

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Сања Б. Јовановић

**Компримовани природни гас (КПГ) као
гориво за ОТО моторе**

завршни рад

Крагујевац, 2019.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Погонски материјали транспортних средстава

Број индекса: 205/2016

Сања Б. Јовановић

Компримовани природни гас (КПГ) као гориво за ОТО моторе

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Ванр. проф. др Александар Давинић - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Задатак:

- Уводна разматрања (начини добијања)
- Заступљеност КПП као горива за ОТО моторе
- Карактеристичне концепције инсталација за КПП на возилима
- Закључна разматрања

Препоручена литература:

[1] Веиновић, С., Пешић, Р., Петковић, С., "Погонски материјали моторних возила" .прво издање. Бања Лука – Крагујевац. СРЈ. Машински факултет. 2000.

[2] Давинић, А., Пешић, Р., "Погонски системи у транспорту" .прво издање. Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2018.

Крагујевац, 09.10.2019.

Ментор:

Др Александар Давинић, ванр. проф.

Резиме

У раду је дат опис физичких, експлоатационих и еколошких карактеристика компримованог природног гаса, као и његова примена као моторског горива. Такође, дат је историјски развој и кратак опис рада ото мотора. Приказане су карактеристичне концепције инсталација за компримовани природни гас на аутомобилима, аутобусима и бродовима. У оквиру последњег поглавља приказане су и законске регулативе које се односе на испитивање возила која користе компримовани природни гас као гориво.

Кључне речи: *компримовани природни гас, мотор, законске регулативе*

Abstract

The paper describes the physical, exploitation and ecological characteristics of compressed natural gas, as well as its application as a motor fuel. Also, a historical development and brief description of the operation of the oto engine is given. The characteristic concepts of installations for compressed natural gas on cars, buses and ships are presented. The last chapter also shows the legal regulations pertaining to the testing of vehicles using compressed natural gas as fuel.

Keywords: compressed natural gas, engine, legal regulations

Садржај

1 Увод	4
1.1 Карактеристике компримованог природног гаса	6
1.2 Експлоатационе карактеристике компримованог природног гаса	9
1.2.1 Приказ пунионице КППГ-а у Крагујевцу	10
1.3 Еколошке карактеристике компримованог природног гаса....	13
2 Заступљеност КППГ-а као горива за ОТО моторе	15
2.1 ОТО мотори	15
2.2 Примена КППГ-а.....	17
3 Карактеристичне концепције инсталација за КППГ на возилима	19
3.1 Наменска инсталација КППГ-а	19
3.2 Bi-fuel инсталација КППГ-а	20
3.3 Dual-fuel инсталација КППГ-а	22
3.4 Примена КППГ-а на аутомобилима.....	23
3.4.1 Систем напајања мотора компримованим природним гасом (КППГ)	25
3.4.2 Резервоари за КППГ	28
3.5 Примена КППГ-а на аутобусима	32
3.5.1 Састав гасне инсталације	32
3.5.2 Резервоари природног гаса на аутобусима	35
3.5.3 Резервоари за компримовани природни гас (КППГ)	35

3.5.3.1 Сигурносно-безбедносне мере при примени резервоара за компримовани природни гас	36
3.5.4 Смештај и уградња инсталације за компримовани природни гас у склопу аутобуса.....	37
3.5.4.1 Смештај резервоара у склопу аутобуса	37
3.5.4.2 Смештај осталих елемената гасне инсталације.....	40
3.5.5 Утицај гасне инсталације на конструкционе карактеристике аутобуса.....	40
3.6 Примена КППГ-а на бродовима.....	41
3.6.1 Погон двогоривим моторима СУС	41
4 Испитивање возила са уграђеним уређајима и опремом за погон на КППГ	44
5 Закључна разматрања.....	47
Литература.....	48

1 Увод

Примена гасовитих горива за погон мотора са унутрашњим сагоревањем није нова. Када је пре око сто шездесет година створен успешан погонски агрегат са унутрашњим сагоревањем рачунало се као логичним да се за његов рад користи гасно гориво због повољних карактеристика: потпуније сагоревање, минимални коефицијент вишка ваздуха у односу на било које гориво, висока топлотна моћ, лака припрема смеше, отпорност према детонативном сагоревању итд. Ипак веома брзо је константовано да су течна горива знатно погоднија за манипулисање, поготову за напајање мотора горивом тако да се употреба гасовитих горива сводила углавном на употребу код стационарних мотора смештених у близини налазишта гаса или посебних складишних простора.

Сада већ преко стогодишња и распрострањена експлоатација течних горива дизела и бензина у саобраћају довела је до извесних непожељних последица. Прва је смањење резерве течног горива и њихов све вероватнији дефицит на тржишту. Друга, све већа загађеност ваздуха и животне средине која потиче од лошијег сагоревања горива и због неоптимизираних квалитета енергената. Савремени захтеви, постављени најновијим стандардима о квалитету бензина и дизел горива, чине да су она све скупља и проблематичнија на светском тржишту. Из ових разлога почев већ од осамдесетих година прошлог века интензивно се ради на проналажењу алтернативних горива која би заменила класична. Најзаступљенија позната алтернативна горива за погон моторних возила су: компримовани природни гас (КПГ или CNG-Compressed Natural Gas), утечњени природни гас (УПГ), течни нафтни гас (ТНГ), метанол, етанол, водоник, метил-естри, уља из уљане репице итд.

Од свих наведених решења, у последње време влада повећани интерес за природним гасом као горивом за моторе са унутрашњим сагоревањем услед суштинских промена у добављивости, односно расположивости природног гаса, као и технолошког развоја у области складиштења. У свету осим ових основних постоји и низ других еколошких, економских, транспортних, безбедоносних критеријума помоћу којих се може извршити процена погодности алтернативних горива за употребу у транспортном сектору.

Анализом понашања возила на путу применом закона теорије кретања обезбеђују се неопходне поставке за успешнији развој возила на основу могућности довољно реланог и правовременог предвиђања перформанси у различитим условима експлоатације. Основни циљ истраживања и предвиђања перформанси не само у фазама пројектовања него и у експлоатацији возила је дакле побољшање његовог квалитета.

Природни гас пре свега због повољнијих карактеристика и великих резерви у многим земљама света привлачи изузетну пажњу. Са све прогресивнијом реализацијом стратегија одрживог транспорта и повећањем транспортних захтева у будућем времену, примена природног гаса као гориво за ото моторе у еколошком смислу, тј. према очувању животне средине добија све више на значају.

Земни односно природни гас је природно гасовито фосилно гориво са великим уделом метана. Може да се јави самостално (суви земни гас), или заједно са нафтом обично у гасној капи изнад нафте (влажни земни гас).

Највећа налазишта земног гаса налазе се у Русији, САД, Ирану, Холандији, Алжиру и на Блиском истоку. У Србији су најважнија налазишта Елемир, Кикинда и Пландиште. Употреба природног гаса као горива за покретање мотора чини 1,4% глобалне тражње гаса у 2012. години. Пројектовани раст тражње је 2,5% на годишњем нивоу до 2018. године што чини 10% укупног раста тражње гаса.

Поред измена на мотору и његовој опреми, за коришћење природног гаса као погонског горива потребне су и измене пре свега у циљу уградње резервоара за компримовани гас. Пре 1995. године у Европи тржиште возила која користе природни гас као погонско гориво било је углавном ограничено на Италију која је и данас једна од водећих европских земаља када се ради о броју возила на природни гас. Тренутни лидери у броју возила која користе природни гас као погонско гориво су Иран (2,86 милиона), Пакистан (2,85 милиона), Аргентина (1,9 милиона) и Бразил (1,7 милиона). Кина већ има око 1,5 милиона возила са врло амбициозним циљевима у смислу повећања броја ових возила, док у САД-у њихов број износи око 150.000 хиљада.

Према предвиђањима International Association of Natural Gas Vehicles (IANGV) [1] број возила која користе природни гас као погонско гориво може достићи 65 милиона возила до 2020. године, што указује у овом случају на годишњу стопу раста од 19%.

У последњој деценији потражња природног гаса је повећана за 800 милијарди кубних метара, што одговара расту од 2,8% на годишњем нивоу [2].

Предмет истраживања у завршном раду је заступљеност компримованог природног гаса као горива за ОТО моторе. Као и приказ карактеристичних концепција инсталација за компримовани природни гас на аутомобилима, аутобусима и бродовима, такође су приказане предности и недостаци.

Овај завршни рад је конципиран тако да су у првом поглављу приказане физичке, експлоатационе и еколошке катактеристике КПП-а, као и његова примена као моторског горива. У оквиру другог поглавља дат је кратак историјски развој и опис рада ото мотора, затим су приказане карактеристичне концепције инсталација за КПП на возилима. Посебно, у раду су дата уводна и закључна разматрања.

1.1 Карактеристике компримованог природног гаса

Компримовани природни гас КПП је облик у коме се ради лакшег манипулисања (мање запремине резервоара) користи природни гас под притиском, као алтернативно гориво за покретање аутомобила. Он се у аутомобилима налази у резервоарима под притиском од 150 – 200 bar. Бензински мотори се релативно једноставним методама могу прилагодити да користе ово гориво.

Предности употребе компримованог облика природног гаса као горива су: нижа цена у односу на остала горива, нижа цена експлоатације аутомобила на ово гориво (мада је цена самог аутомобила на ову врсту горива нешто виша) као и смањење емисија штетних издувних гасова тако да се и без њиховог пречишћавања постижу норме тражене по стандарду EURO 5. Овај гас се користи углавном за покретање возила већих маса (камиона, градских аутобуса) а ређе за путничке аутомобиле зато што је маса боца за његово чување велика.

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%.

У свом природном стању, природни гас је без мириса, боје и укуса, али да би се упозорили на његово присуство у случају цурења, додаје се једињење (меркаптани), које му даје карактеристичан мирис на покварена јаја. Према стандарду, просечно осетљиво чуло мириса мора да осети присуство природног гаса на 1/3 концентрације доње границе експлозивности.

Остали гориви гасови који уз метан чине природни састав 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 [2].

У табели 1 приказан је састав природног гаса у зависности од места где се јавља.

Табела 1. Састав природног гаса у зависности од места где се јавља [2]

Састав	Хемијска формула	Запремински удео			
		1	2	3	4
Метан	CH ₄	94,00	92,07	94,39	91,82
Етан	C ₂ H ₆	3,30	4,66	3,29	2,91
Пропан	C ₃ H ₈	1,00	1,13	0,57	-
Изо-бутан	i-C ₄ H ₁₀	0,15	0,21	0,11	-
Н-бутан	n-C ₄ H ₁₀	0,20	0,29	0,15	-
Изо-пентан	i -C ₅ H ₁₂	0,02	0,10	0,05	-
Н-пентан	n-C ₅ H ₁₂	0,02	0,08	0,06	-
Азот	N ₂	1,00	1,02	0,96	4,46
Угљендиоксид	CO ₂	0,30	0,26	0,28	0,81
Хексан	C ₆ +(C ₆ H ₁₄)	0,01	0,17	0,13	-
Кисеоник	O ₂	-	0,01	<0,01	-
Угљенмоноксид	CO	-	<0,01	<0,01	-

Природни гас се може сабити, тако да се може чувати и користити као компримовани природни гас (КПГ). Компримовани природни гас захтева много већу запремину за спремање исте масе природног гаса и коришћење врло високог притиска на око 200 bar.

Топлотна вредност природног гаса се мења у зависности од састава, уколико је већи удео гасовитих угљоводоника са већим бројем угљеникових атома, расте и топлотна вредност природног гаса. Топлотна вредност природног гаса износи 31-37 хиљада кило-цула по кубном метру (KJ/m³) [2].

У табели 2 приказана су својства компримованог природног гаса.

Табела 2. Физичка војства КППГ-а [2]

КППГ својства	Вредност
Густина при 1013 kPa, 273 K	0,72 kg/m ³
Границе запаљивости (запремински у ваздуху)	4,3%-15%
Темп. самопаљења у вазд. 1013 kPa	723 °C
Минимална енергија паљења	0,28 mJ
Брзина горења	0,38 m·s ⁻¹
Температура пламена	2214 K
Удаљеност гашења	2,1 mm
Стехиометријски однос маса гориво/ваздух	0,059 kg·kg ⁻¹
Стехиометријски запремински удео	9,48 %
Доња топлотна моћ	45,8 MJ/kg

У табели 3 приказане су карактеристике компримованог природног гаса као моторског горива.

Табела 3. Карактеристике КППГ-а као моторског горива [2]

КППГ карактеристике	Вредност
Густина паре у односу на ваздух	0,68 kg/m ³
Температура самопаљења у цилиндру	700 °C
Отпорност на детонантно сагоревање	IOB 130
Тачка кључања (атмосферски притисак)	-162 °C
Стехиометријски однос ваздух/гориво	17,24 kg·kg ⁻¹
Хемијска реакција са гумом	не
Притисак складиштења	20,6 MPa
Квалитет мешавине гориво ваздух	добро хомогенизована
Токсичност издувних гасова у односу на бензин	нижа сирова емисија HC и NOx

1.2 Експлоатационе карактеристике компримованог природног гаса

Предност употребе компримованог природног гаса као горива је свакако и његова нижа цена у односу на остала горива што има као резултат нижу цену експлоатације возила. За разлику од течног нафтног гаса (ТНГ) који је у нашој земљи доминантно алтернативно гориво, које се у резервоару налази у течном стању, природни гас остаје увек у гасовитом стању и складиштити се под високим притиском од око 200 bar. Агрегатно стање природног гаса у резервоару доводи до проблема око мерења потрошње, а опште је прихваћено да се потрошња мери у килограмима, јер литри нису подесни пошто количина природног гаса у једном литру (један кубни дециметар) зависи од температуре и притиска.

Наиме, метан увек остаје у гасовитом стању па ће иста количина испунити сваку запремину само под различитим притиском.

Осушен и компримовани природни гас представља чистије гориво у односу на бензин и аутогас, са октанским бројем 130 (бензин – 95, аутогас – 115). Због својих повољних карактеристика сагоревања, потрошња која се изражава у килограмима, знатно је мања у поређењу са осталим горивима.

