



**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία**

**«Ο ρόλος του Υγραερίου LPG και του Φυσικού Αερίου CNG στην αγορά αυτοκινήτου»**

Οφθαλμίδης Ηλίας Α.Μ. mbx21061

Επιβλέπων Καθηγητής: κ. Μπόικος Σπυρίδων

**Ημερομηνία υποβολής: Σεπτέμβριος 2022**

## Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να γίνει ανάλυση και κατανόηση του ρόλου του Υγραερίου LPG και του Φυσικού Αερίου CNG στην αγορά αυτοκινήτου. Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε ήταν δευτερογενής. Αρχικά, παρουσιάζεται μία ιστορική αναδρομή για τα LPG και CNG οχήματα. Στη συνέχεια, γίνεται μελέτη για τα LPG οχήματα ως προς την τεχνολογία των κινητήρων, τα χαρακτηριστικά απόδοσης και καύσης, την ανάφλεξη, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, την ενέργεια καθώς και κάποια προβλήματα που πιθανόν προκύπτουν. Παρακάτω, γίνεται ανάλυση των CNG οχημάτων ως προς τα ίδια χαρακτηριστικά με τα LPG. Φυσικά αναφέρονται όλα τα οριακά σημεία όπως ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα, περιβάλλον και απώλεια ισχύος. Τέλος, ακολουθεί η συζήτηση καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη δευτερογενή έρευνα.

## Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή .....	5
2. Ιστορική Αναδρομή .....	7
2.1 LPG Οχήματα .....	7
2.2 CNG Οχήματα .....	9
3. Μελέτη για τα LPG οχήματα.....	12
3.1 Τεχνολογία κινητήρων για οχήματα LPG.....	15
3.2 Χαρακτηριστικά απόδοσης και καύσης .....	15
3.2.1 Ανάφλεξη.....	17
3.2.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις .....	17
3.2.3 Ενέργεια.....	19
3.2.4 Προβλήματα που προκύπτουν .....	19
3.2.6 Κόστος.....	20
3.2.7 Μεταφορές με LPG .....	20
3.2.8 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα LPG .....	21
4. Μελέτη οχημάτων CNG .....	24
4.1 Χαρακτηριστικά του κινητήρα CNG .....	26
4.2 Χαρακτηριστικά απόδοσης και καύσης .....	26
4.2.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	26
4.2.2 Κόστος .....	27
4.3 Παρούσα και μελλοντική κατάσταση .....	27
4.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του CNG.....	27
5. Οριακό σημείο .....	28
5.1 Ογκομετρική Ενεργειακή Πυκνότητα.....	28
5.2 Παραγόμενη Ενέργεια.....	28
5.3 Σύγκριση Καυσίμων.....	29

5.4	Περιβάλλον .....	29
5.5	Απώλεια ισχύος .....	30
5.6	Σύγκριση εκπομπών .....	31
5.7	Χιλιόμετρα & τρέχον κόστος .....	32
5.8	Κόστος συντήρησης .....	33
5.9	Διάγραμμα σύγκρισης .....	33
6.	Οχήματα CNG και LPG στις Η.Π.Α .....	35
7.	Συζήτηση .....	36
8.	Επίλογος .....	37
9.	Βιβλιογραφία .....	39

## 1. Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να διερευνήσει το ρόλο του υγραερίου LPG και του φυσικού αερίου CNG στην αγορά αυτοκινήτου, δίνοντας έμφαση στην αγορά αυτοκινήτου της Ελλάδος και στις ΗΠΑ, όπου επιχειρείται και μια σύγκριση αυτών. Αναφορικά με τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται πρόκειται για εκτενή βιβλιογραφική αναζήτηση που λαμβάνει χώρα σε επιστημονικά περιοδικά και αντίστοιχες βάσεις δεδομένων, εστιάζοντας σε θέματα χρήσης του LPG και CNG στην αυτοκίνηση, ενώ χρησιμοποιούνται επίσης και σχετικά συγγράμματα. Επιπρόσθετα, γίνεται αναζήτηση πληροφοριών σε σχετικές μελέτες που αφορούν την αυτοκίνηση, όπως και σε πηγές από το διαδίκτυο, έτσι ώστε η προσέγγιση του υπό μελέτη θέματος να είναι όσο το δυνατόν πιο επικαιροποιημένη.

Το Υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG), είναι συχνά γνωστό και ως αέριο GPL ή LP. Παρά το γεγονός ότι είναι και οι δύο υδρογονάνθρακες, το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (υγραέριο) είναι μια ξεχωριστή χημική σύνθεση από το φυσικό αέριο. Πιο συγκεκριμένα, το υγραέριο αποτελείται από προπάνιο ( $C_3H_8$ ) ή / και βουτάνιο ( $C_4H_{10}$ ). Αξίζει να σημειωθεί ότι, το υγραέριο εξατμίζεται γρήγορα στις κανονικές θερμοκρασίες και τις πιέσεις επειδή το σημείο βρασμού του είναι χαμηλότερο από τη θερμοκρασία δωματίου, και παραδίδεται συχνά στις πιεσμένες δεξαμενές χάλυβα. Επειδή το υγραέριο έχει χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τη βενζίνη ή το μαζούτ, η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου είναι μεγαλύτερη. Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) δημιουργείται με συμπίεση φυσικού αερίου (κυρίως μεθανίου  $CH_4$ ) σε λιγότερο από 1% του όγκου του σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση. Διατηρείται και μεταφέρεται σε άκαμπτα δοχεία με πίεση 200-248 bar (2.900-3.600 psi), συνήθως σε κυλινδρικές ή σφαιρικές μορφές, σε πίεση 200-248 bar (2.900-3.600 psi). Αποθηκεύεται στις ιδιαίτερα πιεσμένες, μαζικές δεξαμενές για την ασφάλεια. Φυσικά, αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο μια κενή δεξαμενή CNG ζυγίζει περίπου 68-70 κιλά. Μια δεξαμενή CNG έχει συνήθως χωρητικότητα αποθήκευσης 8-10 κιλών. Αυτό καταλήγει βέβαια, στη μείωση των λειτουργικών εξόδων των οχημάτων κατά περισσότερο από 70% (Gas Processors Association, 2012).

Όσον αφορά τις οδικές μεταφορές, κυριαρχούν τα αυτοκίνητα με κινητήρες εσωτερικής καύσης. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα αυτοκίνητα είναι σε μεγάλο βαθμό "παραδοσιακά" καύσιμα όπως η βενζίνη και το ντίζελ. Εκτός από αυτά, διάφορα καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Αυτά είναι γνωστά ως εναλλακτικά καύσιμα. Τα πιο συνηθισμένα είναι τα αέρια καύσιμα, τα οποία περιλαμβάνουν CNG (συμπιεσμένο φυσικό αέριο), LPG (υγροποιημένο φυσικό αέριο) και υγραέριο (υγροποιημένο αέριο πετρελαίου). Το υγραέριο είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο αέριο καύσιμο στην Ευρώπη. Αυτό το άρθρο ασχολείται με τη χρήση του υγραερίου ως εναλλακτικού καυσίμου. Η πρώτη ενότητα του άρθρου περιγράφει τα πιο βασικά φυσικά χαρακτηριστικά του υγραερίου, ενώ η δεύτερη ενότητα επικεντρώνεται στην οικονομική και οικολογική αξιολόγησή του. Τα ευρήματα της δοκιμής της επίδρασης της μετατροπής καυσίμου ενός οχήματος από βενζίνη σε υγραέριο στα χαρακτηριστικά στροφών του κινητήρα παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα του άρθρου. Αυτή η ενότητα περιλαμβάνει επίσης έναν υπολογισμό της επίδρασης της τροφοδοσίας ενός οχήματος στην επιτάχυνσή του. Το τελευταίο τμήμα της εργασίας επικεντρώνεται στα λειτουργικά χαρακτηριστικά των οχημάτων υγραερίου (Ngang and Abbe, 2018).

Το φυσικό αέριο αφαιρείται από πηγάδια αερίου ή χρησιμοποιείται στη διαδικασία παραγωγής αργού πετρελαίου. Το μεθάνιο αποτελεί την πλειοψηφία του φυσικού αερίου, το οποίο περιέχει επίσης μικρές ποσότητες αιθανίου, προπανίου, αζώτου, ηλίου, διοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου και υδρατμών. Το μεθάνιο αποτελεί την πλειοψηφία του φυσικού αερίου. Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο μπορεί να κατασκευάζεται από φυσικό αέριο και να διατηρείται σε αποθήκη. Το CNG χρησιμοποιεί εξαιρετικά υψηλές πιέσεις περίπου 200 bar ή 2.900 psi και απαιτεί πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα για να κρατήσει την ίδια ποσότητα φυσικού αερίου. Αξίζει να αναφερθεί ότι, το φυσικό αέριο είναι ασφαλέστερο από τη βενζίνη. Το φυσικό αέριο έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία ανάφλεξης από τη βενζίνη και το ντίζελ. Επιπλέον, εάν συμβεί παραβίαση, το φυσικό αέριο θα αυξηθεί γρήγορα, καθώς είναι ελαφρύτερο από τον αέρα. Ο κίνδυνος πυρκαγιάς θα αυξηθεί καθώς η βενζίνη και τα καύσιμα συσσωρεύονται στο έδαφος. Είναι ασφαλές να απορρίπτετε συμπιεσμένο φυσικό αέριο επειδή είναι μη τοξικό και δεν θα μολύνει τα υπόγεια ύδατα. Σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κινητήρες βενζίνης και ντίζελ, οι προηγμένοι κινητήρες συμπιεσμένου

φυσικού αερίου παρέχουν ορισμένα πλεονεκτήματα. Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο είναι ένα μη ανανεώσιμο είδος ορυκτής ενέργειας που είναι ευρέως διαθέσιμο. Το CNG, από την άλλη πλευρά, προσφέρει ορισμένα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα έναντι της βενζίνης και του ντίζελ. Όσον αφορά τη ρύπανση, είναι καθαρότερο καύσιμο από τη βενζίνη ή το ντίζελ. Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο θεωρείται ως μια πιο φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση σε αυτά τα καύσιμα.

## **2. Ιστορική Αναδρομή**

### **2.1 LPG Οχήματα**

Το 1910, το υγραέριο αναγνωρίστηκε για πρώτη φορά ως σημαντικό συστατικό του πετρελαίου. Η εξάτμιση βενζίνης ανακαλύφθηκε ότι παράγεται από προπάνιο και βουτάνιο το 1910 από τον Αμερικανό επιστήμονα Dr. Walter Snelling. Γρήγορα ήρθε με μια εφαρμόσιμη τεχνική για να βγάλει αυτούς τους ατμούς από τη βενζίνη. Ξεκίνησε την πρώτη του Οικιακή εγκατάσταση προπανίου δύο χρόνια αργότερα, το 1912, και κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τη βιομηχανική παραγωγή προπανίου δύο χρόνια αργότερα, το 1913. Αξίζει να αναφερθεί ότι, το πρώτο ψυγείο υγραερίου δημιουργήθηκε το 1928, την ίδια χρονιά που το υγραέριο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως καύσιμο οχημάτων (σε φορτηγό). Η ποσότητα καυσίμων που πωλήθηκε στις ΗΠΑ το 1929 έφτασε τα 10 εκατομμύρια γαλόνια. Το υγραέριο δεν χρησιμοποιήθηκε πραγματικά εκτενώς μέχρι τη δεκαετία του 1940 έως τη δεκαετία του 1960. Φιάλες υγραερίου για οικιακή χρήση είχαν ήδη κατασκευαστεί στις αρχές της δεκαετίας του 1950 και πωλούνταν στο εξωτερικό με άδεια (Ingersoll, 1996).

Υπάρχουν και άλλα εξαρτήματα που απαιτούνται για την ανίχνευση διαρροής υγραερίου. Επειδή το υγραέριο χρησιμοποιείται ως καύσιμο, ο αριθμός οκτανίων του είναι πολύ σημαντικός. Αυτή η τιμή κυμαίνεται από 106 έως 110, πράγμα που σημαίνει ότι είναι υψηλότερη από τον αριθμό οκτανίων βενζίνης και, ως αποτέλεσμα, παρέχει μεγαλύτερη αντίσταση στην έκρηξη, καθώς η ροπή ανάφλεξης μπορεί να μεταφερθεί πιο κοντά στο μπροστινό μέρος του άνω νεκρού σημείου του εμβόλου.

Το υγραέριο διατηρείται σε χαλύβδινη δεξαμενή με πάχος τοιχώματος 5 mm και μέγιστη πίεση 10 bar. Η δεξαμενή υγραερίου εγκαθίσταται κανονικά στην ίδια θέση με το εφεδρικό ελαστικό. Ένας τυπικός όγκος δεξαμενής αερίου για συμπαγή αυτοκίνητα

είναι περίπου 40 λίτρα και όσο υψηλότερος είναι ο όγκος ενός κινητήρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα μιας δεξαμενής αερίου. Για να διατηρηθεί η ασφάλεια, η δεξαμενή αερίου μπορεί να γεμίσει μόνο στο 80 τοις εκατό της χωρητικότητάς της. Μια πολυλειτουργική βαλβίδα ασφαλείας εμποδίζει την πλήρωση της δεξαμενής σε περισσότερο από το 80% της χωρητικότητάς της. Σε περίπτωση υπέρβασης της καθορισμένης μέγιστης πίεσης, το αυτοκίνητο παραμορφώνεται ή υπάρχει πυρκαγιά, ανοίγει η πολυλειτουργική βαλβίδα ασφαλείας και το περιεχόμενο μιας δεξαμενής αερίου ξεφουσκώνει κάτω από το όχημα, επειδή το υγραέριο είναι βαρύτερο από τον αέρα. Όταν το υγραέριο μετακινείται από τη δεξαμενή στο περιβάλλον υπό ατμοσφαιρική πίεση, καταψύχεται. Όταν η πίεση περιβάλλοντος μειωθεί, το υγραέριο θα μετατραπεί από υγρή φάση σε αέρια φάση, συνοδευόμενη από βρασμό. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η θερμότητα αφαιρείται από το περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα, η βαλβίδα ασφαλείας και τα περίχωρά της παγώνουν πάντα κατά τη διάρκεια αυτής της διαρροής, και σε σπάνιες περιπτώσεις, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυτοσβενόμενη φωτιά. Μια άλλη λειτουργία της πολυλειτουργικής βαλβίδας ασφαλείας είναι ότι εάν υπάρχει διαρροή υγραερίου μεγαλύτερη από 6 l.s-1, Για παράδειγμα, λόγω διακοπής της μετάδοσης υγραερίου, η βαλβίδα θα σφραγίσει μια δεξαμενή. Η δεξαμενή υγραερίου περιέχει δύο μηχανικές βαλβίδες, μία για τη χειροκίνητη σφράγιση της εισόδου υγραερίου στη δεξαμενή από την οπή πλήρωσης της δεξαμενής και μία από τη δεξαμενή στην ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα κλεισίματος.

