera energetske učinkovitosti. S obzirom da su emisije CO_{2eq} i njihovo smanjenje navedeni kao glavni problem, pretpostavljenim projekcijama ušteda ostvarenih konverzijom na UNP želja je naglasiti potencijal njegove primjene kao alternativnog goriva. Na slici 3-4. prikazana je usporedna grafička raspodjela projekcija ušteda klasične (bez ciklusa goriva) te WTW analize s ciljem da se iskaže značaj uračunavanja emisija povezanih uz životni ciklus goriva. Valja istaknuti kako je razlika ušteda istaknuta za svako od razdoblja praćenja potrošnje, zasebno za svako vozilo, referentno u tablici 3-4. U svrhu potkrjepljivanja postavljenih hipoteza rada kreiran je scenarij uštede te prikazan u ovisnosti o prijeđenoj kilometraži izabranog u rasponu koji vjerno oslikava aktualno prilike u Republici Hrvatskoj.

3.5.1. Scenarij smanjenja emisija ispušnih plinova primjenom proračuna na testnim vozilima

Koristeći prethodno pojašnjen izračun koji se zasniva na sustavno prikupljenim podacima o potrošnji (u predmetnom slučaju za 30 mjeseci), u tablicama 3-6. i 3-7. iskazane su uštede testnih vozila izračunate u razdoblju cjelokupnog praćenja potrošnje temeljem prosječnih specifičnih potrošnji UNP-a i ekvivalenta benzinskog goriva. Raspon pretpostavljenih udaljenosti iznosi od 100.000 do 200.000 km.

Tako, uzmemo li primjerice podatke dobivene za prijeđenih 120.000 km, razlika dobivena zanemarivanjem prethodno spomenutih emisija iznosi 2,29 tona za testno vozilo 1, odnosno 2,08 tona CO_{2eq} za



Slika 3-4. Usporedni prikaz projekcija uštede obuhvatom standardnih testiranja i projekcija uštede obuhvatom WTW analize

Tablica 3-6. Projekcija uštede emisija testnog vozila 1

nm [km]	TTW benzin [kg CO ₂ eq]	TTW UNP [kg CO ₂ eq]	WTT benzin [kg CO ₂ eq]	WTT UNP [kg CO ₂ eq]	ΔTTW emisija [kg CO ₂ eq]	ΔWTT emisija [kg CO ₂ eq]	ΔTTW+ΔWTT [kg CO ₂ eq]
100000	19546,93	17811,58	5052,27	2728,50	1735,35	2323,76	4059,11
120000	23456,31	21373,90	6062,72	3274,20	2082,42	2788,52	4870,94
140000	27365,70	24936,21	7073,17	3819,90	2429,49	3253,27	5682,76
160000	31275,09	28498,53	8083,62	4365,60	2776,56	3718,02	6494,58
180000	35184,47	32060,84	9094,08	4911,30	3123,63	4182,78	7306,40
200000	39093,86	35623,16	10104,53	5457,00	3470,70	4647,53	8118,23

Tablica 3-7. Projekcija uštede emisija testnog vozila 2

nm [km]	TTW benzin [kg CO ₂ eq]	TTW UNP [kg CO ₂ eq]	WTT benzin [kg CO ₂ eq]	WTT UNP [kg CO ₂ eq]	ΔTTW emisija [kg CO ₂ eq]	ΔWTT emisija [kg CO ₂ eq]	ΔTTW+ΔWTT [kg CO ₂ eq]
100000	20222,60	18310,86	5226,90	2666,94	1911,74	2559,96	4471,70
120000	24267,12	21973,03	6272,29	3200,33	2294,08	3071,95	5366,04
140000	28311,64	25635,21	7317,67	3733,72	2676,43	3583,94	6260,37
160000	32356,16	29297,38	8363,05	4267,11	3058,78	4095,94	7154,71
180000	36400,68	32959,55	9408,43	4800,50	3441,12	4607,93	8049,05
200000	40445,20	36621,72	10453,81	5333,89	3823,47	5119,92	8943,39

