

---

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΥΠΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ**  
**ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ**  
**ΕΔΑΦΟΥΣ**

**ΕΜΜΑΝΟΥΗΛΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**  
Επιβλέπων: Δρ. Γεώργιος Κ.Δ. Σαχαρίδης

---



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

---

## Τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής

- Δρ. Γεώργιος Κ.Δ. Σαχαρίδης  
Επίκουρος Καθηγητής, PhD École Centrale Paris, Γαλλία  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
  
- Δρ. Δημήτριος Παντελής  
Αναπληρωτής Καθηγητής, PhD University of Michigan, ΗΠΑ  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
  
- Δρ. Παναγιώτης Τσιακάρας  
Καθηγητής, Διδακτορικό, PhD Πανεπιστήμιο Πατρών, Ελλάδα  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

---

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ πολύ την οικογένειά μου που με στήριξε στη προσπάθειά μου, τους φίλους μου που με στηρίζουν όλα αυτά τα χρόνια. Ευχαριστώ, τον καθηγητή μου Γιώργο Σαχαρίδη που από την πρώτη στιγμή που ήρθε στη σχολή με ενέταξε στην ομάδα εργασίας του. Τέλος, αφιερώνω τη μελέτη αυτή με την οποία ολοκληρώνω τις σπουδές μου, στον παππού μου που δε μπορεί να είναι σήμερα μαζί μου να το χαρεί.



## Περιεχόμενα

<b>Περιεχόμενα</b> .....	<b>4</b>
<b>Συνοτομογραφίες</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Εισαγωγή</b> .....	<b>7</b>
1.1 Γενικά .....	7
1.2 Μεθοδολογία .....	7
<b>2 Ανάλυση δικτύων των μέσων μαζικής μεταφοράς</b> .....	<b>9</b>
2.2 Ελλάδα .....	9
2.2.1 Οδικές δημόσιες μεταφορές.....	9
2.2.2 Σιδηροδρομικές Μεταφορές (Τρένο, Μετρό, Τραμ, Τρόλεϊ) .....	13
2.3 Τσεχία.....	24
2.3.1 Οδικές δημόσιες μεταφορές.....	24
2.3.2 Σιδηροδρομικές Μεταφορές (Τρένο, Μετρό, Τραμ, Τρόλεϊ) .....	25
2.4 Ολλανδία .....	28
2.4.1 Οδικές δημόσιες μεταφορές.....	28
2.4.2 Σιδηροδρομικές Μεταφορές (Τρένο, Μετρό, Τραμ, Τρόλεϊ) .....	30
2.5 Γενικές κατηγορίες οχημάτων .....	33
<b>3 Επιλογή του βασικού μοντέλου / μεθοδολογία</b> .....	<b>35</b>
3.1 Εισαγωγή.....	35
3.2 Υφιστάμενη μεθοδολογία .....	35
3.2.1 Οδικές δημόσιες μεταφορές.....	35
3.2.2 Σιδηροδρομικές μεταφορές.....	38
3.2.3 Παράγοντες στην υπάρχουσα μεθοδολογία .....	42
3.3 Εισαγωγή νέων παραγόντων.....	44
3.3.1 Εισαγωγή.....	44
3.3.2 Νέοι παράγοντες.....	44
3.4 Κατηγοριοποίηση των παραγόντων .....	46
<b>4 Ανάπτυξη διορθωτικών συντελεστών</b> .....	<b>48</b>
4.1 Εισαγωγή.....	48
4.1.1 Βασικές παράμετροι - Χαρακτηριστικά του οχήματος .....	51
4.1.2 Βασικοί παράμετροι-Ταχύτητα οχήματος .....	52
4.1.3 Η κλίση του οδοστρώματος .....	53
4.1.4 Ανασκόπηση της έρευνας σχετικά με την παράμετρο κλίσης .....	54
<b>5 Ανάπτυξη εξισώσεων EES</b> .....	<b>62</b>
5.1 Κλίση/Gradient.....	62
5.2 HDV( $EESf(HDV, G)FC$ ) .....	63
<b>Average Vehicle (<math>EESf(Ave, G)FC</math>)</b> .....	<b>67</b>
5.3 Συμπεράσματα.....	68
<b>6 Μοντέλα υπολογισμού βελτιωμένων εκπομπών</b> .....	<b>69</b>
6.1 Εισαγωγή.....	69



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

---

6.2 Βελτιωμένα μοντέλα COPERT .....	70
6.3 Αξιολόγηση νέων μοντέλων .....	71
6.3 Αξιολόγηση νέων μοντέλων που περιλαμβάνουν παράμετρο κλίσης .....	72
<b>7 Συμπεράσματα .....</b>	<b>74</b>
<b>8 Βιβλιογραφία .....</b>	<b>75</b>
<b>9 Παραρτήματα .....</b>	<b>77</b>



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

## Συνομογραφίες

CH <sub>4</sub>	Methane
CO	Carbon Monoxide
CO <sub>2</sub>	Carbon dioxide
Co-VRP	Co-modal vehicle routing problem
CRF	Common Reporting
ETC/ACM	European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation
EU	European Union
FC	Fuel Consumption
GHG	Green House Gas
HC	Hydrocarbon
HDV	Heavy Duty Vehicle
LCV	Light commercial vehicles
LRTAP	Convention on Long-Range Trans boundary Air Pollution
NIR	National Inventory Report
NO <sub>x</sub>	Nitrous Oxides
N <sub>2</sub> O	Nitrous Oxide
PAHs	Polycyclic Aromatic Hydrocarbon
PCB	Polychlorinated Biphenyl
PM	Particulate Matter
POPs	Persistent Organic Pollutants
PTO	Public Transport Operator
TCU	Traction Control Unit
VOC	Volatile Organic Compounds



# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά

Η ακόλουθη εργασία περιγράφει την ανάπτυξη ενός μοντέλου υπολογισμού των εκπομπών ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου για συγκεκριμένες περιπτώσεις. Έπειτα από λεπτομερή βιβλιογραφική ανασκόπηση για τα υπάρχοντα μοντέλα υπολογισμού εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG), υπάρχουν ορισμένα κατάλληλα μοντέλα και μεθοδολογίες που υπολογίζουν τις εκπομπές ρύπων από τις μεταφορές οχημάτων. Ωστόσο, αυτές οι μεθοδολογίες επικεντρώνονται συνήθως σε μία κατηγορία οχημάτων και ακολουθούν διαφορετικές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό των εκπομπών.

Σκοπός του έργου αυτού είναι η επιλογή της καταλληλότερης μεθοδολογίας με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες, αλλά και η βελτίωσή της με την εισαγωγή νέων στατικών και δυναμικών παραγόντων (με τη μορφή διορθωτικών συντελεστών).

## 1.2 Μεθοδολογία

Προκειμένου να αναπτυχθεί το νέο μοντέλο υπολογισμού εκπομπών θα χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη μεθοδολογία:

- Πρώτον, θα αναλυθούν τα δίκτυα δημόσιων συγκοινωνιών CGN και θα προσδιοριστούν οι τρόποι μεταφοράς. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, θα παρουσιαστούν διάφορα στοιχεία σχετικά με το στόλο (π.χ. κατανάλωση) και θα ταξινομηθούν. Αυτό είναι απαραίτητο βήμα, το οποίο θα θέσει τις βάσεις όπου θα οικοδομηθεί η παρούσα μελέτη και θα αποτυπώσει πλήρως το εύρος του προβλήματος.
- Στη συνέχεια, ένα μοντέλο ή ένας συνδυασμός μοντέλων θα επιλεγεί ως βάση για την ανάπτυξη του νέου μας μοντέλου. Η επιλογή πρέπει αφενός να σέβεται τη σχέση μεταξύ της ανάγκης για λεπτομερείς και ακριβείς υπολογισμούς εκπομπών, και αφετέρου τη χρήση ελάχιστων δεδομένων εισροών.
- Στη συνέχεια, θα προσδιοριστούν όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τους υπολογισμούς εκπομπών σχετικά με τη μεθοδολογία βάσης που επιλέξατε προηγουμένως. Επιπλέον, θα αναλυθεί ο παράγοντας της κλίσης του οδοστρώματος και θα συμπεριληφθεί στην ανάπτυξη του νέου μοντέλου. Επιπλέον, θα ληφθεί υπόψη ο αριθμός των "στάσεων και μετακινήσεων" ανά ταξίδι και ο χρόνος αδράνειας (π.χ. χρόνος διακοπής) ενός οχήματος, καθώς είναι δύο παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή εκπομπών.
- Τα πιο ακριβή μοντέλα που μελετούν τις μεταβολές των εκπομπών ρύπων και της κατανάλωσης σε σχέση με τη κλίση θα επιλεγούν από τη βιβλιογραφία και θα εμπλουτιστούν με πρόσθετους διορθωτικούς παράγοντες, ώστε αναπτυχθούν νέες



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

---

εξιιώσεις, όπου θα ανταποκρίνονται ακριβέστερα σε συγκεκριμένους τύπους οχημάτων που επικεντρώνεται το ενδιαφέρον της μελέτης.