Μια ρυθμιστική βαλβίδα ελέγχει την ποσότητα αερίου που εισέρχεται στην πολλαπλή εισαγωγής. Σε αντίθεση με τις βαλβίδες κλεισίματος, οι οποίες έχουν μόνο δύο θέσεις - "κλειστές" και "ανοιχτές", η βαλβίδα ρύθμισης περιλαμβάνει πολλαπλές διαφορετικές καταστάσεις εκτός από τις "κλειστές" και "ανοιχτές". Η μονάδα ελέγχου υγραερίου ρυθμίζει τη θέση της βαλβίδας ρύθμισης. Για να λειτουργήσει ο βενζινοκινητήρας, η μονάδα ελέγχου υγραερίου λαμβάνει δεδομένα από τη μονάδα ελέγχου κινητήρα και υπολογίζει εκ νέου την ποσότητα ισοδύναμου καυσίμου για το υγραέριο. Η εναλλαγή μεταξύ καυσίμου και υγραερίου είναι αυτοματοποιημένη, αλλά υπάρχει επίσης η δυνατότητα χειροκίνητης εναλλαγής για οδηγούς μέσω ελεγκτή που βρίσκεται κοντά στον οδηγό. Η στάθμη καυσίμου στη δεξαμενή υγραερίου μπορεί να εμφανίζεται στον ελεγκτή ή στο ταμπλό χρησιμοποιώντας την ίδια ένδειξη και για τα δύο καύσιμα. Η ένδειξη εμφανίζει τη στάθμη καυσίμου στη δεξαμενή από την οποία αντλείται καύσιμο.



Για να αποφευχθεί η ταυτόχρονη χρήση και των δύο καυσίμων, ένας ηλεκτρονόμος θα εγγραφή ότι οι ενέσεις βενζίνης απενεργοποιούνται κατά τη λειτουργία του υγραερίου ή ότι η τροφοδοσία τάσης στις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες είναι απενεργοποιημένη, κλείνοντας τις βαλβίδες κατά τη λειτουργία του βενζινοκίνητου οχήματος.

Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στις οδικές μεταφορές αυξάνεται. Πρέπει να πληρούνται αρκετές παράμετροι για να επιτευχθεί αυτή η κατάσταση ενώ χρησιμοποιείται το υγραέριο ως εναλλακτικό καύσιμο. Το πρώτο κριτήριο είναι η οικονομική λειτουργία ενός οχήματος με υγραέριο. Οι ευρωπαϊκές χώρες δεν παρέχουν επιδοτήσεις για την αγορά οχημάτων που κινούνται με αυτό το καύσιμο, όπως κάνουν για τα ηλεκτρικά οχήματα. Ομοίως, δεν υπάρχει μείωση του κόστους ασφάλισης αστικής ευθύνης κατά τη χρήση υγραερίου. Το μεγαλύτερο όφελος του καυσίμου υγραερίου από οικονομική άποψη είναι η τιμή του 1 λίτρου αυτού του καυσίμου. Τα κράτη επιβάλλουν μειωμένο ειδικό φόρο κατανάλωσης στο υγραέριο σε αντίθεση με τα καύσιμα ντίζελ και βενζίνης, με αποτέλεσμα τη μέση μείωση της τιμής περίπου 50%. Μια χαμηλή τιμή υγραερίου σχετίζεται στενά με τα χαμηλά έξοδα καυσίμων υγραερίου για οδήγηση 100 χιλιομέτρων. Εάν αυξηθεί ο ειδικός φόρος κατανάλωσης στο υγραέριο, η τιμή αυτού του καυσίμου θα αυξηθεί επίσης και το πλεονέκτημα του υγραερίου ως εναλλακτικού καυσίμου θα χαθεί.

## **2.2 CNG Οχήματα**

Το φυσικό αέριο έχει χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο για χιλιάδες χρόνια. Στη πραγματικότητα, οι Κινέζοι λέγεται ότι το χρησιμοποίησαν για να βράσουν και να καθαρίσουν το νερό ήδη από το 500 π. χ., αλλά το πρώτο καταγεγραμμένο πηγάδι αερίου τους δεν ανακαλύφθηκε μέχρι το 211 π. χ. Πιο πρόσφατα, το 1626, Γάλλοι εξερευνητές στη Βόρεια Αμερική είδαν Ινδιάνους να φωτίζουν ατμούς που διαρρέουν κοντά στη λίμνη Έρι. Αν και δεν είναι βέβαιο ποιος ή πότε ήταν ο εφευρέτης αυτοκινήτων φυσικού αερίου, η εφεύρεση αυτών των οχημάτων έχει αναφερθεί ήδη από τη δεκαετία του 1930. Τα πρώτα αυτοκίνητα αερίου, μερικές φορές γνωστά ως αυτοκίνητα τσαντών αερίου, τροφοδοτήθηκαν από ασυμπίεστο αέριο. Κατά τη διάρκεια του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου και πολύ περισσότερο κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, αυτά τα οχήματα χρησιμοποιήθηκαν ως κρίσιμο μέσο για την υπέρβαση της έλλειψης καυσίμων. Υπάρχουν πάνω από 5,7 εκατομμύρια αυτοκίνητα

φυσικού αερίου στο δρόμο σήμερα. Στη Γερμανία, υπήρχαν 771 πρατήρια καυσίμων από τον Ιανουάριο του 2008. Η αλυσίδα εφοδιασμού θα συνεχίσει να αναπτύσσεται. Η εισαγωγή ταξί με CNG στην πόλη της Ντάκα στις αρχές του 2000 έδωσε ώθηση στον τομέα του CNG. Ο τομέας αναπτύσσει επίσης μια κρίσιμη μάζα χάρη στην αντικατάσταση των ξεπερασμένων δίχρονων βενζινοκίνητων οχημάτων με 9.000 νέα αυτόματα rickshaws με CNG, ιδίως για την ανάπτυξη του δικτύου εφοδιασμού CNG. Ταυτόχρονα, η κυβέρνηση ανέθεσε την υποχρεωτική μετασκευή όλων των κυβερνητικών οχημάτων με κιτ μετατροπής CNG (Sachdeva and Mansuri, 2013).

Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο έχει χρησιμοποιηθεί από καιρό σε σταθερούς κινητήρες, αλλά τα τελευταία δέκα χρόνια, η ανάπτυξη ελαφρών κυλίνδρων αποθήκευσης υψηλής πίεσης έχει αυξήσει σημαντικά τη χρήση του CNG ως καυσίμου για κινητήρες μεταφοράς. Αξίζει να αναφερθεί ότι, λόγω των οικονομικών, περιβαλλοντικών και στρατηγικών πλεονεκτημάτων των εναλλακτικών καυσίμων, οι ερευνητές ενδιαφέρονται για το συμπιεσμένο φυσικό αέριο ως υποκατάστατο καυσίμου. Υπάρχουν ορισμένα εναλλακτικά καύσιμα που έχουν τη δυνατότητα να εκπέμπουν λιγότερους ρύπους συνολικά από τη βενζίνη και το ντίζελ. Για πολλούς λόγους, το φυσικό αέριο, το οποίο αποτελείται κυρίως από, έχει επισημανθεί ως κορυφαία επιλογή για χρήσεις μεταφοράς μεταξύ αυτών των καυσίμων. Υπάρχουν τρεις λόγοι για την έκκληση του φυσικού αερίου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συμβατικούς κινητήρες ντίζελ και βενζίνης, που είναι το πρώτο όφελος, ακολουθούμενο από προσβασιμότητα και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Σύμφωνα με, τα λειτουργικά έξοδα είναι ένας πρόσθετος παράγοντας που δίνει στα αυτοκίνητα με αέριο ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των πετρελαιοκίνητων στη θεωρία. Ο ισχυρισμός αυτός υποστηρίζεται από το γεγονός ότι το φυσικό αέριο είναι λιγότερο δαπανηρό ανά μονάδα ενέργειας από το πετρέλαιο. Το επιχείρημα, ωστόσο, είναι λίγο πιο λεπτό από αυτό. Ενώ είναι αλήθεια ότι το φυσικό αέριο κοστίζει λιγότερο από τη βενζίνη ή το ντίζελ σε εθνικό επίπεδο, η μελέτη έχει διαφορετικό αποτέλεσμα (Sachdeva and Mansuri, 2013).

Πέντε παράγοντες καθιστούν ελκυστικό το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG). Είναι το μόνο καύσιμο που είναι λιγότερο ακριβό από τη βενζίνη ή το ντίζελ. Εξ ορισμού, έχει μειώσει τις εκπομπές ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Απελευθερώνονται λιγότερα

αέρια θερμοκηπίου. Εξαιτίας αυτού, υπάρχει σημαντική αύξηση της ποσότητας πετρελαίου που διατίθεται στη Βόρεια Αμερική. Βέβαια, οι δυσκολίες με το ΠΦΑ σχετίζονται με το φάσμα των οχημάτων, την αποθήκευση καυσίμων, τις δαπάνες υποδομής και την εξασφάλιση επαρκούς εφοδιασμού. Σε αυτήν την περίπτωση, το βάρος των μπαταριών ή των κυλίνδρων αποθήκευσης καθιστά το βάρος του πλαισίου πολύ υψηλότερο, απαιτώντας τη χρήση επιπλέον κυλίνδρων μπαταριών καυσίμου και αποθήκευσης. Θα πρέπει να κατασκευαστούν περισσότεροι αγωγοί φυσικού αερίου και άλλες υποδομές εάν αυξηθεί σημαντικά ο αριθμός των οχημάτων CNG. Παρά τα τεράστια αποθέματα φυσικού αερίου, είναι αβέβαιο εάν η εξόρυξη θα μπορούσε να επεκταθεί κατά δύο φορές με την πάροδο του χρόνου χωρίς να αυξηθούν τα έξοδα.

Η πλειονότητα των υπαρχόντων συμπιεσμένων αυτοκινήτων φυσικού αερίου έχουν βενζινοκινητήρες που έχουν αναβαθμιστεί από μετατροπές μετασκευής μετά την αγορά για τη διατήρηση των δυνατοτήτων δύο καυσίμων. Ο σχεδιασμός ή/και η εγκατάσταση των κιτ μετασκευής συχνά οδηγεί σε απώλεια ισχύος ή / και άλλα ζητήματα με μετατροπές οχημάτων δύο καυσίμων. Η χρήση φυσικού αερίου ως καυσίμου για κινητήρες ντίζελ προσφέρει το πλεονέκτημα της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίου του αζώτου και σωματιδίων, διατηρώντας παράλληλα την υψηλή απόδοση του συμβατικού κινητήρα ντίζελ.

Οι πηγές αερίου ή η παραγωγή αργού πετρελαίου χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία φυσικού αερίου. Το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου (NG), μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), υπάρχει επίσης σε μικρές ποσότητες σε υδρατμούς, αιθάνιο, προπάνιο, άζωτο, ήλιο, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια. Το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο. Ωστόσο, το μεθάνιο αποτελεί περισσότερο από το 98% της σύνθεσης του φυσικού αερίου.

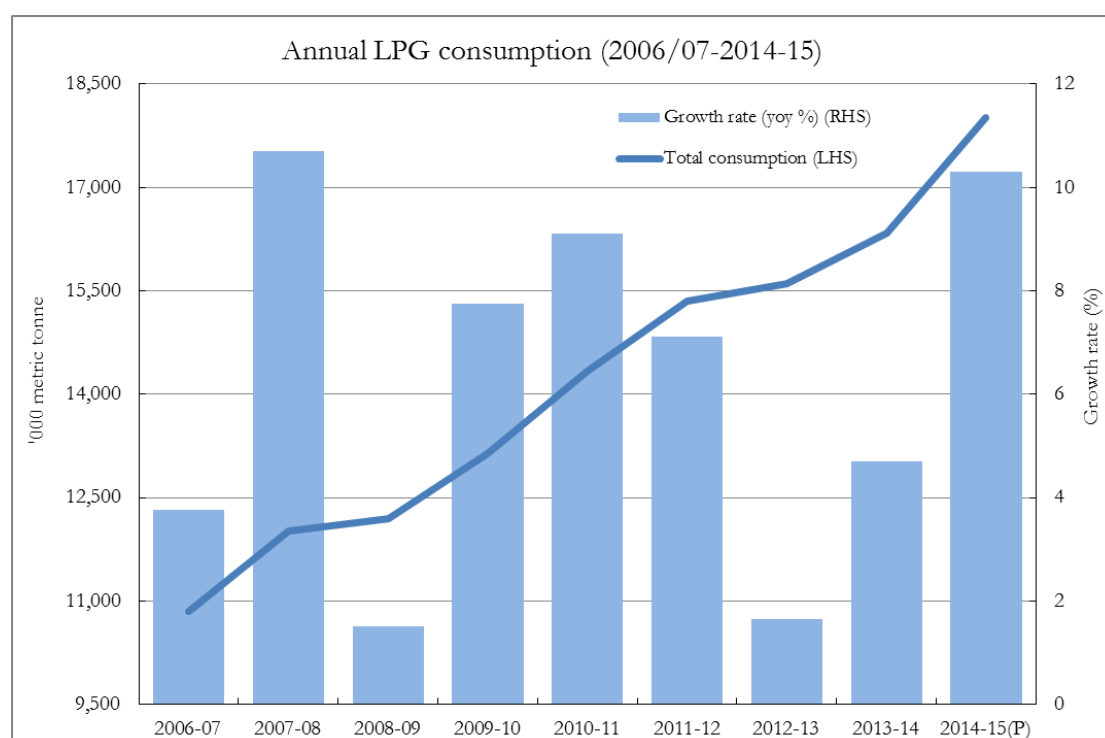
Σύμφωνα με την τρέχουσα μελέτη, τα αυτοκίνητα συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG) εκπέμπουν πολύ λιγότερες εκπομπές σωματιδίων από ισοδύναμα μοντέλα άλλων οχημάτων ανάφλεξης με σπινθήρα. Ενώ τα αυτοκίνητα ντίζελ με φίλτρα σωματιδίων είχαν τη χαμηλότερη ρύπανση σωματιδίων, υπό την προϋπόθεση ότι το φίλτρο σωματιδίων ντίζελ δεν αναγεννήθηκε πρόσφατα, τα οχήματα ανάφλεξης με

