

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Нада М. Станојевић

**МОДЕЛ ТРОШКОВА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ
ВЕЛИКИХ ВОЗНИХ ПАРКОВА СА ПОГОНОМ
НА КОМПРИМОВАНИ ПРИРОДНИ ГАС**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Београд, 2021.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Nada M. Stanojevic

**MODEL OF EXPLOITATION COSTS
OF LARGE VEHICLE FLEETS POWERED BY
COMPRESSED NATURAL GAS**

DOCTORAL DISSERTATION

Belgrade, 2021

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Нада М. Станојевић

МОДЕЛ ТРОШКОВА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ ВЕЛИКИХ ВОЗНИХ ПАРКОВА СА ПОГОНОМ НА
КОМПРИМОВАНИ ПРИРОДНИ ГАС

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор:

Др Бранко Васић,
редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет

Чланови комисије:

Др Владимир Поповић,
редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет

Др Славен Тица,
ванредни професор Универзитета у Београду, Саобраћајни факултет

Датум одбране: _____

ПРЕДГОВОР

Ова докторска дисертација је настала након вишегодишњег истраживања реализованог кроз бројне пројекте сарадње са привредом у Републици Србији.

Неизмерну захвалност исказујем свом ментору, проф. др Бранку Васићу, на стрпљењу, разумевању, а пре свега на мотивацији и значајним саветима током израде дисертације.

Изузетно се захваљујем и члановима комисије, проф. др Владимиру Поповићу и проф. др Славену Тици, на помоћи и сугестијама током израде докторске дисертације везаних за перформансе возила и друмски превоз.

Мимо експертске подршке ментора и чланова комисије, огромну захвалност дугујем својој породици на бескрајној љубави, огромној вери и несебичној подршци свих ових година.

Tamu

МОДЕЛ ТРОШКОВА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ ВЕЛИКИХ ВОЗНИХ ПАРКОВА СА ПОГОНОМ НА КОМПРИМОВАНИ ПРИРОДНИ ГАС

РЕЗИМЕ

Предмет ове докторске дисертације је израда модела израчунавања оперативних трошкова великих возних паркова са погоном на компримовани природни гас (КПГ) са аспекта обављања њихове основне функције, а у циљу заштите животне средине.

Са том амбицијом је гориво, као кључни улазни оперативни трошак организованих возних паркова, разматрано кроз елементе заштите животне средине у целом животном циклусу (Well-To-Wheel) праћеном кроз моделе Well-To-Tank и Tank-To-Wheel, са фокусом на израчунате резултате емисије возила и емисију еквивалентног угљен диоксида (CO_2e) у атмосферу. Економски показатељи узели су обзир трошкове набавке одговарајућих возила и горива, стабилност саме цене горива, доступност станица за пуњење и трошкове одржавања. Модел је употпуњен тежинским факторима кључних заинтересованих страна које осим власника организованих возних паркова, чине грађани делујући кроз органе локалне самоуправе и државе.

Имајући у виду стратегију Уједињених нација оријентисану ка нултој емисији CO_2e у саобраћају до 2050. године, као и динамику промена које се дешавају на пољу иновирања технологија и алтернативних горива и возила, али и модела транспорта, амбиција ове докторске дисертације је била да кроз успостављени модел провери еколошку и економску хипотезу о оправданости употребе КПГ у организованим возним парковима, разматрајући допринос који употреба КПГ, као прелазно решење, може имати у смањењу емисије гасова са ефектом стаклене баште у транзиционом периоду у коме се паралелно ради на развоју и постепеном увођењу у свакодневну употребу иновативних решења са нултом емисијом.

КЉУЧНЕ РЕЧИ

Компримовани природни гас (КПГ), еквивалентни угљен-диоксид (CO_2e), Well-To-Wheel еколошка анализа (WTW), емисија гасова са ефектом стаклене баште (GHG)

Научна област: Техничке науке – Машинско инжењерство;

Ужа научна област: Моторна возила;

MODEL OF EXPLOITATION COSTS OF LARGE VEHICLE FLEETS POWERED BY COMPRESSED NATURAL GAS

ABSTRACT

The subject of this doctoral dissertation is the development of a model for calculating the operating costs of large fleets with compressed natural gas (CNG) from the aspect of performing their basic function, in order to protect the environment.

With this ambition, fuel, as a key input operating cost of organized fleets, was considered through the elements of environmental protection in the entire life cycle (Well-To-Wheel) followed through the Well-To-Tank and Tank-To-Wheel models, with a focus on calculated results of vehicle emissions and emissions of carbon dioxide equivalent (CO_{2e}) into the atmosphere. Economic indicators took into account the cost of purchasing appropriate vehicles and fuel, the stability of the fuel price itself, the availability of filling stations and maintenance costs. The model is complemented by the weighting factors of key stakeholders who, in addition to the owners of organized fleets, are citizens acting through local governments and the state.

Having in mind the strategy of the United Nations oriented towards zero CO_{2e} emission in transport until 2050, as well as the dynamics of changes in the field of innovation of technologies and alternative fuels and vehicles, but also the transport model, the ambition of this doctoral dissertation was to test the ecological and economic hypothesis on the justification of the use of CNG in organized fleets, considering the contribution that the use of CNG, as a transitional solution, may have in reducing greenhouse gas emissions in the transition period in which development and gradual introduction into everyday use innovative zero-emission solutions.

KEYWORDS

Compressed natural gas (CNG), Carbon dioxide equivalent (CO_{2e}), Well-To-Wheel ecological analysis (WTW), Greenhouse gas emissions (GHG)

Scientific Field: Technical Sciences – Mechanical Engineering;

Subfield: Motor vehicles;

САДРЖАЈ

1.	УВОД.....	1
2.	ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ	5
3.	ЕМИСИЈЕ ГАСОВА СА ЕФЕКТОМ СТАКЛЕНЕ БАШТЕ.....	8
3.1.	Карбонски отисак	8
3.1.1.	Еквивалентни угљен-диоксид CO _{2e}	9
3.1.2.	Методологија „од извора до точка“	9
3.1.3.	Главни привредни емитери гасова са ефектом стаклене баште	11
3.1.4.	Гасна мобилност организованих возних паркова.....	12
3.2.	Транзиција ка друмским моторним возилима без емисије.....	13
4.	ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКИ АСПЕКТИ КОРИШЋЕЊА КПП У МОТОРНИМ ВОЗИЛИМА	14
4.1.	Алтернативна горива.....	14
4.1.1.	О природном гасу	14
4.1.2.	Компримовани природни гас - КПП	15
4.2.	Техничке карактеристике мотора на КПП	15
4.2.1.	Предности	16
4.2.1.1.	Предност мешања.....	16
4.2.1.2.	Предност одржавања.....	16
4.2.1.3.	Потрошња горива специфична за кочнице.....	16
4.2.2.	Недостаци.....	17
4.2.2.1.	Недостаци услед ниске брзине ширења пламена.....	17
4.2.2.2.	Смањење запреминске ефикасности.....	17
4.2.2.3.	Мања излазна снага.....	17
4.3.	Техничке карактеристике моторних возила на КПП.....	17
4.3.1.	Наменска моторна возила	18
4.3.2.	Bi-fuel	18
4.3.3.	Dual-fuel	18
5.	ТРЖИШТЕ ВОЗИЛА НА КОМПРИМОВАНИ ПРИРОДНИ ГАС	20
5.1.	Расположивост модела возила на компримовани природни гас	20
5.2.	Бројност возила и расположивост станица за пуњење на природни гас у свету.....	21
5.2.1.	Статистика у Републици Србији.....	23
6.	ЕКОНОМСКИ АСПЕКТИ КОРИШЋЕЊА КПП У ОРГАНИЗОВАНОМ ВОЗНОМ ПАРКУ	24
6.1.	Организација возног парка.....	24

6.2.	Трошкови набавке возила.....	25
6.1.	Трошкови горива	25
6.1.	Трошкови одржавања возила.....	27
6.2.	Трошкови станица за пуњење.....	28
6.3.	Безбедносни аспекти коришћења кпг у моторним возилима.....	29
6.3.1.	Активна и пасивна безбедност	29
6.3.1.1.	Понашање возила са погоном на компримовани природни гас при кретању	30
6.3.2.	Ризици при коришћењу компримованог природног гаса	30
6.3.2.1.	Опасности и ризици по здравље људи и околине	30
6.3.2.2.	Опасности и ризици од појаве ватре	31
6.3.2.3.	Опасности и ризици од високог притиска	31
6.3.3.	Безбедносна регулатива.....	31
6.3.3.1.	Међународни прописи	32
6.3.3.2.	Домаћи прописи	33
7.	ЕКОЛОШКИ АСПЕКТИ КОРИШЋЕЊА КПГ У ТРАНСПОРТУ	34
7.1.	Студија случаја на флоти лаких комерцијалних возила.....	34
7.1.1.	Уводна разматрања.....	34
7.2.	Истраживање на узорку организованог возног парка лаких комерцијалних возила.....	37
7.3.	Резултати теренског истраживања.....	39
7.3.1.	Потрошња горива.....	39
7.3.2.	Еквивалентна емисија CO _{2e} – „од резервоара до точка“ TTW.....	40
7.3.3.	Еквивалентна емисија CO _{2e} – „од извора до резервоара“ WTT	41
7.3.4.	Еквивалентна емисија CO _{2e} – „од извора до точка“ WTW.....	42
7.3.5.	Трошкови горива.....	43
7.3.6.	Дискусија резултата студије случаја.....	43
8.	ЕКСПОЛОАТАЦИЈА ВОЗНИХ ПАРКОВА СА АСПЕКТА ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ.....	46
8.1.	Вредновање варијанти.....	46
8.1.1.	Опис програма Criterium DecisionPlus.....	46
8.1.2.	Успостављени модел	47
8.1.3.	Улазни подаци	48
8.1.3.1.	Утицај погона возила у возном парку на животну средину	48
8.1.3.2.	Економска оправданост рад возног парка	49
8.2.	Хијерархијски дијаграм.....	51
8.3.	Усвојени тежински фактори за критеријуме	52

8.3.1.	Тежински фактори са аспекта власника возног парка.....	53
8.3.1.	Тежински фактори са аспекта јединица локалне самоуправе	55
8.3.1.	Тежински фактори са аспекта државе	55
9.	РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА.....	57
9.1.	Варијантна решења са аспекта власника возног парка.....	57
9.2.	Варијантна решења са аспекта јединица локалне самоуправе.....	58
9.3.	Варијантна решења са аспекта државе	59
9.4.	Анализа резултата истраживања	60
9.4.1.	Анализа резултата са аспекта власника возног парка	60
9.4.2.	Анализа резултата са аспекта градова и државе.....	62
10.	ЗАКЉУЧЦИ	64
10.1.	Шта даље?	65
11.	ЛИТЕРАТУРА	66
12.	БИОГРАФИЈА АУТОРА	71
	Прилог – Изјава о ауторству	72
	Прилог – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада	73
	Прилог – Изјава о коришћењу.....	74

ЛИСТА СКРАЋЕНИЦА И ОЗНАКА

AHP – Analytical Hierarchy Process

BAU – Business As Usual / Уобичајено пословање

BSFC – Brake Specific Fuel Consumption / Потрошња горива специфична за кочнице

BTE – Brake Thermal Efficiency / Термичка ефикасност кочница

CNG / КПГ – Compressed Natural Gas / Компримовани Природни Гас

ECV – Electrically Chargeable Vehicles / Electric Vehicles

GHG – Greenhouse Gas / Гасови са ефектом стаклене баште

GWP – Global Warming Potential / Глобални потенцијал загревања

HECV – Hybrid Electrically Chargeable Vehicles / Hybrid Electric Vehicles

IC / СУС – Internal Combustion motors / Мотори са Унутрашњим Сагоревањем

LCA – Life Cycle Analysis/ Анализа животног циклуса

LCV / ЛКВ – Light Commercial Vehicles / Лака Комерцијална Возила

MBT – Maximum Brake Torque / Максимални кочни обртни момент

PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle

TTW – Tank-to-Wheel / Од резервоара до точка

WTW – Well-to-Wheel / Од извора до точка

WTT – Well-to-Tank / Од извора до резервоара

СПИСАК СЛИКА

Слика 1: Промене емисије гасова са ефектом стакле баште током времена	1
Слика 2: Графичко објашњење приступа "од извора до точка" WTW	9
Слика 3: Домени WTW и LCA анализе у сектору друмског саобраћаја	10
Слика 4: Модел употребе WTW анализе у организованим флотама возила	11
Слика 5: Индиректно и директно учешће у GHG емисију по привредним секторима	12
Слика 6: Преглед промене броја возила на КПП са пројекцијом за наредни период	22
Слика 7: Расподела КПП станица за пуњење у Србији 2021. године	23
Слика 8: Модел укупних трошкова власника возног парка	25
Слика 9: Емисије гасова са ефектом стаклене баште у животном циклусу према сценарију „Високо учешће електричних возила“	36
Слика 10: Графичко објашњење примењеног модела посматрања	38
Слика 11: Графичко представљање промене цене горива на годишњем нивоу	39
Слика 12: Еквивалентна емисија TTW емисија CO _{2e} након 12 месеци	41
Слика 13: Еквивалентна емисија WTT CO _{2e} након 12 месеци	42
Слика 14: Еквивалентна емисија WTW CO _{2e} након 12 месеци	42
Слика 15: WTW CO _{2e} емисија у поређењу са резултатима извештаја EUR 26236 EN и DLR Report	44
Слика 16: Дијаграм процеса одлучивања	46
Слика 17: Односи унутар модела трошкова експлоатације возних паркова са аспекта заштите животне средине	47
Слика 18: Хијерархијски дијаграм	51
Слика 19: Рангирање варијанти са аспекта власника возног парка	57
Слика 20: Учешће поткритеријума у рангу варијантних решења са аспекта власника	57
Слика 21: Рангирање варијанти са аспекта града	58
Слика 22: Учешће поткритеријума у рангу варијантних решења са аспекта локалне самоуправе	58
Слика 23: Рангирање варијанти са аспекта државе	59
Слика 24: Учешће поткритеријума у рангу варијантних решења са аспекта државе	59
Слика 25: Хијерархијски дијаграма адаптиран поткритеријумом доступности горива	61
Слика 26: Рангирање варијанти са додатним поткритеријумом доступности горива	62
Слика 27: Утицај поткритеријума у рангирању варијанти узимајући у обзир доступност горива	62

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1: Расположиви модели возила на КПП – ЛКВ, аутобуси и теретна возила	20
Табела 2: Регионални број возила и станица за природни гас	21
Табела 3: Расподела КПП станица за пуњење у Србији 2021. године по градовима	23
Табела 4: Капитални трошкови набавке друмских возила на бензин, дизел и КПП	25
Табела 5: Преглед цена моторних горива на станицама за снабдевање у Републици Србији, јун 2021. године	26
Табела 6: Преглед цена КПП и дизел горива у земљама ЕУ	26
Табела 7: Капитални трошкови изградње КПП станице за пуњење	29
Табела 8: Јединични трошкови КПП пунионице (€/GJ)	29
Табела 9: Просечне вредности током 3 и 12 месеци за бензина/ТНГ, бензин/КПП и ЕД возила у урбаним условима вожње	39
Табела 10: Специфична потрошња енергије возила на дизел/ТНГ/КПП и TTW емисија CO _{2e}	40
Табела 11: Укупни годишњи трошкови горива за дизел / ТНГ / КПП возила	43
Табела 12: Вредности индиректне и директне емисије еквивалентног угљен-диоксида	49
Табела 13: Капитални трошкови	49
Табела 14: Оперативни трошкови возила	50
Табела 15: Тежински фактори препознатих спољашњих утицаја	52
Табела 16: Усвојене тежине за критеријуме	53
Табела 17: Усвојене тежине за поткритеријуме - Утицај на животну средину	53
Табела 18: Усвојене тежине за поткритеријуме - Економска оправданост рада возног парка	54
Табела 19: Скала за оцењивање варијантних решења - Економска оправданост рада возног парка	54
Табела 20: Скала за оцењивање варијантних решења - Утицај на животну средину	54
Табела 21: Тежински фактори са аспекта јединица локалне самоуправе	55
Табела 22: Тежински фактори са аспекта државе	56
Табела 23: Упоредни преглед резултата остварених са аспекта власника возног парка, јединице локалне самоуправе и државе	60

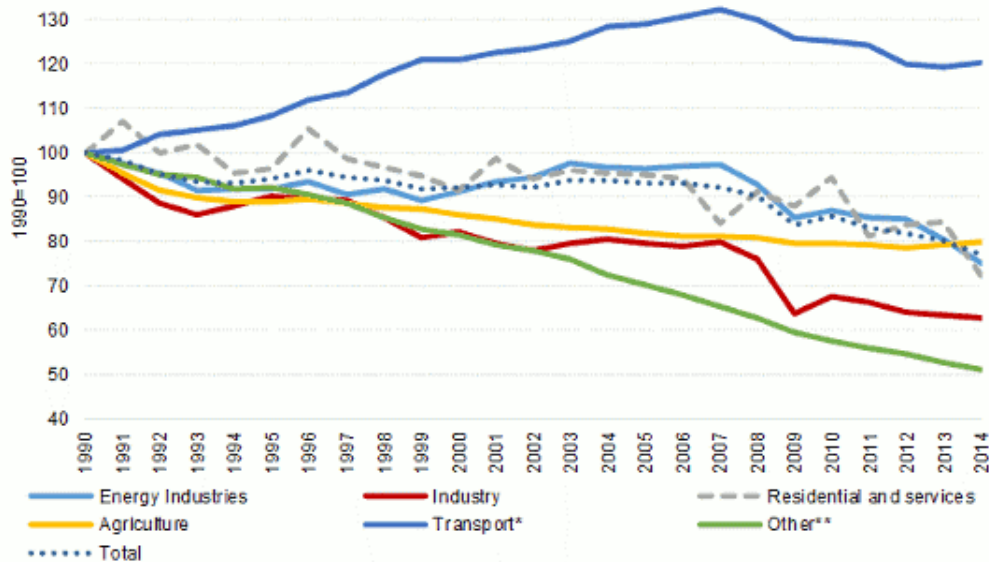
1. УВОД

У урбаним срединама моторна возила, као кључни део транспортног система, представљају један од највећих извора загађења ваздуха и основни су разлог постојања ограничења или забране саобраћаја ужим градским срединама у многим европским метрополама, као и посебни стимулативни програми обнове возних паркова грађана и компанија.

Више од 100 година друмски транспорт се заснива углавном коришћењу течних горива (дизела и бензина) То је довело је до непожељних последица на животну средину и наметнуло је потребу развоја одрживог и конкурентног транспортног система, мање или потпуно независног од нафте, а подједнако ефикасног или ефикаснијег од постојећег.

Глобални стратешки циљеви Уједињених нација којима се захтева ограничавање глобалног загревања испод 1,5 °C, предвиђају за 2030. годину опадање емисије CO₂ за 45 % у односу на 2010. годину, уз достизање „нулте“ емисије у 2050. години. Значајно смањење и других емисија такође се сматра неопходним. [1]

Потребно је истаћи и да је транспорт кривац / заслужан за скоро четвртину емисије гасова са ефектом стаклене баште у Европи и представља основни узрок загађења ваздуха у градовима. Од 1990. године, Док су други сектори привреде постепено смањивали емисије од 1990-их, оне из транспорта почеле су да опадају тек 2007. и још увек су знатно изнад нивоа из 1990.



Слика 1: Промене емисије гасова са ефектом стакле баште током времена [2]

У оквиру овог сектора, друмски саобраћај је далеко највећи емитер са више од 70% свих емисија гасова са ефектом стаклене баште из транспорта у 2014. години. [2]

Транзициони период потребан за достизање дефинисаних циљева је изнуђен брзином климатских промена и захтеваће велике напоре и иновативност у развоју технологија возила, алтернативних горива и модела транспорта. Наведени период је кратак за

остварење постављеног циља, па је изузетно важно шта радити у међувремену. Да ли се окренути само новим решењима (аутономна и електрична возила...) и чекати коначно решење на сваком од ова три поља или допринос ублажавању климатских промена тражити у прелазним решењима ослоњеним на постојеће ресурсе и технологије?

Алтернативна или „чиста“ горива која су намењена за примену у моторним возилима могу, у великој мери, да смање загађење ваздуха, захваљујући својим карактеристикама које их чине „чистијим“ од бензина и дизел горива. У најчешће спомињана алтернативна горива спадају: биогорива (биодизел, биоетанол и биогаз), метанол, природни гас (компримован, утечњен), течни нафтни гас, хидроген и електрицитет. Оно што је до сада представљало непремостиву препреку масовној имплементацији већег дела побројаних алтернативних горива у моторним возилима је била превисока цена самих возила, укључујући и цену горива, тако да је само еколошки аспект био недовољан за масовнију производњу и бржу замену возног парка. Међутим, свакодневни развој и технике и технологије довео је до смањења трошкова производње оваквих возила и повећао опције њиховог увођења у експлоатацију у оквирима организованих возних паркова. Стога владини подстицаји као на државном, тако и на локалном нивоу, као што су изузеци за паркирање, зоне наплате и путарине, у неким областима могу подстаћи употребу возила са алтернативним погоном. Неки подстицаји везани за смањење пореза у различитим земљама већ постоје. [3]

Поред подстицаја у сегменту возила, готово све земље у којима је развијена КПП инфраструктура обезбеђивале су подстицајне програме који се нуде инвеститорима - попут зајмова, субвенција, ослобађања од увозних дажбина и снижавања или укидања увозних царина на машине, опрему уз изузеће од пореза за изградњу и рад бензинских пумпи. [4]

Имајући наведено у виду, односно полазећи од постојећих оквира и усклађујући се са глобалним тенденцијама, **предмет докторске дисертације** је разматрање варијантних решења за еколошку и економску оправданост употребе доступног алтернативног горива - компримованог природног гаса (КПП) у организованим возним парковима.

Квалитет овог истраживања огледа се у интеграцији метода и техника за оптимизацију значаја, утицаја и међусобних корелација већег броја фактора као што су: број возила у возном парку, трошкови набавке возила, потрошња горива, цена горива, индиректна и директна емисија еквивалентног угљен диоксида CO_2e , утицај заинтересованих страна кроз параметре пословања транспортних предузећа (САРЕХ, ОРЕХ...) у јединствен модел за одлучивање при избору оптималног решења избора погонског горива организованог возног парка које ће са једне стране одговорити и допринети остваривању све ригорознијих еколошких захтева, а са друге стране гарантовати постизање квалитетне услуге у прихватљивим трошковним границама.

Научни **циљ докторске дисертације** је успостављање теоријског оквира и модела за унапређење процеса управљања ресурсима великих возних паркова у условима тржишне неизвесности и то кроз развој модела одређивања експлоатационих трошкова са аспекта еколошког доприноса у смањењу емисије еквивалентног угљен-диоксида великих возних паркова са погоном на компримовани природни гас.

Развој овог модела усмерен је ка организованим возним парковима као што су возни паркови доставних возила, такси удружења, комуналних служби и јавних превозника зарад смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште уз подстицање смањења потрошње фосилних горива, односно смањења удела моторних возила у загађењу ваздуха.

У израду модела и саме докторске дисертације пошло се од следећих основних **хипотеза**:

- Могуће је унапредити процес планирања обнове/транзиције великих возних паркова ка погону на компримовани природни гас у условима тржишне неизвесности и потребе смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште,
- Могуће је дефинисати оптимално варијантно решење обнове/транзиције великих возних паркова ка погону на компримовани природни гас, са аспекта минимизације укупних трошкова пословања,
- Употребом КПП, као алтернативног вида погона у великим возним парковима, могуће је задржати исти ниво услуге по питању пређених километара или оствареног комфора уз мање трошкове експлоатације.

Организован возни парк данас свакако мора да задовољи транспортне захтеве и по обиму и по квалитету и то кроз трошковно ефикасну употребу и одржавање возила, а да при том утицај на животну средину сведе на најмању могућу меру. У оквирима ове докторске дисертације полазне хипотезе разматране су у следећим целинама.

У *другој глави* приказани су резултати прегледа досадашњих истраживања у домену техничко-технолошких, економских и еколошких параметара битних за разумевање утицаја и доприноса возила на компримовани природни гас смањењу емисије гасова са ефектом стаклене баште. На основу прегледа ових истраживања кандидат је направио пројекцију својих истраживања.

У оквиру *треће главе* представљена је методологија „од извора до точкова“ (Well-to-Wheel (WTW)) помоћу које су изведена сва мерења емисије еквивалентног угљен-диоксида у истраживању у оквиру рада на овој докторској дисертацији. У овом делу рада кандидат је објаснио значај декарбонизације животне средине и улогу моторних возила са погоном на компримовани природни гас у том процесу.

Четврта глава докторске дисертације представља техничко-технолошке аспекте коришћења компримованог природног гаса у моторним возилима кроз најважније карактеристике емисије алтернативних фосилних горива са ниским садржајем угљеника, као и кроз специфичне техничке карактеристике мотора и моторних возила на компримовани природни гас.

Пета глава је резервисана за разматрање расположивости моторних возила са ниским емисијама гасова са ефектом стаклене баште, пре свега моторних возила на компримовани природни гас и припадајуће инфраструктуре са аспекта применљивости могућих сценарија у блиској будућности и на територији Републике Србије.

Тема *шесте главе* су економски аспекти коришћења компримованог природног гаса у организованом возном парку, кроз успостављање параметарског односа са конвенционалним фосилним горивима, пре свих бензинским и дизел горивима, у домену трошкова набавке возила, одржавања возила, утрошеног погонског горива и станица за пуњење. У истом поглављу се разматрају и безбедносни аспекти коришћења компримованог природног гаса у моторним возилима ради разумевања потенцијалних ризика и техничке регулативе за моторна возила која користе КПП.

Резултати спроведене студије случаја на возном парку лаких комерцијалних возила са погоном на компримовани природни гас дати су и дискутовани у *седмом поглављу* које се бави еколошким аспектима коришћења КПП у транспорту. Закључци по питању добијене и предвиђене еквивалентне WTW емисије угљен-диоксида формирану су упоређивањем резултата добијених на основу спроведеног теренског истраживања и расположивих литературних извештаја за 2020+, добијених на основу лабораторијских испитивања емисије CO_{2e} WTW.

Коришћењем међузависности успостављених у претходним поглављима у *осмом поглављу* је представљен модел трошкова експлоатације возних паркова са погоном на компримовани природни гас са аспекта заштите животне средине који укључује сукобљене факторе као што су еколошки и економски фактори употребе моторних возила интегрисани кроз интересни утицај власништва и шире заједнице.

Девето поглавље представља и дискутује резултате остварене применом успостављеног модела и хијерархијом избора између возила са фосилним или алтернативним горивима рангирајући могуће алтернативе применом модела вишекритеријумског одлучивања.

Након свега, *десето поглавље* даје закључна разматрања у вези са резултатима оствареним у оквиру истраживања током рада на предметној докторској дисертацији, уз списак коришћене литературе који је систематизован у једанаестом поглављу према редоследу појављивања у тексту.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Преглед литературе реализован је са амбицијом да укаже на постојеће и будуће примене компримованог природног гаса у друмском транспорту и на чињеницу да се велики део научне јавности бави блиским темама. Издвојени су радови који су везани за тему којом се бави ова дисертација са циљем да помогну да разуме опсег и ширина материјала и о конкретној теми дисертације и повезаним темама.

