



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Σχεδιασμός και Υλοποίηση Πρωτότυπου Συστήματος
Παρακολούθησης Αέριων Ρύπων από Οχήματα σε
Πραγματικό Χρόνο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Κοντοπού Παναγιώτη

Επιβλέπων : Επ. Καθηγητής Σκούτας Δημήτριος

Μέλη εξεταστικής επιτροπής: Καθηγητής Σκιάνης Χαράλαμπος
Καθηγητής Κορμέντζας Γεώργιος

Σάμος, Ιούλιος 2023

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σκούτα Δημήτριο για την πολύτιμη βοήθεια του.

© [2023]

του

Κοντοπού Παναγιώτη

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	1
1.1	Το πρόβλημα της έκκλησης αερίων ρύπων και πολιτικές περιορισμού στα πλαίσια της Ε.Ε	1
1.2	Αντικείμενο διπλωματικής.....	12
1.3	Δομή της διπλωματικής	12
2	Το πρόβλημα των αερίων ρύπων	13
2.1	Επιβλαβείς αέριοι ρύποι και επιπτώσεις τους.....	14
2.2	Καινοτόμες Τεχνολογίες για τη διαχείριση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης	15
2.3	Διαδίκτυο των Πραγμάτων	16
2.3.1	Εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων για την παρακολούθηση των αερίων ρύπων.....	16
2.3.2	Προτεινόμενο σύστημα παρακολούθησης αερίων ρύπων των Rushikesh et al. [20].....	17
2.3.3	Προτεινόμενο σύστημα παρακολούθησης αερίων ρύπων του Patil [18]	21
2.4	Crowd Sensing	23
3	Πρωτότυπο Μοντέλο Μέτρησης Αερίων Ρύπων	29
3.1	Σχεδιασμός.....	29
3.2	Υλοποίηση Πρωτότυπου Συστήματος	35
3.2.1	Σχεδιασμός Εφαρμογής	35
3.2.2	Υλοποίηση Εφαρμογής.....	36
3.2.3	Υλοποίηση Βάσης Δεδομένων.....	42
3.2.4	Περιγραφή διαδικτυακής εφαρμογής	43
4	Παρουσίαση Δεδομένων	51
5	Συμπεράσματα.....	58
	Βιβλιογραφία.....	63

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1: Εξέλιξη παραγωγής αερίων του Θερμοκηπίου στην Ευρώπη ανά τομέα.....	2
Σχήμα 2: Αλλαγές στην έκκληση αερίων ρύπων την δεκαετία 2010-2020 σε κράτη μέλη της Ε.Ε.....	6
Σχήμα 3: Δράσεις της Ε.Ε στα πλαίσια της Συμφωνίας του Παρισιού.....	7
Σχήμα 4: Διαδικασία λήψης αποφάσεων της Ε.Ε για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.....	7
Σχήμα 5: Αναγνώριση οχήματος και μέτρηση ρύπων	18
Σχήμα 6: Προτεινόμενη αρχιτεκτονική συστήματος	18
Σχήμα 7: Μπλοκ διάγραμμα προτεινόμενου συστήματος.....	19
Σχήμα 8: Διάγραμμα ροής προτεινόμενου συστήματος	20
Σχήμα 9: Θέση μετρητών και ενδεικτικής λυχνίας	21
Σχήμα 10: Μπλοκ διάγραμμα προτεινόμενου συστήματος.....	21
Σχήμα 11: Παράδειγμα Καιροσκοπικής Ανίχνευσης (Opportunistic Sensing)	25
Σχήμα 12: Παράδειγμα δομής μεθόδου MCS.....	27
Σχήμα 13: Παραδείγματα θυρών σύνδεσης συσκευής OBD	31
Σχήμα 14: Διάγραμμα Οντοτήτων – Συσχετίσεων του Πληροφοριακού Συστήματος	34
Σχήμα 15: Διάγραμμα Πίνακα.....	42
Σχήμα 16a: Στιγμιότυπο γραφήματος.....	53
Σχήμα 16b: Στιγμιότυπο γραφήματος.....	54
Σχήμα 17: Στιγμιότυπο εφαρμογής κινητού τηλεφώνου	55
Σχήμα 18: Στιγμιότυπο ειδοποίησης υπέρβασης ορίων εκπομπής CO ₂	55
Σχήμα 19: Παράδειγμα προβολής στιγμιότυπων εκπομπής αερίων ρύπων	56
Σχήμα 20: Διάγραμμα Οντοτήτων – Συσχετίσεων του Πληροφοριακού Συστήματος αυτοκινήτων που αποστέλλουν δεδομένων απευθείας στον εξυπηρετητή.....	60

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας παραγωγής CO ₂ από την καύση διαφορετικών ειδών καυσίμου.....	34
Πίνακας 2: Στιγμιότυπο της διαδικτυακής Εφαρμογής	52
Πίνακας 3: Σύγκριση Συστημάτων.....	60

Ακρωνύμια

E.E	Ευρωπαϊκή Ένωση
E.U	European Union – Ευρωπαϊκή Ένωση
E.C	European Commission – Ευρωπαϊκή Επιτροπή
km	Kilometers – Χιλιόμετρα
IoT	Internet of Things – Διαδίκτυο των Πραγμάτων
Wi-Fi	Wireless Fidelity
ARM	Advanced Risk Machine
RFID	Radio Frequency Identification – Ταυτοποίηση μέσω Ραδιοσυχνοτήτων
GSM	Global System for Mobile communication
MCU	Main Control Unit -Κεντρική Μονάδα Ελέγχου
OBU	On-Board Unit
CAN	Controller Area Network
OBD	On Board Diagnostic
DTC	Diagnostic Trouble Code
EOBD	European On-Board Diagnostic
MAF	Mass Air Flow
AFR	Air / Fuel Ratio – Λόγος Αέρα προς Καύσιμο
kg	Kilograms- Κιλά
gr	Grams - Γραμμάρια
LPG	Liquified Petroleum Gas – Υγροποιημένο Αέριο Πετρελαίου
CNG	Compressed Natural Gas – Συμπιεσμένο Φυσικό Αέριο
CSV	Comma-separated Values File – Αρχείο Τιμών Διαχωρισμένων με κόμμα
ID	Identity – Ταυτότητα
XML	Extensible Markup Language – Γλώσσα σήμανσης και μορφή αρχείου για την αποθήκευση, μετάδοση και την ανακατασκευή αυθαίρετων δεδομένων

JSON	Javascript Object Notation – Πρότυπο ανοικτού αρχείου και μορφή ανταλλαγής δεδομένων που χρησιμοποιεί κείμενο αναγνώσιμο από τον άνθρωπο για την αποθήκευση και την μετάδοση αντικειμένων δεδομένων
URL	Uniform Resource Locator – Αναφορά σε μια πηγή δικτύου που καθορίζει τη θέση του σε ένα δίκτυο υπολογιστών και ένα μηχανισμό για την ανάκτηση του
UI	User Interface – Διεπαφή χρήστη
HTML	HyperText Markup Language – Γλώσσα Σήμανσης Υποκειμένου
CSS	Cascading Style Sheets – Γλώσσα Προγραμματισμού για την διαμόρφωση μιας ιστοσελίδας
DB	Data Base – Βάση Δεδομένων
AJAX	Asynchronous JavaScript and XML
SQL	Structured Query Language
PHP	Hypertext PreProcessor – Γλώσσα Προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται κυρίως στην ανάπτυξη ιστοσελίδων για την δημιουργία δυναμικών ιστότοπων και εφαρμογών
API	Application Programming Interface
MCS	Mobile Crowd Sensing - Κινητή Ανίχνευση Πλήθους

Περίληψη

Στην σύγχρονη εποχή οι εκπομπές αέριων ρύπων φέρουν μεγάλες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι εκπομπές των αέριων ρύπων οφείλονται σε πολλούς ανθρωπογενείς παράγοντες και η συνεχής αύξηση τους προβληματίζει την επιστημονική κοινότητα και ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτυπώνεται πως η εξέλιξη της τεχνολογίας μέσω του Δικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) μπορεί να ενσωματωθεί στην καθημερινότητα των πολιτών και να αποφέρει οφέλη όσο αφορά την μόλυνση του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η κατασκευή ενός πρωτότυπου συστήματος απεικόνισης των εκπομπών αέριων ρύπων από οχήματα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό βέβαια σημαίνει ότι κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση ενός κομμάτιου του συνολικού συστήματος θα πρέπει να έχει πραγματοποιηθεί σε όλα τα οχήματα ώστε να γνωρίζουμε την ακριβή εκπομπή ρύπων από κάθε όχημα μεμονωμένα. Ακολούθως θα παρατηρήσουμε την προβολή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και ανά περιοχή ώστε να υπάρχει καλύτερη διαχείριση δεδομένων. Τέλος εξάγονται τα συμπεράσματα του συνολικού συστήματος και τα οφέλη που θα έχει η σύγχρονη κοινότητα από την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος.

Λέξεις Κλειδιά: οχήματα, αέριοι ρύποι, Δίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT), σύστημα απεικόνισης

Abstract

Nowadays, gas emissions have a great impact on the environment. Anthropogenic factors are responsible for air pollutant emissions, and their continued increase is a factor that worries the scientific community and a large part of the population. This thesis describes the way the development of technology through the Internet of Things (IoT) can be integrated into the everyday lives of citizens, yielding benefits concerning environmental pollution. In particular, the construction of a prototype system displaying the emissions of pollutants from each vehicle in real time is described. This means that the installation of an appropriate system component in each vehicle is necessary in order to measure the exact emission of air pollutants from each vehicle individually. Next, the data are observed in real time and by region. Finally, conclusions and benefits from the implementation of this system in the modern community are presented.

Keywords: vehicles, gas pollutants, Internet of things (IoT), prototype system

1

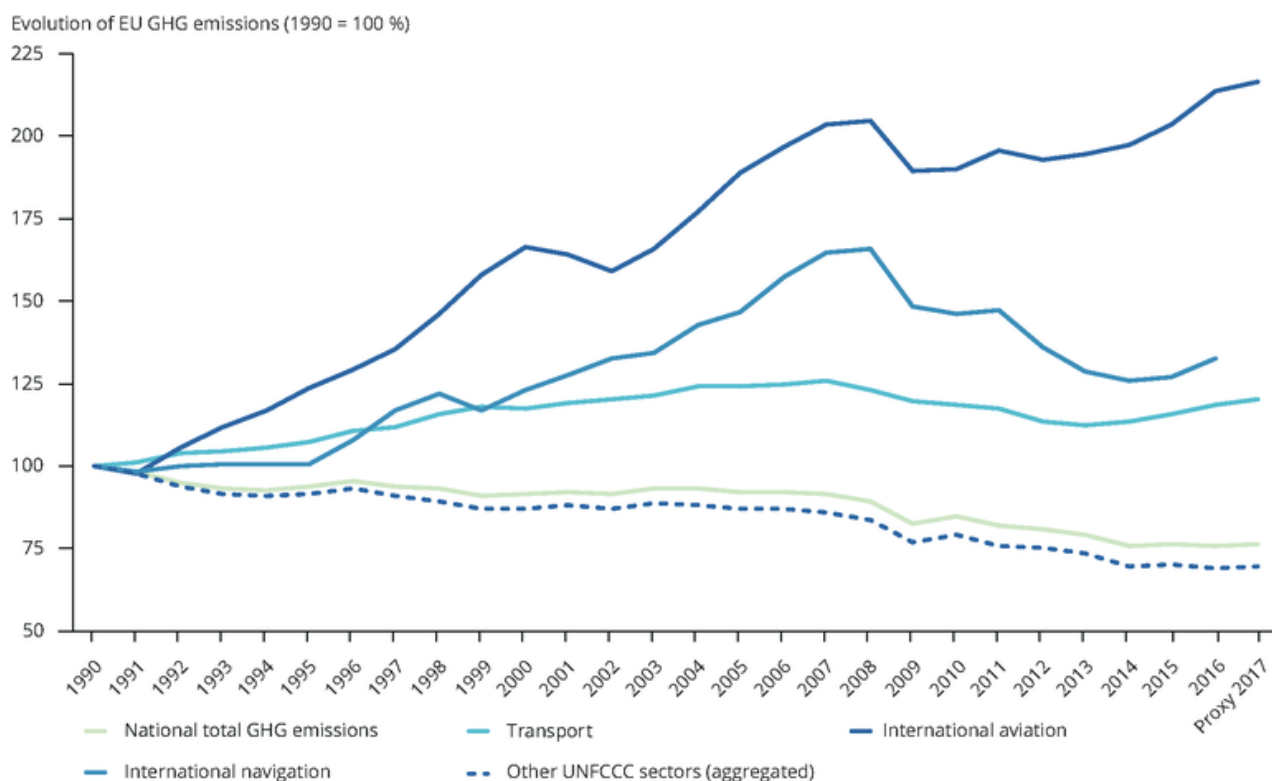
Εισαγωγή

1.1 Το πρόβλημα της έκκλησης αερίων ρύπων και πολιτικές περιορισμού στα πλαίσια της Ε.Ε

Οι μεταφορές επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το βιοτικό επίπεδο στα αστικά κέντρα. Σύμφωνα με τις στατιστικές αναφορές της Ευρωπαϊκής Επιτροπής οι οδικές μεταφορές αποτέλεσαν το 26% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε), το οποίο αποτελεί ένα από τα βασικά αέρια του Θερμοκηπίου. Το 1990 το ποσοστό εκπομπών CO₂ ήταν 16%. Παρατηρείται ότι ενώ οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώθηκαν κατά 23% το διάστημα 1990 – 2018, το ίδιο διάστημα οι εκπομπές CO₂ λόγω των οδικών μεταφορών έχουν αυξηθεί κατά 24% [36].

Από τα ανωτέρω συνάγεται ότι, στα περισσότερα αστικά κέντρα, ειδικά στην Ελλάδα, οι πολίτες είναι αντιμέτωποι με φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αυξημένου θορύβου, κυκλοφοριακής συμφόρησης, καταπάτησης και κατάχρησης των δημόσιων και κοινόχρηστων χώρων, αλλά και με φαινόμενα απώλειας της ανθρώπινης ζωής και νοσηρότητας απόρροια όχι μόνον ατυχημάτων και δυστυχημάτων, αλλά και της αυξημένης ρύπανσης, η οποία επιβαρύνει την υγεία των πολιτών, λόγω της έντονης χρήσης αυτοκινήτων [38].

Μάλιστα, σημειώνεται ότι οι αρνητικές επιπτώσεις της έντονης χρήσης αυτοκινήτων δεν περιορίζονται στα στενά όρια των αστικών κέντρων αλλά επεκτείνονται και έξω από αυτά, καθώς αυτά αποτελούν έναν από τους κύριους ρυπαντές και φέρουν σημαντικό μερίδιο της ευθύνης για την εντεινόμενη της κλιματικής αλλαγής. Οι επιπτώσεις τόσο στα αστικά κέντρα, όσο και έξω από αυτά, δεν επιβαρύνουν ομοιόμορφα τις κοινωνίες, με το μεγαλύτερο μέρος να επιβαρύνει τους πιο ευάλωτους πληθυσμούς και τις μειονότητες, όπου η δυνατότητα χρήσης εναλλακτικών μέσων και λήψης μέτρων για την προστασία της υγείας είναι μειωμένες [2].



Σχήμα 1: Εξέλιξη παραγωγής αερίων του Θερμοκηπίου στην Ευρώπη ανά τομέα [51]

Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι θερμοί υποστηρικτές της συμφωνίας του Παρισίου, με βασικό τους στόχο την διατήρηση του πλανήτη σε ασφαλή επίπεδα αλλά και την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας ως το 2050. Τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και τα επιμέρους κράτη μέλη της έχουν υπογράψει και κυρώσει την συμφωνία του Παρισίου, σύμφωνα με την οποία δεσμεύονται να θέσουν τις βάσεις που θα οδηγήσουν την Ευρωπαϊκή Οικονομία να γίνει η πρώτη κλιματικά ουδέτερη Οικονομία ως το 2050. Σύμφωνα με τα οριζόμενα στην συμφωνία η μακροπρόθεσμη στρατηγική η οποία θα ακολουθηθεί περιλαμβάνει την μείωση των εκπομπών και τα αναπροσαρμοσμένα σχέδια της για το κλίμα πριν το τέλος του 2020 με δέσμευση να μειώσει τις εκπομπές κατά 55% κατ' ελάχιστο σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 έως το 2030 [52].

Η κλιματική αλλαγή, η οποία αποτελεί πλέον ένα παγκόσμιο πρόβλημα επιτάσσει την συνεργασία των χωρών από κοινού. Το 2015 ηγέτες χωρών από όλο τον κόσμο συναντήθηκαν προκειμένου να καθορίσουν φιλόδοξους νέους στόχους με βασικό στόχο τον αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής [52].

Για τον λόγο αυτό, συντάχθηκε Σχέδιο Δράσης αναχαίτησης της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Μακροπρόθεσμος στόχος της συμφωνίας αποτελεί η συγκράτηση της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από 2° C άνω των προβιομηχανικών επιπέδων και συνέχιση των προσπαθειών για περιορισμό στον 1,5° C . Ακόμα, τόσο πριν όσο και κατά την διάρκεια της Διάσκεψής του Παρισίου οι χώρες υπέβαλαν ολοκληρωμένα εθνικά σχέδια δράσης

για το κλίμα – εθνικά καθορισμένες συνεισφορές με στόχο την μείωση των εκπομπών τους. Επιπλέον, σύμφωνα με την συμφωνία των χωρών οι ίδιες φρόντισαν να γνωστοποιούν η μια στην άλλη και στο κοινό την πρόοδό τους σχετικά με την επίτευξη των στόχων τους προκειμένου να εξασφαλιστεί η αλληλεγγύη με τα κράτη μέλη της ΕΕ και άλλες χώρες, να συνεχίζουν να παρέχουν χρηματοδότηση για το κλίμα για βοήθεια των αναπτυσσόμενων χωρών στην προσπάθειά τους να μειώσουν τις εκπομπές και να θωρακιστούν απέναντι στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής [52].

Αρχή ισχύος της συμφωνίας του Παρισίου ορίστηκε η 4^η Νοεμβρίου 2016 καθώς τότε εκπληρώθηκε η προϋπόθεση επικύρωσης από 55 χώρες [52].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί συμβαλλόμενο μέρος της σύμβασης-πλαίσιου των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή, μια βασική συμφωνία για την προστασία του Περιβάλλοντος (UNFCCC). Η συμφωνία του Παρισίου σχεδιάστηκε και μπήκε σε εφαρμογή στα πλαίσια μιας τέτοιας συνεδρίασης των μελών της UNFCCC το 2015. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 τα κράτη μέλη της σύμβασης έφτασαν στο συμπέρασμα ότι η μείωση των εκπομπών θα επιτυγχανόταν με ένα αυστηρότερο νομικό πλαίσιο. Το 1997 συνάφθηκε το πρωτόκολλο του Κιότο όπου θεσπίστηκαν για πρώτη φορά στόχοι οι οποίοι σε περίπτωση μη επίτευξης είχαν νομικές επιπτώσεις για τις ανεπτυγμένες χώρες. Η ισχύς του πρωτοκόλλου του Κιότου έληξε το 2000. Έτσι με την συμφωνία του Παρισίου οι χώρες-μέλη της UNFCCC επαναδιατύπωσαν αυτή τους την δέσμευσή, έθεσαν νέους στόχους προκειμένου να περιοριστεί η υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελεσματικά [52].

Τα μέλη της UNFCCC συνεδριάζουν μια φορά τον χρόνο προκειμένου να διαπιστώσουν την πρόοδο που έχει γίνει, να συζητήσουν σε σχέση με την σύμβαση τις συμφωνίες που έχουν επιτευχθεί στα πλαίσια αυτά, καθώς και την εφαρμογή τους. Σε αυτή τη συνάντηση των μελών (COP – Conference of the Parties) η Ευρωπαϊκή Ένωση εκπροσωπείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και από την προεδρία ου συμβουλίου [52].

Τον Οκτώβριο του 2022 το Συμβούλιο (COP) ενέκρινε συμπεράσματα τα οποία αποτέλεσαν βασικά σημεία διαπραγμάτευσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την 27^η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή η οποία διεξήχθη στο Σαρμ ελ- Σειχ της Αιγύπτου από τι 6 έως τις 18 Νοεμβρίου. Σε αυτά τα συμπεράσματα, έμφαση δόθηκε στις ευκαιρίες που προσφέρει για τον πλανήτη, την παγκόσμια οικονομία και τους ανθρώπους η φιλόδοξη δράση για το κλίμα αλλά και η μεγάλη σημασία της δίκαιης μετάβασης που δεν θα αφήνει κανένα στο περιθώριο, με στόχο την δημιουργία βιώσιμων οικονομικών και κοινωνιών που ανταπεξέρχονται στην κλιματική αλλαγή. Σημαντικό για τα κράτη μέλη της Ε.Ε είναι να διατηρήσουν τους αρχικούς τους σχεδιασμούς για τον 1,5° C σύμφωνα με την συμφωνία του Παρισίου. Τα οποία ωστόσο τόνιζαν ότι οι εθνικά καθορισμένες συνεισφορές και οι επικαιροποιήσεις τους ήταν ως το 2022 ανεπαρκείς [52].

Στην 27^η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή η Ε.Ε εκπροσωπήθηκε από τον Πρόεδρο του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Charles Michel και η Πρόεδρος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Ursula von der Leyen [49].

Στην 27^η Διάσκεψης για την κλιματική αλλαγή υιοθέτησε τέσσερεις βασικούς στόχους:

- Μετριασμός: τήρηση του στόχου του 1,5° C για την υπερθέρμανση του πλανήτη σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα

- Προσαρμογή: κατάρτιση ενισχυμένου διεθνούς θεματολογίου δράσης για την προσαρμογή
- Χρηματοδότηση: επισκόπηση προόδου κινητοποίησης 100 δισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ ετησίως έως το 2025 για να στηριχθούν οι αναπτυσσόμενες χώρες στην προσπάθεια τους να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής
- Συνεργασία: εξασφάλιση της εκπροσώπησης όλων των φορέων που εμπλέκονται στην 27^η Διάσκεψη για τη κλιματική αλλαγή και κυρίως από τις ευάλωτες κοινότητες [49]

Συγκεκριμένα η θέση της Ε.Ε εγκρίθηκε συνολικά από το Συμβούλιο ώστε να τηρηθεί ο στόχος του 1,5° C . Συγκεκριμένα για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να δημιουργηθούν οι παρακάτω συνθήκες:

- Συλλογική ενίσχυση των εθνικά καθορισμένων συνεισφορών
- Όλα τα μέρη να κλείσουν το κεφάλαιο της καύσης του άνθρακα χωρίς δέσμευση εκπομπών μέσω σταδιακής κατάργησης και του τερματισμού των αποτελεσματικών επιδοτήσεων ορυκτών καυσίμων
- Όλες οι χώρες να εντείνουν τις προσπάθειές κινητοποίησης χρηματοδότησης για την στήριξη της δράσης για το κλίμα [49]

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δηλώσει την πρόθεση της να συνεργαστεί με όλα τα μέλη προκειμένου να προάγει τη συζήτηση για το μέλλον της UNFCCC, να συζητήσει σχετικά με την βιώσιμη υλοποίηση της δράσης για το κλίμα στον γεωργικό τομέα, να καταστήσει δυνατή την εφαρμογή του προγράμματος εργασιών της Γλασκόβης σχετικά με τις συμμετοχικές δράσεις για το κλίμα [49].

Συγκεκριμένα, τον Δεκέμβριο του 2019 οι αρχηγοί των κρατών μελών της Ε.Ε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου έλαβαν την απόφαση ότι η Ε.Ε έχει στόχο την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050. Αυτό σημαίνει ότι οι χώρες της Ένωσης θα πρέπει να μειώσουν δραστηρικά τις εκπομπές τους σε αέρια του θερμοκηπίου και να βρουν τρόπους για να αντισταθμίσουν τις υπόλοιπες αναπόφευκτες εκπομπές για επίτευξη μηδενικού ισοζυγίου εκπομπών. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο η εστίαση αυτή στην κλιματική ουδετερότητα προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες για οικονομική ανάπτυξη, τις αγορές και τις θέσει εργασίας καθώς και την τεχνολογική εξέλιξη [55].

Τον Δεκέμβριο του 2020 η Ε.Ε πλησίασε ένα βήμα πιο κοντά στην κλιματική ουδετερότητα με την απόφαση των ηγετών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε λιγότερο από το μισό, συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990- μέχρι το 2030, ένα πολύ σημαντικό βήμα σχετικά με τον προηγούμενό στόχο της ΕΕ. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο κάλεσε την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να υποβάλει προτάσεις προκειμένου οι χώρες να μπορέσουν να πετύχουν τον στόχο σε συνδυασμό με τη βελτίωση των προτύπων πράσινης χρηματοδότησης, την ενίσχυση του συστήματος εμπορίας εκπομπών της ΕΕ, την προώθηση καινοτομιών φιλικών προς το κλίμα καθώς και τη εξασφάλιση δικαιοσύνης και οικονομικής αποδοτικότητας [55].

Τον Ιούνιο του 2021 εκδόθηκε το ευρωπαϊκό νομοθέτημα για το κλίμα το οποίο αποτελεί βασικό στοιχείο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Οι χώρες της ΕΕ βάσει του νέου αυτού νομοθετήματος, είναι υποχρεωμένες να επιτύχουν τους κλιματικούς στόχους για το 2030 και το 2050. Στο νομοθέτημα για το κλίμα καθορίζεται το πλαίσιο για τις δράσεις που θα αναλάβει η Ε.Ε και τα κράτη μέλη ώστε να επιτευχθεί η σταδιακή μείωση των εκπομπών και εν τέλει η κλιματική ουδετερότητα [55].

Όταν υπάρχει συζήτηση σχετικά με την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής πάντα γίνεται αναφορά στην μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, αυτό δεν είναι αρκετό καθώς το να επιτευχθεί η κλιματική ουδετερότητα σημαίνει την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου όσο το δυνατόν περισσότερο με παράλληλη αντιστάθμιση εκπομπών αερίων που απομένουν στην ατμόσφαιρα. Αυτό μπορεί γίνει με την μέθοδο της δέσμευσης άνθρακα (carbon sequestration) ¹ όπως για παράδειγμα με την αφαίρεση από την ατμόσφαιρα, ή μέσω αντισταθμιστικών μέτρων τα οποία τυπικά εμπεριέχουν την στήριξη έργων που ασχολούνται με την κλιματική αλλαγή [55] .

Συνοψίζοντας την πολιτική της Ε.Ε που έχει υιοθετηθεί για την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας σε δυο σημεία θα καταλήγαμε στα παρακάτω:

- **Χαμηλές Εκπομπές**

Όλοι οι οικονομικοί τομείς μπορούν και πρέπει να συμμετέχουν στην μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα η βιομηχανία χρειάζεται να εκσυγχρονίζεται και να ρυπαίνει λιγότερο. Ο μεταφορικός και ο ναυτιλιακός τομέας, που είναι από τις πιο γρήγορα αναπτυσσόμενες πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μπορούν να γίνουν πιο αποδοτικοί ενεργειακά και να κατευθυνθούν σε εναλλακτικές πιο πράσινες πηγές ενέργειας. Για την μείωση των εκπομπών από τις ενεργοβόρες βιομηχανίες η Ευρωπαϊκή Ένωση θέσπισε ένα σύστημα εμπορίας εκπομπών. Το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης θέτει το ποσοστό των εκπομπών που μπορεί να εκκληθεί από σταθμούς παραγωγής ενέργειας, βιομηχανικά εργοστάσια και οι αεροπορικές. Οι καταναλωτές από την πλευρά τους μπορούν να μειώσουν το αποτύπωμά τους μέσω της συμπεριφοράς τους και των επιλογών τους [48].

- **Μεγαλύτερη Απορρόφηση**

Παρά τις μειώσεις κάποιες εκπομπές δεν μπορούν να αποφευχθούν. Επομένως χρειάζονται τρόποι προκειμένου να ουδετεροποιηθούν. Οι ωκεανοί και το έδαφος απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Ωστόσο, τα δάση αποτελούν τον πιο αποτελεσματικό τρόπο απορρόφησης. Τα φυσικά οικοσυστήματα που έχουν την δυνατότητα να απορροφούν περισσότερο άνθρακα από ότι εκπέμπουν ονομάζονται δεξαμενές άνθρακα (carbon sink). Επομένως βασικός στόχος των κρατών μελών της Ε.Ε είναι η θέσπιση δράσεων για την προστασία των ωκεανών, του εδάφους και των δασών [48].

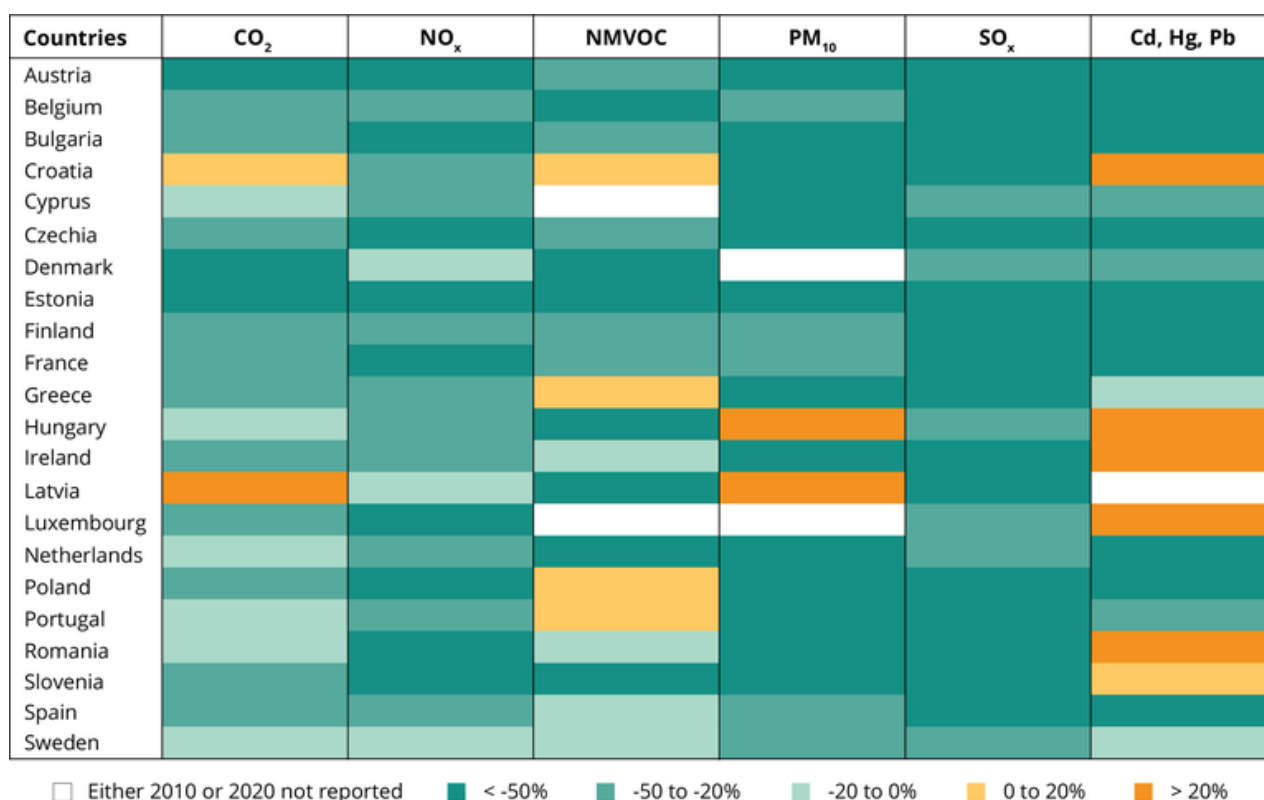
Τον Δεκέμβριο του 2019 η Ευρωπαϊκή Ένωση ανακοίνωσε την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία ως την στρατηγική μέσω της οποίας θα επιτευχθεί η ουδετερότητα ως το 2050. Οι ηγέτες των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης καλωσόρισαν την πρωτοβουλία, συμπεριλαμβάνοντας τον αντικειμενικό στόχο του 2050 μιας κλιματικά ουδέτερης Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο στόχος είναι παράλληλα με την αντιμετώπιση της υπάρχουσας απειλής της κλιματικής αλλαγής, η επίτευξη οικονομικής ανάπτυξης από την ΕΕ με τέτοιους τρόπους που να δημιουργούν καλύτερες συνθήκες εργασίας και να ενισχύουν την ποιότητα ζωής των ανθρώπων [48].