## 2 Ανάλυση δικτύων των μέσων μαζικής μεταφοράς

### 2.1.1.1 Ιστορικό

Στο κεφάλαιο 2 αναλύονται τα δημόσια δίκτυα μεταφοράς και από τις 3 χώρες που συμμετέχουν στην έρευνα, ενώ αναφέρονται και οι τύποι των ρύπων που εκπέμπονται από τις διάφορες πηγές. Σε αυτό το βήμα συλλέγονται μία σειρά από δεδομένα των στόλων (π.χ. κατανάλωση, τεχνολογίες μηχανών κ.λ.π)όπου και κατηγοριοποιούνται. Στα παρακάτω πεδία παρουσιάζονται τα δεδομένα σχετικά με το δίκτυο της Ελλάδας, Ολλανδίας και Τσεχίας. Μια ενδελεχής ανάλυση έγινε ώστε να αποκλειστούν λανθασμένα δεδομένα και ομογενοποιηθούν τα δεδομένα και οι πληροφορίες. Τα πλήρη στοιχεία και δεδομένα, συμπεριλαμβανομένου των τύπων των οχημάτων, τους παράγοντες εκπομπών και τους διορθωτικούς συντελεστές αναφέρονται λεπτομερώς στο κεφάλαιο 3, στη τελική τους μορφή όπως ακριβώς ενσωματώθηκαν στη βάση δεδομένων του μοντέλου που αναπτύχθηκε. Ειδικά για την κατανάλωση καυσίμου τα στοιχεία αναφέρονται στις ονομαστικές τιμές, ακριβώς όπως περιγράφονται από τους κατασκευαστές και όχι στις πραγματικές καταναλώσεις. Όπου υπήρχαν πραγματικά δεδομένα, παρουσιάζονται ειδικά στα παρακάτω κεφάλαια αυτής της μελέτης.

Να σημειωθεί ότι, οι διαθέσιμες πηγές δεν περιείχαν πληροφορίες για όλες τις χώρες και όλους του τύπους των οχημάτων. Για το λόγο αυτό συλλέχθηκαν, αναλύθηκαν και μετά από επεξεργασία προστέθηκαν μόνο σχετικές πληροφορίες στη βάση δεδομένων του μοντέλου που αναπτύξαμε.

## 2.2 Ελλάδα

### 2.2.1 Οδικές δημόσιες μεταφορές

#### 2.2.1.1 Πηγές

Για την Ελλάδα χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες τρεις κύριες πηγές :

1. *European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC/ACM)*

Το ETC/ACM είναι μία κοινοπραξία 14 ευρωπαϊκών οργανισμών συμπεριλαμβανομένου της EMISIASA που συμμετέχει στο ερευνητικό έργο GYM (LIFE Green Your Move). Η υποστήριξη, η προετοιμασία και η απογραφή των ρύπων των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι ανάμεσα στις υποχρεώσεις του ETC/ACM. Προκειμένου να συγκεντρωθούν οι κατάλληλες πληροφορίες για τη μελέτη αυτή, είναι σημαντικό να υπάρχει ένας πλήρης κατάλογος των οχημάτων οδικών μεταφορών που λειτουργούν στην περιοχή της Ε.Ε. Το κέντρο ETC/ACM σε συνεργασία με την EMISIASA ενημερώνει διαρκώς τον κατάλογο αυτό, προκειμένου



να συμπεριλάβει τις τελευταίες εξελίξεις στις δραστηριότητες των μεταφορών, έτσι ώστε να υπολογίσει τις σχετικές εκπομπές και να τις αναφέρει στην Ε.Ε.

## 2. *Transport data Collection supporting the quantitative analysis of measures relating to transport and climate change (TRACCS)*

Ο αντικειμενικός σκοπός του **TRACCS project** είναι να παρέχει στη DGCLIMA μια γενική ενημέρωση των ιστορικών δεδομένων σχετικά με τη δραστηριότητα των μεταφορών και του πληθυσμού που είναι αναγκαία στα διάφορα εργαλεία μοντελοποίησης που χρησιμοποιεί η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για σκοπούς αξιολόγησης της πολιτικής που ακολουθείται. Προσπαιτούμενο αποτελεί η συλλογή στοιχείων για κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε. των 27, καθώς και για τη Νορβηγία, την Ελβετία και τις υποψήφιες χώρες της Ε.Ε. (Κροατία, ΠΓΔΜ, Ισλανδία και Τουρκία). Η βάση δεδομένων που δημιουργείται περιέχει πληροφορίες σχετικά με τον πληθυσμό και την δραστηριότητα των οχημάτων που κατατάσσονται σε κατηγορίες βάση μεγέθους και τεχνολογία κινητήρων. Οι πληροφορίες για τον πληθυσμό και τη δραστηριότητα των οχημάτων χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την παραγωγή ενός μέσου τύπου οχήματος για τις 3 χώρες που μελετώνται, πιο συγκεκριμένα την Ελλάδα, την Ολλανδία και την Τσεχία.

## 3. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2013*

Ο οδηγός EMEP/EEA για τις εκπομπές αέριων ρύπων - 2013 (πρώην EMEPCORINAIR) παρέχει καθοδήγηση σχετικά με την εκτίμηση των εκπομπών τόσο από ανθρωπογενείς όσο και από φυσικές πηγές εκπομπών. Το κεφάλαιο 1.A.3.b.i-iv περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις εκπομπές καυσαερίων από τις οδικές μεταφορές. Η μεθοδολογία αυτή αφορά τον ευρωπαϊκό στόλο οχημάτων και περιλαμβάνει μεθοδολογικά στοιχεία που βασίζονται στα τεχνολογικά πλεονεκτήματα όλων των οχημάτων που υπάρχουν στον ευρωπαϊκό στόλο. Ωστόσο, προκειμένου να παρασχεθεί μια συνεπής μεθοδολογία, συμπεριλαμβάνονται και οι παλαιότεροι τύποι οχημάτων στην κατανομή του στόλου.

### 2.2.1.2 Δεδομένα

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει έναν εκτεταμένο κατάλογο οχημάτων που υπάρχουν στον ελληνικό στόλο το 2015. Δεν κατέστη δυνατόν να παρουσιαστούν λεπτομερείς πληροφορίες, δεδομένου ότι κανένας μεταφορέας δεν παρείχε δεδομένα σχετικά με τους τύπους οχημάτων · ωστόσο, αυτός ο κατάλογος (οδηγός εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων του EMEP / EEA) περιέχει όλους τους τύπους οχημάτων. Υπάρχουν 3 κύρια χαρακτηριστικά που περιγράφουν κάθε όχημα, τον τύπο οχήματος (τομέας), το μέγεθος του οχήματος και τον τύπο καυσίμου που χρησιμοποιείται (υποτομέας) και το πρότυπο κινητήρα (τεχνολογία) euro.