На тему природних горива, пре свега природног гаса постоји веома обимна и разнородна литература која указује на то да је природни гас зелено гориво које постаје веома интересантно, јер емитује нижи ниво потенцијално штетних нуспроизвода у атмосферу, па је и еколошки чисто и сигурно, истовремено. [5] Сматра се да ће природни гас, као извор енергије за различите сврхе, у будућности бити најчешће кориштено фосилно гориво због сталне еволуције природног гаса и ниских емисија угљеника које испушта. Очекује се да ће се развој примене природног гаса у свету наставити јачањем и еколошких и комерцијалних ефеката уз политичку подршку. [6]

Употреба природног гаса као горива у путничким аутомобилима и комерцијалним возилима, углавном се заснива на ниској цени (на енергетски еквивалентној основи) у поређењу са бензином и дизел горивом. Већина анализа закључује да КПП возила имају нешто нижу емисију гасова са ефектом стаклене баште и загађујућих материја у поређењу са бензинским и дизел возилима. Предвиђено је да ће 2035. године (након потпуне имплементације нових стандарда о економичности потрошње горива и гасова са ефектом стаклене), КПП аутомобили постићи око 10% , односно 5% нижу емисије од бензинских, односно дизелских аутомобила. [7] Будући да ће мотори са унутрашњим сагоревањем у догледној будућности остати примарни избор реализације транспорта, за смањење утицаја сагоревања на климатске промене биће све више коришћена како алтернативна горива (обновљива горива), тако и мотори високих перформанси сагоревања који користе горива прилагођена за ту сврху. [8]

Истовремено разматра се широк спектар алтернативних горива са ниским емисијама угљеника за све врсте превоза који могу смањити укупну зависност транспортног сектора ЕУ од нафте и значајно смањити ефекте стаклене баште у друмском саобраћају. Међу овим алтернативама, тандем природног гаса и биометана могао би се именовати једним од најперспективнијих решења за краткорочна и средњорочна решења за декарбонизацију транспорта, како у ЕУ, тако и у Летонији. [9] Прелазак са горива са великим интензитетом угљеника на гориво са малим интензитетом угљеника подразумева развој енергетски ефикасних и економичних путева декарбонизације. У овом раду је одабрано и процењено 14 потенцијалних путева за снабдевање природним и обновљивим гасом и возила на природни гас с обзиром на трошкове производње горива (WTT) и додатне инвестиционе трошкове за возила. [10]

Анализа путева директне употребе природног гаса као компримованог природног гаса (КПП) или течног природног гаса (ТПГ), у сектору транспорта показала је да иако КПП возила емитују приближно 25% мање CO₂ током сагоревања у поређењу са бензином, и иако у тешким условима рада, КРГ возила имају ниже емисије азотних оксида од дизела и могу пружити исплативу алтернативу за испуњавање будућих, строжих прописа о емисији азотних оксида, продор на тржиште возила у Сједињеним Америчким Државама је знатно нижи од продора на тржишта у Јужној Америци и Азији (која су

доживела експоненцијални раст уласка КПП возила) и Европи (која је забележила умерени раст у возилима на КПП). [11] Да би се могло одговорити на ово питање, неопходно је разумети и страну понуде и потражње. [12]

Развој возила на природни гас у Кини на основу троструко перспективног техничко-економског оквира (гориво-возило-инфраструктура) указује да су цене за возила која користе компримовани природни гас од суштинског значаја за одређивање брзине развоја возила на природни гас. Уочено је да је у Кини принцип одређивања цена сличан фиксном односу цене КПП / бензина (0,75: 1) дао најбоље резултате. [13]

Еколошки разлози су главни мотив за употребу возила на природни гас у Европи. Последњих година високе цене нафте подстакле су употребу природног гаса као горива. Европске владе су развиле подстицаје (нпр. смањење пореза) за подстицање возила на природни гас. Међутим, фокус је на хибридној технологији и електричном аутомобилу, којима је, међутим, потребно даље техничко унапређење. [14]

У студији случаја за Немачку, фокус је на возилима на природни гас као мостној технологији у друмском превозу. Анализе сценарија са ниским нивоом агрегације показују да друмски транспорт заснован на природном гасу у Немачкој може да акумулира до 464 милиона тона смањења емисије еквивалентног CO_{2e} до 2030. године, у зависности од брзине процеса дифузије. [15] Да је друмски транспорт је главни емитер CO₂ који се може смањити употребом алтернативних горива указује и микро-симулација усвајања компримованог природног гаса у тешким возилима на основу стварних француских података о индустријским токовима у 2018. години - произвођача аутомобила Renault. [16]

Well-to-Wheels (WTW) анализа је најчешће коришћена за процену емисије гасова са ефектом стаклене баште (GHG) и емисије у ваздух коришћењем компримованог и течног природног гаса као горива за транспорт. [17] Процена Well-to-Wheels се широко користи у аутомобилском сектору за анализу ефикасности и конкурентности различитих опција погонског склопа / горива. У литератури се предлаже глобални индекс који узима у обзир и енергетске и еколошке аспекте на јединственој основи, кроз додељивање трошкова повезаних са енергијом и емисијама загађујућих материја. [18] Осим тога, употреба енергије и емисије гасова са ефектом стаклене баште из различитих природних гасова као горива, преко њихових транспортних путева упоређује резултате са конвенционалним бензинским возилима и електричним возилима која користе различиту мешавину електричне енергије. [19] Потрошња енергије повезана је са локалним, регионалним и глобалним утицајима. Стога, упоређујући различите сценарије замене дизел возила са компресованим природним гасом, процењују се емисије загађивача и гасова стаклене баште у различитим градовима, између осталог и у градовима Сао Пауло [20] у Бразилу и Мадрид [21] у Шпанији.

Без обзира на специфичности локација, упоређивање путничких возила са различитим погонима потребно је реализовати на основу три кључна показатеља: употреба нафтне енергије, емисија CO₂ и економски трошак. [22]

Dual-fuel дизел мотори са природним гасом су атрактивно решење за смањење зависности од дизел горива и ублажавање штетних ефеката емисије дизел мотора. Као главни доприноси одрживијем тржишту горива истичу се нижи садржај угљеника и релативно веће природне резерве, поред обновљивог аспекта производње метана из биогаса. [23] Са друге стране, разматрање утицаја употребе природног гаса и биометана у транспорту на животну средину током читавог животног циклуса у

поређењу са конвенционалним фосилним горивима, указује да нема значајних користи повезаних са заменом дизел возила са возилима на природни гас, већ је битна корист од смањења емисије повезана са заменом бензинских аутомобила са аутомобилима на КПГ. [24]

Усвајање возила на алтернативна горива сматрало се једном од најважнијих стратегија за решавање питања енергетске зависности, квалитета ваздуха и, у новије време, климатских промена. Упркос вишедеценијским напорима и даље се суочавамо са застрашујућим изазовима да промовишемо шире прихватање возила на алтернативна горива у широј јавности. [25]

Широк спектар политика за промоцију возила на природни гас на новим, као и на зрелим тржиштима не анализирано кроз неколико фактора успеха и неуспеха при увођењу возила на природни гас на тржишта и упоређује владине политике за усвајање возила на природни гас широм света, али углавном концентрисаних на дванаест земаља: Кина, Иран, Пакистан, Аргентина, Индија, Бразил, Тајланд, Италија, Сједињене Државе, Немачка, Шведска и Јужна Кореја. Истражена је мапа пута преласка на уградњу КПГ технологије и идентификује лекције које би могле бити корисне развијеним земљама у њиховим напорима да примене возила на природни гас. [26]

Коначно, од свих ових студија, ова дисертација се разликује интегрисањем информација о економској оправданости управљања организованим флотима и свеобухватним емисијама угљеника укључујући процесе производње и употребе горива као развој прелазне стратегија за алтернативне ланце горива.

3. ЕМИСИЈЕ ГАСОВА СА ЕФЕКТОМ СТАКЛЕНЕ БАШТЕ

Гасови који задржавају топлоту у атмосфери називају се гасовима са ефектом стаклене баште. У њихов састав улазе:

Угљен-диоксид (CO₂), који улази у атмосферу сагоревањем фосилних горива (угаљ, природни гас и уље), чврстим отпадом, дрвећем и другим биолошким материјалима, а такође и као резултат одређених хемијских реакција (нпр. производња цемента). Угљен-диоксид се уклања из атмосфере када га биљке апсорбују као део биолошког циклуса угљеника.

Метан (CH₄), који настаје током производње и транспорта угља, природног гаса и нафте. Емисије метана такође су резултат сточарства и других пољопривредних грана, коришћења земљишта и пропадања органског отпада на комуналним депонијама чврстог отпада.

Азот-оксид (N₂O), који се емитује током пољопривредних активности, индустријских активности, сагоревања фосилних горива и чврстог отпада, као и током пречишћавања отпадних вода.

Флуоровани гасови, односно флуороогљоводоници, перфлуороугљоводоници, сумпорни хексафлуорид и азотни трифлуорид су синтетички, моћни гасови са ефектом стаклене баште који се емитују из различитих индустријских процеса. Флуоровани гасови се понекад користе као замена за стратосферске супстанце које оштећују озонски омотач (нпр. хлорофлуороугљоводоници, хидрохлорофлуороугљиководоници и халони). Ови гасови се обично емитују у мањим количинама, али с обзиром на то да су снажни гасови са ефектом стаклене баште, понекад се називају и гасови са потенцијално високим глобалним загревањем („гасови са великим GWP“). [27]

3.1. Карбонски отисак

Укупну количину емитованих гасова са ефектом стаклене баште, који могу бити произведени директно или индиректно од стране појединца или организација називамо карбонски отисак и сматрамо га једним од најзначајнијих индикатора загађења животне средине. Његов назив обухвата различите гасове који узрокују ефекат стаклене баште и тиме доприносе глобалном загревању.

Сам карбонски отисак се састоји од два дела - примарног и секундарног:

- Примарни отисак је количина директних емисија GHG које ослобађа сагоревањем фосилних горива, укључујући енергију коју користимо у домаћинству и гориву које трошимо за лични саобраћај (нпр. превоз аутомобилом или авионом). Ово је отисак на који можемо да имамо директан утицај.
- Секундарни отисак је количина индиректних емисија GHG које су повезане са читавим циклусом производње и транспорта свих производа које користимо.

3.1.1. Еквивалентни угљен-диоксид CO_{2e}

Да би се избегло записивање и праћење карбонског отиска у комплексном запису, јер једна од представљених привредних активности може проузроковати емитовање неколико различитих врста гасова са ефектом стаклене баште и то сваки у различитим количинама, тежи се изражавању карбонског отиска у облику еквивалентног угљен-диоксида, скраћено CO_{2e}.

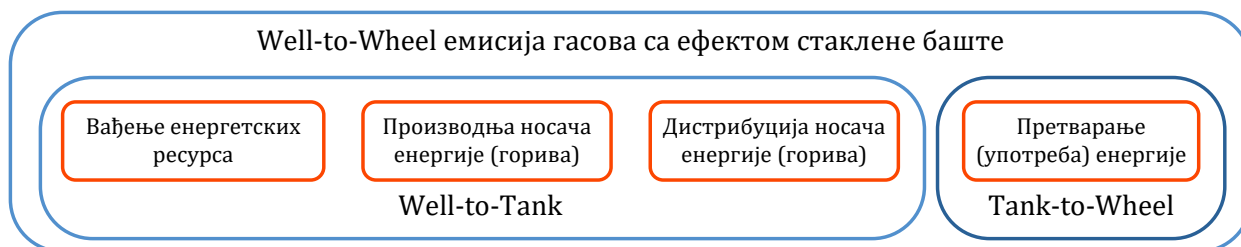
Еквивалент угљен-диоксида или CO_{2e} означава број метричких тона емисије CO₂ са истим потенцијалом глобалног загревања као једна метричка тона другог гаса са ефектом стаклене баште, а израчунава се помоћу једначине А-1 дате у поглављу А документа општих одредби Агенције за заштиту животне средине САД, кроз програм заштите ваздуха, односно обавезно GHG извештавање. [28]

GHG су веома важни због свог учешћа у глобалном загревању (GWP). Будући да су CO₂, CH₄ и азот-оксид (N₂O) три најчешћа и најугрожавајућа гаса са ефектом стаклене баште који настају сагоревањем, [29] а с обзиром на то да је GWP CH₄ 21 пута већи од CO₂, а GWP азот-оксида 310 пута већи него код CO₂, важно је узети у обзир све генерисане гасове са ефектом стаклене баште и њихово учешће у GWP, односно посматрати вредности емисија свих гасова са ефектом стаклене баште као емисију еквивалентног CO₂ (CO_{2e}).

3.1.2. Методологија „од извора до точка“

Имајући у виду примарни и секундарни карбонски отисак примењена је анализа „од извора до точка“ (WTW) ради процене еквивалентне емисије GHG и енергетске ефикасности различитих аутомобилских горива, као неутрална методологија за разумевање проблема повезаних са сваком технолошком путањом горива, узимајући у обзир перформансе у смислу смањења GHG емисије и повећање енергетске ефикасности. Из тог разлога се може користити као алат за процену и упоређивање потрошње енергије, економских трошкова и утицаја на животну средину различитих возила.

Главни WTW GHG модел је графички представљен на слици - Слика 2, где се види да се је први индиректни сегмент такозвана емисија „од извора до резервоара“ (WTT – Well To Tank), а други директни сегмент је последица коришћења возила, односно емисија „од резервоара до точка“ (TTW - Tank To Wheel).



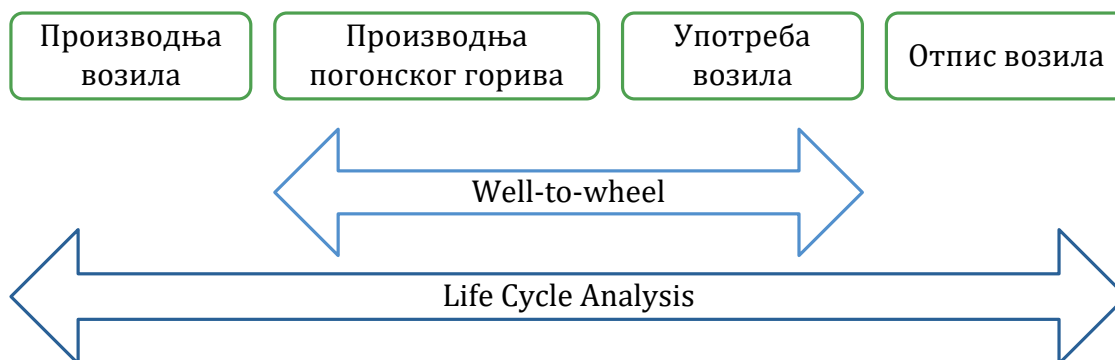
Слика 2: Графичко објашњење приступа "од извора до точка" WTW

Сегмент „од извора до резервоара“ (WTT) узима у обзир индиректне емисије, узимајући у обзир просечне вредности емисија свих гасова стаклене баште који произлазе из производње, прераде и испоруке горива.

Сегмент „од резервоара до точка“ (TTW) с друге стране, односи се на део енергетског ланца који се протеже од тачке у којој се апсорбује енергија (станица за снабдевање горивом) до пражњења (у покрету).

Потребно је нагласити да WTW не узима у обзир емисије или енергију повезане са производњом возила или њиховим одлагањем као аспекте животног циклуса и зато се разликује од Анализе животног циклуса (LCA – Life Cycle Analysis). У доба транзиције ка пројектованој декарбонизацији, WTW модел, као приступ који покрива сву потрошњу енергије возила и све емисије гасова са ефектима стаклене баште из горива генерисаних производњом, снабдевањем и употребом погонских горива изабран је због његовог холистичког погледа на могућности рада возног парка и допринос декарбонизацији у блиској будућности. Разликује се од процене животног циклуса, па се стога може посматрати као поједностављени LCA који третира потрошњу енергије и емисије CO_{2e} само за потрошено гориво, не узимајући у обзир друге фазе животног циклуса возила. [30]

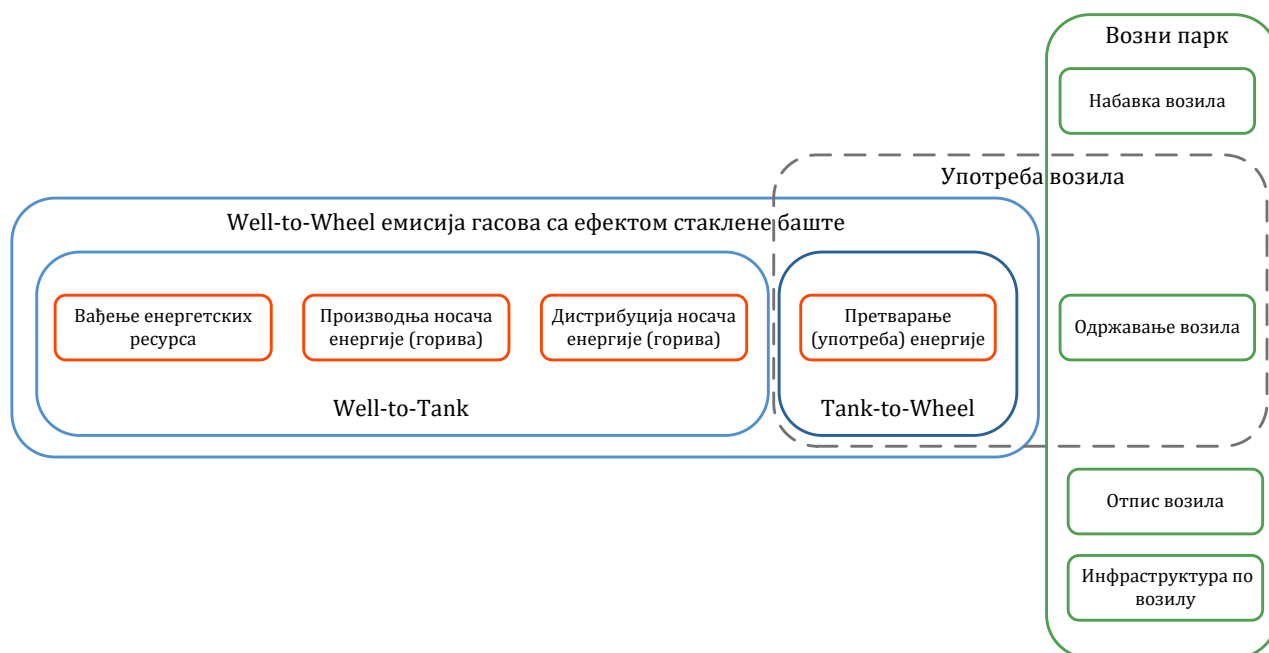
Зато се WTW анализа у домену возних паркова може посматрати као посебан део анализе животног циклуса LCA, који је развијен за сегмент производње и употребе погонских горива за возила. Графички приказ ове интерпретације да је на слици - Слика 3.



Слика 3: Домени WTW и LCA анализе у сектору друмског саобраћаја

Другачије речено, WTW анализа процењује утрошену потрошњу ресурса, укључујући усмерене и индиректне потрошње повезане са производњом горива и радом возила. Занемарује производњу и одлагање возила, што се прецизније разматра у анализама животног циклуса у аутомобилској индустрији. Производња погонског горива се проучава од бушотине (извора) до резервоара, а рад возила се анализира у фази од резервоара до точка [31].

Прецизнији модел употребе WTW анализе у организованим флотама возила дат је на следећој слици - Слика 4.



Слика 4: Модел употребе WTW анализе у организованим флотима возила

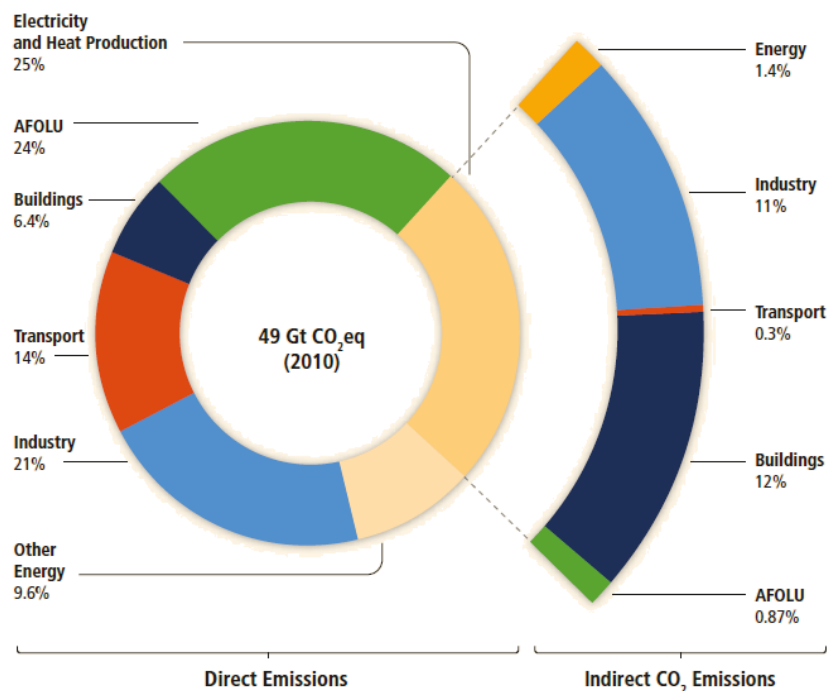
3.1.3. Главни привредни емитери гасова са ефектом стаклене баште

Главни емитери гасова са ефектом стаклене баште су привредне активности, чије учешће је представљено сликом - Слика 5. У очекивању шестог извештаја Међувладиног панела о климатским променама (Intergovernmental Panel on Climate Change), а према последњем доступном извештају из 2014. године [27], у емисији гасова са ефектом стаклене баште са 25% учествују процеси производње струје и топлоте, са 24 % пољопривреда, са 21% индустрија, са 14% саобраћај и са 6% зградарство, док је утицај свих осталих привредних грана испод 10%.

Када је у питању сектор саобраћаја, исти документ предвиђа значајно повећање емисије које би се, без спровођења агресивних и одрживих политика ублажавања емисије у овом сектору, могле повећати брже него у осталим и могле би довести до више него удвостручења емисија CO₂ до 2050. године, према оној из 2010. године.

Решење се види у комбинацији горива са ниским садржајем угљеника, прихватања побољшаних технологија перформанси возила и улагања у сродну инфраструктуру и промене у изграђеном окружењу.

Са овог аспекта, емисија гасова са ефектом стаклене баште по привредним гранама и по индиректном, односно директном учешћу у глобалној емисији представљена је сликом - Слика 5.



Слика 5: Индиректно и директно учешће у GHG емисију по привредним секторима [27]

Главни емитери гасова са ефектом стаклене баште су привредне активности, чије учешће је представљено сликом - Слика 5. У очекивању шестог извештаја Међувладиног панела о климатским променама (Intergovernmental Panel on Climate Change), а према последњем доступном извештају из 2014. године, у директној емисији гасова са ефектом стаклене баште са 25% учествују процеси производње струје и топлоте, са 24 % пољопривреда, са 21% индустрија, са 14% саобраћај и са 6% зградарство, док је утицај свих осталих привредних грана испод 10%. Са друге стране индиректна емисија гасова са ефектом стаклене баште је значајно мања и износи мање од 1%.

Када је у питању сектор саобраћаја, исти документ предвиђа значајно повећање директне емисије које би се, без спровођења агресивних и одрживих политика ублажавања емисије у овом сектору, могле повећати брже него у осталим и могле би довести до више него удвостручења емисија CO₂ до 2050. године, према оној из 2010. године.

Решење се види у комбинацији горива са ниским садржајем угљеника, прихватања побољшаних технологија перформанси возила и улагања у сродну инфраструктуру и промене у изграђеном окружењу.

3.1.4. Гасна мобилност организованих возних паркова

G-mobility (гасна мобилност) представља развој и употребу погона природног гаса, користећи гас из обновљивих и традиционалних извора као главно гориво. G-mobility је кључни играч за декарбонизацију транспорта и побољшање квалитета ваздуха. Обновљиви гас је у потпуности компатибилан са тренутним технологијама природног гаса: мешање се може извршити у било којој пропорцији и без ње било какав утицај на возила и инфраструктуру.

Власнике организованих флота на алтернативна горива, за уградњу система који омогућавају њихову употребу или за куповину фабричким модела возила на алтернативна горива, и даље мотивишу финансијски разлози. Посматрано свеобухватно, еколошки бенефити или проблем резерви фосилних горива су за власнике/кориснике алтернативних горива углавном секундарни.

Климатске промене и квалитет ваздуха су међу највећим изазовима у нашем друштву и чињеница је да транспортни сектор мора да прође кроз дубоку трансформацију у наредним деценијама.

Према предвиђањима NGVA удружења (NGVA Europe Natural & bio Gas Vehicle Association) удео возила на компримовани гас у Европи ће 2030. године достићи 33% аутобуса, 25% лаких комерцијалних и теретних возила и 12% путничких аутомобила, што у односу на тренутно регистрована КППГ возила води ка флоти од 110.000 аутобуса, 190.000 лаких комерцијалних возила, 280.000 теретних возила и 12.600.000 путничких аутомобила. [32]

3.2. Транзиција ка друмским моторним возилима без емисије

Транзиција ка друмским моторним возилима без емисије се очекује до 2050. године, али се с обзиром на емисију гасова са ефектом стаклене баште и глобално загревање улажу све већи напори да се до тог циља стигне и значајно раније.

Европска Стратегија за мобилност са ниским нивоима емисије[33] донета је 2016. године и усмерена је ка стварању повољних услова и обезбеђења снажног подстицаја за мобилност с ниским нивоима емисије што подразумева повећање употребе алтернативне енергије са ниским нивоом угљеника и у подручју превоза. Иако је прелазак на алтернативну енергију с ниским нивоом емисије у саобраћајном сектору већ започео, у следећој деценији мораће се убрзати.

У друмском саобраћају ће бити потребна побољшања мотора са унутрашњим сагоревањем, јер ће доћи и до побољшања у тестирању возила. Планира се увођење новог поступка испитивања под називом „Међународно усклађени поступак испитивања за лака путничка возила“ како би се дошло до реалистичнијих и тачнијих вредности угљен-диоксида и саме потрошње горива.

У оквиру истог документа формиране су *Стратегија за аутомобиле и комбије за период након 2020. године*, као и *Стратегија за камионе, градске и међуградске аутобусе за период након 2020. године*, које предвиђају додатно смањење емисије из конвенционалних мотора са унутрашњим сагоревањем већ након 2020. године, односно веће учешће возила са ниским нивоима емисије на тржишту и пре 2030. године.

Очекује се да ће се природни гас све више употребљавати као алтернатива за погон дизел камиона и међуградских аутобуса. Могућност увођења технологија са ниским нивоима емисије или без емисије зависи и од категорије возила. За неке категорије - попут градских аутобуса - рано увођење технологија без емисије чини се реалнијим, па би у том би смислу требало размотрити и одређивање циља у погледу технологија без емисије, јер је јавна набавка снажан инструмент за стварање тржишта за иновативне производе и требало би је користити за подршку прихватања таквих возила.

4. ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКИ АСПЕКТИ КОРИШЋЕЊА КПГ У МОТОРНИМ ВОЗИЛИМА

4.1. Алтернативна горива

У подручју енергетских извора, већ деценијама нема суштинских промена. И даље се, у највећој мери, користе готово исте сировине као и пре много година, односно енергија се и данас претежно добија из фосилних горива. Код возила се то може још више сузити и рећи да се претежно користе течна фосилна горива.

Потрошња енергије стално расте, што је условљено развојем технологија и глобалним порастом становништва. С обзиром да су резерве фосилних горива исцрпљиве, услед интензивне потрошње оне се убрзано ближе свом крају, што се посебно односи на нафту, која је основни енергент у сектору транспорта. То за сада доноси само економске потешкоће (мада се оне могу сматрати и позитивним, пошто стимулишу развој алтернативних горива), али у неком тренутку може се очекивати и апсолутни недостатак горива на светском тржишту.