σπινθήρα άμεσης έγχυσης είχαν ωστόσο την υψηλότερη εκπομπή σωματιδίων, η οποία ξεπεράστηκε μόνο από οχήματα ντίζελ χωρίς φίλτρο σωματιδίων. Με χαμηλές και μέτριες ταχύτητες οχημάτων, τα αυτοκίνητα CNG είχαν σχεδόν τόσο χαμηλές εκπομπές σωματιδίων σε κάθε τμήμα κύκλου. Οι εκπομπές σωματιδίων από τα αυτοκίνητα CNG ήταν σημαντικά υψηλότερες στις μέσες ταχύτητες των αυτοκινητοδρόμων από εκείνες των συγκρίσιμων οχημάτων με φίλτρο σωματιδίων ντίζελ. Η κύρια αιτία της εκπομπής σωματιδίων των αυτοκινήτων CNG σε υψηλές ταχύτητες οχήματος έχει προσδιοριστεί ότι είναι ο εμπλουτισμός του συνδυασμού καυσίμου-αέρα. Πιστεύουμε ότι αυτός ο εμπλουτισμός αποτελεί παρακράτηση από τη λειτουργία βενζίνης για την οποία προοριζόταν αρχικά ο κινητήρας. Ο καταλύτης σε βενζινοκινητήρες προστατεύεται από υψηλές θερμοκρασίες με εμπλουτισμό μείγματος, ο οποίος μειώνει τις θερμοκρασίες των διεργασιών και των καυσαερίων κυρίως λόγω της εξάτμισης του καυσίμου κατά τη διάρκεια και μετά την πρόσληψη. Η υψηλότερη ταχύτητα φλόγας ενισχύει επίσης την απόδοση και τη ροπή του κινητήρα. Δεδομένου ότι η μέγιστη ταχύτητα φλόγας είναι σχεδόν στοιχειοθετική με αναλογίες αέρα-καυσίμου και πλούσια σε CNG, αναμιγνύει μόνο ελαφρώς χαμηλότερες θερμοκρασίες διαδικασίας ή εξάτμισης.

### **3. Μελέτη για τα LPG οχήματα**

Στα LPG αυτοκίνητα, το αέριο και ο αέρας συνδυάζονται εύκολα, διευκολύνοντας την πιο λεπτομερή καύση. Αν και το καύσιμο είναι λιγότερο ακριβό από τη συνηθισμένη βενζίνη, τα αυτοκίνητα υγραερίου περιέχουν λιγότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου, με αποτέλεσμα χειρότερη οικονομία καυσίμου και απόδοση. Οι καθαρές ιδιότητες καύσης των αυτοκινήτων LPG έχουν ως αποτέλεσμα την παρατεταμένη διάρκεια ζωής του κινητήρα. Είναι αξιοσημείωτο ότι, τα συστήματα αποθήκευσης καυσίμων αυτών των αυτοκινήτων είναι αυτά που τα ξεχωρίζουν περισσότερο από άλλα αυτοκίνητα. Σε κανονική θερμοκρασία, το υγραέριο είναι αέριο, αλλά όταν πιέζεται (η απαιτούμενη πίεση ποικίλλει ανάλογα με το περιεχόμενο του συνδυασμού), γίνεται υγρό. Συνήθως διατηρείται σε περίπου 10 bar. Επιπλέον, τα αυτοκίνητα υγραερίου χρειάζονται μια μοναδική δεξαμενή καυσίμου που είναι αρκετά ανθεκτική ώστε να αντιστέκεται στις 130 λίβρες ανά τετραγωνική ίντσα πίεση αποθήκευσης υγραερίου. Το υγραέριο έχει υψηλή βαθμολογία οκτανίων 110+, που επιτρέπει στο CR να είναι υψηλό έως 15:1, σε

σύγκριση με το εύρος των βενζινοκινητήρων από 8:1 έως 9,5: 1. Λόγω του γεγονότος ότι οι δεξαμενές καυσίμου υγραερίου είναι σημαντικά βαρύτερες από τις συμβατικές, θα απαιτηθούν δύο δεξαμενές, προσθέτοντας το βάρος του οχήματος. Επιπρόσθετα, τα αυτοκίνητα που λειτουργούν με υγραέριο και βενζίνη παράγονται από μεγάλο αριθμό αυτοκινητοβιομηχανιών. Επειδή είναι κατασκευασμένο από ορυκτά καύσιμα και αναπόφευκτα θα στείλει αέρια θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, οι ειδικοί ισχυρίζονται ότι το υγραέριο είναι το λιγότερο φιλικό προς το περιβάλλον εναλλακτικό καύσιμο (Kivevele et al., 2020).



*Εικόνα 1* Ετήσια κατανάλωση υγραερίου

(Kivevele et al., 2020)

Το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (υγραέριο) παράγεται ως υποπροϊόν της επεξεργασίας φυσικού αερίου ή ως υποπροϊόν της διύλισης αργού πετρελαίου. Το υγραέριο αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από προπάνιο και βουτάνια, με ίχνη προπυλενίου και βουτυλενίων. Διατίθεται σε τέσσερις διαφορετικές ποιότητες σύνθεσης. Ο μόνος βαθμός που είναι κατάλληλος για χρήση στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι το HD-5, το οποίο περιέχει 95% προπάνιο και 5% βουτάνια (μόλις το 1991). Το υγραέριο διατηρείται σε υγρή μορφή στα αυτοκίνητα σε δεξαμενές υπό πίεση στα 160 psi, με περίπου το 72% της ενέργειας της βενζίνης σε

ογκομετρική βάση. Επί του σκάφους, το φυσικό αέριο διατηρείται είτε σε συμπιεσμένη είτε σε υγροποιημένη μορφή. Το NG διογκώνεται σε πίεση 2.400-3.000 psi και διατηρείται σε κυλινδρική δεξαμενή. Το NG υγροποιείται στους -259 βαθμούς Κελσίου και διατηρείται σε dewars.<sup>1</sup>

Το υγραέριο λαμβάνεται ως υποπροϊόν της εξόρυξης φυσικού αερίου και πετρελαίου ή ως υποπροϊόν της διύλισης πετρελαίου. Τα κύρια συστατικά του υγραερίου είναι προπάνιο και βουτάνιο. Το προπάνιο-C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> είναι ένας κορεσμένος υδρογονάνθρακας με θερμαντική αξία 11.070 kJ, kg-1 και ενεργειακή αξία 46 MJ.kg-1. το βουτάνιο - C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> είναι ένα πολύ εύφλεκτο και εύκολα υγροποιήσιμο αέριο με θερμαντική αξία 10.920 kJ.kg-1 και ενεργειακή αξία 45 MJ.kg-1. το υγραέριο είναι ένας συνδυασμός προπανίου, βουτανίου και ιχνών άλλων χημικών ουσιών. Ένας συνδυασμός προπανίου και βουτανίου υγροποιείται είτε με ψύξη σε χαμηλή θερμοκρασία είτε με συμπίεση. Όταν ένας συνδυασμός υγροποιείται, ο όγκος του μειώνεται κατά 260 φορές σε σύγκριση με την αέρια φάση. Το υγραέριο είναι καύσιμο που μοιάζει με βενζίνη. Έχει ενεργειακή αξία 45 MJ.kg - 1 και πυκνότητα 0,55 kg.λ-1. Το υγραέριο είναι βαρύτερο από τον αέρα ως αέριο αλλά ελαφρύτερο από το νερό ως υγρό. Το υγραέριο δεν είναι επιβλαβές όταν εξετάζουμε τις επιπτώσεις του στην ανθρώπινη υγεία. παρ ' όλα αυτά, είναι μη Αναπνεύσιμο και έχει ήπια τοξικές συνέπειες (Jemni et al., 2018). Ο συνδυασμός προπανίου-βουτανίου είναι άχρωμος και άοσμος (Karusta, Kalaoná, 2015). Υπάρχουν και άλλα εξαρτήματα που απαιτούνται για την ανίχνευση διαρροής υγραερίου. Επειδή το υγραέριο χρησιμοποιείται ως καύσιμο, ο αριθμός οκτανίων του είναι πολύ σημαντικός. Αυτή η τιμή κυμαίνεται από 106 έως 110, πράγμα που σημαίνει ότι είναι υψηλότερη από τον αριθμό οκτανίων βενζίνης και, ως αποτέλεσμα, παρέχει μεγαλύτερη αντίσταση στην έκρηξη, καθώς η ροπή ανάφλεξης μπορεί να μεταφερθεί πιο κοντά στο μπροστινό μέρος του άνω νεκρού σημείου του εμβόλου (Kivevele et al., 2020).

---

<sup>1</sup> Dewars είναι μια φιάλη διπλού τοιχώματος από μέταλλο ή ασημένιο γυαλί με κενό μεταξύ των τοιχωμάτων, που χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση υγρών σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος (μόλις το 1991).

### **3.1 Τεχνολογία κινητήρων για οχήματα LPG**

Καθώς το υγραέριο αποθηκεύεται σε υγρή μορφή υπό υψηλή πίεση, είναι ανάγκη να μετατραπεί σε εξατμισμένη μορφή πριν τραβηχτεί στον θάλαμο καύσης. Πρώτα απ' όλα, το υγραέριο δεν χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές diesel διπλού καυσίμου. Αξίζει να σημειωθεί ότι, για κινητήρα ανάφλεξης με σπινθήρα υπάρχουν δύο τύποι κινητήρων υγραερίου. Επιπλέον, τα οχήματα υγραερίου πραγματοποιούνται για να ποσοτικοποιήσουν τα χαρακτηριστικά καύσης και εκπομπών του κινητήρα SI που τροφοδοτείται με υγραέριο με μικρή τροποποίηση στον αρχικό κινητήρα SI για να λειτουργεί με καύσιμο υγραερίου με διαφορετικό ποσοστό όγκου υγραερίου σε 5%, 10%, 20% με τη βοήθεια ελεγκτή PLC. Φυσικά, η ταχύτητα του κινητήρα διατηρείται στα 4000rpm, ο σχετικός λόγος αέρα-καυσίμου κυμαίνεται από 0,8 έως 1,3. Τα συστατικά των καυσαερίων (CO<sub>2</sub>, CO, HC και NO<sub>x</sub>) μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας τον αναλυτή 5 αερίων. Επίσης, το ποσοστό του υγραερίου στη βενζίνη σημαίνει ότι η καύση μετατοπίστηκε προς την πλήρη φάση και τα "πιο πράσινα" προϊόντα εξάτμισης απελευθερώθηκαν στη συνέχεια στην ατμόσφαιρα. Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, σε υψηλή σχετική αναλογία αέρα-καυσίμου, η ποσότητα NO<sub>x</sub> που μετρήθηκε ήταν πολύ υψηλότερη, το HC δείχνει επίσης σημαντική μείωση καθώς η σχετική αναλογία αέρα-καυσίμου υπερβαίνει τη στοιχειομετρική (Pundkar, et. al., 2012).

### **3.2 Χαρακτηριστικά απόδοσης και καύσης**

Οι συγκρίσεις αποκαλύπτουν ότι μπορεί να γίνουν σημαντικές μειώσεις των εκπομπών καυσαερίων όταν οι κινητήρες SI που τροφοδοτούνται με υγραέριο λειτουργούν υπό συνθήκες ίδιες με εκείνες για τους κινητήρες SI που τροφοδοτούνται με βενζίνη.

Η χαμηλότερη θερμογόνος δύναμη, η οποία γενικά περιγράφεται ως η ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται από την τέλεια καύση ενός κιλού καυσίμου, θεωρείται κρίσιμη μέτρηση για την αξιολόγηση του υγραερίου ως καυσίμου. Πρέπει να αναφερθεί ότι ενώ η βενζίνη πιστεύεται ότι έχει χαμηλότερη θερμογόνος δύναμη 10.420 Kcal/kg, το υγραέριο έχει χαμηλότερη θερμογόνος δύναμη 11.000 Kcal/kg. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη των πλέον συνηθέστερων καυσίμων των οχημάτων.

**Πίνακας 1: Σύγκριση θερμογόνου δύναμης καυσίμων**

<b>Τύπος Καυσίμου</b>	<b>Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (Kcal/kg)</b>
LPG	11.000
Βενζίνη	10.420
Πετρέλαιο	10.300
Φυσικό Αέριο	11.400

(Pundkar, et. al., 2012)

Στοιχειομετρικό μίγμα: Σύμφωνα με τη στοιχειομετρική αναλογία του υγραερίου, η οποία είναι 15,5: 1 κατά βάρος, χρειάζονται ουσιαστικά 15,5 τεμάχια αέρα για να καεί πλήρως κάθε συστατικό του καυσίμου. Ενώ το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και έχει στοιχειομετρική αναλογία 17,4 kg αέρα/kg καυσίμου, η βενζίνη έχει αναλογία 14,7 kg αέρα/kg καυσίμου. Υπάρχουν λιγότερα γραμμάρια αερίου καυσίμου σε κάθε κύλινδρο από ό, τι για τη βενζίνη, επειδή ο στοιχειομετρικός συνδυασμός καυσίμου-αέρα για αέρια καύσιμα απαιτεί περισσότερο αέρα. Παρά το γεγονός ότι το αέριο καυσίμου έχει υψηλότερη θερμογόνου δύναμη από τη βενζίνη, πρέπει να τονιστεί ότι λιγότερο καύσιμο καίγεται και παράγεται λιγότερη ισχύς κατά τη διάρκεια κάθε θερμοδυναμικού κύκλου. Επιπλέον, ένας κινητήρας με υγραέριο μπορεί να έχει απώλεια ισχύος 10% έως 20% σε σύγκριση με έναν βενζινοκινητήρα, ανάλογα με τις περιστάσεις.