Τομέας	Υποτομέας	Τεχνολογία
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	Συμβατικά
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro III - 2000 Standards
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro IV - 2005 Standards
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro V - 2008 Standards
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro VI
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	Συμβατικά
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro III - 2000 Standards
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro V - 2008 Standards
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro VI
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά) $> 18$ t	Συμβατικά
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά) $> 18$ t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά) $> 18$ t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά) $> 18$ t	HD Euro III - 2000 Standards
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά) $> 18$ t	HD Euro IV - 2005 Standards
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά) $> 18$ t	HD Euro V - 2008 Standards
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά) $> 18$ t	HD Euro VI
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα (κανονικά) $\leq 18$ t	Συμβατικά
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα (κανονικά) $\leq 18$ t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

Τομέας	Υποτομέας	Τεχνολογία
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα(κανονικά)<=18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα(κανονικά)<=18 t	HD Euro III - 2000 Standards
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα(κανονικά)<=18 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα(κανονικά)<=18 t	HD Euro V - 2008 Standards
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα(κανονικά)<=18 t	HD Euro VI
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα (αρθρωτά)>18 t	Συμβατικά
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα (αρθρωτά)>18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα (αρθρωτά)>18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα (αρθρωτά)>18 t	HD Euro III - 2000 Standards
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα (αρθρωτά)>18 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα (αρθρωτά)>18 t	HD Euro V - 2008 Standards
Πούλμαν	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα (αρθρωτά)>18 t	HD Euro VI
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία με CNG	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία με CNG	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία με CNG	HD Euro III - 2000 Standards
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία με CNG	EEV
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία με Biodiesel	Συμβατικά
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία με Biodiesel	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία με Biodiesel	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία με Biodiesel	HD Euro III - 2000 Standards
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία με Biodiesel	HD Euro IV - 2005 Standards
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία με Biodiesel	HD Euro V - 2008 Standards
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία με Biodiesel	HD Euro VI

Table2-1: Κατάλογος λεωφορείων και πούλμαν στην Ελλάδα

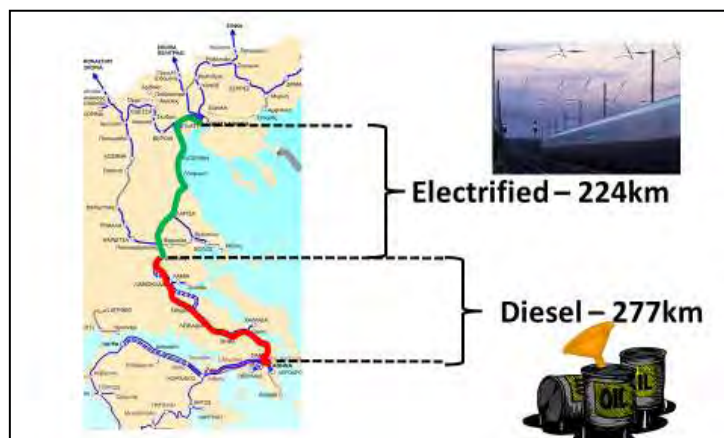


## 2.2.2 Σιδηροδρομικές Μεταφορές (Τρένο, Μετρό, Τραμ, Τρόλεϊ)

### 2.2.2.1 Πηγές

Η ΤΡΑΙΝΟΣΕ διαθέτει μια βάση δεδομένων που περιλαμβάνει δεδομένα που απαιτούνται για την ανάπτυξη της πλατφόρμας GYM σχετικά με το ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο. Από το 2010, η ΤΡΑΙΝΟΣΕ εφαρμόζει ένα σύστημα μέτρησης της κατανάλωσης ενέργειας σε πετρέλαιο και ηλεκτρικό ρεύμα. Για τους σκοπούς του έργου GYM χρειάζονται τρεις τύποι δεδομένων.

Το πρώτο σύνολο δεδομένων περιέχει δεδομένα σχετικά με τις διαδρομές. Στην περίπτωση αυτή μια διαδρομή αποτελείται από μια σιδηροδρομική διαδρομή μεταξύ δύο σταθμών στους οποίους αλλάζει ο σιδηροδρομικός κινητήρας. Ο βασικός λόγος της αλλαγής κινητήρα στο ίδιο ταξίδι έχει να κάνει με την υποδομή (πετρέλαιο - ηλεκτρική) ή τις απαιτήσεις ισχύος (δύο μηχανές αντί για μία). Για τα στοιχεία αυτά η ΤΡΑΙΝΟΣΕ έχει καταρτίσει πίνακα που παρουσιάζει όλες τις διαδρομές επιβατών στην Ελληνική περιφέρεια ανά ημέρα. Αυτός ο πίνακας δείχνει τον ακριβή κωδικό διαδρομής, τους χρόνους αναχώρησης και άφιξης σε κάθε σταθμό. Για κάθε διαδρομή παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τον ακριβή τύπο του κινητήρα και των επιβατικών βαγονιών. Τέλος, υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των επιβατών ανά διαδρομή και το μεικτό βάρος κάθε αμαξοστοιχίας.



Εικόνα1:Παράδειγμααλλαγήςκινητήραστοσταθμότου Δομοκού

Το δεύτερο σύνολο δεδομένων περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά του τροχαίου υλικού και τα χαρακτηριστικά των κινητήρων (τύπος, βάρος, υποδόναμη κ.λπ.).

Το τρίτο σύνολο δεδομένων περιέχει μετρήσεις σχετικά με καταναλώσεις ενέργειας. Σε αυτό το σύνολο δεδομένων υπάρχει διαφορετική μεθοδολογία για ηλεκτρικά και διαφορετική για πετρελαιοκίνητα τρένα. Η μεθοδολογία στα πετρελαιοκίνητα ακολουθεί την οδηγία EN16258. Σύμφωνα με το EN16258, η κατανάλωση καυσίμου από όλο το στόλο ενός



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

ακριβούς τύπου αμαξοστοιχίας μετράται και διαιρείται σε km. Η ΤΡΑΙΝΟΣΕ διατηρεί ακριβή δεδομένα δρομολογίου / ημέρας / μήνα / έτους για κάθε κινητήρα.

Στις μηχανές ηλεκτρικής ενέργειας η ακριβέστερη μέθοδος για τον υπολογισμό της κατανάλωσης σε αμαξοστοιχίες είναι η Μονάδα Ελέγχου Πρόσφυσης (Traction Control Unit: TCU). Αυτή η μονάδα συνδέεται με τον κύριο κινητήρα και το σώμα της αμαξοστοιχίας με τη βοήθεια αισθητήρων. Οι αισθητήρες εγκαθίστανται σε κάθε τμήμα του σώματος αμαξοστοιχίας για τη μέτρηση της ταχύτητας, της απόστασης, της κατεύθυνσης, της κατανάλωσης ενέργειας κλπ. Η κατανάλωση ενέργειας μίας αμαξοστοιχίας είναι το αποτέλεσμα του υπολογισμού μεταξύ δύο βασικών αισθητήρων. Ο πρώτος είναι ένας μετασχηματιστής τάσης και ο δεύτερος είναι ένας μετατροπέας ρεύματος. Αυτοί οι αισθητήρες βρίσκονται στην οροφή της αμαξοστοιχίας (σε παντογράφο). Η μονάδα TCU διατηρεί δεδομένα για περισσότερο από ένα χρόνο και διαθέτει πληροφορίες μέτρησης υψηλής συχνότητας με περίπου τρεις μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο. Διαιρώντας την ετήσια κατανάλωση με τα ετήσια διανυθέντα χιλιόμετρα δίνει την κατανάλωση σε kWh/km για τους δύο κινητήρες ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται από την ΤΡΑΙΝΟΣΕ. Η κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται σε lt/km για τα ντίζελ και σε kWh/km για τις ηλεκτρικές αμαξοστοιχίες.



Εικόνα2: Οροφή ηλεκτρικού κινητήρα



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους



Εικόνα3: Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Στην περίπτωση του ελληνικού δικτύου του μετρό, συγκεντρώθηκαν στοιχεία από την επίσημη σελίδα του φορέα στο διαδίκτυο. Όσον αφορά το τρόλεϊ, τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν από ένα συνδυασμό επίσημων πηγών και community content. Τέλος, τα στοιχεία για το τραμ δεν παρέχονται από τους φορείς δημόσιας μεταφοράς και τα αντίστοιχα δεδομένα συγκεντρώθηκαν από την επίσημη σελίδα στο διαδίκτυο.

#### 2.2.2.2 Δεδομένα

Στοιχεία σχετικά με τους διαθέσιμους κινητήρες τροχαίου υλικού της ΤΡΑΙΝΟΣΕ παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 2-2.



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

Κωδικός	Βάρος [τόνοι]	Τύπος Καυσίμου	Ισχύς [HP]	Μοντέλο κινητήρα	Πλήρης ονοματολογία
MLW-450	123.60	Πετρέλαιο	2700	ALCO 12-251 PLUS	MLW (Montreal Locomotive Works) - CC MX627
MLW-500	123.60	Πετρέλαιο	3600	ALCO 16-251 PLUS	MLW (Montreal Locomotive Works) - CC MX636
ADTRANZ 220	80.00	Πετρέλαιο	2853	MTU 396 TC 13	ADTRANZ - DE2000
ALCO 200	64.40	Πετρέλαιο	950	ALCO 251B	ALCO - RS8 DL532B
DESIRO-EL	201.00	Ηλεκτρικό	3000	N/A	SIEMENS - Desiro electric
SIEMENS 120	80.00	Ηλεκτρικό	6794	N/A	SIEMENS/KRAUSS MAFFEI - EUROSprinter
IC-4ΔΥΜΟ ΚΙΝ ΟΧ	70.20	Πετρέλαιο	2700	MTU 396TC13	AEG/LEW - DE-IC 2000N-OSE
IC-5ΔΥΜΑ ΚΙΝ ΟΧ	70.20	Πετρέλαιο	2700	MTU 396TC13	AEG - DE-IC 2000N-OSE
KRUPP V60	51.00	Πετρέλαιο	650	Maybach CTO 6A	KRUPP V60
MAN-2000	11.,00	Πετρέλαιο	1226	MAN D2842	BOMBARDIER - MAN2000
RAILBUS KAN	71.00	Πετρέλαιο	737	MTU 12V183	STADLER/BOMBARDIER - SERIES 506 (RAILBUS)
RAILBUS METR	67.00	Πετρέλαιο	737	MTU 12V183	STADLER/BOMBARDIER- SERIES 4500 (RAILBUS)
STADLER AG	66.00	Πετρέλαιο	788	MAN D2842 TE	STADLER - 3007

Πίνακας 2-2: Τύποι κινητήρων τρένων στην Ελλάδα





**Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.** παρουσιάζει δεδομένα σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση των μηχανών που χρησιμοποιούνται από την ΤΡΑΙΝΟΣΕ.