Употреба природног гаса као гориво за возила обезбеђује неколико предности која се одражавају на смањење захтева одржавања. Тако генерално продужава век трајања клипног прстена у свећица.

КПГ је најкалоричније погонско гориво доступно на тржишту, а конверзијом мотора на КПГ возило не губи на снази. У поређењу са другим погонским горивима, КПГ гориво карактеришу висока калоријска вредност (13kWh/kg) и висок октански број (120 – 130) [3].

Недостатак за његову употребу је ретка распрострањеност продајних пунктова – компресорских станица. У 2007-ој години у Србији су постојале само четири јавне пунионице КПГ-а и то у: Београду, Панчеву, Чачку и Крушевцу и једна у рафинерији у Новом Саду. Према подацима IANGV [1] из 2019. године у Србији постоји 20 јавних пунионица КПГ-а и то четири у Београду, две у Панчеву, две у Чачку и по једна у Новом Саду, Суботици, Зрењанину, Инђији, Крагујевцу, Трстенику, Крушевцу, Нишу, Јагодини, Параћину, Аранђеловцу и Горњем Милановцу. Из ових података видимо да су продајни пунктови – компресорске станице затупљеније у северном и централном делу Србије, док западни део Србије нема ниједну пунионицу [1].

1.2.1 Приказ пунионице КППГ-а у Крагујевцу

Једна од 20 јавних пунионица КППГ-а у Србији налази се у Крагујевцу у власништву компаније „Vulović group“. Транспортно предузеће Вуловић транспорт доо Крагујевац је лидер у друмском саобраћају у централној Србији, присутно од 2001. године.

Предузеће Есовуловић у свом власништву поседује две КППГ (метан) станице за путничка и теретна возила у Крагујевцу и Нишу.

У Крагујевцу у оквиру КППГ станице (слика 1) се налази такође и бензинска станица, технички преглед за путничка и теретна возила и аутоперионица.



Слика 1. КППГ пунионица и бензинска станица у Крагујевцу

Поседују три аутомата за пуњење, један је приказан на слици 2, који имају прикључак за путнички и теретни програм.



Слика 2. Аутомат за пуњење возила КППГ-ом

Прикључак лево је намењен за теретни програм, док је прикључак лево намењен за путнички програм.

Компресорски мод приказан је на слици 3. У оквиру компресорског мода налази се компресор, електромотор и батерија у којој се складишти КППГ под притиском од 250 bar. Затим се регулацијом са 250 bar на 220 bar упушта у мрежу према аутоматима.



Слика 3. *Компресорски мод КПП-а*

У току дана у просеку опслужи се око 40 теретних возила и преко 200 путничких аутомобила (у питању су највише такси возила).

Један од недостатака за употребу КПП-а као што је већ наведено у оквиру поглавља 1.2 је ретка распрострањеност продајних пунктова – компресорских станица. Разлог томе је слабије развијена инфраструктура и висока цена уређаја и изградње једне такве пунионице. Само аутомат, приказан на слици 2, кошта између 20.000 и 30.000 еура. Комплетно постројење кошта око 300.000 еура без осталих радова, што значи да укупна цена једне пунионице за КПП кошта и више од око пола милиона еура [4].

1.3 Еколошке карактеристике компримованог природног гаса

Познато је да је планета Земља захваћена великим климатским променама, а највећа претња долази од сагоревања све већих количина фосилних горива (угаљ, гасови, нафта и њени деривати), као и од неконтролисане сече шума. Ове активности повећавају количину гасова у атмосфери (посебно угљендиоксида, метана и азотних оксида) који у већим количинама узрокују заробљавање сунчеве топлоте, односно спречавају њено зрачење у свемир.

Овај ефекат „стаклене баште“ за последицу има раст температуре на земљи, топљење леда на половима и подизање нивоа мора. Највећу опасност може представљати све брже отапање трајно замрзнутих слојева земљине површине, јер нико још не зна колико ће се угљендиоксида и метана тиме ослободити.

У развијеним земљама на снази су строги прописи о заштити човекове околине, који уводе систем ограничења емисије штетних гасова и систем плаћања казни потрошачима који узрокују загађење. Циљ ових прописа је заштита људског здравља, јер оно почива на здравој околини. Са аспекта насталих продуката сагоревања природни гас је чисто гориво у поређењу са чврстим, односно течним горивима, пошто се при сагоревању природног гаса не емитују једињења која су карактеристична за сагоревање чврстих и течних горива а која загађују околину.

Сагоревањем природног гаса ослобађа се приближно за једну половину мања количина угљендиоксида од оне која настаје сагоревањем угља. Сагоревањем природног гаса ослобађају се знатно мање количине азотних оксида, него сагоревањем других фосилних горива. Сумпордиоксид се ослобађа сагоревањем угља и течних горива, док практично не постоји у продуктима сагоревања природног гаса. У продуктима сагоревања природног гаса нису присутни пепео и чађ. Дакле, природни гас је еколошки најчистије гориво.

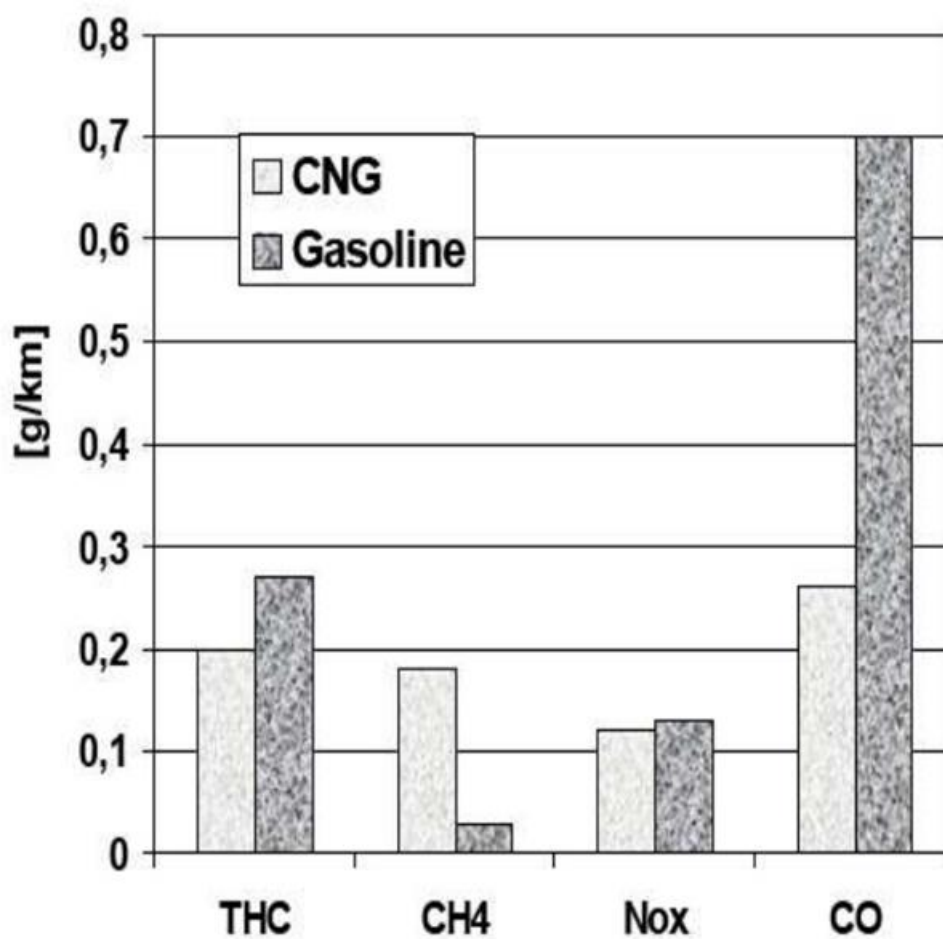
При његовом сагоревању настају мале количине продуката штетних по животну околину. Његов молекул се састоји од 4 атома водоника и једног угљеника (CH_4) при сагоревању, угљоводоници ослобађају најмању количину угљеника и због тога је мање штетан за животну средину.

Његова емисија CO_2 је за 25% нижа од бензина, 16% нижа од течног пропанског гаса и 30% мања од дизела. Његова способност да формира озон је 80% мања од бензина и 50% мања од дизела и течног пропанског гаса. Заправо, емисије изгарања не садрже угљене остатке, бензен и микроскопску прашину (PM_{10}) супротно бензину и дизелском уљу. Очекује се да ће се употреба метана у скорој будућности знатно повећати.

Већ је напоменуто да употреба природног гаса као погонског горива има изванредно позитивне ефекте на заштиту животне средине, што има директан позитиван утицај на квалитет ваздуха кроз редукације као што су:

- редуковање емисије CO_2 , за 20-30%
- редуковање емисије CO , до 75%
- редуковање NOx , за скоро 50%
- редуковање емисије честица, до 95%
- редуковање емисија испарљивих органских једињења, за 55%
- емитује мање токсичних и канцерогених загађивача [5].

На слици 4 приказан је дијаграм на коме се види утицај штетних продуката сагоревања КППГ-а и бензина.



Слика 4. Резултати емисије КППГ мотора [5]

2 Заступљеност КПП-а као горива за ОТО моторе

2.1 ОТО мотори

Николаус Ото (Nikolaus Otto) немачки инжењер који је развио четворотактни мотор са унутрашњим сагоревањем, понудио је прву практичну алтернативу парног мотора као извора енергије. Ото је свој први мотор на бензин изградио 1861. године. Три године касније основао је партнерство са немачким индустријалцем Eugenom Langen-ом и заједно су развили побољшани мотор који је освојио златну медаљу на изложби у Паризу 1867. године. 1876. године Ото је изградио мотор са унутрашњим сагоревањем користећи четворотактни циклус (четири потеза клипа за свако паљење). Четворотактни циклус патентирао је 1862. године француски инжењер Alphonse Beau de Rochas, али пошто је Ото први који је конструисао мотор заснован на овом принципу, уобичајено је познат као Отов циклус. Због његове поузданости, ефикасности и релативне тишине, Отов мотор био је непосредан успех. Више од 30.000 њих је изграђено током наредних 10 година, али 1886. Отов патент је опозван када је ранији патент Beau de Rochas-ов изнесен на светлост [6].

Бензински мотор је мотор са унутрашњим сагоревањем смеше горива и ваздуха која се пали варницом са свећице, пројектован да ради на бензин и сличне нафтне деривате. Ова врста мотора разликује се од дизел мотора по начину мешања горива и ваздуха и због чињенице да се за паљење смеше користи електрична свећица, а не компресија ваздуха који се том приликом загрева на високу температуру, као код дизел мотора. Код бензинског мотора, уобичајено је да се гориво и ваздух измешају пре компресије, мада се код савремених бензинских мотора користи принцип директног убризгавања горива у цилиндри, што је врло сличан принцип рада као код дизел мотора.

Раније се мешање горива и ваздуха одвијало у карбуратору, док се данас, изузимајући најмање моторе, производе углавном такве изведбе мотора код којих се ова операција обавља преко електронски контролисаног убризгавања горива.

Бензински мотори раде на већим бројевима обртаја од дизел мотора, углавном због тога што су им покретни делови – клип, коленасто вратило и брегаста осовина лакши него код дизел мотора. Ови делови имају мању масу из два разлога: нижи компресиони однос код бензинских мотора и брже сагоревање бензина од сагоревања дизел горива. Међутим, нижи компресиони однос има за последицу и мањи коефицијент корисног дејства, односно слабију ефикасност бензинског мотора у поређењу са дизел мотором.

Као и дизел мотори, бензински мотори могу бити двотактни и четворотактни.

Четворотактни бензински мотор је први патентирао Alphonse Beau de Rochas 1861. године. Пре њега, 1856-57. два Италијана, Eugenio Barsanti и Felice Matteucci измислили су веома сличан мотор, али је њихова патентна пријава изгубљена грешком бирократије. Проналазак двотактног мотора обично се приписује шкотском инжењеру Dugald Clerk-у који је 1881. патентирао свој изум. Његов мотор је имао одвојени цилиндар за пуњење мотора смешом горива и ваздуха. Проналазак двотактног мотора који за пуњење и пражњење цилиндра користи и простор картера приписује се Енглезу Joseph Day-у, а проналазак двотактног мотора који кретањем клипа отвара и затвара усисне/издувне отворе такође Енглезу, Frederick Cock-у.

Немачки инжењер Nicolaus Otto је први који је изградио аутомобил са бензинским мотором. Због тога се и данас за бензинске моторе често користи назив „Ото мотори“, а за њихов радни циклус „Ото циклус“ [7].

На слици 5 приказан је Toyota бензински мотор.



Слика 5. Toyota бензински мотор [8]

2.2 Примена КПГ-а

Први мотор на гас направио је Etjen Lenoar 1860. године. Резервоар је био гумени балон. Такав мотор је уградио у возило 1862. године. Четвортактни гасни мотор је направио Н. Ото 1876. године и то се у Немачкој узима за почетак индустријске ере мотора сус и аутомобилизма. На путничким возилима масовну примену има примена природног гаса у Италији. Око 350.000 возила се креће у долини реке По на компримовани природни гас (CNG – Compressed Natural Gas). У Русији око 250.000 камиона узима сабијени гас из компресорских станица постављених поред гасовода за природни гас. Тешка дизел возила имају простор за ношење боца па дизел гориво користе само као упаљач за природни гас. Пумпа за убризгавање се фиксира на положај празног хода, а кроз посебну инсталацију се у усисини вод уводи гас.

Предности и проблеми везани за великосеријску примену природног гаса:

- резерве природног гаса су упоредљиве са нафтом и по данашњим мерилима постоје сви услови да он добије третман висококвалитетне сировине за моторска горива;
- укупна саобраћајна и економска стратегија у свакој земљи, или њеном локалитету, одређује темпо превоза возног парка на природни гас;
- техничке предности примене природног гаса као моторског горива сугеришу увођење нових конструкција и напредних технологија код ото и код дизел мотора;
- мотори са променљивим степеном компресије су предодређени за високовредну експлоатацију са разним врстама горива итд.