Αριθμός Οκτανίου: Τα αέρια καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητήρες με υψηλότερο λόγο συμπίεσης, δεδομένου ότι έχουν βαθμολογία οκτανίων υψηλότερη από τη βενζίνη ή μεγαλύτερη από 100. Το γεγονός αυτό, δύναται να οδηγήσει σε αύξηση της ισχύος του κινητήρα, με τον λόγο συμπίεσης να συνδέεται άμεσα με τα



γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κινητήρα, τα οποία δύναται να αλλάξουν μόνο εφόσον πραγματοποιηθούν σημαντικές παρεμβάσεις σ' αυτόν. Για να μπορέσει να περιοριστεί το φαινόμενο της προανάφλεξης, είναι αναγκαίο να ρυθμιστεί με τον κατάλληλο τρόπο το μίγμα προπανίου-βουτανίου. Η ιδανική αναλογία προπανίου-βουτανίου είναι μεταξύ 50% και 50% το καλοκαίρι και 70% προπάνιο έως 30% βουτάνιο το χειμώνα για την καταπολέμηση της εξάτμισης βουτανίου. Δημιουργείται κατηγοριοποίηση έναντι προ-ανάφλεξης / αυτοανάφλεξης στον πίνακα 2 παρακάτω.

**Πίνακας 2: Πίνακας ταξινόμησης έναντι της προανάφλεξης/αυτοανάφλεξης**

<b>Αριθμός Οκτανίων</b>	<b>Προπάνιο</b>	<b>Βουτάνιο</b>	<b>Ισοοκτάνιο ν-επτανίου</b>	<b>Βενζίνη</b>	<b>Βενζίνη (σούπερ)</b>
RON <sup>2</sup>	112	103	100	91-92	97-99
MON <sup>3</sup>	97	89	98	81-87	89-93

(Pundkar, et. al., 2012)

### **3.2.1 Ανάφλεξη**

Σε σύγκριση με άλλα καύσιμα, τα αέρια LP είναι σχετικά ασφαλή, 850-950 F (450-510 C) είναι η θερμοκρασία ανάφλεξης για προπάνιο, ενώ 495 F (257 C) είναι η θερμοκρασία ανάφλεξης για βενζίνη. Είναι λιγότερο επιρρεπές να αναφλεγεί αυθόρμητα ως αποτέλεσμα.

### **3.2.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**

Επί του παρόντος, τα ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία εμπορικών αυτοκινήτων υγραερίου. Η καύση υγραερίου παράγει CO<sub>2</sub>, ένα αέριο θερμοκηπίου. Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται επίσης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Ωστόσο, σε σύγκριση με τον άνθρακα ή το πετρέλαιο, τα οχήματα υγραερίου εκπέμπουν λιγότερο CO<sub>2</sub> ανά μονάδα ενέργειας. Παράγει ενέργεια με

<sup>2</sup>RON=Research Octane Number-Βενζινοκινητήρας, ερευνητικός αριθμός οκτανίων.

<sup>3</sup> MON=Motor Octane Number-Βενζινοκινητήρας, Αριθμός οκτανίων κινητήρα.

παραγωγή CO<sub>2</sub> ανά kWh που είναι 81% χαμηλότερη από εκείνη του πετρελαίου, 70% χαμηλότερη από εκείνη του άνθρακα και λιγότερο από 50% χαμηλότερη από εκείνη της ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα που παραδίδεται μέσω του δικτύου. Τα αυτοκίνητα LPG απελευθερώνουν λιγότερο άνθρακα ανά joule από το βουτάνιο, αλλά περισσότερο άνθρακα ανά joule από το προπάνιο, δεδομένου ότι είναι ένα μείγμα προπανίου και βουτανίου. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, τα αυτοκίνητα υγραερίου μπορούν να θεωρηθούν ως καύση πιο ξεκάθαρα από τους υδρογονάνθρακες μεγαλύτερου μορίου, καθώς σχετικά λίγα σωματίδια απελευθερώνονται κατά την καύση.

Τα τελευταία χρόνια, οι ακαδημαϊκοί έχουν κάνει εκτενή μελέτη σχετικά με τα εναλλακτικά καύσιμα για τη βιομηχανία μεταφορών. Τα βασικά κριτήρια για ένα βιώσιμο καύσιμο είναι η φιλικότητα προς το περιβάλλον και η οικονομική αποτελεσματικότητα. Σε αυτή τη μελέτη, η περιβαλλοντική επίδραση των εναλλακτικών και συμβατικών καυσίμων αυτοκινήτων συγκρίνεται χρησιμοποιώντας μια μεθοδολογία λίκνου με τάφο μέσω αξιολόγησης κύκλου ζωής σε επτά βασικές κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το ντίζελ, η βενζίνη, το CNG και το υγραέριο είναι παραδείγματα συμβατικών οχημάτων που εξετάζονται σε αυτή τη μελέτη. Τα αυτοκίνητα εναλλακτικών καυσίμων περιλαμβάνουν υδρογόνο, αμμωνία, μεθανόλη, EVs και PHEVs. Οι αξιολογήσεις πραγματοποιούνται από την κατασκευή επιβατικών αυτοκινήτων μέχρι τη διάθεσή τους, συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας του οχήματος. Σε όλες τις περιοχές περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τα δεδομένα αποκαλύπτουν ότι τα οχήματα υδρογόνου είναι η πιο φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση. Η αμμωνία, ως βιώσιμο και καθαρό καύσιμο, έχει το χαμηλότερο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη μετά τα ηλεκτρικά οχήματα και παράγει χαμηλότερες τιμές εξάντλησης της στιβάδας του όζοντος από τα ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο, εάν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται τόσο για αυτοκίνητα αμμωνίας όσο και για ηλεκτρικά οχήματα, η αμμωνία μπορεί να έχει μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αν και τα ηλεκτρικά οχήματα δεν παράγουν άμεσο CO<sub>2</sub> κατά τη λειτουργία, η ανάπτυξη και η απόρριψη των μπαταριών έχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως όξυνση, ευτροφισμός και ανθρώπινη τοξικότητα. Η χρήση μονοπατιών μη ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας και τη λειτουργία EV και PHEV μπορεί να μειώσει ακόμη περισσότερο τις συνολικές

περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επειδή η παραγωγή μεθανόλης βασίζεται κυρίως στο φυσικό αέριο, έχει το μεγαλύτερο δυναμικό για την υπερθέρμανση του πλανήτη. Είναι αποφασισμένο ότι για να υπάρχει βιώσιμη και καθαρή μεταφορά, η διαδικασία κατασκευής αυτοκινήτων, μπαταριών και κυρίως εναλλακτικών καυσίμων πρέπει να είναι φιλική προς το περιβάλλον (Bicer and Dincer, 2018).

### **3.2.3 Ενέργεια**

Τα αυτοκίνητα υγραερίου έχουν χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα όγκου αλλά συγκριτικά υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα μάζας. Ως αποτέλεσμα, οι δεξαμενές καυσίμων για αυτοκίνητα υγραερίου είναι μεγαλύτερες και βαρύτερες από αυτές για βενζίνη ή ντίζελ, αν και η γκάμα τους είναι συγκρίσιμη με εκείνη των βενζινοκίνητων οχημάτων. Στις δοκιμές αυτοκινήτων υγραερίου δύο καυσίμων, οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μειώθηκαν κατά περίπου 15%. Ως ένα από τα υπό εξέταση εναλλακτικά καύσιμα, το υγραέριο έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει το 10% της τρέχουσας χρήσης πετρελαίου, καθώς και σημαντικά χαμηλότερο CO<sub>2</sub> και επιβλαβείς εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

### **3.2.4 Προβλήματα που προκύπτουν**

Δεδομένου ότι το υγρό υδρογόνο έχει εξαιρετικά χαμηλό σημείο βρασμού (-252,88 °C), είναι δύσκολο να διατηρηθεί σε αυτήν την κατάσταση. Εξατμίζεται όταν θερμαίνεται. Μια μικρή ποσότητα καυσίμου χάνεται και κάποιο αέριο πρέπει να αποφορτιστεί. Δεν συνιστάται δεδομένου ότι είναι επικίνδυνο, αυτοί οι κινητήρες δεν ακούγονται ωραία πάνω από 9000 σ.α. λ. και αισθάνεται σαν να πηγαίνετε πάνω από τον περιοριστή σε υψηλές ταχύτητες σε ένα μαξιλάρι. Κατά συνέπεια, η απώλεια ισχύος αυξήθηκε από 5% σε 50% λιγότερο. τα αυτοκίνητα υγραερίου χρειάζονται περισσότερο καύσιμο για να παράγουν έναν συγκεκριμένο αριθμό ισχύος από ό, τι τα βενζινοκίνητα οχήματα, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα χειρότερη οικονομία. Οι αποκλειστικοί κινητήρες υγραερίου μπορεί να λειτουργούν με υψηλότερο CR, καθώς η βενζίνη υψηλότερου οκτανίου δεν παρέχει μεγαλύτερη ισχύ.

### 3.2.6 Κόστος

Αν και οι ιδιοκτήτες θα εξοικονομήσουν μόνο 35 Τάκα<sup>4</sup> ανά λίτρο σε σύγκριση με ένα αστυνομικό αυτοκίνητο, τα αυτοκίνητα με φυσικό αέριο εμπίπτουν στην κατηγορία "εναλλακτικά καύσιμα" για "οδικό φόρο" (ειδικός φόρος κατανάλωσης οχημάτων). Ως αποτέλεσμα της φθίνουσας δημοτικότητας αυτών των καυσίμων, των εξελίξεων που γίνονται στους συμβατικούς κινητήρες και της σχετικής έλλειψης εγκαταστάσεων αναπλήρωσης, τα ποσοστά απόσβεσης τόσο για τα οχήματα υγραερίου όσο και για το φυσικό αέριο είναι σήμερα κάπως υψηλότερα από αυτά για τα βενζινοκίνητα οχήματα.

### 3.2.7 Μεταφορές με LPG

Αρχικά θα πρέπει να σημειωθεί ότι το LPG βρίσκει πολλές χρήσεις σε οικιακό επίπεδο, όπως επίσης και στον τομέα της βιομηχανίας, αλλά και στις εμπορικές επιχειρήσεις. Η ανάπτυξη των κινητήρων LPG ξεκίνησε και επεκτάθηκε κατά κύριο λόγο για εξοικονόμηση κόστους στη λειτουργία των οχημάτων. Αξιοσημείωτο δε, είναι το γεγονός ότι οι κινητήρες LPG είχαν αρχίσει να κατασκευάζονται εξήντα χρόνια περίπου. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το καύσιμο LPG υπερτερεί τόσο οικονομικά, όσο και περιβαλλοντικά έναντι της βενζίνης, αλλά και του πετρελαίου κίνησης. Στην Ελλάδα, το LPG άρχισε να χρησιμοποιείται από επαγγελματίες οδηγούς ταξί το 1974, ενώ εξαιτίας του θεσμικού πλαισίου που επικρατούσε υπήρχαν αρκετά προβλήματα στην εφαρμογή της εν λόγω τεχνολογίας. Ακολούθως, το 1999, όπως προβλεπόταν με τον Ν. 2773, επιτράπηκε η υγραεριοκίνηση σε όλους τους τύπους οχημάτων.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι υγραεριοκίνητα αυτοκίνητα ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, όπου η πρώτη αφορά τα εργοστασιακά αυτοκίνητα και η δεύτερη αυτά που είναι μετασκευασμένα βενζινοκίνητα ή πετρελαιοκίνητα και προέρχονται από τη μετατροπή υφιστάμενων αυτοκινήτων, έτσι ώστε να μπορούν να καίνε LPG. Το μεγαλύτερο ποσοστό των υφιστάμενων οχημάτων που μετατρέπονται σε υγραεριοκίνητα λειτουργούν με καύσιμο τη βενζίνη, καθώς το όφελος που προκύπτει από τα οχήματα πετρελαίου θεωρείται περιορισμένο. Στα οχήματα που έχει γίνει μετατροπή των κινητήρων τους σε LPG, υπάρχει σχετικός διακόπτης, ο οποίος παρέχει

---

<sup>4</sup> Τάκα είναι η βασική νομισματική μονάδα του Μπαγκλαντές, ίση με 100 poisha.

τη δυνατότητα στον οδηγό του αυτοκινήτου να προβαίνει σε αλλαγή καυσίμου, όταν αυτός θεωρήσει ότι κάτι τέτοιο είναι σκόπιμο, ενώ η αλλαγή αυτή μπορεί να γίνει ακόμη και εν κινήσει. Για τη μετατροπή υφιστάμενου κινητήρα σε LPG, γίνεται τοποθέτηση ενός επιπλέον συστήματος ψεκασμού, καθώς επίσης και τοποθέτηση μιας δεύτερης δεξαμενής καυσίμου, η οποία προσφέρει επιπλέον αυτονομία σε αυτή που προσφέρει η δεξαμενή βενζίνης.

Η χρήση του LPG σε επίπεδο Ευρώπης, επεκτείνεται λαμβάνοντας υπόψη τις υψηλές τιμές των συμβατικών καυσίμων, καθώς επίσης και τις έντονες ανησυχίες που υπάρχουν για τη κλιματική αλλαγή, καθώς και τη γενικότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Οι πολίτες-χρήστες των οχημάτων απαιτούν ασφαλή πρόσβαση σε οικονομικά ανεκτά καύσιμα, ενώ συνάμα επιδιώκουν οι ενέργειές τους να μην επιβαρύνουν το περιβάλλον σημαντικά.