Κωδικός	Τύπος καυσίμου	Κατανάλωση [lt/km ή kWh/km]
MLW-450	Πετρέλαιο	4.5 lt/km
MLW-500	Πετρέλαιο	4.7 lt/km
ADTRANZ 220	Πετρέλαιο	3.5 lt/km
ALCO 200	Πετρέλαιο	5 lt/km
DESIRO-EL	Ηλεκτρικό	8 kWh/km
SIEMENS 120	Ηλεκτρικό	12 kWh/km
IC-4ΔΥΜΟ ΚΙΝ ΟΧ	Πετρέλαιο	2.7 lt/km
IC-5ΔΥΜΑ ΚΙΝ ΟΧ	Πετρέλαιο	3 lt/km
KRUPP V60	Πετρέλαιο	N/A
MAN-2000	Πετρέλαιο	1.70 lt/km
RAILBUS KAN	Πετρέλαιο	1 lt/km
RAILBUS METR	Πετρέλαιο	1 lt/km
STADLER AG	Πετρέλαιο	1.70 lt/km

Πίνακας 2-3: Δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης για το δίκτυο της ΤΡΑΙΝΟΣΕ

Τρεις από τους κύριους τύπους τρένων που υπάρχουν στο δίκτυο ΤΡΑΙΝΟΣΕ είναι οι ADTRANZ 220, SIEMENS 120 και SIEMENS DESIRO. Οι ADTRANZ 220 και SIEMENS 120 λειτουργούν στην κύρια διαδρομή της Ελλάδας, η οποία είναι η Αθήνα - Θεσσαλονίκη. Η SIEMENS DESIRO λειτουργεί στο προαστιακό δίκτυο της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Η ADTRANZ είναι επίσης η κύρια αμαξοστοιχία που χρησιμοποιείται στη διαδρομή Αθήνα - Δομοκός.



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους



Εικόνα 4: ADTRANZ 220

Ο ΟΣΕ (που μετονομάστηκε αργότερα σε ΤΡΑΙΝΟΣΕ) αγόρασε το στόλο ADTRANZ το 1995 από τη Γερμανία. Αυτός ο τύπος αμαξοστοιχίας, ο οποίος χρησιμοποιεί καύσιμο πετρέλαιο, επιλέχθηκε καθώς το δίκτυο μεταξύ Αθήνας και Θεσσαλονίκης δεν είναι υποστηρίξει ηλεκτροκίνηση. Έχει 2.853 ίππους και μπορεί να επιτύχει μέγιστη ταχύτητα 160 km/h. Τις περισσότερες φορές η αμαξοστοιχία ADTRANZ λειτουργεί σε ζεύγος με μια δεύτερη ADTRANZ. Τέλος, λειτουργεί μόνο για επιβατικές αμαξοστοιχίες.



Εικόνα 5: SIEMENS 120

Η SIEMENS 120 είναι η κύρια αμαξοστοιχία του δρομολογίου Δομοκού - Θεσσαλονίκης. Το εξωτερικό σχήμα μοιάζει με την ADTRANZ, αλλά το SIEMENS 120 είναι ηλεκτροκίνητη μηχανή. Όταν η διαδρομή Αθήνα - Δομοκός θα ηλεκτροδοτηθεί, ο στόλος SIEMENS 120 θα αντικαταστήσει τον στόλο ADTRANZ. Τα λειτουργικά έξοδα της SIEMENS 120 είναι σχεδόν το ένα τρίτο της πετρελαιοκίνητης ADTRANZ. Επιπρόσθετα, το SIEMENS 120 έχει 6.796 ίππους.



Εικόνα 6: SIEMENSDESIRO

Το SIEMENS DESIRO είναι ένα ηλεκτροκίνητο τρένο. Λειτουργεί στη διαδρομή Κιάτο – Αεροδρόμιο(Αθήνα) και στη Θεσσαλονίκη – Λάρισα (προαστιακός). Η ΤΡΑΙΝΟΣΣΕ αγόρασε το SIEMENS DESIRO το 2005 και έχει 1100. Μπορεί να επιτύχει μέγιστη ταχύτητα 160 km/h και είναι ένα από τα νεότερα τρένα που διαθέτει η ΤΡΑΙΝΟΣΣΕ. Ένα δείγμα των διαθέσιμων δεδομένων των αμαξοστοιχιών παρουσιάζεται παρακάτω στον πίνακα 2. 4. Τα πλήρη στοιχεία του στόλου αμαξοστοιχίας έχουν ενσωματωθεί στη βάση δεδομένων GYM.

Κωδικός διαδρομής	Κατηγορία	Αναχώρηση	Αφίξη	Ωρα Αναχώρησης	Ωρα άφιξης
51b	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	ΔΟΜΟΚΟΣ	5:13	6:59
51a	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΔΟΜΟΚΟΣ	ΑΘΗΝΑ	7:11	10:23
53b	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	ΔΟΜΟΚΟΣ	7:04	8:52
53a	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΔΟΜΟΚΟΣ	ΑΘΗΝΑ	9:04	12:24
55b	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	ΔΟΜΟΚΟΣ	10:04	11:52
55a	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΔΟΜΟΚΟΣ	ΑΘΗΝΑ	12:04	15:24
57b	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	ΔΟΜΟΚΟΣ	12:04	13:52
57a	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΔΟΜΟΚΟΣ	ΑΘΗΝΑ	14:04	17:24
59b	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	ΔΟΜΟΚΟΣ	15:04	16:52
59a	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΔΟΜΟΚΟΣ	ΑΘΗΝΑ	17:04	20:24
61b	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	ΔΟΜΟΚΟΣ	18:04	19:52



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

61a	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΔΟΜΟΚΟΣ	ΑΘΗΝΑ	20:04	23:24
601-1b	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	ΔΟΜΟΚΟΣ	23:00	1:17
601-1a	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΔΟΜΟΚΟΣ	ΑΘΗΝΑ	1:29	5:01
11530	ΕΠΙΒΑΤΗΣ	ΟΙΝΟΗ	ΧΑΛΚΙΔΑ	5:00	5:20

Πίνακας 2-4: Μέρος 1, Στοιχεία Στόλου

Κωδικός διαδρομής	Αριθμός αμαξοστοιχιών	Τύπος αμαξοστοιχίας	Τύπος βαγονιού							Αριθμός Βαγονιών	
			IC-5 ΡΥΜ	IC-4 ΡΥΜ	ΒΜΡΖ - 2096	ΒΜΖ - 2196	ΑΔΜΖ - 8496	ΑΜΖ - 1996	WΡΜΖ - 8896		ΜΔΔΜ - 9889
51b	1	SIEMENS 120			4	2	3	1	1		6
51a	2	ADTRANZ 220			4	5	6	1	1		6
53b	1	SIEMENS 120			2	1	1		1		5
53a	1	ADTRANZ 220			2	1	1		1		5
55b	1	SIEMENS 120			2	1	1		1		5
55a	1	ADTRANZ 220			2	1	1		1		5
57b	1	SIEMENS 120			2	1	1		1		5
57a	1	ADTRANZ 220			2	1	1		1		5
59b	1	SIEMENS 120			2	1	20	1	1		5
59a	1	ADTRANZ 220			2	1	22	1	1		5
61b	1	SIEMENS 120			2	1	1	24	1		5
61a	1	ADTRANZ 220			2	1	1	26	1		5
601-1b	1	SIEMENS 120			5	2	1	28	1	1	10
601-1a	2	ADTRANZ 220			5	2	1	29	1	1	10
11530	1	DESIRO-EL			30	31	32	33	34	35	0