Други озбиљан проблем у употреби фосилних горива је еколошки аспект сагоревања фосилних горива. Истина, великим технолошким унапређењима последњих година код СУС мотора (пре свега бољим системима сагоревања) проблеми емитовања главних загађивача (угљоводоници, тешки метали, честице и др.) код возила су значајно побољшани. Нажалост за проблем емитовања угљен-диоксида (ефекат “стаклене баште”) за сада нема ефикасног решења.

Услед ова два кључна проблема, већ низ година истражују се нове врсте горива за СУС моторе. Тражи се гориво која ће имати довољну расположивост (тј. кога ће у дужем временском периоду бити довољно, и то по прихватљивој цени) и повољне еколошке карактеристике. У игри су различита алтернативна горива: течни нафтни гас, природни земни гас, биогас, алкохолна горива, биодизел, синтетичка горива и наравно водоник, који је неспорно далеко најбоље гориво, али захтева још доста развоја, док не буде могао да уђе у ширу примену.

Гасовита горива, осим биогаса, у ствари и не нуде решење за проблем емисије CO_2 , пошто је емитовање угљен-диоксида неизбежан пратилац свих процеса сагоревања угљоводоничних горива, али су повољна у погледу емисије других штетних материја, а имају друге компаративне предности, попут цене и сразмерно лаке уградње гасних система.

4.1.1. О природном гасу

Природни гас је гасовито фосилно гориво са великим уделом метана. У природи може да се јави самостално као суви земни гас или заједно са нафтом, као влажни земни гас (обично у гасној капи изнад нафте).

По свом саставу природни гас представља смешу горивих и негоривих гасова. Састав му знатно варира зависно од места где се јавља. Карактеристично је да тамо где се јавља са нафтом (влажни земни гас) већи је удео гасова са више угљеникових атома.

Главни и преовлађујући састојак му је метан (CH_4) чији запремински удео може да се креће и до 98%. Остали гориви гасови, који уз метан чине природни гас, су тзв. виши угљоводоници: етан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), пентан (C_5H_{12}). Од негоривих гасова, или инертних гасова, у природном гасу налазе се азот (N_2) и угљендиоксид (CO_2) као и мањи проценат сумпорних једињења.

Продукти сагоревања су угљендиоксид и водена пара. Захваљујући томе што му је главни састојак метан, у поређењу са осталим фосилним горивима, земни гас има најмањи коефицијент емисије CO_2 (количина емитованог CO_2 по јединици ослобођене енергије). Зато се сматра да је природни гас еколошко гориво.

Има га у многим земљама (највише у Русији, САД, Ирану, Холандији, Алжиру и на Блиском истоку). Има га и у Србији (Елемир, Кикинда и Пландиште).

Због низа техничких предности природни гас се у возилима далеко најчешће користи у компримованом стању (КПГ).

4.1.2. Компримовани природни гас - КПГ

Компримовани природни гас је један од два облика у који се, ради лакшег транспорта, претвара природни гас. Компримује се на притисак од 220-250 бара.

Користи се као алтернативно гориво за покретање возила, јер се СУС мотори могу директно напајати овим горивом (природни гас који се користи за возила једнак је оном који се одводи у милионе домова за кување и грејање).

Једноставније гориво од компримованог природног гаса је водоник, који је технички „носач“ енергије, а не сам извор енергије. Још увек не постоји економски метод стварања и дистрибуције великих количина водоника, па док се то не догоди, природни гас ће неко време остати чисто гориво по избору. Будући да је богат водоником, природни гас се често користи као сировина, што је један од разлога зашто се возила на природни гас често називају „путем ка економији водоника“. На крају, улагање у инфраструктуру природног гаса је улагање и у водоничну инфраструктуру.

4.2. Техничке карактеристике мотора на КПГ

Термичка ефикасност мотора представља функцију различитих параметара, али је можда најважнији параметар компресија мотора. Октански број природног гаса креће се од 120 до 130 што значи да мотор може да функционише при односу компресије од 16:1. Високи октански број омогућава наменском КПГ мотору да користи 10% виши однос компресије од бензинског мотора. Према томе, наменски КПГ мотор може имати ефикасност до 35% у поређењу са 25% ефикасности бензинског мотора. [34]

Преправљени бензински мотори немају предност већег октанског броја присутног у наменским КПГ моторима, због тога што је однос компресије подешен да одговара бензину, па се предност високе ефикасности која наведена изнад може достићи само наменским КПГ моторима.

Неке од предности КПГ мотора наведене су у наставку.

4.2.1. Предности

4.2.1.1. Предност мешања

Моларна маса бензина (114.23 g/mol) је много већа од моларне масе природног гаса (16 g/mol). Као гориво мале тежине, природни гас може да произведе много боље хомогене смеше горива и ваздуха. [35] Са друге стране, течном гориву треба времена да заврши аутоматизацију и испаравање како би створило хомогену комбинацију ваздуха и горива. КППГ као гасовит облик горива у нормалним атмосферским условима има урођену предност високог нивоа мешања и дифузије са гасовитим ваздухом што је суштинско добро за сагоревање. [36]

4.2.1.2. Предност одржавања

Возила на КППГ имају мању цену одржавања у поређењу са возилима са конвенционалним горивом. Washington metropolitan area transit authority[37] је спровела дванаестомесечну компаративну анализу између транзитних аутобуса који користе КППГ и дизел. Открили су да је трошак одржавања аутобуса који раде на КППГ 12% нижи од аутобуса који раде на дизел.

КППГ не контаминира и не разређује моторно уље што продужава корисни век лубриканта, јер КППГ улази у мотор у гасовитом облику за разлику од бензина који спира уље са региона прстена клипа што убрзава хабање мотора. Према томе, КППГ смањује цену одржавања и продужава живот мотора.

Одсуство концентрације олова у КППГ доприноси избегавању „прљања“ свећица, продужавајући тако век трајања и клипних прстенова и свећица. Интервал између подешавања за возила на природни гас продужен је до 30.000 км. Слично томе, интервал између замене уља за возила на природни гас може се продужити са 5000 на 10.000 додатних километара, у зависности од тога како се возило користи.

4.2.1.3. Потрошња горива специфична за кочнице

Потрошња горива специфична за кочнице (BSFC Brake specific fuel consumption)[38] је веома важна карактеристика за поређење перформанси СУС мотора који се напајају различитим горивима. Разне студије су потврдиле да је BSFC мотора на КППГ гориво за 12% до 20% нижи од бензина у целом опсегу брзина, што се може приписати:

- Већој калоријској вредности КППГ (47,5 MJ / kg) у односу на бензин (43,5 MJ / kg)
- Спором сагоревању КППГ у поређењу са бензином

Захваљујући ниској вредности BSFC и већој калоријској вредности КППГ, мотори на природни гас показују 5–12% већу топлотну ефикасност кочница (BTE brake thermal efficiency) за разлику од бензинских мотора. [39]

Осим предности мотора на КППГ, у наставку су представљени и недостаци у раду.

4.2.2. Недостаци

4.2.2.1. Недостаци услед ниске брзине ширења пламена

Брзина ширења пламена природног гаса је нижа од конвенционалних горива, попут бензина и дизела. Ова нижа брзина ширења пламена доводи до продужења укупног трајања сагоревања у поређењу са бензином/дизелом и омогућава излаз веће количине неизгорелог природног гаса кроз издувни систем. Ово повећава губитке енергије услед преноса топлоте што накнадно смањује излазну снагу мотора са 5 на 10%.

Ефикасан метод за решавање проблема спорости ширења пламена природног гаса је мешање КПП-а са горивом веће брзине сагоревања као што је водоник. Водоник се сматра најбољим адитивом за КПП због своје брзине ширења пламена (265–325 cm/s). Предвиђа се да ће ова комбинација појачати карактеристике сагоревања КПП мотора. [40]

4.2.2.2. Смањење запреминске ефикасности

Гасовита природа КПП горива узрокује смањење запреминске ефикасности до 10% истискивањем ваздуха доступног за правилно сагоревање. Максимална потенцијална снага ће се стога смањити и до 10% у поређењу са бензинским мотором под сличним условима. Користећи једначину стања идеалног гаса лако се може показати да је запремина коју заузима природни гас већа од оне коју има бензин у стехиометријској смеси ваздух-гориво.

Постоји неколико начина за побољшање запреминске ефикасности КПП мотора као што су повећање броја усисних вентила по цилиндру, подешавање времена и оптимизација подизања вентила, коришћење КПП мотора са турбопуњачем и слично, међутим све то утиче на цену и поузданост. [41]

4.2.2.3. Мања излазна снага

Нижа брзина пламена и смањена запреминска ефикасност КПП мотору даје мању снагу кочења мотором од бензина. Закључено је да рад на природни гас узрокује пораст од око 6,2% у BSFC, ствара 22% разлике у температури воде на излазу и улазу у мотор, 2,3% топлотне ефикасности кочнице (BTE) и смањење од око 20,1% максималног кочног обртног момента (МВТ), 6,8% у температури издувних гасова и 19% у температури уља за подмазивање у поређењу са бензином.

Овај недостатак мотора може се отклонити оптимизацијом и модификацијама дизајна у систему убризгавања горива који пружају потпуно сагоревање природног гаса у цилиндру мотора. Међутим, развој мотора са директним убризгавањем је скуп и технички тежак. То је због захтева да се глава цилиндра унапред прилагоди директном убризгавању горива и такође због детаљне калибрације система управљања мотором. [42]

4.3. Техничке карактеристике моторних возила на КПП

Аутомобилска индустрија прати трендове мобилности и у том смислу G-mobility је подржана и све већим бројем возила на погон компримованим природним гасом. У том сегменту, постоје три врсте возила са погоном на компримовани природни гас:

- Наменска
- Bi-fuel
- Dual-fuel: Ова возила имају системе за гориво који раде на природни гас, али користе дизел гориво за помоћ при паљењу.

Лака комерцијална возила су обично опремљена наменским системима или Bi-fuel системима, док тешка возила користе наменске или Dual-fuel системе.

4.3.1. Наменска моторна возила

Ова возила су пројектована да раде само на природни гас.

Наменска КПП возила имају моторе Spark Ignition који раде само на природни гас. Степен компресије овог мотора оптимизован је да искористи предност високог октанског броја природног гаса и да задржи својства сагоревања природног гаса, тако да возило производи врло малу емисију загађивача.

Наменска КПП возила могу показати боље перформансе и имати ниже емисије штетних гасова од возила на два горива. Будући да наменска КПП возила имају само један резервоар за гориво, она нису толико тешка као двогорива КПП возила и могу понудити већи капацитет терета. Један пример лаког доставног возила са наменским КПП системом је Honda CNG Civic GX.

4.3.2. Bi-fuel

Возила са Bi-fuel технологијом имају два одвојена система за гориво који им омогућавају да раде или на природни гас или на бензин.

Тип мотора који се користили је уобичајени бензински СУС мотор. Возач може одабрати које гориво ће сагорети једноставним пребацивањем прекидача на контролној табли. Било које постојеће бензинско возило се може преправити у Bi-fuel возило и већина КПП возила која данас раде су возила са преправљеним бензинским мотором.

Својства сагоревања природног гаса су знатно различита од редовног горива, односно дизела или бензина. У поређењу са дизелом и бензином КПП има дуже време паљења због слабе брзине ширења пламена. Иако се користи бензински мотор, трајање сагоревања постаје релативно дуже и захтева напредније временско подешавање варнице.

Главна предност возила са два горива је у томе што у потпуности могу користити јефтинији компримовани природни гас уз задржавање флексибилности бензинског система, ако КПП није доступан на одређеној локацији.

Лака доставна возила компанија као што су Fiat, Skoda, Chevrolet, Dodge, Ford... као и готово сва возила прерађена на КПП погон (како фабрички, тако и након продаје) користе Bi-fuel системе.

4.3.3. Dual-fuel

Возила са Dual-fuel технологијом имају системе за гориво који раде или само на дизел или користе мешавину природног гаса и дизел горива.

Генерално ова возила стартују рад користећи дизел гориво, а затим прелазе на дозирању мешавину природног гаса и дизела. Током празног хода ови мотори раде само на дизел. Како возило почиње да подиже терет, природни гас замењује дизел гориво до 60–90%. Међутим, директна промена као код Bi-fuel возила није могућа због ниског цетанског броја природног гаса што за резултат има високе температуре samozапалења што захтева или прелазак на паљење варницом или усвајање система са двоструким горивом.

Због високе температуре паљења природног гаса, потребан му је веома висок степен компресије за аутоматско паљење, тј. око 38:1. Захваљујући томе, потребно је запалити друго гориво (дизел). Дизел гориво се уводи директно у комору за сагоревање, док се гас убризгава у усис ваздуха. Гасовито гориво се затим компресује, дизел гориво се убризгава при крају такта компресије. Са кратким кашњењем паљења прво се догоди сагоревање дизел горива, што резултира паљењем природног гаса и подстицањем ширења пламена.

Важан фактор за рад Dual-fuel возила је стопа замене, која се дефинише као део енергетског садржаја горива које се испоручује природним гасом. Стопе замене варирају у зависности од оптерећења мотора. Максимална стопа замене до 90% може се постићи са тренутно доступним моторима са два горива. Стопа замене утиче и на перформансе мотора и на емисију штетних гасова.

Возило са двоструким горивом пружа 30–40% већу ефикасност мотора што накнадно смањује потрошњу горива за 25%. [43]

У оба случаја постоје додатни трошкови у односу на конвенционална дизел и бензинска возила и овај додатни трошак надокнађује се уштедом у оперативним трошковима због трошкова горива. [44]

Возила са Dual-fuel технологијом су традиционално ограничена на примену у тешким условима рада, као што су теретни камиони и теренска возила.

Без обзира на систем за довод горива (наменски, Bi-fuel, Dual-fuel), већина возила са КПП погоном нуди сличне нивое перформанси мотора и ефикасности потрошње горива. Опсег вожње возила са КПП погоном је генерално мањи од распона упоредивих конвенционалних возила због мање енергетске вредности природног гаса. Додатни резервоари за складиштење могу повећати домет, али та додатна тежина може ометати перформансе кретања возила и може променити носивост.

5. ТРЖИШТЕ ВОЗИЛА НА КОМПРИМОВАНИ ПРИРОДНИ ГАС

5.1. Распољивост модела возила на компримовани природни гас

Широк избор модела КПГ возила данас је доступан код произвођача оригиналне опреме. Осим путничких аутомобила на КПГ (од значаја за такси флоте) на располагању су: комби возила, виљушкари, мотоцикли, троточкаши, камиони и аутобуси. Комби возила, камиони и аутобуси су погодни за КПГ, углавном зато што обично имају довољно простора за складиштење горива и често прелазе велику километражу.

Неколико произвођача аутомобила у Европи производи различите КПГ моделе, од малих градских аутомобила до луксузних лимузина, док су за комерцијалну употребу на располагању лака комерцијална возила, аутобуси и теретна возила која саобраћају на КПГ.

У сегменту путничких возила са различитим моделима присутни су произвођачи возила као што су: Audi, Fiat, Lancia, Opel, Seat, Skoda, Volkswagen...

Сегмент аутобуса, лаких комерцијалних и теретних возила на компримовани природни гас представљен је табелом - Табела 1, одакле се види да је на располагању довољно широк сегмент понуде.

Табела 1: Распољиви модели возила на КПГ – ЛКВ, аутобуси и теретна возила [45]

Лака комерцијална возила	Аутобуси	Теретна возила
VOLKSWAGEN Caddy Panel/Passenger TGI Caddy Panel/Passenger Maxi TGI Eco load up!	IVECO BUS Daily Blue Power Urbanway Natural Power Crealis Natural Power	IVECO S-WAY NP CNG Eurocargo Natural Power 12-16 Ton
IVECO Daily Natural Power Daily Cabinato Natural Power	MERCEDES Citaro (G) NGT Citaro NGT hybrid Conecto (G) NGT	SCANIA P/G CNG Version 280 P/G CNG Version 340
FIAT Ducato Natural Power Ducato Panorama Natural Power Panda Van Natural Power Fiorino Cargo Natural Power Doblò Cargo Natural Power	SCANIA Citywide LF CNG Interlink LD CNG Citywide LE CNG MAN Lion's City CNG	RENAULT D Wide CNG MERCEDES Econic NGT
OPEL Combo Cargo 1.4 CNG Turbo	ISUZU Cityport CNG	VOLVO FE CNG
...	SOLARIS Urbino 18 CNG Urbino 12 CNG	...
	...	

5.2. Бројност возила и расположивост станица за пуњење на природни гас у свету

Када говоримо о опција формирања возних паркова са погоном на КПГ битно је сагледавање развоја овог сегмента и његовог учешћа у укупном броју возила која се тренутно користе.

Подаци које објављује Међународно удружење возила на природни гас (The International Association for Natural Gas Vehicles – IANGV [46] ажурирани су 31. децембра 2019. године и у светским размерама износе:

- 28,540,819 возила на природни гас;
- 33.383 бензинских станица за природни гас;

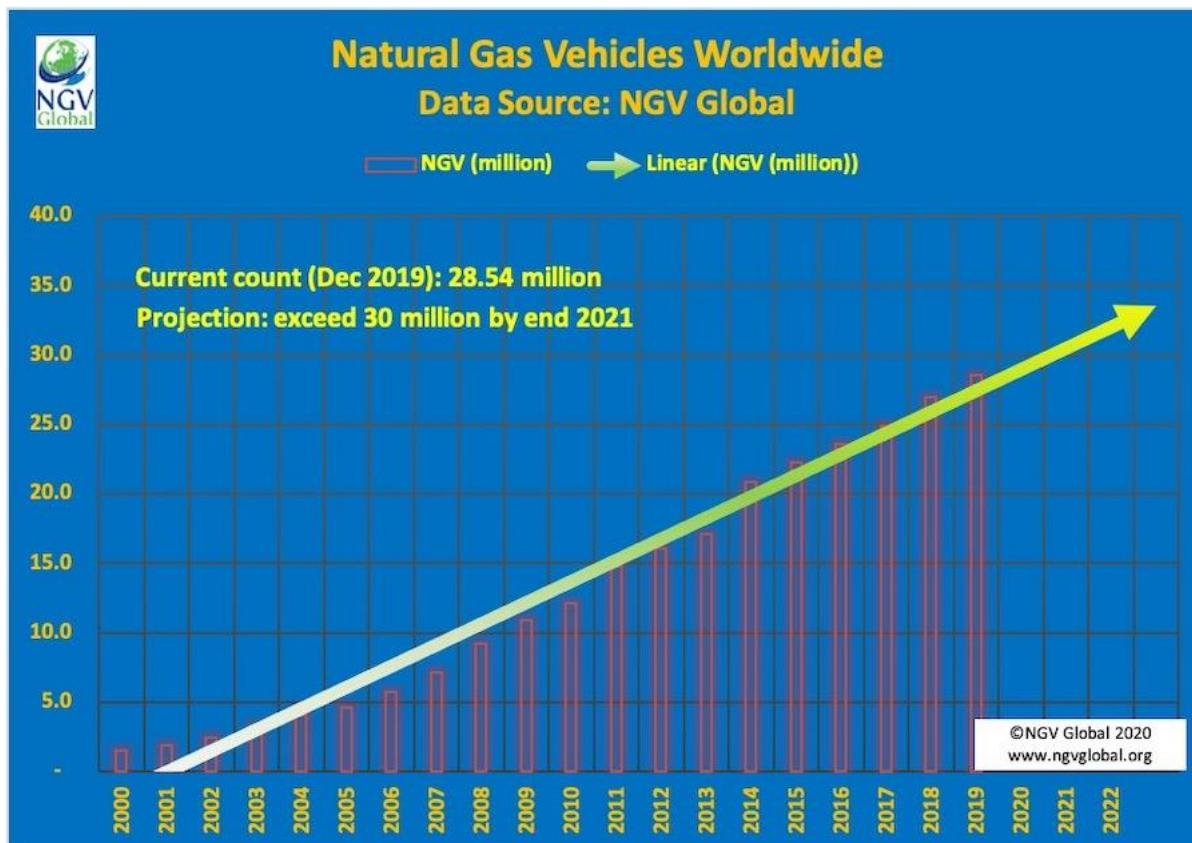
У табели - Табела 2 представљен је регионални број возила и станица за природни гас из кога се види да Азијско-пацифички регион предњачи и по примени оваквих возила и по развоју инфраструктуре.

Табела 2: Регионални број возила и станица за природни гас[46]

Регион	Возила	Станице за пуњење
Азијско-пацифички регион	20,473,673	20,275
ЕВРОПА	2.062.621	3.732
СЕВЕРНА АМЕРИКА	224.500	1.856
ЛАТИНСКА АМЕРИКА	5.484.676	5.848
АФРИКА	295.349	210

Три земље са највећим бројем возила су Кина, Иран и Индија.

Исто удружење предвиђа се да ће раст возила премашити 30 милиона до 2021. године, а преглед промене броја ових возила и пројекције раста дате су на слици - Слика 6.



Слика 6: Преглед промене броја возила на КПГ са пројекцијом за наредни период[47]

Анализа тржишта Европске Уније и Европске асоцијације за слободну трговину (Исланд, Лихтенштајн, Норвешка и Швајцарска) показала је да је број нових регистрација за путничке аутомобиле на погон на компримовани природни гас (КПГ) порастао је за скоро 6% од 2018. године на 69.900. Више од половине нових КРГ возила регистровано је у Италији (55,2%), затим у Немачкој (10,9%) и Шпанији (7,8%).

Поред тога, 2019. године у Европи је било 1.980 нових аутобуса на гас и 8.910 нових лаких комерцијалних возила на гас. На путеве је кренуло и 2.120 нових КПГ камиона.

Инфраструктура за пуњење горивом такође се интензивно развија. Број бензинских пумпи за КПГ у Европи достигао је 3.732. Већина нових станица за пуњење изграђена је у Италији.

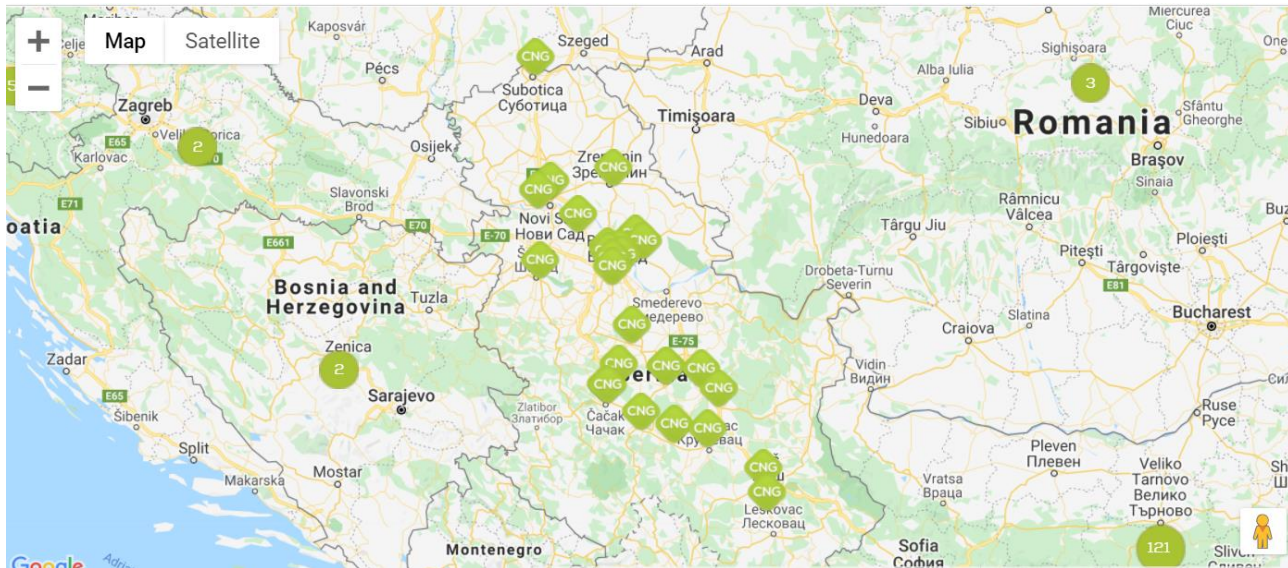
Укупни број возила на КПГ на крају 2019. године чинило су више од 28,57 милиона широм света. Иако је тренд раста успорен због пандемије и њеног економског утицаја, очекује се да ће број возила на КПГ премашити 30 милиона пре краја 2021. године. [47] Иако је пандемија пореметила тржишна кретања у 2020. годину у односу на 2019., број возила са алтернативним погоном је задржао исти обим учешћа у броју регистрованих возила у ЕУ од 1,2%, пре свега у сегменту лаких комерцијалних возила. [48]

Ови бројеви потврђују све већу привлачност мобилности природног гаса за европске потрошаче. То је резултат зреле технологије гасних возила са високом ефикасношћу и перформансама мотора, раширеном инфраструктуром и ниским укупним трошковима власништва, али и великим еколошким предностима гаса у транспорту.

5.2.1. Статистика у Републици Србији

Када је у питању Република Србија, број станица за пуњење КПГ је 27, а њихов распоред представљен је сликом - Слика 7 и табелом -

Табела 3 [49].



Слика 7: Расподела КПГ станица за пуњење у Србији 2021. године[49]

Табела 3: Расподела КПГ станица за пуњење у Србији 2021. године по градовима

Р. број	Град	Власник пунионице	Р. број	Град	Власник пунионице
1	Суботица	Cryo Gas	15	Аранђеловац	Univerzum
2	Нови Сад	NIS Petrol	16	Горњи Милановац	Lika
3	Беочин	Darzal Komerc	17	Чачак	Sponit
4	Зрењанин	Taxi Petrol	18	Чачак	Sponit
5	Инђија	Cryo Gas	19	Крагујевац	Vulović Transport
6	Шабац	Slap	20	Јагодина	Metan
7	Панчево	Ledi	21	Параћин	Mihajlović
8	Панчево	Bedem Prevoz	22	Краљево	Messer Tehnogas
9	Београд	Cryo Gas	23	Трстеник	AS Petrol
10	Београд	Gazprom	24	Крушевац	Boss Petrol
11	Београд	Cryo Gas	25	Ниш	Ecovulovic
12	Београд	Slap	26	Брестовац	Pan-Ledi
13	Београд	Gazprom	27	Крагујевац	Petrol
14	Београд	Cryo Gas			

С обзиром да се према каталогу возила који је удружење NGVA објавило за 2019. годину, домет доставних возила, односно лаких комерцијалних возила креће од 270 до 790 км, односно домет теретних возила се креће од 400 до 1000 км, према распореду садашњих локација станица за пуњење инфраструктура обезбеђује могућност планирања и приватног и јавног комерцијалног транспорта. Тренутно је у Србији регистровано мање од 2000 возила на КПГ и то са највећим учешћем сегмента лаких комерцијалних возила.

6. ЕКОНОМСКИ АСПЕКТИ КОРИШЋЕЊА КПГ У ОРГАНИЗОВАНОМ ВОЗНОМ ПАРКУ

6.1. Организација возног парка

Када говоримо о организованом возном парку или о организованим флотама возила, постоји много дефиниција које дају објашњење појма. За разумевање материје и даљег рада на моделу трошкова експлоатације великих возних паркова са погоном на компримовани природни гас, преузета је дефиниција дата у наставку:

Под појмом возног парка подразумева се скуп свих транспортних средстава ауто-транспортне организације (аутобуси, зглобни аутобуси, теретна моторна возила, тегљачи, приколице и полуприколице). Возни парк може бити формиран по организацијама и територијалним потребама.

Организовани возни парк се може формирати за делатност јавног превоза или за делатност превоза за сопствене потребе.