testno vozilo 2, dok na 180.000 km ta razlika iznosi 3,8 to jest 3,47 tona. Prema statistikama Centra za vozila Hrvatske (cvh.hr, 2019), osobna vozila u Hrvatskoj godišnje prosječno prijeđu 12.687,99 kilometara, dok prosječna starost automobila iznosi 12,64 godine. Uzevši u obzir prethodno navedene podatke te činjenicu da je 75% osobnih vozila ispod granice od 20.000 prijeđenih kilometara godišnje, moguće je zaključiti kako podaci u tablicama 3-6. i 3-7. uistinu vjerno oslikavaju prilike u Hrvatskoj. Dakle, moguće je ustvrditi kako bi se konverzijom benzinskih automobila na autoplina tijekom životnog vijeka vozila, moglo ostvariti smanjenje emisija i preko 4 tona CO₂eq po vozilu. Ukoliko se neposrednim emisijama, uslijed izgaranja goriva, pridodaju TTW emisije, tada je moguće ostvariti smanjenje emisija čak i do 7,2 tona CO₂eq (po vozilu na prijeđenih 160.000 km), a što je vidljivo na slici 3-4. Drugim riječima, primjenom detaljnije WTW analize mogli bismo reducirati specifične emisije EURO4 benzinskih vozila i do 45 g/km. Vrlo je važno zamijetiti da trend razlike, WTT, ali i TTW emisija, rastući linearno postaje sve značajniji s vremenom. Unatoč izdvajanju WTT emisija iz analize, izračunate uštede emisija kreću se u rasponu od 8 do 9%, dok kombiniranjem utjecaja obiju ušteda u sklopu WTW analize, taj postotak se gotovo udvostručava, što u konačnici rezultira ukupnom uštedom u postotku od oko 18% poput prikazanog na slici 3-5.

Promatrajući stvarnu uštedu emisija sa šireg aspekta, sada već nezanemarive količine smanjenja emisija znatno ističu prednost konverzije pogona na UNP u odnosu na automobile s pogonom na benzin. Radi jednostavnosti i što zornijeg prikaza smanjenja emisija u nastavku je izračunato smanjenje emisije na hipotetskom primjeru pregradnje 10% osobnih

automobila u Republici Hrvatskoj, EURO4 generacije vozila. Analiza je rađena uz pretpostavku da godišnje prijeđena kilometraža ne iznosi više od 12.000 km. Zbog nedovoljno velikog statističkog uzorka, u obzir su uzeti najnepovoljniji rezultati (tablica 3-4; razdoblje 2, testno vozilo 1). S obzirom na ulazne parametre, razlika dobivena pregradnjom 155.290 (Eurostat, 2016) vozila na UNP rezultirala bi smanjenjem emisija u okviru WTW analize u iznosu od 70,22 kt CO₂eq godišnje što bi odgovaralo smanjenju od oko 1,2% u odnosu na ukupne godišnje emisije iz sektora cestovnog prometa u 2015. godini. U slučaju odabira najpovoljnijih ulaznih parametara (tablica 3-4; razdoblje 1, testno



Slika 3-5. Usporedna grafička analiza ušteda WTW emisija testnog vozila a) 1 b) 2

Tablica 3-8. Tablični prikaz odnosa potrošnje stvarnih testnih i ekvivalentnih vozila