### **3.2.8 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα LPG**

Η χρήση του LPG στα οχήματα συνοδεύεται από ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, με τα πλεονεκτήματα να είναι περισσότερα από τα μειονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση του LPG είναι τα ακόλουθα:

#### **Πλεονεκτήματα**

- Το καύσιμο LPG διαθέτει μεγαλύτερο αριθμό οκτανίων σε σχέση με τη βενζίνη, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη αντίσταση στην αυτανάφλεξη, είτε την προανάφλεξη σε σχέση με την βενζίνη.
- Το LPG είναι περισσότερο φιλικό προς το περιβάλλον, σε σχέση με τη βενζίνη ή το πετρέλαιο, λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές ρύπων που παράγονται από τους αντίστοιχους κινητήρες.
- Η καύση υγραερίου παράγει καυσαέρια με 60% λιγότερο μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και 50% λιγότερους άκαυστους υδρογονάνθρακες (HC).
- Υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής της τεχνολογίας LPG σε όλα τα βενζινοκίνητα οχήματα και ανάλογα με τον τύπο αυτών, επιλέγονται και τα κατάλληλα συστήματα LPG.

- Τα καύσιμα από υγραέριο δεν μπορούν να αλλοιωθούν τόσο εύκολα όσο τα καύσιμα από πετρέλαιο και βενζίνη.
- Σε σύγκριση με τη βενζίνη και το ντίζελ, το υγραέριο είναι λιγότερο ακριβό.
- Το σύστημα υγραερίου υφίσταται συντήρηση ρουτίνας σε ακανόνιστα διαστήματα ή περίπου κάθε 20.000 έως 30.000 χιλιόμετρα, ενώ εκτός από τον γενικό έλεγχο, είναι αναγκαίο να υπάρχει στα χιλιόμετρα αυτά αλλαγή του φίλτρου LPG. Το κόστος της αλλαγής αυτής θεωρείται ιδιαίτερα χαμηλό.
- Το καύσιμο LPG θεωρείται εξίσου ασφαλές σε σχέση με την βενζίνη, καθώς στην ύπαρξη πιθανής διαρροής, το αέριο διαχέεται στο περιβάλλον και δε συγκεντρώνεται στο γύρω χώρο, όπως συμβαίνει με τα υγρά καύσιμα.
- Λόγω της καθαρότερης, αλλά και της πλήρους καύσης του υγραερίου, που δεν αφήνει υπολείμματα, ο κινητήρας, όπως και ο καταλυτικός μετατροπέας του αυτοκινήτου, έχει λιγότερη φθορά, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η ζωή του κινητήρα, αλλά και του ίδιου του καταλυτικού μετατροπέα.
- Επειδή η αυτονομία που παράγεται από το σύστημα υγραερίου είναι επιπλέον της αυτονομίας που παρέχεται από τον βενζινοκινητήρα, τα οχήματα εξοπλισμένα με υγραέριο έχουν διπλάσια αυτονομία.
- Δεδομένου ότι το υγραέριο δεν είναι διαλυτό στο νερό, δεν μολύνει τις υπόγειες προμήθειες.

### **Μειονεκτήματα**

- Η εγκατάσταση του συστήματος LPG σε αυτοκίνητα που βρίσκονται ήδη σε κυκλοφορία έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται ο χώρος αποσκευών, είτε να υπάρχει απουσία εφεδρικού τροχού ανάγκης εξαιτίας της τοποθέτησης της δεξαμενής του LPG. Ακόμη, δεν θα πρέπει να παραβλέπετε το γεγονός ότι η προσθήκη αυτή έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται επιπλέον βάρος στο αυτοκίνητο.
- Δεδομένου ότι το υγραέριο είναι βαρύτερο από τον αέρα, θα περιοριζόταν μέσα σε περίπτωση διαρροής, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει στο σχηματισμό ενός καύσιμου συνδυασμού. Σε κλειστούς χώρους στάθμευσης και σε γκαράζ με ανεπαρκή εξαερισμό, αυτό δημιουργεί σοβαρά ζητήματα.
- Το βάρος της δεξαμενής καυσίμου για το υγραέριο είναι μεγαλύτερο από το βάρος της δεξαμενής για τα συμβατικά καύσιμα, καθώς το υγραέριο διατηρείται υπό

υψηλότερη πίεση και η αύξηση του βάρους συσχετίζεται άμεσα με την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου.

- Δεδομένου ότι η αναλογία προπανίου προς βουτάνιο στο υγραέριο ποικίλλει ανάλογα με την εποχή (καλοκαίρι έναντι χειμώνα), τα συστήματα υγραερίου δεν διαθέτουν αισθητήρα που μπορεί να μετρήσει αυτόν τον λόγο. Σε περίπτωση που υπάρξει απόκλιση της αναλογίας αυτής, τότε μπορεί να υπάρξει μια ζημία στον κινητήρα.

- Η καύση υγραερίου σε κινητήρες αυτοκινήτων έχει ως αποτέλεσμα λιγότερες εναποθέσεις και μειώνει την πιθανότητα περαιτέρω ψεκασμού καυσίμου (συσσωμάτωση). Επιπλέον, σε σύγκριση με έναν βενζινοκινητήρα, ο θάλαμος καύσης και το ηλεκτρόδιο μπουζί θερμαίνονται περισσότερο κατά την καύση υγραερίου, επιτρέποντας τη χρήση της πιο ψυχρής τάσης ανάφλεξης.

- Η ανακυκλοφορία καυσαερίων (EGR), η οποία μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών οξειδίου του αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογονανθράκων, μπορεί να γίνει ανεκτή σε μεγαλύτερα επίπεδα από έναν προσεκτικά κατασκευασμένο κινητήρα. Από την άλλη, ένας κινητήρας που έχει μετασκευαστεί για τη χρήση από LPG, με δυσκολία μπορεί να πετύχει την αναμενόμενη μείωση των καυσαερίων.

- Οι κινητήρες υγραερίου λιπαίνονται σημαντικά λιγότερο από τους βενζινοκινητήρες, καθώς το υγραέριο έχει λιγότερα λιπαντικά χαρακτηριστικά από τη βενζίνη. Ως αποτέλεσμα, ορισμένα μέρη γίνονται θερμότερα από ό, τι προορίζονταν να είναι όταν σχεδιάστηκαν ως κινητήρες καύσης καθαρής βενζίνης. Για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος γίνεται χρήση κάποιας επιπρόσθετης λιπαντικής διάταξης.

- Η θερμοκρασία λειτουργίας που δηλώνει ο κατασκευαστής μπορεί να ξεπεραστεί σημαντικά λόγω διακυμάνσεων στις διαδικασίες ανάφλεξης και καύσης βενζίνης και υγραερίου. Λόγω της αυξημένης θερμικής διαστολής, το γεγονός αυτό προκαλεί την υποβάθμιση των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής σε ορισμένους τύπους κινητήρων οχημάτων. Σε σύγκριση με τα αντίστοιχά του όπου τα ωστήρια είναι μηχανικά ρυθμιζόμενα, οι κινητήρες με υδραυλικά ωστήρια δεν παρουσιάζουν σημαντική φθορά βαλβίδων.

- Η πραγματική απόδοση του κινητήρα μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά σε κάποιο βαθμό από την καύση υγραερίου. Η βενζίνη παίρνει θερμότητα από τον κύλινδρο για να εξατμιστεί και να συμμετάσχει στη διαδικασία καύσης, η οποία βοηθά τον κύλινδρο

να κρυώσει. Αυτή η ενέργεια, η οποία είναι ισοδύναμη με την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του καυσίμου, βοηθά στην ψύξη του μείγματος και του κυλίνδρου, γεγονός που μειώνει την αρχική θερμοκρασία συμπίεσης και βελτιώνει τον πραγματικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα. Από την άλλη πλευρά, επειδή το καύσιμο υγραερίου βρίσκεται ήδη σε αέρια κατάσταση όταν χρησιμοποιείται, δεν συμβάλλει στην ψύξη του μείγματος ή του κυλίνδρου μέσω εξάτμισης.

- Το Υγραέριο έχει χαμηλότερη πυκνότητα από οποιοδήποτε άλλο υγρό καύσιμο σε συστήματα αερίου τύπου, το οποίο προκαλεί μια συγκεκριμένη μάζα να γεμίσει ένα αρκετά μεγάλο τμήμα του θαλάμου καύσης. Η ποσότητα του μείγματος που μπορεί να τοποθετηθεί στον κύλινδρο κατά τη χρήση υγραερίου μειώνεται, με αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας μηχανικής προσπάθειας που μπορεί να δημιουργηθεί ανά μονάδα όγκου κινητήρα.

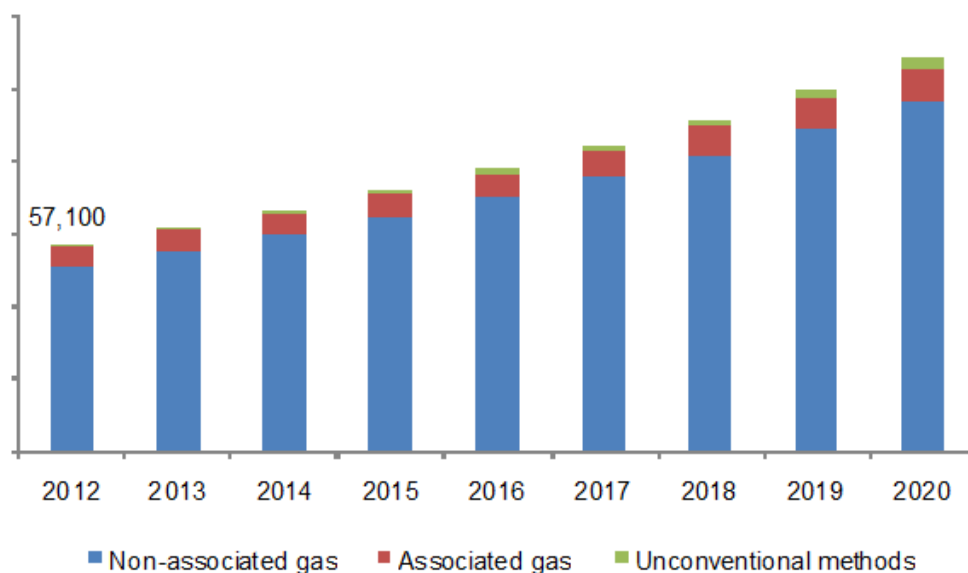
- Δεδομένου ότι δεν υπήρχε ηλεκτρονικός έλεγχος κατά την ανάπτυξη της πρώτης γενιάς συστημάτων υγραερίου, η μόνη ρύθμιση που θα μπορούσε να γίνει ήταν μέσω του μειωτήρα πίεσης της εγκατάστασης, όπου ελέγχεται ένας συγκεκριμένος λόγος διαστολής υγραερίου. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει υψηλή κατανάλωση LPG, καθώς επίσης και υψηλότερες εκπομπές καυσαερίων, ενώ μπορεί ο κινητήρας στη περίπτωση αυτή να μην είναι σε θέση να ανταπεξέλθει σε συνθήκες υψηλού φορτίου, δημιουργώντας συνθήκες προανάφλεξης καυσίμου.

#### **4. Μελέτη οχημάτων CNG**

Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) παράγεται με συμπίεση μεθανίου για την αποθήκευση υψηλών πιέσεων. Το CNG παράγεται και αποθηκεύεται, όπως το υγρό υδρογόνο. Οι φυσικές ιδιότητες του φυσικού αερίου απαιτούν ο λόγος συμπίεσης του κινητήρα να είναι υψηλότερος από ό, τι στους κανονικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης και η υψηλότερη συμπίεση καθιστά μεγαλύτερη απόδοση. Το φυσικό αέριο έχει επίσης μια υψηλότερη εκτίμηση οκτανίων, έτσι μπορεί να καεί σε μία υψηλότερη θερμοκρασία, μειώνοντας το χτύπημα του κινητήρα. Φυσικά, αυτοί οι κινητήρες δεν παράγουν σχεδόν καθόλου εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και το καύσιμο μπορεί να παραχθεί χωρίς περίπλοκες διαδικασίες βελτίωσης. Δεδομένου ότι παράγεται λίγος άνθρακας στην καύση φυσικού αερίου, ο κινητήρας και το λάδι διατηρούνται πολύ καθαρότερα από ό, τι θα συνέβαινε εάν μόνο η βενζίνη καίγεται και έτσι αυξάνεται η



διάρκεια ζωής του κινητήρα. Το φυσικό αέριο είναι φθηνότερο από τη βενζίνη, αλλά το CNG σε τυπικές πιέσεις απαιτεί συχνότερο ανεφοδιασμό, επειδή περιέχει μόνο το ένα τέταρτο της ενέργειας ανά μονάδα όγκου βενζίνης. Υπάρχουν πολλοί τύποι CNG αυτοκινήτων, φορτηγών, ανυψωτικών φορτηγών, τριών τροχών, λεωφορείων, φορτηγών, τρένων, πλοίων, αεροσκαφών κλπ.



*Εικόνα 2 Παγκόσμιες εκτιμήσεις και προβλέψεις της αγοράς CNG ανά πηγή, 2012-2020 (εκατομμύρια κυβικά μέτρα)*

(Han et. al., 2016)

Αρκετές τεχνολογικές προσεγγίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή μεθανόλης από φυσικό αέριο. Μείγματα χαμηλής αναλογίας μεθανόλης-βενζίνης, που συνήθως περιέχουν 5-15 τοις εκατό μεθανόλη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας σε κανονικά βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Μίγματα υψηλής αναλογίας, συχνά με αναλογίες μεθανόλης άνω του 85%, και καθαρή μεθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο με επισκευή κινητήρα. Το κύριο πλεονέκτημα των οχημάτων μεθανόλης είναι το φθινό κόστος ιδιοκτησίας τους. Η μετασκευή αυτοκινήτων κοστίζει μεταξύ \$ 500 και \$ 1.000 ανά όχημα. Το κόστος καυσίμου είναι συνήθως 30-50 τοις εκατό μικρότερο από αυτό ενός βενζινοκίνητου αυτοκινήτου. Τα οχήματα μεθανόλης δεν απαιτούν πρόσθετη υποδομή, δεδομένου ότι η μεθανόλη μπορεί να παραδοθεί και να παρασχεθεί χρησιμοποιώντας υπάρχουσα υποδομή επαναπλήρωσης πετρελαίου. Ωστόσο, από ενεργειακή και περιβαλλοντική άποψη, η οδός μεθανόλης έχει μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας κύκλου ζωής και εκπομπές αερίων του

θερμοκηπίου από τις διαδρομές CNG και LNG λόγω απωλειών απόδοσης στη διαδικασία παραγωγής μεθανόλης (Han et. al., 2016).