Формирање возних паркова по територијалним потребама подразумева све наведене облике организационог возног парка али са ограниченим територијалним дејством, односно задатком подмирења транспортних потреба посматране територијалне области. [50]

Економски показатељи рада возног парка са становишта моторних возила изабрани су као кључни капитални и оперативни трошкови препознати од стране Ricardo Strategic Consulting. [51] Под капиталним трошковима разматрана је набавка возила и инфраструктура возног парка, док су код оперативних трошкова разматрани трошкови одржавања возила и трошкови погонског горива. Модел укупних трошкова власника возног парка дат је на слици - Слика 8.



Слика 8: Модел укупних трошкова власника возног парка [51]

6.2. Трошкови набавке возила

Трошкови набавке возила спадају у капиталне трошкове возног парка и у циљу доследног поређења података за возила са погоном на конвенционална и алтернативна горива, односно бензинских и дизел возила и возила на погон на метан било је важно користити доследан скуп података. У ту сврху коришћени су резултати студије коју је АЕА спровела за Комитет за климатске промене Уједињеног Краљевства са циљем преиспитивања и претпоставки трошкова за возила друмског превоза за период између 2010. и 2050. [52] Овако развијене процене коришћене су за даљу анализу трошкова и исплативости употребе КПП технологије са циљем смањења GHG емисије у организованим возним парковима друмског транспорта. Резиме капиталних трошкова за 2020. годину за ове три врсте погона представљен је у доњој табели.

Табела 4: Капитални трошкови набавке друмских возила на бензин, дизел и КПП [52]

Врста возила	Врста погонског горива			
	Бензин (€)	Дизел (€)	КПП (наменско возило) (€)	КПП (Dual-fuel возило) (€)
Путничко	19,500	20,400	20,550	-
Лако комерцијално	15,700	17,000	17,700	-
Мало теретно	-	45,000	55,600	58,000
Велико теретно	-	73,900	85,400	89,450
Зглобни камион	-	97,200	112,750	118,500

У сваком случају, КПП возила носе већи капитални трошак од еквивалентних конвенционалних бензинских и дизел возила, мада је разлика у трошковима између лакших комерцијалних (доставних) возила на дизел и КПП врло мала (150, односно 700 ЕУР), па се **однос трошкова лакших комерцијалних возила на дизел и наменских КПП возила може посматрати као 1:1,04**.

Када су у питању теретна возила, Dual-fuel КПП возила су 4-5% скупља од наменских КПП возила, па се **однос трошкова возила на дизел и наменских КПП, односно Dual-fuel КПП возила може посматрати као 1: 1,23:1,29** (разлика у трошковима се креће од 10.600 ЕУР за мале теретне камионе до више од 15.500 ЕУР за зглобне камионе).

6.1. Трошкови горива

Иако су еколошки аспекти и контрола емисије употребе КПП главни циљ примене природног гаса у друмском транспорту, посебно у великим градовима, у последње време уз раст цена нафте, све значајнија економска предност коришћења КПП као погонског горива постала је главна ствар за многе нове кориснике. [53]

У овом поглављу анализирани су годишњи оперативни трошкови са фокусом на доминантни елемент трошкова, односно трошкове горива. Један од кључних изазова повезаних са спровођењем ове анализе је нестабилност цена конвенционалних горива, па је због тога разматрање обухватило изворе из већег броја земаља ЕУ и различите периоде извештавања.

Поређење малопродајних цене горива почиње прегледом цена у Републици Србији у јуну 2021. године, које су дате у табели - Табела 5.

Табела 5: Преглед цена моторних горива на станицама за снабдевање у Републици Србији, јун 2021. године

Гориво	Цена са ПДВ-ом и акцизом (RSD)	Цена са ПДВ-ом (RSD)	Цена са ПДВ-ом и акцизом	Цена са ПДВ-ом (€/kg)	е Дизел * (€/l)
Бензин	154,94	-	1,31	-	1,10
Дизел	158,49	-	1,34	-	-
КПГ	-	96	-	0,81	0,45

*Цена изражена у ЕУР формирана је на основу односа 118 РСД:1 ЕУР, док је цена у литарским еквивалентима дизела формирана на основу нето калоријских вредности: Бензин = 32 MJ/l, дизел = 36 MJ/l, КПГ = 48 MJ/kg; (Директива 2009/33/ЕЗ).

Поређење малопродајних цена у земљама ЕУ које користе компримовани природни гас у саобраћају дат је у наредној табели. Подаци су преузети из документа Европске комисије из 2016 године и дају преглед цена у 9 земаља.

Табела 6: Преглед цена КПГ и дизел горива у земљама ЕУ[54]

Земља	КПГ		ПДВ	Акциза	Дизел
	€/kg	€/l e Diesel*			
Италија	0,98	0,71	22	0.0047	1,52
Белгија	0,98	0,71	21	n.a.	1,29
Шпанија	1,05	0,76	21	n.a.	1,18
Француска	1,05	0,76	20	0,057	1,13
Немачка	1,09	0,78	19	0,196	1,22
УК	1,25	0,90	20	n.a.	1,65
Низоземска	0,93	0,67	21	0,23	1,36
Португал	0,58	0,42	23	n.a.	1,29
Шведска	1,83	1,32	25	0,351	1,38

*цена у литарским еквивалентима дизела формирана на основу нето калоријских вредности: Бензин = 32 MJ/l, дизел = 36 MJ/l, КПГ = 48 MJ/kg; (Директива 2009/33/ЕЗ).

Из прегледа се мора узети у обзир очигледна економска предност КПГ-а, како је сугерисано упоређивањем цена по литру еквивалента дизела, уз свест о томе да се ова предност донекле смањује ефектом веће термодинамичке ефикасности дизел мотора. Та ефикасност је већа за неких 10-15% у поређењу са HD Otto моторима који раде на природни гас, било да је компресован или течан. Чак и HD мотори наменски оптимизовани за природни гас још увек не могу у потпуности надоместити овај недостатак. Међутим, ова разлика ће се у будућности знатно смањити и на крају нестати захваљујући иновативним технологијама, као што је нпр. HPDI технологија директног убризгавања под високим притиском. Такође модерна Dual fuel технологија

нуди предност у овом погледу, с обзиром да се у овом случају природни гас користи у циклусу који је врло близак дизел циклусу.

Чињеница је да је у већини ЕУ земаља КППГ је много јефтинији по еквивалентном литру дизела, па чак и након разматрања ниже топлотне ефикасности у односу на дизел и бензин, закључак је да постоје значајне економске предности употребе КППГ као транспортног горива. Штавише, мање је подложен осцилацијама цена и његови ресурси су равномерније распоређени по земљи у поређењу са нафтом. [55]

Поређење малопродајних цене горива у 9 ЕУ земаља корисница КППГ у возилима указује да је цена КППГ у просеку око 50% нижа од цене дизела.

Када је Република Србија у питању, цена је 55% нижа. Разлог одступања од Европског просека може се наћи и у чињеници да Република Србија промовише компримовани природни гас изостанком акцизног оптерећења цене овог горива и нижом ПДВ стопом.

Потребно је нагласити да економски аспект употребе природног гаса зависи од компромиса између нешто већих капиталних трошкова КППГ возила и разлике у ценама бензина или дизела, па диференцијалне стопе опорезивања и субвенција могу играти битну улогу у многим земљама. На пример, у Европи већина земаља обрачунава ниже царинске стопе на КППГ него на дизел, а у Великој Британији је царина на гориво на природни гас и биометан 50 % нижа од оне на дизел. У новембру 2018. године Влада Велике Британије је објавила да је ова олакшица (која се односи на сва алтернативна горива) продужена до 2032. године. [56]

Брзи раст КППГ возила у последњој деценији, посебно у азијско-пацифичком региону, углавном је био последица ове мање цене горива КППГ у погледу бензина/дизела. [57] За потребе разматрања варијантних решења модела трошкова великих возних паркова на КППГ усвојен је **однос трошкова дизел и КППГ као погонских горива у возилима који се може посматрати као 1:0,5.**

6.1. Трошкови одржавања возила

Подаци о трошковима одржавања возила на компримовани природни гас варирају у литератури и код различитих аутора могуће је наићи на опречне закључке.

У градском подручју Вашингтона током 12 месеци спроведена је упоредна анализа на аутобусима којима управља транзитна управа градског подручја Вашингтон. Открили су да су трошкови одржавања аутобуса на КППГ за 12% нижи од аутобуса на дизел гориво. [37]

У раду [58] у коме је дат преглед оперативних трошкова КППГ возила у различитим градовима Србије, аутори су дошли до закључка да су трошкови одржавања аутобуса на КППГ виши због теже аквизиције резервних делова и јер су њихови мотори много осетљивији на дужину интервала сервисирања, захваљујући специфичним компонентама. Процена је да су трошкови одржавања аутобуса на КППГ погон и до 18% већи у поређењу са онима код дизел аутобуса.

Са друге подаци сакупљени у оквиру студија случаја која је спроведена на сегменту лаких комерцијалних возила у Србији показали су да су трошкови одржавања КППГ возила на годишњем нивоу били већи за свега 5% у односу на возила са дизел погоном.

Поред тога литература наводи и модел којим оптимално одржавања возила са дизел погоном не прелази 25% трошкова горива, односно оптимално одржавања КППГ возила не прелази 45% трошкова горива. [59]

С обзиром на подељена мишљења и опречне закључке који се могу наћи у литератури, у оквиру каснијих разматрања варијанти модела трошкова експлоатације великих возних паркова на КПП усвојен је најнеповољнији модел.

Имајући у виду различите могућности организованих возних паркова код избора врсте возила у флоти, усвојен је **однос трошкова одржавања дизел и КПП возила који се може посматрати као 1:1,15**, а који се пре свега ослања на литерарне изворе и спроведену студију случаја на територији Републике Србије.

У циљу фомирања одговарајућег односа трошкова одржавања возила са бензинским и дизел погоном, у обзир су узете разлике у технологији које код дизел возила између осталог подразумевају DP филтере и AdBlue инсталацију које праве разлику у трошковима и до 10% на годишњем нивоу. **Однос трошкова одржавања дизел и бензинских возила који се може посматрати као 1:0,9** усвојен је за даље прорачуне.

6.2. Трошкови станица за пуњење

Да би друмска возила на КПП била одржива главна опција за транспортни сектор, доступност инфраструктуре за пуњење горивом је пресудно важна.

КПП станице за пуњење имају дозаторе под притиском и користе компресор који може да испоручи КПП у возила под притиском од 200 бара. Ове пунионице су повезане на гасну мрежу цевоводном везом и трошкови таквих система зависе од укупног притиска одговарајуће гасне мреже (тј. већи притисци у гасној мрежи значе да се смањује количина додатне компресије, чиме се смањују трошкови).

У случајевима када није могуће успоставити мрежну везу или када су трошкови такве везе претерано скупи, такозвана конфигурација „мајка-ћерка“ може се користити као алтернатива. Састоји се од мобилне КПП цистерне монтиране на приколици („ћерка“ станица) која КПП из матичне КПП станице испоручује друмским транспортом.

Трошкови станица за пуњење анализирани су поређењем јединичних трошкова бензинских пумпи за бензинска / дизел возила и КПП возила по цени по литру. [60, 61] Ови трошкови укључују директне трошкове пуњења горивом (опрема на локацији, трошкови гасне / електричне мреже) и индиректне трошкове пуњења горивом (трошкови грађевинских конструкција, земљишта или резервисања за аутоматско плаћање). Ове анализе су показале да **трошкови за бензинске / дизел станице за пуњење износе приближно 0,06 евра по литру, док за КПП пунионице трошкови износе око 0,23 евра по литру.**

Студија је такође открила да би КПП пунионици требао годишњи капацитет од око 1.000.000 kg КПП (што је еквивалентно 1.460.000 литара дизела) и да би требало да постигне обим продаје од 30% овог годишњег капацитета како би била ефикасна.

У табели - Табела 7, су представљени капитални и грађевински трошкови инфраструктуре за пуњење КПП горивом.

Табела 7: Капитални трошкови изградње КПГ станице за пуњење[61]

Капацитет станице за пуњење (kg/dan)	Трошкови опреме (€)	Грађевински трошкови (€)
500	184,000	57,500
1000	230,000	69,000
2000	287,500	92,000
5000	402,500	138,000
10000	805,000	161,000

Може се видети да се капитални и грађевински трошкови повећавају како се капацитет пунионице повећава. Међутим, јединични трошкови инфраструктуре по kg испорученог КПГ нижи су за пунионице са већим укупним капацитетом, што је представљено следећом табелом.

Табела 8: Јединични трошкови КПГ пунионице (€/GJ)[61]

Капацитет станице за пуњење (kg/dan)	Поврат капитала (€/GJ)	Оперативни трошкови (€/GJ)	Укупни јединични трошкови (€/GJ)
500	6.48	5.76	12.25
1000	4.08	3.36	7.44
2000	2.64	2.40	5.04
5000	1.68	1.92	3.60
10000	1.44	1.68	3.12

Са друге стране, трошкови бензинских / дизел пумпи процењени су на 0,037 € по литру, односно 1,16 €/GJ.

Из овога се види да постоје минимални годишњи капацитети и нивои употребе који су неопходни како би се осигурало да инвестирање у постројења за пуњење КПГ буду исплатива.

Имајући у виду представљене резултате за даље прорачуне усвојен је **однос трошкова станица за пуњење возила на дизел и КПГ возила по €/l који се најнеповољнијем случају може посматрати као 1:10,5, односно у најповољнијем као 1:2,7.**

6.3. Безбедносни аспекти коришћења КПГ у моторним возилима

Карактеристике возила која користе компримовани природни гас са аспекта њихове безбедности могу се посматрати кроз:

- Активну и пасивну безбедност возила, и
- Ризике при складиштењу и руковању природним гасом у компримованом стању.

6.3.1. Активна и пасивна безбедност

Активна безбедност возила везује се за експлоатацију, односно коришћење возила. Ризик представља додатна маса резервоара за смештај гаса, јер положај резервоара у склопу возила може довести до промена карактеристика активне безбедности.

Питање утицаја додатне масе на конструкционе карактеристике возила одређује се експерименталним и аналитичким путем, како би се резултати оваквих истраживања користили у фази пројектовања нових возила или при конверзији возила која су већ у експлоатацији.

Ризик по пасивну безбедности огледа се у потенцијалном ширењу природног гаса који се евентуално ослобађа из резервоара и до чијег паљења може доћи неким спољним извором. У циљу смањења и спречавања ризика повређивања људи спроводе се мере којима се води рачуна о отпорности носача резервоара на кидање и разарање и о његовој заштити од изложености топлоти (не препоручује се позиционирање близу зоне издувних гасова). Уградњом секцијских вентила могуће је обезбедити аутоматско спречавање истицања гаса у случају оштећења инсталација услед саобраћајне незгоде.

Ако је резервоар смештен у унутрашњости возила, потребно је обезбедити одговарајуће проветравање, у случају да су резервоари на крову (као код неких аутобуса) потребно обезбедити њихову заштиту од механичких оштећења.

6.3.1.1. Понашање возила са погоном на компримовани природни гас при кретању

Конструкција моторних возила са КПП погоном утиче на понашање при кретању. Разлике у односу на конвенционална решења са дизел моторима се јављају услед присуства неопходних гасних инсталација, пре свега обавезних резервоара КПП.

Због утицаја масе и положаја резервоара на понашање кретања возила, препорука је да се за њихову израду користе композитни материјали мање специфичне масе и да се резервоари, због утицаја на стабилност при кретању и управљивости, смештају испод пода, што код модела нископодних аутобуса додатно отежава техничко решење. Ту се најчешће прибегава постављању резервоара на кров што доводи до промена координата тежишта по висини, па то захтева одговарајућу опрезност возача приликом маневрисања возилом.

Ефекти дејства додатне масе на промену перформанси кретања зависе од брзине кретања, па су у градским условима вожње, где су просечне брзине до 40 km/h, и ови ефекти мање изражени.

6.3.2. Ризици при коришћењу компримованог природног гаса

Исправност целокупне гасне инсталације на возилу је од изузетне важности, како не би дошло до испуштања гаса. Ако до испуштања гаса ипак дође, препознати су ризици:

- по здравље људи и околине (отровност природног гаса),
- од појаве ватре (у односу на аутобус и пратећу инфраструктуру),
- од појаве високог притиска у инсталацији и наглог истицања КПП-а.

6.3.2.1. Опасности и ризици по здравље људи и околине

Природни гас који је истекао из инсталација или из резервоара није отрован, и ако је одорисан по законским нормативима, његова повећана концентрација у затвореном простору се може на време осетити. У неким случајевима може довести до гушења, јер битно смањује концентрацију кисеоника неопходног за дисање.

У случају неправилног сагоревања у мотору, које је најчешће је последица пропуста током поступка одржавања, у издуним гасовима се јавља угљенмоноксид који је врло отрован и чија концентрација у ваздуху од 0,2% може да узрокује смрт људи након одређеног периода излагања таквој концентрацији.

6.3.2.2. Опасности и ризици од појаве ватре

Како у гасној инсталацији нема кисеоника, чије присуство је основни услов за сагоревање, до настанка ватре долази само у непредвиђени ситуацијама као што су саобраћајне незгоде. Поред кисеоника из ваздуха, за паљење је неопходан принудни извор паљења температуре паљења преко 670 °C уз услов смеше од 85 до 95% ваздуха и од 5 до 15% природног гаса.

TRS (Center for Technology Risk Studies) универзитет Мериленд спровео је истраживање ризика од појаве ватре приликом експлоатације аутобуса са погоном на КПП у градским условима, које је реализовано на узорку од 8500 аутобуса. Грешка на инсталација или грешке при пуњењу резервоара препознате су као највећи потенцијални ризик са вредношћу од $7,5 \cdot 10^{-6}$ аутобус/год или $7,8 \cdot 10^{-2}$ на 100106 пређених миља. Остали препознати ризици попут електростатичког пражњења, саобраћајних незгода или грешака особља су за 40% нижи. [62]

6.3.2.3. Опасности и ризици од високог притиска

С обзиром на притисак од 200 бара под којим се КПП складишти у склопу возила и делу инсталације, највеће дејство непожељних сила, због својих површина, трпи резервоар. Ризик од могућих негативних последица неутралише се правилном конструкцијом и квалитетом израде резервоара, његовим правилним монтирањем, спречавањем загревања, ширења корозије као последице примене природног гаса недовољног квалитета, а уз превентивни надзор ради откривања микропукотина. У сваком случају, прекомерно повећање притиска у резервоару или његово загревање, корозија, прекомерна употреба, саобраћајне незгоде или пробоји стохастичког карактера могу довести до пуцања резервоара. У том случају, услед наглог ширења природног гаса, кинетичка енергија гаса изазива разлетање делова возила по околини.

Међутим, истицање природног гаса из инсталација спречава се применом сигурносно безбедносних мера прописаних стандарда и законским регулативом.

6.3.3. Безбедносна регулатива

Прописи који регулишу проблематику гасних система на возилу становишта безбедности и екологије, могу се поделити на међународне (ECE) прописи и домаће правне прописе.

Осим ових, постоје и прописи које се посредно тичу проблематике примене гасовитих горива на возилима, а који регулишу:

- састав и квалитет самих гасовитих горива, њихово чување и транспорт
- црпне станице за гасовита горива
- рад радионица за накнадну уградњу и сервисирање гасних система

6.3.3.1. Међународни прописи

Сва дешавања у вези успостављања техничке регулативе за моторима возила која користе КПП дешавају се у Светском форуму за хармонизацију правилника за возила - WP.29, односно његовој Радној групи за аерозагађење и уштеду енергије - GRPE при Економској комисији за Европу при UN (ECE).

Захтеви по питању безбедност возила остварују се применом Правилника UN ECE R. 110 и UN ECE R. 115.

Правилник UN ECE R. 110 успоставља безбедносне захтеве, односно дефинише поступак хомологације опреме на моторним возилима која користе КПП и хомологацију возила у односу на уградњу такве опреме.

Пун назив овог правилника је Једнообразни прописи о хомологацији (I) специфичне опреме моторних возила са погоном на КПП, (II) возила у погледу уградње специфичне опреме хомологованог типа за погон на КПП.

Одређене врста испитивања дефинисане су прилозима правилника UN ECE R. 110 КПП компоненте су разврстане у пет класа, у зависности највећег радног притиска и њихове функције. Свака компонента мора носити хомологациону ознаку, а резервоар још и:

- серијски број,
- податак о запремини,
- ознаку „КПП“,
- податак о радном притиску/испитном притиску,
- податак о тежини и
- податак о години и месецу додељене хомологације.

Код хомологације возила у погледу уградње КПП опреме дефинисани су безбедносни нивои које морају да испуне одређене компоненте на возилу. Тако, код испитивања резервоара он мора бити тако монтиран и причвршћен да апсорбује енергију убрзања (без оштећења када је пун) од 10g у правцу кретања и 5g хоризонтално попречно на правац кретања код возила категорије M2 и N2 (лаки аутобуси и тешки камиони).

Правилник UN ECE R. 115 - Пун назив овог правилника је: Једнообразни прописи о хомологацији: (I) Специфичних ТНГ заменљивих система који се уграђују у моторима возила за коришћење ТНГ у погонском систему, (II) Специфичних КПП заменљивих система који се уграђују у моторима возила за коришћење КПП у погонском систему.

Овај Правилник се примењује, када произвођач или инсталатер заменљивог система задржава основне карактеристике целог система, за специфичну фамилију возила, и за време развоја и за време производње, за која су хомологације већ додељене. Односи се на заменљиве, односно системе за накнадну уградњу системе који се уграђују у возила категорија M и N (путничка, теретна и аутобуси).

Овај Правилник се не примењује на поступке, провере и контролу у циљу верификације тачности инсталације заменљивих система на возилу. Основни захтеви за уградњу специфичне опреме за коришћене ТНГ или КПП мора најмање садржати:

- компоненте назначене у Правилнику UN ECE R. 67/01, односно Правилнику UN ECE R. 110;

- упутство за уградњу;
- упутство за одржавање за крајњег корисника.

Заменљиви ТНГ или КПП системи уграђени у возило морају задовољити захтеве уградње према Правилнику UN ECE R. 67/01, односно Правилнику UN ECE R. 110.

Захтеви по питању емисије возила на КПП остварују се применом Правилника UN ECE R. 49 и UN ECE R. 83.

Правилник ЕСЕ 49 прописује еколошке захтеве, која треба да испуне тешка моторна возила која служе за превоз путника и робе, а која у свом погонском систему користе ТНГ и КПП.

Пун назив овог правилника је Једнообразни прописи о хомологацији дизел-мотора и мотора на природни гас (ПГ) као и otto-мотора на течни нафтни гас (ТНГ) и возила опремљених дизел-моторима и моторима на ПГ и otto-моторима на ТНГ, у погледу емисије загађивача из мотора. Примењује се за мерење гасовитих загађивача и чврстих честица из дизел-мотора, мотора на КПП и otto-мотора на ТНГ, који се користе у моторним возилима чија брзина прелази 25 km/h категорије М₁ чија укупна маса прелази 3500 кг, М₂, М₃, Н₁, Н₂ и Н₃ (аутобуси и камиони). Обухвата две врсте испитивања и то:

- хомологацију мотора као засебне техничке јединице и
- хомологацију возила у односу на његов мотор.

Правилник ЕСЕ 83 прописује еколошке захтеве, које треба да испуне путнички аутомобили, а која у свом погонском систему користе ТНГ и КПП.

Пун назив овог правилника је Једнообразни прописи о хомологацији возила у односу на емисије загађивача из мотора од горива које захтева мотор. Примењује се, између осталог, на возила опремљена дизел-моторима, моторима на КПП и otto-моторима на ТНГ, категорије М₁, М₂ и Н₁, чија укупна маса не прелази 3500 kg (путничка и лаки аутобуси и камиони). Под изразом “гориво које захтева мотор” подразумева се гориво које се нормално користи: бензин; ТНГ; природни гас; бензин или ТНГ; бензин или природни гас; и дизел.

6.3.3.2. Домаћи прописи

Основни позитивни прописи коју регулишу примену гасовитих горива на возилима, односно уградњу система за њихову примену су:

- Закон о безбедности саобраћаја на путевима
- Правилник о димензијама, укупним масама и осовинском оптерећењу возила и о основним условима које морају да испуњавају уређаји и опрема на возилима у саобраћају на путевима
- Правилник о техничким нормативима за покретне затворене судове за компримиране, течне и под притиском растворене гасове
- Правилник о мерним системима за компримована гасовита горива за возила

7. ЕКОЛОШКИ АСПЕКТИ КОРИШЋЕЊА КПГ У ТРАНСПОРТУ

Моторна возила имају значајну улогу у савременој индустријској економији обликујући наше природно и изграђено окружење. Аутомобили стварају брзу, поуздану и практичну мобилност све већег броја људи и еколошки аспекти употребе моторних возила са различитим погонима морају се додатно разматрати.

Са све већим значајем чистоће ваздуха и очувања животне средине, у оквиру рада на докторској дисертацији са циљем разматрања директне емисије еквивалентног угљен-диоксида, спроведено је теренско истраживање у оквиру организоване флоте лаких комерцијалних возила која пружају услугу у граду Београду.

Иако још увек недовољно доминантан, аспект заштите животне средине свакако ће постати значајан сегмент у моделима одлучивања везаним за набавку возила, посебно за организоване возне паркове.

7.1. Студија случаја на флоти лаких комерцијалних возила

7.1.1. Уводна разматрања

Намера дисертације је да укаже да је, иако је развој нових решења у области возила, горива и пратеће инфраструктуре у току, неопходно је искористити доступна фосилна горива са нижом емисијом гасова са ефектом стаклене баште, као и оне добијене из обновљивих извора (биодизел, етил и синтетичка горива) у погледу исплативости и оперативне ефикасности возних паркова, како би се подстакла њихова брза примена у организованим флотама.

Имајући у виду да су транспортни системи дубоко уграђени у друштвено-економски живот појединаца, институција и корпорација, његова значајна улога у емисијама гасова стаклене баште показује се као препрека за декарбонизацију у Европи, укључујући и Републику Србију.

Будући да је транспорт у Србији други највећи сектор одговоран за емисије гасова са ефектом стаклене баште, са уделом од 12,4%, [63] подстицање великих флота возила на употребу већ доступних горива са ниским уделом угљеника и возила повезаних технологија требало би да буде један од даљих напора у борби против климатских промена.

Да би се смањиле емисије гасова са ефектом стаклене баште у друмском саобраћају, развијене су многе стратегије за побољшање смањења удела угљеника у горивима која се користе, енергетске ефикасности самих возила и ефикасности целокупног транспортног система. Након дугог периода интензивног истраживања и развоја у аутомобилској индустрији, возила погоњена горивом мимо данас доминантних бензина и дизела, присутна су и доступна на тржишту.

Возни парк путничких аутомобила у ЕУ повећао се за 8% у периоду 2014-2018. године, са 248 милиона на 268 милиона возила. Удео не-бензинских /не-дизел возила у возном парку ЕУ у 2018. години разликује се према сегментима возила и износио је око 4,1% у путничким аутомобилима, 3,8% у аутобусима и 1,7% у лаким комерцијалним возилима. Исти подаци показују да се трендови повећавају у свим сегментима, указујући да су

возила погоњена горивима са ниским уделом угљеника, осим возила са електричним напајањем (ECV – Electrically Chargeable Vehicles) или хибридних електричних возила (HECV – Hybrid Electrically Chargeable Vehicles), најприсутнија у возном парку ЕУ. [64]

Иако још увек недовољно доминантан, аспект заштите животне средине присутан је данас у моделу одлучивања за набавку возила, посебно за организоване возне паркове.