Природни гас у возилима може да се користи као сабијени природни (CNG-Compressed Natural Gas) или као течни природни гас (LNG – Liquefied Natural Gas).

Тренутно се по светским путевима креће више милиона возила на природни гас, а опслужује их око 3700 пунионица.

Врло је тешко преправљати стандардна возила на природан гас и дозволити им неограничене слободе у кретању. Показало се да је оправданије увођење нових горива само за оптимизирана возила и за услове локалног коришћења: затворене зоне, ужа градска подручја, туристичка насеља и сл.

Најчешће се ради о комуналним возилима и форсирању еколошких предности природног гаса. Према TUV прегледима аутобуса у Немачкој сировина емисија NO_x је нижа за 85%, NC за 52% и CO за 73% у поређењу са дизел верзијама. Нижа је реактивност према озону, а и нема емисије сумпорних једињења нити дима. Велики произвођачи аутобуса (MB и MAN) тврде да аутобуси на природни гас испуњавају EURO 3 норме.

Када су у питању путничка возила сви велики произвођачи имају готова решења на природни гас и она испуњавају ULEV вредности (Ultra Low Emission Vehicle).

У недостатке погона возила на природни гас спада цена, реконструкција путничког возила на природни гас додатно кошта. При томе путничко возило мора после 200 пређених километара на ново пуњење горивом, а теретно после 300 km. Цена једне модерне пунионице на природни гас је два пута виша од цене за адекватну бензинску станицу.

Основна поента је да природни гас треба у техничком смислу прихватити као врхунску сировину за квалитетно моторско гориво. Дакле, дистрибуција је велики инвестициони проблем, а моторска примена захваљан конструкторски посао.

По моторским мерилима природни гас се може користити као једино гориво било у ото било у дизел мотору. Исто тако може бити спарен са сваком врстом нафтног или доказаног алтернативног горива (нижи и виши алкохоли, биомасе, биогас).

Први корак у примени садржи само промене уређаја и опреме за напајање мотора природним гасом. Када му се даје значај перспективног горива у масовној примени онда су неизбежне обимне реконструкције.

Дизел мотори се једноставним реконструкцијама преводе на двојни погон дизел/природни гас, или само на природни гас када прелазе на рад као гасни ото мотори.

Ото мотори су јако осетљиви на квалитет горива. Читава њихова концепција је резултат узајамног усклађивања са укупним особинама горива. Када се реконструише бензинска варијанта ото мотора онда је неопходно, у складу са изузетно високим октанским квалитетима природног гаса (110-130 октана), извршити оптимирање мотора. Већ постоје адитиви за уједначавање октанских квалитета различитих састава природног гаса али то само још једном подвлачи значај ове проблематике.

Друго важно својство природног гаса је да потпуно сагорева у сиромашној смеси. Мотор са променљивим степеном компресије може да се прилагоди сваком квалитету горива ако има давач детонације у комори. Степен компресије се саморегулацијом адаптира према квалитету горива, а радни процес води по првостепеним захтевима: економичност, снага, моменат, еколошност, бука итд. Реконструкције на мотору са променљивим степеном компресије су везане за опрему којом се природни гас уводи у радне цилиндри. Све остало се завршава оптимирањем на пробном столу за испитивање мотора [9].

3 Карактеристичне концепције инсталација за КПП на возилима

Ниска цена природног гаса у односу на дизел и бензин у комбинацији са различитим регулаторним мерама везаним за емисије и даље ствара значајан интерес за природни гас као алтернативно гориво за моторе са унутрашњим сагоревањем. Произвођачи мотора реаговали су снабдевањем нових наменских уграђених мотора за природни гас у величинама у распону од малих лаких мотора од неколико kW, до двобрзинских мотора од преко 60 MW. OEM и добављачи такође нуде комплете за конверзију који постојећим дизелским и бензинским моторима омогућавају претварање у погон на природни гас [10].

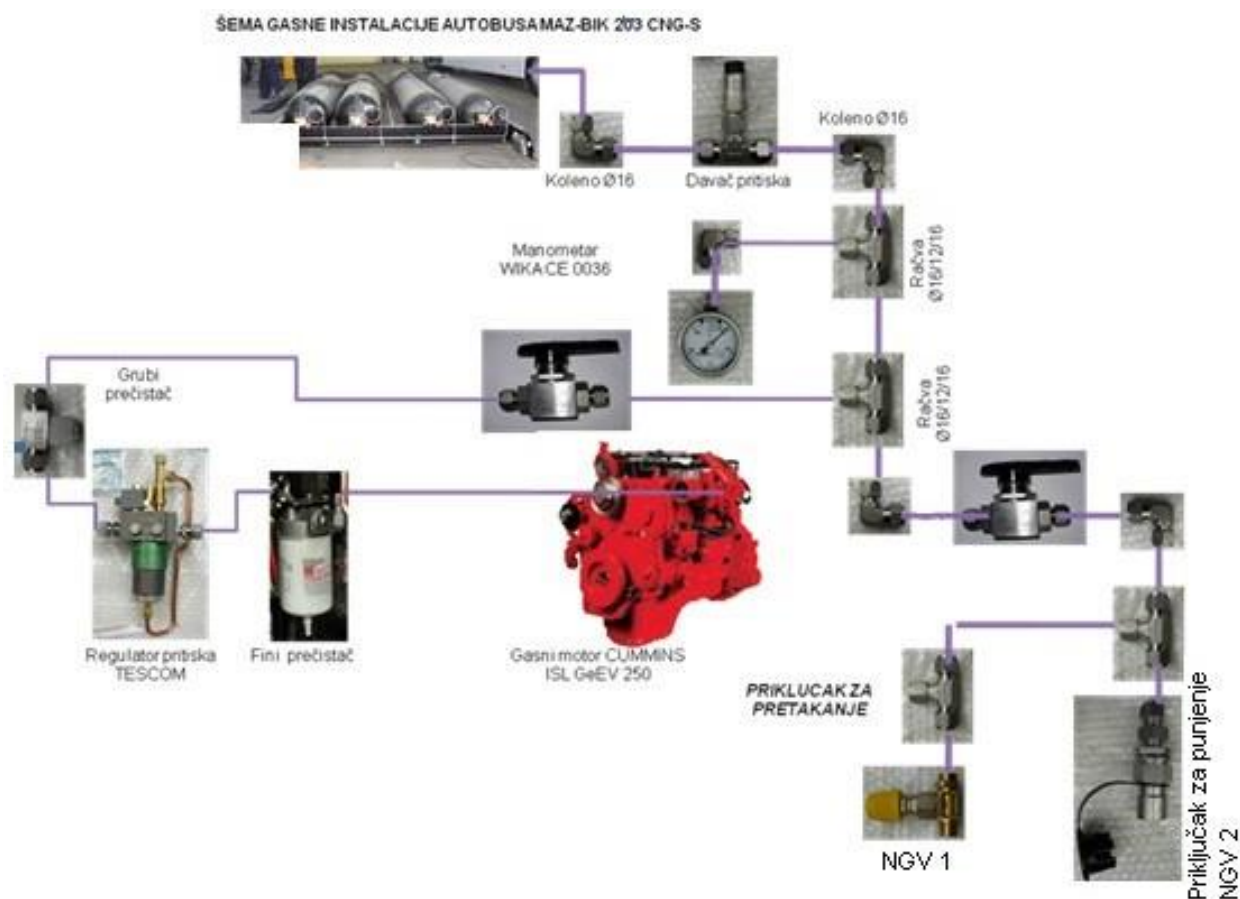
Постоје три категорије возила на природни гас:

1. Наменска: Ова возила су дизајнирана да раде само на природни гас.
2. Bi-fuel: Ова возила имају два одвојена система за довод горива која им омогућавају да раде или на природни гас или на бензин.
3. Dual-fuel: Ова возила имају системе горива који раде на природном гасу, али користе дизел гориво за помоћ у паљењу. Ова конфигурација је традиционално ограничена на тешка теретна возила [11].

3.1 Наменска инсталација КПП-а

Наменска возила су дизајнирана да раде само на природни гас. Степен компресије ових мотора је оптимизован да искористи предност високог октанског броја природног гаса и пројектована су у складу са својствима сагоревања природног гаса, тако да возило производи веома мање емисије загађивања. У овом случају физичко – хемијске карактеристике природног гаса долазе до пуног изражаја и његова примена даје најпотпунији ефекат [11].

На слици 6 приказана је инсталација за напајање мотора који као гориво користи само КПП.



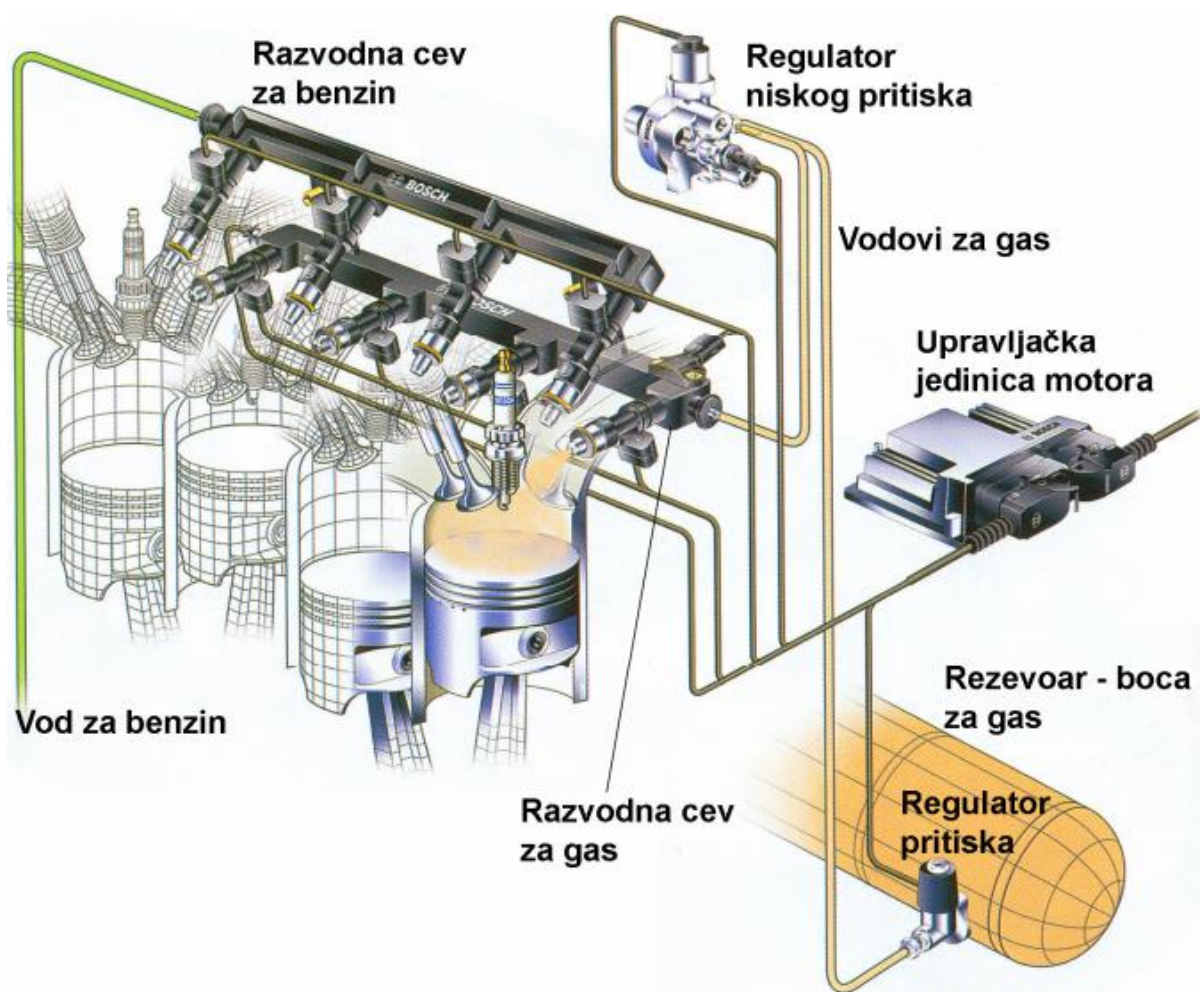
Слика 6. Инсталација за погон мотора само на природни гас [12]

3.2 Bi-fuel инсталација КПП-а

Bi-fuel верзија представља варијанту примене природног гаса у ото моторима, када мотор може да користи ове врсте горива (како бензин тако и природни гас), али не истовремено (користи или једно или друго). Ова врста мотора је обичан бензински IC мотор. Возач може да одабере које ће гориво користити једноставним пребацивањем прекидача на командној табли. Било које постојеће возило на бензин може се претворити у возило на два горива. У овом случају возило задржава свој основни (оригинални) систем напајања течним горивом, а допунски се опрема системом напајања природним гасом. Значи, то је варијанта када возило поседује два равноправна система напајања горивом. Већина возила која раде данас на КПП су накнадно уграђена на бензински мотор.

Степен сабијања мотора остаје на нивоу степена сабијања који је погодан за рад мотора са течним горивом (бензином). У оваквој варијанти карактеристике природног гаса као горива за моторе СУС не испољавају се у потпуности [11].

На слици 7 приказана је шема инсталације накнадно уграђеног КППГ-а на возилу.