#### **4.1 Χαρακτηριστικά του κινητήρα CNG**

Αναλυτικότερα, το αυτοκίνητο με τον κινητήρα CNG έχει πολλές δυνατότητες για τα εξής: ένας τύπος καυσίμου αερίου με οκτάνιο υψηλότερο από 120 ονομάζεται συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG). Το CNG έχει ένα εξαιρετικά ισχυρό περίβλημα για αντοχή σε κραδασμούς. Ο κινητήρας CNG είναι ικανός να λειτουργεί σταθερά και ομαλά ενώ κάνει πολύ λίγο θόρυβο καθ ' όλη τη λειτουργία του. Από τη μία πλευρά, το λιπαντικό λάδι στον κινητήρα αραιώνεται κάπως από το CNG. Αντίθετα, το CNG έχει έναν εξαιρετικό θάλαμο καύσης και καμία συσσώρευση άνθρακα στον κύλινδρο αέρα. Επιπρόσθετα, η εκκίνηση του εξομοιωτή CNG στο κρύο είναι καταπληκτική. Σε σύγκριση με ένα αυτοκίνητο με βενζινοκινητήρα, αυτό με κινητήρα CNG επιταχύνει κάπως λιγότερο γρήγορα. Ο μεταλλικός μολυβδος ή το σουλφίδιο δεν υπάρχουν στην εξάτμιση του οχήματος με τον κινητήρα CNG. Η ποσότητα CO στην εξάτμιση από έναν κινητήρα CNG είναι 97 τοις εκατό μικρότερη από εκείνη ενός βενζινοκινητήρα και η ποσότητα υδρογονάνθρακα είναι 72% μικρότερη από εκείνη ενός βενζινοκινητήρα. Επιπλέον, η ποσότητα οξειδίου του αζώτου στα καυσαέρια από έναν κινητήρα CNG είναι 39% χαμηλότερη από εκείνη ενός βενζινοκινητήρα. Ως αποτέλεσμα, ο κινητήρας CNG συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση του περιβάλλοντος. Το CNG έχει βαθμολογία οκτανίων άνω των 120, καθιστώντας το πιο ισχυρό από έναν βενζινοκινητήρα. Ακόμη και η βενζίνη με τη χαμηλότερη βαθμολογία οκτανίων του ανώτερου επιπέδου είναι μόνο 97.

#### **4.2 Χαρακτηριστικά απόδοσης και καύσης**

##### **4.2.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**

Σε σύγκριση με άλλα καύσιμα, τα οχήματα που κινούνται με CNG απελευθερώνουν περίπου 90% λιγότερο μονοξείδιο του άνθρακα. Τα επίπεδα οξειδίου του αζώτου είναι 40 έως 50 τοις εκατό χαμηλότερα, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι περίπου 25 τοις εκατό χαμηλότερες από άλλα καύσιμα και οι εκπομπές υδρογονανθράκων (μη μεθανίου) είναι περίπου 60 τοις εκατό χαμηλότερες.

## 4.2.2 Κόστος

Το CNG είναι tk 26.00 / m<sup>3</sup> στην τιμή. Ως εκ τούτου, το CNG είναι περίπου 10% λιγότερο δαπανηρό για την αγορά. Το κόστος της βενζίνης αυξάνεται σταθερά τα τελευταία τρία χρόνια. Επιπλέον, οι τιμές έχουν αυξηθεί τόσο υψηλές όσο το tk. 100 από τον Ιούνιο του 2014, αύξηση 38,57% από την tk. 92 τον Οκτώβριο του 2013 λίγο πριν την απορρύθμιση. Το κόστος CNG αυξήθηκε κατά 46, 11% κατά την ίδια χρονική περίοδο, από την tk. 19 TK. 26, ωστόσο, εξακολουθούν να είναι εξαιρετικά λογικές.

## 4.3 Παρούσα και μελλοντική κατάσταση

Το CNG είναι ήδη το απαιτούμενο καύσιμο για λεωφορεία που χρησιμοποιούνται για τις δημόσιες συγκοινωνίες. Όλα τα επαγγελματικά οχήματα ηλικίας άνω των οκτώ ετών πρέπει να τροποποιηθούν ώστε να λειτουργούν με συμπιεσμένο φυσικό αέριο. Ο αντίκτυπος αυτών των μετατροπών στη μείωση της ρύπανσης σε αυτές τις πόλεις ήταν μεγαλύτερος.

## 4.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του CNG

### Πλεονεκτήματα

- Το CNG μειώνει τους επικίνδυνους ρύπους και μερικές φορές αναφέρεται ως "πράσινο καύσιμο" επειδή είναι απαλλαγμένο από μόλυβδο και θείο. Η διάρκεια ζωής του μπουζί αυξάνεται. Η ρύπανση από μόλυβδο των μπουζί και οι εκπομπές μολύβδου ή βενζολίου εξαλείφονται επειδή το CNG δεν περιέχει ούτε μόλυβδο ούτε βενζόλιο.
- Λόγω των χαρακτηριστικών του, το CNG είναι ένα ασφαλές καύσιμο. Υπάρχει πολύ μικρός κίνδυνος διαρροής επειδή διατηρείται σε εγκεκριμένους κυλίνδρους χωρίς ραφή. Δεδομένου ότι είναι ελαφρύτερο από τον αέρα, σε περίπτωση διαρροής, απλώς ανεβαίνει στην επιφάνεια, διασκορπίζεται στο περιβάλλον και αναμιγνύεται εξίσου με τον περιβάλλοντα αέρα.
- Δεδομένου ότι το CNG έχει υψηλή θερμοκρασία αυτόματης ανάφλεξης (540 βαθμοί Κελσίου) και περιορισμένο εύρος ευφλεκτότητας (5% -15%), είναι λιγότερο επιρρεπές σε αυθόρμητη ανάφλεξη σε θερμαινόμενες επιφάνειες. Με

άλλα λόγια, δεν θα καεί εάν η συγκέντρωση CNG του αέρα είναι είτε κάτω από 5% είτε πάνω από 15%. Η τυχαία ανάφλεξη ή καύση είναι εξαιρετικά απίθανη λόγω της υψηλής θερμοκρασίας ανάφλεξης και του στενού εύρους ευφλεκτότητας.

- Σε σύγκριση με τα αυτοκίνητα που κινούνται με άλλα καύσιμα, τα οχήματα που κινούνται με CNG έχουν σχετικά χαμηλό λειτουργικό κόστος.
- Το όχημα CNG μπορεί να λειτουργεί τόσο με CNG όσο και με βενζίνη.
- Λόγω του γεγονότος ότι το CNG δεν μολύνει ή αραιώνει λάδι στροφαλοθαλάμου, τα λιπαντικά έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

### **Μειονεκτήματα**

- Οι ιδιοκτήτες οχημάτων CNG πρέπει πρώτα απ' όλα να ασχολούνται με μια περιορισμένη περιοχή εκκίνησης.
- Η μειωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα του CNG. Έχει αισθητή απώλεια ισχύος.
- Η μεταπώληση είναι δύσκολη διότι συνήθως υπάρχει πτώση τιμών.
- Ένα άλλο ένα από τα μειονεκτήματα του CNG είναι ότι θα πρέπει ο κάτοχος του αυτοκινήτου να περιμένει περισσότερο για να φουλάρει το αυτοκίνητο

## **5. Οριακό σημείο**

### **5.1 Ογκομετρική Ενεργειακή Πυκνότητα**

Η ποσότητα ενέργειας που αποθηκεύεται σε ένα συγκεκριμένο σύστημα ή Περιοχή χώρου ανά μονάδα όγκου ή μάζας αναφέρεται ως ενεργειακή πυκνότητα. Στο τέλος, η ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα καθορίζει την ευκολία χρήσης. Η ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα του CNG είναι 9 MJ / L, η ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα του LPG είναι 25 MJ / L.

### **5.2 Παραγόμενη Ενέργεια**

Η ποσότητα θερμότητας που εκπέμπεται κατά την καύση μιας ορισμένης ποσότητας υλικού αναφέρεται ως θερμαντική αξία. Η ενεργειακή αξία είναι ιδιοκτησία κάθε υλικού. Εκφράζεται σε μονάδες ενέργειας ανά μονάδα υλικού, συχνά μάζας, όπως kJ/kg, kJ/mole, kcal/kg και Btu/lb. Το υγραέριο που εξατμίζεται σε Ατμοσφαιρική

πίεση έχει μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη (94 MJ/m<sup>3</sup> ή 26,1 kWh/m<sup>3</sup>) από το CNG που εξατμίζεται σε Ατμοσφαιρική πίεση (38 MJ/m<sup>3</sup> ή 10,6 kWh/m<sup>3</sup>). Ως αποτέλεσμα, το υγραέριο παράγει περισσότερη ενέργεια από την ίση ποσότητα CNG.

### 5.3 Σύγκριση Καυσίμων

Ο πίνακας 3 δείχνει τη διαθεσιμότητα, την υποδομή, την πίεση αποθήκευσης, τον τύπο καυσίμου, την ονομαστική τιμή οκτανίων και τις διαφορές θερμογόνου δύναμης μεταξύ CNG και υγραερίου σε αυτόν τον τομέα.

### 5.4 Περιβάλλον

Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο, από την άλλη πλευρά, είναι ένα αέριο καθαρής καύσης που εκπέμπει λιγότερες εκπομπές θερμοκηπίου από το υγραέριο. Μεταξύ των εναλλακτικών kit είναι οι ανοιχτοί βρόχοι, τα απλούστερα και φθηνότερα kit CNG και LPG διαθέσιμα. Όπως υποδηλώνει το όνομα, το kit περιλαμβάνει έναν ανοιχτό βρόχο που δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στους ρύπους. Στη συνέχεια, υπάρχει το kit κλειστού βρόχου, το οποίο επιθεωρεί τα καυσαέρια χρησιμοποιώντας αισθητήρες και ρυθμίζει τον όγκο του αερίου εισαγωγής για να περιορίσει τη ρύπανση. Σε περίπτωση διαρροής, το CNG είναι επίσης ασφαλέστερο από άλλα καύσιμα επειδή το φυσικό αέριο, που είναι ελαφρύτερο από τον αέρα, διασκορπίζεται γρήγορα.

*Πίνακας 3 Σύγκριση καυσίμων μεταξύ CNG και LPG*

<b>Καύσιμο</b>	<b>LPG</b>	<b>CNG</b>
<b>Διαθεσιμότητα</b>	Διατίθεται σε 14 πόλεις	Διαθέσιμο σε 36 πόλεις
<b>Υποδομή</b>	Πρατήριο καυσίμων	Δίκτυο αγωγών
<b>Πίεση αποθήκευσης</b>	70-80 psi	3000 psi
<b>Τύπος καυσίμου</b>	Υγρό όταν αποθηκεύεται υπό πίεση	Συμπιεσμένο αέριο
<b>Εκτίμηση οκτανίων</b>	110 οκτανίων	130 οκτανίων

<b>Θερμαντική αξία</b>	24.9 MJ/λίτρο	21 MJ/ λίτρο
------------------------	---------------	--------------

(Karim and Wierzba, 1983)

Σε σύγκριση με τα καύσιμα βενζίνης και ντίζελ, το φυσικό αέριο εκπέμπει σημαντικά λιγότερο CO και άλλους ρύπους. Οι κινητήρες φυσικού αερίου, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία και τη γεωργία για πολλά χρόνια, γενικά αναφλέγονται με σπινθήρα (Gas Research Institute Digest, 1988). Ως αποτέλεσμα, η μετατροπή των σημερινών βενζινοκινητήρων σε χρήση φυσικού αερίου είναι μάλλον απλή. Οι κινητήρες ντίζελ, σε αντίθεση με τους βενζινοκινητήρες, αναφλέγουν το καύσιμο συμπιέζοντάς το αντί να χρησιμοποιούν μπουζί. Λόγω αυτής της διάκρισης, απαιτούνται περισσότερες αλλαγές για την ενσωμάτωση φυσικού αερίου σε κινητήρα ντίζελ. Το CNG συνδυάζεται με τον αέρα πιο διεξοδικά και κατανέμεται στους κυλίνδρους πιο ομοιόμορφα από τη βενζίνη. Ως αποτέλεσμα, οι κινητήρες CNG λειτουργούν πιο ομαλά και απαλά (Karim and Wierzba, 1983). Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας ανάφλεξης, το CNG είναι πολύ λιγότερο πιθανό να εκραγεί. Επειδή το CNG παραμένει σε αέρια κατάσταση, φαίνεται ότι δεν υπάρχει πρόβλημα ψυχρής εκκίνησης για έναν καλά συντονισμένο κινητήρα CNG που παρέχει τις σωστές αναλογίες όγκου και Καυσίμου Αέρα (McGeer and Durbin, 1982). Το CNG προσφέρει την υψηλότερη βαθμολογία οκτανίων, επιτρέποντας υψηλότερες αναλογίες συμπίεσης και περισσότερη ισχύ από τους βενζινοκινητήρες. Επειδή το CNG είναι αέριο καύσιμο, μετατοπίζει τον αέρα, περιορίζοντας την ποσότητα οξυγόνου που είναι διαθέσιμη για καύση και ενδεχομένως μειώνοντας τη μέγιστη ισχύ του κινητήρα κατά 10%.

### **5.5 Απώλεια ισχύος**

Τα μικρά αυτοκίνητα, όπως το Maruti Alto 800, παράγουν μόλις 46 ίππους και 62 Nm ροπής. Ο ιδιοκτήτης ενός αυτοκινήτου CNG θα χάσει περίπου το 15% της μέγιστης ισχύος, καθιστώντας το συγκρίσιμο με άλλους κινητήρες καυσίμων. Η απώλεια ισχύος στα οχήματα υγραερίου είναι λίγο μικρότερη, μόλις περίπου 10%, που ισοδυναμεί με 41,5 ίππους σε άλλους κινητήρες καυσίμων.