Без одговарајућих мера, емисије GHG ће се повећати за око 35% до 2030. године и готово се удвостручити до 2050. године. То се не сме дозволити, а мисија транспортног сектора јесте да помогне да се граница од 1,5°C не пређе. Емисија GHG повезана са возилима могла би се смањити спровођењем четири врсте мера:

- Смањивање оптерећења (маса возила, отпора котрљању и ваздуху, као и масе товара), смањујући на тај начин енергију потребну за кретање;
- Повећање ефикасности трансформације енергије горива у рад, побољшањем ефикасности погонских система и рекулперацијом отпадне енергије;
- Смањивање емисија осталих гасова са ефектом стаклене баште (осим CO₂) из мотора и контролом рада клима уређаја; и
- Прелазак на не-угљенична или мање угљенична горива.

Прве три групе мера већ годинама су предмет истраживања стручњака који се баве развојем возила са моторима са унутрашњим сагоревањем. Резултати су врло добри, али још увек недовољни да зауставе раст емисија гасова са ефектом стаклене баште у атмосферу.

Једна од опсежних студија у оквиру пројекта CONCAWE, [65] у домену четврте групе мера развила је три различита сценарија за смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште.

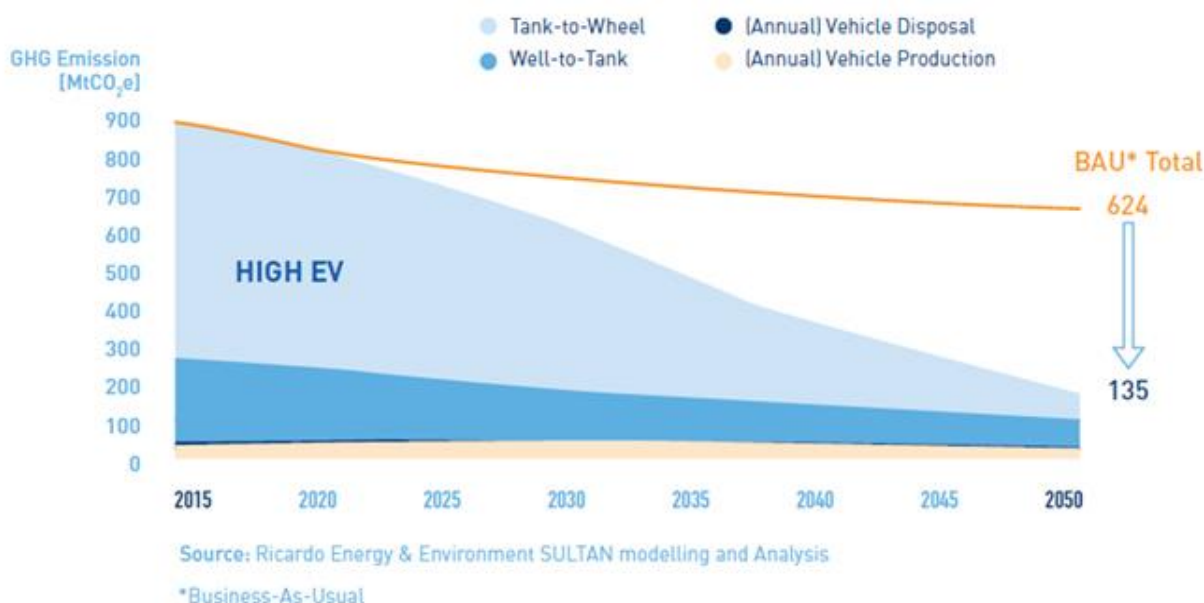
- Први полази од претпоставке да је потпуна електрификација транспорта коришћењем енергије из обновљивих извора енергије једино дугорочно решење за декарбонификацију. Овај сценарио под називом „Високо учешће електричних возила“ подразумева масовну набавку електричних возила како би до 2050. године њихово учешће у флоти возила износило ~90%;
- Други сценарио подразумева већу улогу горива са ниским уделом угљеника у испуњавању захтева ЕУ у 2050. години. Овај сценарио под називом „Горива са ниским уделом угљеника“ подразумева, осим електро возила, и значајније учешће возила која користе биогорива;
- Трећи, такозвани "Алтернативни" сценарио подразумева и веће учешће плуг-ин и обичних хибридних возила заједно са повећаном употребом биогорива и електричне енергије.

Имајући у виду наведене сценарије који би требали довести до „нулте“ емисије у друмском саобраћају до 2050. године. или бар до вредности упоредивих са осталим секторима привреде, ова дисертација разматра допринос возила са погоном на КПП, као возила на алтернативни погон у оквиру организованих возних паркова, чија употреба може бити значајна подршка смањењу гасова са ефектом стаклене баште током преласка на масовно усвајање ECV (90% BEV) који се очекује до 2050. године у оквиру сценарија „Високо учешће електричних возила“.

Промене у структури возних паркова утицаће и на емисије GHG (Greenhouse Gas), које би, према резултатима симулације за 2050. годину у сценарију „Изузетно великог броја

ECV“ требало да изнесе 135 MtCO_{2e}. То је значајно смањење емисија GHG (78% мање) наспрам оног које се очекује обављањем уобичајеног пословања (BAU - Business As Usual/ ради као и до сада), јер ће BAU приступ довести до само 30% смањења у 2050. години, на око 624 MtCO_{2e}.

Крива „ради као и до сада“ (BAU) указује на ограничене могућности возила са СУС моторима (СУС / IC мотори Са Унутрашњим Сагоревањем / Internal Combustion Engines), која се покрећу фосилним горивима, у погледу смањења емисија гасова са ефектом стаклене баште. Израчуната емисија у 2050. години састоји се од две компоненте које заједно чине животни циклус горива. Прва је такозвана емисија „од извора до резервоара“ (WTT – Well To Tank), а друга је последица коришћења возила, односно емисија „од резервоара до точкова“ (Tank To Wheel).



Слика 9: Емисије гасова са ефектом стаклене баште у животном циклусу према сценарију „Високо учешће електричних возила“ [65]

Полазећи од чињенице да потпуна електрификација захтева скуп нових и тренутно некомерцијалних технологија, да многа текућа истраживања и даље дискутују о најбољим сценаријима за електрификацију транспорта у односу на фактор емисије производње електричне енергије, [66] прелазно решење током наредних деценија могло би се потражити у комбинација мотора који се често сматрају „прљавим“ – мотора са унутрашњим сагоревањем (СУС) и течним горивима добијеним из обновљивих извора, као што је КПГ.

Уобичајени назив за течна горива добијена из обновљивих извора је „ниско-угљенична горива“ и са становишта доступних горива чија употреба може побољшати ситуацију у погледу емисија издувних гасова и потенцијала глобалног загревања GWP (Global Warming Potential), а без потребе за великим капиталним улагањима у (ре)изградњу возила и инфраструктуре, КПГ се сматра једним од могућих транзитних решења за нулту емисију мобилности.

Друга разматрана могућност је употреба био-горива као додатак од 5 до 10% бензину или дизел гориву која не захтева никакве или минималне додатне промене на возилима. Међутим, да би ефикасно радили са 15-85% етанола, стандардни СУС мотори захтевају значајне модификације. Обе наведене чињенице, у овом тренутку, утичу на ограничење ефекта примене био-горива на смањење емисије CO₂ из возила која су већ присутна у организованим возним парковима. Поред тога, треба нагласити да тренутно у Србији не постоје на снази прописи, нити произвођачи, нити пумпе таквих горива, посебно у мери која је довољна за редовно снабдевање возног парка.

Такође, разматрана је употреба синтетичких горива. Обновљива синтетичка горива или е-горива (е-дизел и е-бензин) су синтетичка горива створена из CO₂, H₂O и електричне енергије у процесу који се напаја обновљивом енергијом. Да би помогли смањењу емисије угљен-диоксида из друмског транспорта, могу се користити у потпуности или као додатак бензину или дизел гориву без модификовања возила. У овом тренутку, њихов утицај на смањење GHG је такође ограничен скупим производним процесом и тржишним ограничењима.

Оно што нам је у овом тренутку потпуно доступно и што ова дисертација разматра као прелазно решење су ниско-угљенична горива са успостављеном инфраструктуром за пуњење која се огледа не само у довољном броју пунионица, већ и у постојању потребних прописа. Поред еколошког притиска, финансијски притисак је изузетно важан фактор у раду комерцијалних флота, па стога доступност горива, возила и инфраструктуре на тржишту, као и у блиској будућности, може представљати добар избор, посебно имајући у виду њихову цену (обично јефтинији од дизела / бензина због субвенција и пореских разлика). Иако још увек недовољно доминантан, аспект заштите животне средине присутан је данас у моделу одлучивања за набавку возила, посебно за организоване возне паркове. [67]

7.2. Истраживање на узорку организованог возног парка лаких комерцијалних возила

Теренско истраживање је извршено у оквиру организоване флоте лаких комерцијалних возила која пружају услугу у граду Београду под специфичним условима вожње при малој брзини возила, малом оптерећењу мотора, ниској температури издувних гасова и великом броју заустављања. Такви услови вожње најсличнији су онима прописаним као UDC (Urban Driving Cycle / градски циклус вожње) - саставни део најновијег NEDC (New European Driving Cycle / Нови европски циклус вожње). [68]

Да би се спровела теренска истраживања, био је потребан возни парк састављен од Еуро 5 LCV (Light Commercial Vehicles / лака комерцијална возила) који укључује возила сличног типа са погоном на дизел, КПП и ТНГ. У сврху истраживања праћена су дизел, бензинска/ТНГ и бензинска/КПП погоњена возила. За потребе самог експеримента разматран је исти број возила на дизел, бензин/ТНГ и бензин/КПП. Сва посматрана возила су прешла сличну километражу са врло блиским бројем заустављања (због испоруке робе) у сличним радним условима. Ова почетна ограничења била су неопходна због чињенице да одабрана Bi-fuel возила (возила на два горива) за сваки старт возила користе бензин како би се касније пребацили на ТНГ или КПП циклус вожње. Исти услови стартовања били су и гаранција коректног поређења између свих конфигурација возила, како би се осигурало и да возила са различитим погонским горивима испуњавају иста очекивања корисника/купаца у погледу управљања/испоруке.

Тачније, за годишња теренска истраживања узета су у обзир 3 дизел, 3 бензинска/ТНГ и 3 бензинска/КПГ возила млађа од две године, са просечном масом празног возила (без возача и горива) од 1100 kg (Škoda Fabia 1.6 TDI, Fiat Grande Punto 1.4 TNG/CNG, 55 kW). Та возила су након 12 месеци посматрања остварила сличну километражу са врло блиским бројем заустављања (од 900 до 1100 стајања месечно са мање од 2 км између стајалишта) и са просечном брзином мањом од 14 km/h (од 9 km/h до 13,7 km/h).

Ова референтна возила коришћена су као алат за упоређивање могућег доприноса употребе расположивих алтернативних горива у тренутно доступним технологијама возила смањењу емисија гасова са ефектом стаклене баште и последично глобалног загревања GWP.

Изведени експеримент је био отвореног типа, јер возачи, с обзиром на њихов стил вожње, нису били део спроведене анализе. Анализа се заснивала на резултатима забележеним у једној српској транспортној компанији кроз модел посматрања дат на слици - Слика 10.



Слика 10: Графичко објашњење примењеног модела посматрања [69]

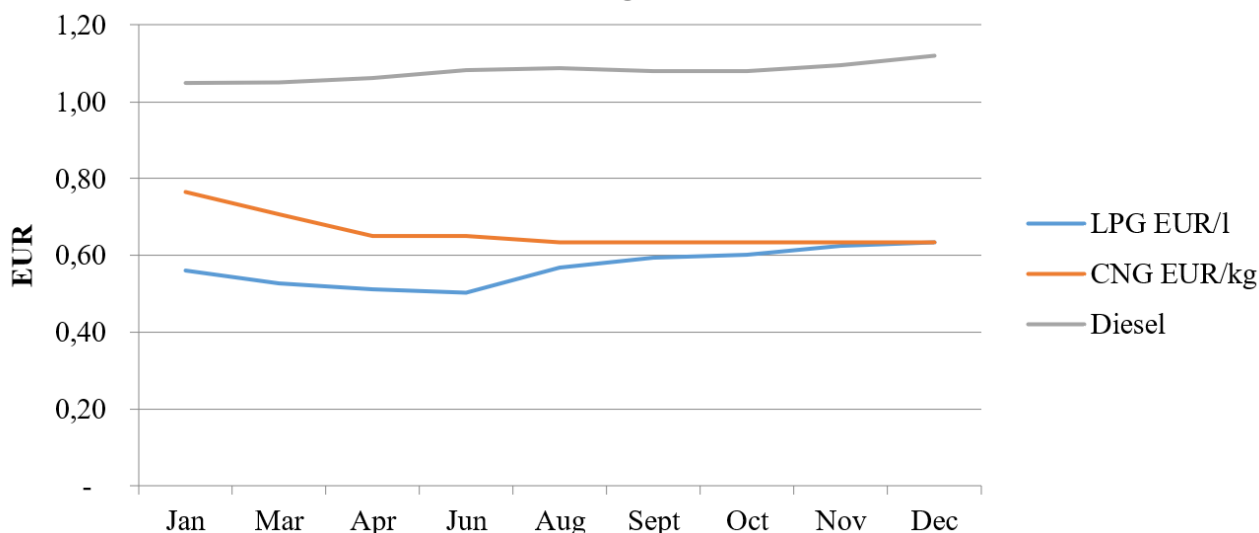
Праћени параметри су километража (km), количина купљеног горива (l и kg разматраних горива) и трошкови горива (EUR/l, EUR/kg). Период праћења је био годину дана са једним контролним мерењем након 3 месеца. Подаци о километражи узети су из путних налога; подаци о количини и цени купљеног горива прикупљени су из одговарајуће књиговодствене документације.

Емисије гасова са ефектом стаклене баште нису директно мерене, већ су одређене помоћу релевантних TTW фактора за еквивалентну емисију CO_{2e} разматраних горива по пређеном километру, како је дато у извештају Светске асоцијације за ТНГ. [70] Да би се одредио тако дефинисани параметар за поређење, енергија ослобођена од разматраних горива рачуната је у MJ на основу количине/запремине потрошеног горива и нето калоричне вредности. [71, 72] Тако добијени подаци коришћени су за израчунавање еквивалентне емисије TTW CO₂ по пређеном километру. Имајући у виду да су надгледана возила прешла врло сличну километражу у врло сличним условима вожње, што се поклапа са доступним статистикама, где је просечна километража путничког аутомобила у ЕУ 15 000 km, а просечни животни век 10,5 година [73, 74] даљи прорачун узима у обзир годишњи допринос емисији.

Будући да су се слична истраживања у Србији углавном фокусирали на аутобуске возне паркове и јавни превоз [75, 76] тако добијени резултати упоређивани су са резултатима студије Заједничког истраживачког центра Европске комисије о њиховој

заједничкој процени употребе WTW енергије и емисије гасова са ефектом стаклене баште за широк спектар потенцијалних будућих опција за гориво и погонске системе, [77] као и уз анализу емисије издувних гасова из студије Deutsehes Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) у погледу потенцијала КРГ-а и ТНГ-а као горива за транспорт. [78]

Будући да је промена цена горива на годишњем (чак и месечном и недељном) нивоу веома важна за управљање флотом возила, поређење трошкова узима у обзир годишњу промену цене горива у 2020. години (слика - Слика 11).



Слика 11: Графичко представљање промене цене горива на годишњем нивоу

У посматраном годишњем периоду раст цена дизела износио је 7%, ТНГ-а 13%, док је цена КРГ-а пала за 17% за исти период. Разлика у променама цена и трендовима раста или опадања цена је и последица дугорочне државне политике да КРГ подржи као еколошки прихватљиво гориво изостављањем акцизе на ово гориво.

Путеви снабдевања, као и порекло природног гаса, пресудни су за укупну емисију и равнотежу GHG, али највише за емисију WTT. У овом тренутку, изван локалних резерви природног гаса, Русија је најкредибилнији дугорочни главни извор снабдевања Србије.

7.3. Резултати теренског истраживања

Први корак прорачуна био је утврђивање специфичне потрошње енергије изражене у MJ/km. Уследио је прорачун емисије CO_{2e} путем TTW, WTT и WTW методологије. Наведени прорачун пружио је резултате еквивалентне емисије CO_{2e} у gCO_{2e}/km. Заједно са тако израчунатим емисијама, забележени су оперативни трошкови употребе возила у смислу потрошње горива и изражени у EUR/km.

7.3.1. Потрошња горива

Просечни подаци прикупљени и израчунати током 3 и 12 месеци за возила на бензин/ТНГ, бензин/КРГ и Еуро Дизел (ЕД) дати су у табели - Табела 9.

Табела 9: Просечне вредности током 3 и 12 месеци за бензина/ТНГ, бензин/КРГ и ЕД возила у урбаним условима вожње[69]

Возила	Бензин / ТНГ		Бензин / КПП		ЕД	
	3	12	3	12	3	12
Укупна потрошња; LPG/ED (l), CNG (kg)	630.29	1,513.30	389.18	834.25	409.27	1010.91
Потрошња одређеног горива; LPG/ED (l/100 km), CNG (kg/100 km)	9.85	10.27	5.47	5.45	6.61	6.55
Укупна потрошња бензина (l)	91.93	199.76	55.44	116.54		
Потрошња бензина (l/100km)	1.47	1.33	0.80	0.76		
Пређена километража (km)	6,479.00	15,151.33	7,165.33	15,300.67	6187	15,435.00
Трошкови бензина (EUR)	405.24	924.85	300.55	606.84		
Трошкови одређеног горива (EUR)	59.34	121.45	42.18	82.16		
Укупни трошкови (EUR)	464.58	1,046.30	342.74	689.00	445.09	1,133.06
Укупно горива (-)	722.22	1,713.07	444.62	950.79	409.27	1,010.91

Период праћења је био годину дана са једним контролним мерењем након 3 месеца. Прикупљени подаци су километража, укупна потрошња и трошкови куповине дизела / ТНГ-а / КПП-а. Израчунава се потрошња бензина по пређеном километру и учешће у укупној Vi-fuel потрошњи.

Контролна тачка, ради провере километраже одабраног узорка возила, реализована је након 3 месеца. С обзиром да је разлика у километражи била до 14%, уведене су мање промене руте које су резултирале смањењем разлике, тако да је на крају посматраног периода разлика у пређеним километражама била мања од 2%. На тај начин, исти почетни услови пружали су коректно поређење између свих конфигурација посматраних возила.

7.3.2. Еквивалентна емисија CO_{2e} – „од резервоара до точка“ TTW

Да би се израчунала еквивалентна емисија TTW CO_{2e} за погон 1 км возила на дизел / ТНГ / КПП, потребна је специфична потрошња енергије изражена у MJ/km, а нето калорична вредност (NCV – Net Calorific Value) разматраних горива коришћена је за прорачун у следећој формули:

$$TTW\ GHG\ (gCO_2e/km) = Fuel\ Energy\ Consumption\ (MJ/km) \cdot TTW\ GHG\ (gCO_2e/MJ\ fuel)$$

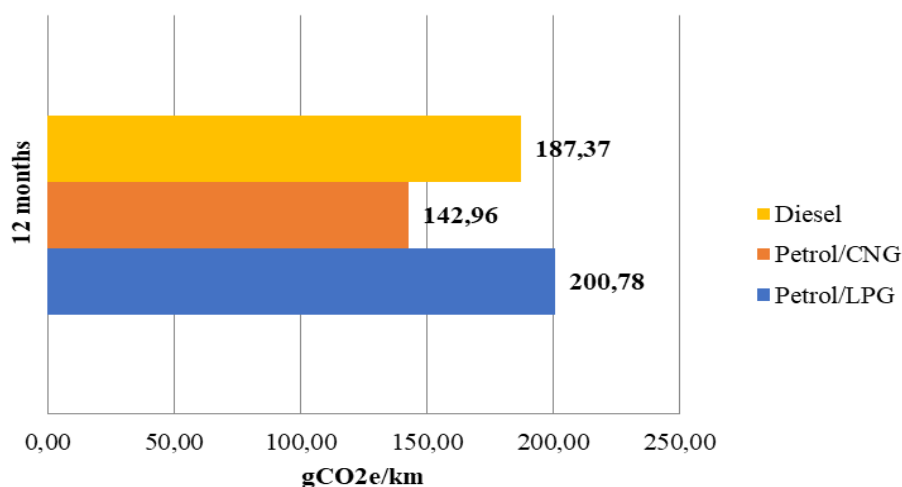
На основу NCV од 35,94 MJ/l за дизел, 24,67 MJ/l за ТНГ и 45,86 MJ/kg за КПП, након утврђеног учешћа бензина/ТНГ-а, с обзиром на учешће бензина/КПП-а, може се закључити да укупна потрошња енергије по km је најнижа за возила на дизел погон. Возила на бензински/ТНГ и бензин/КПП троше 21% и 7% више енергије од дизел горива. (Табела 10)[69]

Табела 10: Специфична потрошња енергије возила на дизел/ТНГ/КПП и TTW емисија CO_{2e}

Врста горива	NCV	Просечна потрошња енергије горива MJ/km		Просечна емисија TTW gCO _{2e} /km	
		3 месеца	12 месеци	3 месеца	12 месеци
Бензин/ТНГ					
ТНГ	24.67 MJ/l	2.43	2.53	159.41	166.14
Бензин	32.7 MJ/l	0.48	0.44	38.06	34.64
Укупно	-	2.91	2.97	197.46	200.78
Бензин/КПГ					
КПГ	45.86 MJ/kg	2.51	2.50	123.46	123.17
Бензин	32.7 MJ/l	0.26	0.25	20.70	19.78
Укупно	-	2.77	2.75	144.16	142.96
Дизел					
ЕД	35.94 MJ/l	2.38	2.35	189.24	187.37

TTW емисија CO_{2e} је најповољнија за возила на КПГ, са 142,96 gCO_{2e}/km.

Резултати разматране емисије горива током рада возила (од тренутка када се енергија апсорбује до њеног пражњења) показали су да је TTW емисија CO_{2e} са КПГ-ом 28,8% мања у односу на бензин/ТНГ и 6,7% мања у односу на возила на ЕД. (Слика 12).

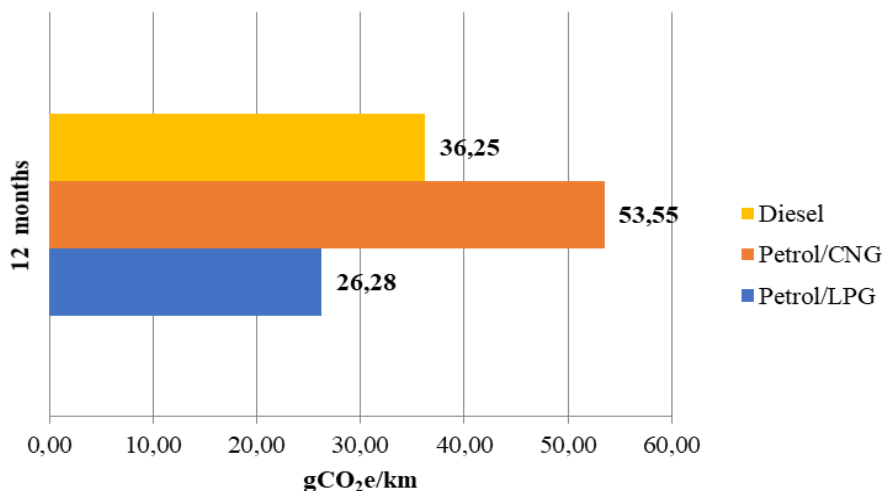


Слика 12: Еквивалентна емисија TTW емисија CO_{2e} након 12 месеци

7.3.3. Еквивалентна емисија CO_{2e} – „од извора до резервоара“ WTT

Будући да анализа „од извора до резервоара“ WTT узима у обзир индиректне емисије као просек свих емисија GHG испуштених у атмосферу из производње, прераде и испоруке горива, за потпуно разумевање добијених резултата треба рећи да већина природног гаса у Републику Србију долази из Русије.

Подаци израчунати за емисију WTT CO_{2e} возила на дизел/ ТНГ / КПГ након 12 месеци теренског истраживања дати су на слици - Слика 13.



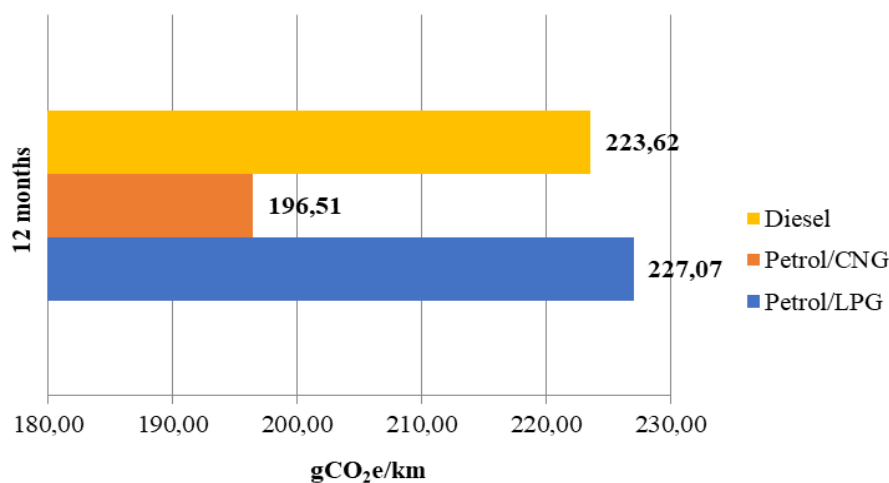
Слика 13: Еквивалентна емисија WTT CO_{2e} након 12 месеци

Фактори WTT емисије CO_{2e} преузети су из истраживања које је спровело Светско удружење за ТНГ[70] и заједно са претходно израчунатом специфичном потрошњом горива (Табела 1) даје еквивалентну емисију WTT CO_{2e} по километру. За разлику од резултата емисије TTW, возила на бензин/КПГ нису показала најбоље резултате у прорачуну WTT модела емисије. Резултати емисија узимајући у обзир поменуте индиректне емисије били су најповољнији за возила на бензин/ТНГ, са готово 51% (50,9) и 32% (32,3) бољих резултата у односу на КПГ, односно ЕД.

7.3.4. Еквивалентна емисија CO₂ – „од извора до точка“ WTW

Анализа „од извора до точка“, процењујући емисије гасова са ефектом стаклене баште и енергетску ефикасност аутомобилских горива, показала је да рад возила на КПГ доноси највеће смањење емисије еквивалентног CO_{2e}. Израчунати подаци дати су на слици - Слика 14, применом следеће формуле:

$$WTW (gCO_{2e}/km) = TTW (gCO_{2e}/km) + WTT (gCO_{2e}/kg)$$



Слика 14: Еквивалентна емисија WTW CO_{2e} након 12 месеци

Резултати еквивалентне емисије CO_{2e} по моделу WTW представљају збир резултата добијених по TTW и WTT моделу. Иако су у првом случају повољни, а у другом случају неповољни за КПП, укупни резултати WTW показали су да је еквивалентна емисија CO_{2e} КПП по WTW моделу 13,5% мања у односу на бензин/ТНГ погон и 1,5% мања од емисије возила на дизел погон.

7.3.5. Трошкови горива

Прикупљени подаци о укупним годишњим трошковима горива, километражи и потрошњи горива за возила на дизел / ТНГ / КПП погон на годишњем нивоу дати су у табели - Табела 11.