Η Πράσινη Συμφωνία συμπεριλαμβάνει μέτρα όπως οι επενδύσεις σε φιλικές στο περιβάλλον τεχνολογίες, υποστηρίζουν τις καινοτομίες, βοηθώντας την ανάπτυξη καθαρότερων μορφών

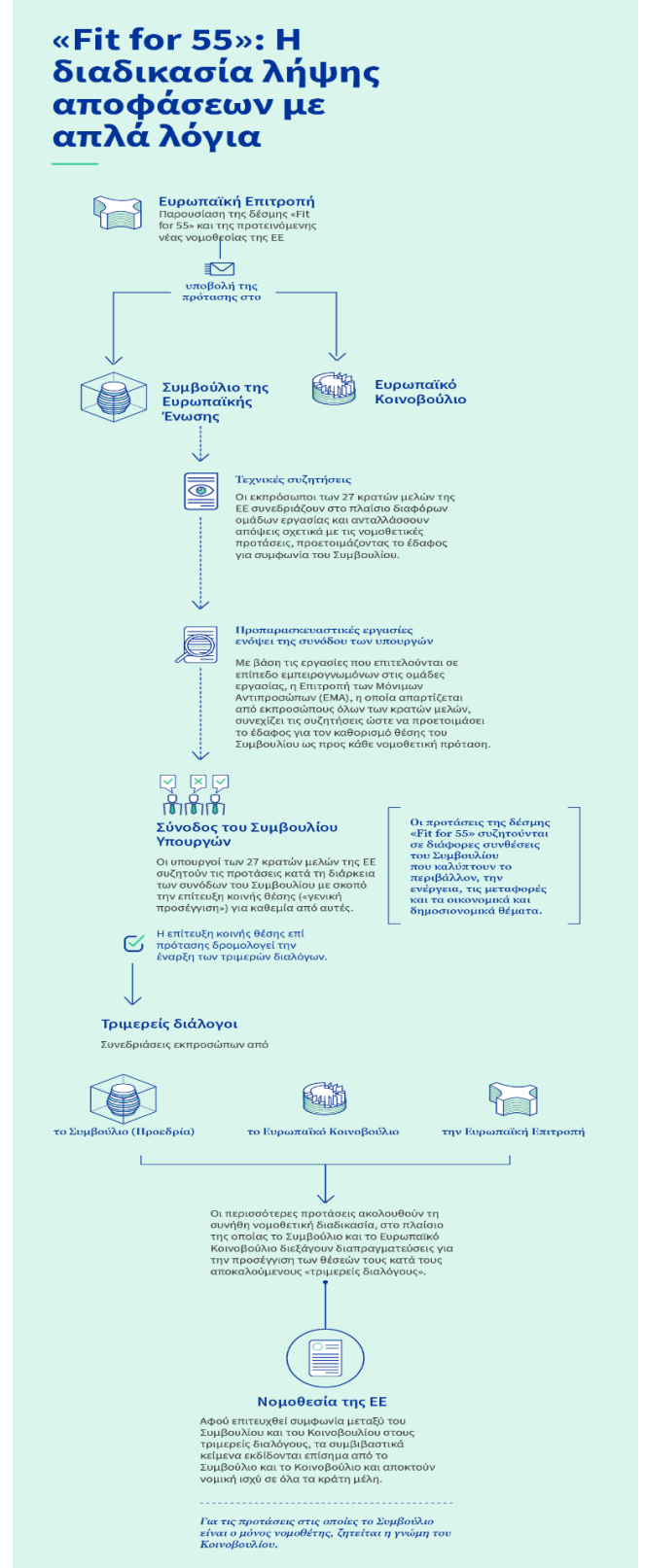
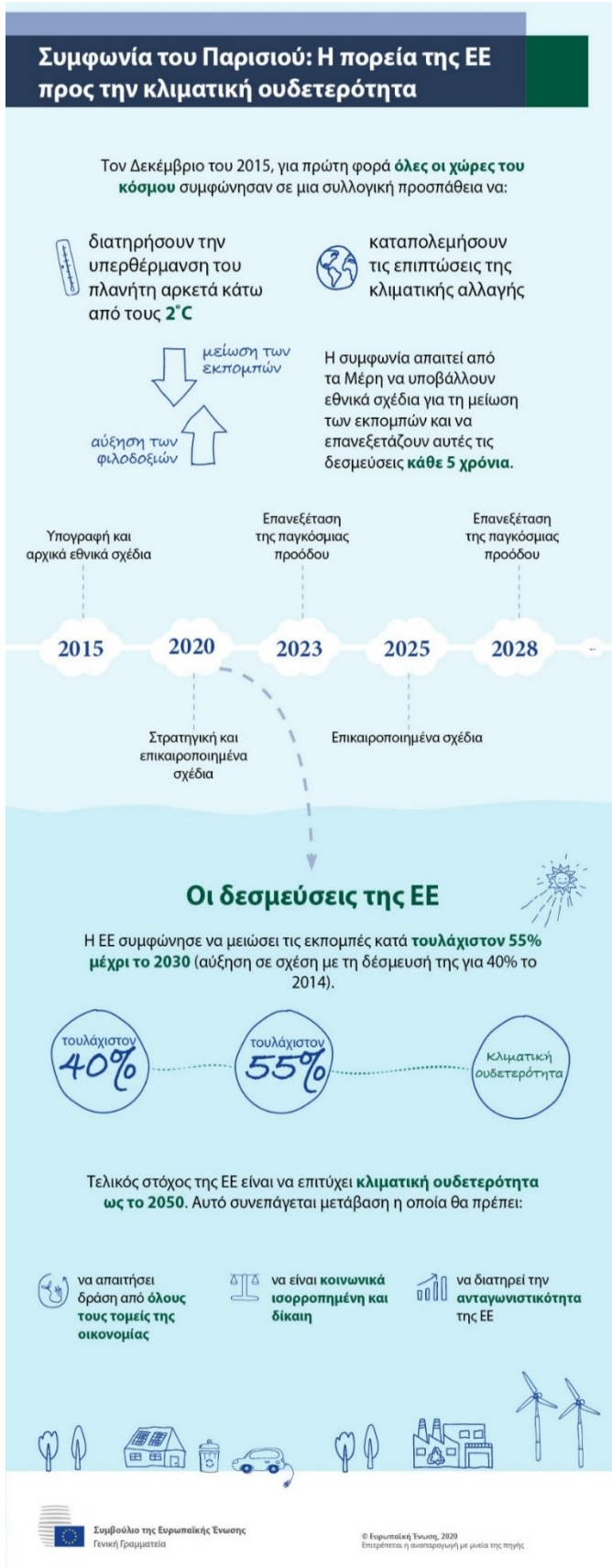
¹ Δέσμευση άνθρακα (carbon sequestration): Είναι η μέθοδος δέσμευσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα με τον στόχο την μείωση της παγκόσμιας αλλαγής κλίματος

μεταφορών, μείωση του άνθρακα στον τομέα της ενέργειας, διασφάλιση της καλής ενεργειακής αποδοτικότητας των σπιτιών, διεθνής προσπάθεια για την βελτίωση των standard σε όλο τον κόσμο. Το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι ο στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2050 κατοχυρώνεται ως στόχος της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας [48].

Το 2008, οι ηγέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης συμφώνησαν ότι ως το 2020 η Ευρωπαϊκή Ένωση θα μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% από τα επίπεδα του 1990. Ωστόσο, αυτός ο στόχος είχε επιτευχθεί τρία χρόνια πριν την προγραμματισμένη ημερομηνία. Το 2014, οι ηγέτες ενέκριναν τον στόχο να μειωθεί η εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% τουλάχιστον ως το 2030. Τον Δεκέμβριο του 2020, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο συμφώνησε να εντείνει την φιλοδοξία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς οι ηγέτες της Ε.Ε. ενέκριναν ένα δεσμευτικό στόχο για μια καθαρή μείωση των εκπομπών κατά 55% ως το 2030 σε σχέση με εκείνες του 1990 [48].



Σχήμα 2: Αλλαγές στην έκκληση αερίων ρύπων την δεκαετία 2010-2020 σε κράτη μέλη της Ε.Ε [50]



Σχήμα 3: Δράσεις της Ε.Ε στα πλαίσια της Συμφωνίας του Παρισιού [54]

Σχήμα 4: Διαδικασία λήψης αποφάσεων της Ε.Ε για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής [53]

Η Ε.Ε επέδειξε την απόφασή της να καταπολεμήσει την κλιματική αλλαγή με την χρήση του 20% του συνολικού της προϋπολογισμού μεταξύ του 2014 και 2020 για να χρηματοδοτήσει δράσεων μετριασμού και προσαρμογής της κλιματικής αλλαγής. Σκοπεύει να είναι ακόμα πιο φιλόδοξη ακολουθώντας την συμφωνία μεταξύ των αρχηγών των Ευρωπαϊκών Κρατών τον Ιούλιο του 2020 για αύξηση των δαπανών τουλάχιστον στο 30% του ευρωπαϊκού προϋπολογισμού για την περίοδο 2021-2027 και το πλάνο χρηματοδότησης της ανάκτησης. Οι αποφάσεις αυτές καθιστούν την Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη της είναι οι μεγαλύτεροι κρατικοί χρηματοδότες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής παγκοσμίως [48].

Συγκεκριμένα σε ότι αφορά την ρύπανση και την ηχορύπανση αναφορά γίνεται στα άρθρα 191 έως 193 της Συνθήκης για την λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης [45].

Σύμφωνα με του στόχους της θεματικής στρατηγικής για την ατμοσφαιρική ρύπανση του 2005 (μείωση των λεπτών σωματιδίων κατά 75%, το τροποσφαιρικό όζον κατά 60%, και να μειωθεί κατά 55% ο κίνδυνος που αντιμετωπίζει το φυσικό περιβάλλον τόσο από την όξυνση όσο και από τον ευτροφισμό σε τιμές 2020 με τιμές βάσης του 2000), το 2008 τέθηκε σε ισχύ μια αναθεωρημένη οδηγία για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα για την ενοποίηση της νομοθεσίας του συγκεκριμένου τομέα. Η μόνη οδηγία η οποία συνεχίζει να είναι σε ισχύ είναι η «τέταρτη θυγατρική οδηγία» της παλαιότερης οδηγίας – πλαισίου που ορίζει τις τιμές -στόχους για το αρσενικό, το κάδμιο, το υδρογόνο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Η οδηγία 2008/50/EK έχει ως βασικό στόχο την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε τέτοια επίπεδα ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιβλαβείς επιπτώσεις για τη υγεία ή το περιβάλλον. Σε αυτή τίθενται βασικοί στόχοι για τον ατμοσφαιρικό αέρα και ορίζονται μέτρα σε σχέση με σημαντικούς ρύπους όπως το όζον, το μονοξείδιο του άνθρακα κ.α. Σύμφωνα με αυτή, τα κράτη μέλη οφείλουν να ορίζουν ζώνες και αστικά συγκροτήματα προκειμένου να γίνεται η αξιολόγηση και διαχείριση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, να παρακολουθούνται οι τάσεις σε μακροχρόνια βάση και να γίνεται η σχετική ενημέρωση στο κοινό [45].

Το πρόγραμμα «Καθαρός Αέρας για την Ευρώπη» δρομολογήθηκε στα τέλη του 2013 με βασικούς στόχους τη συμμόρφωση με την υφιστάμενη νομοθεσία έως το 2020 και τον καθορισμό νέων στόχων για την ποιότητα του αέρα για την περίοδο έως το 2030. Η κύρια νομοθετική πράξη για την επίτευξη των στόχων αυτών είναι η αναθεωρημένη οδηγία για τα εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών (Ε.Ε) 2016/2284, στην οποία προβλέπονται αυστηρότερα εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών για πέντε βασικούς ρύπους διοξείδιο του άνθρακα, οξείδιο του αζώτου, πτητικές οργανικές ενώσεις πλην μεθανίου, αμμωνία και λεπτά αιωρούμενα σωματίδια προκειμένου να περιοριστούν οι συνέπειες στο περιβάλλον και να μειωθούν οι επιπτώσεις τους στη υγεία κατά 50% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005. Συγκεκριμένα, η οδηγία αυτή θεσπίζει την υποχρέωση μελών να καταρτίσουν εθνικά προγράμματα ελέγχου της ατμοσφαιρικής των κρατών ρύπανσης. Ακόμα, μεταφέρεται από την οδηγία η δέσμευση για μείωση των εκπομπών ως το 2020, οι οποίες έχουν αναληφθεί από την Ε.Ε και τα κράτη μέλη στα πλαίσια του πρωτοκόλλου του Γκέτεμποργκ στην Σύμβαση της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη. Ως μέρος του προγράμματος, υπήρξε έγκριση νέας οδηγίας για μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μεσαίου μεγέθους μονάδες καύσης, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή για οικιακή θέρμανση. Τον Οκτώβριο του 2022, παρουσιάστηκε από την επιτροπή η πρόταση της για την αναθεώρηση των κανόνων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την

ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα ώστε να υπάρξει ταύτιση των προτύπων για την ποιότητα αέρα της ένωσης με τις νέες συστάσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας καθώς και την αντιστοίχιση των διατάξεων για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, τη μοντελοποίηση και τα σχέδια που θα βοηθήσουν τους τοπικούς παράγοντες να επιτύχουν καθαρό αέρα [45].

Λόγω της αύξησης των αερίων ρύπων αλλά και της ανάπτυξης του κλάδου της αυτοκινητοβιομηχανίας η Ε.Ε αναγκάστηκε να διαμορφώσει πολιτικές για την μείωση των ρύπων των αερίων του θερμοκηπίου ώστε να επιτευχθεί η μετάβαση σε μια οικονομία λιγότερο βασισμένη στον άνθρακα. Το 2016 η Ευρωπαϊκή Κομισιόν ανέδειξε το ενδεχόμενο της συμβολής του τομέα των οδικών μεταφορών στη μείωση της έκκλησης των ρύπων αλλά και στην επίτευξη της δέσμευσης της Ε.Ε στα πλαίσια της συνθήκης του Παρισιού. Επακόλουθο αυτών ήταν η θέσπιση από την Ε.Ε υποχρεωτικών στόχων παραγωγής αερίων ρύπων των παραγόμενων αυτοκινήτων στους αλλά και η ενασχόληση όχι μόνο των δημοσίων αρχών αλλά και των περιβαλλοντικών και καταναλωτικών οργανώσεων [28].

Έχουν εγκριθεί συγκεκριμένες οδηγίες για τον περιορισμό της ρύπανσης από τις οδικές μεταφορές με τον ορισμό πρωτότυπων επιδόσεων διαφορετικών κατηγοριών οχημάτων, όπως αυτοκίνητα, ελαφρά επαγγελματικά οχήματα, φορτηγά, λεωφορεία και μοτοσυκλέτες. Οι οδηγίες αυτές αναφέρονται και στην ρύθμιση της ποιότητας των καυσίμων. Τα πρότυπα Euro 5 και Euro 6 που ισχύουν για τα φορτηγά και τα αυτοκίνητα και τα ελαφρά φορτηγά καθορίζουν οριακές τιμές εκπομπών συγκεκριμένων αερίων ρύπων και συγκεκριμένα για το οξείδιο του αζώτου και τα αιωρούμενα σωματίδια. Τα κράτη μέλη δεν μπορούν να επιτρέπουν την έγκριση τύπου, ταξινόμηση, πώληση και παρουσία οχήματος που δεν τηρεί αυτά τα όρια [45].

Στόχοι εκπομπών τίθενται ετησίως για κάθε κατασκευαστή, αυτή η στοχοθεσία γίνεται με βάση τους στόχους εκπομπών του πανευρωπαϊκού στόλου λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των οχημάτων που παράγονται στην Ε.Ε σε ένα δεδομένο έτος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι παραγωγοί των βαρύτερων οχημάτων έχουν μεγαλύτερα περιθώρια για αυξημένα μέσα επίπεδα εκπομπών ρύπων από ότι οι παραγωγοί ελαφρύτερων οχημάτων. Για τους παραγωγούς των επιβατικών αυτοκινήτων το 2020 αποτελεί έτος βάσης καθώς οι συγκεκριμένοι στόχοι εκπομπών θα εφαρμοστούν μόνο στο 95% των λιγότερο ρυπογόνων νέων αυτοκινήτων του στόλου τους [28].

Οι στόχοι εκπομπών αερίων ρύπων για κάθε έτος αλλά και η εξέλιξή τους εντός της Ε.Ε καθορίζονται μέσω των οδηγιών που εκδίδονται και στις οποίες συμμορφώνονται τα κράτη μέλη. Για την περίοδο 2020-2024 η νομοθεσία επιβεβαιώνει ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του στόλου των αυτοκινήτων πανευρωπαϊκά θα είναι αυτές που τέθηκαν στις οδηγίες (ΕC) No 443/2009 και (ΕU) No 510/2011 και συγκεκριμένα για τα αυτοκίνητα 95g CO₂ /km και για τα βαν 147g CO₂/km. Τον Ιούλιο του 2021 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε μια σειρά νομικών προτάσεων για το πως σχεδιάζει να επιτύχει κλιματική ουδετερότητα ως το 2050 συμπεριλαμβανομένου και του στόχου μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ως το 2030. Για το χρονικό διάστημα 2025-2030 η οδηγία (ΕU) 2019/631 θέτει αυστηρότερα όρια για την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα σε εύρος όλου του στόλου των αυτοκινήτων στην Ε.Ε οι οποίοι θα εκφράζονται ως ποσοστό μείωσης από εκείνους του 2021 συγκεκριμένα για τα αυτοκίνητα 15% μείωση το 2025 και 37,5% μείωση το 2030 ενώ για τα βαν 15% μείωση για το 2025 και 31% μείωση για το 2030 [28].

Ακόμα, έχουν θεσπιστεί κανόνες για την συμμόρφωση κατά την διάρκεια της λειτουργίας - τα οχήματα εξακολουθούν να συμμορφώνονται με τα πρότυπα κατά την κυκλοφορία τους, την ανθεκτικότητα των διατάξεων για τον έλεγχο της ρύπανσης, τα συστήματα διάγνωσης που είναι ενσωματωμένα στο όχημα, τη μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου και την πρόσβαση ανεξάρτητων φορέων εκμετάλλευσης στις πληροφορίες που αφορούν την επισκευή και συντήρηση των οχημάτων. Αντίστοιχοι κανόνες ισχύουν και για τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα π.χ λεωφορεία και φορτηγά [45].

Οι μετρήσεις αυτές για την παραγωγή των αερίων αρχικά γινόταν με την μέθοδο του Νέου Ευρωπαϊκού Κύκλου Οδήγησης, η οποία σύμφωνα με την βιβλιογραφία καθιερώθηκε το 1980, για την προσομοίωση καταστάσεων οδήγησης επιβατικού οχήματος αρχικά εντός αστικού ιστού και την εκτίμηση των εκπομπών αερίων ρύπων και όχι διοξειδίου του άνθρακα και κατανάλωσης καυσίμων. Λόγω των μετρήσεων που γινόταν και την σύγκριση τους με τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα που καταμετρούνταν στην ατμόσφαιρα δημιουργήθηκε μεγάλη συζήτηση σχετικά με το θέμα της αποτελεσματικότητας των ελέγχων αυτών και της επιβολής ορίων στους κατασκευαστές με βάση την μέθοδο αυτή. Για τον λόγο αυτό η μέθοδος μέτρησης ρύπων υποβλήθηκε σε αρκετές τροποποιήσεις προκειμένου να φτάσουν οι εκτιμήσεις που λαμβάνονταν μέσω αυτής πιο κοντά στις πραγματικές εκπομπές. Η συζήτηση αυτή και η αμφισβήτηση της μεθόδου οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση στην υιοθέτηση νέα μέθοδος προκειμένου να εγκρίνει την κυκλοφορία επιβατικών αυτοκινήτων και ελαφρού τύπου εμπορικών οχημάτων και συγκεκριμένα της μεθόδου Παγκόσμιας Εναρμονισμένης Διαδικασίας Δοκιμής Ελαφρών Οχημάτων [28].

Το 1995 τέθηκαν όρια για την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα πιστοποίησης γνωστή ως μέθοδος Type Approval. Η πολιτική επιβολής στόχων εκπομπών CO₂ από τον στόλο των επιβατικών αυτοκινήτων τα οποία δεν μπόρεσαν να επιτευχθούν στο έτος στόχος με αποτέλεσμα να υπάρχει αναθεώρηση των στόχων σε κατοπινά έτη συμπεριλαμβάνοντας και χρηματικά πρόστιμα για τους κατασκευαστές ανά γραμμάριο διοξειδίου του άνθρακα που πωλήθηκε. Οι εφαρμογή των στόχων αυτών και των πολιτικών είχε ως αποτέλεσμα την αλλαγή σε βασικά χαρακτηριστικά των Ευρωπαϊκών επιβατικών οχημάτων και την ανάπτυξη νέων τύπων οχημάτων με διαφορετικές μορφές καυσίμου από τα βενζινοκίνητα τα οποία χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, υγραέριο, αιθανόλη, βιοκαύσιμο και άλλα καύσιμα που δεν έχουν ως βάση τους την βενζίνη και το πετρέλαιο. Παράλληλα με την Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλες μεγάλες αγορές οχημάτων [28].

Αν και τα αυτοκίνητα εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να πληρούν αυστηρές προδιαγραφές όσον αφορά στην εκπομπή αερίων ρύπων, στην πραγματικότητα οι κανονισμοί αυτοί διαφέρουν ανάλογα με την πρώτη ταξινόμηση κάθε οχήματος, με τα όρια εκπομπής ρύπων να είναι πιο αυστηρά για νέες ταξινομήσεις και λιγότερα αυστηρά για παλαιότερα οχήματα. Ως εκ τούτου, στην κατεύθυνση πληροφόρησης των πολιτών για τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, μία κοινή πρακτική είναι η εγκατάσταση σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της συγκέντρωσης επιβλαβών αερίων ρύπων στα αστικά κέντρα [26].

Οι σταθμοί μέτρησης αυτοί δεν εφαρμόζουν ή δεν εφαρμόζαν μέχρι πολύ πρόσφατα καινοτόμες τεχνολογίες όσον αφορά τη μέτρηση της συγκέντρωσης των ρύπων, την επεξεργασία των δεδομένων και την παραγωγή πληροφοριών, ειδικά σε ό,τι αφορά στον τρόπο με τον οποίο οι πληροφορίες φτάνουν στους πολίτες [13]. Μία πάγια και κοινά αποδεκτή πρακτική είναι αυτή της προειδοποίησης των πολιτών όταν οι συγκεντρώσεις επιβλαβών αερίων ρύπων ξεπερνούν τα

εγνωσμένα όρια ασφαλείας, και όχι η διαρκής και σε πραγματικό χρόνο ενημέρωσή τους. Αυτό δε σχετίζεται μόνον με τους τρόπους επεξεργασίας των δεδομένων και αναφοράς των δημιουργούμενων πληροφοριών, αλλά σχετίζεται με τα διαστήματα κατά τα οποία πραγματοποιούνταν η δειγματοληψία [8].

Μία ακόμη κοινή πρακτική εντοπίζεται στην κατασκευή σταθμών μέτρησης σε σημεία όπου εντοπίζεται έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση, το οποίο σύμφωνα με τους Kanaroglou et al. [8] υποβαθμίζει την ποιότητα και την αξιοπιστία των μετρήσεων. Οι Kanaroglou et al. [8] πρότειναν ότι οι σταθμοί μέτρησης πρέπει να τοποθετούνται κατόπιν αξιολόγησης των χρήσεων γης, της πυκνότητας κατοίκησης και του κυκλοφοριακού φόρτου [8].

Πέραν των πρακτικών για την επιλογή της θέσης εγκατάστασης σταθμών μέτρησης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον εντοπίζεται στον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση. Η μέτρηση των αερίων ρύπων πραγματοποιείται συνήθως παθητικά και όχι ενεργά, με τους σταθμούς μέτρησης να επαναλαμβάνουν μία μέτρηση τηρώντας κάποιο προκαθορισμένο διάστημα δειγματοληψίας. Εντούτοις, καθώς ο κυκλοφοριακός φόρτος αυξομειώνεται και καθώς η συμμετοχή κάθε οχήματος στη συγκέντρωση αερίων ρύπων είναι διαφορετική, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μετατροπή του τρόπου μέτρησης σε πιο ενεργό και εξαρτώμενο από τη ροή και την επιβάρυνση που προκαλεί κάθε διαφορετικό όχημα [7].

Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον εντοπίζεται στο χρόνο κατά τον οποίο οι μετρήσεις καθίστανται διαθέσιμες και στον παραλήπτη των πληροφοριών. Οι παραδοσιακές τεχνικές μέτρησης είναι τέτοιες που δεν επιτρέπουν την άμεση επεξεργασία των δεδομένων μέτρησης και την άμεση παραγωγή πληροφοριών, όπως προαναφέρεται λόγω και του τρόπου με τον οποίο γίνεται η δειγματοληψία. Επιπλέον, λόγω του γεγονότος ότι δεν μετράται η συνεισφορά κάθε οχήματος ξεχωριστά στο φαινόμενο της ρύπανσης, οι τελικοί αποδέκτες είναι οι πολίτες και οι αρχές, οι οποίοι ενημερώνονται ειδικά σε περίπτωση αυξημένης συγκέντρωσης ρύπων. Από τους αποδέκτες, με τις παραδοσιακές μεθόδους μέτρησης και προβολής των αερίων ρύπων των οχημάτων, λείπουν σαφώς οι ιδιοκτήτες των οχημάτων, οι οποίοι δεν είναι εφικτό να ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο για τους εκλούμενους ρύπους από το όχημά τους [3].

Αυτή την περίοδο η Ε.Ε βρίσκεται στην διαδικασία σύνταξης νέου προτύπου για τον περιορισμό της ρύπανσης από τον τομέα των μεταφορών το Euro 7. Σύμφωνα με ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής οι νέες απαιτήσεις που προτάθηκαν από την Επιτροπή απλουστεύουν το νομικό πλαίσιο που υπάρχει για τα όρια των εκπομπών ανά είδος οχήματος καθώς ενοποιεί τους κανονισμούς για όλα τα οχήματα. Οι νέοι νόμοι είναι ουδέτεροι σε σχέση με το καύσιμο και την τεχνολογία θέτοντας τα ίδια όρια ανεξάρτητα για το αν το όχημα χρησιμοποιεί ως καύσιμό του βενζίνη, πετρέλαιο κίνησης, ηλεκτρικά συστήματα μετάδοσης ή εναλλακτικούς τύπους καυσίμων. Οι κανόνες αυτοί θα συντελέσουν στον καλύτερο έλεγχο των εκπομπών των αερίων ρύπων από όλα τα νέα οχήματα με την διεύρυνση του φάσματος των συνθηκών οδήγησης που καλύπτονται από τα τεστ εκπομπών αερίων ρύπων του δρόμου. Ακόμα θα οδηγήσουν στον εκσυγχρονισμό και στην αυστηροποίηση των ορίων των εκπομπών αερίων ρύπων, τα όρια θα είναι αυστηρότερα για τα φορτηγά και τα λεωφορεία ενώ τα χαμηλότερα όρια που υπάρχουν για τα αυτοκίνητα και βαν θα εφαρμόζονται ανεξάρτητα από το καύσιμο που θα χρησιμοποιεί το όχημα και θα θέτονται όρια εκπομπών για ρύπους που δεν είχαν θεσπιστεί στο παρελθόν. Επιπρόσθετα, κανόνες θα τεθούν για εκπομπές από φρένα και λάστιχα για πρώτη φορά παγκοσμίως και θα τεθούν για όλα

τα αυτοκίνητα ακόμα και για τα ηλεκτροκίνητα. Θα διασφαλίζεται ότι τα νέα αυτοκίνητα θα παραμένουν καθαρά για περισσότερο χρονικό διάστημα, ο έλεγχος συμμόρφωσης των αυτοκινήτων και των βαν θα γίνεται όταν τα αυτοκίνητα θα φτάνουν τα 200.000km και τα δέκα χρόνια κυκλοφορίας το οποίο διπλασιάζει την αντοχή των οχημάτων που έχουν τεθεί στους κανόνες του προτύπου Euro6 και παρόμοιες αυξήσεις θα υπάρξουν για τα λεωφορεία και τα φορτηγά. Θα υποστηριχθεί η ανάπτυξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων καθώς οι νέοι κανόνες θα ορίσουν την αντοχή των μπαταριών που θα υπάρχουν στα αυτοκίνητα και τα βαν για να γίνουν πιο έμπιστα στο κοινό αλλά και να μειώσουν την ανάγκη αντικατάστασης της μπαταρίας σε σχετικά καινούρια οχήματα μειώνοντας κατ' επέκταση την ανάγκη για πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των μπαταριών. Τέλος, το νέο πρότυπο θα διασφαλίζει την πλήρη χρήση των ψηφιακών δυνατοτήτων με την εγκατάσταση αισθητήρων σε αυτά για την μέτρηση των ρύπων καθ' όλη την διάρκεια ζωής του αυτοκινήτου [46].