Πίνακας 2-1: Μέρος 2, Στοιχεία Στόλου



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

Κωδικός διαδρομής	Συνολικό Βάρος [τόνοι]	Τύπος αμαξοστοιχίας	Χωρητικότητα σε επιβάτες	Διαδρομή
51b	413.00	Ηλεκτρικό	374	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
51a	493.00	Πετρέλαιο	374	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
53b	355.30	Ηλεκτρικό	250	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
53a	355.30	Πετρέλαιο	250	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
55b	355.30	Ηλεκτρικό	250	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
55a	355.30	Πετρέλαιο	250	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
57b	355.30	Ηλεκτρικό	250	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
57a	355.30	Πετρέλαιο	250	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
59b	362.30	Ηλεκτρικό	280	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
59a	362.30	Πετρέλαιο	280	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
61b	355.30	Ηλεκτρικό	250	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
61a	355.30	Πετρέλαιο	250	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
601-1b	620.60	Ηλεκτρικό	556	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
601-1a	700.60	Πετρέλαιο	556	ΑΘΗΝΑ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
11530	201.00	Ηλεκτρικό	313	ΠΕΙΡΑΙΑΣ-ΧΑΛΚΙΔΑ

Πίνακας 2-2: Μέρος 3, Στοιχεία Στόλου

κωδικός	Βάρος[τόνοι]	Τύπος καυσίμου	Ισχύς [HP]	Μοντέλο κινητήρα	Πλήρης ονοματολογία
MLW-450	123.60	Πετρέλαιο	2,700	ALCO 12-251 PLUS	MLW (Montreal Locomotive Works) - CC MX627
MLW-500	123.60	Πετρέλαιο	3,600	ALCO 16-251 PLUS	MLW (Montreal Locomotive Works) - CC MX636
ADTRAN Z 220	80.00	Πετρέλαιο	2,853	MTU 396 TC 13	ADTRANZ - DE2000
ALCO 200	64.40	Πετρέλαιο	950	ALCO 251B	ALCO - RS8 DL532B

Εικόνα 2-7: Τροχαιο υλικό του στόλου των τρένων

Τα δεδομένα των αμαξοστοιχιών του Μετρό είναι διαθέσιμα μόνο για την τρίτη γενιά του στόλου του Μετρό, ο οποίος ενσωματώθηκε στο συνολικό ελληνικό στόλο.



Γενικές πληροφορίες για τον στόλο οχημάτων τρίτης γενιάς του μετρό στην Ελλάδα	
Αριθμός αμαξοστοιχιών	28 (γραμμές 2 και 3)
Σύνθεση αμαξοστοιχίας	6 βαγόνια
Πόρτες ανά βαγόνι	4 σε κάθε πλευρά
Χωρητικότητα	188 καθήμενοι / 844 όρθιοι / 1.032 συνολικά
Τεχνικά χαρακτηριστικά του στόλου 3ης γενιάς στην Ελλάδα	
Μήκος	106m
Πλάτος	2,800mm
Ύψος	3,750mm
Βάρος	185τόνοι (άδειο)
Πλάτος σιδηροτροχιάς	1,435mm
Τάση	750 VDC
Κινητήρας DC	4-175 kW
Μέση επιτάχυνση	1.10m/sec <sup>2</sup>
Μέση επιβράδυνση	1.10m/sec <sup>2</sup> (κανονική λειτουργία) 1.42m/sec <sup>2</sup> (επείγουσα λειτουργία)
Μέση ταχύτητα λειτουργίας	80 km/h
Υλικό	Αλουμίνιο

Πίνακας 2-8: Δεδομένα του στόλου του Μετρό στο ελληνικό δίκτυο

Τα τρόλεϊ λειτουργούν στο αστικό δίκτυο της Αθήνας. Χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά στο δίκτυο λεωφορείων και εισήχθησαν στο στόλο προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές από τον τομέα των δημόσιων συγκοινωνιών στη μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας. Είναι ηλεκτρικά οχήματα, επομένως οι εκπομπές στην περιοχή λειτουργίας τους είναι μηδενικές. Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τον στόλο των τρόλεϊ.

Τύπος Τρόλεϊ	Πλήθος Τρόλεϊ	Έτος Αγοράς
6000 series	102	1999-2000
7000	112	1999-2000
8000	91	2003-2004
9000	51	2004

Πίνακας 2-3: Δεδομένα στόλου τρόλεϊ

Αριθμός γραμμής	Τύπος τρόλεϊ
1	Vanhool 7000, Neoplan 6000
2	Vanhool 7000
3	Neoplan 9000, Neoplan 8000
4	Vanhool 7000



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

Αριθμός γραμμής	Τύπος τρόλεϊ
5	Neoplan 8000
6	Neoplan 9000, Neoplan 8000
10	Neoplan 9000
11	Neoplan 8000
12	Vanhool 7000
13	Neoplan 8000
14	Neoplan 9000
15	Vanhool 7000
16	Neoplan 6000
17	Neoplan 6000
18	Vanhool 7000
19	Vanhool 7000
20	Neoplan 6000
21	Neoplan 6000
24	Vanhool 7000
25	Vanhool 7000

Πίνακας 2-10: Τύποι τρόλεϊ ανά γραμμή



## 2.3 Τσεχία

### 2.3.1 Οδικές δημόσιες μεταφορές

#### 2.3.1.1 Πηγές

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από ένα μείγμα μικρών διαχειριστών λεωφορείων (οι οποίοι ήθελαν να διατηρηθούν ανώνυμοι)

#### 2.3.1.2 Δεδομένα

Ένα δείγμα των διαθέσιμων δεδομένων για λεωφορεία και πούλμαν παρουσιάζεται στο πίνακα 2.11. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει μόνο ένα υποσύνολο των διαθέσιμων πληροφοριών. Οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν δεν ήταν σε κοινή μορφή από όλους τους φορείς. Για το λόγο αυτό και για να ενσωματωθούν αυτές οι πληροφορίες στην κοινή βάση δεδομένων, οι τύποι οχημάτων συμφωνούν με τον κατάλογο του οδηγού απογραφής ατμοσφαιρικών ρύπων του EMEP / ΕΕΑ. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ο τύπος οχήματος (τομέας), το μέγεθος του οχήματος και ο τύπος καυσίμου που χρησιμοποιείται (υποτομέας), η τεχνολογία και η κατανάλωση καυσίμου.

Τομέας	Υποτομέας	Τεχνολογία	Μέση κατανάλωση	Μονάδες
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro V - 2008 Standards	23.96	lt/100 km
Λεωφορεία	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα(κανονικά) $\leq 18$ t	Συμβατικά	29.06	lt/100 km
Λεωφορεία	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα(κανονικά) $\leq 18$ t	HD Euro V - 2008 Standards	24.53	lt/100 km
Λεωφορεία	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα(κανονικά) $\leq 18$ t	HD Euro VI	27.22	lt/100 km
Λεωφορεία	CNG λεωφορεία μικρά	HD Euro IV - V	11.86	kg/100km
Λεωφορεία	CNG Αστικά λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro IV - V	26.38 - 26.50	kg/100km
Λεωφορεία	CNG Αστικά λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro IV - V	26.97	kg/100km
Λεωφορεία	CNG Αστικά λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro IV - V	26.76	kg/100km
Λεωφορεία	CNG Πούλμαν (κανονικά) $\leq 18$ t	HD Euro IV - V	28.42	kg/100km

Πίνακας 2-11: Κατάλογος λεωφορείων και πούλμαν στη Τσεχία





Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

---

## 2.3.2 Σιδηροδρομικές Μεταφορές (Τρένο, Μετρό, Τραμ, Τρόλεϊ)

### 2.3.2.1 Πηγές

Δεδομένου ότι κανένας χειριστής δεν ήταν διατεθειμένος να μοιραστεί τα δικά του ευαίσθητα δεδομένα, συλλέχθηκαν από ένα συνδυασμό επίσημων πηγών και κοινοτικού περιεχομένου, τα οποία αναφέρονται στις παραπομπές βιβλιογραφίας ([20], [21], [22], [23], [24], [25]).