Табела 11: Укупни годишњи трошкови горива за дизел / ТНГ / КПП возила [69]

	Евро дизел	Бензин / ТНГ	Бензин / КПП
Период (месеци)	12	12	12
Укупна километража (km)	15,435.00	15,151.33	15,300.67
Укупни трошкови горива (EUR)	1,133.06	1,046.3	689.00
Цена горива по километражи (EUR/km)	0.073	0.069	0.047

С обзиром на то да је теренско истраживање спроведено на начин да возила сличних карактеристика у сличним градским условима вожње постижу блиске вредности пређених километара, створени су услови за објективно поређење. Као што се може видети, за врло сличну километражу најнижи укупан трошак горива постигла су Vi-fuel возила са погоном на бензин/КПП. Што се тиче цене горива по пређеној километражи, бензинска/КПП возила су створила 35% мање трошкова у односу на возила на дизел и 32% мање у односу на Vi-fuel возила са погоном на бензин/ТНГ.

Сва разматрана возила генерисала су исти транспортни рад, али Vi-fuel возила са бензин/ТНГ и бензин/КПП погоном су то урадила по нижим трошковима горива. Из претходних резултата очигледно је да возила са бензин/КПП погоном пружају услуге превоза по најнижим трошковима горива, са најнижом емисијом WTW еквивалентног CO_{2e} - што истовремено чини Vi-fuel возила на бензин/КПП погон енергетски прихватљивим и економичним за рад у LCV флоти.

7.3.6. Дискусија резултата студије случаја

Управљање флотом се анализира дуги низ година, али је у новије време овај сегмент постао веома важан због користи које се могу обезбедити у заштити животне средине. Стога, одлуке о саставу возног парка треба доносити узимајући у обзир рад возног парка који је прихватљив за животну средину. Циљ спроведеног истраживања био је да пружи релевантне закључке и са становишта трошкова погонског горива, али са становишта доприноса смањењу емисије гасова са ефектом стаклене баште, односно потенцијала редуковања глобалног загревања како би се промовисала већ постојећа решења међу доступним технологијама у погледу горива и возила.

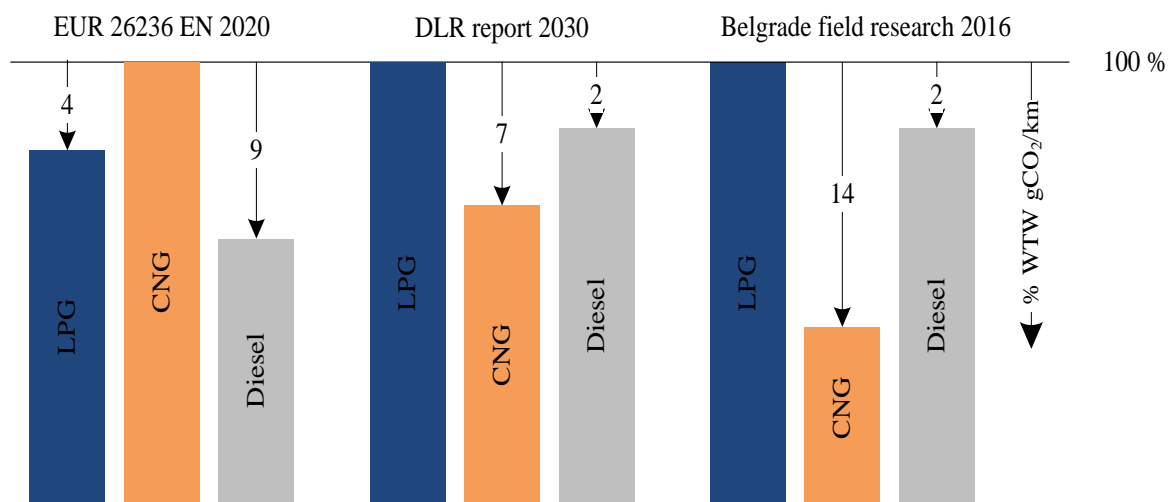
ЕУ је 2014. године објавила извештај у вези са WTW анализом будућих аутомобилских горива и погонских склопова у европском контексту са очекивањима за период после 2020. године[77]. Поменути извештај је узет у обзир због истог сегмента возила и истих горива као у теренским истраживањима из ове дисертације. Резултат дат у извештају EUR 26236 EN креиран је са становишта побољшања возила која су се очекивала 2014.

године, углавном кроз технолошки напредак (нпр. смањење трења, боље управљање мотором, побољшања сагоревања, аеродинамике, отпора котрљања, смањење тежине, итд.)) и предвиђа око 4%, односно 9% смањења емисије еквивалентног CO₂ код ТНГ и дизел горива у односу на емисије КПГ, углавном због значајног утицаја WTT дела.

Упоређивањем резултата добијених на основу спроведеног теренског истраживања (Слика 14) и предвиђања за 2020+ (добијених на основу лабораторијских испитивања), а датих у Извештају EUR 26236 EN, могуће је утврдити разлику између добијене и предвиђене еквивалентна емисије CO_{2e} WTW (Слика 15).

Још једно слично истраживање, спроведено 2013. године од стране Deutsches Zentrum für Luft - und Raumfahrt e.V. (DLR Report), истражује употребу КПГ-а и ТНГ-а у моторним возилима са предвиђањима до 2030. године. Поређење је показало да највећу WTW CO_{2e} има ТНГ гориво, праћено 2% мањом емисијом дизела и 7% мањом WTW CO_{2e} емисијом из возила на КПГ погон (Слика 15).

Може се приметити да се резултати емисије WTW за возила на КПГ / ТНГ разликују и да DLR Report и резултати истраживања у Београду иду у прилог возила на КПГ > Дизел > ТНГ погон, док је извештај EUR 26236 EN веома оптимистичан према Дизел > ТНГ > КПГ погонском гориву. Предвиђања дата у извештају EUR 26236 EN била су усмерена ка већим побољшањима у технологији возила и процесима сагоревања (TTW) остављајући путеве снабдевања (WTT) на нижем нивоу значаја. Стављање фокуса само на TTW емисију . односно само на измене технологије возила могло би бити преиспитано, на пример, због скандала са емисијом аутомобила Volkswagen, где су амерички регулатори оптужили компанију да је програмирала чак 11 милиона возила широм света да би на званичним тестовима лажно показала да та возила емитују ниже нивое штетних емисија од оних које су заправо емитоване док су их возили путевима. [79, 80]



Слика 15: WTW CO_{2e} емисија у поређењу са резултатима извештаја EUR 26236 EN[77] и DLR Report[78]

Имајући у виду да је теренско истраживање обављено током 2016/2017. године, ова разлика у приказаним резултатима може указати на то да развој у области технологије возила у Србији за последње 3 године није ишао у корак са нивоом предвиђеним европским студијама.

Са друге стране, презентовани резултати теренског истраживања и DLR Report су слични. Будући да DLR Report узима у обзир развој и у сегменту алтернативних горива (WTT), претпостављајући да КПГ мотори могу да користе обновљиви метан из додатних путева снабдевања, нпр. синтетички метан добијен из биомасе или обновљиве електричне енергије, резултати се разликују од EUR 26236 EN извештаја са предвиђањем у корист КПГ-а.

У оквиру спроведеног истраживања емисије су индиректно израчунате, на основу експеримента на терену, али будући да се резултати WTW емисије КПГ-а не које са резултатима добијеним истраживањем које је спровео Deutshes Zentrum für Luft - und Raumfahrt e.V. (DLR Report), тренутни потенцијал WTW доприноса КПГ смањењу гасова са ефектима стаклене баште, односно потенцијалу смањења глобалног загревања планете, треба узимати са већом пажњом.

8. ЕКСПЛОАТАЦИЈА ВОЗНИХ ПАРКОВА СА АСПЕКТА ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

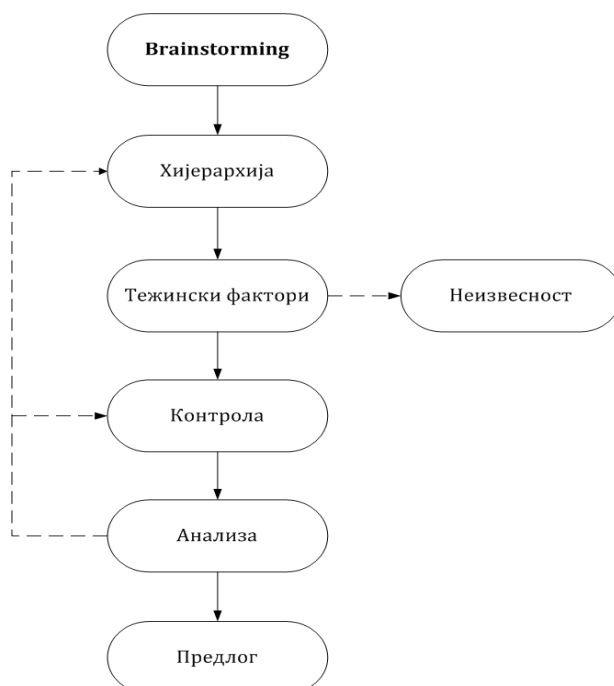
8.1. Вредновање варијанти

8.1.1. Опис програма Criterium DecisionPlus

За мултикритеријумску анализу и вредновање варијанти коришћења је рачунарски програм Criterium DecisionPlus 3.0.4. Програм нуди две методе за одлучивање. Прва је SMART (Simple Multiattribute Utility Technique) метода, а друга је АНР (Analytical Hierarchy Process) метода. Програм даје могућност анализе уз помоћ обе наведене методе.

Процес одлучивања почиње са „brainstorming“ процесом (Слика 16). Брејнсторминг је начин генерисања идеја која подразумева њихово слободно изношење. Користи се појединачно или у групи. У раду у групи, учесници се храбре да искажу идеје одмах чим им се појаве. Основно правило брејнсторминга је да се процес не прекида, да се идеје записују и буду основа за нове. Програм омогућава да се овај процес обави и без коришћења оловака и папира и када будемо задовољни добијеним решењима за једноставно претварање у хијерархијски дијаграм.

Следећи корак је давање значаја (тежине) сваком критеријуму и поткритеријуму. При томе се могу користити бројне вредности (у распону од 0 до 100) или вербални искази (пет нивоа важности критеријума од неважан до круцијалан).



Слика 16: Дијаграм процеса одлучивања [81]

Када је модел формиран уносе одговарајуће конкретне вредности за дефинисане варијанте - алтернативе. Ове вредности се могу унети у виду конкретних бројева или

вербалних исказа. Могуће је да се, као улазни подаци, уместо конкретних бројева унесе и одговарајуће расподеле, што је у овом случају и рађено. Програм, на основу унесених података, израчунава оцене за сваку од постављених алтернатива. Добијени резултати се контролишу и анализирају све док не задовољавају постављене захтеве.

8.1.2. Успостављени модел

Односи унутар успостављеног модела трошкова експлоатације возних паркова са аспекта заштите животне средине, односно хијерархија избора између возила са фосилним или алтернативним горивима, графички су представљени сликом - Слика 17.



Слика 17: Односи унутар модела трошкова експлоатације возних паркова са аспекта заштите животне средине

Два кључна критеријума су:

- Утицај возног парка на животну средину и
- Економска оправданост рада возног парка

Први критеријум - **утицај возног парка на животну средину** процењује се помоћу два поткритеријума везана за емисију гасова са ефектом стаклене баште и у питању су:

- Индиректна емисија еквивалентног угљен-диоксида CO_{2e}
- Директна емисија еквивалентног угљен-диоксида CO_{2e}

Други критеријум - **Економска оправданост рада возног парка** процењује се помоћу четири трошковна поткритеријума:

- Набавка возила на разматране погоне
- Инфраструктура за рад возила
- Утрошак горива и

– Одржавање возила

Набавка возила на одређени погон и обезбеђивање инфраструктуре за возила у оквиру сопствених возног парка представљају капиталне трошкове (CAPEX). Код трошкова инфраструктуре за рад возила, додатно се у обзир узимају опције изградње сопствене станице за снабдевање компримованим природним гасом и сопствене инфраструктуре за одржавање возила.

Утрошак горива и одржавање возила представљају оперативне трошкове (OPEX) који су издвојени као поткритеријуми значајни за разматрање у оквиру модела. Код трошкова горива водило се рачуна о разлици која се генерише у случају опредељења за сопствену пунионицу за снабдевање компримованим гасом у оквиру возног парка.

Остали оперативни трошкови попут трошкова менаџмента или администрације која прати рад возног парка, попут трошкова регистрације и осигурања возила... нису укључени у модел, јер разлика у погонском гориву не опредељује трошкове везане за набројане и сличне активности.

Утицај критеријума и поткритеријума давањем значаја (тежине) сваком критеријуму и поткритеријуму биће образложен у наставку, а конкретне вредности ће се сагледавати са аспекта власника возног парка, јединце локалне самоуправе и државних органа.

Варијантна решења која ће се разматрати у оквиру модела су :

- Варијанта 1 - Избор возила са погоном на бензин уз снабдевање горивом на јавним станицама за пуњење
- Варијанта 2 - Избор возила са погоном на дизел уз снабдевање горивом на јавним станицама за пуњење
- Варијанта 3 - Избор возила са погоном на КППГ уз снабдевање горивом на сопственој станици за пуњење
- Варијанта 4 - Избор возила са погоном на КППГ уз снабдевање горивом на јавним станицама за пуњење

8.1.3. Улазни подаци

У табелама -Табела 12, Табела 13 и Табела 14 приказани су сређени и трансформисани улазни подаци у програм Criterium DecisionPlus и то за све четири постављене варијанте кроз оба кључна критеријума - утицај возног парка на животну средину и економска исплативост рада возног парка.

Вредности представљене у табелама су дискутоване у претходним поглављима, па ће у оквиру табела бити дате како кроз апсолутне вредности, тако и кроз релативан однос успостављен према резултатима возила са погоном на дизел.

За потребе модела у разматрање је узета флота од 100 лаких комерцијалних возила са периодом посматрања резултата од 5 година – колико је процењен период отписа и замене возила у организованим возним парковима доставних возила.

8.1.3.1. Утицај погона возила у возном парку на животну средину

Подаци који представљају утицај погона возила у возном парку на животну средину, пре свега са аспекта емисије гасова са ефектом стаклене баште, разматрају се преко

показатеља индиректне, односно директне емисија еквивалентног угљен-диоксида изражене у $\text{gCO}_2\text{e}/\text{km}$ су резултат прорачуна урађених према подацима Светске асоцијације течног нафтног гаса (World LPG Association)[70] и података прикупљених током спроведене студије случаја у флоти лаких комерцијалних возила.

Табела 12: Вредности индиректне и директне емисије еквивалентног угљен-диоксида [70]

Варијанта	Индиректна емисија еквивалентног угљен-диоксида $\text{gCO}_2\text{e}/\text{km}$ (WTT)	Директна емисија еквивалентног угљен-диоксида $\text{gCO}_2\text{e}/\text{km}$ (TTW)
Возила са погоном на бензин (јавна пунионица)	40,16	231,08
Возила са погоном на дизел (јавна пунионица)	36,25	187,37
Возила са погоном на КПП (сопствена пунионица)	53,55	142,96
Возила са погоном на КПП (јавна пунионица)	53,55	142,96

Подаци о индиректној (WTT) и укупној (WTW) емисији еквивалентног угљен-диоксида у $\text{gCO}_2\text{e}/\text{M}$ су преузети из литерарног извора [70], док су подаци о директној (TTW) емисији еквивалентног угљен-диоксида срачунати за потребе доктората и конвертовани у вредност еквивалентног угљен-диоксида по пређеном километру.

8.1.3.2. Економска оправданост рад возног парка

Економска исплативост возног парка се посматра кроз капиталне и оперативне трошкове који се генеришу током рада, а повезани су са избором различитив баријанти погона возила у возном парку. Преглед параметара успостављених поткритеријума капиталних трошкова дат је у табели - Табела 13. Параметри су дати у релативном односу према возилима са погоном на дизел, чије вредности су узете за јединичне.

Табела 13: Капитални трошкови

Варијанта \ CAPEX	Трошкови набавке возила	Трошкови инфраструктуре сопствене КПП пунионице	Трошкови инфраструктуре одржавања возила
Возила са погоном на бензин (јавна пунионица)	0,95	0	1
Возила са погоном на дизел (јавна пунионица)	1	0	1
Возила са погоном на КПП (сопствена пунионица)	1,01	0,36 €/kg*	1,2
Возила са погоном на КПП (јавна пунионица)	1,01	0	1,2

*Са друге стране, тренутна густина и брзина пуњења јавних пунионица за возила са погоном на КПП оставља простора за дискутовање потребе и рентабилности изградње сопствене пунионице за КПП. Како је предмет иницијалног разматрања флота од 100

лаких комерцијалних возила, са просечним вредностима годишње километраже (15.500 км) и са просечном потрошњом од 5,45 kg/km КПГ, пунионица капацитета 500 kg/dan је на граници потребних количина горива. Из тог разлога је за срачунавање трошкова инфраструктуре сопствене пунионице изабран капацитет од 1000 kg/dan. Са овим претпостављеним ограничењима трошак инфраструктуре сопствене пунионице може се изразити као 0,36 €/kg или 299 €/возилу/години.

Када су у питању улазни подаци за трошкове инфраструктуре сопствене пунионице за пуњење возила са погоном на компримовани природни гас, они нису разматрани код возних паркова чија возила су погоњена бензинским или дизел горивима због бројности и густине распореда јавних пунионица за ова горива, која обезбеђује ниске ризике по питању плана пуњења возила уз довољну контролу квалитета.

Трошкови инфраструктуре одржавања возила зависе од избора погона возила у возном парку и када је погон возила на КПГ са собом носе додатне трошкове као што су адаптација или изградња хала за одржавање са адекватним проветравањем, алати, опрема за одржавање (дијагностички софтвер и хардвер), специјални алати за гасну инсталацију, системи за детекцију, разблаживање и екстракцију метана, обука техничког особља и слично. Ови капитални трошкови се додају на цену компримованог природног гаса који се набавља из мреже у случају сопствене КПГ пунионице.

Међутим имајући у виду да се сервисирање возила реализује у гарантном року који је најчешће 24 месеца, а узимајући у обзир могућности продужења гаранција и период отписа возила процењен на 5 година, у оквиру модела се ово повећање трошкова неће разматрати.

Преглед параметара успостављених поткритеријума оперативних трошкова дат је у табели - Табела 14. Параметри су дати у релативном односу према возилима са погоном на дизел, чије вредности су узете за јединичне.

Табела 14: Оперативни трошкови возила

Варијанта	ОРЕХ	Трошкови набавке горива на 100 km	Трошкови одржавања возила у оквиру компаније	Трошкови одржавања возила ван оквира компаније
Возила са погоном на бензин (јавна пунионица)		1,18	0,9	0,85
Возила са погоном на дизел (јавна пунионица)		1	1	1
Возила са погоном на КПГ (сопствена пунионица)		0,51	1,15	1,2
Возила са погоном на КПГ (јавна пунионица)		0,44	1,15	1,2

Трошкови набавке горива срачунати су на 100 пређених километара и изражени у јединицама €/100 km. У апсолутним вредностима износе 7,83 €/100 km за возила на бензин, 8,77 €/100 km за возила на дизел, 3,85 €/km за возила на КПГ (сопствена пунионица) и 4,43 €/100 km за возила на КПГ (јавна пунионица), док се из релативног односа приказаног у горњој табели види да је КПГ ценовно најповољније гориво.

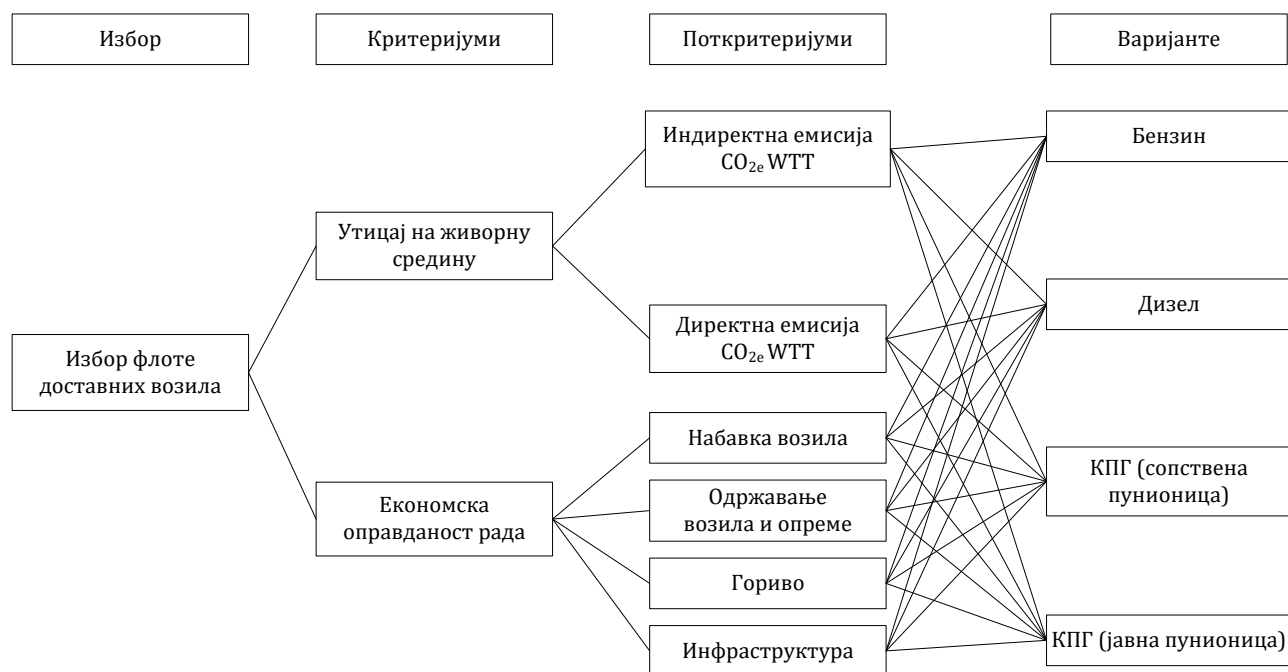
Када је у питању одржавање возила у зависности од врсте погонског горива возила у возном парку, подаци су преузети из претходних поглавља, док је разлика процена

трошкова одржавања возила ван оквира возног парка проистекла пре свега из трошкова радних сати екстерних овлашћених сервиса. Основни сервис се не разликује значајно по цени за возила са погоном на бензин, дизел и КПГ. Оно што прави разлику јесте одржавање уређаја у оквиру возила са погоном на дизел и КПГ, као што су DP филтер, AdBlue инсталација, гасна инсталација и слично.

С обзиром на претходно усвојену претпоставку по питању развоја инфраструктуре за интерно одржавање возила, у оквиру модела у обзир су узети трошкови одржавања возила ван возног парка у оквирима овлашћених сервиса.

8.2. Хијерархијски дијаграм

На слици - Слика 18 приказан је хијерархијски дијаграм који садржи предложене варијанте, поткритеријуме и критеријуме.



Слика 18: Хијерархијски дијаграм

Први најнижи ниво су алтернативне, односно варијанте, којих у нашем моделу има четири (возила са погоном на бензин, дизел, КПГ сопствена пунионица и КПГ јавна пунионица). Други ниво су поткритеријуми којих у нашем моделу има шест (индиректна емисија еквивалентног угљен-диоксида, директна емисија еквивалентног угљен-диоксида, трошкови набавке возила, одржавања возила и опреме, горива и инфраструктуре). Трећи ниво су критеријуми, којих у моделу има два (утицај избора погона возила у возном парку на животну средину и економска оправданост рада возног парка са изабраним погоном флоте). Четврти ниво је сам избор алтернатива.

Друга карактеристика хијерархијског модела јесу везе постављених варијанти и поткритеријума. Све варијанте су повезане за све поткритеријуме. Подкритеријуми су груписани у два критеријума, на основу чијих резултата је вршен избор варијантних решења.

За анализу је коришћен АНР поступак. Резултати, односно оценске варијанте су увек између 0 и 1, без обзира на врсту улазних података.

8.3. Усвојени тежински фактори за критеријуме

Модел трошкова експлоатације возних паркова са аспекта заштите животне средине у разматрање је осим параметара заштите животне средине увео и економске показатеље, састављене од кључних капиталних и оперативних трошкова возних паркова, као и утицај заинтересованих страна.

Резултати економских параметара и параметара животне средине пондерисани су преко утицаја заинтересованих страна које су препознате као:

- Власници возних паркова
- Јединице локалне самоуправе
- Државни органи

Тежински фактори препознатих спољашњих утицаја представљени су у табели - Табела 15, а дефинисани су на следећи начин:

- ниска заинтересованост / мали утицај
- делимична заинтересованост / битан утицај
- веома висока заинтересованост / значајан утицај

Овако препознат утицај пондерисан је распоном тежинских коефицијената од 1 до 100, који су у иницијалном разматрању бодовно опредељени на следећи начин:

- 0 (незаинтересован / мали утицај);
- 50 (делимично заинтересован / битан утицај) и
- 100 (веома заинтересован / значајан утицај)

Корелација спољашњих утицајних фактора и два кључна критеријуама су представљени у табели - Табела 15, док су образложења представљених релација дата у наставку.

Табела 15: Тежински фактори препознатих спољашњих утицаја

Спољашњи утицајни фактори	Еколошки параметри	Економски параметри
Власник возног парка	делимична заинтересованост (битан утицај)	веома заинтересован (значајан утицај)
Јединице локалне самоуправе	веома заинтересован (значајан утицај)	делимична заинтересованост (битан утицај)
Државни органи	веома заинтересован (значајан утицај)	веома заинтересован (значајан утицај)

8.3.1. Тежински фактори са аспекта власника возног парка

Када је у питању оцена утицаја **Власника возног парка** према успостављеним критеријумима, процењено је да је власник возног парка веома заинтересован за економску оправданост рада возног парка у складу са погоном изабраних возила и да овај критеријум има велики утицај у одлучивању, што није потребно додатно објашњавати. Са друге стране заинтересованост власника возног парка за утицај који избор погона возила у возном парку има на околину оцењена је као делимична, односно сматра се да је интерес сваког власника возног парка да возила из флоте могу одговорати свим мерама које градови уводе у циљу смањења емисија, како би остао присутан и конкурентан на тржишту.

У табели - Табела 16 дати су тежински фактори за разматрање варијантних решења према дефинисаним критеријума. Коришћена скала је нумеричка са распоном између 0 и 100 (0 - нема утицаја на одлучивање / 100 – максималан утицај на одлучивање).

Табела 16: Усвојене тежине за критеријуме

Избор	Критеријуми	Тежински фактор
Избор варијанте	Утицај на животну средину	60,00
	Економска оправданост рада возног парка	100,00

За власника возног парка претпоставка је да су трошкови експлоатације возног парка примарни у одлучивању о избору возила са различитим погонским горивима, док је утицај на животну средину процењен као битан са аспекта друштвено одговорног пословања уз поштовање законских прописа везаних за емисију гасова са ефектом стаклене баште. Власник возног парка својим одлукама може утицати максимално на директну емисију – пре свега избором возила са адекватним погонским горивом и одржавањем возног парка, док на питање порекла погонског горива (индиректне емисије) нема велики утицај.

У табелама - Табела 17 и Табела 18 дати су тежински фактори за разматрање варијантних решења према дефинисаним поткритеријума. Коришћена скала је нумеричка са распоном између 0 и 100 (0 -нема утицаја на одлучивање / 100 – максималан утицај на одлучивање).

Табела 17: Усвојене тежине за поткритеријуме - Утицај на животну средину

Критеријуми	Поткритеријуми	Тежински фактор
Утицај на животну средину	Индиректна емисија еквивалентног угљен-диоксида $\text{gCO}_{2e}/\text{km}$ (WTT)	10
	Директна емисија еквивалентног угљен-диоксида $\text{gCO}_{2e}/\text{km}$ (TTW)	100

Висока вредност дата је значају директне емисије, на коју сама логистичка компанија својим одлукама може директно утицати. Са друге стране, логистичке компаније имају свест о значају индиректне емисије GHG, али је њихов утицај на то веома низак.