1.2 Αντικείμενο διπλωματικής

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν καινοτόμες τεχνολογίες, με έμφαση στην τεχνολογία Δικτύου των Πραγμάτων και άλλες υποστηρικτές τεχνολογίες επικοινωνιών, για την μέτρηση και την προβολή των αερίων ρύπων που εκλύονται από τα οχήματα με δυναμικό τρόπο και με τρόπο τέτοιο ώστε να ενημερώνονται οι ίδιοι οι ιδιοκτήτες των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο. Παραδείγματα τέτοιων δράσεων εντοπίζονται ήδη παγκοσμίως, με παράδειγμα την περίπτωση της Κίνας, ενώ στα πλαίσια της παρούσης εξετάζονται πιο καινοτόμες ιδέες οι οποίες αναμένεται να βρουν εφαρμογή, καθώς τα οφέλη τους στην αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορεί να είναι δραματικά, ειδικά στο αστικό πεδίο [4],[25].

1.3 Δομή της διπλωματικής

Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 2 θα γίνει εκτενής αναφορά στις επιπτώσεις της απελευθέρωσης μεγάλων ποσοτήτων αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα καθώς και τρόποι που ήδη υπάρχουν για την καταμέτρηση των αερίων ρύπων που εκλύονται από την κυκλοφορία των οχημάτων. Στο Κεφάλαιο 3 θα γίνει η περιγραφή του σχεδιασμού του πρωτότυπου συστήματος καθώς και ο τρόπος με τον οποίο θα υλοποιηθεί.

2

Το πρόβλημα των αερίων ρύπων

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε παρουσίαση της Ευρωπαϊκής πολιτικής για την μέτρηση των αερίων ρύπων αλλά και για την ελάττωση τους προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι αρνητικές επιπτώσεις της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της υγείας των ανθρώπων ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Η νομοθετική πρωτοβουλία της Ε.Ε είναι παράλληλα παγκοσμίως πρωτοπόρα σε θέματα μείωσης των αερίων ρύπων, την πτώση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη αλλά και στήριξης τρίτων χωρών, εκτός της Ένωσης. Βασικός προβληματισμός που δημιουργείται από το πλαίσιο αυτού του νόμου αλλά και την στοχοθεσία είναι η παρακολούθηση των αερίων ρύπων που εκπέμπονται καθώς και η ανάπτυξη αξιόπιστων συστημάτων μέτρηση από τις οποίες θα προκύπτουν αξιόπιστα δεδομένα, τα οποία θα αποθηκεύονται με ασφάλεια, και παράλληλα θα παρέχονται κίνητρα στους οδηγούς για να εξασφαλισθεί η ευρεία χρήση τους. Σε συνέχεια αυτών, σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται και συζητούνται τα αποτελέσματα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση στο πεδίο της εφαρμογής καινοτόμων τεχνολογιών για την παρακολούθηση των ρύπων των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο. Έμφαση δίδεται στην τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) καθώς και μεθόδων Crowd Sensing (Ιχνίλατηση Πλήθους). Η βιβλιογραφική ανασκόπηση εκτελέστηκε σε δύο άρθρα τα οποία εστίασαν στην κατασκευή συστημάτων παρακολούθησης και προβολής των αερίων ρύπων ή και της ηχορύπανσης από την κυκλοφορία οχημάτων με εφαρμογή της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων [18], [20].

2.1 Επιβλαβείς αέριοι ρύποι και επιπτώσεις τους

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολλοί αέριοι ρύποι, οι οποίοι εκλύονται από τη βιομηχανική δραστηριότητα και από τον τομέα των μεταφορών, αλλά και γενικότερα απόρροια της έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στα αστικά κέντρα, οι οποίοι σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση και μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση της συχνότητας εμφάνισης νοσηροτήτων. Μεταξύ αυτών, αναφέρονται τα σωματίδια μεταβλητής και πολύ μικρής διαμέτρου, τα οποία έχουν την ικανότητα να διεισδύουν στο αναπνευστικό σύστημα μέσω της εισπνοής, προκαλώντας αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις, διάφορες δυσλειτουργίες του αναπαραγωγικού και του κεντρικού νευρικού συστήματος και σχετίζονται με την ανάπτυξη διαφόρων μορφών καρκίνου. Μολονότι το όζον, σε φυσιολογικές συγκεντρώσεις, στη στρατόσφαιρα διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς σχηματίζει έναν προστατευτικό κλοιό για τον πλανήτη έναντι της υπεριώδους ακτινοβολίας, αντίστροφα είναι επιβλαβές όταν εντοπίζεται με υψηλές συγκεντρώσεις στο επίπεδο του εδάφους ή κοντά στο επίπεδο του εδάφους. Οι υψηλές συγκεντρώσεις του όζοντος έχουν συσχετιστεί με παθήσεις του αναπνευστικού και του καρδιαγγειακού συστήματος. Εν συνεχεία, το οξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου, οι πτητικές οργανικές ενώσεις, οι διοξίνες, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες αποτελούν τους πιο κοινά αναφερόμενους ατμοσφαιρικούς ρύπους, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για σοβαρές βλάβες στην ανθρώπινη υγεία. Ακολουθώντας, το μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί ακόμη και να προκαλέσει δηλητηρίαση όταν εισπνέεται σε υψηλές συγκεντρώσεις αλλά είναι υπεύθυνο και για πληθώρα βλαβών και ασθενειών. Άλλοι ρύποι όπως τα βαρέα μέταλλα, μεταξύ των οποίων και του μόλυβδου, μπορούν να επιδράσουν ως δηλητήρια όταν συγκεντρώνονται στον ανθρώπινο οργανισμό μακροπρόθεσμα [22]. Οι οδοί μέσα από τις οποίες εισέρχονται τα βαρέα μέταλλα στον ανθρώπινο οργανισμό περιλαμβάνουν το αναπνευστικό, αλλά και το γαστρεντερικό, καθώς μπορούν να καταλήξουν στον οργανισμό ενός ανθρώπου μέσα από νερό ή τροφές οι οποίες έχουν μολυνθεί με βαρέα μέταλλα τα οποία καταλήγουν να μολύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα μέσα από τη βροχή [1].

Οι συχνότερα αναφερόμενες βλάβες οι οποίες σχετίζονται με το υποβαθμισμένο περιβάλλον εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ποικίλα αναπνευστικά προβλήματα, όπως το άσθμα, η χρόνια πνευμονοπάθεια και ο καρκίνος του πνεύμονα, διάφορες άλλες μορφές καρκίνου, καρδιαγγειακές παθήσεις, δερματικές παθήσεις, παθήσεις του κεντρικού νευρικού συστήματος, αλλά και η υποβάθμιση της αναπαραγωγικής ικανότητας.

Η αυστηροποίηση του θεσμικού πλαισίου, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο, η ενίσχυση της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης των κυβερνήσεων και του κοινού, η εφαρμογή μέτρων για την παρακολούθηση της ποιότητας του περιβάλλοντος και την μέτρηση των συγκεντρώσεων αερίων ρύπων αποτελούν κινήσεις οι οποίες γίνονται στην κατεύθυνση διαχείρισης του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ειδικά στο αστικό πεδίο και ειδικά σε ό,τι αφορά στο κλάσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από τα αυτοκίνητα [9]. Η στροφή προς μοντέλα βιώσιμης ανάπτυξης μπορεί να διαδραματίσει καίριο ρόλο στην κατεύθυνση επιβράδυνσης, αναστολής και αντιστροφής της κλιματικής αλλαγής [16].

Στην κατεύθυνση αυτή εντοπίζεται σημαντική συνεισφορά των καινοτόμων τεχνολογιών οι οποίες μπορούν να συνεισφέρουν ποικιλοτρόπως στη διαχείριση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, από το επίπεδο της μέτρησης έως το επίπεδο του ελέγχου της εκπομπής αερίων ρύπων [4]. Στις

επόμενες παραγράφους παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας στο πεδίο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με ιδιαίτερη έμφαση σε δύο άρθρα όπου προτείνεται η κατασκευή συστημάτων βασισμένων στην τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων, για την μέτρηση και την προβολή των αερίων ρύπων οι οποίοι εκλύονται από οχήματα.

2.2 Καινοτόμες Τεχνολογίες για τη διαχείριση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Σύμφωνα με τους Bublitz et al. [4] οι καινοτόμες τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ψηφιακών οικοσυστημάτων για τον έλεγχο μεταξύ άλλων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης [4]. Η δημιουργία πληθώρας τέτοιων οικοσυστημάτων μπορεί να επιτρέψει την ενσωμάτωση δεδομένων από πολλαπλά μετρούμενα δεδομένα, από πολλά σημεία ενός αστικού κέντρου, τα οποία μπορούν να μεταφορτώνονται σε μία κεντρική πλατφόρμα διαχείρισης των δεδομένων. Μέσα από τη συγκέντρωση δεδομένων από πολλές πηγές μπορούν να εξαχθούν καλύτερα και πιο αξιόπιστα για τη λήψη αποφάσεων για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης άμεσα, με λήψη άμεσων μέτρων, ή έμμεσα μέσα από το σχεδιασμό κατάλληλων πολιτικών και θεσμικών πλαισίων[4].

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι καινοτόμες τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να δώσουν τη βάση για τη δημιουργία οικοσυστημάτων για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνουν την Υπολογιστική Νέφους², για την υποστήριξη της μεταφοράς, αποθήκευσης και επεξεργασίας των δεδομένων από μετρήσεις ρύπων και κλιματικών και περιβαλλοντικών παραγόντων σε μικρό χρόνο, την τεχνολογία Τεχνητής Νοημοσύνης³, και των τεχνικών Βαθιάς Μάθησης⁴ και Μηχανικής Μάθησης⁵, για την ταχύτατη επεξεργασία των συλλεγόμενων δεδομένων και για τον εντοπισμό μοτίβων και δεικτών πρόβλεψης της έκλυσης αερίων ρύπων, ειδικά με τη βοήθεια της Επιστήμης Δεδομένων, καθώς μπορεί να συλλέγονται τεράστιοι όγκοι δεδομένων, τη δημιουργία συστημάτων διαχείρισης των ρύπων αυτόματα και χωρίς την ανάγκη

² Υπολογιστική Νέφους (cloud computing) : μοντέλο που επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση κατ' απαίτηση στο δίκτυο σε μια κοινή ομάδα διαμορφώσιμων υπολογιστικών πόρων (π.χ δίκτυα, διακομιστές, αποθήκευση, εφαρμογές και υπηρεσίες) που μπορούν να παρασχεθούν γρήγορα και απελευθερώθηκε με ελάχιστη προσπάθεια διαχείρισης ή υπηρεσίας αλληλεπίδρασης παρόχου. [41]

³ Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence): τομέας της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με την ανάπτυξη υπολογιστών ικανών να εμπλέκονται σε ανθρώπινες διαδικασίες σκέψης όπως μάθηση, ο συλλογισμός και η αυτο-διόρθωση [42]

⁴ Βαθιά Μάθηση (Deep Learning) : κατηγορία τεχνικών μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούν πολλά επίπεδα η γραμμικής επεξεργασίας πληροφοριών για εποπτευόμενη ή μη εποπτευόμενη εξαγωγή και μετασχηματισμό χαρακτηριστικών καθώς και για ανάλυση και ταξινόμηση προτύπων

⁵ Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) :εξελισσόμενος κλάδος υπολογιστικών αλγορίθμων που έχουν σχεδιαστεί να μιμούνται την ανθρώπινη νοημοσύνη μαθαίνοντας από το περιβάλλον

ανθρώπινης παρέμβασης, την τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων, για την μέτρηση των εκλυόμενων ρύπων και συνοδών περιβαλλοντικών δεδομένων, αλλά και άλλων τεχνολογικών επιτευγμάτων όπως είναι οι φορητές έξυπνες συσκευές, οι οποίες κατ' επέκταση μπορεί να εγκαθίστανται με την ίδια λογική επί οχημάτων κ.α. [11], [12], [19], [21], [27].

Σύμφωνα με τους Kumar et al. [13], οι καινοτόμες τεχνολογίες μπορούν να διαδραματίσουν καίριο ρόλο στη διαχείριση του περιβάλλοντος και να βελτιώσουν τις τρέχουσες πρακτικές. Οι Kumar et al. [13] προτείνουν ότι οι καινοτόμες τεχνολογίες μπορούν να συνεισφέρουν σε επίπεδο μέτρησης των αερίων ρύπων, συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων από μετρήσεις και εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων τα οποία μπορούν να υποβοηθήσουν τη διαδικασία λήψης απόφασης [13]. Η λήψη απόφασης για τη διαχείριση του περιβάλλοντος και δη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορεί να αφορά σε ατομικό επίπεδο, από τον κάτοχο ενός αυτοκινήτου, μέχρι την τοπική αυτοδιοίκηση για τη λήψη μέτρων σε επίπεδο πόλης ή και μέχρι την κεντρική κυβέρνηση για την κατάλληλη τροποποίηση του θεσμικού πλαισίου [13], [19], [20].

2.3 Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) συνίσταται στη δημιουργία εκτεταμένων δικτύων αισθητήρων, οι οποίοι καθιστούν εφικτή τη συλλογή δεδομένων από τον φυσικό κόσμο, σε πραγματικό χρόνο, αλλά και επιτρέπουν όχι μόνον την επικοινωνία των συλλεγόμενων δεδομένων σε ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης πληροφοριών αλλά και την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών αισθητήρων. Επιπρόσθετα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων συνίσταται και στη δημιουργία εκτεταμένων δικτύων ενεργοποιητών (actuators), οι οποίοι μπορούν να λαμβάνουν εντολές και πληροφορίες είτε από ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης πληροφοριών είτε από αισθητήρες προκειμένου να εκτελούν ενέργειες και σενάρια με τρόπο αυτόματο, χωρίς να απαιτείται η ανθρώπινη παρέμβαση και σε πραγματικό χρόνο.

Με την τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων καθίσταται εφικτή η μέτρηση και αντίληψη μεγεθών του φυσικού κόσμου και η μεταφορά των μεγεθών αυτών από τον φυσικό κόσμο στον ψηφιακό κόσμο. Με την τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων καθίσταται εφικτή η δημιουργία κυβερνο-φυσικών συστημάτων, δηλαδή ψηφιακών συστημάτων τα οποία μπορούν να ελέγχουν μεγέθη από τον φυσικό κόσμο, δηλαδή μπορούν να επιτηρούν τον φυσικό κόσμο, και να τα ρυθμίζουν με αυτόματο τρόπο [6].

2.3.1 Εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων για την παρακολούθηση των αερίων ρύπων

Μία από τις δύο κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αλλά και ηχορύπανσης, είναι ο τομέας των μεταφορών, με την ατμοσφαιρική ρύπανση που οφείλεται στις μεταφορές να φέρεται να είναι

υπεύθυνη για περίπου 4,2 έως 5,5 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους παγκοσμίως ετησίως [14], [33].

Για την ακρίβεια, οι μεταφορές έχουν τη μεγαλύτερη συμβολή στη ρύπανση του αέρα και είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη πηγή έκλυσης διοξειδίου του άνθρακα [23].

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων συνίσταται όπως αναφέρεται και στην προηγούμενη παράγραφο στη δημιουργία δικτύων συσκευών οι οποίες μετρούν δεδομένα από τον φυσικό κόσμο και επικοινωνούν με άλλες συσκευές εντός του δικτύου για την ανταλλαγή των συλλεγόμενων δεδομένων. Οι πρόσφατες προσεγγίσεις στην τεχνολογία μετρήσεων και συγκεκριμένα οι εξελίξεις στο πεδίο των ασύρματων αισθητήρων ανοίγουν νέους ορίζοντες για την παρακολούθηση και τη διαχείριση του περιβάλλοντος [17].

Μολονότι οι πρώτες εφαρμογές της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων εντοπίζονται στον τομέα της βιομηχανίας, στα ευρύτερα πλαίσια της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, εντούτοις η τεχνολογία αυτή μπορεί να βρει εφαρμογή στη διαχείριση του περιβάλλοντος. Η εφαρμογή αυτή βασίζεται στη δημιουργία ψηφιακών – φυσικών οικοσυστημάτων για την αυτόματη και σε πραγματικό χρόνο επιτήρηση παραμέτρων του περιβάλλοντος, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, αλλά και οι συγκεντρώσεις αερίων ρύπων του θερμοκηπίου [5].

Οι Khaslan et al. [10] πρότειναν ένα καινοτόμο σύστημα εντοπισμού τοξικών αερίων το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων, αποτελούμενο από ασύρματους μετρητές αερίων οι οποίοι επικοινωνούν με ένα κέντρο διαχείρισης πληροφοριών μέσω Wi-Fi και η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται μέσω ενός μικροεπεξεργαστή SAMD21 ARM. Οι μετρητές μπορούν να εγκατασταθούν οπουδήποτε, ενώ φέρουν και κάρτα μνήμης για την αποθήκευση των μετρήσεων, ενώ όλα τα δεδομένα και όλες οι πληροφορίες μεταφορτώνονται σε μία διαδικτυακή πλατφόρμα [10].

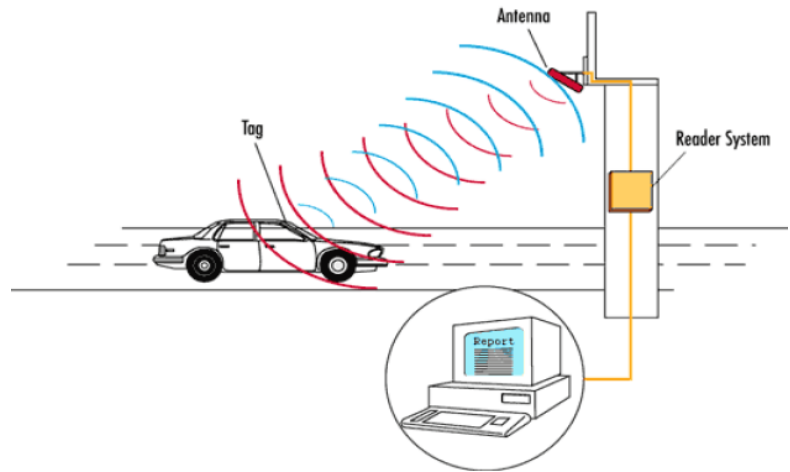
Οι Vinaya et al. [24] πρότειναν ένα απλό και φθινό σύστημα μέτρησης αερίων ρύπων βασισμένο σε έναν μικροεπεξεργαστή ARM και αισθητήρες υψηλής ευαισθησίας τύπου MQ-4 [24].

Στις επόμενες δύο παραγράφους παρουσιάζονται συνοπτικά τα ευρήματα από την ανάλυση δύο προτεινόμενων συστημάτων βασισμένων στην τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων για την παρακολούθηση των αερίων ρύπων που εκλύονται από οχήματα των [18] και [20].

2.3.2 Προτεινόμενο σύστημα παρακολούθησης αερίων ρύπων των Rushikesh et al. [20].

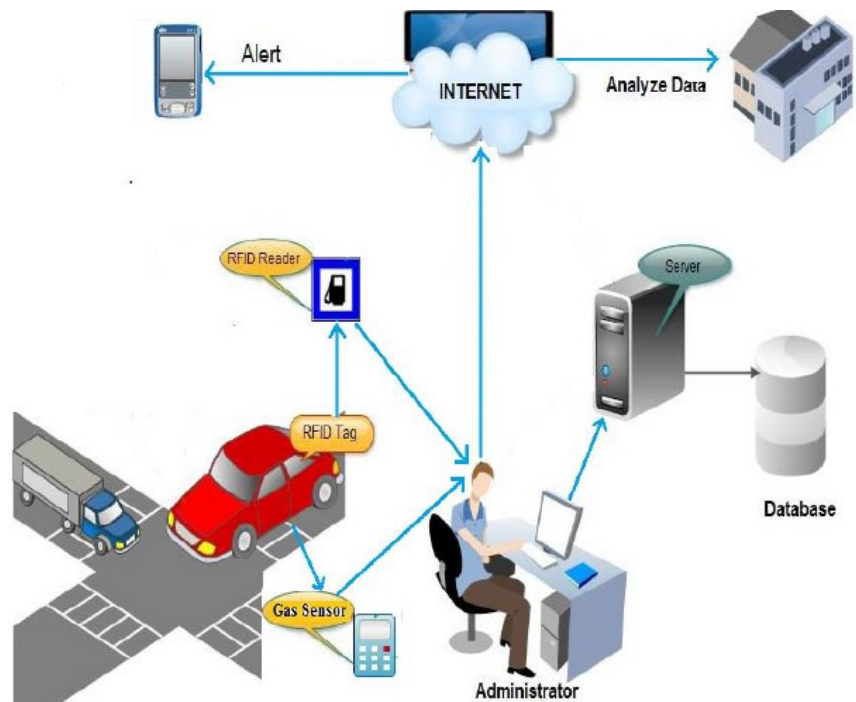
Οι Rushikesh et al. [20] πρότειναν ένα σύστημα παρακολούθησης των αερίων ρύπων που εκλύονται από οχήματα βασισμένο στην τεχνολογία IoT, το οποίο μετρά τους εκκλυόμενους ρύπους από κάθε όχημα και ειδοποιεί ένα κέντρο διαχείρισης, αλλά και τον οδηγό σε περίπτωση όπου οι ρύποι ξεπερνούν ένα ανώτατο όριο. Το όχημα φέρει ένα RFID πομπό το οποίο ενεργοποιεί έναν RFID δέκτη όταν το όχημα περνά κοντά από το σημείο μέτρησης. Με τον τρόπο αυτό εκτελείται επιτόπια μέτρησης των ρύπων.

Σχήμα 5: Αναγνώριση οχήματος και μέτρηση ρύπων [20]



Η μέτρηση αποστέλλεται σε ένα κέντρο διαχείρισης πληροφοριών, όπου τα δεδομένα μετρήσεων συνδυάζονται με δεδομένα από την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα προ της διέλευσης του οχήματος και υπολογίζονται οι ρύποι που εκλύθηκαν από το συγκεκριμένο όχημα:

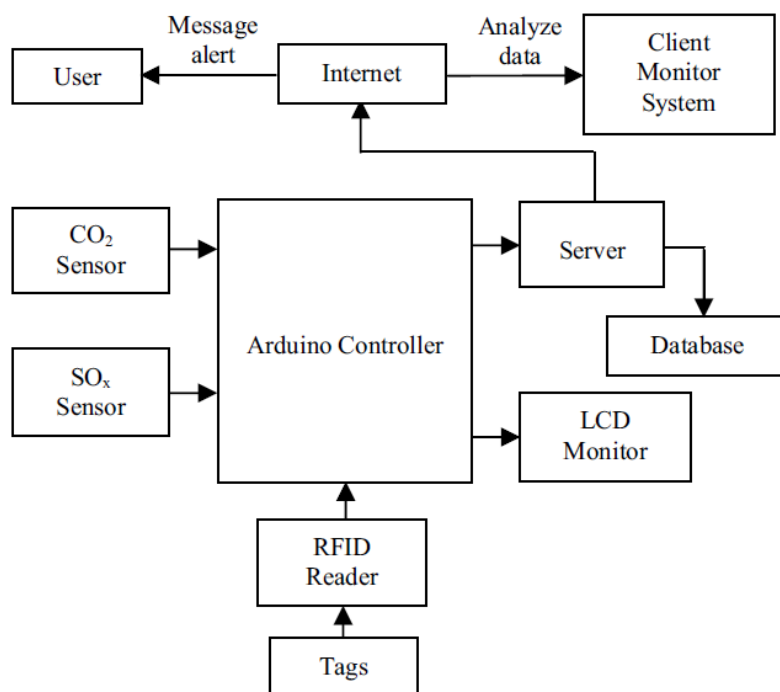
Σχήμα 6: Προτεινόμενη αρχιτεκτονική συστήματος [20]



Όλα τα δεδομένα μετρήσεων από οχήματα, μαζί με δεδομένα από την ποιότητα του αέρα καταγράφονται και αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων για τον υπολογισμό της διαφοράς στις συγκεντρώσεις ρύπων μετά τη διέλευση ενός οχήματος.

Ο οδηγός ειδοποιείται ότι ξεπερνά το προκαθορισμένο όριο εκπομπής ρύπων, αλλά ενημερώνεται και για ένα χρηματικό πρόστιμο το οποίο καλείται να καταβάλει ανάλογα με το ύψος της υπέρβασης.

Το σύστημα διαθέτει δύο μετρητές για την ανίχνευση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του θείου. Η επεξεργασία των δεδομένων, η αποστολή τους στη βάση δεδομένων, η επικοινωνία με το διακομιστή του συστήματος και η αναπαραγωγή στην οθόνη του κέντρου διαχείρισης πληροφοριών μέσω ενός μικροελεγκτή ATmega328 τύπου Arduino όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 7: Μπλοκ διάγραμμα προτεινόμενου συστήματος [20]

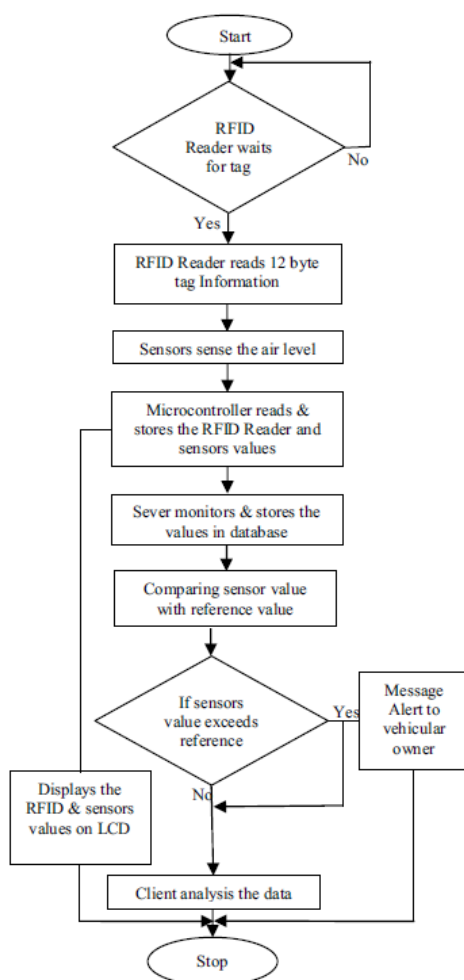
Ο προγραμματισμός του διακομιστή γίνεται με χρήση γλώσσας Java, ενώ ο διακομιστής εκτελεί τέσσερις διακριτές λειτουργίες:

- λήψη και αναπαραγωγή των δεδομένων μέτρησης
- αποθήκευση μετρήσεων σε μία βάση δεδομένων
- αποστολή δεδομένων στο κέντρο διαχείρισης πληροφοριών για να γίνει η επεξεργασία τους
- αποστολή ειδοποιήσεων στους οδηγούς των οχημάτων που εκλύουν περισσότερους ρύπους από το προκαθορισμένο όριο

Η καινοτομία του προτεινόμενου συστήματος εντοπίζεται στη δυνατότητα μέτρησης της έκλυσης ρύπων από κάθε όχημα ξεχωριστά, στη δυνατότητα άμεσης ειδοποίησης του οδηγού και στη δυνατότητα υπολογισμού και επιβολής προστίμου. Ως εκ τούτου, το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να εγκατασταθεί σε σημεία με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση και στα οχήματα τα

οποία έχουν άδεια για να περνούν από τα σημεία αυτά. Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να εγκατασταθεί με συνδυασμό μέτρων όπως ο δακτύλιος, για την αποτελεσματική μέτρηση των εκπεμπόμενων ρύπων ειδικά στις επιβαρυνμένες περιοχές των αστικών κέντρων και εν τέλει για την αποτελεσματική διαχείριση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Σημειώνεται πως απαιτείται η αποδοχή του συστήματος από τους οδηγούς καθώς και απαιτείται να υπερκεραστούν εμπόδια που αφορούν στην ασφάλεια των πληροφοριών, προκλήσεις οι οποίες μπορούν να ξεπεραστούν με κατάλληλες νομοθετικές παρεμβάσεις.

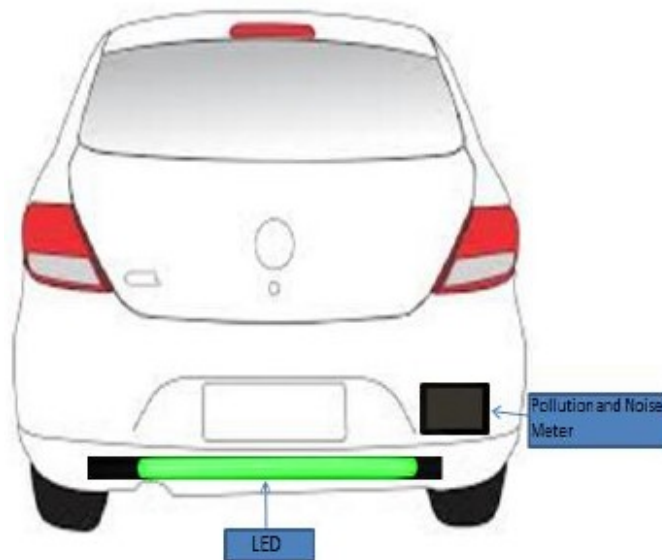
Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα ροής του προτεινόμενου συστήματος:



Σχήμα 8: Διάγραμμα ροής προτεινόμενου συστήματος [20]

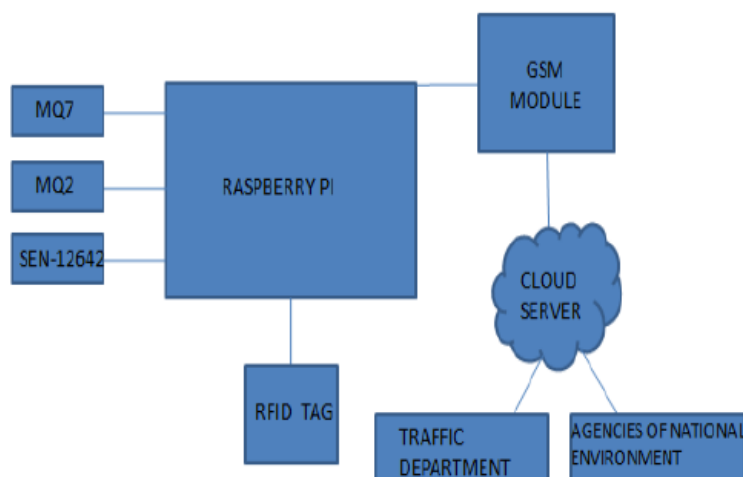
2.3.3 Προτεινόμενο σύστημα παρακολούθησης αερίων ρύπων του Patil [18]

Ο Patil [18] πρότεινε ένα σύστημα μέτρησης των παραγόμενων ρύπων αλλά και της παραγόμενης ηχορύπανσης από οχήματα [18]. Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να βρει εφαρμογή για τον εντοπισμό και για την παρακολούθηση των αυτοκινήτων τα οποία εκλύουν περισσότερους ρύπους από ένα ανώτατο προκαθορισμένο όριο.