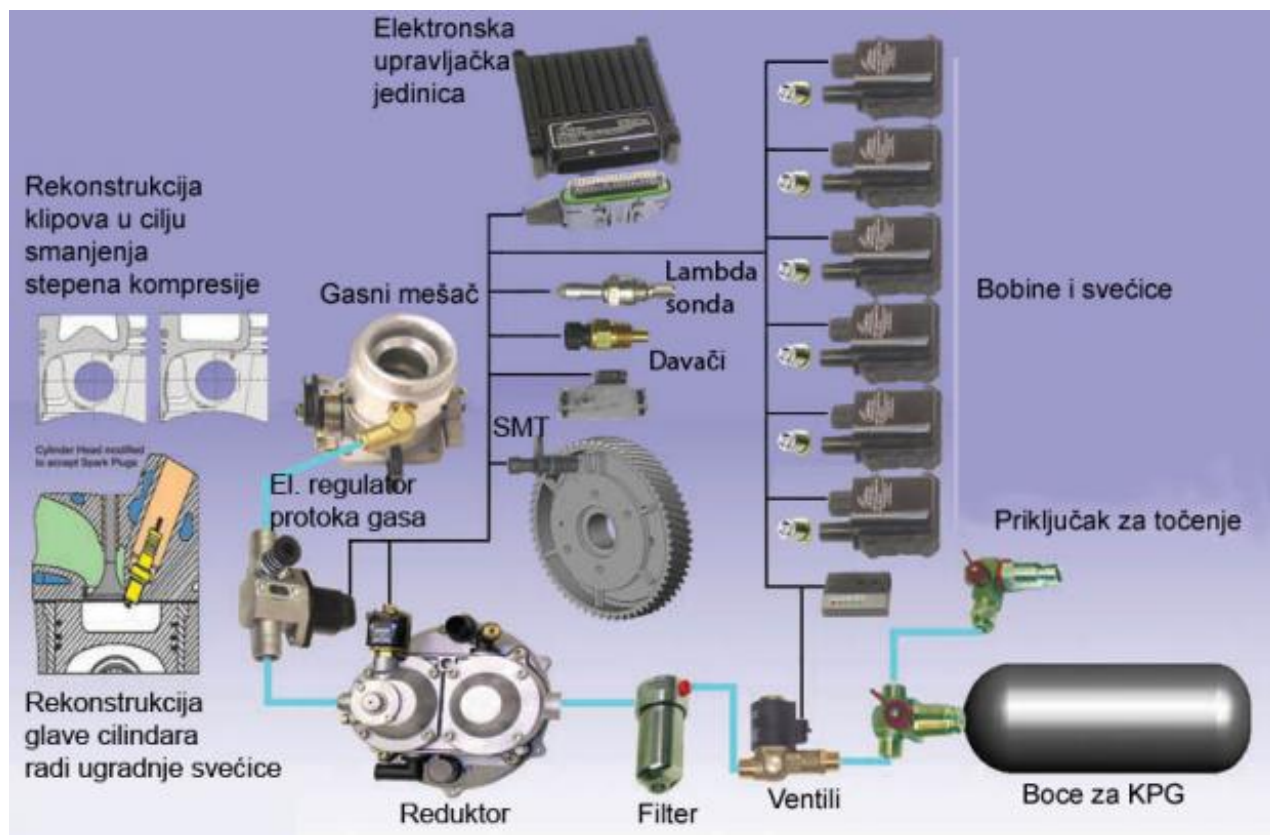
Слика 7. Шема накнадно уграђеног КППГ-а [12]

3.3 Dual-fuel инсталација КПП-а

Dual-fuel возила било да користе дизел или мешавину природног гаса и дизела, за паљење користе дизел гориво. Ова конфигурација је ограничена на тешка теретна возила. Кад возило почне да подиже терет, природни гас замењује дизел гориво 60-90%. Међутим попут bi-fuel возила директна конверзија није могућа због веома малог цетанског броја природног гаса, односно високе температуре самопаљења (650/750 °C), која је знатно виша од температуре самопаљења дизел горива (320/380 °C), па је немогуће користити природни гас у оригиналном дизел процесу (степен загрејаности сабијене смеше природног гаса и ваздуха није довољан да дође до њеног самопаљења). Због веома високе температуре паљења природног гаса, за њега је потребан висок степен компресије за аутоматско паљење. Због тога би требало да се запали другим горивом (дизелом) – пилотским убризгавањем. Дизел гориво се уводи директно у комору за сагоревање, док се гас убризгава у довод ваздуха карбурацијом. Гасовито гориво се затим сабија у току компресије мотора. Дизел гориво се затим убризгава пред крај компресијског хода. Са кратким кашњењем паљења прво се догађа сагоревање дизел горива, што резултира паљењем природног гаса и покретање ширења пламена. Важан фактор за dual-fuel је стопа замене, која је дефинисана као део енергетског садржаја горива које се испоручују природним гасом. Стопе замене варирају у зависности од оптерећења мотора. Максимална стопа замене до 90% може се постићи код тренутно доступних dual-fuel мотора. Стопа замене утиче на перформансе мотора и емисију штетних издувних гасова. При већим оптерећењима и порастом стопе супституције концентрација угљоводоника показује тенденцију повећања док се концентрација CO прво повећала до стопе супституције од 70%, а затим смањила. NOx је једини фактор емисије које је показао опадајући тренд уз одговарајући пораст коефицијента супституције.

Dual-fuel пружа 30-40% већу ефикасност мотора што касније смањује потрошњу горива за 25%. У оба случаја постоји додатни трошак у односу на класична дизел и бензинска возила и овај додатни трошак мора да се надокнади уштедом услед трошкова горива [11].

На слици 8 приказана је преправка дизел мотора у гасни мотор на природни гас.



Слика 8. *Преправка дизел мотора у гасни мотор на природни гас [12]*

3.4 Примена КПГ-а на аутомобилима

Природни гас се користи за разне примене као што су производња електричне енергије, кућна употреба, транспорт и као сировина за производњу ђубрива на бази амонијака. То је доминантно алтернативно гориво за друмски превоз поред етанола. Пошто природни гас садржи углавном метан, биометан се може користити као замена.

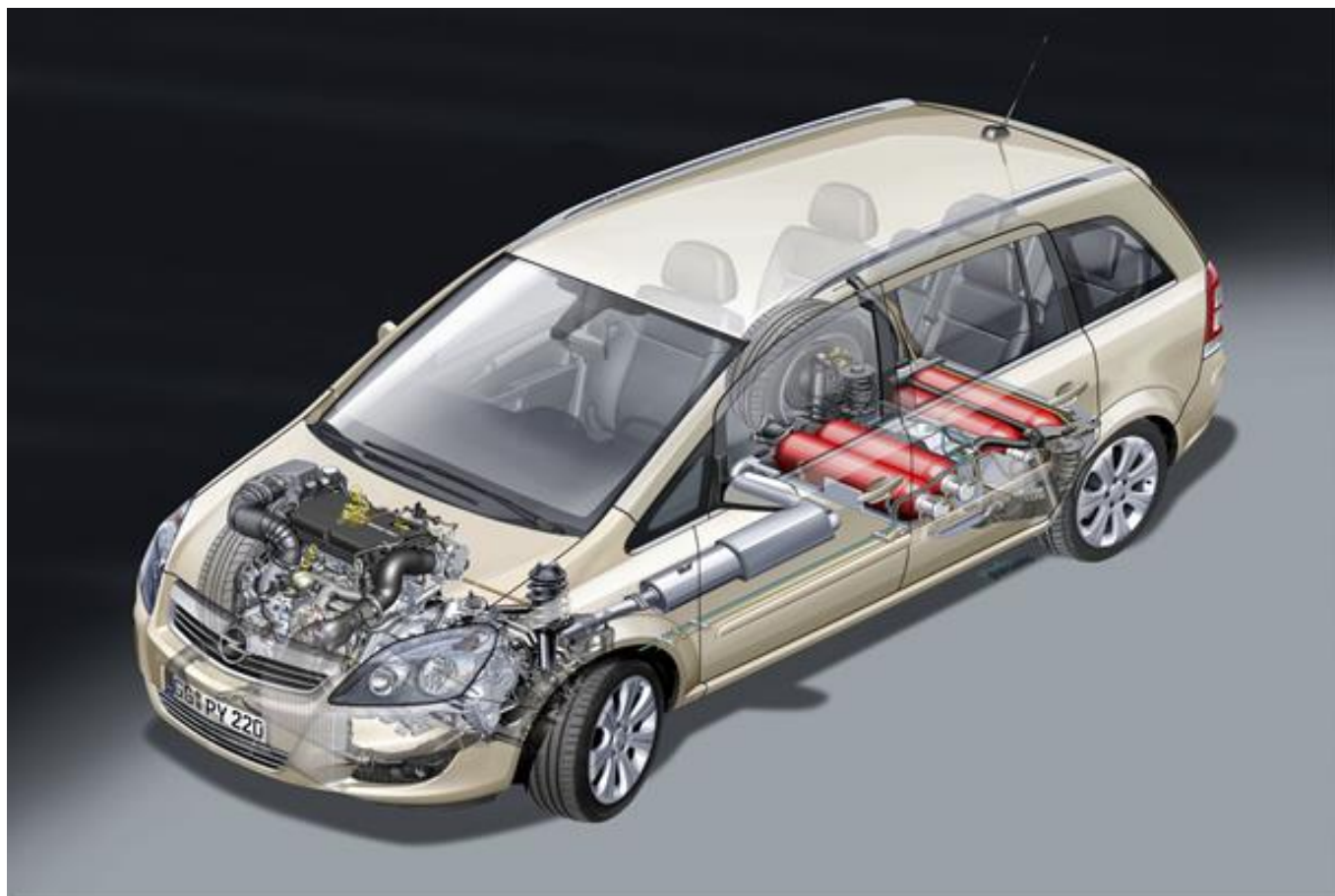
У возилима за друмски транспорт метан се највише користи у компримованом облику (компримовани природни гас, КПГ или компримовани биоплин, КБП), али постоји и неко интересовање за течни облик (укапљени природни гас, УПГ или укапљени биоплин, УБП). За путовање на велике удаљености природни гас се обично испоручује као УПГ, а затим се поново гасификује на обалним терминалима како би се убризгавао у мрежу природног гаса. У свим путевима, састав природног гаса има велику варијабилност. Биометан се може производити локално. Стога није толико зависан од гасне мреже или отпреме као природни гас.

Метан се традиционално користи у Отовом мотору, било у стехиометријским условима или у условима наглог сагоревања. Последњих година развијене су друге технологије мотора, нпр. мотори са двоструким горивом са компресијским паљењем. Енергетска ефикасност је већа код сиромашног сагоревања него код стехиометријског гасног мотора, али стехиометријски мотор може ефикасно да контролише емисије тросмерним катализатором, такође емисије NO_x које су проблематичне за моторе на природни гас. Мотори са двоструким горивом морају бити опремљени сличном технологијом накнадне обраде као и дизел мотори да би испунили законе о емисијама у многим регионима. Сви мотори на природни гас испоручују мале емисије РМ. Емисија метана из возила са природним гасом је знатна, али за многе друге нерегулисане емисије пријављено је да су за возила на природни гас ниже него за бензин или дизел возила.

Природни гас се користи као извор енергије и као аутомобилско гориво како би се одговорило на потребу за смањење зависности од нафте и на тај начин повећала сигурност снабдевања енергијом [2].

Опел је први произвођач који је оптимизовао мотор за коришћење природног гаса применом паметног Моновалентног Плус система, који омогућава максимални учинак при искоришћењу природног гаса. Под покушајем и тестирањем мотор концепта, оптимизован је за употребу КПП-а, али возило такође има помоћни резервоар од 14 литара бензина који осигурава вожњу пределима на којима нема гасних станица. Када се КПП резервоар испразни, возило се аутоматски покреће користећи бензинске резерве.

Од представљања првог КПП возила у 2001. години Опел је продао више од 70.000 КПП возила у целој Европи, укључујући и Zafire, Astre караван и Combo. Више од две трећине укупне продаје КПП возила су Зафире (слика 9). То чини Зафиру бетселером и водећим КПП моделом у Опеловој понуди. Опел је доследан у прве три групе произвођача у смислу продаје у Европи у сегменту КПП [13].



Слика 9. Изглед Опел Зафуре са уграђеним КПП-ом [14]

3.4.1 Систем напајања мотора компримованим природним гасом (КПП)

Коришћење природног гаса као горива за моторе СУС могуће је изводити у два облика:

- сабијени (компримовани) природни гас (КПП), са почетним притиском у резервоару до 20 МПа;
- течни природни гас (ТНГ), са радним притиском у резервоару до 0.5 МПа.