Табела 18: Усвојене тежине за поткритеријуме - Економска оправданост рада возног парка

Критеријуми	Поткритеријуми	Тежински фактор
Економска оправданост рада возног парка	Трошкови набавке возила	15
	Трошкови инфраструктуре сопствене КПП пунионице	10
	Трошкови набавке горива на 100 km	50
	Трошкови одржавања возила ван оквира возног парка	5

Тежински фактори за поткритеријуме - Економска оправданост рада возног парка су дати према учешћу у цени пређеног километра флоте. [82] У том смислу је тежински фактор изабраног погонског горива оцењен највишим коефицијентом, иза кога по тежини следе трошкови набавке возила (на нивоу петогодишње обнове возног парка), трошкови инфраструктуре сопствене пунионице (на нивоу десетогодишњег периода отплате и трошкова одржавања) и трошкови одржавања возила и опреме.

За потребе оцењивања варијантних решења у домену економске оправданости рада возног парка коришћена је посебна скала представљена у наредној табели. Параметри набавке возила, изградње инфраструктуре за КПП пунионцу, одржавања возила и опреме и потрошње горива су дати у релативном односу према возилима са погоном на дизел, чије вредности су узете за јединичне.

Скала сваког поткритеријума је формирана у опсегу од најнеповољније до најповољније вредности за посматрани поткритеријум, тако што је вредност најповољнијег резултата оцењена са 100, а најнеповољнијег са 0. Резултати су приказани у табелама - Табела 19 и Табела 20.

Табела 19: Скала за оцењивање варијантних решења - Економска оправданост рада возног парка

Поткритеријум	Варијанта			
	Бензин	Дизел	КПП (сопствена пунионица)	КПП (јавна пунионица)
Трошкови набавке возила	100	15	0	0
Трошкови инфраструктуре сопствене КПП пунионице	0	0	100	0
Трошкови набавке горива на 100 km	0	24	100	90
Трошкови одржавања возила ван оквира компаније	100	58	0	0

Табела 20: Скала за оцењивање варијантних решења - Утицај на животну средину

Поткритеријум	Варијанта			
	Бензин	Дизел	КПП (сопствена пунионица)	КПП (јавна пунионица)
Индиректна емисија еквивалентног угљен-диоксида gCO_{2e}/km (WTT)	77	100	0	0
Директна емисија еквивалентног угљен-диоксида gCO_{2e}/km (TTW)	0	50	100	100

8.3.1. Тежински фактори са аспекта јединица локалне самоуправе

Локалне самоуправе, односно градови директно су одговорни за функционисање јавног градског, приградског и локалног превоза путника са једне стране, али и за добробит грађана кроз функционисање привреде и свеукупног транспорта у складу са плановима одрживе енергије и климе, са друге стране.

Град Београд је израдио и ставио на јавни увид Нацрт акционог плана за одрживу енергију и климу до 2030 за Град Београд (SECAP). [83] У нацрту SECAP наводи се да је Град обавезан да смањи емисију угљен-диоксида за најмање 40% до 2030. године, што проистиче из Споразума градоначелника за климу и енергију, којем је престоница Србије приступила 2018. године. [84] Свака јединица локалне самоуправе је веома заинтересована за добробит грађана, али је њен утицај ограничен на јавна предузећа, а с обзиром да дисертација разматра све возне паркове, не само возне паркове јавних превозника, утицај Градских управа јединица локалне самоуправе на економску оправданост рада свих возних паркова који обављају своју функцију на територији града, оцењен је као битан. У домену утицаја на животну средину утицај је оцењен као значајан, са јасном опредељеношћу ка резултатима директне емисије. Алати локалних самоуправа у оба кључна критеријума огледају се како у јавним набавкама за градска предузећа, тако и у зонским рестрикцијама по питању приступа возила са погоном на одређена горива - које може уводити, односно подстицајима које може промовисати, а који се тичу смањења гасова са ефектом стаклене баште.

У том смислу су дефинисани тежински фактори са аспекта локалних самоуправа и представљени су у оквиру табеле - Табела 21.

Табела 21: Тежински фактори са аспекта јединица локалне самоуправе

Критеријум	Економска оправданост рада возног парка	Утицај на животну средину	
Тежински фактор	50	100	
Подкритеријум	-	Индиректна	Директна
Тежински фактор	-	10	100

8.3.1. Тежински фактори са аспекта државе

Влада Републике Србије води одговорну енергетску политику засновану на визији о зеленој енергији и зеленој економији. Обавезе преузете Париским споразумом [85] указују да Србију очекују велики изазови у борби против климатских промена и циља тог споразума – смањења емисије гасова који имају ефекат стаклене баште, те прилагођавања свих грана привреде том циљу. Поред овога, Србија примењује и Смернице за имплементацију Зелене агенде за Западни Балкан. Циљ ових Смерница јесте смањење емисија гасова са ефектом стаклене баште за 55% до 2030. године. [86] Све то указује да је Србија посвећена остваривању наведених циљева смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште и да је веома заинтересована да испуни задате циљеве кроз све привредне секторе.

Будући да је транспорт у Србији други највећи сектор одговоран за емисије гасова са ефектом стаклене баште, са уделом од 12,4%, [63] подстицање великих флота возила на употребу већ доступних горива са ниским уделом угљеника и возила повезаних

технологија може да буде један од алата у борби против климатских промена. Опредељење државе да изостанком акцизне политике на компримовани природни гас, представља значајан фактор у борби за декарбонизацију саобраћаја.

Из наведених разлога заинтересованост Државе је оцењена као веома висока и код еколошког и код економског кључног критеријума, што је дато табелом - Табела 22.

Табела 22: Тежински фактори са аспекта државе

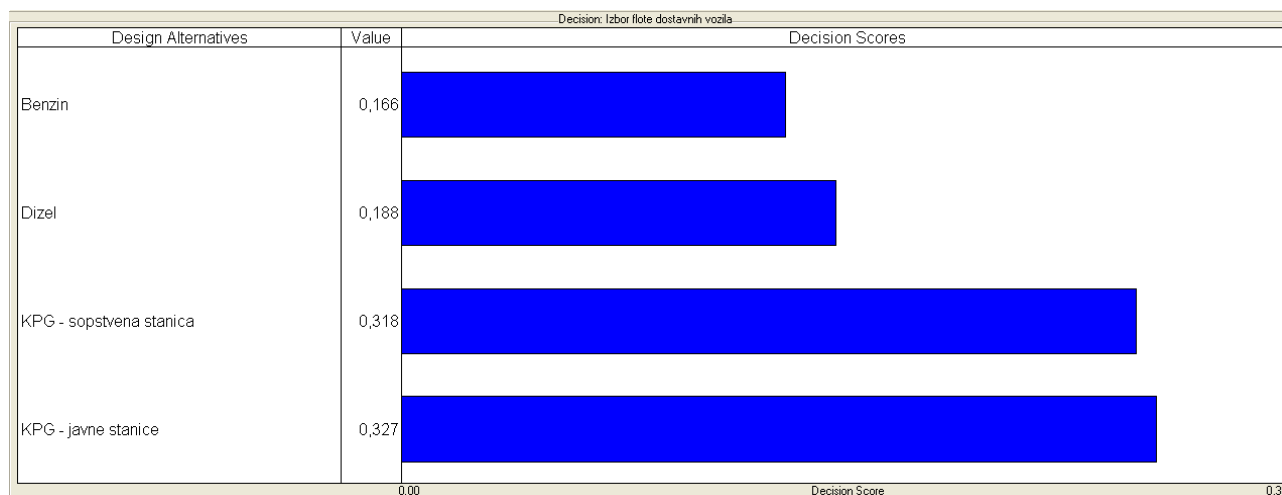
Кртеријум	Трошкови	Емисија	
Тежински фактор	100	100	
Подкритеријум	-	Индиректна	Директна
Тежински фактор	-	80	100

9. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Резултати вредновања варијанти коришћењем софтвера Criterium DecisionPlus 3.0.4. представљени су у наставку за сва три утицајна аспекта – интересних опредељења власника возног парка, јединица локалне самоуправе и државе. За анализу је коришћен АНР поступак, а резултати, односно оцене сваке разматране варијанте су увек између 0 и 1, без обзира на врсту улазних података.

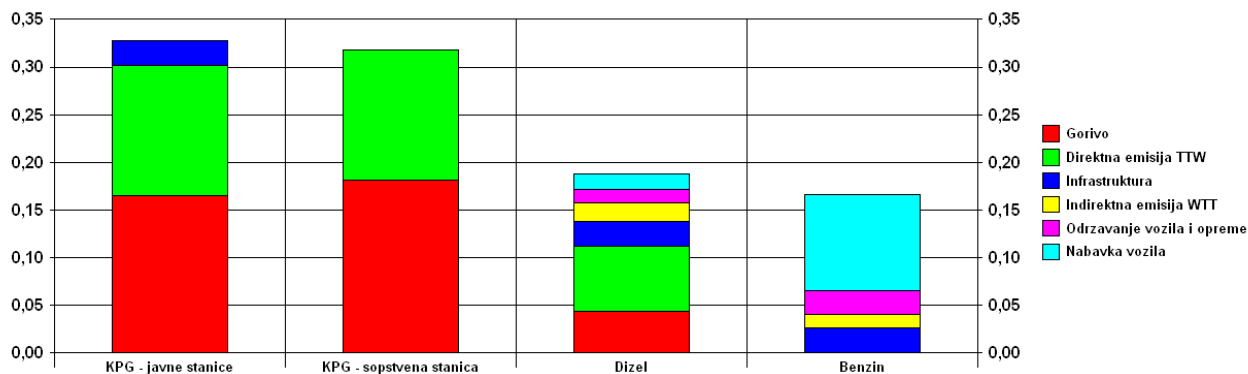
9.1. Варијантна решења са аспекта власника возног парка

На слици - Слика 19, дати су резултати прорачуна варијантних решења са аспекта власника возног парка, односно логистичке компаније. Најповољније решење са оценом 0,327 представља коришћење возила са погоном на компримовани природни гас са снабдевањем преко јавних пунионица. На другом месту са оценом 0,317 је коришћење возила са погоном на компримовани природни гас са снабдевањем преко сопствене пунионице. Иза следе возила са погоном на дизел и бензин са 42%, односно 50% слабијим резултатом у односу на прворангирану варијанту.



Слика 19: Рангирање варијанти са аспекта власника возног парка

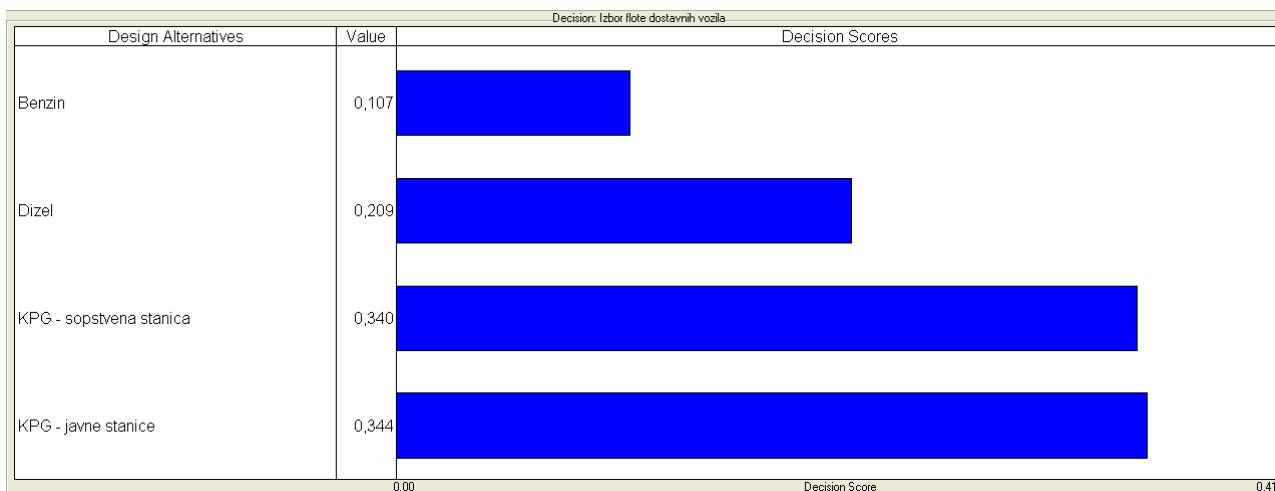
Добијене оцене вредновања варијанти дате су и прегледом значаја утицаја одређених поткритеријума на остварени резултат - Слика 20. Из приказаног се види утицај сваког од постојећих 6 поткритеријума на рангирану варијанту.



Слика 20: Учешће поткритеријума у рангу варијантних решења са аспекта власника

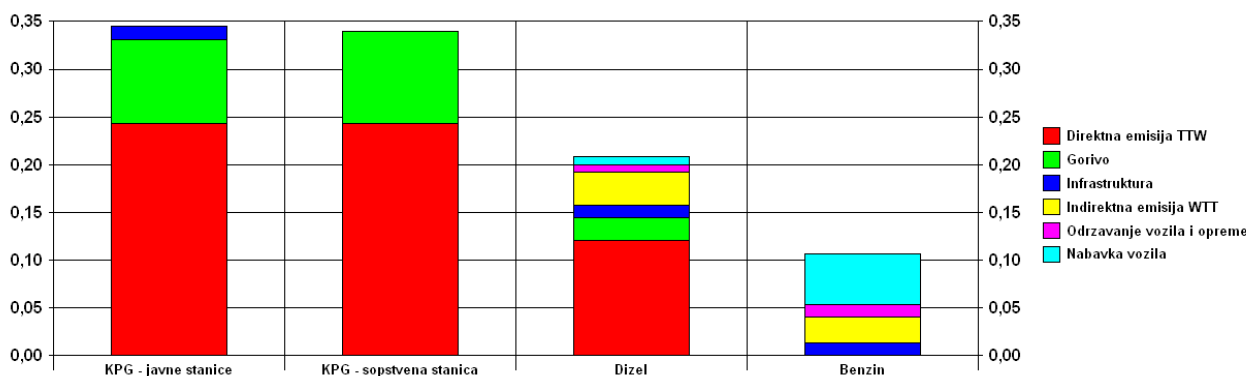
9.2. Варијантна решења са аспекта јединица локалне самоуправе

На слици – Слика 21, дати су резултати прорачуна варијантних решења са аспекта јединица локалне самоуправе, односно града. И код овог прорачуна, редослед рангирања варијантних решења је исти. Најповољније решење са оценом 0,344 представља коришћење возила са погоном на компримовани природни гас са снабдевањем преко јавних пунионица. На другом месту са оценом 0,340 је коришћење возила са погоном на компримовани природни гас са снабдевањем преко сопствене пунионице. Иза следе возила са погоном на дизел и бензин са 40%, односно 68% слабијим резултатом у односу на прворангирану варијанту.



Слика 21: Рангирање варијанти са аспекта града

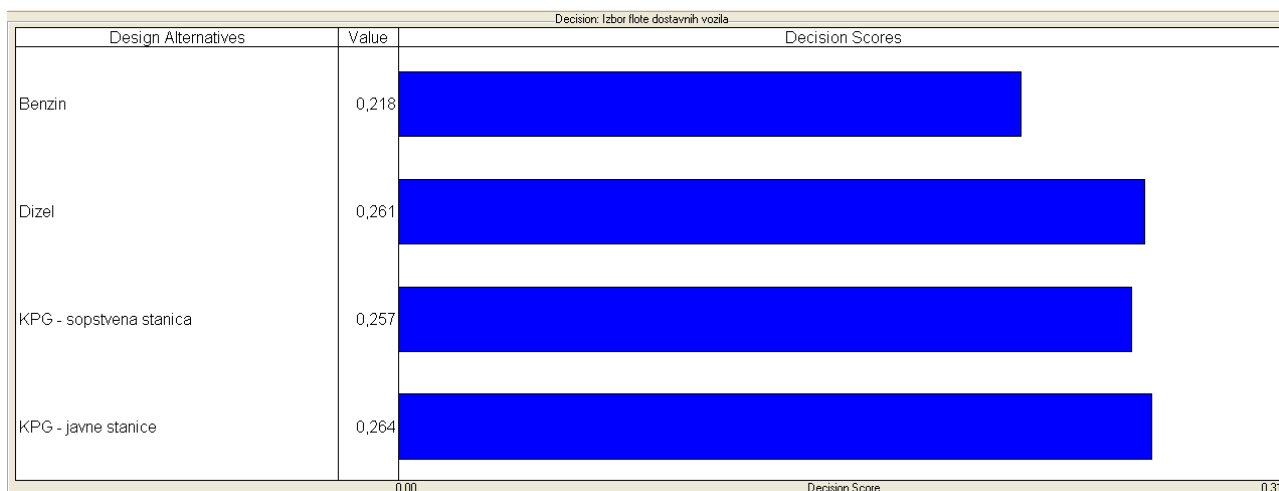
Значај утицаја одређених поткритеријума на остварени резултат приликом вредновања варијанти са аспекта локалне самоуправе, односно града, дате су на слици - Слика 22. Из приказаног се види утицај сваког од постојећих 6 поткритеријума на рангирану варијанту.



Слика 22: Учешће поткритеријума у рангу варијантних решења са аспекта локалне самоуправе

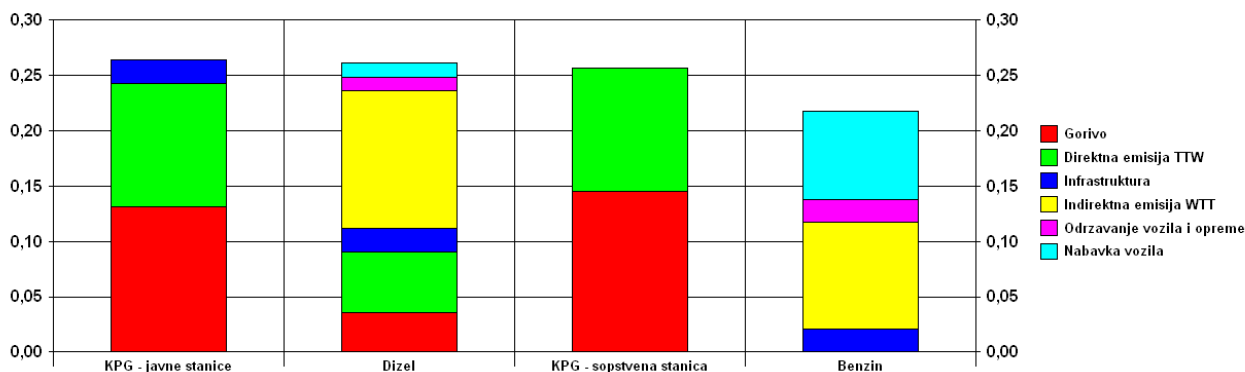
9.3. Варијантна решења са аспекта државе

На слици - Слика 23, дати су резултати прорачуна варијантних решења са аспекта државе. Код овог прорачуна, редослед рангирања варијантних решења је нешто другачији. Најповољније решење са оценом 0,264 и даље представља коришћење возила са погоном на компримовани природни гас са снабдевањем преко јавних пунионица. На другом месту са оценом 0,261 је коришћење возила са погоном на дизел гориво. Иза следе возила са погоном на компримовани природни гас са снабдевањем преко сопствене пунионице и бензин са 2%, односно 17% слабијим резултатом у односу на прворангирану варијанту.



Слика 23: Рангирање варијанти са аспекта државе

Као и претходна два случаја, значај утицаја одређених поткритеријума на остварени резултат приликом вредновања варијанти са аспекта државе, дат је на слици - Слика 24. Из приказаног се види утицај сваког од постојећих 6 поткритеријума на рангирану варијанту. Изостанак присуства неког од поткритеријума индикује да су резултати у оквиру посматране варијанте нису били повољни у поређењу са резултатима других варијантних решења.



Слика 24: Учешће поткритеријума у рангу варијантних решења са аспекта државе

9.4. Анализа резултата истраживања

Имајући у виду 4 разматрана варијантна решења:

- Варијанта 1** Возила са погоном на бензин
уз снабдевање горивом на јавним станицама за пуњење
- Варијанта 2** Возила са погоном на дизел
уз снабдевање горивом на јавним станицама за пуњење
- Варијанта 3** Возила са погоном на КПП
уз снабдевање горивом на сопственој станици за пуњење
- Варијанта 4** Возила са погоном на КПП
уз снабдевање горивом на јавним станицама за пуњење

у табели - Табела 23, дат је упоредни преглед резултата остварених са аспекта власника возног парка, јединице локалне самоуправе и државе.

Табела 23: Упоредни преглед резултата остварених са аспекта власника возног парка, јединице локалне самоуправе и државе

Ранг	Власник	Локална самоуправа	Држава
1	Варијанта 4	Варијанта 4	Варијанта 4
2	Варијанта 3	Варијанта 3	Варијанта 2
3	Варијанта 2	Варијанта 2	Варијанта 3
4	Варијанта 1	Варијанта 1	Варијанта 1

Најбоље варијантно решење за сва три посматрана аспекта је Варијанта 4.

Ова варијанта испуњава услове власника логистичке компаније и по питању ниских оперативних трошкова рада возног парка, али и по питању нижих вредности директне емисије гасова са ефектом стаклене баште, што је уједно први захтев и локалне средине и државне заједнице.

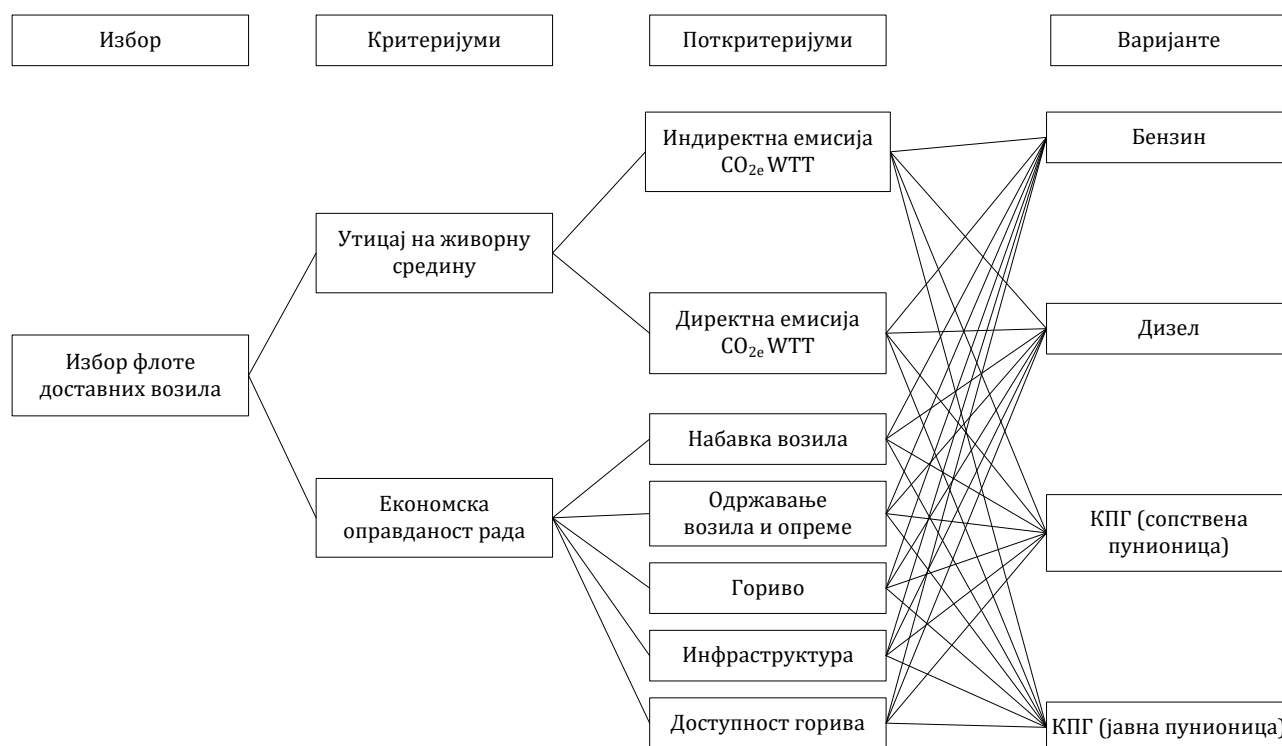
9.4.1. Анализа резултата са аспекта власника возног парка

Са гледишта власника организованог возног парка разматран је утицај постојећих 6 поткритеријума приказаних на слици - Слика 20. Из приказаног се види да највећи утицај при одлучивању за ову варијанту имају трошкови горива и смањење директне емисије гасова са ефектом стаклене баште, док је трећи битан утицајни фактор изостанак потребе инвестирања у изградњу инфраструктуре за снабдевање горивом (пунионица КПП и припадајућа инфраструктура). Утицај остала 3 поткритеријума није значајан за варијанту 4, јер је набавка возила на КПП најскупља, а одржавање сложеније (односно скупље) у односу на остале алтернативе. Исто тако је и индиректна емисија највећа спрам осталих варијанти, јер су изворишта гаса географски значајно удаљена (Русија, Норвешка, Иран, САД; Алжир....).

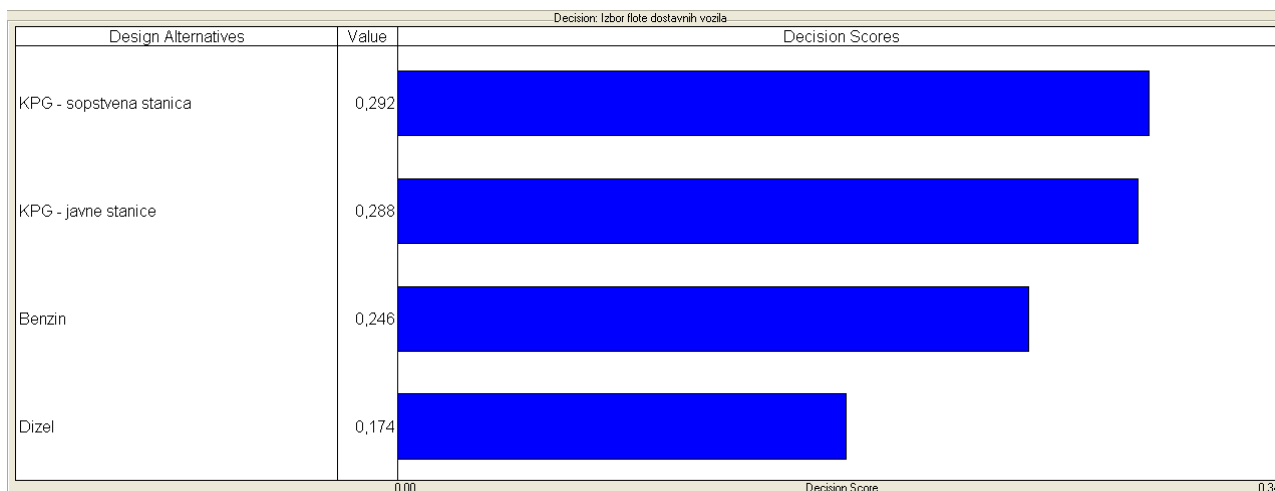
Имајући у виду изузетно блиске вредности варијанти 3 и 4 (мање од 3%), спроведена је додатна анализа која је у разматрање узела доступност КПП као погонског горива, јер са аспекта власника логистичке компаније, доступност горива има изузетно битан утицај на планирање, организацију и реализацију рада.

У том смислу је у претходну анализу међу коришћене поткритеријуме укључена и доступност горива у оквиру критеријума економске оправданости рада, тако што је вредновање извршено на следећи начин: у оквиру скале од 1-100 вероватноћа ефикасног снабдевања на сопственој станици је велика и оцењена је са 100. Снабдевање са јавних КПП пунионица је оцењено вредношћу 50 због њихове неравномерне географске расподеле, као и неуједначених капацитета и брзина услуге на тренутно доступним КПП јавним пунионицама. Снабдевање конвенционалним горивима на јавним пунионицама оцењено је са 90 у оба случаја, због потенцијалних застоја у испоруци.