Σχήμα 9: Θέση μετρητών και ενδεικτικής λυχνίας [18]

Το σύστημα βασίζεται σε έναν μικροεπεξεργαστή Raspberry Pi όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 10: Μπλοκ διάγραμμα προτεινόμενου συστήματος [18]

Οι μετρήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης γίνονται μέσω ενός αισθητήρα τύπου MQ-7, ο οποίος μετρά τη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα, με δυνατότητα μέτρησης συγκεντρώσεων από 10ppm έως 10.000ppm. Ο επιλεγμένος μετρητής έχει πολύ υψηλή ακρίβεια μέτρησης καθώς και ιδιαίτερα μεγάλη διάρκεια ζωής. Επιπλέον, πραγματοποιούνται μετρήσεις της συγκέντρωσης υδρογόνου, φυσικού αερίου, μεθανίου, προπανίου, αλκοολών, και συμπληρωματικά μονοξειδίου του άνθρακα μέσω ενός αισθητήρα τύπου MQ-2. Ο επιλεγμένος μετρητής έχει χαμηλό κόστος, μεγάλη διάρκεια ζωής και ιδιαίτερα υψηλή ευαισθησία μέτρησης. Οι δε μετρήσεις της ηχορύπανσης πραγματοποιούνται μέσω ενός αισθητήρα SEN-12642 [18].

Οι μετρήσεις μεταφέρονται από τον μικροεπεξεργαστή στο υπολογιστικό νέφος μέσω ενός GSM modem.

Το σύστημα τοποθετείται σε κάθε όχημα και ενεργοποιείται μόλις εκκινήσει τη λειτουργία του το αυτοκίνητο. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο και αποστέλλονται σε ένα υπολογιστικό νέφος κάθε είκοσι λεπτά από τον μικροεπεξεργαστή μέσω ενός GSM modem. Οι αρμόδιες αρχές (π.χ. αυτοδιοίκηση) έχουν πρόσβαση στις μεταδιδόμενες μετρήσεις, ενώ η πορεία και η θέση του αυτοκινήτου παρακολουθείται μέσω πομπών τεχνολογίας RFID τους οποίους φέρει κάθε όχημα, οι οποίοι ενεργοποιούνται μόλις το όχημα περάσει κοντά από έναν σταθμό λήψης μετρήσεων ο οποίος φέρει δέκτη RFID.

Καθώς πραγματοποιούνται μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο, εκτός από την αποστολή των μετρήσεων στο υπολογιστικό νέφος, μία λυχνία led στο πίσω μέρος του οχήματος φωτίζεται με πράσινο χρώμα ενόσω οι εκπεμπόμενοι ρύποι και η παραγόμενη ηχορύπανση βρίσκονται εντός προκαθορισμένων ορίων και αντίθετα φωτίζεται με κόκκινο χρώμα μόλις οι μετρούμενες τιμές ξεπεράσουν το προκαθορισμένο αυτό όριο[18].

Το προτεινόμενο σύστημα έχει αρκετά μικρό κόστος κατασκευής και εγκατάστασης επί οχημάτων, ενώ λόγω του ότι είναι φορητό και δεδομένου ότι οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε κάθε όχημα ξεχωριστά μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της ηχορύπανσης, ενώ προσφέρει και τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων για τη θέση των οχημάτων εντός του δικτύου όπου εγκαθίστανται πομποδέκτες τεχνολογίας RFID. Δεδομένου ότι οι χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες έχουν πολύ υψηλή ευαισθησία μέτρησης, ελλοχεύει ο κίνδυνος οι μετρήσεις να μην είναι πάντα αξιόπιστες, ειδικά στην περίπτωση κυκλοφοριακής συμφόρησης όπου οι αισθητήρες ενός οχήματος μετρούν και τους εκλυόμενους ρύπους από διπλανά αυτοκίνητα που είναι ακινητοποιημένα στην κίνηση [18].

2.4 Crowd Sensing

Η διαδικασία της ανίχνευσης και παρατήρησης πλήθους αναπτύχθηκε με την με την πρόοδο της τεχνολογίας, την εξέλιξη των τεχνολογιών κινητής διάχυτης ανίχνευσης και ειδικά την εξάπλωση της χρήσης των «έξυπνων» κινητών τηλεφώνων. Στόχος του crowd sensing (της ανίχνευσης πλήθους) αποτελεί η αναγνώριση και η διασύνδεση διαφόρων φυσικών αντικειμένων και του περιβάλλοντος τους στον πραγματικό κόσμο με μεγάλο ποσοστό ακρίβειας και σε μεγάλη κλίμακα. Συγκεκριμένα στην περίπτωση χρήσης των παραδοσιακών κόμβων αισθητήρων για την παρατήρηση φαινομένων σε μεγάλη κλίμακα και σε μεγάλο ποσοστό ακρίβειας θα χρειαστεί ένας μεγάλος αριθμός αισθητήρων για να καλυφθεί η περιοχή ενδιαφέροντος αλλά και η καλή επικοινωνία μεταξύ τους το οποίο αποτελεί οικονομικά μη εφικτό αλλά και ανεπιθύμητο. [39]

Πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνολογίες κινητής διάχυτης παρατήρησης και μετάδοσης έχουν δώσει την δυνατότητα στις συσκευές που χρησιμοποιούνται από τους ανθρώπους ή τους αισθητήρες που προσαρτώνται σε αυτοκίνητα όπως GPS, OBD κ.λ.π., να παρακολουθούν φαινόμενα μεγάλης κλίμακας που δεν είναι δυνατόν να μετρηθούν από ένα μεμονωμένο άνθρωπο. Αυτό το παράδειγμα μέτρησης – παρατήρησης καλείται Κινητή Ανίχνευση Πλήθους (MCS – Mobile Crowd Sensing).[39]

Η μέθοδος MCS παρουσιάζει ένα νέο πρότυπο ανίχνευσης βασισμένο στην ισχύ των κινητών συσκευών. Ο μεγάλος αριθμός των συσκευών που συνοδεύονται από τους χρήστες, συμπεριλαμβανομένων των κινητών τηλεφώνων, συσκευές που είναι δυνατόν να φορεθούν από τους χρήστες τους, τα έξυπνα οχήματα και η έμφυτη κινητικότητα τους δίνουν την δυνατότητα στη ανάπτυξη ενός νέου προτύπου ανίχνευσης που ουσιαστικά είναι η ικανότητα απόκτησης τοπικής γνώσης μέσω των κινητών συσκευών που έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν και ως αισθητήρες. Οι πληροφορίες που συλλέγονται σε συνδυασμό με το νέφος όπου πραγματοποιείται η συλλογή των δεδομένων, κάνει την MCS μια πολύπλευρη πλατφόρμα που μπορεί να αντικαταστήσει τις κατασκευές της στάσιμης ανίχνευσης και μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς για παρατήρηση και σχεδιασμό όπως η δημοσία ασφάλεια, ο προγραμματισμός της κυκλοφοριακής συμφόρησης κ.α. [39]

Σύμφωνα με τον επίσημο ορισμό, η MCS αποτελεί ένα νέο πρότυπο τρόπος ανίχνευσης που δίνει την δυνατότητα στον μέσο πολίτη να προσφέρει δεδομένα τα οποία έχουν ανιχνευθεί ή έχουν παραχθεί από τις κινητές συσκευές του, συλλέγει και συνδυάζει δεδομένα στο νέφος για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το πλήθος και την παροχή ανθρωποκεντρικών υπηρεσιών. Η MCS συλλέγει δεδομένα από κινητές συσκευές σαν εισροές. Εκτός αυτών επαναχρησιμοποιεί δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τους χρήστες. Ως μέθοδος εξερευνάει σε βάθος την ενοποίηση και σύνθεση δεδομένων από ετερογενείς και διασταυρούμενες πηγές δεδομένων. Οι ερευνητικές προκλήσεις που προκύπτουν από τη μέθοδο αυτή είναι αμέτρητες και μοναδικές και ποικίλουν από τους τρόπους συλλογής των δεδομένων, κατάλληλους μηχανισμούς κινήτρων, η ποιότητα των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από τους χρήστες, τον συνδυασμό διασταυρούμενων δεδομένων κλπ. Η MCS επί της ουσίας αναπαριστά έναν υβριδικού τύπου ανθρώπινης και μηχανικής νοημοσύνης που δεν έχει ερευνηθεί προηγουμένως.[39]

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του MCS είναι η συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα. Σε σύγκριση με τα κλασσικά δίκτυα αισθητήρων, η ανθρώπινη κινητικότητα

προσφέρει ευκαιρίες τόσο για την καλυπτικότητα της ανίχνευσης όσο και για την μετάδοση των δεδομένων. Σύμφωνα με τους Lane et al. υπάρχουν δύο κατηγορίες παραδειγμάτων στην κατηγορία MCS :

- 1) Συμμετοχική Ανίχνευση (Participatory sensing): Απαιτεί οι χρήστες να επιλέγουν συνειδητά να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της εφαρμογής με το να αποφασίσουν πότε, που, γιατί και πως να ανίχνευσης
- 2) Καιροσκοπική Ανίχνευση (Opportunistic sensing): Είναι πλήρως ασυνείδητο σχετικά με την εφαρμογή η οποία μπορεί να λειτουργεί στο παρασκήνιο και ευκαιριακά να συλλέγει δεδομένα χωρίς την ενεργή εμπλοκή των χρηστών [39]

Η ανίχνευση πλήθους μπορεί να παρουσιάσει μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με την με την εμπλοκή των χρηστών με την καιροσκοπική και συμμετοχική ανίχνευση να αποτελούν τα δύο ακραία. Το ποσοστό της ανθρώπινης εμπλοκής εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής και τις δυνατότητες της συσκευής. Με αυτές τις δύο μορφές ανίχνευσης κατηγοριοποιείται η μορφή ανίχνευσης από μια νέα όψη της γνώσης των συμμετεχόντων σε σχέση με τον στόχο παρατήρησης.[39]

Τόσο για την συμμετοχική όσο και για την καιροσκοπική μέθοδο ανίχνευσης η συλλογή δεδομένων είναι ο πρωταρχικός σκοπός και για τον λόγο αυτό είναι ως στόχος είναι σαφής στον χρήστη. Για δεδομένα τα οποία προέρχονται από υπηρεσίες κινητών κοινωνικών χρησιμοποιούνται για δευτερεύοντες λόγους, καθώς ο πρωταρχικός στόχος είναι η κοινωνική διάδραση στο διαδίκτυο, και για τον λόγο αυτό η συλλογή τους είναι έμμεση. Έτσι διαχωρίζονται δυο τρόποι παρακολούθησης σε δυο επίπεδα άμεσα και έμμεσα. [43]

Ακόμα υπάρχουν δυο κατηγορίες παραδειγμάτων μετάδοσης στο MCS:

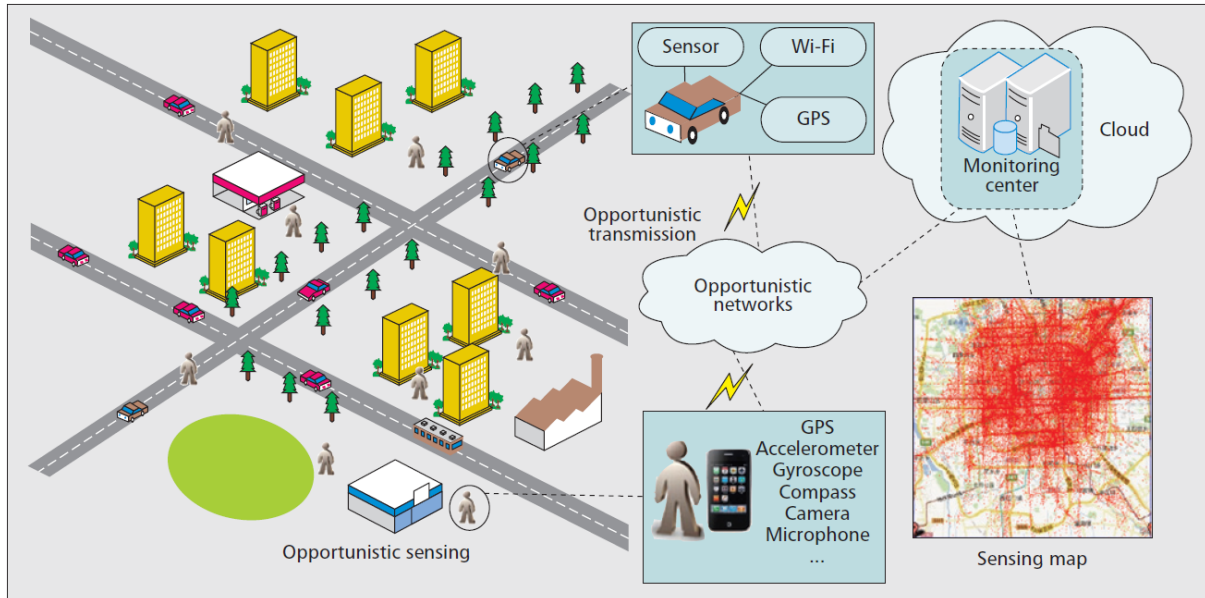
- 1) Μετάδοση με βάση την υποδομή: Θεωρεί ότι οι χρήστες αναφέρουν και έχουν πρόσβαση σε δεδομένα αισθητήρων μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας
- 2) Καιροσκοπική μετάδοση: Δίνει την δυνατότητα στα καιροσκοπικά δεδομένα τα οποία προωθεί στους χρήστες κινητής τηλεφωνίας μέσω διακοπτόμενων συνδέσεων ραδιοεπικοινωνίας μικρής εμβέλειας [43]

Διάφορες συσκευές οι οποίες λειτουργούν με την παρουσία του ανθρώπινου παράγοντα ως κινητοί κόμβοι στο MCS στους οποίους συμπεριλαμβάνονται τα κινητά τηλέφωνα, τα «έξυπνα αυτοκίνητα», τα wearables, οι «έξυπνες» κάρτες κ.α . [43]

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι παραγωγής δεδομένων στην μέθοδο MCS:

- 1) κινητή ανίχνευση και τα δεδομένα που παράγονται από τους χρήστες υπηρεσιών κοινωνικής δικτύωσης για κινητά. Συγκεκριμένα, η μέθοδος της κινητής ανίχνευσης (mobile sensing) τυπικά λειτουργεί σε πλαίσια αλλά και με μεμονωμένο τρόπο αξιοποιώντας τις πλούσιες δυνατότητες ανίχνευσης από ανεξάρτητες συσκευές. Είναι η μέθοδος συλλογής δεδομένων η οποία χρησιμοποιείται από την συμμετοχική ανίχνευση.
- 2) κινητά κοινωνικά δίκτυα, με την ραγδαία ανάπτυξη των του Internet κινητής τηλεφωνίας οι συνδετικοί κρίκοι μεταξύ της αντίδρασης μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και των φυσικών στοιχείων αυξάνονται. Τα δεδομένα μεγάλης κλίμακας τα οποία έχουν παραχθεί από χρήστες δημιουργούν μια νέα ευκαιρία για να καταλάβει κανείς την δυναμικότητα μιας πόλης ή μιας κοινωνίας

Ο συνδυασμός των δυο αυτών τρόπων παραγωγής δεδομένων είναι ένα μοναδικό χαρακτηριστικό της MCS . [43]



Σχήμα 11: Παράδειγμα Καιροσκοπικής Ανίχνευσης (Opportunistic Sensing) [39]

Η ενασχόληση του ανθρώπινου παράγοντα προκαλεί ανησυχίες αναφορικά με το απόρρητο. Χρήστες κινητών μπορεί να μη θέλουν να διαμοιράσουν τα δεδομένα που έχουν συλλέξει τα οποία περιέχουν προσωπικές και ευαίσθητες πληροφορίες. Τέλος, ενώ συμμετέχουν σε MCS, οι χρήστες κινητών καταναλώνουν τους δικούς τους πόρους. Για τον λόγο αυτό, οι μηχανισμοί κινήτρων είναι απαραίτητο να παρέχουν στους συμμετέχοντες ικανοποιητικές ανταμοιβές σε σχέση με τα κόστη συμμετοχής τους. Από την πλευρά της ανίχνευσης θα πρέπει να δοθούν στους συμμετέχοντες τα κατάλληλα κίνητρα προκειμένου να ολοκληρώνουν συγκεκριμένα καθήκοντα ανίχνευσης και από την πλευρά της μετάδοσης οι χρήστες θα πρέπει να ανταμείβονται για την αποστολή δεδομένων με τους υπόλοιπους. [39]

Η συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα στην υπολογιστική διαδικασία οδηγεί σε ένα μείγμα ανθρώπινης και μηχανικής ικανότητας. Ωστόσο, λόγω της δυναμικής των ανθρώπινου παράγοντα, ένα σημαντικό και πολύπλοκο πρόβλημα είναι ο προσδιορισμός της σωστής ομάδας χρηστών για την συλλογή των επιθυμητών δεδομένων με τις κατάλληλες παραμέτρους προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη ποιότητα ανίχνευσης με αποδοτικούς τρόπους. [39]

Η δημιουργία ενός συστήματος MCS σε μεγάλη κλίμακα προϋποθέτει έναν μεγάλο αριθμό συμμετεχόντων. Ωστόσο, οι συμμετέχοντες υπάρχει πιθανότητα να εγκαταλείπουν τις διαδικασίες στην περίπτωση που η ανταμοιβή τους από την επένδυση που έκαναν για να συμμετάσχουν είναι μικρότερη από αυτή που περίμεναν. Η υπόσχεση για οικονομική ή χρηματική αμοιβή αποτελεί μια σημαντική μέθοδο κινήτρων για τους περισσότερους συμμετέχοντες σε αγορές και

παραδοσιακούς οργανισμούς. Το ενδιαφέρον και η διασκέδαση αποτελούν και αυτά σημαντικά κίνητρα σε αρκετές περιπτώσεις, ακόμα και όταν δεν υπάρχει προοπτική οικονομικού κέρδους. Οι άνθρωποι μπορούν να αισθανθούν παρακίνηση για την συμμετοχή τους σε δραστηριότητες από κοινωνικούς και ηθικούς λόγους, όπως είναι η κοινωνικοποίηση, η δόξα, η αναγνώριση από άλλους κ.α. Στη συγκεκριμένη περίπτωση συλλογής δεδομένων μπορεί να υπάρξουν θέματα προστασίας προσωπικών δεδομένων με ευαίσθητες πληροφορίες που μπορεί να είναι τρωτές από κυβερνο-επιθέσεις. Επομένως για να παρακινηθούν οι χρήστες θα πρέπει να αναζητηθούν νέες τεχνικές για την προστασία των ευαίσθητων προσωπικών τους δεδομένων ενώ ταυτόχρονα θα μπορούν οι συσκευές τους να συλλέγουν έμπιστα τα δεδομένα που χρειάζονται. [43]

Ακόμα, η ανάμειξη του ανθρώπινου παράγοντα στην ανίχνευση πλήθους αναδεικνύει και κάποιες αβεβαιότητες στο σύστημα MCS. Για παράδειγμα, ανώνυμοι χρήστες μπορεί να αποστείλουν λανθασμένα δεδομένα ή ακόμα και ψεύτικα. Δεδομένα τα οποία αποστέλλονται από διαφορετικούς ανθρώπους μπορεί να είναι περιττά ή αντιφατικά. Ο ίδιος αισθητήρας μπορεί να αισθανθεί το ίδιο γεγονός κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Για τους λόγους αυτούς, η διαλογή δεδομένων είναι απαραίτητη διαδικασία προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα των συλλεγόμενων δεδομένων και θα πρέπει να διερευνηθούν τρόποι για το φιλτράρισμα των ελαττωματικών, την εκτίμηση της ποιότητας των δεδομένων κ.λ.π. Ο βασικός σκοπός της MCS είναι να εξάγει γνώσεις υψηλού επιπέδου από έναν μεγάλο αριθμό εισροών. Σε ότι αφορά την αξία των γνώσεων και της δικαιοδοσίας τους μπορεί να καταταχθεί σε τρεις διαφορετικές διαστάσεις: η επίγνωση του χρήστη η οποία αναφέρεται στην ικανότητα να κατανοεί προσωπικό πλαίσιο και πρότυπα συμπεριφοράς, η επίγνωση του περιβάλλοντος η οποία αφορά πληροφορίες κατάστασης σε ένα συγκεκριμένο χώρο που κυμαίνεται από ένα μικρό χώρο έως μια περιοχή πόλης και η κοινωνική ευαισθητοποίηση η οποία υπερβαίνει τα προσωπικά πλαίσια και επεκτείνεται σε επίπεδο ομάδας και κοινότητας. [43]

Τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί μέσω MCS προέρχονται τόσο από ομάδες εντός και εκτός σύνδεσης. Διαφορετικές κοινότητες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά σε ότι αφορά την γεωγραφική κάλυψη, σε θέματα υποστηρικτικών υποδομών, χρόνο λειτουργίας κ.λ.π. Αυτό οδηγεί σε διακριτά μοτίβα ανθρώπινης συμπεριφοράς και άμεση κοινωνική γνώση που μπορεί να αποκοιμηθεί από αυτά. Η εξέταση της συσχέτισης και συγχώνευσης διασταυρούμενων δεδομένων αλλά και η συγχώνευση συμπληρωματικών χαρακτηριστικών και ο πλήρης συνδυασμός των πλεονεκτημάτων τους, μπορεί να γίνει ένα σημαντικό ζήτημα για το MCS. [43]

Στους mote-class αισθητήρες οι άνθρωποι είναι οι τελικοί καταναλωτές των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από αυτόνομα συστήματα. Σε αντίθεση με το βασικό χαρακτηριστικό των MCS που είναι η εμπλοκή του ανθρώπινου παράγοντα σε μεγαλύτερο βαθμό στην όλη διαδικασία από την συλλογή των δεδομένων ως την λήψη αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένων της ιχνηλάτησης, μετάδοσης, ανάλυσης και λήψης αποφάσεων. Το χαρακτηριστικό αυτό έχει την θετική του πλευρά καθώς προσφέρει πρωτοφανείς ευκαιρίες. [39]

Συγκεκριμένα είναι ευκολότερο να αναπτυχθεί το δίκτυο με χαμηλότερο κόστος καθώς εκατοντάδες συσκευές κινητών τηλεφώνων ή αυτοκινήτων υπάρχουν ήδη σε πολλές πόλεις ανά τον κόσμο. Ακόμα, και ανθρώπινη κινητικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη περίπτωση για να βελτιστοποιηθεί η καλυπτικότητα της ανίχνευσης και η μεταφορά δεδομένων. Από τη μια πλευρά οι κινητοί κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να ιχνηλατήσουν το περιβάλλον όποτε

οι κάτοχοί τους φτάσουν τυχαία το οποίο δίνει την δυνατότητα δημιουργίας εφαρμογών ανίχνευσης μεγάλης κλίμακας. Από την άλλη πλευρά, οι καιροσκοπική μέθοδος συλλογής δεδομένων δίνει την δυνατότητα στους χρήστες κινητών να μπορούν να παραδώσουν δεδομένα αισθητήρων σε δίκτυα με διακοπτόμενες συνδέσεις [39]

Ακόμα, είναι ευκολότερο στην συντήρηση του δικτύου καθώς οι κινητοί κόμβοι τις περισσότερες φορές έχουν μεγαλύτερη παροχή ρεύματος, ισχυρότερη υπολογιστική ικανότητα, μεγαλύτερο αποθηκευτικό χώρο και ικανότητα επικοινωνίας. Εκτός αυτού, η διαχείριση και η συντήρηση των κινητών κόμβων γίνεται πάντα από τους κατόχους τους. [39]

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που καθιστά την μέθοδο της κινητής ανίχνευσης πλήθους αποδοτική, είναι ότι το δίκτυο που δημιουργείται είναι εκτεταμένο και ευέλικτο καθώς το μόνο που χρειάζεται είναι η στρατολόγηση περισσότερων χρηστών για να προσαρμοστούν στην επέκταση στην κλίμακα συστήματος.[39]



Σχήμα 12: Παράδειγμα δομής μεθόδου MCS [43]

Από την αρνητική του πλευρά ο αριθμός των χρηστών, η διαθεσιμότητα των αισθητήρων και η ποιότητα των δεδομένων αλλάζει συνεχώς με την πάροδο του χρόνου λόγω της τυχειότητας της ανθρώπινης κινητικότητας και της δυναμικής των ανθρώπινων περιστάσεων όπως η

υπολειπόμενη ενέργεια μπαταρίας των κινητών κόμβων και οι προτιμήσεις των ανθρώπων. Όλοι οι παράγοντες αυτοί δημιουργούν δυσκολίες στην επίτευξη έμπιστης ποιότητας αντίχνευσης σε ότι αφορά το ποσοστό καλυπτικότητας, καθυστέρησης και εμπιστοσύνης. [39]

3

Πρωτότυπο Μοντέλο Μέτρησης Αερίων Ρύπων

3.1 Σχεδιασμός

Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που υπάρχουν από την νομοθεσία σχετικά με την παραγωγή αερίων ρύπων από τον τομέα των μεταφορών και ιδιαίτερα των χερσαίων μεταφορών και παράλληλα τις δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογική εξέλιξη θεωρήθηκε ότι μπορεί να σχεδιαστεί ένα σύστημα μέτρησης αερίων ρύπων σε πραγματικό χρόνο τόσο για επιβατικά αυτοκίνητα όσο και για βαρέου τύπου οχήματα ανεξάρτητα του τύπου καυσίμου που αυτά χρησιμοποιούν.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η παρουσίαση ενός συστήματος μέτρησης με την χρήση της υπάρχουσας τεχνολογίας ώστε μέσω της εφαρμογής του Διαδικτύου των Πραγμάτων να παρέχει δεδομένα για την εκπομπή αερίων ρύπων και ειδικότερα Διοξειδίου του Άνθρακα των επιβατικών και βαρέων οχημάτων μιας περιοχής σε πραγματικό χρόνο.

Για την όσο το δυνατό ακριβέστερη μέτρηση των αερίων ρύπων που εκλύονται από τα οχήματα ενδιαφέροντος, θεωρήθηκε σημαντικό να υπάρχει μεγάλη συμμετοχή ατόμων αλλά και ακριβείς μετρήσεις οι οποίες δεν θα επηρεάζονται από την εκπομπή αερίων ρύπων άλλων οχημάτων ή άλλων πηγών έκκλησης που βρίσκονται στον περιβάλλοντα χώρο. Θεωρήθηκε καλό να προχωρήσουμε στην ανάπτυξη μιας εφαρμογής η οποία θα βασίζεται στις αρχές του IoT και κατ' επέκταση στις αρχές του Crowd Sensing και συγκεκριμένα της μεθόδου Κινητής Ανίχνευσης Πλήθους (MCS). Με τον τρόπο αυτό θεωρήθηκε σκόπιμη η ανάπτυξη ενός συστήματος ανίχνευσης το οποίο θα είναι εύκολα προσβάσιμο στον ευρύ πληθυσμό των οδηγών, επαγγελματιών και μη, θα έχει μικρό κόστος στην εγκατάστασή του χωρίς αυτή να είναι χρονοβόρα, θα δίνει την δυνατότητα ελέγχου από τον οδηγό των πληροφοριών ταυτότητας του οχήματος που μεταδίδονται και οι αισθητήρες δεν θα επηρεάζονται τόσο άμεσα από τους αέριους

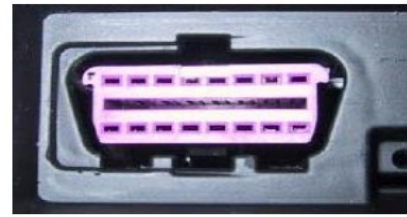
ρύπους άλλων πηγών έκκλησης αερίων ρύπων. Ακόμα, σημαντικό είναι αυτό το σύστημα να μπορεί να εφαρμοστεί σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη έκταση τόσο κοντά σε αστικά κέντρα αλλά ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές προκειμένου να υπάρχει μια καλύτερη εικόνα σε πραγματικό χρόνο. Με τον τρόπο αυτό σχεδιασμού της εφαρμογής θα επιτευχθούν οι αντικειμενικοί σκοποί της εργασίας αυτής.

Συγκεκριμένα προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή εύκολη εγκατάσταση του συστήματος παρακολούθησης από τον μέσο οδηγό, ο οποίος δεν χρειάζεται να έχει εξειδικευμένες γνώσεις τεχνολογίας και μηχανικής, με μικρό κόστος εγκατάστασης αλλά και συλλογής δεδομένων έμφαση δόθηκε στο σύστημα καταγραφής το οποίο θα μπορεί να εγκατασταθεί εύκολα τόσο σε επιβατικά όσο και σε βαρέα οχήματα πόλης. Το σύστημα αυτό θα χρησιμοποιεί για την καταγραφή της των αερίων ρύπων από ένα όχημα μια συσκευή OBD (On Board Unit) η οποία έχει μικρό κόστος αγοράς και μπορεί να συνδεθεί με όλα αυτοκίνητα βάση της υπάρχουσας νομοθεσίας. Η συσκευή αυτή θα επικοινωνεί με κινητό Android με χρήση της τεχνολογίας Bluetooth όπου και θα λαμβάνει τις μετρήσεις των αισθητήρων και θα τις μετατρέπει σε γραμμάρια CO₂ και θα τις αποστέλλει σε εξυπηρετητή με την χρήση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας το οποίο στις μέρες μας υπάρχει ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Ο οδηγός θα χρειάζεται είτε ο ίδιος είτε ο μηχανικός του να τοποθετήσει την συσκευή OBD στην αντίστοιχη θύρα του οχήματος τους, να εγκαταστήσει την εφαρμογή στο κινητό του και να καταχωρήσει τις απαραίτητες πληροφορίες σε αυτή.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι του συστήματος το οποίο σχεδιάστηκε και να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ακρίβεια στις μετρήσεις, θεωρήθηκε προτιμητέο να μετράτε η κατανάλωση καυσίμου για το κάθε όχημα και έπειτα να υπολογίζεται το CO₂ που εκλύεται. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μέτρηση της έκκλησης αερίων ρύπων από οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους καυσίμου, αποτυπώνεται σε αυτά η διαφορά στην κατανάλωση και κατ' επέκταση η έκκληση αερίων ρύπων ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, την κατάσταση του οδικού δικτύου (μορφολογία δρόμων κ.λ.π) αλλά και κίνηση των δρόμων. Η κατανάλωση καυσίμου για ένα αυτοκίνητο επιβατικό και μη είναι εύκολο να υπολογιστεί. Πλέον στις μέρες μας ένα αυτοκίνητο είναι ένα περίπλοκο σύστημα το οποίο αποτελείται από πολλαπλές υπό-ομάδες λειτουργιών που καθορίζουν την καλή τους λειτουργία. Κάθε επιμέρους λειτουργία του οχήματος παρακολουθείται και ελέγχεται με την χρήση αισθητήρων οι οποίοι ενημερώνουν και συνεργάζονται με την Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (MCU). Το σύστημα αυτό δίνει πληροφορίες στον τελικό χρήστη έπειτα από την επεξεργασία των τιμών των αισθητήρων που οπτικοποιούνται από τα συστήματα του αυτοκινήτου και καταγράφουν και παρουσιάζουν είτε απευθείας τιμές (θερμοκρασία, ταχύτητα, επιτάχυνση), είτε την κατάσταση κινητήρα [29].