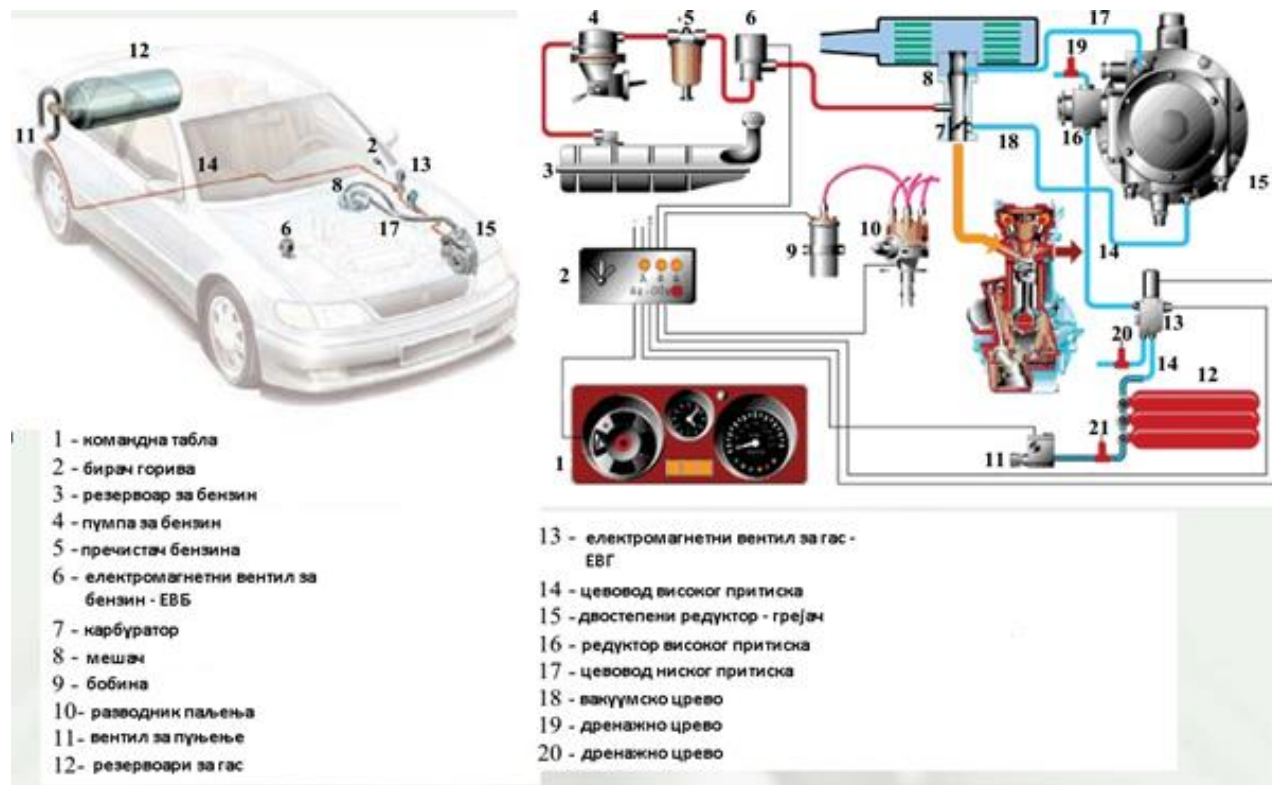
Систем за напајање мотора природним гасом се, значи, међусобно разликују сходно облику његове примене. Данас у свету постоји око 50 светских компанија које производе више од 150 модела система за природни гас. Међусобне разлике у појединим моделима су само у неким техничким нијансама, а све озбиљније светске фирме из аутомобилске индустрије освојиле су серијску производњу возила са мотором који користи природни гас као погонско гориво. У 2008. години Fiat је италијанском тржишту понудио око 62 000

возила на природни гас (5% од његове укупне производње), док је компанија Опел током 2008. године продала у Аустрији, Немачкој, Швајцарској и Шведској око 75 000 таквих возила.

Комплет допунских система за природни гас чини скуп подсистема и елемената, који имају задатак да:

- на возилу чувају резерве природног гаса (резервоари);
- изврше пуњење резервоара гасом (вентили, славине, цевоводи);
- доведу гас из резервоара у мотор (цевоводи, редуктори, грејачи, пречистачи);
- формирају смешу горива и ваздуха (мешачи, дозатори, бризгалке);
- аутоматски управљају свим процесима у систему (бирачи горива, електромагнетни вентили, микропроцесори);
- изводе контролно-мерне и безбедоносне функције.

Принцип рада прве генерације система за природни гас (слика 10), за случај да се природни гас користи у сабијеном стању (КПГ), може да се угради као допунски систем у било које путничко, малолитражно теретно возило или мини аутобус, који имају карбураторски мотор као погонски агрегат [11].



Слика 10. Шема принципа рада система прве генерације за напајање мотора КПГ-ом [11]

У зависности од врсте и марке возила, број, димензије и маса резервоара могу бити различити. На шеми (слика 10) су приказана три резервоара (12) у које се смешта природни гас под притиском од 20 МПа (1 литар запремине гаса у тако сабијеном стању еквивалентан је 0.4 литра бензина). Сваки од резервоара снабдевен је прелазним вентилом који, поред осталог, у себи садржи „брзински вентил“ (зауставља истицање гаса при прекорачењу одређене вредности брзине истицања – у случају када дође до лома цевовода високог притиска) и сигурносни (температурни) вентил (спречава разарање резервоара при појави пожара).

Сви резервоари се истовремено пуне природним гасом посредством вентила за пуњење (11). У телу вентила за пуњење смештен је још пречистач и уређај за блокирање стартовања мотора ако црево компресора (црево за пуњење) није одвојено од вентила за пуњење.

Вентили на резервоару се редно везују посредством цевовода високог притиска (14), израђеног од нерђајућег челика (спољашњег пречника 10 mm, а унутрашњег пречника 6 mm). На делу цевовода високог притиска (од резервоара до редуктор-грејача) гас се пропушта кроз електромагнетни вентил за гас (13), прилагођен за високе притиске.

Двостепеном редуктору (15) присаједињен је редуктор високог притиска (16) у којем се изводи умањење притиска са 20 МПа на 0.4/0.6 МПа. Из високопритисног дела редуктора (16) гас се уводи у двостепени редуктор (15), где се изводи даље умањење притиска на вредности блиске атмосферском. За време процеса умањења притиска од гаса се одводи топлота (Joule-Thomsonov ефекат), па се у циљу компензације топлотних губитака и спречавања замрзавања редуктора и његових вентила (за обезбеђење протока гаса) у специјалне просторе редуктора уводи течност из система хлађења мотора и обезбеђује њена циркулација.

Под дејством потпритиска у усисном колектору гас се из редуктора уводи у цевовод ниског притиска (17), којим се даље доводи до мешача (8). У мешачу се формира смеша гаса и ваздуха (свежа смеша), која се даље уноси у цилиндре мотора. Да не би дошло до истовременог напајања мотора бензином и природним гасом, посредством електромагнетног вентила за бензин (6) врши се прекид довођења бензина, пре почетка довођења природног гаса.

У случају да дође до цурења природног гаса на вентилима резервоара (12), електромагнетном вентилу за гас (13) или високопритисној секцији редуктор-грејача (16), посредством дренажних цеви (21), (20) и (19) врши се одвођење гаса ван простора возила [11].

3.4.2 Резервоари за КППГ

Пропис ESE R 110 [14], издат од стране Уједињених Нација 2000. године, а прихваћен од стране великог броја земаља у ЕУ, је практично стандард који регулише основне квалитативне норме компоненти које се користе у оквиру система који омогућавају коришћење компримованог природног гаса (КППГ) као погонског горива, чиме је практично извршено њихово сертификаковање од стране признатих инспекцијских органа.

Овим прописом су обухваћени и резервоари за компримовани природни гас. Резервоари сабијеног природног гаса су релативно велике масе, што може да погорша неке перформансе возила, али новим конструкционим решењима ово се може решити на задовољавајући начин. Поменута регулатива (ESE R 110) односи се и на КППГ резервоаре па су тако у употреби следећи типови резервоара [15]:

ТИП 1

Овај тип резервоара (слика 11) укључује резервоаре комплетно израђене од челика, што у сваком случају утиче на њихову нешто већу тежину, што се може сматрати маном, у односу на прихватљивију цену што је предност овог типа резервоара. Постоје и резервоари овог типа израђени од алуминијума [16].



Слика 11. Резервоар ТИП 1 [16]

ТИП 2

Овај тип КПП резервоара (слика 12) направљен је од металне облоге ојачане композитним омотачем од карбонских или фиброзних влакана. Овај омотач у виду „обруча“ се налази око средишњег дела резервоара. Резервоари овог типа су лакши од резервоара претходног типа за око 35%, али и скупљи [17].



Слика 12. Резервоар ТИП 2 [17]

ТИП 3

Овај тип резервоара (слика 13) има металну облогу која је ојачана композитним омотачем од карбонских или фиброзних влакана, али за разлику од типа 2 овај омотач иде целом површином резервоара. Њихова тежина је мања али су и знатно скупљи у односу на резервоаре типа 1 и 2 [18].



Слика 13. Резервоар ТИП 3 [18]

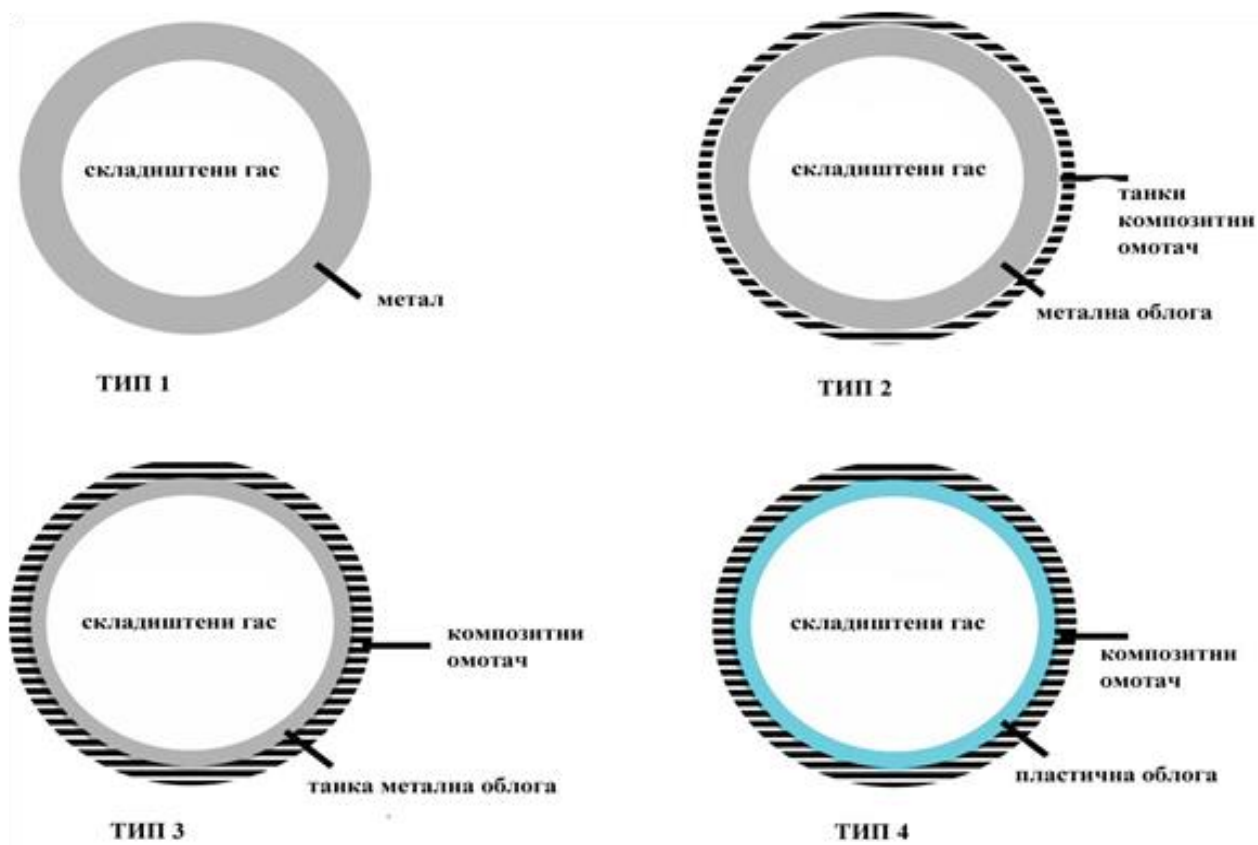
ТИП 4

Резервоар типа 4 (слика 14) је израђен од пластичне облоге, која је целом површином ојачана композитним ојачањем. Овај тип резервоара је најлакши али у исто време и најскупљи. За ове цеви се користи метода пуног замотавања. Композитни материјал који омотава цеви може бити ткани материјал од карбонских влакана или ткано стаклено влакно [19].



Слика 14. Резервоар ТИП 4 [19]

На слици 15 приказан је попречни пресек сва четири типа резервоара за компримовани природни гас.



Слика 15. Попречни пресек 4 типа резервоара [20]

Боце су углавном пројектоване тако да буду испуњене до максималног радног притиска 1000 пута годишње у периоду од 20 година (ISO 11439). Предвиђено је да раде ефикасно на температурама од $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, са дозвољеним могућим растом и до $82\text{ }^{\circ}\text{C}$. Критични притисак је углавном везан за тип боце и минимални фактор безбедности од експлозије варира у зависности од стандарда.

Опелови инжењери су повећали волумен гасних резервоара на 25 килограма са досадашњих 21 килограма. То је помогло да подстакне оперативни распон у КППГ моду за око 25% односно до 530 km. Уместо коришћења конвенционалне челичне боце гаса, инжењери су се одлучили за боце од композитног материјала, укључујући и карбонска влакна. Коришћење овог лаганог материјала резултирало је уштеди тежине од 85 килограма [20].

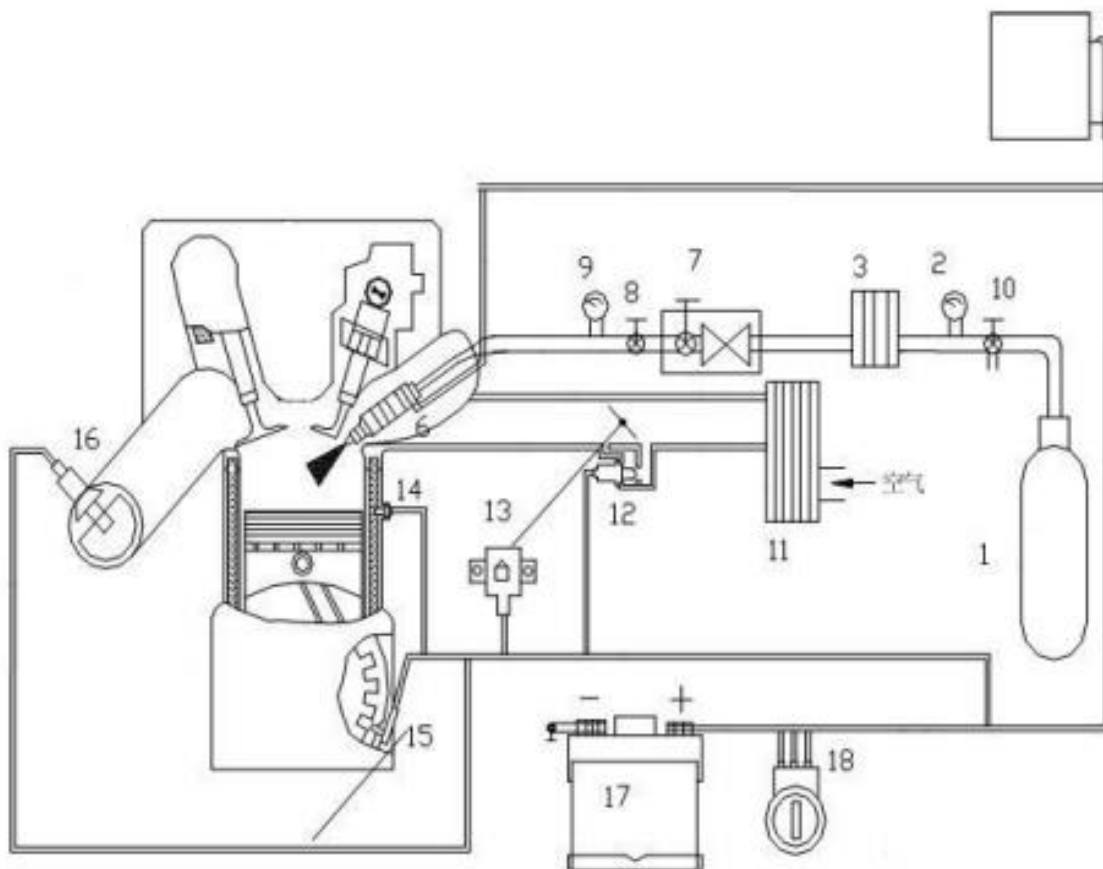
3.5 Примена КПГ-а на аутобусима

Примена природног гаса као погонског горива аутобуса условљава поред примене погонског агрегата прилагођеног коришћењу природног гаса и примену одговарајуће гасне инсталације. Број елемената гасне инсталације и њихова функционална својства зависе у највећој мери од концепцијско-конструкцијског решења мотора и начина складиштења гаса у склопу аутобуса [21].