### 2.3.2.2 Δεδομένα

Ένα δείγμα των διαθέσιμων δεδομένων παρουσιάζεται παρακάτω

Καύσιμο	Τομέας	Μέγιστη παραγόμενη ισχύς[kW]	Περιοχή λειτουργίας	Βάρος [τόνοι]	Κατασκευαστής
Ηλεκτρικό	Μετρό	2,830	αστικός	άδειο 133 t, γεμάτο 243 t	ČKD/SIEMENS / Adtranz
Ηλεκτρικό	Μετρό	2,200	αστικός	άδειο 157 t, γεμάτο 255 t	Škoda (reconstruction)
Ηλεκτρικό	Τραμ	160	αστικός	16 t άδειο, 27,5 t γεμάτο	ČKD
Ηλεκτρικό	Τραμ	180	αστικός	19,5 t άδειο, 31,5 t γεμάτο	ČKD
Ηλεκτρικό	Τραμ	360	αστικός	38 t άδειο, 61,5 t γεμάτο	ČKD
Ηλεκτρικό	Τραμ	540	αστικός	38 t άδειο	Škoda
Ηλεκτρικό	Τραμ	810	αστικός	38.3 t άδειο	Škoda
Ηλεκτρικό	Τραμ	720	αστικός	42 t άδειο	Škoda
Ηλεκτρικό	Τραμ	360	αστικός	21.2 t άδειο	TW Team
Ηλεκτρικό	Τραμ	540	αστικός	31.5 t άδειο	TW Team
Ηλεκτρικό	Αμαξοτοίχια	4,000	Μεγάλων αποστάσεων	88 t	Škoda
Ηλεκτρικό	Αμαξοτοίχια	3,480	Μεγάλων αποστάσεων	84 t	Škoda
Ηλεκτρικό	Αμαξοτοίχια	4,000	Μεγάλων αποστάσεων	89.6 t	Škoda
Ηλεκτρικό	Αμαξοτοίχια	3,480 DC / 3,060 AC	Μεγάλων αποστάσεων	87 t	Škoda
Ηλεκτρικό	Αμαξοτοίχια	6,400	Μεγάλων αποστάσεων	86 t	Škoda
Ηλεκτρικό	Τρένο	2,000	αστικός/προαστιακός	239 t	Vagonka Studénka, MEZ Vsetín
Ηλεκτρικό	Τρένο	2,000	αστικός/προαστιακός	155.4 t	ČKD Vagonka, Škoda
Ηλεκτρικό	Τρένο	1,680	αστικός/προαστιακός	297 t	Vagonka Studénka, MEZ Vsetín
Ηλεκτρικό	Τρένο	4,000	Μεγάλων αποστάσεων	384 t	Alstom
Πετρέλαιο	Αμαξοτοίχια	1,102	Μικρών-μεγάλων αποστάσεων	75 t	ČKD



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

Καύσιμο	Τομέας	Μέγιστη παραγόμενη ισχύς[kW]	Περιοχή λειτουργίας	Βάρος [τόνοι]	Κατασκευαστής
Πετρέλαιο	Αμαξοτοιχία	1,325	Μικρών-μεγάλων αποστάσεων	76,8 t	ČKD
Πετρέλαιο	Αμαξοτοιχία	1,325	Μικρών-μεγάλων αποστάσεων	74 t	ČKD
Πετρέλαιο	Αμαξοτοιχία	1,460	Μικρών-μεγάλων αποστάσεων	74.4 t	ČKD
Πετρέλαιο	Τρένο	155	Μικρών αποστάσεων	20 t	Vagonka Tatra Studénka
Πετρέλαιο	Τρένο	242	Μικρών αποστάσεων	22 t	reconstructed 810 by Pars nova Šumperk

Πίνακας 2-12: Τύποι σιδηροδρομικών οχημάτων στη Τσεχία



## 2.4 Ολλανδία

### 2.4.1 Οδικές δημόσιες μεταφορές

#### 2.4.1.1 Πηγές

Στην Ολλανδία υπάρχουν διαφορετικοί φορείς οδικών δημόσιων μεταφορών (PTO). Κάθε περιοχή ή μεγάλη πόλη έχει τον δικό της φορέα. Οι πληροφορίες συγκεντρώθηκαν από το Διαδίκτυο, απευθείας από τους παρόχους.

#### 2.4.1.2 Δεδομένα

Ένα δείγμα των διαθέσιμων δεδομένων παρουσιάζεται στον πίνακα **Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής..**

Τομέας	Υποτομέας	Τεχνολογία	Μέση κατανάλωση	Μοντέλο
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	Συμβατικά	N/A	N/A
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	N/A	N/A
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	N/A	N/A
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro III - 2000 Standards	18 l/km	Iveco Sor C 10.5
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro IV - 2005 Standards	1.73 kWh/km	Lion's city
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro V - 2008 Standards	32 l/100km	VDL Ambassador
Λεωφορεία	Αστικά ηλεκτρικά λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro EEV	1.73 kWh/km	Man Lion's city
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (μεσαία) $\leq 15$ t	HD Euro VI	N/A	N/A
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	Συμβατικά	N/A	N/A
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	16.4 MJ/km	N/A



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

Τομέας	Υποτομέας	Τεχνολογία	Μέση κατανάλωση	Μοντέλο
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	17.3 MJ/km	N/A
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro III - 2000 Standards	16.3 MJ/km	N/A
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro IV - 2005 Standards	31.9/100km	volvo 8700
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro V - 2008 Standards	33 l/100km	van hool 300
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (κανονικά) 15 - 18 t	HD Euro VI	30 l/100km	Man Lion's city
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά)>18 t	Συμβατικά	N/A	N/A
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά)>18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	N/A	N/A
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά)>18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	56 l/100 km	Setra SG 32 UL/E2
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά)>18 t	HD Euro III - 2000 Standards	67.4 l/100km	Man SG 313
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά)>18 t	HD Euro IV - 2005 Standards	30 l/100km	volvo 9700 automatic gearbox
Λεωφορεία	Αστικά υβριδικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά)>18 t	HD Euro IV - 2005 Standards	43.9 l/100km	N/A
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά)>18 t	HD Euro IV - 2005 Standards	N/A	N/A
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά)>18 t	HD Euro V - 2008 Standards	54.5 l/100km	Solaris Urbino
Λεωφορεία	Αστικά πετρελαιοκίνητα λεωφορεία (αρθρωτά)>18 t	HD Euro VI	38.7 l/100km	Mercedez Benz Citaro
Λεωφορεία	Πούλμαν πετρελαιοκίνητα (κανονικά)<=18 t	Συμβατικά	N/A	N/A



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

---

**Πίνακας 2-13: Κατάλογος λεωφορείων και πούλμαν στην Ολλανδία**

## **2.4.2 Σιδηροδρομικές Μεταφορές (Τρένο, Μετρό, Τραμ, Τρόλεϊ)**

### **2.4.2.1 Πηγές**

Τα στοιχεία αυτής της κατηγορίας συλλέχθηκαν κυρίως μέσω των πληροφοριών, οι οποίες διατέθηκαν από τους παρόχους. Ορισμένες πληροφορίες συλλέχθηκαν απευθείας από τους ιστοτόπους των φορέων ή τηλεφωνικώς προς τα γραφεία εξυπηρέτησης αυτών.

### **2.4.2.2 Δεδομένα**

Ένα δείγμα των διαθέσιμων δεδομένων σχετικά με το Ολλανδικό σιδηροδρομικό δίκτυο παρουσιάζεται στο πίνακα 2 14.



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

Μοντέλα μεταφοράς	Τύπος	Ισχύς	Τύπος Κινητήρα	Ισχύς [kW]	Επιβάτες [καθήμενοι (συνολικοί)]	Περιοχή λειτουργίας	Βάρος επιβατικού βαγονιού [kg]	Κατασκευαστής
Σιδηρόδρομ. - τραμ	Fexity Swift Type R (5600)	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	1,040 kW	104 (166)	Αστικό	64,300	Bombardier
Σιδηρόδρομ. - τραμ	M5	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	3,200 kW	174 (786)	Αστικό	190,000	Alstom
Σιδηρόδρομ. - τραμ	S1/S2	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	462 kW	64 (169)	Αστικό	46,300	La Brugeoise
Σιδηρόδρομ. - τραμ	M4/S3	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	420 kW	58 (192)	Αστικό	47,000	CAF
Σιδηρόδρομ. - τραμ	DM '90	Πετρέλαιο	6 κύλινδροι - NTA 855 R4	320 - 640 kW	169	Περιφερειακό	95,200	Talbot
Σιδηρόδρομ. - τραμ	GTW	Πετρέλαιο	Μηχανή ασύγχρονης μεταδόσης κίνησης	375 - 750 kW	170	Περιφερειακό	89,000	Stadler Rail
Σιδηρόδρομ. - τραμ	ICM 1-2	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	315 - 1,260 kW	288	Υπεραστικό	144,000	Talbot, CEM Oerlikon, Holec
Σιδηρόδρομ. - τραμ	ICM 3-4	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	315 - 1,890 kW	450-550	Υπεραστικό	192,000	Talbot, CEM Oerlikon, Holec
Σιδηρόδρομ. - τραμ	DDZ (NID)	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	2,400 kW	384 - 623	Υπεραστικό	350,000	Nedcar
Σιδηρόδρομ. - τραμ	VIRM 1	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	1,608 kW	275	Υπεραστικό	183,400	Talbot
Σιδηρόδρομ. - τραμ	Thalys PBA	Ηλεκτρικό	Συγχρονισμένη Μηχανή Έλξης	3,680 - 8,800 kW	N/A	Διεθνές	388,000	GEC Alstom
Σιδηρόδρομ. - τραμ	Thalys PBKA	Ηλεκτρικό	Συγχρονισμένη Μηχανή Έλξης	3,680 - 8,800 kW	377	Διεθνές	383,000	GeC Alstom
Σιδηρόδρομ. - τραμ	ICE 3M	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	500 - 8,000 kW	360	Διεθνές	409,000	Siemens Bombardier
Σιδηρόδρομ. - τραμ	GTW	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	600 -	170	Περιφερειακό	83,000	Stadler Rail