Razdoblje praćenja potrošnje	Prosječna cijena UNP-a [kn]	Prosječna cijena benzina [kn]	Trošak ekvivalentne potrošnje testnog vozila 1 [kn]	Trošak stvarne potrošnje testnog vozila 1 [kn]	Trošak ekvivalentne potrošnje testnog vozila 2 [kn]	Trošak stvarne potrošnje testnog vozila 2 [kn]
01.06.2016-09.04.2017	3,98	9,19	12379,73	8211,56	13057,87	8474,44
09.04.2017.-07.02.2018.	4,35	9,40	11150,97	7644,57	12168,22	8222,63
07.02.2018.-28.12.2018.	4,77	10,18	12811,71	9301,58	12390,53	8596,82

vozilo 2) projicirane ušteda bi dosegle brojku od 88,79 kt CO_{2eq}, što drugim riječima odgovara smanjenju emisija u sektoru cestovnog prometa od preko 1,5% u odnosu na navedeno razdoblje. Svakako nepobitan dio ove projekcije jest i cijena određena troškovima emisija u cestovnom prijevozu 0,04 eura po kg CO₂ prema Pravilniku o metodologiji za izračun operativnih troškova tijekom razdoblja eksploatacije vozila za cestovni prijevoz. Dakle, nepobitna korist može se uočiti i s ekonomskog aspekta, rezultirajući godišnjom novčanom uštedom od preko 26 milijuna kuna. Uštede u pogledu operativnih troškova razrađene su u narednom odlomku.

3.5.2. Ekonomski aspekti smanjenja emisija

U procesu praćenja potrošnje goriva kroz 30 mjeseci istodobno je praćeno kretanje cijena benzina i UNP-a s ciljem procjene novčanih ušteda. Pritom se ističe kako se navedene cijene odnose na konkretne punionice gdje je gorivo natočeno. S obzirom da cijene mogu varirati u odnosu na pojedine punionice, praćene cijene ne predstavljaju nužno najpovoljniji izbor u određenom trenutku na tržištu, već su ovisne o izboru vozača. Prema slici 3-6. jasno je vidljivo da cijena UNP-a u većoj mjeri prati kretanje cijena benzina. *Oznaka linear na slikama označava linearnu aproksimaciju kretanja cijena.*

U tablici 3-8. prikazana je prosječna cijena UNP-a i benzina u svakom periodu promatranja potrošnje.

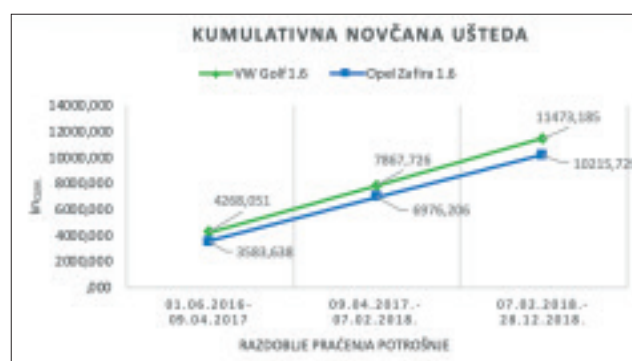


Slika 3-6. Grafički prikaz kretanje cijena UNP-a i benzina EuroSuper 95 u razdoblju od 1. 6. 2016 do 19. 12. 2018.

Nadalje, na temelju podataka o specifičnoj potrošnji goriva i ekvivalenta benzina iz tablice 4, izračunato je i novčano opterećenje referentnih testnih i ekvivalentnih benzinskih vozila, također prikazano u tablici 3-8.

Kumulativna ušteda izračunata je kao ukupan zbroj razlika između ekvivalentnog i stvarnog financijskog opterećenja. S obzirom na razlike u cijeni operativnih troškova na kraju svakog perioda, kumulativna financijska ušteda unutar tridesetomjesečne analize za prvo testno vozilo iznosi 11.473,18 kn. Za drugo testno vozilo, s obzirom na manje prijeđenu kilometražu, financijska ušteda nešto je niža te iznosi 10.215,73 kn. Slika 3. – 7. vjerno ilustrira trend kretanja kumulativne financijske uštede. Razlog tomu leži u činjenici da uz samu cijenu goriva, na iznos ukupne uštede, značajno utječu i značajke motora, ali i režim vožnje koji se posredno odražavaju kroz povećanu ili smanjenu potrošnju benzina kao što je to razlog kod testnog vozila 1.