3.5.1 Састав гасне инсталације

У општем случају, без обзира на врсту погонског агрегата, гасна инсталација се састоји и увек обухвата следеће елементе (слика 16) [15]:

- уливни систем;
- гасоводе;
- запорне вентиле;
- електромагнетне вентиле;
- регулаторе притиска;
- уређаје за напајање погонског агрегата природним гасом;
- контролну и мерну опрему;
- посебне елементе који зависе од типа мотора и возила;
- резервоаре за смештај компримованог природног гаса.



Слика 16: Састав инсталације за компримовани природни гас на аутобусу (1-резервоар за компримовани природни гас, 2-регулатор високог притиска, 3-филтер природног гаса, 6 брызгалка, 7-запорни вентил, 8-сигурносни вентил, 9-регулатор ниског притиска, 10-уливни систем, 11-филтер ваздуха, 12-контрола рада мотора на празном ходу, 13-давач положаја усисног вентила, 14-давач температуре расхладне течности, 15-давач броја обртаја мотора, 16-давач количине усисаног ваздуха, 17-акумулатор, 18-прекидач стартовања) [21]

Уливни систем је намењен за остваривање везе између аутобуса и станице за снабдевање горивом, тј. за пуњења резервоара на возилу природним гасом под притиском. Уливни систем се поставља, у зависности од конструктивних карактеристика аутобуса и положаја резервоара, на приступачном месту и обезбеђује брзо спајање и раздвајање са уређајем за пуњење у станици, уз спречавање истицања гаса при пуњењу.

Гасоводи за пренос природног гаса се праве од чврстих, безшавних цеви од висококвалитетног нерђајућег челика или челика са антикорозивним премазом. Спајају остале елементе гасне инсталације у једну целину.

Запорни вентил се обично налази у заједничком кућишту са другим елементима гасне инсталације и користи се за прекид тока гаса у цевоводима ручним путем.

Електромагнетни вентил регулише проток гаса и поставља се на делу гасовода иза регулатора високог притиска. Најчешће се уз електромагнетни вентил поставља филтер који пречишћава природни гас од непожељних нечистоћа. У циљу повећања безбедности, у смислу спречавања истицања природног гаса, на појединим деловима гасовода могу се уграђивати додатни електромагнетни вентили (секцијски вентили). Повезују се са детектором за истицање гаса а њихов рад контролисан је помоћу електронске управљачке јединице.

Дозатор се поставља на делу гасовода иза регулатора ниског притиска и има функцију да према одређеном режиму рада мотора дозира потребну количину природног гаса. Њиме се управља најчешће посредно, механичком командом преко полуге за гас.

У **мешачу** се правилно дозирана количина природног гаса меша са свежим ваздухом (пречишћеног филтером), да би се затим иста убацила у уисни канал. Функција мешача је истоветна функцији карбуратора бензинских мотора, где се мешање реализује помоћу дифузора (Вентуријеве цеви), кроз коју протиче гас и радног дела где се формира радна смеша.

Контролна и мерна опрема обухвата већи број компоненти као што су: електронска управљачка јединица, давачи података о броју обртаја погонског агрегата, температуре расхладне течности, количини ваздуха, манометри за мерење притиска природног гаса у резервоарима или у близини уливног система, манометар на контролној табли код возача итд. Заједнички задатак свих ових компоненти је да омогуће безбедно, ефикасно и економично функционисање погонске концепције са компримованим природним гасом у склопу аутобуса. Такође у контролну опрему се убрајају и детектори којима се региструје присуство природног гаса у унутрашњем простору аутобуса за смештај путника.

Посебни елементи гасне инсталације присутни су у случају примене прилагођених двогоривих дизел мотора за погон аутобуса, који могу да раде са обе врсте горива истовремено (дизел и природни гас) или само да користе дизел гориво. У таквом случају помоћу електромагнетног граничника неопходно је уградити блокаду положаја зупчасте летве пумпе високог притиска. Такође код ове концепције погонског агрегата неопходан је и граничник броја обртаја, који преко давача добија информације о броју обртаја мотора и њиме се врши прекидање протока гаса електромагнетним вентилом. На тај начин погонски агрегат је заштићен од прекорачења граничне вредности броја обртаја [21].

3.5.2 Резервоари природног гаса на аутобусима

Природни гас представља мешавину угљоводоника алкалног реда, угљендиоксида, сумпорводоника и меркаптана. Основна компонента је метан (CH_4) чији се моларни удео креће у границама од 80 до 98 %. Доња топлотна моћ природног гаса креће се у границама од 31-34 MJ/m³ при притиску од 1 бара и температур од 0 °C што у поређењу са класичним дизел горивом од 34-35 GJ/m³ говори да се ради о енергенту са веома малом запреминском концентрацијом. Наведене чињенице указују на највећи недостатак гаса као погонског горива мотора СУС, тј. на могуће тешкоће око складиштења природног гаса.

Повећање запреминске концентрације уз безбедносне услове је основни задатак који је потребно испунити при складиштењу природног гаса у склопу аутобуса и може се остварити на три начина (један основни и два алтернативна):

- смештање природног гаса у сабијеном - компримованом стању под високим притиском (компримовани природни гас, КПГ - Compressed Natural Gas, CNG (основни концепт));
- смештање природног гаса у течном стању (утечњени природни гас, УПГ - Liquefied Natural Gas, LNG (алтернативни концепт));
- смештање природног гаса у резервоарима ниског притиска у „адсорбованом облику“ помоћу адсорбената (адсорбовани природни гас, АПГ - Adsorbed Natural Gas, ANG (алтернативни концепт)) [21].

3.5.3 Резервоари за компримовани природни гас (КПГ)

Резервоари за компримовани природни гас израђују се у облику цилиндричних боца од високо квалитетних материјала: челика високе отпорности, комбинације челика и алуминијумских легура са стаклопластиком и композитних материјала. У облику су цилиндричних боца стандардизованих запремина од 50 литара до 160 литара у које је смештен сабијени природни гас под притиском од 200 bar. У циљу повећања пређеног пута аутобуса са једним пуњењем, тенденције развоја резервоара за компримовани природни гас иду ка томе да се притисак повећа на 250 bar. Боце високог притиска се уграђују у аутобусе у склопу батерије. Једна батерија најчешће обухвата 10 боца ако је њихов пречник мањи од 300 mm или 5 до 9 боца ако је њихов пречник већи од 350 mm. Расположиви резервоарски простор одређује се у зависности од жељене дужине пута које аутобус може да пређе са једним пуњењем резервоара.

Резервоари за компримовани природни гас на аутобусима се као и резервоари за компримовани природни гас на аутомобилима могу сврстати према стандарду ISO 11439 (2000) у четири групе (тип 1, тип 2, тип 3, тип 4).

Поред запремине резервоара и квалитета израде, веома важна карактеристика је однос укупне масе резервоара према корисној запремини или специфична маса резервоара (M/V) изражена у kg/dm^3 . За наведене типове резервоара карактеристичне су следеће вредности (табела 4) [21].

Табела 4. Специфична маса и цена резервоара за компримовани природни гас [21]

Тип резервоара	Специфична маса [kg/dm^3]	Цена [$\$/\text{dm}^3$]
КПГ резервоар, тип 1; челична основа	$0,9 < M/V < 1,3$	2-6
КПГ резервоар, тип 1; алуминијумска основа	$0,9 < M/V < 1,0$	8-10
КПГ резервоар, тип 2	$0,7 < M/V < 0,9$	10-15
КПГ резервоар, тип 3	$0,5 < M/V < 0,8$	18-25
КПГ резервоар, тип 4	$M/V < 0,5$	20-25

3.5.3.1 Сигурносно-безбедносне мере при примени резервоара за компримовани природни гас

Услед осетљивости природног гаса на извор пламена, велике разлике у притисцима гаса унутар боца и околине, могућих саобраћајних незгода аутобуса у експлоатацији, резервоари се подвргавају веома строгим сигурносно-безбедносним испитивањима да би се ризик од појаве истицања гаса што више смањило. Истицање природног гаса из резервоара се може јавити услед примене недовољно квалитетних материјала при изради и недовољног квалитета саме израде, повећања притиска изнад вредности када наступа разарање (при прекомерном сабијању или загревању), механичких пробоја, корозивног дејства угљендиоксида и водоник сулфида са влагом из природног гаса, замора материјала итд.

Стандарди о резервоарима за компримовани природни гас су свеобухватни и садрже низ повезаних критеријума по питању безбедносних перформанси резервоара [15].

3.5.4 Смештај и уградња инсталације за компримовани природни гас у склопу аутобуса

Смештај гасне инсталације је потребно пажљиво обавити с обзиром на особине природног гаса и потребе да се обезбеде одговарајуће перформансе возила као и да се задовоље одговарајући фактори који утичу на функционалност и безбедност. У случају аутобуса реконструисаних и прилагођених коришћењу компримованог природног гаса, мора да се води рачуна да уграђена гасна опрема не омета приступ постојећим елементима возила при одржавању и опслуживању, као и да не угрожава функционалност постојећих елемената и делова возила [21].

3.5.4.1 Смештај резервоара у склопу аутобуса

Резервоари за компримовани природни гас се могу сместити на два места у склопу аутобуса: на крову или непосредно испод пода. Положај зависи од типа аутобуса тј. од његових одговарајућих конструкционих и функционалних особина. Основни фактори (уз безбедносне захтеве) који утичу на лоцирање резервоара су: положај погонског агрегата и система за пренос снаге, висина пода и укупна висина аутобуса, постојање и величина пртљажног простора.

У случају градских аутобуса КПП резервоари се могу сместити испод пода ако шасија није нископодна и ако се мотор налази позади у задњем препусту. Код градских нископодних аутобуса са обзиром на висину платформе (320-400 mm) једино место за смештај је ојачан кров аутобуса.

Приградски и међуградски аутобуси по висини платформе (>950 mm) испуњавају захтеве везане за смештај резервоара испод пода уколико се мотор налази позади. Проблем код међуградских аутобуса у овом случају узрокован је постојањем потребног пртљажног простора тако да се код ових аутобуса гас смешта искључиво на крову [20].

Туристички аутобуси поседују резервоаре за дизел гориво величине од 500 до 600 литара што им у зависности од услова експлоатације и начина вожње омогућава аутономију од око 1000 километара. У случају погона на природни гас (у компримованом стању) за исти радијус кретања неопходно је обезбедити већу количину горива у односу на градске, приградске и међуградске аутобусе. У општем случају проблем је могуће

решити: применом резервоара у којима је гас сабијен под притиском већим од 200 bar, применом резервоара већих пречника (>250 mm), применом стандардних резервоара мањег пречника (250 mm) али у већем броју. Како се резервоари високог притиска изнад 200 bar не користе и уз ограничење укупне максимално дозвољене висине аутобуса од 4 метра, као једино могуће решење се намеће смештање већег броја резервоара под притиском од 200 бара на крову аутобуса и испод пода [22].

При томе смањени пртљажни простор је неопходно проширити везивањем помоћне касете на задњу страну аутобуса или опционо уз присуство приколице вучене од стране аутобуса. Евидентне тешкоће око примене КПП-а по питању смештаја код туристичких аутобуса представљају једну врсту разлога и његове мале употребе као погонског горива овог типа аутобуса.

У било којој варијанти ако се смештај врши испод пода аутобуса, обезбеђује се одговарајуће проветравање простора у коме се налазе резервоари. Овакав смештај, код савремених конструкција аутобуса се избегава и најчешће се употребљава са идејом додатног повећања резервоарског простора како би се повећала аутономија возила.

У пракси у највећем броју случајева резервоари се смештају на кров аутобуса, и то у посебно ојачане ослонце са гуменим подметачима, за које се притежу металним тракама и покривају украсно-заштитним поклопцем.

За остала два алтернативна концепта смештаја гаса важе иста правила као и у случају компримованог природног гаса [21].

Примери смештаја боца са компримованим природним гасом приказани су на сликама (Слика 17, Слика 18, Слика 19, Слика 20, Слика 21, Слика 22, Слика 23 и Слика 24).