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

Μοντέλα μεταφοράς	Τύπος	Ισχύς	Τύπος Κινητήρα	Ισχύς [kW]	Επιβάτες [καθήμενοι (συνολικοί)]	Περιοχή λειτουργίας	Βάρος επιβατικού βαγονιού [kg]	Κατασκευαστής
				1,100 kW				
Σιδηρόδρομ. - τραμ	FLIRT (NSR)	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	680 – 2,720 kW	146	Περιφερειακό	-	Stadler Rail
Σιδηρόδρομ. - τραμ	SNG	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	up to 4,000 kW	151	Περιφερειακό	100,000	CAF
Σιδηρόδρομ. - τραμ	11G/12G	Ηλεκτρικό	Μηχανή 3 <sup>ων</sup> Φάσεων	308 kW	52 (98)	Αστικό	34,000	La Brugeoise
Σιδηρόδρομ. - τραμ	Citadis 302	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	480 kW	59 (125)	Αστικό	47-780,000	Alstom
Σιδηρόδρομ. - τραμ	RegioCitadis	Ηλεκτρικό	Μηχανή Έλξης	720 kW	84 (130)	Αστικό	58,000	Alstom

Πίνακας 2-14: Τύποι σιδηροδρομικών οχημάτων στην Ολλανδία





## 2.5 Γενικές κατηγορίες οχημάτων

Όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, το δίκτυο κάθε χώρας είναι αρκετά περίπλοκο και ενδέχεται να μην είναι δυνατό να γνωρίζουμε τον συγκεκριμένο τύπο οχήματος που χρησιμοποιείται σε κάθε διαδρομή για οποιαδήποτε συγκεκριμένη ώρα. Αυτό ισχύει τόσο για οδικά όσο και για σιδηροδρομικά οχήματα. Προκειμένου να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία, μία λίστα με όλα τα είδη μέσων για κάθε κατηγορία οχημάτων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διαμορφώθηκε. Ο πίνακας 2-15 απαριθμεί τις διαθέσιμες κατηγορίες.

Τομέας	Υποτομέας	Χώρα	Καύσιμο
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία	Ελλάδα	Πετρέλαιο
Λεωφορεία	Πούλμαν	Ελλάδα	Πετρέλαιο
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία βιοντιζελ	Ελλάδα	Βιοντιζελ
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία	Ολλανδία	Πετρέλαιο
Λεωφορεία	Πούλμαν	Ολλανδία	Πετρέλαιο
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία βιοντιζελ	Ολλανδία	Βιοντιζελ
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία	Τσεχία	Πετρέλαιο
Λεωφορεία	Πούλμαν	Τσεχία	Πετρέλαιο
Λεωφορεία	Αστικά λεωφορεία βιοντιζελ	Τσεχία	Βιοντιζελ
Τρένο	Υπεραστικό Τρένο	Ελλάδα	Πετρέλαιο
Τρένο	Υπεραστικό Τρένο παλαιού τύπου	Ελλάδα	Πετρέλαιο
Τρένο	Τρένο κινούμενο σε αστική περιοχή	Ελλάδα	Πετρέλαιο
Τρένο	Υπεραστικό Τρένο	Ολλανδία	Πετρέλαιο
Τρένο	Υπεραστικό Τρένο παλαιού τύπου	Ολλανδία	Πετρέλαιο
Τρένο	Τρένο κινούμενο σε αστική περιοχή	Ολλανδία	Πετρέλαιο
Τρένο	Υπεραστικό Τρένο	Τσεχία	Πετρέλαιο
Τρένο	Υπεραστικό Τρένο παλαιού τύπου	Τσεχία	Πετρέλαιο
Τρένο	Τρένο κινούμενο σε αστική περιοχή	Τσεχία	Πετρέλαιο
Τρένο	Υπεραστικό Τρένο Ηλεκτρικό	Ελλάδα	Ηλεκτρικό
Τρένο	Υπεραστικό Τρένο Ηλεκτρικό	Ελλάδα	Ηλεκτρικό
Τρένο	Υπεραστικό Τρένο Ηλεκτρικό	Ολλανδία	Ηλεκτρικό
Τρένο	Ηλεκτρικό Τρένο διεθνών αποστάσεων	Ολλανδία	Ηλεκτρικό
Τρένο	Τρένο κινούμενο σε αστική περιοχή Ηλεκτρικό	Ολλανδία	Ηλεκτρικό
Τρένο	Υπεραστικό Τρένο Ηλεκτρικό	Τσεχία	Ηλεκτρικό
Τρένο	Τρένο κινούμενο σε αστική περιοχή Ηλεκτρικό	Τσεχία	Ηλεκτρικό
Μετρό	Ηλεκτρικό	Ελλάδα	Ηλεκτρικό



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

Τομέας	Υποτομέας	Χώρα	Καύσιμο
Μετρό	Ηλεκτρικό	Ολλανδία	Ηλεκτρικό
Μετρό	Ηλεκτρικό	Τσεχία	Ηλεκτρικό
Τραμ	Ηλεκτρικό	Ελλάδα	Ηλεκτρικό
Τραμ	Ηλεκτρικό	Ολλανδία	Ηλεκτρικό
Τραμ	Ηλεκτρικό	Τσεχία	Ηλεκτρικό
Τρόλεϊ	Ηλεκτρικό	Ελλάδα	Ηλεκτρικό

Πίνακας 2-15: Γενικές κατηγορίες οχημάτων



### 3 Επιλογή του βασικού μοντέλου / μεθοδολογία

#### 3.1 Εισαγωγή

Με βάση την ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για τις μεθοδολογίες υπολογισμού των εκπομπών από τις μεταφορές, ένα μοντέλο ή ένας συνδυασμός των αναθεωρημένων μοντέλων θα επιλεγεί ως βάση για την ανάπτυξη του νέου μοντέλου. Στη συνέχεια, θα προσδιοριστούν όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τους υπολογισμούς εκπομπών και θα αναλυθούν τουλάχιστον έξι άλλοι παράγοντες (τόσο στατικοί όσο και δυναμικοί) έτσι ώστε να συμπεριληφθούν, στην ανάπτυξη του νέου μοντέλου. Οι εκπομπές που καλύπτονται από τη μεθοδολογία περιλαμβάνουν CO, NO<sub>x</sub>, σωματίδια (PM), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) καθώς και αέρια «θερμοκηπίου», δηλαδή CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O και CH<sub>4</sub>. Η κατανάλωση ενέργειας από τα οχήματα είναι επίσης μέρος της μεθοδολογίας, κυρίως επειδή σχετίζεται με τις εκπομπές CO<sub>2</sub>.

#### 3.2 Υφιστάμενη μεθοδολογία

Προκειμένου να καλύψουμε όλα τα πιθανά μέσα μεταφοράς, τα χωρίσαμε σε 2 κύριες ομάδες:

1. Οδικές δημόσιες μεταφορές, που περιλαμβάνουν λεωφορεία και πούλμαν
2. Σιδηροδρομικές μεταφορές, που περιλαμβάνουν τρένα, μετρό, τραμ και τρόλεϊ.