## 5.6 Σύγκριση εκπομπών

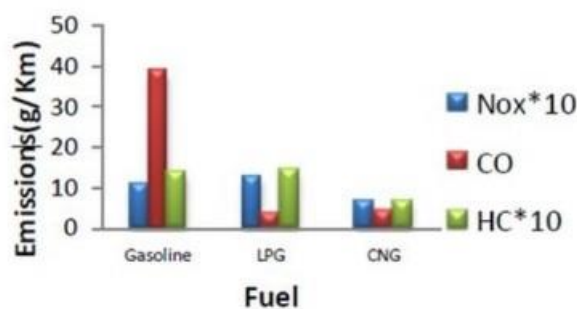
Τα αυτοκίνητα υγραερίου παρέχουν λιγότερα οφέλη στην ποιότητα του αέρα από τα οχήματα CNG, κυρίως επειδή οι εκπομπές υδρογονανθράκων είναι φωτοχημικά πιο αντιδραστικές και οι εκπομπές CO είναι μεγαλύτερες.

*Πίνακας 4 Επιβατικό αυτοκίνητο & βαρέων καθηκόντων εκπομπή μηχανών για το υγραέριο*

Τύπος οχήματος	NO <sub>x</sub>	NMHC	CO
Επιβατικό αυτοκίνητο (g/mile)	0.2	0.15	1
Βαρέων καθηκόντων μηχανή (g/ bhp-hr.)	2.8	0.5	23.2

(Aosaf, Wang and Du, 2022)

Το γράφημα απεικονίζει μια μελέτη σύγκρισης εκπομπών IANGV βενζίνης, υγραερίου και συμπιεσμένου φυσικού αερίου. Η μετάβαση από βενζίνη σε οχήματα LPG ή CNG μειώνει σημαντικά τις εκπομπές CO. Τα οχήματα CNG μειώνουν επίσης τις εκπομπές HC και NO<sub>x</sub>.



*Εικόνα 3 Περίληψη των εκπομπών με μη καταλυτικό όχημα*

(Aosaf, Wang and Du, 2022)

Ο συντελεστής εκπομπών (EF) είναι μια μέτρηση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εκπομπών αυτοκινήτων. Τα EFs για αυτοκίνητα υπό συνθήκες οδήγησης έχουν τεκμηριωθεί σε αρκετές έρευνες. Οι εκπομπές ρεταντί, από την άλλη πλευρά, δεν πρέπει να παραβλέπονται κατά τον ορισμό των πραγματικών εκπομπών οχημάτων σε πολυσύχναστες μητροπολιτικές πόλεις όπου το ρεταντί είναι ευρέως διαδεδομένο στο δρόμο. Αντίθετα, οι στατιστικές EF για τα αδρανή αυτοκίνητα, πολύ μόνο συγκρίσεις διαφορετικών καυσίμων, δεν τεκμηριώνονται σχεδόν στη βιβλιογραφία. Τα EFs των επιβατικών αυτοκινήτων που λειτουργούν με τέσσερα διαφορετικά καύσιμα δοκιμάστηκαν και συγκρίθηκαν σε αυτή τη μελέτη: βενζίνη, συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG), ντίζελ και υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG). CO, CO<sub>2</sub>, άκαυστος υδρογονάνθρακας (HC), και δεν συλλέχθηκαν δεδομένα εκπομπών για τον προσδιορισμό των EFs με βάση το καύσιμο σε μονάδες g ρύπων/kg καυσίμου που καίγεται. Τα EFs των τεσσάρων καυσίμων για CO, HC και NO συγκρίθηκαν. Λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> σε άπαχη λειτουργία σε σύγκριση με τις εκπομπές CO, τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα είχαν το μεγαλύτερο EF για CO, με μέση τιμή 35,12 21,37 g/kg καυσίμου. Πραγματοποιήθηκε μια δεύτερη σύγκριση για να εξεταστεί ο αντίκτυπος δύο ακόμη παραγόντων στην EF: όγκος μετατόπισης κινητήρα και έτος μοντέλου/μάρκας. Μόνο τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα παρουσίασαν αύξηση του EFs (για CO, HC και NO) με την ηλικία του οχήματος (με βάση το έτος μοντέλου). Τα αυτοκίνητα CNG, LPG και diesel, από την άλλη πλευρά, δεν έδειξαν εμφανή συσχέτιση. Τέλος, τα αποτελέσματα EF συγκρίθηκαν με αυτά που αναφέρθηκαν στη βιβλιογραφία, τα οποία δοκιμάστηκαν σε μια ποικιλία Εθνών υπό ρυθμίσεις ρεταντί και μη ρεταντί. Επειδή τα αδρανή EFs δεν ήταν πολύ χαμηλότερα από αυτά υπό κινούμενες συνθήκες και τα αυτοκίνητα περνούν σημαντικό χρόνο στο ρεταντί σε μεγάλες πόλεις, οι εκπομπές ρεταντί δεν πρέπει να παραμελούνται σε αποθέματα εκπομπών μεγάλων πόλεων (Aosaf, Wang and Du, 2022).

### **5.7 Χιλιόμετρα & τρέχον κόστος**

Όσον αφορά τα χιλιόμετρα, τα πετρελαιοκίνητα οχήματα κατατάσσονται πρώτα, ακολουθούμενα από οχήματα CNG, LPG και εναλλακτικά καύσιμα. Ωστόσο, επειδή τα οχήματα CNG είναι σημαντικά φθηνότερα από τα οχήματα LPG, το κόστος λειτουργίας, το οποίο ενθαρρύνει ο ιδιοκτήτης για ταξίδια κάθε χιλιόμετρο, αποδεικνύεται το φθηνότερο στα αυτοκίνητα CNG, ακολουθούμενο από αυτοκίνητα LPG και τέλος βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Όταν ο ιδιοκτήτης μετατρέπει την τιμή των



καυσίμων σε διανυθέντα χιλιόμετρα, ένα λίτρο CNG αυτοκίνητο θα μεταφέρει τον ιδιοκτήτη 16 χιλιόμετρα, ενώ ένα όχημα υγραερίου θα πάρει τον ιδιοκτήτη 13 χιλιόμετρα. Ακολουθεί μια εξήγηση για το όχημα υγραερίου έναντι. Το CNG είναι ένα καύσιμο που καίει αργά. Ως αποτέλεσμα, έχει υψηλότερα χιλιόμετρα (1-1, 5 χλμ.) Ωστόσο, υπονοεί επίσης ότι ο ιδιοκτήτης χάνει το 15-20% της δύναμής του. Επειδή τα οχήματα υγραερίου έχουν υψηλότερη θερμογόνο δύναμη και περισσότερη ενέργεια από τα οχήματα CNG, μπορούν εύκολα να ανταγωνιστούν τη βενζίνη όσον αφορά την παροχή ισχύος. Κατ ' αρχήν, θα πρέπει επίσης να παρέχει υψηλότερα χιλιόμετρα, ωστόσο πολλοί ιδιοκτήτες έχουν δηλώσει ότι τα οχήματα υγραερίου λαμβάνουν μόνο το ίδιο mpg με τη βενζίνη. Παρέχει συχνά 10% λιγότερο. Έτσι, όταν πρόκειται για λειτουργικό κόστος, ο συνδυασμός χαμηλότερης τιμής και Καλύτερης χιλιομετρικής απόστασης βάζει τα οχήματα CNG μπροστά από τα οχήματα υγραερίου.

## 5.8 Κόστος συντήρησης

Προηγουμένως, το κόστος συντήρησης ενός αυτοκινήτου CNG ήταν πολύ υψηλότερο από αυτό ενός αυτοκινήτου LPG, αλλά αυτό έχει αλλάξει. "Το χάσμα έχει συρρικνωθεί σημαντικά καθώς η τεχνολογία έχει προχωρήσει." Στην πραγματικότητα, ο ιδιοκτήτης ενός αυτοκινήτου CNG θα αντιμετωπίσει ουσιαστικά το ίδιο κόστος συντήρησης με ένα αυτοκίνητο ντίζελ, ενώ θα πληρώσει 2.000-2.500 περισσότερα", προσθέτει ο Deshpande. Ακόμη και για τα μοντέλα υγραερίου, το κόστος συντήρησης είναι περίπου το ίδιο όπως και για τις εκδόσεις CNG.

## 5.9 Διάγραμμα σύγκρισης

*Πίνακας 5 Σύγκριση μεταξύ CNG και LPG δίνονται παρακάτω.*

<b>Δυνατότητα</b>	<b>CNG</b>	<b>LPG</b>
<b>Συστατικό</b>	Το μεθάνιο είναι το κύριο συστατικό του	Το προπάνιο είναι το κύριο συστατικό του υγραερίου

<b>Πηγή</b>	Λαμβάνεται από πηγάδια φυσικού αερίου και συμπυκνωμάτων	Παράγεται αυτόματα από πεδία φυσικού αερίου όταν εξάγεται φυσικό αέριο
<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις</b>	Απελευθερώνει μικρότερο αέριο θερμοκηπίου	Αέριο θερμοκηπίου
<b>Ιδιότητα</b>	Είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και ως εκ τούτου διασκορπίζεται γρήγορα	Ιδιαίτερα εύφλεκτο
<b>Χώρος</b>	Το CNG καταλαμβάνει περισσότερο χώρο από το υγραέριο.	Είναι βαρύτερο από τον αέρα και στη διαρροή θα εγκατασταθεί στο έδαφος και θα συσσωρευτεί
<b>Απώλεια ισχύος</b>	Η απώλεια ισχύος είναι μεγαλύτερη από τα οχήματα υγραερίου.	Η απώλεια ισχύος είναι μικρότερη από CNG
<b>Τροποποιήσεις-στο κόστος</b>	Τροποποίηση κινητήρα το κόστος είναι περίπου 612 ευρώ.	Τροποποίηση κινητήρα το κόστος είναι περίπου 306 ευρώ
<b>Βάρος οχήματος</b>	Τα οχήματα CNG είναι περίπου 100-150 kg.	Τα οχήματα υγραερίου είναι ελαφρύτερα από τα οχήματα CNG.
<b>Χρήση</b>	Το CNG χρησιμοποιείται για όλους τους τύπους οχημάτων.	Χρησιμοποιείται κυρίως για μικρά αυτοκίνητα.
<b>Τιμή</b>	Η πρόσφατη τιμή εάν το CNG είναι 0,27 $m^3$	Πρόσφατη τιμή είναι 0,70 ευρώ ανά λίτρο.

<b>Ασφάλεια</b>	Εύκολα διασκορπίζει, ως εκ τούτου υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης	Κίνδυνος ανάφλεξης
<b>Πίεση</b>	Η πίεση CNG είναι 3000 psi.	Η πίεση LPG είναι 70-80 psi.

(Aosaf, Wang and Du, 2022)

## 6. Οχήματα CNG και LPG στις Η.Π.Α

Επί του παρόντος, υπάρχουν περισσότερα από 500.000 οχήματα υγραερίου και 35.000 οχήματα CNG στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τα περισσότερα από αυτά είναι ελαφρά οχήματα και τα περισσότερα επιδεικνύουν αξιόπιστη, οικονομική λειτουργία. Υπό στενά ελεγχόμενες συνθήκες, αυτά τα οχήματα μπορούν επίσης να επιδείξουν χαμηλά επίπεδα εκπομπών καυσαερίων. Ωστόσο, υπάρχει λόγος να πιστεύουμε ότι οι εκπομπές από τα οχήματα που χρησιμοποιούνται ενδέχεται να είναι υψηλότερες. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη συνοψίζονται παρακάτω. Ένα σημαντικό ζήτημα που επηρεάζει την απόδοση των οχημάτων με αέρια καύσιμα είναι η ποιότητα κατασκευής στην ίδια τη μετατροπή. Αυτή η κατάσταση θα πρέπει να αλλάξει καθώς τα οχήματα CNG και LPG παραγωγής διατίθενται απευθείας από τις αυτοκινητοβιομηχανίες. Για τα επόμενα χρόνια, ωστόσο, αναμένεται ότι ακόμη και τα οχήματα παραγωγής θα είναι "upfits", ή εργοστασιακά εγκατεστημένες μετατροπές. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η GM, η Ford και η Chrysler αναπτύσσουν όλα τα οχήματα CNG για εισαγωγή κοντά στο tenn. Η κατάσταση του υγραερίου είναι μικτή (Wilson, 2000).

Η στατιστική ανάλυση της ασφάλειας των οχημάτων με αέρια καύσιμα θα είναι αμφισβητήσιμη λόγω του μικρού αριθμού οχημάτων που χρησιμοποιούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες. Μπορεί επίσης να υπάρχει προκατάληψη λόγω του υψηλού ποσοστού λειτουργίας στόλου οχημάτων CNG και LPG. Η συντήρηση του στόλου και τα πρότυπα ασφαλείας είναι γενικά πιο απαιτητικά από αυτά για το ευρύ κοινό. Οι στατιστικές πληροφορίες από άλλες χώρες με μεγαλύτερους στόλους είναι γενικά

χαμηλής ποιότητας. Επιπλέον, θα προκύψουν ξένες προκαταλήψεις σε διαφορετικά πρότυπα αυτοκινήτων και εξοπλισμού (Wilson, 2000).

## 7. Συζήτηση

Όσον αφορά τα λειτουργικά έξοδα, το CNG είναι το πιο οικονομικά αποδοτικό καύσιμο. Το υγραέριο είναι ένα οικονομικά αποδοτικό καύσιμο τόσο από την άποψη του αρχικού κόστους αγοράς όσο και του λειτουργικού κόστους. Το ΠΦΑ εξακολουθεί να είναι το πιο συχνά προσβάσιμο καύσιμο όσον αφορά τη διαθεσιμότητα και την απόδοση καυσίμου. Εάν ο ιδιοκτήτης εκτελεί πολλή οδήγηση και προτιμά τα ελάχιστα λειτουργικά έξοδα, το CNG είναι το πιο ελκυστικό καύσιμο. Σύμφωνα με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το ΠΦΑ είναι ανώτερο από το υγραέριο όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα αυτοκίνητα CNG ξεπερνούν τα οχήματα LPG όσον αφορά την υψηλή ταχύτητα. Τα αυτοκίνητα CNG είναι επίσης ασφαλέστερα από τα οχήματα υγραερίου όσον αφορά τη συγκέντρωση ασφάλειας. Ωστόσο, όσον αφορά το κόστος τροποποίησης, τα αυτοκίνητα υγραερίου ξεπερνούν τα οχήματα CNG.