Αρκετά συστήματα επικοινωνίας έχουν αναπτυχθεί / προταθεί για την επικοινωνία μεταξύ του οδηγού και του αυτοκινήτου όπως το OBU (On-Board Unit), πλατφόρμες Android προκειμένου να αντιμετωπιστούν θέματα που έχουν τεθεί κατά καιρούς για την λειτουργία των αυτοκινήτων, όπως η οικολογική οδήγηση, η παρακολούθηση της κίνησης σε πραγματικό χρόνο κ.α. [30].

Η MCU επικοινωνεί με τους μικρο-ελεγκτές, οι οποίοι υποστηρίζουν τους αισθητήρες, χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα επικοινωνίας bus, όπως τα CANBus πρωτόκολλα επικοινωνίας, τα οποία επιτρέπουν την προτεραιοποίηση στην μετάδοση, σχεδιασμένο για ηλεκτρικά συστήματα πολλαπλής καλωδίωσης. Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η συσκευή OBD-II (On Board Diagnostics II) σε συνδυασμό με την επικοινωνία μέσω Bluetooth, καθώς έχει την δυνατότητα καταγραφής ενδείξεων και διάγνωσης προβλημάτων ενός οχήματος μέσω του ελέγχου της κατάστασης των υποσυστημάτων της μηχανής καθώς το όχημα βρίσκεται σε λειτουργία και εν κινήσει. Τα OBD αναπτύχθηκαν στις Η.Π.Α[29].



(a) Female connector



(b) Male connector.

Σχήμα 13: Παραδείγματα θυρών σύνδεσης συσκευής OBD [30]

Το πρώτο OBD γνωστό ως OBD I μπορούσε να παρακολουθήσει μόνο λίγες παραμέτρους, ενώ ο δεύτερης γενιάς τυποποίησε στοιχεία όπως ο σύνδεσμος που χρησιμοποιήθηκε για διάγνωση, τα πρωτόκολλα ηλεκτρικής σηματοδότησης και η μορφή των μηνυμάτων. Εκτός αυτών, ορίζει μια λίστα παραμέτρων τα οποία μπορούν να παρακολουθηθούν, ορίζοντας έναν κώδικα σε κάθε παράμετρο καθώς και μια λεπτομερή λίστα ως διαγνωστικοί κωδικοί προβλημάτων DTCs. Τα οχήματα στις ΗΠΑ από το 1996 και έπειτα υποχρεούνται να έχουν OBD II, όλα τα οχήματα από το 1997 και έπειτα που χρησιμοποιούν πετρέλαιο κίνησης υποχρεούνται να έχουν τα προαπαιτούμενα του OBD. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η ευρωπαϊκή έκδοση του OBD II είναι υποχρεωτική από το 2001 και 2002 για βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα αντίστοιχα. Η ευρωπαϊκή έκδοση EOBD ταιριάζει αρκετά με το OBD II, καθώς έχουν τις ίδιες θύρες σύνδεσης και διεπαφές. Από τα παραπάνω συνάγεται ότι, τα οχήματα στην πλειονότητα τους, και εντός της Ε.Ε, μπορούν να συνδεθούν με συσκευή OBD και να επιστρέψουν τις κατάλληλες παρατηρήσεις για την μέτρηση των αέριων ρύπων με μικρό κόστος. Επιπρόσθετα σε αυτό, το σύστημα το οποίο σχεδιάζουμε να αναπτύξουμε λόγω της χρήσης του OBD θα έχει την δυνατότητα να μετράει την παραγωγή αερίων ρύπων αυτοκινήτων με διαφορετικής φύσης καύσιμα (βενζίνη, πετρέλαιο, υγραέριο κ.α) [29], [30].

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η καταμέτρηση των ρύπων που παράγονται από την λειτουργία των οχημάτων. Αυτό το οποίο μπορεί να μετρηθεί με την χρήση του πρωτοκόλλου OBD είναι η κατανάλωση καυσίμου. Έχοντας την κατανάλωση αυτή και ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιεί το κάθε αυτοκίνητο είναι δυνατός ο υπολογισμός των αερίων ρύπων που παράγονται από την κίνηση του οχήματος και πιο συγκεκριμένα η παραγωγή CO₂.

Προκειμένου να γίνει αυτό είναι σημαντικό να καθορίσουμε ποιες είναι οι τιμές αισθητήρων που θα χρησιμοποιήσουμε προκειμένου να υπολογίσουμε την κατανάλωση καυσίμου του οχήματος. Αρχικά, θα χρησιμοποιηθεί η ένδειξη του αισθητήρα MAF (Mass Air Flow), ο

οποίος είναι μέρος του συστήματος εισαγωγής, και είναι πολύ σημαντικός για να εξασφαλίσει μια αποδοτική, χαμηλή σε παραγωγή αερίων ρύπων καύση. Συγκεκριμένα, ο MAF είναι υπεύθυνος για την μέτρηση της μάζας, της θερμοκρασίας και της πίεσης από τον εισαγόμενο αέρα στην διαδικασία της καύσης. Οι πληροφορίες αυτές μεταδίδονται στην Κεντρική Μονάδα Ελέγχου σε μορφή ηλεκτρικών σημάτων, η οποία με την σειρά της υπολογίζει την καλύτερη ποσότητα καυσίμου που θα εισάγει. Η ένδειξη του MAF από την συσκευή OBD μετριέται σε γραμμάρια ανά δευτερόλεπτο (gr/s). Ακόμα θα χρησιμοποιηθεί η ένδειξη του αισθητήρα Lambda ή αισθητήρα οξυγόνου (λ) ο οποίος υπολογίζει το υπερβάλλον οξυγόνου στα αέρια εξαγωγής στη έξοδο του κινητήρα. Η ποσότητα αυτή του οξυγόνου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του λ το οποίο υπολογίζεται ως $\lambda = \text{λόγος αέρα-καυσίμου} / \text{λόγο αέρα-καυσίμου στοιχειομετρικός}$. Η ένδειξη του αισθητήρα λάμδα (λ) έχει άμεση σχέση με την αποδοτικότητα του καυσίμου. Όταν το μείγμα αέρα – καυσίμου έχει πολύ αέρα η κατάσταση περιγράφεται με λ μεγαλύτερο του ενός ($\lambda > 1$) ενώ αντίθετα όταν η ποσότητα καυσίμου είναι μεγαλύτερη από εκείνη του αέρα τότε το λ είναι μικρότερο του 1 ($\lambda < 1$).

Τέλος θα χρησιμοποιηθεί η τιμή του στοιχειομετρικού AFR, ο λόγος της μάζας αέρα προς το ποσό καυσίμου που υπάρχει κατά την καύση, η οποία για παράδειγμα για την βεζνίνη ισούται με 14,7. Συγκεκριμένα, το AFR χαρακτηρίζεται και ως στοιχειομετρικό όταν όλο το καύσιμο συνδυάζεται με όλο το ελεύθερο οξυγόνο, συνήθως μέσα στον θάλαμο καύσης ενός οχήματος, στην περίπτωση αυτή το μείγμα χαρακτηρίζεται ως χημικά ισορροπημένο [29], [31], [32].

Ο τύπος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να βρεθεί η κατανάλωση του καυσίμου σε γραμμάρια (gr) είναι ο παρακάτω:

$$\text{Fuel (gr)} = \text{Air Mass(gr)} / \lambda \times \text{AFRstoich}$$

Air Mass (gr): η ένδειξη του MAF η οποία μετριέται σε γραμμάρια ανά δευτερόλεπτο και η οποία υπολογίζεται από το OBD

λ : η ένδειξη του αισθητήρα λάμδα η οποία μετράτε από το OBD

AFRstoich: είναι η σταθερή τιμή διαφορετική για κάθε τύπο καυσίμου σύμφωνα με την βιβλιογραφία [29].

Το επόμενο βήμα μετά τον υπολογισμό της κατανάλωσης είναι ο υπολογισμός του Διοξειδίου του Άνθρακα το οποίο παράγεται από την λειτουργία του οχήματος. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία ανάλογα με το είδος του καυσίμου η παραγωγή CO₂ διαφέρει. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήσαμε τον πίνακα στην Εικόνα 8 όπου αναφέρονται οι αναλογίες Διοξειδίου του Άνθρακα που εκλύονται από δεδομένες ποσότητες διαφόρων ειδών καυσίμου. Όπως φαίνεται και στον πίνακα οι ποσότητες καυσίμων που μετρούνται είναι σε κιλά (kg) και οι ποσότητες που προκύπτουν από τον τύπο τον οποίο χρησιμοποιούμε είναι σε γραμμάρια (gr) επομένως προκειμένου να υπολογίσουμε την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα σε γραμμάρια (gr) πολλαπλασιάζουμε την τιμή της αναλογίας του πίνακα επί χίλια.

Ο τύπος ο οποίος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα είναι:

$$\text{Pollutant (gr)} = \text{rate} \times \text{Fuel(gr)}$$

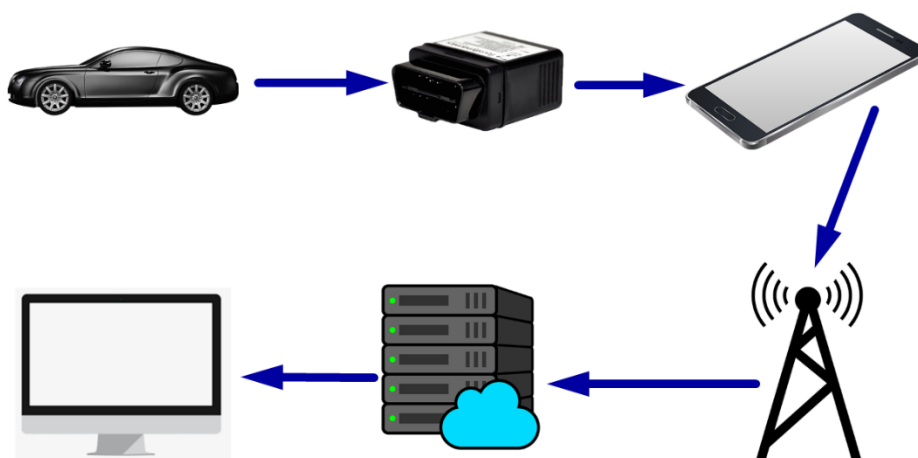
rate: είναι η τιμή της αναλογίας πόσα κιλά (kg) Διοξειδίου του Άνθρακα εκπέμπεται ανά την κιλό (kg) ανά κιλό καυσίμου και διαφέρει για κάθε τύπο καυσίμου

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής αποφασίσαμε να συμπεριλάβουμε τα οχήματα τα οποία έχουν σαν καύσιμό τους την βενζίνη (Gasoline) για την οποία $rate = 3.30$ σύμφωνα με τον Πίνακα 1, το πετρέλαιο (Diesel) για το οποίο $rate = 3.15$, το υγραέριο (LPG – Propane) για το οποίο $rate = 2.99$ και τέλος για το φυσικό αέριο (CNG – Methane) το οποίο $rate = 2.75$. Επιλέχθηκαν αυτά τα είδη καυσίμου καθώς όπως έχουμε αναφέρει είναι στατιστικά οι πιο διαδεδομένοι στην Ε.Ε. Αυτή η επιλογή έγινε προκειμένου να δοθεί η δυνατότητα στην εφαρμογή να μετρήσει την εκπομπή αερίων ρύπων από όσα το δυνατόν περισσότερα οχήματα αυξάνοντας την αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων της για τον πληθυσμό των οχημάτων που κυκλοφορούν εντός της Ε.Ε και επέκεινα την αξιοπιστία της.

Με βάση τις μετρήσεις που θα λαμβάνονται, η εφαρμογή θα έχει την δυνατότητα να ειδοποιεί τον κάτοχο του οχήματος στο κινητό του σε περίπτωση που η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα υπερβεί τα όρια που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση σε ότι αφορά τον στόλο των νέων αυτοκινήτων που έχει θεσπίσει από την 1^η Ιανουαρίου του 2020 σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΕ) 2019/63. Στόχος για το σύνολο του στόλου είναι τα 95 g CO₂/km για τις μέσες εκπομπές των καινούργιων επιβατικών αυτοκινήτων και ως στόχο για το σύνολο του στόλου οχημάτων της ΕΕ τα 147 g CO₂/km για τις μέσες εκπομπές των καινούργιων ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων που ταξινομούνται στην Ένωση, όπως αυτές μετρούνται έως τις 31 Δεκεμβρίου 2020, σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 692/2008 μαζί με τους εκτελεστικούς κανονισμούς (ΕΕ) 2017/1152 και (ΕΕ) 2017/1153, και από την 1^η Ιανουαρίου 2021 όπως μετρούνται σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΕ) 2017/1151. Τα όρια αυτά θα ισχύουν για τις κατηγορίες οχημάτων M1 (σχεδιασμένα για τη μεταφορά ατόμων, με μέγιστο αριθμό οκτώ θέσεων εκτός από τον οδηγό. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει αυτοκίνητα, φορτηγά και μικρά λεωφορεία) και N1 (Οχήματα χρησιμοποιούμενα για τη μεταφορά αγαθών και έχοντα μέγιστη μάζα το πολύ 3,5 τόνων). Για τα βαρέως τύπου οχήματα δεν θα παρέχεται ένδειξη στους χρήστες της εφαρμογής προς το παρόν καθώς δεν έχουν τεθεί ακριβείς στόχοι εκπομπών, αφού ο σχεδιασμός των κανονισμών βρίσκεται εν εξελίξει. Σκοπός της ενημέρωσης αυτής είναι οι οδηγοί να έχουν άμεση πληροφόρηση και να είναι σε θέση να συγκρίνουν κατά πόσο οι εκπομπές CO₂ του οχήματός τους συμμορφώνονται με τους κανονισμούς που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Η εφαρμογή θα ενημερώνεται όταν θα υπάρχουν αλλαγές στην Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.

Fuel	Liquid density	Specific carbon content	Specific Energy content		Specific CO ₂ emission (amount of fuel basis)			Specific CO ₂ emission (amount of energy basis)		
	kg/l	kgC/kg _{fuel}	kWh/kg _{fuel}	Btu/lb _{fuel}	Kg _{CO2} /kg _{fuel}	Kg _{CO2} /gal _{fuel}	lb _{CO2} /gal _{fuel}	kg _{CO2} /kWh	kg _{CO2} /GJ	lb _{CO2} /mill Btu
Methane (natural gas)		0.75	15.4	23900	2.75			0.18	50	115
Propane	0.510	0.82	13.8	21300	2.99	5.78	12.7	0.22	60	140
Butane	0.564	0.83	13.6	21100	3.03	6.47	14.3	0.22	62	144
LPG (wt of C3=C4)	0.537	0.82	13.7	21200	3.01	6.12	13.5	0.22	61	142
Gasoline	0.737	0.90	12.9	19900	3.30	9.20	20.3	0.26	71	165.3
Kerosene (Jet)	0.821	0.82	12.0	18500	3.00	9.33	20.6	0.25	70	162.5
Diesel	0.846	0.86	12.7	19605	3.15	10.1	22.3	0.25	69	160.8
Heavy fuel oil (No 6/Bunker C)	0.980	0.85	11.6	18000	3.11	11.6	25.5	0.27	75	173.3
Petroleum coke		0.89	9.4	14500	3.26	14.7	32.4	0.35	97	225.1
Coal:										227.3
Anthracite		0.92	9.0	14000	3.37			0.37	104	229.5
Bituminous		0.65	8.4	13000	2.38			0.28	79	231.7
Subbituminous		0.4	6.8	10500	1.47			0.22	60	233.9
Lignite		0.3	3.9	6000	1.10			0.28	79	236.1
Coke		0.77	7.2	11200	2.82			0.39	108	251.5
Peat (dry) ¹⁾		0.52	4.7	7300	1.91			0.40	112	260.7
Ethanol fuel (E100) ²⁾	0.789	0.52	8.3	12800	1.91	5.71	12.6	0.23	64	149.6
Methanol fuel (M100) ²⁾	0.791	0.37	5.5	8500	1.37	4.11	9.1	0.25	70	162.2
Biodiesel (B100) ²⁾	0.880	0.78	11.3	17400	2.85	9.48	20.9	0.25	70	162.8
Wood ^{1) 2)}		0.50	4.5	7000	1.83			0.41	113	263.1
Bio energy ²⁾								0 ²⁾		

Πίνακας 1: Πίνακας παραγωγής CO₂ από την καύση διαφορετικών ειδών καυσίμου [37]



Σχήμα 14: Διάγραμμα Οντοτήτων – Συσχετίσεων του Πληροφοριακού Συστήματος

3.2 Υλοποίηση Πρωτότυπου Συστήματος

3.2.1 Σχεδιασμός Εφαρμογής

Η εφαρμογή δημιουργήθηκε για το λειτουργικό Android και επιτρέπει μια Android συσκευή να συνδεθεί με τη συσκευή OBD του οχήματος του χρήστη, δηλαδή του συστήματος διαγνωστικών ελέγχων μέσω συμβατού ELM327 OBD αντάπτορα. Εμφανίζονται διάφορες πληροφορίες για την κατάσταση και του λειτουργία του οχήματος και γίνεται εκτέλεση ορισμένων λειτουργιών και ρουτινών. Είναι μια ανοικτού κώδικα τεχνολογία και συνεπώς δωρεάν. Η εφαρμογή διαθέτει επίσης μια δοκιμαστική έκδοση (Demo) όπου προσομοιώνονται πραγματικού χρόνου εικονικά δεδομένα, χωρίς την απαίτηση της συσκευής OBD.

3.2.1.1 Κύρια χαρακτηριστικά εφαρμογής

1. Σύνδεση με το OBD του οχήματος μέσω:
 - a. USB
 - b. Bluetooth
 - c. WiFi
2. Ανάγνωση και εκκαθάριση κωδικών λαθών από την Android συσκευή
3. Ανάγνωση και καταγραφή σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων που προέρχονται από το σύστημα του OBD που είναι εγκατεστημένο στο όχημα
4. Ανάγνωση σταθερών δεδομένων πλαισίου και πληροφοριών από τη συσκευή OBD
5. Αποθήκευση και φόρτωση (load) των καταγεγραμμένων δεδομένων από και προς σε αρχείο CSV.

Χρησιμοποιήθηκε η υφιστάμενη βιβλιοθήκη για Android καθώς πολύ μεγάλο μέρος των λειτουργιών συμπεριλαμβανομένων και της καταγραφής και της ενημέρωσης σε πραγματικό χρόνο των αισθητήρων: O2 Sensor Lambda S2, MAF Sensor (Mass Air Flow), είναι ήδη υλοποιημένο, οπότε χρειάστηκε μικρή επέμβαση για να ενσωματώσουμε την επιθυμητή λειτουργικότητα. Θα παραθέσουμε τα αρχεία στα οποία εισήχθη δικός μας κώδικας ως μέρος της δικής μας επέκτασης:

1. MainActivity.java
2. ObdItemAdapter.java
3. Obd_list.xml
4. MyApplication
5. MySettingsActivity
6. activity_my_settings.xml
7. main.xml

3.2.2 Υλοποίηση Εφαρμογής

3.2.2.1 Περιγραφή προσθηκών στο *MainActivity.java*

Το επίθεμα *activity* σε ένα αρχείο *java* αφορά κατά σύμβαση μια μεμονωμένη οθόνη στην εφαρμογή, δηλαδή εμφανίζει περιεχόμενο σε όλη την οθόνη στο χρήστη και σχετίζεται συνήθως με μια διάταξη XML. Το *MainActivity* είναι συνήθως το αρχείο/οθόνη υποδοχής του χρήστη, δηλαδή είναι το πρώτο αρχείο που εκτελείται όταν ο χρήστης κάνει εκκίνηση της εφαρμογής.

Κατά την πρώτη άφιξη του χρήστη σε αυτή την οθόνη, γίνεται ερώτηση προς το χρήστη (με ένα μικρό αναδυόμενο παράθυρο) για να δώσει άδεια στην εφαρμογή για πρόσβαση στα εξής:

1. Ανάγνωση αρχείων στην εξωτερική μνήμη
2. Εγγραφή αρχείων στην εξωτερική μνήμη
3. Πρόσβαση στη γεωγραφική τοποθεσία του χρήστη όσο την εφαρμογή είναι στο προσκήνιο
4. Πρόσβαση στη γεωγραφική τοποθεσία του χρήστη όσο η εφαρμογή είναι στο παρασκήνιο

Οι 2 πρώτες ερωτήσεις προϋπήρχαν στη βιβλιοθήκη και ζητούνται οι άδειες για την εγγραφή και ανάγνωση αρχείων στην εξωτερική μνήμη και είναι απαραίτητες για τη λειτουργία της εφαρμογής.

Οι τελευταίες 2 ερωτήσεις προστέθηκαν για τους σκοπούς της τρέχουσας εφαρμογής καθώς είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την τοποθεσία του οχήματος κατά τη λειτουργία της εφαρμογής. Ο χρήστης αφού δώσει την απαιτούμενη άδεια, λαμβάνεται το ακριβές γεωγραφικό μήκος και πλάτος με βάση τους διαθέσιμους δορυφόρους GPS και το στίγμα αυτό μεταβάλλεται όταν παρατηρηθεί μεταβολή στη θέση του κινητού.

Ορίστηκε ένας προγραμματιστής χρονομέτρου, ο οποίος εκτελείται κάθε 1 δευτερόλεπτο με σκοπό να λάβει με στατικό τρόπο/κλήση τις τιμές των εξής μεταβλητών, οι οποίες ορίζονται στο αρχείο *MyApplication* (θα εξηγηθεί στη συνέχεια):

1. *lastO2SensorLambda2Value* (τιμή O2 WR Lambda S2)
2. *lastAirFlowRate* (τιμή Air Flow Rate)
3. *Pollutant* (Υπολογισμένη ρύπανση)

Αυτές οι τιμές εμφανίζονται σε κείμενα (*TextViews*) μετά από έλεγχο για έγκυρες τιμές αυτών (δεν πρέπει να είναι κενές) σε μια όψη που ανήκει στη διάταξη που θα εξηγηθεί στη συνέχεια.

Τέλος, στο πάνω δεξιά άκρο της εφαρμογής εμφανίζονται επιλογές (μενού) όπου κατά την επιλογή τους ο χρήστης μεταφέρεται στην αντίστοιχη οθόνη. Εδώ προστέθηκε η επιλογή με την οποία ο χρήστης μεταφέρεται στην ειδική οθόνη των ρυθμίσεων (*MySettingsActivity*) όπου και αυτή θα εξηγηθεί πιο μετά.

3.2.2.2 Περιγραφή προσθηκών στο *res/menu/main.xml*

Σε αυτό το φάκελο εισάγουμε διατάξεις σε μορφή XML που αντιπροσωπεύουν στοιχεία μενού στην Android εφαρμογή. Εδώ εισαγάγαμε έναν νέο κόμβο XML item, με τιμή *Vehicle Settings*

για να παρέχουμε στο χρήστη μια οθόνη ρυθμίσεων για την επεξεργασία του οχήματός του και την αποθήκευση της καταγραφής σε πραγματικό χρόνο στη βάση δεδομένων.

3.2.2.3 Περιγραφή προσθηκών στο *obd_list.xml*

Το περιεχόμενο των activities ή των οθονών ορίζεται σε ένα αρχείο XML, τη λεγόμενη διάταξη (Layout) και κατοικούν συνήθως στο φάκελο *res/layout*. Ένα activity, το οποίο αναλαμβάνει τη λογική της εφαρμογής, εμφανίζει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας που κάνει στη διάταξη, γι' αυτό και συνήθως ένα activity σχετίζεται με μία διάταξη. Η διάταξη περιέχει στοιχεία του λειτουργικού συστήματος όπως κείμενα, εικόνες, λίστες κλπ. Εντός της διάταξης περιλαμβάνεται στατικό περιεχόμενο και ιδιότητες εμφάνισης των στοιχείων, όπως περιθώρια, χρώματα, μεγέθη κλπ., τα οποία δύνανται να τροποποιούνται από το συσχετιζόμενο activity.

Για τους σκοπούς της εφαρμογής, προστέθηκε σε αυτό το αρχείο μια γραμμική διάταξη (LinearLayout), η οποία περιέχει (ή έχει παιδιά) 2 TextViews, δηλαδή απλά στοιχεία κειμένου και εμφανίζονται οι τιμές των 3 μεταβλητών που περιγράφηκαν σε προηγούμενη ενότητα, οι οποίες απεικονίζονται η μία κάτω από την άλλη.

3.2.2.4 Περιγραφή προσθηκών στο *ObdItemAdapter.java*

Το παρόν αρχείο έχει ως αρμοδιότητα να εμφανίσει όλες τις τιμές που λαμβάνονται μέσω της OBD συσκευής. Οι τιμές αυτές εμφανίζονται σε ένα ListView, δηλαδή μια λίστα του Android, που περικλείει ένα ή περισσότερα στοιχεία, συνήθως ομοειδή ή ομοιόμορφα μεταξύ τους. Το αρχείο θα κάνει αρχικά επεξεργασία των στοιχείων πριν τα εμφανίσει στη διάταξη, με την επεξεργασία να περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τη μορφοποίηση των αριθμών που εμφανίζονται και την αντιστοίχιση μονάδων μέτρησης.

Για τους σκοπούς της εφαρμογής προστέθηκε ένας ελεγκτής παρακολούθησης αλλαγών συγκεκριμένων αισθητήρων, δηλαδή των *o2_wr_lambda_s2* και *mass_airflow*, τους οποίους χρειάζεται να εμφανίζουμε στην κορυφή της εφαρμογής, καθώς είναι αυτοί που μας αφορούν. Θα γίνει η μετατροπή αυτών σε συμβολοσειρά (string) και κατόπιν σε αντικείμενα Double, δηλαδή δεκαδικούς αριθμούς καθώς αυτή είναι η επιθυμητή μορφή που χρειαζόμαστε για να κάνουμε τους υπολογισμούς που θα αναλύσουμε στη συνέχεια. Τελικά αυτές οι τιμές αντιγράφονται στις στατικές μεταβλητές της κλάσης MyApplication, η οποία είναι η κύρια κλάση που επιτελεί την πλειοψηφία των λειτουργιών της εφαρμογής.

3.2.2.5 Περιγραφή προσθηκών στο *MySettingsActivity.java* και στο *activity_my_settings.xml*

Το activity ή οθόνη αυτή έχει ως κύρια αρμοδιότητα να εμφανίσει ρυθμίσεις στο χρήστη, ο οποίος οδηγείται όταν πατήσει την αντίστοιχη επιλογή στο κουμπί στο επάνω δεξιό άκρο της εφαρμογής. Η κλάση σχετίζεται με τη διάταξη *activity_my_settings.xml*, η οποία περιέχει:

1. Ένα πεδίο εισαγωγής κειμένου (EditText), όπου καλείται ο χρήστης να εισάγει το όχημά του (μάρκα και μοντέλο)
2. Επιλογή καυσίμου (Spinner) που περιέχει 4 επιλογές που θα περιγραφούν στη συνέχεια
3. Κουμπί (Button) για την αποθήκευση των άνω καταχωρήσεων
4. Επιλογή (Spinner) αποθήκευσης ή μη των υπολογισμένων δεδομένων κατά το χρόνο εκτέλεσης της εφαρμογής, στην απομακρυσμένη βάση δεδομένων. Αυτό θα το περιγράψουμε σε επόμενη ενότητα καθώς ανήκει στο περιβάλλον της διαδικτυακής εφαρμογής

Παρατίθεται οι αρμοδιότητες της κλάσης:

1. Αρχικοποίηση αντικειμένου SharedPreferences, το οποίο είναι μια κλάση του Android για την αποθήκευση δεδομένων στο περιβάλλον της εφαρμογής στην εσωτερική μνήμη της συσκευής. Εδώ θα αποθηκευτούν οι επιλογές που θα κάνει ο χρήστης σε αυτή την οθόνη.
2. Αρχικοποίηση του αντικειμένου locationManager, ένα ειδικό αντικείμενο του Android, και παρέχει ενημερώσεις σχετικά με τη γεωγραφική τοποθεσία του χρήστη. Εδώ εγκαθίσταται ένας ακροατής για αλλαγές σε συμβάντα αλλαγής γεωγραφικής θέσης και κατάστασης του χρήστη αναφορικά με τον GPS πάροχο. Σε κάθε αλλαγή της θέσης του χρήστη, η στατική μεταβλητή userLocation στην κλάση MyApplication ενημερώνεται και αποκτά τιμή το αντικείμενο LatLng, το οποίο είναι ένα ειδικό αντικείμενο του Android που αντανakλά ένα γεωγραφικό μήκος και πλάτος στο γεωγραφικό σύστημα της Google.
3. Αίτημα για πρόσβαση στην τοποθεσία του χρήστη, σε περίπτωση που αποτύχει το αντίστοιχο αίτημα στην κεντρική οθόνη της εφαρμογής, το MainActivity. Το αποτέλεσμα του αιτήματος κάνει κλήση στη μέθοδο onRequestPermissionsResult, η οποία ελέγχει εάν έχει δοθεί θετική απάντηση από το χρήστη για όλες τις άδειες (προσκηνιακή και παρασκηνιακή γεωγραφική τοποθεσία) και σε αυτή την περίπτωση θα αρχικοποιήσει το locationManager στο 2. Σε άλλη περίπτωση θα εμφανιστεί ένα σύντομο μήνυμα μέσω του αντικειμένου Toast, ένα ειδικό μήνυμα του Android, το οποίο δείχνει ένα μήνυμα σε μαύρο ή άσπρο χρώμα φόντου (ανάλογα με το τρέχων χρωματικό κωδικό του παρασκηνίου της τρέχουσας οθόνης στη συσκευή) ενημερώνοντας το χρήστη ότι απαιτείται να δώσει θετική απάντηση σε όλες τις απαιτούμενες άδειες για την εύρυθμη λειτουργία της εφαρμογής.
4. Ανάκτηση της αποθηκευμένης τιμής vehicle_id_settings από το αντικείμενο SharedPreferences, δηλαδή του οχήματος του χρήστη. Εάν είναι έγκυρη τιμή (μη κενή),

τότε συμπληρώνεται αυτόματα το αντίστοιχο πεδίο εισόδου στη διάταξη (activity_my_settings).