Слика 17. Mercedes-Benz Citaro KPG, батерија смештена на предњем делу [23]



Слика 18. Mercedes-Benz Citaro KPG, батерија смештена на предњем делу [23]



Слика 19. Iris bus Agora gaz, батерија на задњем делу крова [24]



Слика 20. Renault Agora gaz, батерија на средини крова [25]



Слика 21. Man KPG, батерија на средини крова [26]



Слика 22. Scania KPG S2, резервоари испод пода [27]



Слика 23. IK 104 KPG, две батерије на крову и испод пода [28]



Слика 24. Scania KPG S2, резервоари на крову у предњем делу [27]

3.5.4.2 Смештај осталих елемената гасне инсталације

Димензије и сопствене масе осталих елемената гасне инсталације (регулатор, дозатор, електромагнетни вентили, цевоводи итд.) су релативно мале и лако их је сместити у склопу аутобуса. Поред тога постоје и наменски комплети прилагођени уградњи за поједине типове аутобуса. Приликом позиционирања ових елемената потребно је обезбедити њихову лаку доступност за контролу, опслуживање и одржавање без неповољног утицаја на функционалност постојећих елемената, спрегова и склопова аутобуса. Сви елементи гасне инсталације обезбеђују се одговарајућим штитницима од евентуалних последица саобраћајних незгода, дејства атмосферских појава, топлоте или могућих оштећења приликом поступка опслуживања и одржавања [21].

3.5.5 Утицај гасне инсталације на конструкционе карактеристике аутобуса

Да би се одредио утицај гасне инсталације на конструкционе карактеристике аутобуса, пре свих на положај тежишта, возило се посматра као хетерогено тело сачињено од две круто повезане концентрисане масе са својим специфичним карактеристикама. Прву масу сачињава модел аутобуса са погоном на конвенционално дизел гориво док другу масу сачињавају челични резервоари у којима се налази гас под притиском од 200 bar. Маса остале гасне опреме, уливног система, цеви, дозатора, мешача итд. је незнатна у односу на масу резервоара.

Услед сталне промене масе и распореда путника у возилу током рада непрестано се мењају и динамички осовински притисци и положај тежишта аутобуса. Свака анализа која се спроводи мора узимати у обзир и ову чињеницу.

Поред промене радног оптерећења услед уласка и изласка путника у и из аутобуса на конструкционе карактеристике утиче и положај резервоара са гасом.

Концепције градње аутобуса зависи од више фактора: намене аутобуса, дужине, укупне висине, висине пода, типа шасије, положаја мотора итд. Према намени разликују се градски, приградски, међуградски, туристички и аутобуси специјалне намене [21].

3.6 Примена КПГ-а на бродовима

До почетка 19. века пловила су покретана ветром и мишићним погоном, што у комбинацији представља први хибридни погонски систем. Свака појава нове врсте погона је налазила прву комерцијалну примену управо у овој области. Због економских и војних разлога, јавила се тенденција градње што већих и што бржих пловила, разних намена и специфичности. Основни захтеви према погонским системима су: потребна снага, ниски експлоатациони трошкови, поузданост у раду и дуготрајност.

Интернационална поморска организација – IMO (International Maritime Organisation) је 2016. године увела прописе о издувној емисији пловила (граничне вредности за NOx и SOx, као и тестове према намени пловила), нивоа Tier III-2016. У Европи се за унутрашњу пловидбу примењују прописи за ванпутне мобилне машине – NRMM (Non Road Mobile Machinery).

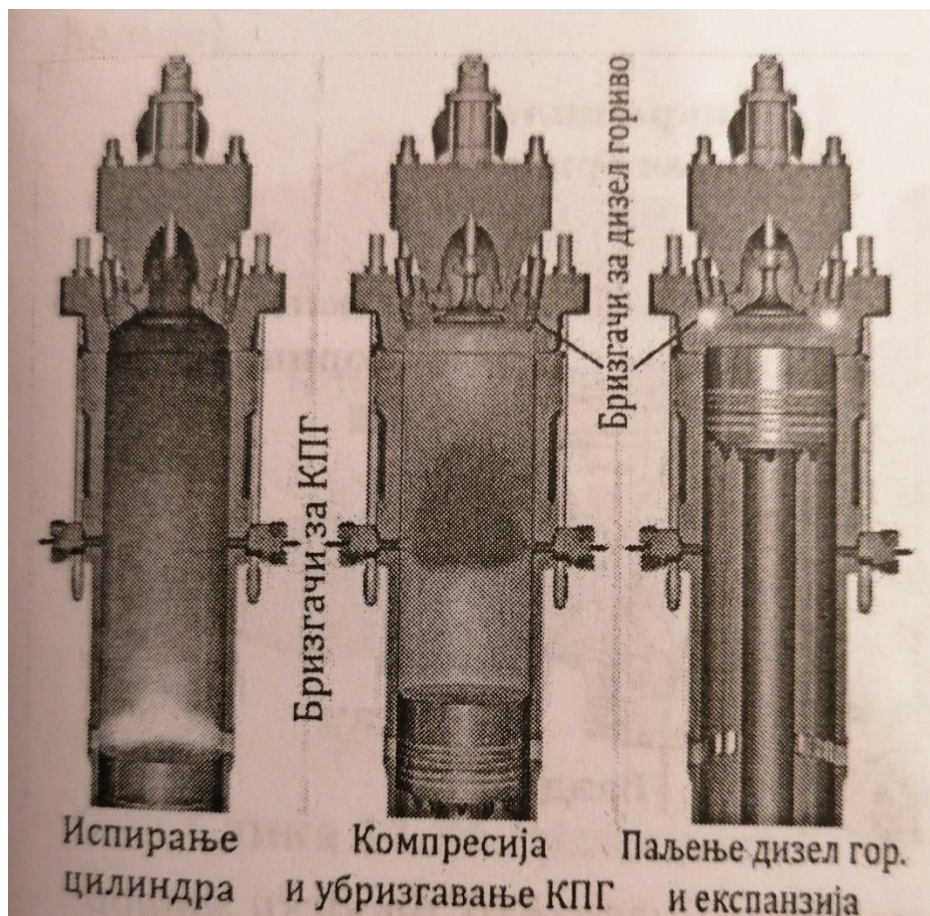
Подела бродских погона врши се према врсти мотора који је механички спрегнут са кретним апаратом (најчешће елисом), било директно, било преко преносника снаге на:

- дизел моторни погон (двотактни и четворотактни мотори);
- парнотурбински погон (котлови на течна горива и течни природни гас – ТПГ, или нуклеарни);
- гаснотурбински погон;
- електромоторни погон (дизел/електрични генератор, гасна турбина/електрични генератор, гориве ћелије,...);
- комбиновани погон (дизел мотор + гасна турбина, дизелмотор + батерије,...);
- погон двогоривим моторима (дизел + ТПГ, дизел + метанол,...);
- погон малих пловила (мотори за чамце, глисере и скутере за воду) [29].

3.6.1 Погон двогоривим моторима СУС

Примена двогоривих бродских мотора је изнуђена увођењем прописа за издувну емисију. Двогориви систем напајања се може реализовати и на двотактним и на четворотактним дизел моторима. Гасним горивом се обезбеђује хомогена, веома сиромашна смеша ($\lambda \approx 2,2$), док се убризгавањем малих количина дизел горива обезбеђује њено паљење. Због тога је снага двогоривих дизел мотора мања за 20-25% у односу на референтни дизел мотор.

На слици 25 дат је приказ концепције двотактног двогоривог дизел мотора.

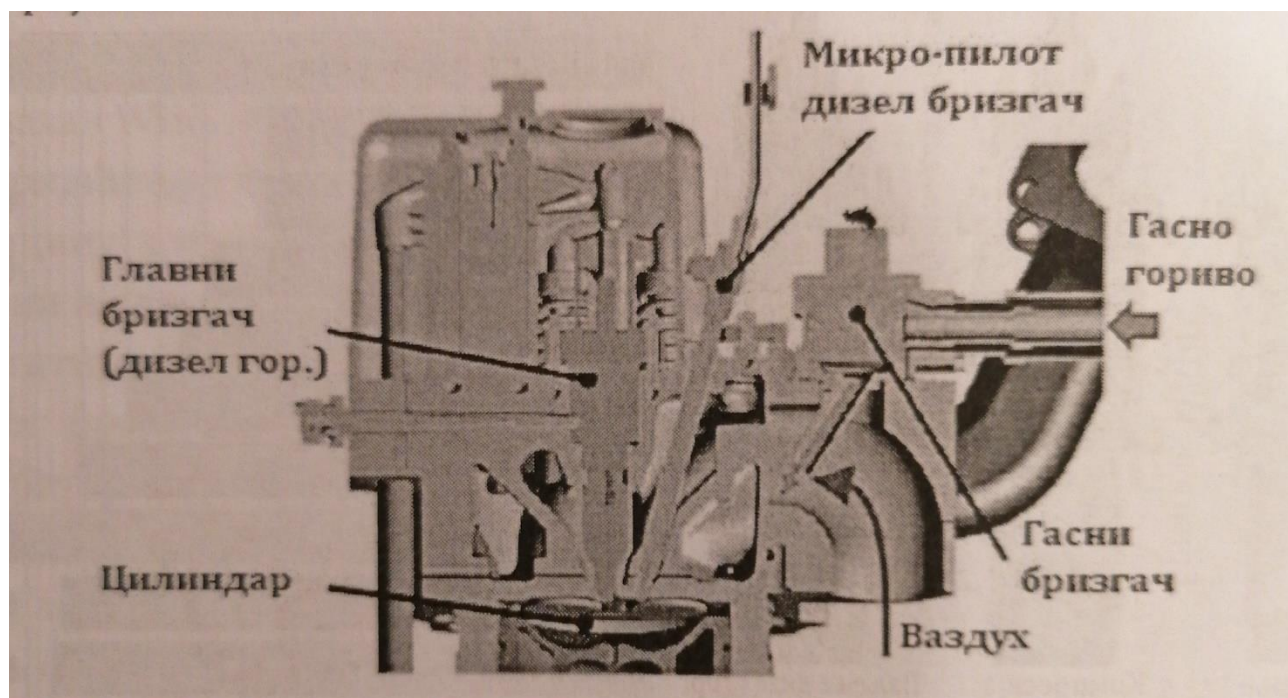


Слика 25. Принцип рада двотактних двогоривих бродских мотора са нисим притиском напајања КП-а [29]

Након завршеног процеса измене радне материје (испирања цилиндра), на почетном делу такта сабијања, помоћу бочно постављених бризгача се дозира КПГ. Током сабијања се настала сиромашна смеша хомогенизује. Пред крај компресије се врши убризгавање мање количине дизел горива која се пали и иницира сагоревање припремљене гасне смеше. Притисак убризгавања је релативно низак, око 16 bar.

Постоје и системи високопритисног (300 bar) напајања природним гасом у течном стању. Код њих се бризгачи за ТПГ и дизел гориво налазе у непосредној близини, у цилиндарској глави. Добра страна овог система је да омогућава рад са мање сиромашном смешом, без опасности од појаве детонантног сагоревања, па је снага мотора нешто већа. Недостаци су скуп систем напајања за ТПГ и компликоване мере безбедности постројења.

Бродски четвортактни двогориви мотори имају систем напајања горивом приказан на слици 26.



Слика 26. Четворотактни двогориви Дизел/КПГ бродски мотор [29]

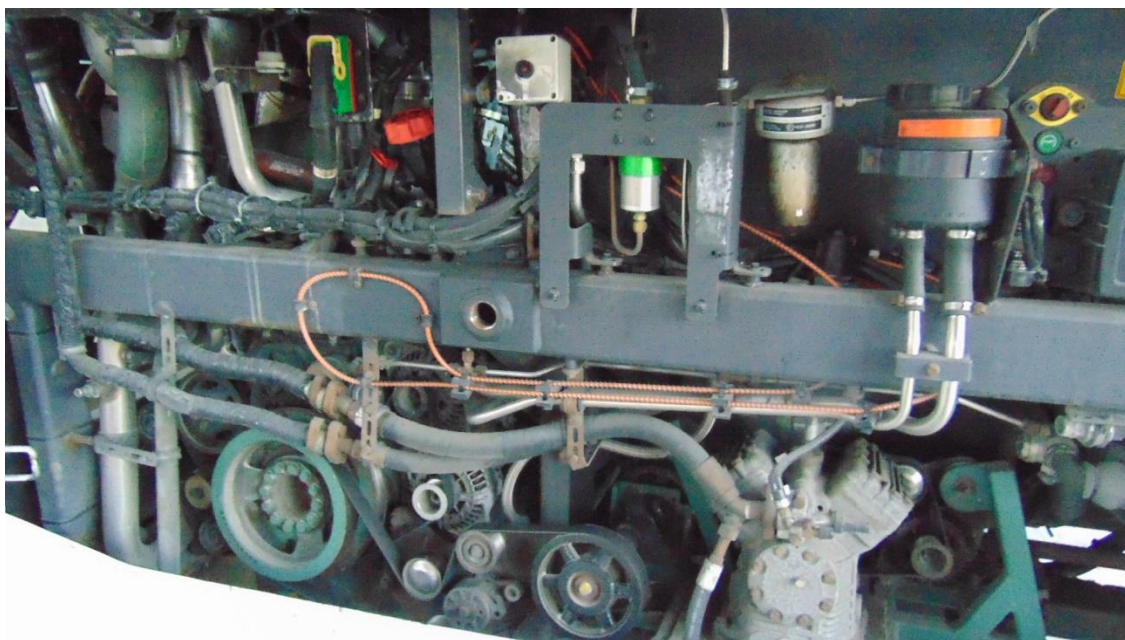
Геометријски степен компресије мотора је 14 – 16 уз турбо-пуњење са хлађењем сабијеног ваздуха. Природни гас се доводи у усисни канал преко гасног брызгача и ствара сиромашну смешу. За директно убризгавање дизел горива се користе два брызгача смештена у цилиндарској глави. Мотор може да ради на великој снази искључиво на дизел гориво. Тада се најпре преко микор дизел брызгача дозира пилот количина горива (2-5%) која сагоревањем подигне температуру у цилиндру. Непосредно затим се, помоћу главног брызгача, дозира остатак циклусне количине горива. Током двогоривог режима рада се укључује напајање са КПГ, а смањује количина убризганог дизел горива. Када се од мотора захтева мања снага и ниска издувна емисија (пловидба у приобалној зони), главно напајање се врши са КПГ, док микро-пилот дизел брызгач само обезбеђује паљење гасне смеше [29].