Financijske uštede je moguće izraziti i po prijeđenom kilometru. Tako primjerice, ušteda drugog testnog vozila po prijeđenom kilometru iznosi 0,27 kn. Uzevši u obzir da su inicijalni troškovi konverzije oko 6500 kn te pretpostavivši da su redovna servisna ulaganja potrebna u jednakoj mjeri kao i kod benzinskih vozila, period povrata investicije iznosi nešto manje od 2 godine odnosno oko 24.000 km. Nadalje, završetkom razdoblja praćenja potrošnje moguće je pretpostaviti posrednu dobit koja iznosi 4973 kn za testno vozilo 1, odnosno 3715 kn za testno vozilo 2. Navedene dobiti će,



Slika 3-7. Grafički prikaz kumulativne novčane uštede testnih vozila u 30-mjesečnom razdoblju praćenja potrošnje

u ovisnosti o kretanju cijena UNP-a i benzina, nastaviti rasti s odmakom vremena stopom jednakoj kumulativnoj uštedi, a brzinom koja će ponajviše ovisiti o prijeđenoj kilometraži pojedinog vozila.

4. Zaključak

Analizom dobivenih rezultata na temelju usporedbe stvarne potrošnje i ekvivalentne benzinske potrošnje moguće je istaknuti jasne i jednoznačne koristi primjene UNP-a kao alternativnog plinovitog goriva. Razlike u emisijama, isključujući utjecaj energije i emisija uslijed same proizvodnje goriva, kod pregradnje automobila na pogon UNP-om rezultirat će smanjenjem specifičnih emisija i do 2 kg CO_{2eq}/100 km. Nadalje, ako se procjena smanjenja emisija izvede u širem obuhvatu, uzimajući u obzir i emisije pripisane ciklusu pridobivanja goriva, moguće je postići smanjenje specifičnih emisija i preko 5 kg CO_{2eq}/100 km. Na slici 3-5. jasno je izraženo da se ostvarena smanjenja kreću oko 20% ukupnih WTW emisija ekvivalentne benzinske potrošnje.

Ako se primarnim ekološkim prednostima pridodaju i ekonomske uštede od 0,27 kn/km, UNP u potpunosti postaje prihvatljivo alternativno gorivo.

Rezultati proizišli iz proširene analize istraživanja jednoznačno su potvrdili postavljenu hipotezu koja je pretpostavljala smanjenje emisija stakleničkih plinova više od 10% prilikom zamjene pogona benzinskih vozila s pogonom na UNP. Valja istaknuti i prikaz ekonomskih ušteda koje je moguće ostvariti prelaskom na alternativno plinsko gorivo kao dodatni doprinos istraživanju.

Činjenica kako INA vlastitom proizvodnjom u cijelosti osigurava potrebe domaćeg tržišta autoplina, uz ostvarivanje suviška i izvoz na tržišta u regiji, UNP čini još snažnijim konkurentom prevladavajućim benzinskim automobilima. S obzirom na projekcije porasta potrošnje prirodnog plina na svjetskom tržištu u sljedećem desetljeću i dulje te proizvodne kapacitete UNP-a, moguće je opravdano ustvrditi kako je dugoročna proizvodnja i opskrba UNP-om na svjetskom tržištu osigurana.

Uz pravovaljano informiranje javnosti te upoznavanje s prednostima korištenja UNP-a u odnosu na korištenje aktualnih goriva te širom implementacijom u sektoru transporta, moguće je, uz redovito održavanje vozila, postići smanjenje emisija stakleničkih plinova u sektoru transporta. Zamah primjene UNP-a ima mogućnost usmjeravanja sektora prometa ekonomičnijem korištenju goriva i efikasnijem energetskom iskorištavanju. Pritom je potrebno razmotriti i poticajne mjere kojima bi se korisnici dodatno potaknuli na korištenje UNP u postojećim benzinskim vozilima.