Γενικά, η σχετική οικονομία των καυσίμων, ο ενεργειακός εφοδιασμός, ιδίως η μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα των καυσίμων, οι ανάγκες υποδομής και η νομοθεσία που δημιουργεί την αγορά εναλλακτικών καυσίμων επηρεάζουν την επιλογή εναλλακτικών καυσίμων. Άλλες εκτιμήσεις, όπως το περιβάλλον, η δημόσια υγεία, η ενεργειακή ασφάλεια και η απόδοση των οχημάτων και των καυσίμων, είναι ζωτικής σημασίας για την επιλογή ενός εναλλακτικού καυσίμου για τη βιομηχανία μεταφορών.

Το αρχικό στάδιο της μετάβασης από βενζίνη σε μεθανόλη μπορεί να είναι η προσθήκη μέτριων όγκων μεθανόλης στη βενζίνη. Μετά από αυτό, μπορούν να εισαχθούν μερικά αυτοκίνητα πολλαπλών καυσίμων. Η μεθανόλη και η βενζίνη μπορούν συχνά να αποθηκευτούν και να καούν μαζί. Η μεθανόλη είναι ένα ιδιαίτερα ελκυστικό καύσιμο λόγω του χαρακτηριστικού της. Τα υβριδικά αυτοκίνητα CNG/βενζίνης είναι λιγότερο ισχυρά και πιο δαπανηρά. Η μετάβαση σε αυτοκίνητα φυσικού αερίου μπορεί να ακολουθηθεί από τη μετάβαση σε εξειδικευμένα οχήματα.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι κανένα καύσιμο δεν ξεπερνά τα άλλα. Οι κρύες εκκινήσεις και η φθορά του κινητήρα είναι προβλήματα με τη μεθανόλη. Το CNG έχει τεχνολογικό ζήτημα αποθήκευσης και ανεφοδιασμού. Απαιτείται περισσότερη έρευνα και ανάπτυξη για την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων ελλείψεων και την ενίσχυση των χαρακτηριστικών απόδοσης των αυτοκινήτων με εναλλακτικά καύσιμα (Gandhidasan et. al., 1991).

Παρέχεται πρόβλεψη των πωλήσεων και των εσόδων για την αγορά οχημάτων CNG και LPG ανά περιοχή, τύπο και εφαρμογή από το 2022 έως το 2028. Επιπλέον, το περιβάλλον της αγοράς και οι μελλοντικές προοπτικές ανάπτυξής της καλύπτονται από την έρευνα. Στη συνέχεια αξιολογείται η βιωσιμότητα των νέων επενδυτικών πρωτοβουλιών και παρουσιάζονται τα γενικά αποτελέσματα της μελέτης.

Η αγορά οχημάτων CNG και LPG προβλέπεται να έχει αργό ρυθμό CAGR 4,5% κατά την περίοδο πρόβλεψης. Η τρέχουσα αποτίμηση της αγοράς οχημάτων CNG και LPG είναι 5243,3 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2022. Η αγοραία αξία της αγοράς οχημάτων CNG και LPG αναμένεται να φτάσει τα 8153,1 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ έως το έτος 2032 (MarketWatch, 2022).

## **8. Επίλογος**

Με βάση τα αξιολογημένα έγγραφα για τις εκπομπές και τις επιδόσεις, καθορίζεται ότι το CNG είναι μια καλή εναλλακτική λύση καυσίμου για τη βενζίνη και επομένως θα πρέπει να εξεταστεί στο μέλλον για σκοπούς μεταφοράς. Εκτός από τη μέθοδο αποθήκευσης και παράδοσης καυσίμου, οι κινητήρες CNG είναι συγκρίσιμοι με τους κινητήρες υγραερίου όσον αφορά τις επιδόσεις και τα χαρακτηριστικά καύσης. Στο σύντομο μέλλον, το CNG ως εναλλακτική επιλογή καυσίμου μπορεί να εκτοπίσει το 10% της τρέχουσας κατανάλωσης καυσίμου ή να προσφέρει επαρκείς μειώσεις εκπομπών CO, CO<sub>2</sub> και Ενισχύσεις για την ελαχιστοποίηση των επιβλαβών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Το CNG θα γίνει ευρύτερα διαθέσιμο και θα αποκτήσει μερίδιο αγοράς σε όλη τη γκάμα των οχημάτων κατά τα επόμενα πέντε έως δέκα χρόνια.

Πέντε παράγοντες καθιστούν το CNG ελκυστικό. Είναι το μόνο καύσιμο που είναι λιγότερο ακριβό από τη βενζίνη ή το ντίζελ. Έχει μειώσει τις εκπομπές ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξ ορισμού. Εκπέμπει λιγότερα αέρια θερμοκηπίου. Η χρήση του επεκτείνει τις προμήθειες πετρελαίου και υπάρχει αρκετό καύσιμο προσβάσιμο σε όλο τον κόσμο. Όταν χρησιμοποιείτε κινητήρες φυσικού αερίου, υπάρχουν πολλά βασικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Το σημείο ρύθμισης για τον βέλτιστο συμβιβασμό μεταξύ εκπομπών και απόδοσης καυσίμου δεν είναι εμφανές και ο ιδανικός λόγος αέρα-καυσίμου ποικίλλει τόσο με τις συνθήκες λειτουργίας όσο και με τις ιδιότητες καυσίμου.

Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στις οδικές μεταφορές αυξάνεται. Πρέπει να πληρούνται αρκετές παράμετροι για να επιτευχθεί αυτή η κατάσταση ενώ χρησιμοποιείται το υγραέριο ως εναλλακτικό καύσιμο. Το πρώτο κριτήριο είναι η οικονομική λειτουργία ενός οχήματος με υγραέριο. Οι ευρωπαϊκές χώρες δεν παρέχουν επιδοτήσεις για την αγορά οχημάτων που κινούνται με αυτό το καύσιμο, όπως κάνουν για τα ηλεκτρικά οχήματα. Ομοίως, δεν υπάρχει μείωση του κόστους ασφάλισης αστικής ευθύνης κατά τη χρήση υγραερίου. Το μεγαλύτερο όφελος του καυσίμου υγραερίου από οικονομική άποψη είναι η τιμή του 1 λίτρου αυτού του καυσίμου. Τα κράτη επιβάλλουν μειωμένο ειδικό φόρο κατανάλωσης στο υγραέριο σε αντίθεση με τα καύσιμα ντίζελ και βενζίνης, με αποτέλεσμα τη μέση μείωση της τιμής περίπου 50%. Μια χαμηλή τιμή υγραερίου σχετίζεται στενά με τα χαμηλά έξοδα καυσίμων υγραερίου για οδήγηση 100 χιλιομέτρων. Εάν αυξηθεί ο ειδικός φόρος κατανάλωσης στο υγραέριο, η τιμή αυτού του καυσίμου θα αυξηθεί επίσης και το πλεονέκτημα του υγραερίου ως εναλλακτικού καυσίμου θα χαθεί. Η δεύτερη ανάγκη χρήσης ενός εναλλακτικού καυσίμου είναι να είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Όσον αφορά την παραγωγή CO<sub>2</sub>, το υγραέριο έχει κάπως καλύτερα αποτελέσματα από τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Ωστόσο, σε σύγκριση με τα πετρελαιοκίνητα οχήματα, το υγραέριο έχει κακή απόδοση. Άλλες μολυσματικές ουσίες στα καυσαέρια έχουν αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία και την ποιότητα του περιβάλλοντος. Με βάση τα διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των κινητήρων CI και SI, είναι δυνατόν να υποθέσουμε ότι ο κινητήρας SI παράγει λιγότερες εκπομπές. Το τρίτο μέρος της διάδοσης οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων είναι οι περιορισμοί που επιβάλλονται από τη λειτουργία ενός οχήματος που τροφοδοτείται από εναλλακτικό καύσιμο. Το

υγραέριο έχει πολλές επιβλαβείς συνέπειες. Ωστόσο, αυτό αντικαθίσταται από χώρους που προορίζονται για οχήματα με υγραέριο. Η ασφάλεια ενός οχήματος που τροφοδοτείται με εναλλακτικά καύσιμα είναι κρίσιμη κατά τη λειτουργία. Μια δεξαμενή οχήματος κλειδώνεται πολλές φορές για να αποφευχθούν ανεπιθύμητες διαρροές υγραερίου και να επιτραπεί να αδειάσει γρήγορα όταν χρειάζεται. Ένα άλλο στοιχείο που επηρεάζει την ανάπτυξη ή τη μείωση του υγραερίου ως εναλλακτικού καυσίμου για κινητήρες καύσης είναι η κρατική τιμολογιακή πολιτική, καθώς η τιμή του υγραερίου είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει το ενδιαφέρον του οδηγού για αυτό.

Πέντε παράγοντες καθιστούν το CNG ελκυστικό. Μόνο αυτό το καύσιμο είναι λιγότερο ακριβό από τη βενζίνη ή το ντίζελ. Εκπέμπει φυσικά λιγότερους ρύπους στον αέρα. Εκπέμπει λιγότερα αέρια θερμοκηπίου. Δεδομένου ότι υπάρχουν πολλές πηγές καυσίμων σε όλο τον κόσμο, η χρήση του βοηθά στην επέκταση των προμηθειών πετρελαίου. Το καθορισμένο σημείο για τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ εκπομπών και απόδοσης καυσίμου είναι ασαφές κατά τη χρήση κινητήρων φυσικού αερίου και ο ιδανικός λόγος αέρα-καυσίμου ποικίλλει ανάλογα με το περιβάλλον λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου. Αυτά είναι μόνο μερικά από τα σημαντικά ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν.

## **9. Βιβλιογραφία**

Albela H.Pundkar, S.M. Lawankar, Dr. Sameer Deshmukh, (2012), International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 3, Issue 3. doi: 10.1.1.302.3514&rep=rep1&type=pdf

Anye Ngang, E. and Ngayihi Abbe, C. (2018). Experimental and numerical analysis of the performance of a diesel engine retrofitted to use LPG as secondary fuel. Applied Thermal Engineering, 136, pp.462-474.

Aosaf, M., Wang, Y. and Du, K., 2022. Comparison of the emission factors of air pollutants from gasoline, CNG, LPG and diesel fueled vehicles at idle

speed. *Environmental Pollution*, [online] 305, p.119296. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119296>

Bicer, Y. and Dincer, I., 2018. Life cycle environmental impact assessments and comparisons of alternative fuels for clean vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, [online] 132, pp.141-157. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.036>.

Gas Research Institute, 1988, "Prospects for Alternatives to Liquid Petroleum Vehicle Fuels," Summary of the Tenth Annual GRI Energy Seminar, Vail, Colo., August 7-9.

Gandhidasan, P.; Ertas, A.; Anderson, E. E. (1991). Review of Methanol and Compressed Natural Gas (CNG) as Alternative for Transportation Fuels. *Journal of Energy Resources Technology*, 113(2), 101–. doi:10.1115/1.2905782

Hao, Han; Liu, Zongwei; Zhao, Fuquan; Li, Weiqi (2016). Natural gas as vehicle fuel in China: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62(), 521–533. doi:10.1016/j.rser.2016.05.015

Ingersoll, John G. 1996. *Natural Gas Vehicles*. Lilburn, GA: Fairmont Press, Inc.

Jemni, M., Kassem, S., Driss, Z. and Abid, M. (2018). Effects of hydrogen enrichment and injection location on in-cylinder flow characteristics, performance and emissions of gaseous LPG engine. *Energy*, 150, pp.92-108.

Kapusta, J. and Kalašová, A. (2015). Motor Vehicle Safety Technologies in Relation to the Accident Rates. *Communications in Computer and Information Science*, pp.172-179.



Karim, G. A., and Wierzba, I., 1983, "Comparative Studies of Methane and Propane Fuels for Spark Ignition and Compression Ignition Engines," Society of Automotive Engineers, Inc., West Coast International Meeting, Vancouver, BC, August 8-11.

Kivevele, T., Raja, T., Pirouzfard, V., Waluyo, B. and Setiyo, M., 2020. LPG-Fueled Vehicles: An Overview of Technology and Market Trend. *Automotive Experiences*, [online] 3(1), pp.6-19. Available at: <https://doi.org/10.31603/ae.v3i1.3334>

"Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods". Gas Processors Association. Retrieved 2012-05-18.

MarketWatch. (2022). CNG and LPG Vehicle Market Share, Size, Growth Global Current and Future Plans, Regional Trend, Future Leading Players Updates, Industry Demand by Forecast to 2028. MarketWatch. Retrieved 15 September 2022, from <https://www.marketwatch.com/press-release/cng-and-lpg-vehicle-market-share-size-growth-global-current-and-future-plans-regional-trend-future-leading-players-updates-industry-demand-by-forecast-to-2028-2022-09-07>.

McGeer, P. L., and Durbin, E. J., 1982, "The Urgency for a Multi-National Alternative Fuels Program," Methane, Fuel for the Future, eds., Patrick McGeer and Enoch Durbin, Plenum Press, New York

Mohr M, Forss A-M, Lehmann U. Particle Emissions from Diesel Passenger Cars Equipped with a Particle Trap in Comparison to other Technologies, *Environ. Sci. Technol.* 40, 2375-2383, 2006

Sachdeva, A. and Mansouri, S., "Reduction of Pulsation Noise in CNG Vehicles," SAE Technical Paper 2013-26-0098, 2013, <https://doi.org/10.4271/2013-26-0098>.

Willson, B. (2000) Evaluation of Aftermarket Fuel Delivery Systems for Natural Gas and LPG Vehicles. United States. <https://dx.doi.org/10.2172/7101752>