5. Αρχικοποίηση επιλογέα καυσίμου (Spinner), με τις εξής τιμές:

- a. Βενζίνη
- b. Πετρέλαιο
- c. LPG
- d. CNG

Η αρχικοποίηση γίνεται μέσω του αντικειμένου ArrayAdapter, ένα ειδικό αντικείμενο στο Android, το οποίο τροφοδοτείται με επιλογές και τις μεταφράζει σε αντικείμενα Java.

6. Αρχικοποίηση επιλογέα αποθήκευσης στη βάση (Spinner), με τις εξής τιμές:

- a. Ναι
- b. Όχι

Η αρχικοποίηση γίνεται με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε στο 5.

7. Αυτόματη συμπλήρωση επιλογέα καυσίμου και αποθήκευσης στη βάση εφόσον οι αντίστοιχες τιμές βρίσκονται ήδη αποθηκευμένες στο αντικείμενο SharedPreferences. Αυτό επιτυγχάνεται κάνοντας κλήση στη μέθοδο selectSpinnerItemByValue όπου κάνει επανάληψη τις επιλογές ArrayAdapter του εκάστοτε επιλογέα και εάν η αποθηκευμένη τιμή στο αντικείμενο SharedPreferences ισούται με την τρέχουσα τιμή της λούπας, τότε τίθεται ως επιλεγμένη η τιμή του εκάστοτε επιλογέα.

Όταν ο χρήστης πατήσει στο κουμπί Αποθήκευση της τρέχουσας οθόνης εκτελείται η μέθοδος saveSettings, όπου πραγματοποιείται ο έλεγχος εάν ο χρήστης έχει παράσχει το όχημά του στον αντίστοιχο επιλογέα. Εάν όχι, τότε εμφανίζεται ένα σύντομο μήνυμα τύπου Toast μέσω στατικής κλήσης στη μέθοδο showToast και θα εξηγηθεί πιο μετά. Σε αυτήν την περίπτωση, σταματάει η εκτέλεση του κώδικα και δε συνεχίζεται η αποθήκευση των ρυθμίσεων, αφού η καταχώρηση του οχήματος είναι υποχρεωτική. Σε άλλη περίπτωση θα αποθηκευτούν στο δίσκο μέσω του αντικειμένου SharedPreferences οι τιμές των επιλογών του χρήστη σχετικά με το όχημα, τον τύπο καυσίμου και την αποθήκευση στη βάση. Οι τιμές αντλούνται με βάση τα στοιχεία τις επιλογές του χρήστη στα στοιχεία της διάταξης που περιεγράφηκε προηγουμένως.

3.2.2.6 Περιγραφή προσθηκών στο MyApplication.java

Η κλάση αυτή είναι μια καθολική κλάση η οποία έχει τη δυνατότητα να καλείται από κάθε άλλη κλάση του project της εφαρμογής και αποτελεί την μητρική κλάση της εφαρμογής όπου αναλαμβάνει να διεκπεραιώσει δομικές λειτουργίες πολύ σημαντικές τόσο για την προεπεξεργασία των δεδομένων κάθε οθόνης όσο και για τη διαρκή ενημέρωση σχετικά με τα δεδομένα των υπόλοιπων κλάσεων προς τη μητρική κλάση κατά το χρόνο εκτέλεσης της

εφαρμογής. Μια μητρική κλάση ορίζεται στο μανιφέστο του project στον κόμβο XML application.

Κατά την άφιξη του χρήστη στην αρχική οθόνη, δηλαδή στο MainActivity, γίνεται κλήση στη μέθοδο displaySettingsErrors που ανήκει στην παρούσα κλάση. Αυτή η μέθοδος έχει ως αρμοδιότητα να ανακτήσει τις τιμές από τις επιλογές του χρήστη που έχει ή δεν έχει κάνει στην οθόνη των ρυθμίσεων, η οποία περιγράφηκε νωρίτερα. Εάν ο χρήστης δεν έχει συμπληρώσει είτε το όχημά του είτε τον τύπο καυσίμου, τότε γίνεται κλήση στη μέθοδο showToast, όπου θα εμφανιστεί στην οθόνη ένα σύντομο μήνυμα Toast σε κόκκινο χρώμα παρασκηνίου και άσπρο χρώμα κειμένου.

Η άνω μέθοδος δέχεται 3 ορίσματα:

1. Context, το οποίο είναι ένα ειδικό αντικείμενο του Android και περιέχει πληροφορίες για την τρέχουσα οθόνη που βρίσκεται ο χρήστης, καθώς ένα μήνυμα Toast, πρέπει να εμφανίζεται σε μία οθόνη.
2. Message, συμβολοσειρά, το περιεχόμενο του μηνύματος.
3. bgColor, ακέραιος, το χρώμα παρασκηνίου. Οι πόροι στο Android (όπως χρώματα, εικόνες κλπ.) αντιστοιχίζονται σε ακεραίους. Εάν δοθεί το όρισμα με τιμή 0, τότε το χρώμα παρασκηνίου απεικονίζεται με μαύρο χρώμα, δηλαδή πρόκειται για ενημερωτικό μήνυμα προς το χρήστη. Διαφορετικά, εάν το όρισμα έχει την ακεραία τιμή του κόκκινου χρώματος, τότε το Toast θα εμφανιστεί σε κόκκινο χρώμα φόντου και άρα πρόκειται για σημαντικό μήνυμα λάθους.

Η μέθοδος δημιουργεί δυναμικά ένα αντικείμενο View, δηλαδή ένα γενικευμένο στοιχείο που προβάλλεται συνήθως στο πλαίσιο μιας διάταξης και εντός αυτού του View, δημιουργείται δυναμικά ένα TextView, δηλαδή ένα κλασικό πεδίο κειμένου και αυτό το στοιχείο θα αναλάβει να εμφανίσει το μήνυμα που προέρχεται από το αντίστοιχο όρισμα της μεθόδου.

Ορίζεται μια μέθοδος calculatePollutant, η οποία καλείται από το MainActivity κάθε 1 δευτερόλεπτο στο χρονόμετρο που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Η μέθοδος αναλαμβάνει να ανακτήσει τις 3 τιμές που έχει κάνει ο χρήστης στη σχετική οθόνη των ρυθμίσεων. Εάν ο χρήστης δεν έχει συμπληρώσει το όχημά του ή/και τον τύπο καυσίμου, τότε η μέθοδος δε θα συνεχίσει να συνεχίσει την εκτέλεσή του. Η 1^η τιμή αφορά το όχημα του χρήστη και είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε την ταυτότητα/όνομα του οχήματος για την καταγραφή του στη βάση δεδομένων καθώς δε νοείται να καταγράφουμε τιμές για ένα όχημα, το οποίο δε γνωρίζουμε ποιο είναι αυτό. Η 2^η τιμή, δηλαδή το καύσιμο του οχήματος είναι πλήρως απαραίτητη, καθώς δεν μπορεί η εφαρμογή να κάνει τους υπολογισμούς για τους ρύπους.

Ορίζεται μια μεταβλητή με όνομα coefficient και είναι δεκαδικός αριθμός. Μπορούμε να πούμε ότι αυτή η τιμή είναι ο συντελεστής του καυσίμου του οχήματος του χρήστη. Ανάλογα με το επιλεγθέν καύσιμο θα γίνουν οι εξής παραδοχές (ως αποτέλεσμα των συνθηκών) για το συντελεστή:

1. Καύσιμο: Βενζίνη => coefficient = 3,3

2. Καύσιμο: Πετρέλαιο=> coefficient = 3,15
3. Καύσιμο: LPG=> coefficient = 2,99
4. Καύσιμο: CNG=> coefficient = 2,75

Επίσης θα ορίσουμε μια μεταβλητή με όνομα O2SensorLambdaS2ValueDenominator και είναι επίσης δεκαδικός αριθμός και αφορά την τιμή του σένσορα O2 WR Lambda S2. Η εν λόγω μεταβλητή αποτελεί μέρος του παρονομαστή στη φόρμουλα που θα εξηγηθεί παρακάτω. Ανάλογα με το επιλεγθέν καύσιμο θα γίνουν οι εξής παραδοχές (ως αποτέλεσμα των συνθηκών) για τον παρονομαστή:

1. Καύσιμο: Βενζίνη => O2SensorLambdaS2ValueDenominator = 14,7
2. Καύσιμο: Πετρέλαιο=> O2SensorLambdaS2ValueDenominator = 14,5
3. Καύσιμο: LPG=> O2SensorLambdaS2ValueDenominator = 15,67
4. Καύσιμο: CNG=> O2SensorLambdaS2ValueDenominator = 17,19

Ακολουθεί ο έλεγχος για τις εξής μεταβλητές, οι οποίες εάν είναι κενές ή null, τότε δε θα πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός της φόρμουλας:

1. lastO2SensorLambda2Value (O2 WR Lambda S2 σένσορας)
2. lastAirFlowRate (Air Flow Rate σένσορας)
3. coefficient (συντελεστής)
4. O2SensorLambdaS2ValueDenominator (παρονομαστής)

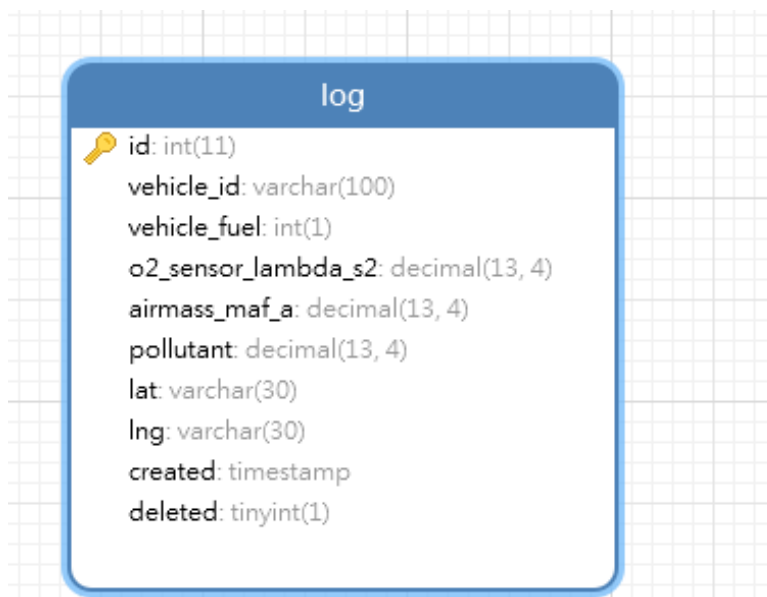
Η εξίσωση που εκτελείται κάθε 1 δευτερόλεπτο, είναι η εξής:

$$\text{pollutant} = \text{coefficient} * ((\text{lastAirFlowRate}) / (\text{lastO2SensorLambda1Value} * \text{O2SensorLambdaS2ValueDenominator}));$$

Ο ρύπος (μεταβλητή pollutant) υπολογίζεται ως το αποτέλεσμα του γινομένου του συντελεστή με το σένσορα Air Flow Rate και αυτό διαιρείται με το γινόμενο που προκύπτει από το σένσορα O2 WR Lambda S1 με τον παρονομαστή. Εάν ο χρήστης έχει επιλέξει στις ρυθμίσεις την επιλογή Ναι για την αποθήκευση, τότε θα γίνει κλήση στη μέθοδο logToDatabase, δηλαδή το αποτέλεσμα του υπολογισμού συμπεριλαμβανομένου του οχήματος και του καυσίμου που έχει επιλέξει ο χρήστης στις ρυθμίσεις, θα αποθηκευτούν στη βάση.

Η αποθήκευση στη βάση γίνεται μέσω της βιβλιοθήκης OkHttpClient και πραγματοποιείται μέσω ενός ασύγχρονου νήματος στο Android, εκτός του κύριου UI νήματος, έτσι ώστε το τελευταίο να μπορεί να κάνει απρόσκοπτα την εργασία, ανεξάρτητα του λάθους ή της εξαίρεσης που να προκύψει στο πρώτο νήμα. Το αίτημα είναι τύπου POST γίνεται στον εξυπηρετητή στο domain myobd.click, που αγοράστηκε για τους σκοπούς της εργασίας. Αρχικά, η καταγραφή των δεδομένων γινόταν σε τοπικό εξυπηρετητή και σε τοπική βάση δεδομένων. Με την ολοκλήρωση της εργασίας, έγινε αναζήτηση cloud server για τη φιλοξενία της διαδικτυακής εφαρμογής και βάσης και έπειτα αντικαταστάθηκαν οι σχετικές σταθερές καταγραφής του αιτήματος προς τον εξυπηρετητή. Το αίτημα πραγματοποιείται στο URL (ή στο endpoint) με όνομα save.php. Το αίτημα στέλνει ένα φορτίο με τις εξής παραμέτρους:

1. vehicle_id: Όχημα χρήστη
2. vehicle_fuel: Καύσιμο οχήματος
3. o2_sensor_lambda_s2: O2 WR Lambda S1
4. airmass_maf_a: Air Flow Rate
5. pollutant: υπολογισμένοι ρύποι
6. lat: Γεωγ. μήκος της τρέχουσας τοποθεσίας του χρήστη
7. lng: Γεωγ. πλάτος της τρέχουσας τοποθεσίας του χρήστη



Σχήμα 15: Διάγραμμα Πίνακα

Το ασύγχρονο αίτημα εκθέτει 2 συμβάντα που αφορούν την κατάστασή του:

1. onFailure: Συμβάν αποτυχίας
2. onResponse: Συμβάν απάντησης από τον εξυπηρετητή

Εδώ κάνουμε χρήση του 2^{ου} συμβάντος, όπου διαβάζουμε την απάντηση του εξυπηρετητή και την τυπώνουμε στην κονσόλα του Android Studio (LogCat) του τρέχοντος προσομοιωτή συσκευής Android για προγραμματιστικούς λόγους.

3.2.3 Υλοποίηση Βάσης Δεδομένων

3.2.3.1 Περιγραφή σχήματος Βάσης Δεδομένων

Η βάση δεδομένων ονοματίστηκε obd_log και περιλαμβάνει 1 πίνακα και έχει το όνομα log. Υλοποιήθηκε στο σχεσιακό σύστημα βάσεων δεδομένων, MariaDB, πρώην MySQL, καθώς η MySQL έγινε εμπορικό σύστημα, ενώ η MariaDB είναι ανοικτού κώδικα και άρα δωρεάν. Παρακάτω είναι το μοντέλο οντοτήτων-συσχετίσεων:

Περιγραφή στηλών

1. id: Ακέραιος 11 ψηφίων. Αποτελεί το αναγνωριστικό ή την ταυτότητα κάθε εγγραφής στον πίνακα, καθώς αποτελεί το πρωτεύον κλειδί και έχει αυτόματη αύξουσα αρίθμηση, δηλαδή το id συμπληρώνεται αυτόματα από τη MySQL σε κάθε ερώτημα εγγραφής (SQL insert) αυξανόμενο κατά 1 μονάδα σε σχέση με το id της τελευταίας εισαχθείσας εγγραφής στον πίνακα.
2. vehicle_id: Varchar 100 χαρακτήρων. Συμβολοσειρά. Εδώ αποθηκεύεται το όχημα του χρήστη που συμπληρώνει μέσω της Android εφαρμογής
3. vehicle_fuel: Ακέραιος 1 ψηφίου. Είναι το καύσιμο που επιλέγει ο χρήστης μέσω της εφαρμογής. Η τιμή 1 αντιπροσωπεύει τη βενζίνη, η τιμή 2 αντιπροσωπεύει το Πετρέλαιο, η τιμή 3 αντιπροσωπεύει το LPG και η τιμή 3 αντιπροσωπεύει το CNG.
4. o2_sensor_lambda_s2: Decimal (δεκαδικός) 17 ψηφίων με 4 δεκαδικά ψηφία. Εδώ αποθηκεύεται η τιμή O2 WR Lambda S1.
5. airmass_maf_a: Decimal (δεκαδικός) 17 ψηφίων με 4 δεκαδικά ψηφία. Εδώ αποθηκεύεται η τιμή Air Flow Rate.
6. Pollutant: Decimal (δεκαδικός) 17 ψηφίων με 4 δεκαδικά ψηφία. Εδώ αποθηκεύεται η τιμή του ρύπου.
7. Lat: Varchar 30 χαρακτήρων. Συμβολοσειρά. Αποθηκεύεται το γεωγραφικό μήκος της τρέχουσας τοποθεσίας του χρήστη.
8. Lng: Varchar 30 χαρακτήρων. Συμβολοσειρά. Αποθηκεύεται το γεωγραφικό πλάτος της τρέχουσας τοποθεσίας του χρήστη.
9. Created: Timestamp. Χρονοσφραγίδα, δηλαδή η ημερομηνία και ώρα. Έχει ως προεπιλεγμένη τιμή τη μέθοδο MySQL current_timestamp(), δηλαδή συμπληρώνεται αυτομάτως η τρέχουσα χρονοσφραγίδα από τη MySQL κατά τη δημιουργία της εγγραφής στη βάση.
10. Deleted: Tinyint 1 ψηφίου. Μικρός ακέραιος. Αφορά το εάν ή όχι μια εγγραφή από τον πίνακα έχει διαγραφεί, αρά να μη ληφθεί υπόψη από τη διαδικτυακή εφαρμογή. Ο τύπος tinyint χρησιμοποιείται συνήθως ως boolean (true or false) για μια στήλη στον πίνακα, με την τιμή 1 να σημαίνει ναι, και την τιμή 0 ή null, να σημαίνει όχι.

3.2.4 Περιγραφή διαδικτυακής εφαρμογής

Η διαδικτυακή εφαρμογή είναι απαραίτητη τόσο για την εμφάνιση των δεδομένων που καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο από την εφαρμογή στη συσκευή του χρήστη όσο και για την επικοινωνία της Android εφαρμογής, αφού το Android δε διαθέτει τη δυνατότητα ανάγνωσης και

εγγραφής σε βάση δεδομένων απευθείας. Έτσι, η διαδικτυακή εφαρμογή αποτελεί μια γέφυρα μεταξύ αυτών των 2 οντοτήτων και συνήθως αναφέρεται ως API (Application Programming Interface). Τα συνολικά αρχεία της εφαρμογής είναι 12. Μια δυναμική διαδικτυακή εφαρμογή απαιτεί την ύπαρξη και εκτέλεση κατ' ελάχιστον 3 τεχνολογιών:

1. Web Server: Εδώ επιλέχθηκε ο Apache Web server, ο οποίος εγκαταστάθηκε και ρυθμίστηκε.
2. Server language: Εδώ επιλέχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού PHP, λόγω της απλότητας και ευκολίας που προσφέρει σε συνδυασμό με την καλή απόδοση, γρήγορη ταχύτητα και αποτελεσματική χρήση πόρων. Εγκαταστάθηκε και ρυθμίστηκε πριν τη φιλοξενία της εφαρμογής στον εξυπηρετητή.
3. Βάση δεδομένων: Εδώ επιλέχθηκε η MariaDB. Παρόμοια κι εδώ, η βάση εγκαταστάθηκε και ρυθμίστηκε.

3.2.4.1 Σύνδεση με τη βάση δεδομένων (db.php)

Η σύνδεση με τη βάση δεδομένων γίνεται στο αρχείο db.php μέσω PDO οδηγών, δηλαδή ενός επιπέδου (layer) για πρόσβαση στη βάση. Στο παρόν αρχείο γίνεται έλεγχος εάν το μηχάνημα στο οποίο γίνεται η κλήση του αρχείου έχει λειτουργικό σύστημα Windows ή Linux για να γίνει σύνδεση σε διαφορετική βάση αναλόγως σε τι σύστημα φιλοξενείται το αρχείο.

3.2.4.2 Καταγραφή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (save.php)

Αυτό είναι το αρχείο με το οποίο έχει άμεση επικοινωνία η Android εφαρμογή και καλείται κάθε δευτερόλεπτο για την αποθήκευση των τιμών που καταγράφονται στην εφαρμογή. Εδώ θα πραγματοποιηθεί σύνδεση με τη βάση και μετά τον έλεγχο ότι το αίτημα είναι τύπου POST και διαθέτει έγκυρο φορτίο (payload) θα γίνει αντιστοίχιση της τιμής του καυσίμου που έχει επιλέξει ο χρήστης σε ακέραιες τιμές και περιγράφηκε στην ενότητα της περιγραφής της βάσης δεδομένων. Θα γίνει μετατροπή των τιμών O2 WR Lambda S2, Air Flow Rate και ρύπων σε δεκαδικούς αριθμούς, καθώς ένα αίτημα στον εξυπηρετητή αποστέλλεται σε μορφή συμβολοσειράς. Τελικά θα γίνει ένα ερώτημα εισαγωγής στη βάση δεδομένων αντιστοιχίζοντας τις τιμές των παραμέτρων του αιτήματος με τις σχετικές στήλες στη βάση μέσω PDO δέσμευσης παραμέτρων (bind parameters).

3.2.4.3 Αρχική σελίδα (index.php)

Το πρώτο αρχείο που εκτελείται σε μια εφαρμογή όταν πληκτρολογήσει ο χρήστης ένα URL είναι αυτό που έχει το όνομα index ή home. Αυτή είναι η κεντρική σελίδα και εμφανίζονται τα δεδομένα που καταγράφονται κάθε δεδομένη στιγμή από την εφαρμογή Android και περιέχει κυρίως κώδικα HTML και PHP, CSS, και Javascript. Μετά τη σύνδεση με τη βάση κάνοντας εισαγωγή το αρχείο db.php θα γίνει εισαγωγή του αρχείου query.php εντός του οποίου διαμορφώνεται με δυναμικό τρόπο μέρος του ερωτήματος επιλογής των δεδομένων του πίνακα

της βάσης και συγκεκριμένα των συνθηκών επιλογής στηλών. Αρχικά να πούμε ότι η εφαρμογή διαθέτει 3 φίλτρα:

1. Όχημα
2. Καύσιμο
3. Ημερομηνία

Η επιλογή ενός ή περισσότερων φίλτρων μέσω της εφαρμογής από το χρήστη περιορίζει την επιλογή δεδομένων μέσω του ερωτήματος προς τη βάση για λόγους καλύτερης απόδοσης και ταχύτητας της εφαρμογής και μόνο τα δεδομένα που ικανοποιούν τα φίλτρα εμφανίζονται στην εφαρμογή. Τα φίλτρα πυροδοτούν αλλαγή στο URL της εφαρμογής έτσι ώστε να είναι άμεσα διαθέσιμα από όλα τα εμπλεκόμενα αρχεία της εφαρμογής και ανακτώνται στην PHP μέσω της καθολικής μεταβλητής \$_GET μέσω του αντιστοίχου ονόματος του φίλτρου.

Αν ο χρήστης επιλέξει ένα όχημα από τα διαθέσιμα οχήματα, τότε θα εισαχθεί συνθήκη στο ερώτημα όπου θα αναζητηθεί ταίριασμα της επιλεγμένης τιμής του φίλτρου από το χρήστη με την τιμή στη στήλη vehicle_id χρησιμοποιώντας τον τελεστή LIKE, δηλαδή αναζητείται ταίριασμα σε συμβολοσειρά η οποία περιέχεται ή είναι ήδη ίση με μια άλλη συμβολοσειρά.

Εάν ο χρήστης περιορίσει την αναζήτηση σε συγκεκριμένο είδος καυσίμου, τότε γίνεται η αντιστοίχιση του καυσίμου σε ακεραίους και περιγράψαμε πιο πάνω και τότε αναζητείται για ισότητα με τιμή στη στήλη vehicle_fuel.

Εάν ο χρήστης περιορίσει την αναζήτηση επιλέγοντας το φίλτρο ημερομηνίας, τότε αναζητείται για ταίριασμα της τιμής του φίλτρου με την τιμή στη στήλη created, αφού αυτή μετατραπεί από τη μορφής ημερομηνίας και ώρας σε σκέτη ημερομηνία, με την έννοια ότι ο χρήστης αναζητά για δεδομένα συγκεκριμένης ημέρας. Ειπώθηκε νωρίτερα ότι αυτή η στήλη αντιπροσωπεύει τη χρονοσφραγίδα μιας καταγραφής στο σύστημα.

Για λόγους ακόμα καλύτερης απόδοσης, η εφαρμογή εφόσον εμφανίζει ήδη δεδομένα, τότε λαμβάνεται το id της τελευταίας εμφανιζόμενης καταγραφής και προσμετράται στο ερώτημα επιλογής, κάνοντας έτσι επιλογή μόνο των εγγγραφών που είναι μεγαλύτερες από το id που παράσχεται ή αλλιώς για νεότερες εγγραφές. Αυτή η λειτουργία έχει νόημα όταν ο χρήστης έχει ενεργή την επιλογή Auto Update (αυτόματης ενημέρωσης) στην εφαρμογή, δηλαδή «αποκαλύπτονται» αυτόματα τα νεότερα δεδομένα από την καταγραφή που γίνεται στην εφαρμογή. Τέλος, το ερώτημα επιλογής περιορίζει την επιλογή για εγγραφές όπου η στήλη deleted είναι null, δηλαδή δεν έχουν μαρκαριστεί με την τιμή 1 για την αγνόηση από την εφαρμογή.

Συνεχίζουμε στο αρχείο index.php όπου θα εκτελεστεί το ερώτημα SQL στον πίνακα log κάνοντας φθίνουσα ταξινόμηση βάσει του id των εγγγραφών, δηλαδή οι τελευταίες εγγραφές θα εμφανίζονται πρώτες στην εφαρμογή. Κατόπιν, θα εκτελεστούν 3 νέα ερωτήματα επιλογής στον πίνακα:

1. Επιλογή μοναδικών οχημάτων
2. Επιλογή μοναδικού καυσίμου

3. Επιλογή μοναδικών ημερομηνιών (κατόπιν της μετατροπής της χρονοσφραγίδας created σε ημερομηνία της μορφής YYYY-MM-DD, δηλαδή έτος-μήνας-μέρας)

Τα αποτελέσματα των ερωτημάτων θα τροφοδοτήσουν τα φίλτρα επιλογής που παράσχονται προς το χρήστη. Τα φίλτρα έχουν δομηθεί ως dropdown στοιχεία, δηλαδή αναδυόμενα στοιχεία ελέγχου (κόμβος select) και οι επιλογές τους (κόμβοι option) διαμορφώνονται με την PHP μέσω αντίστοιχων βρόγχων foreach. Στα φίλτρα θα επιλεγεί αυτόματα η επιλεγμένη τιμή εφόσον έχει τροποποιηθεί από το χρήστη.

Θα γίνει εισαγωγή του αρχείου CSS, bootstrap.min.css. Το Bootstrap είναι βιβλιοθήκη της Twitter που παρέχει ένα μεγάλο σύνολο από κλάσεις και ιδιότητες CSS για τη βελτίωση της εμφάνισης και φιλικότητας προς το χρήστη μιας εφαρμογής με ελάχιστο κώδικα από την πλευρά του προγραμματιστή.

Θα γίνει επίσης εισαγωγή του αρχείου jQuery, μιας βιβλιοθήκης Javascript, η οποία επιταχύνει και απλοποιεί τη γραφή κώδικα σε Javascript και ταυτόχρονα κάνει τον κώδικα πιο ευανάγνωστο για τον προγραμματιστή.

Στην κορυφή της σελίδας θα βρούμε ένα σύνδεσμο στα στατιστικά (Charts) που θα εξηγήσουμε πιο μετά. Μετά τον έλεγχο ότι έχουμε δεδομένα από το ερώτημα επιλογής των εγγραφών που συναντήσαμε παραπάνω, θα δημιουργηθεί ένας HTML κόμβος table όπου μέσα περιέχονται οι κάτωθι στήλες:

1. Date (ημερομηνία)
2. Vehicle (όχημα)
3. Fuel (καύσιμο)
4. O2 Sensor Lambda S2 (O2 WR Lambda S1)
5. Airmass MAF A (Air flow rate)
6. Pollutant (εκπεμπόμενοι ρύποι)
7. Latitude,Longitude (γεωγ. μήκος και πλάτος χρήστη/οχήματος)

Θα γίνει εισαγωγή του αρχείου rows.php το οποίο δημιουργεί δυναμικά το HTML περιεχόμενο, δηλαδή τις γραμμές και τις στήλες του πίνακα μέσω ενός βρόγχου που κάνει επανάληψη όλες τις εγγραφές που βρίσκονται στα αποτελέσματα του ερωτήματος επιλογής που περιγράφηκε νωρίτερα. Θα εμφανιστούν τα δεδομένα στα αντίστοιχα κελιά των σχετικών στηλών και θα γίνει αντιστοίχιση των ακεραίων που αφορούν το καύσιμο σε συμβολοσειρά, πχ. Βενζίνη, καθώς ως αέριος αποθηκεύεται το καύσιμο στον πίνακα. Σε κάθε γραμμή του πίνακα εισάγουμε την ιδιότητα data-id με τιμή το εκάστοτε id του βρόγχου και θα χρησιμοποιηθεί στη Javascript που θα δούμε αμέσως μετά.

Στο τέλος του αρχείου θα βρούμε κώδικα Javascript (σηματοδοτείται από τον HTML κόμβο script) που έχει τα εξής καθήκοντα:

1. Διαχείριση φίλτρων

2. Διαχείριση interval, δηλαδή της αυτόματης ενημέρωσης του HTML πίνακα για την εμφάνιση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Ορίζονται 3 ακροατές συμβάντος αλλαγής τιμής στα φίλτρα και όταν ο χρήστης αλλάξει μια τιμή σε ένα από αυτά τα φίλτρα θα γίνει κλήση στη μέθοδο formURL. Εκεί θα διαμορφωθεί δυναμικά μέρος του URL που θα αντιστοιχίσει τα φίλτρα σε URL παραμέτρους και τελικά θα γίνει ανακατεύθυνση ή επαναφόρτωση της ίδιας σελίδας αλλά με τροποποιημένα πλέον φίλτρα.