4 Испитивање возила са уграђеним уређајима и опремом за погон на КПП

Испитивање је скуп активности ради провере усаглашености возила опреме и делова са оговарајућом документацијом произвођача, прописима и стандардима, а за које је потребно коришћење испитне опреме. ISO/IEC 17020 је општи критеријум за рад различитих врста тела која обављају контролисање. ISO/IEC 17025 је општи захтев за компетентност лабораторија за испитивање и лабораторија за еталонирање.

Први корак приликом испитивање је утврђивање хомологацијске ознаке возила, опреме и делова возила што представља поступак провере типа, њихове саобразности за захтевима одговарајућих прописа УН о хомологацији возила, опреме и делова возила, односно одговарајућим прописима ЕУ, издавања одговарајућих прописаних докумената и праћење производње ради обезбеђивања саобразности са хомологованим типом [30].

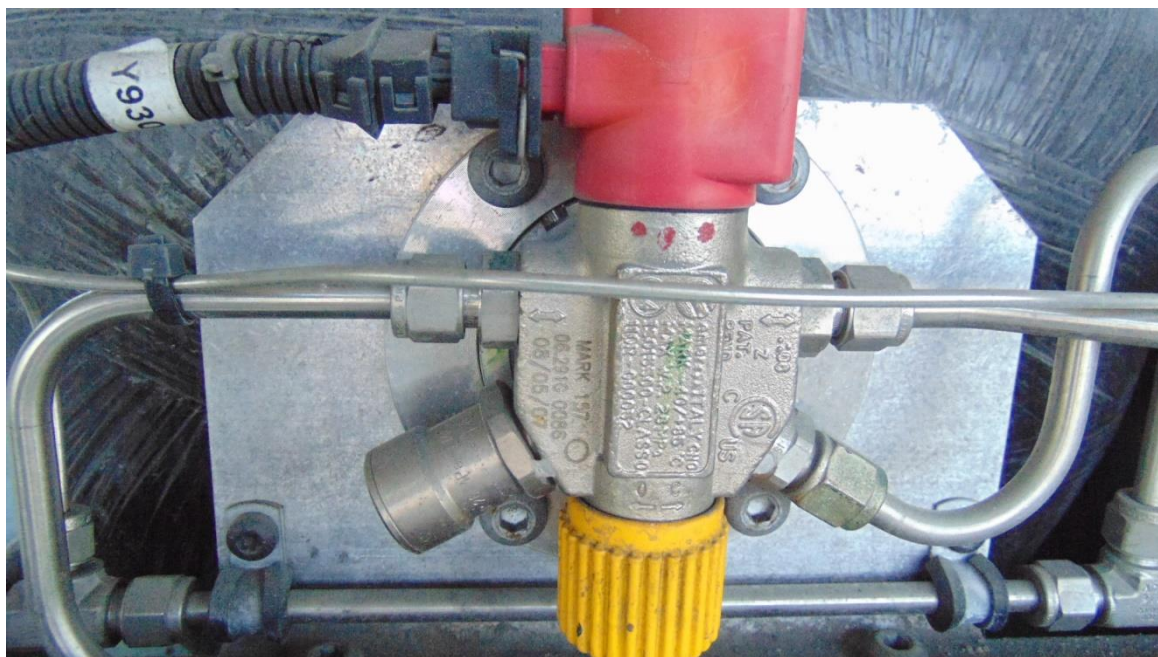
На слици 27 приказан је изглед целе инсталације, на слици 28 приказана је хомологацијска ознака резервоара за компримовани природни гас и на слици 29 хомологацијска ознака мултивентила.



Слика 27. Приказ целе инсталације



Слика 28. Хомологацијска ознака ретервоара КПГ-а



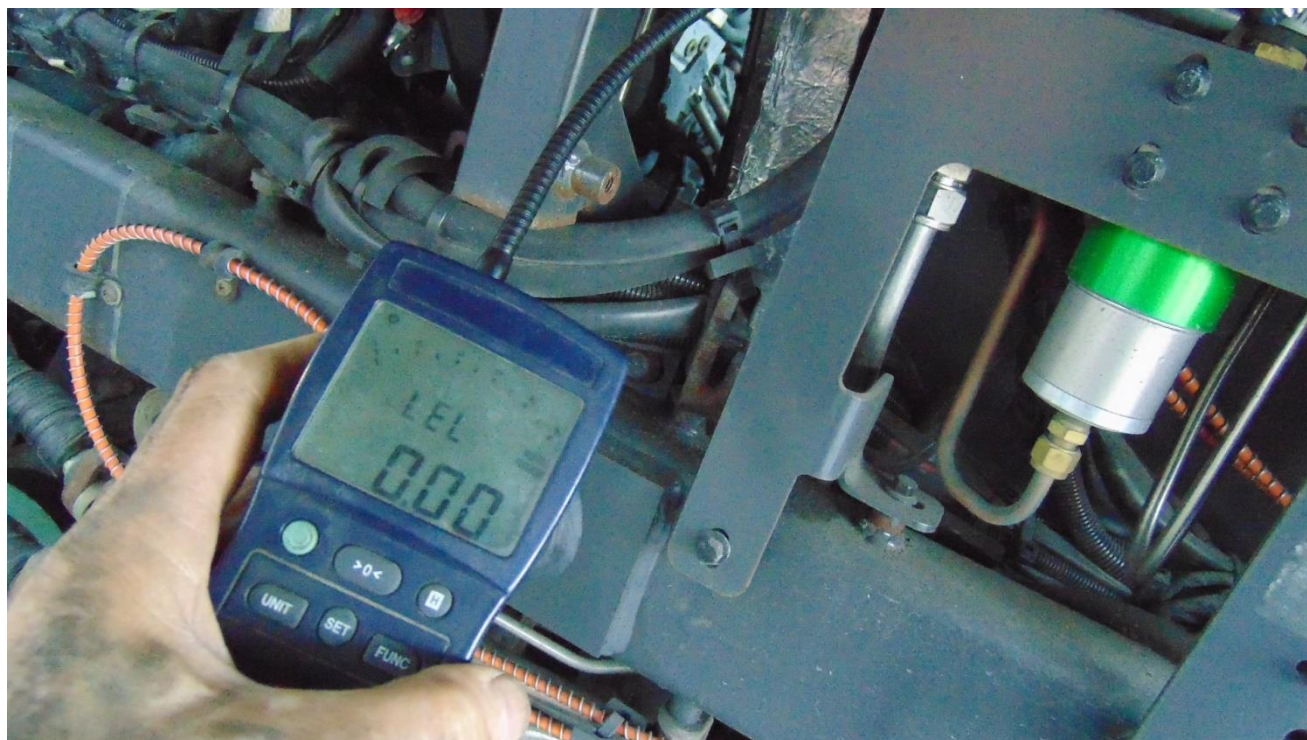
Слика 29. *Хомологацијска ознака мултивентила*

Уређаји и опрема за погон возила на КПП који се уграђују на возило морају бити одобреног типа (хомологовани).

Усаглашеност уређаја и опреме са хомологованим типом подразумева проверу да ли су уређаји и опрема из изјаве уграђивача хомологовани, односно да ли су уграђени уређаји и опрема према изјави уграђивача.

Све важеће исправе о усаглашености, знаци усаглашености и тела за оцењивање усаглашености морају бити евидентирани. У случају када су уграђени уређаји и опрема за коју није извршена хомологација, не може се издати потврда којом се потврђује да возило испуњава прописане услове [30].

Још једно битно испитивање јесте провера да нема цурења гаса (слика 30), приликом те провере возило мора да ради.



Слика 30. Провера цурења гаса

5 Закључна разматрања

У раду је разматрана проблематика примене компримованог природног гаса као горива за ото моторе и дат је преглед три карактеристичне концепције возила за компримовани природни гас на возилима (наменска, bi-fuel и dual-fuel инсталација). Поред тога дат је преглед примене КППГ-а на аутомобилима, аутобусима и бродовима.

Коришћење бензина и дизела као горива за моторна возила, директно зависи од ограничених резерви нафте и јасно је да ће се у блиској будућности морати у већој мери користити други енергенти, пре свега природни гас, чије су резерве знатно веће и чија је експлоатација далеко јефтинија. С друге стране, еколошки захтеви и таксе на коришћење класичних моторних горива учиниће природни гас најекономичнијом алтернативом, нарочито у градовима.

Поред измена на мотору и његовој опреми, за коришћење природног гаса као погонског горива потребне су и измене, пре свега у циљу уградње резервоара за компримовани гас.

Прогнозе International Association of Natural Gas Vehicles (IANGV) [1] су да број возила која користе природни гас као погонско гориво може достићи 65 милиона возила до 2020. године, што указује у овом случају на годишњу стопу раста од 19%.

У последњој деценији потражња природног гаса је повећана за 800 милијарди кубних метара, што одговара расту од 2,8 % на годишњем нивоу. Још један разлог за ову потражњу природног гаса је та што се коришћењем овог горива остварује значајна финансијска уштеда која, у зависности од типа возила, може износити и до 50%.

Предности коришћења КППГ-а:

- Економичност. КППГ је тренутно најекономичније конвенционално гориво у поређењу са бензином, дизелом и течним нафтним гасом.
- Очување животне средине. КППГ доприноси смањењу емисије штетних гасова, пре свега CO₂, не садржи сумпор, као ни токсичне адитиве органског олова или бензена.
- Снага. КППГ је најкалоричније органско погонско гориво доступно на тржишту, а конверзијом мотора на КППГ, возило не губи на снази.
- Лакши старт. Гасовито агрегатно стање овог деривата утиче на бољу стартност и управљачке перформансе, чак и под изузетно неповољним временским условима.

Литература

- [1] NGVA Europe: <https://www.ngva.eu/> приступљено 10.10.2019.
- [2] ResearchGate :
https://www.researchgate.net/publication/26850428_Research_into_the_quality_of_fuels_and_their_biocomponents приступљено 10.10.2019.
- [3] Worldwide fuel charter: <https://autoalliance.org/wp-content/uploads/2019/04/Proposed-2019-Worldwide-Fuel-Charter-Methane.pdf> приступљено 11.10.2019.
- [4] Vulovićgroup: <http://www.vulovicgroup.com/transport/> приступљено 11.10.2019.
- [5]Ekoluka: <http://www.ekoluka.com/publikacije/126-komprimovani-prirodni-gas-kpg-compressed-natural-gas-cng-metan-ka-ekolosko-gorivo-buducnosti> приступљено 11.10.2019.
- [6] Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/biography/Nikolaus-Otto> приступљено 13.10.2019.
- [7]Paluba: <http://www.paluba.info/smf/index.php/topic,11624.0/wap2.html> приступљено 13.10.2019.
- [8]Green Car: https://www.greencarreports.com/news/1091436_toyota-gasoline-engine-achieves-thermal-efficiency-of-38-percent приступљено 13.10.2019.
- [9] Веинових, С., Пешић, Р., Петковић, С., "Погонски материјали моторних возила" .прво издање. Бања Лука – Крагујевац. СРЈ. Машински факултет. 2000.
- [10]DieselNet Technology Guide: https://www.dieselnat.com/tech/engine_natural-gas.php приступљено 14.10.2019.
- [11]ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/280238060_Technical_overview_of_compressed_natural_gas_CNG_as_a_transportation_fuel приступљено 15.10.2019.
- [12] А. Давинић, предавања, доступно на :
http://moodle.mfkg.rs/pluginfile.php/7834/mod_resource/content/0/3_predavanje_PPT.pdf
- [13] myOpel: <https://my.opel.rs/> приступљено 15.10.2019.
- [14] Megamodo: <https://www.megamodo.com/opel-zafira-1-6-ecom-turbo-nessun-compromesso/> приступљено 15.10.2019.
- [15] CSA Group: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp29grsg/GRSG-106-29e.pdf> приступљено 16.10.2019.

- [16] Worthington industries: <https://worthingtonindustries.com/Products/Alternative-Fuels/CNG-Type-1-Cylinders> приступљено 16.10.2019.
- [17] HGV technology: <http://ngvtechnology.com/type-2.html> приступљено 16.10.2019.
- [18] ecplaza: https://beijingctic.en.ecplaza.net/products/cng-type-3-cylinder_1446218 приступљено 16.10.2019.
- [19] Anster: <https://www.anstertrailer.com/cng-tank-tubes-trailer-guide/> приступљено 16.10.2019.
- [20] CNG Fuel System Inspector Study Guide: https://afdc.energy.gov/files/pdfs/cng_inspector_study_guide.pdf приступљено 16.10.2019.
- [21] Natural Gas Buses: <https://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28377.pdf> приступљено 17.10.2019.
- [22] Energy.gov: <https://www.energy.gov/> приступљено 17.10.2019.
- [23] Encyclopedia of cars: https://en.wheelsage.org/mercedes-benz/citaro/o530_1/o_530_1/cng/pictures/259920/ приступљено 17.10.2019.
- [24] Car Inspiration: <http://carspiration.blogspot.com/2011/02/irisbus-agora.html> приступљено 17.10.2019.
- [25] Transbus: https://www.transbus.org/construc/renault_agorasgaz.html приступљено 17.10.2019.
- [26] Man Bus: <https://www.bus.man.eu/bs/en/city-buses/man-lions-city-cng/efficiency/Efficiency.html> приступљено 17.10.2019.
- [27] Scania: <https://www.scania.com/> приступљено 17.10.2019.
- [28] <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0350-0373/2011/0350-03731104241Z.pdf> приступљено 17.10.2019.
- [29] Давинић, А., Пешић, Р., "Погонски системи у транспорту" .прво издање. Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2018.
- [30] Правилник о испитивању возила ("Сл. гласник РС", бр. 8/2012, 13/2013, 31/2013, 114/2013, 40/2014, 140/2014, 18/2015, 82/2015, 88/2016 и 108/2016): https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik_o_ispitivanju_vozila.html приступљено 17.10.2019.