Energetska tranzicija prema većem udjelu plinovitih goriva u sektoru transporta trebala bi potaknuti daljnja istraživanja primjene plinskih goriva u cilju pronalaska što boljeg tranzicijskog goriva za pojedine vrste vozila u okviru održivog razvoja. U tom je smislu potrebno analizirati primjene stlačenog prirodnog plina i ukapljenog prirodnog plina čija se primjena sve više razmatra za pojedine kategorije vozila i to ne samo u cestovnom, već i pomorskom, riječnom i željezničkom transportu.

Literatura

1. ACEA Report: Vehicles in use – Europe 2018. (2018). E-book, Brussels: © 2018 ACEA. URL: https://www.acea.be/uploads/statistic_documents/ACEA_Report_Vehicles_in_use-Europe_2018.pdf
2. Archer, G., Earl, T., Bannon, E., Poliscanova, J., Muzi N. i Alexandridou, S., 2018. CO₂ emissions from cars: THE FACTS (2018). A report by European Federation for Transport and Environment, AISBL, Brussels, pp. 8-43.
3. auto-gas.net., 2019. *Autogas is growing* – *auto-gas.net*. URL: <https://auto-gas.net/why-autogas/autogas-is-growing/> (Datum pristupa: 30. 3. 2019.).
4. Bossagh, I. i Hassanzadeh, M. (2012). LCA-Introduction. URL: https://www.researchgate.net/publication/331319437_LCA-Introduction. (Datum pristupa: 4. 4. 2019.)
5. Boureima, F., Messagie, M., Matheys, J., Wynen, V., Sergeant, N., Van Mierlo, J., De Vos, M. i De Caemel, B., (2009). Comparative LCA of electric, hybrid, LPG, diesel and gasoline cars in Belgian context., *World Electric Vehicle Journal* Vol. 3 – ISSN 2032-6653 – © 2009 AVERE Pp. 0469-0476. URL: https://www.researchgate.net/publication/234162918_Comparative_LCA_of_electric_hybrid_LPG_diesel_and_gasoline_cars_in_Belgian_context.
6. cvh.hr. (2019). *Centar za vozila Hrvatske | Statistika*. URL: <https://www.cvh.hr/tehnicki-pregled/statistika/> (Datum pristupa: 2. 4. 2019.).