Το interval εκτελείται κάθε 5000 milliseconds, το οποίο μπορεί να μειωθεί ή να αυξηθεί κατά βούληση. Εάν ο χρήστης έχει ενεργή την επιλογή Auto Update, τότε κάθε 5 δευτερόλεπτα, θα γίνει autoUpdate κλήση στη μέθοδο autoUpdate. Εκεί θα γίνει ανάκτηση του id της πρώτης εγγραφής (μέσω της ιδιότητας data-id) στον HTML πίνακα, η οποία αντιπροσωπεύει όπως είπαμε την τελευταία καταγραφή. Θα γίνει ασύγχρονο αίτημα Ajax, δηλαδή ενός αιτήματος προς τον εξυπηρετητή. Με αυτόν τον τρόπο δεν απαιτείται φόρτωση εκ νέου της ιστοσελίδας και αποστέλλονται και λαμβάνονται από τον εξυπηρετητή μόνο τα δεδομένα (τα νεότερα) που χρειάζονται κάθε δεδομένη στιγμή. Το φορτίο (payload) του αιτήματος περιέχει την παράμετρο id, που ανακτήθηκε παραπάνω. Το αίτημα είναι τύπου GET και γίνεται στο URL fetch.php. Το αίτημα εκθέτει διάφορες μεθόδους για τη διαχείριση των συμβάντων της επικοινωνίας με τον εξυπηρετητή. Εμείς χρησιμοποιούμε το αίτημα complete, το οποίο σηματοδοτεί την περάτωσης της επικοινωνίας με τον εξυπηρετητή και άρα τον τερματισμό του αιτήματος. Μετά από τον έλεγχο για έγκυρη απάντηση του εξυπηρετητή, θα γίνει εισαγωγή στην κορυφή του HTML πίνακα των εγγραφών που απάντησε ο εξυπηρετητής.

3.2.4.4 Αυτόματη ενημέρωση (fetch.php)

Αυτό το αρχείο όπως είδαμε καλείται μέσω του ασύγχρονου αιτήματος Ajax. Μετά την εισαγωγή του αρχείου σύνδεσης με τη βάση και του αρχείου query.php, δηλαδή τη δυναμική διαμόρφωση του ερωτήματος στη βάση βάσει των επιλεγμένων φίλτρων. Θα γίνει έλεγχος εάν υπάρχουν νέες εγγραφές και αν ναι, τότε θα γίνει εισαγωγή του αρχείου rows.php, το οποίο θα κάνει επανάληψη όλες τις εγγραφές και τελικά ο εξυπηρετητής θα στείλει απάντηση το παραγόμενο HTML στον καλούντα, δηλαδή στον πελάτη (φυλλομετρητή).

3.2.4.5 Στατιστικά (charts.php)

Αυτή η σελίδα δημιουργήθηκε για να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη και καθαρή εικόνα σχετικά με την καταγραφή των ρύπων που υπολογίζεται στα οχήματα. Εμφανίζεται ένα διάγραμμα γραμμής, το οποίο αντιπροσωπεύει τη διακύμανση ή την πορεία της καταγραφής των ρύπων σύμφωνα με το επιλεγμένο όχημα από το χρήστη. Επιπλέον κατόπιν επιλογής (click) του χρήστη σε ένα σημείο μεταβολής της γραμμής της πορείας των καταγραφών, εμφανίζεται ένα αναδυόμενο παράθυρο (modal window) με τη χρήση της βιβλιοθήκης Bootstrap, το οποίο δείχνει ένα χάρτη από τα Google Maps, ο οποίος απεικονίζει τη καταγεγραμμένη γεωγραφική θέση του οχήματος μέσω ενός marker (πινέζα). Ταυτόχρονα στην κορυφή αυτού του παραθύρου εμφανίζεται η τιμή των ρύπων και η ώρα που έγινε η καταγραφή.

Ξεκινάμε με 2 ερωτήματα SQL στον πίνακα log με σκοπό να πάρουμε τα μοναδικά οχήματα και τις μοναδικές ημερομηνίες που έχουν καταγραφεί με σκοπό να τροφοδοτήσουμε τα αντίστοιχα φίλτρα για την επιλογή από μέρους του χρήστη. Πρόκειται για ένα παρόμοιο χαρακτηριστικό το οποίο περιγράψαμε στην αρχική σελίδα.

Στη συνέχεια θα συναντήσουμε το HTML που περιλαμβάνει τον κώδικα για το modal window, το οποίο ορίζεται ως κενό και το περιεχόμενό του συμπληρώνεται κατά το χρόνο εκτέλεσης της εφαρμογής ύστερα από την επιλογή του χρήστη. Στο τέλος του HTML κώδικα θα βρούμε έναν κόμβο canvas, το οποίο είναι στοιχείο για να εμφανίσουμε τα δεδομένα του διαγράμματος, τα οποία παράγονται μέσω της γλώσσας Javascript.

Για την εμφάνιση του διαγράμματος χρησιμοποιούμε τη βιβλιοθήκη Chart JS, το οποίο παρέχει μια μεγάλη πληθώρα διαγραμμάτων και επιλογών, τα οποία είναι έτοιμα προς χρήση από τον προγραμματιστή κι έτσι δε χρειάζεται να γνωρίζουμε την τεχνολογία canvas για να αποδώσουμε τα διαγράμματα στο HTML. Μάλιστα τα διαγράμματα είναι κινούμενα, με την έννοια ότι σχηματίζονται με animation κατά την αρχική φόρτωσή τους κι έτσι δίνουν την εντύπωση στο χρήστη ότι γίνεται κάποια εργασία εκείνη τη στιγμή.

Σε αυτό το σημείο, η εφαρμογή αναμένει για επιλογή του χρήστη βάσει των 2 φίλτρων (ημερομηνίας και οχήματος) καθώς το διάγραμμα εμφανίζει την πορεία των καταγεγραμμένων ρύπων για ένα όχημα για μία ημέρα. Ορίζονται 2 ακροατές συμβάντος αλλαγής στα εν λόγω φίλτρα όπου θα προκαλέσουν κλήση στη μέθοδο userSelection με ορίσματα το όνομα του φίλτρου (παράμετρος key) και την τιμή του φίλτρου (παράμετρος value). Θα γίνει έλεγχος για έγκυρα φίλτρα, δηλαδή δεν είναι κενά και αν ισχύει αυτό, τότε θα καταστραφεί το διάγραμμα σε περίπτωση που σε προηγούμενη τιμή των φίλτρων είχε εμφανιστεί. Ειδάλλως, θα γίνει ένα ασύγχρονο αίτημα τύπου POST στον εξυπηρετητή στο URL data.php, δηλαδή μια παρόμοια τεχνική που είδαμε στο αρχείο index.php. Το φορτίο του αιτήματος περιέχει τις τιμές των φίλτρων. Η επικοινωνία μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή είναι σε μορφή JSON, δηλαδή αναμένουμε από τον εξυπηρετητή να στείλει απάντηση σε JSON. Αυτό το κάνουμε καθώς το JSON format έχει μια δομή που μπορεί εύκολα να τροφοδοτήσει τα δεδομένα του διαγράμματος χωρίς να απαιτείται μεγάλη επεξεργασία. Το πέρας του αιτήματος σηματοδοτείται με τη μέθοδο complete σε ένα ajax αίτημα όπου θα καταστραφεί τυχόν προηγούμενο διάγραμμα και μετά από τον έλεγχο για έγκυρη απάντηση από το εξυπηρετητή, θα κρυφτεί τυχόν προηγούμενο μήνυμα λάθους (με περιεχόμενο «No data found»), το οποίο είναι αρχικά κρυφό και εμφανίζεται όταν η απάντηση από τον εξυπηρετητή δεν είναι έγκυρη ή όταν δεν εντοπιστούν καταγραφές βάσει των επιλογών του χρήστη. Ένα διάγραμμα για να αποδοθεί στην οθόνη απαιτεί κατ' ελάχιστον τα εξής αντικείμενα, τα οποία ανήκουν στην οντότητα datasets του διαγράμματος ChartJS:

1. Τύπος διαγράμματος (πχ. γραμμή, μπάρα, πίτα κλπ.)
2. Ετικέτες στον άξονα x
3. Ετικέτες στον άξονα y
4. Δεδομένα (αριθμοί) που σχετίζονται με τις ετικέτες

Επιπλέον θα δοθεί ο χρωματικός δεκαεξαδικός κωδικός αντιπροσωπευτικός του χρώματος και του περιγράμματος του διαγράμματος γραμμής. Επίσης θα εμφανιστεί το επιλεγμένο όχημα βάσει του φίλτρου που δόθηκε από το χρήστη και το λεκτικό Pollutant fluctuation στην κορυφή του

διαγράμματος και τελικά το διάγραμμα θα αποδοθεί κατά μήκος σχεδόν όλης της σελίδα με βάση τις ρυθμίσεις που περιεγράφηκαν παραπάνω.

Το διάγραμμα εκθέτει διάφορα συμβάντα που πραγματοποιούνται επί αυτού, όπως το click σε ετικέτες, σημεία γραμμής, σύρσιμο, scroll κλπ. κι εμείς θα χρησιμοποιήσουμε τον ακροατή συμβάντος click, σε κάθε σημείο γραμμής έτσι ο χρήστης να πληροφορηθεί για μια συγκεκριμένη καταγραφή. Σε αυτό το σημείο να πούμε ότι το αρχείο data.php, έστειλε εκτός από τα δεδομένα του διαγράμματος και το γεωγραφικό στίγμα με το οποίο αντιστοιχίζεται κάθε μέτρηση. Επομένως, μετά τον έλεγχο τόσο για έγκυρες τιμές στην ετικέτα όσο και στη συσχετιζόμενη τοποθεσία της καταγραφής στο επιλεγμένο (clicked) σημείο της γραμμής από το χρήστη θα τεθούν τα δεδομένα του αναδυόμενου παραθύρου που περιγράψαμε προηγουμένως βάσει του δείκτη (ή κλειδιού) του επιλεγμένου σημείου που εκθέτει το API της βιβλιοθήκης ChartJS. Έτσι, θα συμπληρωθεί ο τίτλος του modal window με τη συμβολοσειρά που αποτελείται από τα εξής 2 μέρη:

1. Τιμή ρύπων
2. Καταγεγραμμένη ώρα (ώρα-λεπτό)

Το σώμα του modal window, θα περιέχει ένα HTML κόμβο iframe, που είναι ένας κλασικός κόμβος για να εμφανίζουμε περιεχόμενο από εξωτερικούς ιστοτόπους, όπως είναι τα Google Maps. Θέτουμε για το iframe τις απαραίτητες ιδιότητες, όπως το μήκος, το ύψος και γενικότερα την εμφάνιση που θα έχει και το σημαντικότερο την ιδιότητα src, δηλαδή το URL του ιστοτόπου που αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. <https://www.google.com/maps/embed/v1/place>
2. ?key=X (όπου X είναι το API key. Στο URL θέτουμε την παράμετρο key, ή αλλιώς κλειδί όπου πρέπει να θέσουμε την τιμή του API key που πρέπει να λάβουμε μέσω του Google Cloud Console, δηλαδή του ειδικού εργαλείου της Google για πρόσβαση σε βιβλιοθήκες, λειτουργίες και λοιπά συστήματα στο οικοσύστημά της. Οι χάρτες της Google τα τελευταία χρόνια, δεν είναι πλέον ελεύθεροι προς χρήση οπότε είναι απαραίτητη η χρήση ενός API key που σχετίζεται με ένα λογαριασμό Gmail. Επιπλέον είναι υποχρεωτική η χρήση πιστωτικής/χρεωστικής κάρτας και η καταχώρηση στο Google Cloud Console που σχετίζεται με τα Google Maps. Το καλό νέο είναι ότι προβλέπεται η χρήση μερικών χιλιάδων κλήσεων ή προβολών των χαρτών πριν εκκινήσει η χρέωση για τις επόμενες μελλοντικές προβολές.
3. &q=X, όπου είναι το γεωγραφικό στίγμα της καταγραφής. Πρόκειται για άλλη μια παράμετρο του URL που αφορά το ερώτημα (query), δηλαδή στο που θα επικεντρωθεί η κάμερα κατά τη φόρτωση του χάρτη.

Τελικά το modal window θα εμφανιστεί με τη βοήθεια της βιβλιοθήκης Bootstrap. Σε περίπτωση λάθους κατά την επικοινωνία με τον εξυπηρετητή, ή σε περίπτωση που δεν υπάρχουν

δεδομένα για μια δεδομένη επιλογή του χρήστη, τότε εμφανίζεται ο κόμβος του λάθους (με id error) και περιέχει το μήνυμα που περιγράφηκε νωρίτερα.

3.2.4.6 Λήψη δεδομένων γραφήματος (data.php)

Ειπώθηκε ήδη ότι το αρχείο αυτό καλείται κατά την επικοινωνία με τον πελάτη στο αρχείο charts.php. Μετά τον έλεγχο για έγκυρο φορτίο αιτήματος θα γίνει σύνδεση με τη βάση (αρχείο dp.php) και ένα ερώτημα επιλογής στη βάση θα πραγματοποιηθεί επιλέγοντας τις εγγραφές από τον πίνακα log όπου το φίλτρο της ημέρας ισούται με την τιμή της στήλης created (ημερομηνία καταγραφής) και όπου το φίλτρο του οχήματος ισούται με την τιμή της στήλης vehicle_id. Η στήλη delete πρέπει να είναι null στο ερώτημα και θα γίνει ομαδοποίηση (group by) των αποτελεσμάτων με βάση το ρύπο. Αυτό το κάνουμε διότι δε θέλουμε να πάρουμε όλες τις καταγραφές που έχουν καταγραφεί για ένα όχημα σε μία ημέρα καθώς ο ρύπος είναι συνήθως σταθερός και πραγματοποιούνται ορισμένες μεταβολές αυτού στο χρόνο. Επομένως χρειάζεται να λάβουμε μόνο αυτές τις μεταβολές για να μη «γεμίσει» με θόρυβο το διάγραμμα. Θα αρχικοποιήσουμε ορισμένα arrays (μήτρες) που θα χρησιμοποιηθούν για το «γέμισμα» των δεδομένων του διαγράμματος. Ένας βρόγχος που κάνει επανάληψη όλες τις εγγραφές που επέστρεψε το ερώτημα και τότε θα συμπληρωθούν με τιμές τα arrays όπου θα αποτελούνται με τόσα στοιχεία όσα είναι και οι καταγραφές:

1. Array γεωγραφικών τοποθεσιών
2. Array ετικετών άξονα x
3. Array με το επιλεγμένο όχημα
4. Array με το χρωματικό κωδικό της γραμμής
5. Array με τα δεδομένα του ρύπου που θα «γεμίσει» τα δεδομένα του άξονα y.

Η απάντηση που θα επιστραφεί από τον εξυπηρετητή θα είναι της μορφής JSON που θα εμπεριέχει τα άνω arrays για ανάκτηση από την πλευρά του καλούντος, δηλαδή του πελάτη.

4

Παρουσίαση Δεδομένων

Προκειμένου να εξετάσουμε την ορθή λειτουργία της εφαρμογής και κατά πόσο τα δεδομένα που συλλέγονται από την εφαρμογή του κινητού αποστέλλονται στον εξυπηρετητή και παρουσιάζονται στην διαδικτυακή εφαρμογή με τον τρόπο που έχουμε σχεδιάσει, προβήκαμε σε δοκιμαστική συλλογή δεδομένων.

Συγκεκριμένα, συνδέσαμε την συσκευή OBD σε δυο επιβατικά αυτοκίνητα επιβατικά αυτοκίνητά, το ένα είναι Peugeot 3008 και ένα Hyundai i20, εγκαταστήσαμε την εφαρμογή στο Android κινητό των ιδιοκτητών τους δώσαμε οδηγίες προκειμένου να συνδεθεί στην εφαρμογή και να εισάγει σωστά τα στοιχεία του, επιβεβαιώσαμε μετά ότι η διαδικασία σύνδεσης γίνεται έτσι όπως περιγράφηκε πιο πάνω, του ζητήσαμε να εκκινήσει το αυτοκίνητο και να αυξήσει ελαφριά τις στροφές του κινητήρα στην αρχή και έπειτα να προχωρήσει στην εναλλαγή σχέσεων στο κιβώτιο ταχυτήτων προκειμένου να αυξηθεί η κατανάλωση του καυσίμου ανάλογα την πίεση που ασκούσε στο πεντάλ του γκαζιού. Έπειτα, οι οδηγοί έκαναν διαδρομές ακολουθώντας τις δικές τους ρουτίνες εντός της πόλης.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2 καταγράφηκαν οι τιμές των μεταβλητών στην διαδικτυακή εφαρμογή και στα Σχήματα 16a και 16b πως εξελίσσεται η παραγωγή CO₂ χρονικά. Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη παραγωγή CO₂ συντελείται όταν τα αυτοκίνητα βρισκόταν σε ανηφόρα καθώς και ότι η παραγωγή αυξάνεται όταν εκκινούν από φωτεινό σηματοδότη.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα φαίνονται οι καταγραφές για τα συγκεκριμένα αυτοκίνητα στα οποία έγινε τη πειραματική εφαρμογή, στον συγκεκριμένο πίνακα όταν θα υπάρξει η χρήση του συστήματος αυτού και από άλλα οχήματα θα εμφανίζονται οι καταγραφές από όλους τους χρήστες. Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 2 η διαδικτυακή εφαρμογή δίνει την δυνατότητα στον επισκέπτη να επιλέγει τα δεδομένα που θέλει να εμφανιστούν. Οι δυνατότητες της εφαρμογής είναι η προβολή δεδομένων από όλα τα οχήματα, η επιλογή εμφάνισης δεδομένων

οχημάτων που καταναλώνουν συγκεκριμένο τύπο καυσίμου, η επιλογή εμφάνισης με βάση τον τύπο του οχήματος αλλά και με βάση την ημερομηνία καταγραφής εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα.

OBD Log							Charts
Auto update:	Yes	Vehicle:	Peugeot 3008	Fuel:	All	Date:	All
Date	Vehicle	Fuel	O2 Sensor Lambda S2	Airmass MAF A	Pollutant	Latitude,Longitude	
05.06.2023 20:25:27	Peugeot 3008	Βενζίνη	1.2329	2.2300	0.4060	39.0901928,26.5491315	
05.06.2023 20:25:26	Peugeot 3008	Βενζίνη	1.2329	2.2300	0.4060	39.0910708,26.5496939	
05.06.2023 20:25:25	Peugeot 3008	Βενζίνη	1.2329	2.2300	0.4060	39.0910708,26.5496939	
05.06.2023 20:25:24	Peugeot 3008	Βενζίνη	1.2329	2.2300	0.4060	39.0910708,26.5496939	
05.06.2023 20:25:23	Peugeot 3008	Βενζίνη	1.2329	3.2000	0.5827	39.0910708,26.5496939	
05.06.2023 20:25:22	Peugeot 3008	Βενζίνη	1.2329	3.2000	0.5827	39.0910708,26.5496939	
05.06.2023 20:25:21	Peugeot 3008	Βενζίνη	1.2329	3.2000	0.5827	39.0910708,26.5496939	
05.06.2023 20:25:20	Peugeot 3008	Βενζίνη	1.2329	3.2000	0.5827	39.0910708,26.5496939	
05.06.2023 20:25:19	Peugeot 3008	Βενζίνη	1.2329	3.2000	0.5827	39.0910708,26.5496939	

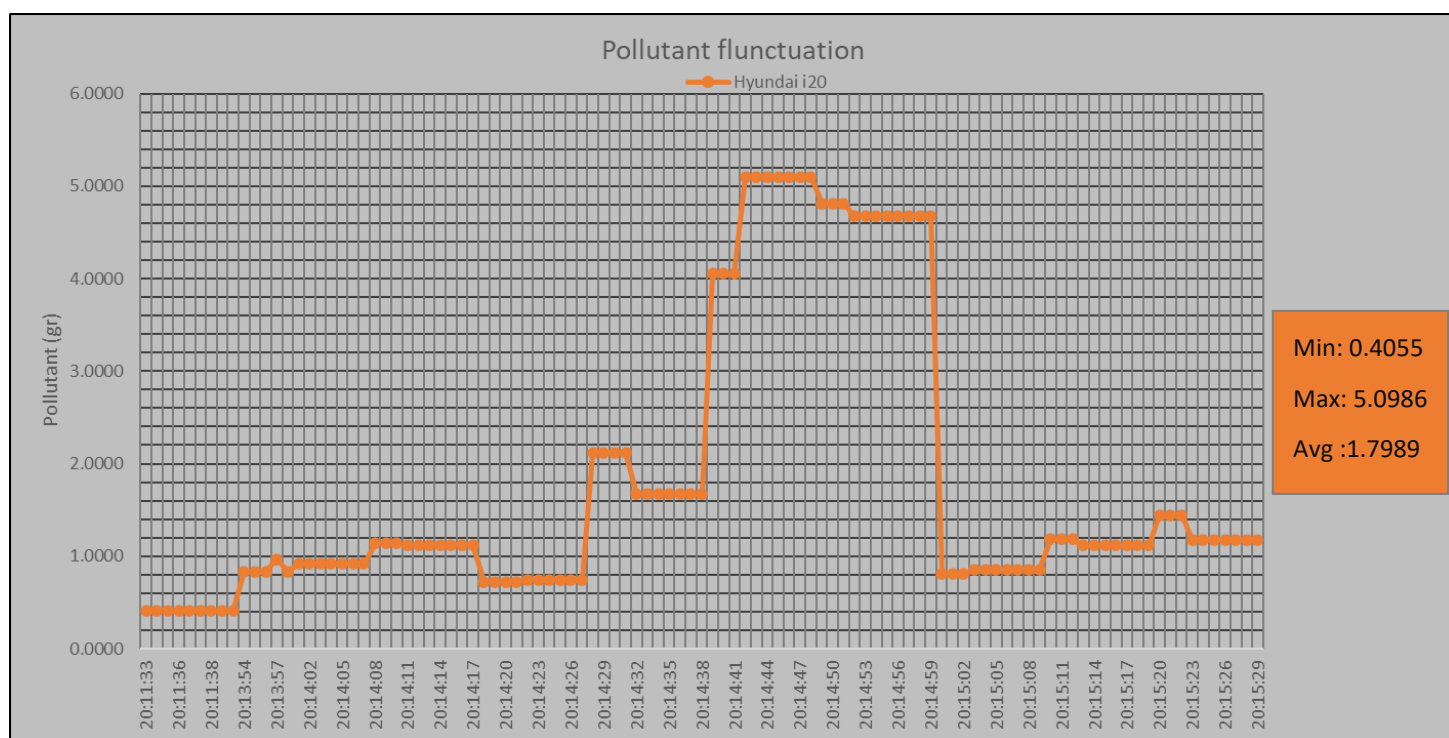
OBD Log							Charts
Auto update:	Yes	Vehicle:	Hyundai i20	Fuel:	All	Date:	All
Date	Vehicle	Fuel	O2 Sensor Lambda S2	Airmass MAF A	Pollutant	Latitude,Longitude	
05.06.2023 20:15:30	Hyundai i20	Βενζίνη	1.2329	1.5900	0.2895	39.1088827,26.5613624	
05.06.2023 20:15:29	Hyundai i20	Βενζίνη	1.2329	6.4800	1.1799	39.1088827,26.5613624	
05.06.2023 20:15:28	Hyundai i20	Βενζίνη	1.2329	6.4800	1.1799	39.1088827,26.5613624	
05.06.2023 20:15:27	Hyundai i20	Βενζίνη	1.2329	6.4800	1.1799	39.1088827,26.5613624	
05.06.2023 20:15:26	Hyundai i20	Βενζίνη	1.2329	6.4800	1.1799	39.1088827,26.5613624	
05.06.2023 20:15:25	Hyundai i20	Βενζίνη	1.2329	6.4800	1.1799	39.1088827,26.5613624	
05.06.2023 20:15:24	Hyundai i20	Βενζίνη	1.2329	6.4800	1.1799	39.1088827,26.5613624	
05.06.2023 20:15:23	Hyundai i20	Βενζίνη	1.2329	6.4800	1.1799	39.1088827,26.5613624	
05.06.2023 20:15:22	Hyundai i20	Βενζίνη	1.0064	6.4800	1.4455	39.1088827,26.5613624	

Πίνακας 2: Στιγμιότυπα της διαδικτυακής Εφαρμογής

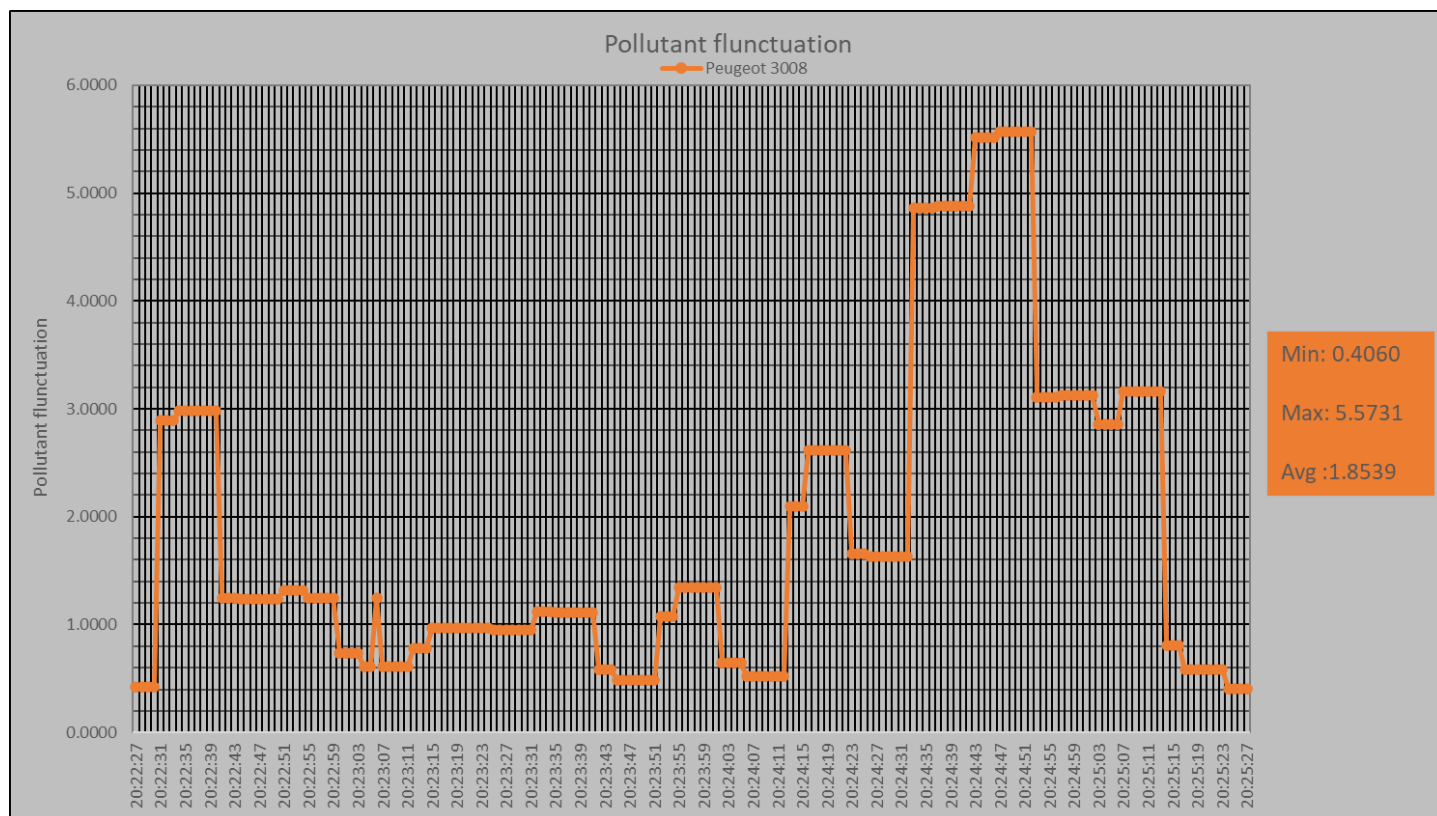
Ακόμα, σύμφωνα με το Σχήμα 16a και 16b η εφαρμογή δίνει την δυνατότητα στον επισκέπτη να αντλήσει γραφήματα τα οποία αναπαριστούν την χρονική εξέλιξη της κατανάλωσης για κάθε όχημα ανά ημερομηνία προκειμένου οι χρήστες να μπορούν να εξάγουν συμπεράσματα για την παράγωγή διοξειδίου του άνθρακα ανά ημέρα.

Ακόμα, δίνεται η δυνατότητα από το site όταν θα επιλεγθεί ένα σημείο στο διάγραμμα να εμφανίζεται η θέση του αυτοκινήτου στους χάρτες της Google για την συγκεκριμένη χρονική στιγμή και για την συγκεκριμένη τιμή έκκλησης διοξειδίου του άνθρακα από το εν λόγω όχημα. Ένας από τους μελλοντικούς στόχους του συστήματος που σχεδιάστηκε, ο οποίος αποτελεί βασικό στόχο των συστημάτων που εφαρμόζουν crowd sensing, είναι η προβολή των γραμμαρίων διοξειδίου του άνθρακα των οχημάτων που κυκλοφορούν σε μια περιοχή σε πραγματικό χρόνο σε χάρτη όπως φαίνεται στο Σχήμα 19. Η διαδικτυακή εφαρμογή με την δυνατότητά της αυτή και όταν θα χρησιμοποιείται από περισσότερους χρήστες θα μπορεί να πληροφορεί τον επισκέπτη για

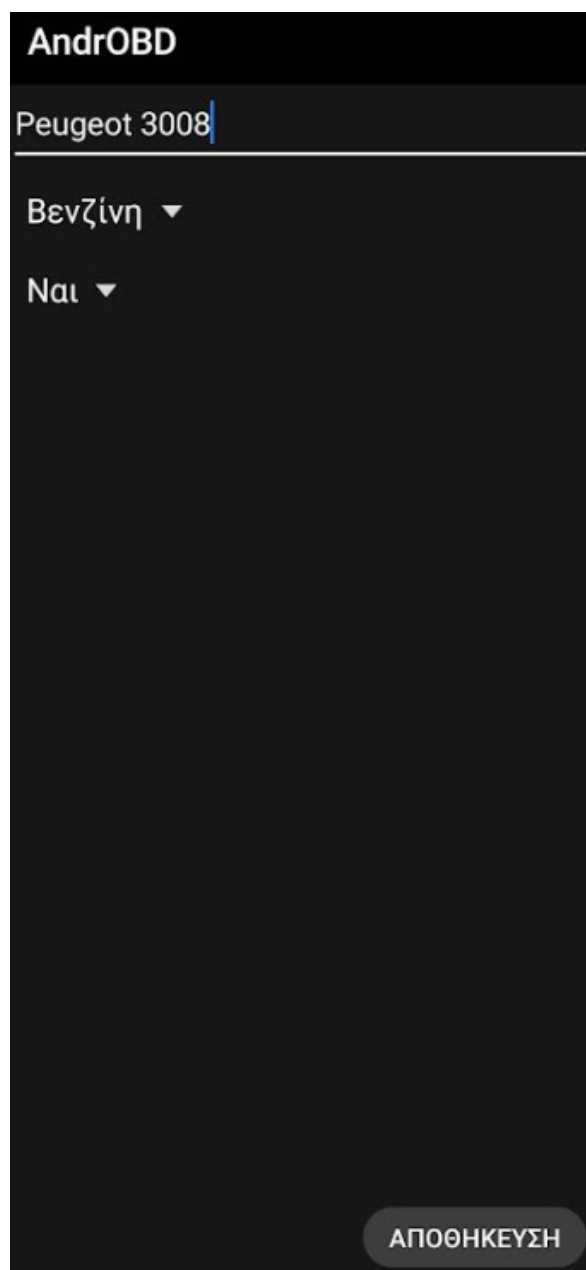
την περιοχή του ενδιαφέροντος του είτε για ερευνητικούς σκοπούς, είτε για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση κάποιου μέτρου για την μείωση των αερίων ρύπων που εκλύονται από την κυκλοφορία των οχημάτων, είτε ακόμα και για την ενημέρωσή του σε περίπτωση που θέλει να επισκεφθεί την περιοχή.