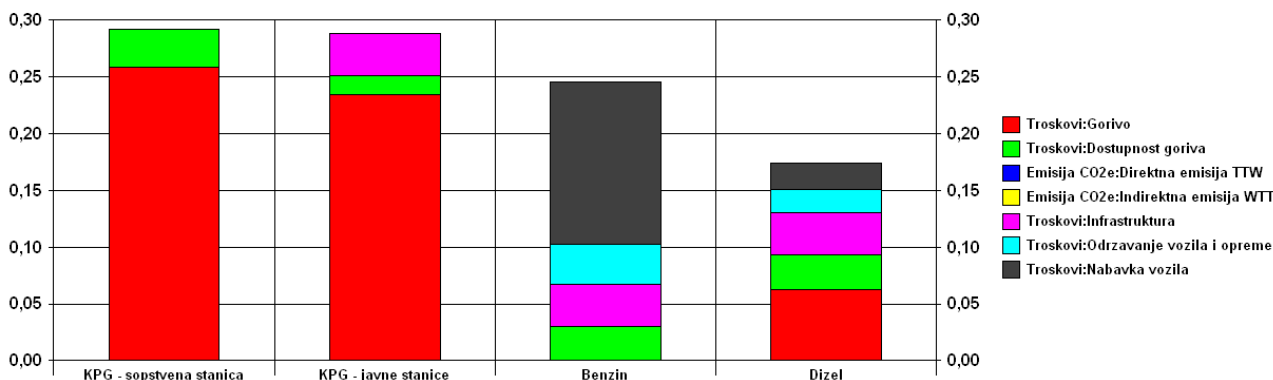
На сликама 25, 26 и 27 су представљени ново формиран хијерархијски дијаграм, и нове вредности рангирања варијанти и утицаја појединих поткритеријума у оквиру спеведене анализе са аспекта доступности горива.



Слика 25: Хијерархијски дијаграма адаптиран поткритеријумом доступности горива



Слика 26: Рангирање варијанти са додатним поткритеријумом доступности горива



Слика 27: Утицај поткритеријума у рангирању варијанти узимајући у обзир доступност горива

Рангирање варијанти са уведеним додатним поткритеријумом доступности горива показује да би варијанта 3 - возила са погоном на КПГ уз снабдевање горивом на сопственој станици за пуњење могла да буде најбоље решење са аспекта власника возног парка, уз услов да организовани возни парк има више од 100 возила, како је дефинисано полазним параметрима. На овакав резултат највећи утицај су имала два подкритеријума – трошкови и доступност горива. Осталих 5 поткритеријума не утиче значајно на избор при одлучивању, јер су бољи резултати по предметним поткритеријумима остварени у другим разматраним варијантама.

9.4.2. Анализа резултата са аспекта градова и државе

Када је у питању аспект градова и државе, ту постоји разлика у рангу разматраних критеријума у смислу да је код града на другом месту варијанта 3, за којом следи варијанта 2, док је код државе обрнуто – на другом месту је избор возила на дизел (варијанта 2), за којим следе возила на КПГ са снабдевањем у оквиру сопствених станица (варијанта 3), што се прецизније види у табели - Табела 23. До ове разлике је дошло у разлици тежинских фактора датих кључним критеријума са ова два аспекта.

Кад је у питању град на првом месту је значај директног загађења због грађана чије интересе заступа и зато је критеријум утицаја на заштиту животне средине максимално пондерисан. У оквиру овог критеријума максимум је стављен на смањење директне емисије, док је смањење индиректне емисије на нивоу 10 имајући у виду да градови не могу директно утицати на транспортне путеве горива. Градови могу стимулисати одговорно понашање различитим бенефицијама у надлежности локалних самоуправа.

Вредност тежинског фактора у сегменту пословног успеха логистичких компанија које се баве доставом и имају организоване возне на подручјима локалних самоуправа пондерисана је са 50 имајући у виду да градови немају значајан економски бенефит од продаје акцизно оптерећеног горива.

Пондерисање критеријума са аспекта државе се разликује у домену економског критеријума и поткритеријума индиректне емисије. Разлог пондерисања економског критеријума усмереног ка пословном успеху логистичких компанија са 100 лежи у претходном објашњењу. Подкритеријум индиректне емисије је пондерисан значајно више него код локалних самоуправа јер је држава Париским споразумом обавезана да значајно смањи учешће које Република Србија остварује у емисији гасова са ефектом стаклене баште.

10. ЗАКЉУЧЦИ

Предмет докторске дисертације је разматрање варијантних решења за еколошку и економску оправданост употребе доступног алтернативног горива - компримованог природног гаса (КПГ) у организованим возним парковима.

Креирани модел процене варијантних решења усмерен је ка организованим возним парковима као што су возни паркови доставних возила, такси удружења, комуналних служби и јавних превозника, као алат за помоћ при одлучивању о избору возила са различитим погонима, што би могло да допринесе смањењу емисије гасова са ефектом стаклене баште и смањењу удела моторних возила у загађењу ваздуха и загревању околине.

Рад на дисертацији, спроведено истраживање и примена креираног модела указали су:

- да возила са погоном на компримовани природни гас имају предност и у економском и у еколошком смислу. Директна емисија гасова са ефектом стаклене баште је 24% мања него код конвенционалних фосилних горива, а оперативни трошкови снабдевања горивом су за 49% (јавне пунионице) и 56% (сопствена пунионица) мањи од оперативних трошкова употребе дизел горива.
- да се уз приказане специфичности, технологија и начин употребе возила са погоном на КПГ не разликују битно од технологије и начина употребе конвенционалних возила. Основну разлику чине специфичности одржавања и снабдевања горивом, које су моделом анализирани кроз могућности сопственог и *outsources* одржавања у овлашћеним сервисима.
- да горе наведени избор не представља битну разлику у оперативним трошковима, али да сопствено одржавање захтева претходно инвестирање у промене у инфраструктури погона за одржавање, набавку специјалних алата, софтвера и опреме, уз неопходну обуку специјалиста одржавања, што представља предуслов набавке возила која треба бити правилно терминирана у складу са претходним. Брзина набавке возила условљена је само потребама и инвестиционим могућностима логистичких компанија. Са друге стране, коришћење услуга спољних овлашћених сервиса олакшава и убрзава прелазак на возила која користе КПГ као погонско гориво.
- да смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште, односно позитиван утицај на животну средину не угрожава економску оправданост рада возног парка. Снабдевање горивом је такође разматрано кроз две опције – снабдевања преко сопствене пунионице и снабдевања на јавним пунионицама. Са аспекта капиталних трошкова (CAPEX), опција коришћења јавних пунионица представља повољније решење, које има одређена ограничења везана како за укупни број пунионица на територији Републике Србије, тако и за њихов распоред и капацитет. Аспект оперативних трошкова (OPEX) посматран је кроз цену горива у случају сопствене и јавне пунионице и прорачун је показао значајно боље резултате у корист снабдевања горивом на сопственој пунионици, који са порастом броја возила у возном парку додатно опадају.

Формирани закључци потврдили су полазне хипотезе докторске дисертације, тиме указујући да је могуће унапредити процес обнове, односно транзиције великих возних

паркова ка погону возила на компримовани природни гас, како са гледишта утицаја на животну средину, тако и са економске оправданости рада возних паркова. Поред тога потврђено је да је могуће формирати оптимално варијантно решење транзиције великих возних паркова ка погону на компримовани природни гас и са аспекта минимизације укупних трошкова пословања, а не занемарујући утицај на животну средину, као и да је употребом компримованог природног гаса, као алтернативног вида погона у великим возним парковима, могуће задржати исти ниво услуге по питању пређених километара уз мање трошкове експлоатације.

10.1. Шта даље?

Значај ове докторске дисертације огледа се у систематизацији, међусобном повезивању и успостављању релативног односа између кључних елемената за процену ефикасно пословање организованих возних паркова у условима одрживог развоја, а на путу ка „нултој“ емисији гасова са ефектом стаклене баште. У том смислу изнета разматрања отварају простор за даља истраживања везана пре свега за употребу компримованог природног гаса из обновљивих извора и за унапређење технолошких решења употребе биогаса и дизел мотора.

11. ЛИТЕРАТУРА

- [1] United Nations FCCC/PA/CMA/2021/2 Report, 2021, Nationally determined contributions under the Paris Agreement, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_02E.pdf
- [2] https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_en
- [3] Институт ИИПП (2020) Локална анализа електромобилности и акциони план развоја инфраструктуре мрежа на територији Републике Србије, Пројекат ИНТЕРРЕГ АДРИОН Енер МОБ 2020
- [4] M. Imran, T. Yasmeen, M. Ijaz, M. Farooq, and M. Wakeel (2016) "Research progress in the development of natural gas as fuel for road vehicles: A bibliographic review (1991–2016)," in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 66, 2016, pp. 702–741
- [5] Wanazelee Wan Abu Bakar, Rusmidah Ali (2010) *Natural Gas*, Intech Open's Journals heading to SAGE Publishing, DOI: 10.5772/9804
- [6] Aktemur, C. (2017). An Overview of Natural Gas as an Energy Source for Various Purposes, *International Journal of Engineering Technologies IJET* , 3 (3) , 91-104 . DOI: 10.19072/ijet.300750
- [7] Canis, B., Pirog, R. and Yacobucci, B.D., 2014. *Natural Gas for Cars and Trucks: Options and Challenges*. Congressional Research Service, November, 19
- [8] Kalghatgi G, Levinsky H, Colket M (2018), *Future transportation fuels*, *Progress in Energy and Combustion Science*, 69, pp.103-105.
- [9] Savickis, J., Zemite, L., Zeltins, N., Bode, I. and Jansons, L.. "Natural Gas and Biomethane in the European Road Transport: The Latvian Perspective" *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol.57, no.3, 2020, pp.57-72. <https://doi.org/10.2478/lpts-2020-0016>
- [10] Hagos, D. A, Ahlgren, E. O. (2018) *Economic performance evaluation of natural gas vehicles and their fuel infrastructures*, *E3S Web of Conferences* 51:01008, DOI: 10.1051/e3sconf/20185101008
- [11] Murphy, PJ . *The Role of Natural Gas as a Transportation Fuel*. Cambridge, MA: MIT Press, 2010.
- [12] Anderson, B., Uz, V. (2014) *Compressed natural gas as a feasible replacement fuel for U.S. transportation*, *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology* Volume: 12 issue: 1, page(s): 67-78
- [13] Han Hao, Zongwei Liu, Fuquan Zhao, Weiqi Li, 2016, *Natural gas as vehicle fuel in China: A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 62, Pages 521-533, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.015>.
- [14] Hella Engerer, H., Horn, M. (2010) *Natural gas vehicles: An option for Europe*, *Energy Policy*, Volume 38, Issue 2, Pages 1017-1029, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.054>
- [15] Wang-Helmreich H, Lochner S. (2012) *The potential of natural gas as a bridging technology in low-emission road transportation in Germany*. *Thermal Science* Volume 16, Issue 3, Pages: 729-746 <https://doi.org/10.2298/TSCI120131125W>
- [16] E. Ravigné, P. Da Costa, *Economic and environmental performances of natural gas for heavy trucks: A case study on the French automotive industry supply chain*, *Energy Policy*, Volume 149, 2021, 112019, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112019> .

-
- [17] Cai, H., et al., Wells to wheels: Environmental implications of natural gas as a transportation fuel. *Energy Policy*, 2017. 109: p. 565-578.
- [18] Torchio MF, Santarelli MG. (2010) Energy, environmental and economic comparison of different powertrain/fuel options using well-to-wheels assessment, energy and external costs- European market analysis. *Energy* 2010; 35:4156e71, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.06.037>.
- [19] Curran, S. J., Wagner, R. M., Graves, R.L., Keller, M., & Green, J. (2014). Well-to-Wheel Analysis of Direct and Indirect Use of Natural Gas in Passenger Vehicles. *Energy*, 75. doi: 10.1016/j.energy.2014.07.035
- [20] Brito, T. L. F.; Galbieri, R.; Mouette, D.; Costa, H. K. M; Moutinho Dos Santos, E.; Faga, M. T. W. (2017), Bus fleet emissions: new strategies for mitigation by adopting natural gas. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 23, p. 147-160.
- [21] López, J.M.; Gómez, Á.; Aparicio, F.; Sánchez, F.J. Comparison of GHG emissions from diesel, biodiesel and natural gas refuse trucks of the City of Madrid. *Appl. Energy* 2009, 86, 610–615
- [22] F. Orsi, M. Muratori, M. Rocco, E. Colombo, and G. Rizzoni (2016) “A multi-dimensional well-to-wheels analysis of passenger vehicles in different regions: Primary energy consumption, CO₂ emissions, and economic cost,” *Appl. Energy*, vol. 169, pp. 197–209
- [23] Hegab, A., A. La Rocca, and P. Shayler, Towards keeping diesel fuel supply and demand in balance: Dual-fuelling of diesel engines with natural gas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. 70(Supplement C): p. 666-697.
- [24] I Kollamthodi, S., et al., The role of natural gas and biomethane in the transport sector 2016, Ricardo Energy & Environment United Kingdom
- [25] Yeh S. (2007) An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: The case of natural gas vehicles. *Energy Policy* 2007; 35:5865–75. doi:10.1016/j.enpol.2007.06.012
- [26] Khan, M.I. (2017) Policy options for the sustainable development of natural gas as transportation fuel. *Energy Policy*. 110, 126–136.
- [27] IPCC (2014) Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_technical-summary.pdf
- [28] Electronic Code of Federal Regulations (e-CFR), Title 40 - Protection of Environment CHAPTER I - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY SUBCHAPTER C - AIR PROGRAMS PART 98 - MANDATORY GREENHOUSE GAS REPORTING Subpart A - General Provision Table A-1 to Subpart A of Part 98 - Global Warming Potentials, https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-Table_A-1_to_subpart_A_of_part_98
- [29] Forster, P., V. Ramaswamy, et al, Changes in Atmospheric Constituents and in Radioactive Forcing, Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007
- [30] Moro, A., Helmers, E., (2017) A new hybrid method for reducing the gap between WTW and LCA in the carbon footprint assessment of electric vehicles, *Int J Life Cycle Assess* 22, 4–14 <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0954-z>
- [31] Khana, M. I., Shahrestania, M., Hayatb, T., Abdul Shakoord, A., Maria Vahdati, M. (2019) Life cycle (well-to-wheel) energy and environmental assessment of natural gas as transportation fuel in Pakistan, *Applied Energy*, Volume 242, Pages 1738-1752
- [32] NFVA, EBA report (2018) G-mobility - Driving Circular Economy in Transport, <https://www.ngva.eu/medias/g-mobility-document/>
-

-
- [33] Европска Стратегија за мобилност са ниским нивоима емисије, 2016, Брисел
- [34] Poulton ML. *Alternative fuel for road vehicles*. UK: WIT Press/Computational Mechanics; 1994.
- [35] Alagumalai A. Internal combustion engines: progress and prospects. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2014; 38:561–71.
- [36] Jahirul MI, Masjuki HH, Saidur R, Kalam MA, Jayed MH, Wazed MA. Comparative engine performance and emission analysis of CNG and gasoline in a retrofitted car engine. *Appl Therm Eng* 2010;26:2219–26.
- [37] Chandler K, Ebert E, Melendez M. Washington Metropolitan Area Transit Authority: compressed natural gas transit bus evaluation. National Renewable Energy Laboratory; 2006, <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/37626.pdf> NREL/TP-540-37626
- [38] Semin Bakar RA. A technical review of compressed natural gas as an alternative fuel for internal combustion engines. *Am J Eng Appl Sci* 2008;1 (4):302–11.
- [39] Darade PM, Dalu RS. Investigation of performance and emissions of CNG fuelled VCR engine. *Int J Emerg Technol Adv Eng* 2013;3(1):77–83.
- [40] Jones AL, Evans RL. Comparison of burning rates in a natural gas-fueled spark ignition engine. *J Eng Gas Turbines Power* 1985:903–13.
- [41] Kalam MA, Kazi SN, Jayed MH. Power boosting of a modified natural gas engine. *Int J Phys Sci* 2011;6(28):6548–57
- [42] Agarwal A, Assanis D. Multi-dimensional modeling of ignition, combustion and nitric oxide formation in direct injection natural gas engines. . SAE: Paper no. 2000-01-1839; 2000.
- [43] A high-performing, competitive vehicle and a sustainable solution, Volvo Trucks, <http://www.volvotrucks.com/trucks/global/en-gb/trucks/newtrucks/Pages/volvo-fm-methanediesel.aspx>
- [44] International Experience with CNG Vehicles. Technical paper no. 24062, World Bank, http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/BN2_InternationalexperiencewithCNGvehicles.pdf
- [45] NGVA Vehicle catalogue 2019, <https://www.ngva.eu/medias/vehicle-catalogue-2019/>
- [46] <http://www.iangv.org>
- [47] <http://www.ngvglobal.org>
- [48] ACEA report 2020, LIGHT COMMERCIAL VEHICLES (UP TO 3.5T) NEW REGISTRATIONS BY FUEL TYPE IN THE EUROPEAN UNION,
- [49] <https://www.ngva.eu/stations-map/>
- [50] Топенчаревић Љ., Организација и технологија друмског транспорта, Грађевинска књига, Београд, 1987.
- [51] Khun, M. (2013) TCO: Economics of Emerging Fleet Technologies, NAFA Conference, Atlanta, USA
- [52] AEA et al. (2012). Developing a better understanding of the secondary impacts and key sensitivities for the decarbonisation of the EU's transport sector by 2050 - Final Project Report. A report by AEA, TNO, CE Delft and TEPR for the European Commission, DG Climate Action. <http://www.eutransportghg2050.eu/cms/reports/>
- [53] Ehsan M. Effect of spark advance on a gas run automotive spark ignition engine. *J Chem Eng Jpn* 2006; 24(1):42–9
- [54] European Commission, GD move, 7th framework programme, Cost analysis of LNG refuelling stations, 2016
- [55] Prati M, Mariani A, Torbati R, Unich A. Emissions and combustion behavior of a bi-fuel gasoline and natural gas spark ignition engine. *SAE Int J Fuels Lubr* 2011;4(2):328–38.
-

-
- [56] The Oxford Institute for Energy Studies (2019) A review of prospects for natural gas as a fuel in road transport
- [57] Khan, M.I.; Yasmin, T.; Shakoor, A. Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel. *Renew Sustain. Energy Rev.* 2015, 51, 785–797
- [58] Živanović, Z., Petković, S., Mišanović, S., Holo, A., & Šakota, Ž. [2015]. Autobusi na komprimovani prirodni gas u javnom prevozu u Srbiji - neka iskustva iz eksploatacije. *FME Transactions*, 43(2), 89-98.
- [59] John A. Volpe National Transportation System Center: Bus Lifecycle Cost Model User's Guide, 2011, http://ntl.bts.gov/lib/44000/44200/44244/Bus_Lifecycle_Cost_Model_User_s_Guide.pdf
- [60] IGU. (2012). *Natural Gas for Vehicles*. IGU and UN Economic Commission for Europe.
- [61] TTR. (2011). *Biomethane for Transport - HGV Cost Modelling*. London: Low Carbon Vehicle Partnership.
- [62] Chamberlain, S.; Modarres, M.(2005) Compressed Natural Gas Bus Safety: A Quantitative Risk Assessment, *Risk Analysis* 25(2): 377-387.
- [63] Second National Communication of the Republic of Serbia under the United Nations Framework Convention on Climate Change, <http://www.klimatskepromene.rs>
- [64] ACEA Report Vehicles in use Europe 2019, <https://www.acea.be>
- [65] Powell, N., Hill, N. et al., Impact Analysis of Mass EV Adoption and Low Carbon Intensity Fuels Scenarios, Report RD18-001538-4, CONCAWE project Q015713 – PVR 1, 2018
- [66] Stokic, M., Vujanovic, D., Sekulic, D., (2020). A New Comprehensive Approach for Efficient Road Vehicle Procurement Using Hybrid DANP-TOPSIS Method. *Sustainability*, 12(10), 4044, pp.1-16
- [67] Petrovic, T. Đ., Pesic, R. D., et al., (2020). ELECTRIC CARS-Are They Solution to Reduce CO₂ Emission?. *Thermal Science*, Vol. 24, No. 5A, pp. 2879-288
- [68] Barlow, T. J., Latham, S. et al., A reference book of driving cycles for use in measurement of road vehicle emissions, Report PPR354, UK Department for Transport, TRL Limited, UK, 2009
- [69] Stanojevic, N., Vasic, M., Popovic, V. (2021) The contribution of CNG powered vehicles in the transition to zero emission mobility - example of the light commercial vehicles fleet, *Thermal Science*, year 2021, volume 25, Issue 3, pp 1867 – 1878, <https://doi.org/10.2298/TSCI200721241S>.
- [70] Ryskamp, R., (2017) Emissions and Performance of Liquefied Petroleum Gas as a Transportation Fuel: A Review, World LPG Association report, <https://auto-gas.net>
- [71] Staffell, I., The Energy and Fuel Data Sheet, University of Birmingham, UK, 2011.
- [72] Demirbas, A., (2017) Fuel Properties of Hydrogen, Liquefied Petroleum Gas (LPG), and Compressed Natural Gas (CNG) for Transportation, *Energy Sources*, 24:7, 601-610, <https://doi.org/10.1080/00908312.2002.11877434>
- [73] The automobile industry 3 pocket guide 2019 / 2020, European Automobile Manufacturers' Association, Belgium, 2020, <https://www.ngva.eu>
- [74] Zacharof, N., Uwe Tietge, U., et al, (2016) Type approval and real-world CO₂ and NO_x emissions from EU light commercial vehicles, *Energy Policy*, Volume 97, pp 540-548, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.002>.
- [75] Ivkovic, I., Kaplanovic, S., et al, (2017) Influence of road and traffic conditions on fuel consumption and fuel cost for different bus technologies, *Thermal Science*, 21/1/693-706
- [76] Tica, S., Živanović, P., Bajčetić, S., Milovanović, B., & Nađ, A. (2019). Study of the fuel efficiency and ecological aspects of CNG buses in urban public transport in Belgrade. *Journal of Applied Engineering Science*, 17(1), 65-73.
-

-
- [77] Edwards, R, Hass, H., et al, WELL-TO-WHEELS ANALYSIS OF FUTURE AUTOMOTIVE FUELS AND POWERTRAINS IN THE EUROPEAN CONTEXT, JRC technical report EUR 26236 EN, European Commission (2014) <https://publications.jrc.ec.europa.eu>
- [78] Heidt, C., Lambrecht, U., et al., On the road to sustainable energy supply in road transport – potentials of CNG and LPG as transportation fuels, Report AZ Z14/SeV/288.3/1179/UI40, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. , Heidelberg, Berlin, Munich, Leipzig, 2013
- [79] Jung, Jae & Sharon, Elizabeth. (2019). The Volkswagen emissions scandal and its aftermath. *Global Business and Organizational Excellence*. 38. 6-15. 10.1002/joe.21930.
- [80] Eger, Thomas & Schhfer, Hans-Bernd. (2018). Reflections on the Volkswagen Emissions Scandal. *SSRN Electronic Journal*. 10.2139/ssrn.3109538.
- [81] Criterium Decision Plus – Complete Decision Formulation, Analysis, and Presentation for Windows, Info Harvest Inc
- [82] Report No MN/RC 2003-19, THE PER-MILE COSTS OF OPERATING AUTOMOBILES AND TRUCKS, University of Minnesota. 2003
- [83] Акциони план за одрживу енергију и климу до 2030 за Град Београд, јануар 2021
- [84] The Covenant of Mayors for Climate and Energy Reporting Guidelines, https://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/Covenant_ReportingGuidelines.pdf
- [85] Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change, <https://treaties.un.org/doc/Publication/MTDSG/Volume%20II/Chapter%20XXVII/XXVII-7-d.en.pdf>
- [86] European Commission, Guidelines for the Implementation of the Green Agenda for the Western Balkans, Brussels, 6.10.2020 SWD(2020) 223 final, https://ec.europa.eu/neighbourhood-enlargement/sites/near/files/green_agenda_for_the_western_balkans_en.pdf

12. БИОГРАФИЈА АУТОРА

Нада М. Станојевић, дипл. инж. маш., рођена је 1972. године у Београду, Република Србија, где је завршила основну и средњу школу.

На Машинском факултету у Београду дипломирала је 2000. године на смеру за моторна возила, са просечном оценом 8,00 у току студија и оценом 10 за успешно одбрањени дипломски рад.

У периоду између 2000. и 2002. године била је запослена на Машинском факултету у Београду на Катедри за моторна возила. У том периоду била је укључена у пројекте Министарства науке, као и у пројекте сарадње са привредом, међу којима се издвајају пројекти реконструкције носеће структуре возила за потребе компаније Daimler Chrysler.

У периоду од 2002-2014. године била је запослена у Институту за истраживања и пројектовања у привреди, где је као менаџер пројеката реализовала бројне домаће и међународне пројекте, међу којима се издвајају вишегодишњи мултидисциплинарни пројекти за потребе Европске Уније у Србији и Црној Гори.

Од 2014. године запослена је на Машинском факултету у Београду на пословима стручног сарадника и ангажована је у реализацији пројеката сарадње са привредом.

Исте године године је одбранила магистарску тезу „Развој методологије за одређивање потребног степена ремонтања и обнављања возног парка“ и стекла стручни назив Магистар техничких наука усмерења Моторна возила

Учествовала је у покретању научно-стручног часописа Journal of Applied Engineering Science и данас је као извршни уредник овог часописа задужена је за његов развој и редовно издавање.

Оснивач је Друштва Одржавалаца Техничких Система – ДОТС, чији је активан члан и данас. Као представник Србије и ДОТС-а, члан је Генералне скупштине Европске федерације друштава одржавалаца – EFNMS (European Federation of National Maintenance Societies).

Мајка је Луке и Тее.

ПРИЛОГ – ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Нада М. Станојевић

Број индекса: Д35/2016

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом МОДЕЛ ТРОШКОВА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ ВЕЛИКИХ ВОЗНИХ ПАРКОВА СА ПОГОНОМ НА КОМПРИМОВАНИ ПРИРОДНИ ГАС

резултат сопственог истраживачког рада;

да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;

да су резултати коректно наведени и

да нисам кршила ауторска права и користила интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду,

ПРИЛОГ – ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКОГ РАДА

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског
рада**

Име и презиме аутора: Нада М. Станојевић

Број индекса: Д35/2016

Студијски програм: Докторске академске студије

Наслов рада: МОДЕЛ ТРОШКОВА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ ВЕЛИКИХ ВОЗНИХ ПАРКОВА СА
ПОГОНОМ НА КОМПРИМОВАНИ ПРИРОДНИ ГАС

Ментор: Проф. Др Бранко Васић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској
верзији коју сам предала ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму
Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива
доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у
електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду,

ПРИЛОГ – ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом: МОДЕЛ ТРОШКОВА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ ВЕЛИКИХ ВОЗНИХ ПАРКОВА СА ПОГОНОМ НА КОМПРИМОВАНИ ПРИРОДНИ ГАС, која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучила.

1. Ауторство (СЕ ВУ)

2. Ауторство – некомерцијално (СЕ ВУ-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (СЕ ВУ-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (СЕ ВУ-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (СЕ ВУ-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (СЕ ВУ-SA)

Потпис аутора

У Београду,

1. Ауторство. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство - некомерцијално. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално - без прерада. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство - без прерада. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.