7. Croatian agency for the environment and nature. (2017). National inventory report 2017 – Croatian greenhouse gas inventory for the period 1990-2015. Zagreb: 2017 EKONERG – Energy and Environmental Protection Institute
8. Department for Business Energy & Industrial Strategy. (2018). 2018 Government ghg conversion factors for company reporting – Methodology paper for emission factors: final report. E-book, London: © Crown copyright 2018.
9. Državni zavod za mjeriteljstvo. (2013). Pravilnik o metodologiji za izračun operativnih troškova tijekom razdoblja eksploatacije vozila za cestovni prijevoz NN 136/2013. Zagreb: 2013 Narodne Novine
10. European Environment Agency. (2018). Approximated greenhouse gas emissions in 2016. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/approximated-eu-greenhouse-gas-inventory-2016> (Datum pristupa 13. 11. 2018.)
11. Energetski Institut Hrvoje Požar. (2018). Energija u Hrvatskoj 2016 – Godišnji energetski pregled. Zagreb: © 2018 Energy Institute Hrvoje Požar
12. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost. (2012). Pravilnik o metodologiji za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteda energije u neposrednoj potrošnji NN 77/2012. Zagreb: 2012 Narodne Novine.
13. Gumus, M. (2011). Effects of volumetric efficiency on the performance and emissions characteristics of a dual fueled (gasoline and LPG) spark ignition engine. Istanbul: © 2011 Elsevier B. V. All rights reserved.
14. Hahn, E. (2018). LPG Production Process: How is Propane Made – LPG Plant – Where Found. Preuzeto s: elgas.com.au. URL: <https://www.elgas.com.au/blog/1682-where-does-lpg-come-from-lpg-production-process> (Datum pristupa: 10. 3. 2019.).
15. Hao, H., Geng, Y. i Sarkis, J. (2016). Carbon footprint of global passenger cars: Scenarios through 2050. Energy. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.01.089> (datum pristupa 1. 4. 2019.), pp. 101–131.
16. International Energy Agency (IEA). (2018). Global Energy and CO₂ status report 2017. Paris: ©OECD/IEA 2018
17. Joint Research Centre (JRC). (2014). Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context, well-to-tank. Report Version 4.a. URL: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/tank-wheels-report-version-4a-well-wheels-analysis-future-automotive-fuels-and-powertrains> (Datum pristupa 30. 3. 2019.).
18. Labudović, B. (2007). Osnove tehnike ukapljenog naftnog plina. Zagreb: Energetika marketing.
19. McGuire, J. i White, B. (2000). Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals. 3rd ed. London: © Copyright SIGTTO, Bermuda.
20. mppi.hr. (2019). Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture – Infrastruktura – Republika Hrvatska raspolaže sa sljedećom osnovnom mrežom prometne infrastrukture. URL: <http://www.mppi.hr/default.aspx?id=3113> (Datum pristupa: 27. 4. 2019.)
21. Rešetar, M., Pejić, G. i Lulić, Z. (2017). Road transport emissions of passenger cars in the Republic of Croatia. URL: https://www.researchgate.net/publication/322235720_road_transport_emissions_of_passenger_cars_in_the_republic_of_croatia (Datum pristupa: 13. 11. 2018.)
22. Sethiya, A. (2007). LPG as an Alternative fuel in Automobile: A comparative analysis. URL: https://www.academia.edu/26130620/LPG_as_an_Alternative_fuel_in_Automobile_A_comparative_analysis (Datum pristupa: 1. 4. 2019.).
23. Tasic, T., Pogorevc, P. i Brajljeh, T. (2011). Gasoline and lpg exhaust emissions comparison. Advances in Production Engineering & Management 6 (2011) 2, 87-94 ISSN 1854-6250 Scientific paper.
24. Unnasch, S. i Goyal, L. (2017). Life Cycle Analysis of LPG Transportation Fuels under the Californian LCFS, Life Cycle Associates Report LCA.8103.177.2017, Prepared for WPGA, pp. 34-50.
25. Unnasch, S. i Riffel, B. (2012). Greenhouse Gas Modeling for Default Bioenergy Pathways Based on Herbaceous Agricultural Feedstocks. Report Number LCA.6065.61.2012. Life Cycle Associates, LLC. Portola Valley, CA.
26. Zajednica za UNP Hrvatske gospodarske komore. (2017). Analiza utjecajnih faktora ciljeva strategije razvoja autoplina zajednice UNP HGK. Zagreb: OSKAR, centar za razvoj i kvalitetu d.o.o.

Popis korištenih kratica

- ACEA – Europska agencija proizvođača automobila (fran. *Association des Constructeurs Européens d'Automobiles*)
- CVH – Centar za vozila Hrvatske
- EEA – Europska okolišna agencija (engl. *European Environment Agency*)
- EIHP – Energetski Institut Hrvoje Požar
- EURO – 4model 4 europskih emisija ispušnih plinova iz osobnih vozila
- GHG – staklenički plin (engl. *greenhouse gas*)
- IEA – Međunarodna energetska agencija (engl. *International Energy Agency*)
- ISO – Međunarodna organizacija za standardizaciju (engl. *International Standard Organization*)
- LCA – Analiza životnog vijeka proizvoda (engl. *Life Cycle Assessment*)
- NGL – tekući ugljikovodici ekstrahirani iz prirodnog plina (engl. *natural gas liquids*)
- TTW – ciklus od spremnika do kotača (engl. *Tank To Wheel*)
- UNP – Ukapljeni naftni plin (engl. *liquefied petroleum gas – LPG*)
- WTT – ciklus od izvora do spremnika (engl. *Well To Tank*)
- WTW – ciklus od izvora do kotača (engl. *Well To Wheel*)