Σχήμα 16α: Στιγμιότυπο Γραφήματος



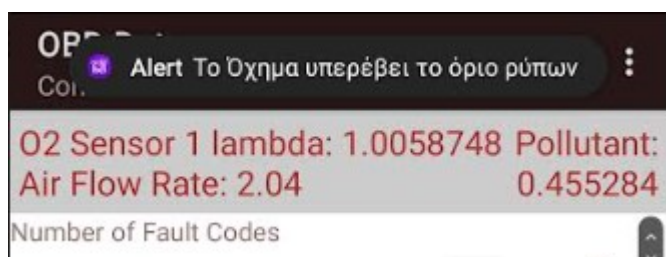
Σχήμα 16b: Στιγμιότυπο Γραφήματος



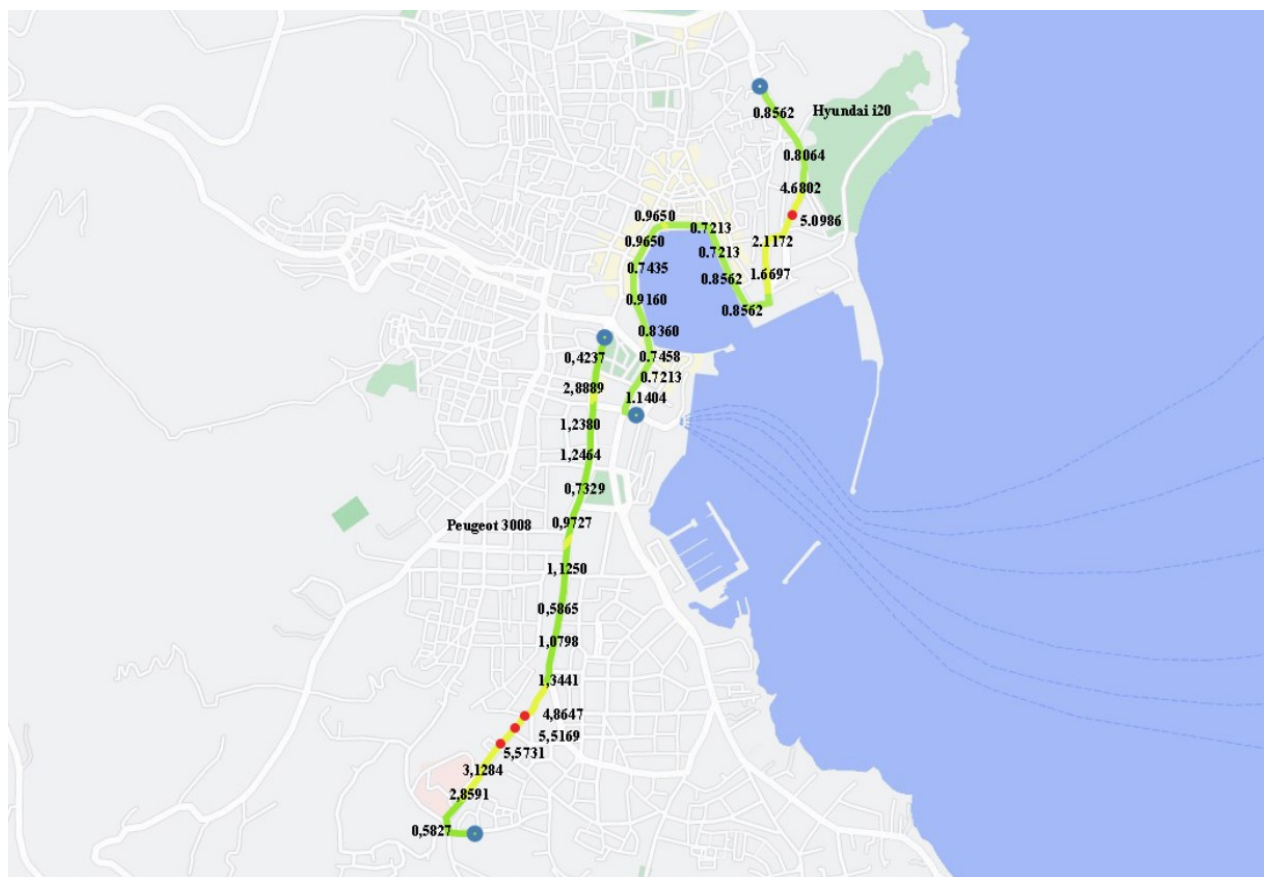
Σχήμα 17: Στιγμιότυπο εφαρμογής κινητού τηλεφώνου

Στο Σχήμα 17, φαίνεται το στιγμιότυπο από την εφαρμογή όπου ο χρήστης θα πρέπει την πρώτη φορά που θα συνδεθεί να εισάγει μόνο το όνομα του οχήματος καθώς και τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιεί το αυτοκίνητο.

Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα να ειδοποιεί η εφαρμογή τον χρήστη στο κινητό του όταν οι εκπομπές CO₂ υπερβαίνουν το επιτρεπόμενο όριο ου τίθεται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία η οποία υπάρχει μόνο για τον στόλο των νεών αυτοκινήτων κατηγοριών M1 και N1 που έχει θεσπίσει από την 1^η Ιανουαρίου του 2020 στην παρούσα φάση καθώς για τα βαρέου τύπου οχήματα η νομοθεσία βρίσκεται υπό συζήτηση. Παράδειγμα της ειδοποίησης που έρχεται στο κινητό φαίνεται στο Σχήμα 19.



Σχήμα 18: Στιγμιότυπο ειδοποίησης υπέρβασης ορίων εκπομπής CO₂



Σχήμα 19: Παράδειγμα προβολής στιγμιότυπων εκπομπής αέριων ρύπων

Με την ευρεία χρήση της εφαρμογής αυτής τόσο από οδηγούς επιβατικών αυτοκινήτων αλλά και από επαγγελματίες οδηγούς οχημάτων βαρέου τύπου θα επιτευχθεί η συλλογή δεδομένων από διαφορετικούς τύπους οχημάτων και από μεγαλύτερο πλήθος σε πραγματικό χρόνο. Από αυτά τα δεδομένα θα είναι εύκολο να δημιουργηθούν χάρτες περιοχών που θα αποτυπώνουν των μέσο όρο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε γραμμάρια από τον τομέα των μεταφορών. Ένας πρότυπος χάρτης όπως αναπαράστασης των δεδομένων απεικονίζεται στο Σχήμα 19. Τέτοιου είδους χάρτες θα δίνουν την δυνατότητα στους κρατικούς μηχανισμούς να παρακολουθούν ευκολότερα τα ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα και να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα καθώς και αξιολογούν την εφαρμογή των Ευρωπαϊκών πρότυπων και πώς αυτά βοηθούν στην μείωση των αέριων ρύπων.

5

Συμπεράσματα

Ο τομέας των μεταφορών έχει τη μεγαλύτερη συμβολή στην ατμοσφαιρική ρύπανση και προκαλεί μέχρι και 5,5 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους παγκοσμίως ετησίως. Η διαχείριση του περιβάλλοντος και η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ειδικά στα αστικά κέντρα αναδεικνύεται σε φλέγον επιστημονικό ζήτημα, στην κατεύθυνση μετάβασης σε μοντέλα βιώσιμης ανάπτυξης και βιώσιμης διαχείρισης του περιβάλλοντος. Στην κατεύθυνση αυτή καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για μέτρηση και παρακολούθηση των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων προκειμένου για τη λήψη μέτρων για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η ωρίμανση καινοτόμων τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η Υπολογιστική Νέφους, η Τεχνητή Νοημοσύνη, η Επιστήμη Δεδομένων, αλλά και η εξέλιξη των τεχνολογιών των αισθητήρων και της τεχνολογίας επικοινωνιών μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για τη δημιουργία καινοτόμων συστημάτων για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Εξ' ορισμού, δεδομένου ότι για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης απαιτείται η μέτρηση των εκπεμπόμενων ρύπων στο δρόμο ή ακόμη και σε κάθε όχημα ξεχωριστά, και η μετάδοση των συλλεγόμενων δεδομένων σε κέντρα διαχείρισης πληροφοριών καθιστούν την τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων καθώς και τις μεθόδους ανίχνευσης πλήθους ως θεμέλιο για την κατασκευή έξυπνων συστημάτων παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται δύο καινοτόμα συστήματα για την μέτρηση και την παρακολούθηση των εκλυόμενων αερίων ρύπων από οχήματα. Τα συστήματα που παρουσιάστηκαν στην παρούσα βασίζονται στην τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων και σε φθηνούς και μικρού μεγέθους μικροεπεξεργαστές. Επιπλέον, κοινό χαρακτηριστικό τους είναι η ενσωμάτωση τεχνολογιών επικοινωνίας για τη μετάδοση των μετρούμενων τιμών. Το ένα από τα προτεινόμενα συστήματα εκτελεί μετρήσεις όταν ένα όχημα που φέρει πομπό τεχνολογίας

RFID περάσει από έναν σταθμό μέτρησης, που διαθέτει δέκτη τεχνολογίας RFID, αποστέλλει τα δεδομένα σε υπολογιστικό νέφος σε μία βάση δεδομένων και ενημερώνει τους οδηγούς αν το όχημά τους εκπέμπει περισσότερους ρύπους από ένα ανώτατο όριο, αλλά και τους επιβάλλει χρηματικά πρόστιμα. Σημειώνεται ότι το πρώτο προτεινόμενο σύστημα μετρά την εκπομπή μόνον δύο αέριων ρύπων.

Το δεύτερο σύστημα φέρεται από κάθε όχημα, πραγματοποιεί μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο και τις αποστέλλει στο υπολογιστικό νέφος μέσω GSM modem, ενώ με χρήση τεχνολογίας RFID συλλέγονται δεδομένα για τη θέση και την κίνηση των οχημάτων. Επιπλέον, κάθε όχημα φέρει ενδεικτική λυχνία η οποία σηματοδοτεί τυχόν παραβίαση των ορίων εκπομπής αερίων ρύπων. Σημειώνεται ότι το δεύτερο προτεινόμενο σύστημα μετρά την εκπομπή περισσότερων από πέντε αέριων ρύπων, αλλά και την ένταση της ηχορύπανσης.

Η σχετική μελέτη των μοντέλων μέτρησης εκπομπής των αερίων ρύπων έγινε, καθώς αυτά ήταν αντιπροσωπευτικά για την χρήση των νέων τεχνολογιών αλλά και για να γίνει κατανοητή η φιλοσοφία λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος. Βασικό πλεονέκτημα και των δύο συστημάτων είναι η παρουσίαση δεδομένων σε πραγματικό καθώς και η ένδειξη στον οδηγό για το αν οι εκπομπές αερίων ρύπων του αυτοκινήτου του κουνούνται εντός των νόμιμων ορίων. Ακόμα, δίνουν την δυνατότητα μέτρησης αερίων ρύπων σε μια συγκεκριμένη περιοχή από πολλά αυτοκίνητα παρουσιάζοντας έτσι όσο το δυνατόν μια πιο ρεαλιστική εικόνα για την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας μιας περιοχής. Στα θετικά αυτών των εφαρμογών συγκαταλέγεται η δυνατότητα τους να μετρούν εκτός από την έκκληση διοξειδίου του άνθρακα και άλλα επιβλαβή αέρια. Τέλος, και τα δυο συστήματα έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή πολιτικών μείωσης των αερίων ρύπων κυρίως σε αστικά περιβάλλοντα.

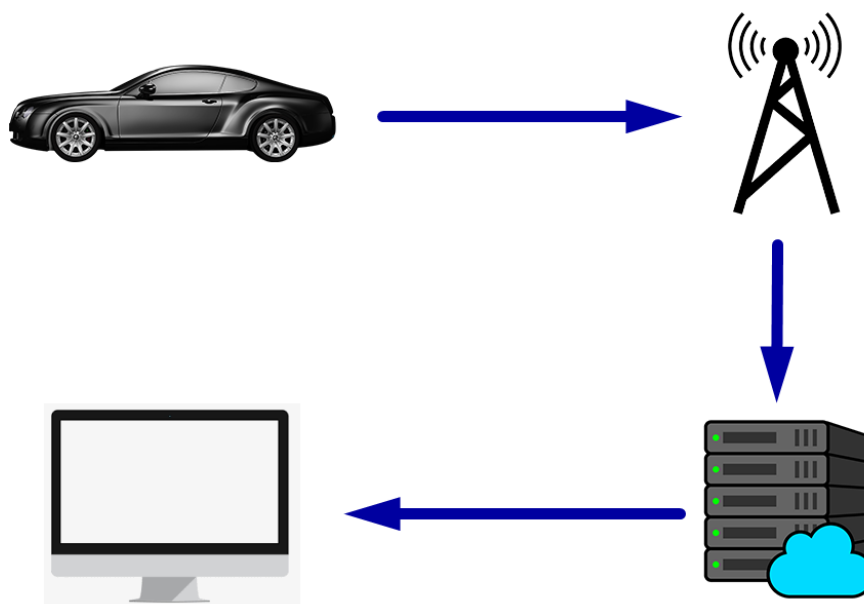
Ωστόσο, οι εφαρμογές αυτές παρουσιάζουν και κάποια ελαττώματα, τα οποία προσπαθήσαμε να αντιμετωπίσουμε στην ανάπτυξη του δικού μας συστήματος. Βασικό μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι η μέτρηση γίνεται από ευαίσθητους αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να επηρεαστούν από την λειτουργία κοντινών σε αυτούς οχημάτων δίνοντας λανθασμένες εκτιμήσεις. Ένα σημαντικό εμπόδιο για την καθολική τους εφαρμογή των συστημάτων αυτών, κάτι το οποίο αποτελεί τον βασικό τους σκοπό, είναι το κόστος εγκατάστασης τους αλλά και οι διαδικασίες εγκατάστασης αισθητήρων που πρέπει να γίνουν τόσο στα οχήματα όσο και εκτός αυτών.

Λαμβάνοντας υπόψη τα δυνατά και αδύναμα σημεία των συστημάτων που εξετάσαμε, σχεδιάστηκε ένα νέο σύστημα μέτρησης των αερίων ρύπων με την εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων και της μεθόδου MCS με αντικειμενικό σκοπό την αξιόπιστη μέτρηση εκπομπής κυρίως διοξειδίου του άνθρακα και την εξασφάλιση κινήτρων στους χρήστες για επίτευξη της ευρείας συμμετοχής τους.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε μια συσκευή OBD η οποία επικοινωνεί με χρήση της τεχνολογίας Bluetooth με κινητό Android στο οποίο έχει εγκατασταθεί η εφαρμογή. Τα στοιχεία συλλέγονται, πραγματοποιείται ο υπολογισμός της εκπομπής διοξειδίου του Άνθρακα σε γραμμάρια και αποστέλλονται σε εξυπηρετητή για την προβολή τους σε πραγματικό χρόνο καθώς και για την ανάλυση τους. Ταυτόχρονα δίνει την δυνατότητα στους οδηγούς των οχημάτων κατηγοριών M1 και N1 να ειδοποιούνται στο κινητό τους τηλέφωνο στην περίπτωση που οι

εκπομπές CO₂ του οχήματός τους υπερβούν τους στόχους που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Το σύστημα αυτό είναι εύκολο στην ανάπτυξη και εφαρμογή του καθώς μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα. Τα οχήματα υποχρεούνται βάση νομοθεσίας να φέρουν υποδοχή για OBD, το κόστος αγοράς του οποίου είναι πολύ μικρό. Ακόμα, είναι ένα σύστημα εύκολα κατανοητό και φιλικό στην χρήση από τον μέσο οδηγό, ιδιώτη ή επαγγελματία, ο οποίος μόνο κατά την εγκατάσταση και πρώτη χρήση της εφαρμογής θα χρειαστεί να εισάγει τον τύπου καυσίμου το οχήματος και κατά την διάρκεια της λειτουργίας του οχήματος η εφαρμογή να είναι ανοιχτή στο προσκήνιο ή το παρασκήνιο. Επιπρόσθετα, όπως έχει αναπτυχθεί το σύστημα αυτό με την παράλληλη τεχνολογική αναβάθμιση ορισμένων μοντέλων αυτοκινήτων, στα οποία το σύστημα πολυμέσων (multimedia) του αυτοκινήτου με την κατάλληλη παραμετροποίηση και τροποποίηση της καλωδίωσης χωρίς ιδιαίτερο κόστος μπορεί να αποστέλλει απευθείας τα δεδομένα στον εξυπηρετητή όπως στο Σχήμα 20. Τα δυο αυτά χαρακτηριστικά κάνουν πιο εύκολη την χρήση της εφαρμογής από το ευρύ κοινό, ώστε να μπορεί εύκολα και με μικρό κόστος να δημιουργηθεί σύστημα παρακολούθησης αερίων ρύπων από κρατικούς μηχανισμούς σε πραγματικό χρόνο για τον σχεδιασμό πολιτικών περιορισμού των εκπομπών αερίων ρύπων στοχευμένες στις ειδικές ανάγκες της κάθε περιοχής καθώς και σε συγκεκριμένες ώρες αυξημένης κυκλοφορίας. Τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται εξασφαλίζουν την ανωνυμία των χρηστών παρέχοντας ένα ακόμα κίνητρο στους χρήστες του συστήματος να το χρησιμοποιούν χωρίς να αισθάνονται ότι κινδυνεύουν ευαίσθητες προσωπικές τους πληροφορίες αλλά και ταυτόχρονα προσφέρουν στο κοινωνικό σύνολο.



Σχήμα 20: Διάγραμμα Οντοτήτων – Συσχετίσεων του Πληροφοριακού Συστήματος αυτοκινήτων που αποστέλλουν δεδομένων απευθείας στον εξυπηρετητή

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ Rushikesh et al.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ	ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ
	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ, ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ	ΜΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΕ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
	ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΤΗΡΗΣΗΣ ΟΡΙΩΝ	
ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ Patil	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ, ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ, ΜΕΘΑΝΙΟΥ, ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ, ΑΛΚΟΟΛΩΝ, ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ & ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΟΧΗΜΑ
	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ	ΜΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΣΗΜΕΙΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ
	ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΜΕΣΩ ΦΩΤΟΣ LED ΤΗΡΗΣΗΣ ΟΡΙΩΝ	
ΠΡΩΤΥΠΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	ΧΡΗΣΗ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	
	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ	
	ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	ΠΙΘΑΝΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΔΙΠΛΟ ΚΑΥΣΙΜΟ
	ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ	

	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ
	ΜΙΚΡΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΕ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
	ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΟΔΗΓΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Πίνακας 3: Σύγκριση Συστημάτων

Βιβλιογραφία

- [1] R. Afroz, M. N. Hassan, and N. A. Ibrahim, "Review of air pollution and health impacts in Malaysia," *Environmental research*, vol. 92, no. 2, pp. 71-77, 2003.
- [2] M. Attard, "Mobility justice in urban transport-the case of Malta," *Transportation research procedia*, vol. 45, pp. 352-359, 2020.
- [3] G. A. Bishop and D. H. Stedman, "Measuring the emissions of passing cars," *Accounts of chemical research*, vol. 29, no. 10, pp. 489-495, 1996.
- [4] F. M. Bublitz *et al.*, "Disruptive technologies for environment and health research: an overview of artificial intelligence, blockchain, and internet of things," *International journal of environmental research and public health*, vol. 16, no. 20, p. 3847, 2019.
- [5] C. Choongik, K. Chunil, and K. Chulmin, "Towards Sustainable Environmental Policy and Management in the Fourth Industrial Revolution," *The Journal of Asian Finance, Economics and Business (JAFEB)*, vol. 6, pp. 185-192, 2019.
- [6] A. Čolaković and M. Hadžialić, "Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues," *Computer networks*, vol. 144, pp. 17-39, 2018.
- [7] V. Franco, M. Kousoulidou, M. Muntean, L. Ntziachristos, S. Hausberger, and P. Dilara, "Road vehicle emission factors development: A review," *Atmospheric Environment*, vol. 70, pp. 84-97, 2013.
- [8] P. S. Kanaroglou *et al.*, "Establishing an air pollution monitoring network for intra-urban population exposure assessment: A location-allocation approach," *Atmospheric Environment*, vol. 39, no. 13, pp. 2399-2409, 2005.
- [9] N. Khanna, "Measuring environmental quality: an index of pollution," *Ecological Economics*, vol. 35, no. 2, pp. 191-202, 2000.
- [10] Z. Khaslan, N. H. M. Yunus, M. S. M. Nadzir, J. Sampe, N. M. Salih, and K. M. Alhasa, "IoT-Based Indoor Air Quality Monitoring System Using SAMD21 ARM Cortex Processor," in *Advanced Materials and Engineering Technologies*: Springer, 2022, pp. 245-253.
- [11] A. Koval and E. Irigoyen, "Mobile wireless system for outdoor air quality monitoring," in *International Joint Conference SOCO'16-CISIS'16-ICEUTE'16*, 2016: Springer, pp. 345-354.

- [12] E. Kristiani, C.-T. Yang, C.-Y. Huang, P.-C. Ko, and H. Fathoni, "On construction of sensors, edge, and cloud (ISEC) framework for smart system integration and applications," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 309-319, 2020.
- [13] A. Kumar, G. Madaan, P. Sharma, and A. Kumar, "Application of disruptive technologies on environmental health: An overview of artificial intelligence, blockchain and internet of things," *Asia Pacific Journal of Health Management*, vol. 16, no. 4, pp. 251-259, 2021.
- [14] J. Lelieveld, K. Klingmüller, A. Pozzer, R. Burnett, A. Haines, and V. Ramanathan, "Effects of fossil fuel and total anthropogenic emission removal on public health and climate," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, no. 15, pp. 7192-7197, 2019.
- [15] S. Madakam, V. Lake, V. Lake, and V. Lake, "Internet of Things (IoT): A literature review," *Journal of Computer and Communications*, vol. 3, no. 05, p. 164, 2015.
- [16] A. Mukhopadhyay and V. Pandit, "Control of industrial air pollution through sustainable development," *Environment, development and sustainability*, vol. 16, no. 1, pp. 35-48, 2014.
- [17] L. M. Oliveira and J. J. Rodrigues, "Wireless Sensor Networks: A Survey on Environmental Monitoring," *J. Commun.*, vol. 6, no. 2, pp. 143-151, 2011.
- [18] P. Patil, "Smart IoT based system for vehicle noise and pollution monitoring," in *2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI)*, 2017: IEEE, pp. 322-326.
- [19] J. J. Rodrigues *et al.*, "Enabling technologies for the internet of health things," *Ieee Access*, vol. 6, pp. 13129-13141, 2018.
- [20] R. Rushikesh and C. M. R. Sivappagari, "Development of IoT based vehicular pollution monitoring system," in *2015 international conference on green computing and internet of things (ICGCIoT)*, 2015: IEEE, pp. 779-783.
- [21] M. Santillana *et al.*, "Cloud-based electronic health records for real-time, region-specific influenza surveillance," *Sci Rep*, vol. 6, no. 1, pp. 1-8, 2016.
- [22] T. M. Selden and D. Song, "Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions?," *Journal of Environmental Economics and management*, vol. 27, no. 2, pp. 147-162, 1994.
- [23] S. Sohrabi, J. Zietsman, and H. Khreis, "Burden of disease assessment of ambient air pollution and premature mortality in urban areas: The role of socioeconomic status and transportation," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 4, p. 1166, 2020.
- [24] C. Vinaya, V. K. Thanikanti, and S. Ramasamy, "Environment quality monitoring using ARM processor," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 263, no. 5: IOP Publishing, p. 052020.
- [25] Y. Wu *et al.*, "On-road vehicle emissions and their control in China: A review and outlook," *Science of the Total Environment*, vol. 574, pp. 332-349, 2017.
- [26] X. Xie *et al.*, "A review of urban air pollution monitoring and exposure assessment methods," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 6, no. 12, p. 389, 2017.
- [27] C.-T. Yang, C.-J. Chen, Y.-T. Tsan, P.-Y. Liu, Y.-W. Chan, and W.-C. Chan, "An implementation of real-time air quality and influenza-like illness data storage and processing platform," *Computers in Human Behavior*, vol. 100, pp. 266-274, 2019.

- [28] G. Fontaras, N.-G. Zacharof, and B. Ciuffo, "Fuel consumption and CO₂ emissions from passenger cars in Europe—Laboratory versus real-world emissions," *Progress in energy and combustion Science*, vol. 60, pp. 97-131, 2017.
- [29] D. Rimpas, A. Papadakis, and M. Samarakou, "OBD-II sensor diagnostics for monitoring vehicle operation and consumption," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 55-63, 2020.
- [30] J. Zaldivar, C. T. Calafate, J. C. Cano, and P. Manzoni, "Providing accident detection in vehicular networks through OBD-II devices and Android-based smartphones," in *2011 IEEE 36th Conference on Local Computer Networks*, 2011: IEEE, pp. 813-819.
- [31] D.-N. Pagonis, V. Benaki, G. Kaltsas, and A. Pagonis, "Design of a Mass Air Flow Sensor Employing Additive Manufacturing and Standard Airfoil Geometry," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 24, p. 11579, 2021.
- [32] P. N. Botsaris and A. Polyhroniadis, "Microprocessor controlled exhaust gas lambda sensor," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 24, no. 3, pp. 121-127, 2000.
- [33] World Health Organization, "Ambient (outdoor) air pollution.," *World Health Organization*, 2022. [Online]. Available [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) . [Accessed: Dec. 24, 2022].
- [34] European Commission, "Automotive Industry", *European Commission*, 2022. [Online]. Available https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/automotive-industry_el. [Accessed: Dec. 24, 2022].
- [35] European Commission, "CO₂ emission performance standards for cars and vans", *European Commission*, 2022. [Online]. Available https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en . [Accessed: Dec. 24, 2022].
- [36] Destatis, "Road transport: EU-wide carbon dioxide emissions have increased by 24% since 1990s", *Destatis*, 2022. [Online]. Available <https://www.destatis.de/Europa/EN/Topic/Environment-energy/CarbonDioxideRoadTransport.html> . [Accessed: Dec. 24, 2022].
- [37] Engineering ToolBox, "Combustion of Fuels - Carbon Dioxide Emission", *Engineering ToolBox*. [Online]. Available https://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d_1085.html . [Accessed: Dec. 24, 2022].
- [38] E. Arsenio, K. Martens, and F. Di Ciommo, "Sustainable urban mobility plans: Bridging climate change and equity targets?," *Research in Transportation Economics*, vol. 55, pp. 30-39, 2016.
- [39] H. Ma, D. Zhao and P. Yuan, "Opportunities in mobile crowd sensing," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 8, pp. 29-35, 2014.
- [40] K. Han, E. A. Graham, D. Vassallo and D. Estrin, "Enhancing Motivation in a Mobile Participatory Sensing Project through Gaming," *2011 IEEE Third International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust and 2011 IEEE Third International Conference on Social Computing*, Boston, MA, USA, pp. 1443-1448, 2011.
- [41] T. Dillon, C. Wu and E. Chang, "Cloud Computing: Issues and Challenges," *2010 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, Perth, WA, Australia, pp. 27-33, 2010.
- [42] A. B. Simmons and S. G. Chappell, "Artificial intelligence-definition and practice," in *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 14-42, April 1988.

- [43] B. Guo, Z. Yu, X. Zhou a D. Zhang, "From participatory sensing to Mobile Crowd Sensing," *2014 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PERCOM WORKSHOPS)*, Budapest, Hungary, pp. 593-598,2014.
- [44] European Commission, "2030 Climate Target Plan", *European Commission*,2023. [Online]. Available https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en. [Accessed: May 26, 2023].
- [45] European Parliament, "Air and noise pollution", *European Parliament*,2023. [Online]. Available <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/75>. [Accessed: May 26, 2023].
- [46] European Commission, "Commission proposes new Euro 7 standards to reduce pollutant emissions from vehicles and improve air quality", *European Commission*,2023. [Online]. Available https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6495. [Accessed: May 26, 2023].
- [47] European Council, "European Green Deal", *Council of the European Union*,2023. [Online]. Available <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/>. [Accessed: May 26, 2023].
- [48] European Council, "5 facts about the EU's goal of climate neutrality", *Council of the European Union*,2023. [Online]. Available <https://www.consilium.europa.eu/en/5-facts-eu-climate-neutrality/>. [Accessed: May 26, 2023].
- [49] European Council, "UN climate change conference (COP27), climate implementation summit, Sharm El-Sheikh, Egypt, 7-8 November 2022", *Council of the European Union*,2023. [Online]. Available <https://www.consilium.europa.eu/en/5-facts-eu-climate-neutrality/>. [Accessed: May 26, 2023].
- [50] European Environment Agency, "Change in pollutant releases to air in the EU-27 countries, 2010-2020", *European Environment Agency*,2023. [Online]. Available <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/change-of-pollutant-releases-into-2/>. [Accessed: May 26, 2023].
- [51] European Environment Agency, "EU GHG emissions in the transport sector, 1990–2017", *European Environment Agency*,2023. [Online]. Available <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/eu-ghg-emissions-in-the>. [Accessed: May 26, 2023].
- [52] European Council, "Paris Agreement on climate change", *Council of the European Union*,2023. [Online]. Available <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/climate-change/paris-agreement/>. [Accessed: May 26, 2023].
- [53] European Council, "Infographic - Fit for 55: how the EU will turn climate goals into law", *Council of the European Union*,2023. [Online]. Available <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-how-the-eu-will-turn-climate-goals-into-law/>. [Accessed: May 26, 2023].
- [54] European Council, "Infographic - Paris Agreement: the EU's road to climate neutrality", *Council of the European Union*,2023. [Online]. Available <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/paris-agreement-eu/>. [Accessed: May 26, 2023].
- [55] European Council, "Climate change: what the EU is doing", *Council of the European Union*,2023. [Online]. Available <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/climate-change/>. [Accessed: May 26, 2023].