Αυτή η κατηγορία χωρίζεται περαιτέρω σε α) ντιζελ ντιζελ και β) ηλεκτρικά τρένα, μετρό, τραμ και τρόλεϊ

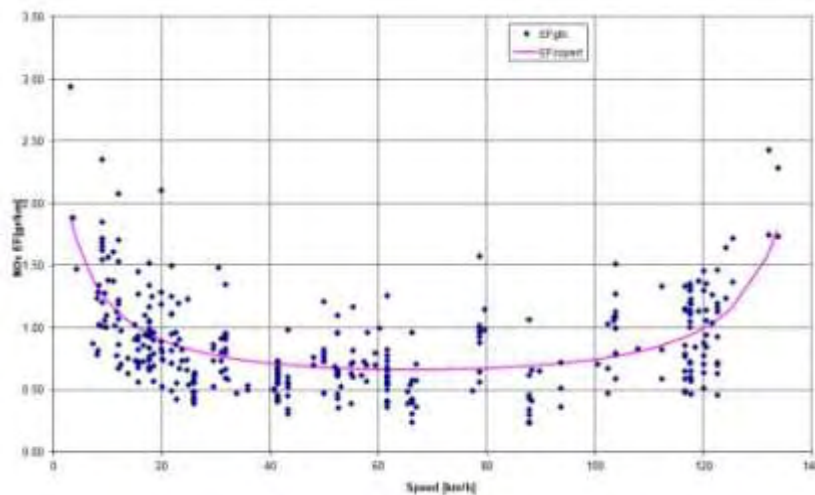
##### 3.2.1 Οδικές δημόσιες μεταφορές

Με βάση την ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για τις μεθοδολογίες υπολογισμού των εκπομπών από τις οδικές μεταφορές, επελέγη η πλέον κατάλληλη μεθοδολογία, η μέθοδος COPERT [1]. Η COPERT επελέγη για διάφορους λόγους, αλλά κυρίως επειδή η μεθοδολογία του εξισορροπεί την ανάγκη λεπτομερών υπολογισμών εκπομπών αφενός και τη χρήση λίγων δεδομένων εισροών από την άλλη είναι ένα μέσο μοντέλο εκπομπής ταχύτητας. Η μεθοδολογία COPERT αποτελεί μέρος του οδηγού απογραφής εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων του EMEP / EEA για το 2013 και έχει αναπτυχθεί για περισσότερα από 20 χρόνια. Είναι η επίσημη μεθοδολογία που χρησιμοποιούν οι εμπειρογνώμονες κρατών για την κατάρτιση των εθνικών απογραφών τους.

Η βασική εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εκπομπών είναι η ακόλουθη:

$$E_{hot} [g] = \text{Ετήσια χιλιόμετρα [km]} \times EF_{hot} \left[ \frac{g}{km} \right] \quad \text{Εξ. 1}$$

Ο συντελεστής εκπομπών υπολογίζεται με βάση τη μέση ταχύτητα ενός οχήματος σε τρεις διαφορετικούς τρόπους οδήγησης: σε αστικό και αγροτικό δίκτυο, αλλά και σε αυτοκινητόδρομο. Αυτός ο συντελεστής εκπομπών είναι διαφορετικός για κάθε κατηγορία οχήματος και ρύπο. Υπάρχουν δύο πηγές για την παροχή δεδομένων για τις λειτουργίες υπολογισμού εκπομπών, εργαστηριακές μετρήσεις και προσομοιώσεις από μοντέλα μικρής κλίμακας. Ένα τυπικό γράφημα που περιγράφει τα δεδομένα καθώς και τη λειτουργία παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 7 :  $\text{NO}_x$  συντελεστής εκπομπών για το πετρελαιοκίνητο επιβατικό αυτοκίνητο EURO 3 in  $\text{g/km}$  Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.

Η COPERT υπολογίζει τις εκπομπές για 3 τρόπους, δηλ. Ψυχρή κατάσταση, θερμή κατάσταση και εκπομπές εξάτμισης. Συγκεκριμένα, το μοντέλο αποτελείται από 5 ενότητες:

- Παράγοντες θερμής εκπομπής
  - Υπολογίζει όλους τους παράγοντες θερμικής εκπομπής
- Παράγοντες ψυχρής εκπομπής
  - Υπολογίζει όλους τους παράγοντες εκπομπής ψύχους
- Παράγοντες εξάτμισης
  - Υπολογίζει τους συντελεστές εξάτμισης
- Συνολικές εκπομπές
  - Υπολογίζει τις συνολικές εκπομπές για όλες τις λειτουργίες και τους τύπους οχημάτων
- Εξειδικευμένα χαρακτηριστικά
  - Χρησιμοποιείται για την παροχή προηγμένων διορθώσεων στον υπολογισμό εάν παρέχονται επαρκείς πληροφορίες (δηλ. φορτίο και κλίση για βαρέα επαγγελματικά οχήματα)

Ωστόσο, στην περίπτωση μας, μόνο οι εκπομπές καυσαερίων είναι σχετικές και, ως εκ τούτου, εστιάζουμε στους παράγοντες θερμικής εκπομπής.



Η COPERT υπολογίζει τις εκπομπές όλων των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων (CO, NO<sub>x</sub>, VOC, PM, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, βαρέα μέταλλα) που παράγονται από διάφορες κατηγορίες οδικών οχημάτων, καθώς και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) / FC). Παρέχει επίσης πληροφορίες για εκπομπές NO/NO<sub>2</sub>, για την οργανική ύλη των PM και των πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός του μεθανίου, συμπεριλαμβανομένων των PAH και των POPs. Τα στοιχεία εκπομπών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής

- Θερμικές εκπομπές: CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, EC, OM, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, FC, SO<sub>2</sub>, VOC, NMVOC
- PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>.

Συνολικά, καλύπτονται 266 κατηγορίες οχημάτων. Ωστόσο, δεδομένου ότι μόνο λεωφορεία και πούλμαν έχουν σημασία για τη μελέτη αυτή. Επομένως η έρευνα θα επικεντρωθεί σε αυτές τις κατηγορίες οχημάτων.

- Τύποι οχημάτων: Λεωφορεία και πούλμαν.
- Καύσιμα και υποκατηγορίες (π.χ. τάξεις μεγέθους κ.λπ.):
  - ο Λεωφορεία
    - Πετρελαιοκίνητα (Μεσαία≤15t, Κανονικά 15-18t, Αρθρωτά>18t)
    - Πούλμαν (Κανονικά≤18t, Αρθρωτά>18t)
    - CNG
    - Βιοντίζελ
- Τεχνολογίες (Euro):
  - ο Λεωφορεία: Συμβατικά, EuroI έως EuroVI .

Για τον υπολογισμό των εκπομπών καυσαερίων, εκτός από τα προαναφερθέντα στοιχεία του στόλου, απαιτούνται επίσης οι ακόλουθες πληροφορίες::

- Μέση ταχύτητα οχήματος
- Κλίση (μόνο για HDVs )
- Φορτίο (μόνο για HDVs)

Τέλος, η COPERT παρέχει λεπτομερή παραγωγή των υπολογισμένων πληροφοριών σε επίπεδο τεχνολογίας οχημάτων. Τα ενδιάμεσα αποτελέσματα των συντελεστών εκπομπής παρέχονται σε g/km για τους τρόπους οδήγησης σε αστικό και αγροτικό δίκτυο αλλά και αυτοκινητοδρόμους. Η τελική παραγωγή των εκπομπών υπολογίζεται σε τόνους για τους τρόπους οδήγησης στις παραπάνω περιπτώσεις.



### 3.2.2 Σιδηροδρομικές μεταφορές

Οι συντελεστές εκπομπών για τα τρένα, το μετρό, το τραμ και το τρόλεϊ υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας δύο προσεγγίσεις: α) μία για τα τρένα ντίζελ και β) μία για τα ηλεκτρικά τρένα, το μετρό, τα τραμ και τα τρόλεϊ.

#### 3.2.2.1 Πετρελαιοκίνητα Τρένα

##### 3.2.2.1.1 Ιστορικό

Για τον υπολογισμό των ρυπογόνων εκπομπών χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι συντελεστές εκπομπών.

##### 3.2.2.1.2 NO<sub>x</sub>, CO and PM

Οι συντελεστές εκπομπών για NO<sub>x</sub>, CO και PM απορρέουν από τον οδηγό απογραφής εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων του ΕΜΕΡ/ΕΕΑ για το 2013 και παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 1. Ο οδηγός απογραφής εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων ΕΜΕΡ/ΕΕΑ παρέχει τεχνικές οδηγίες για την εκπόνηση εθνικών απογραφών των εκπομπών και περιλαμβάνει προκαθορισμένους συντελεστές εκπομπών για όλους τους ρύπους.

Τεχνολογία τρένων	Ρύποι		
	NO <sub>x</sub> [kg/τονκαυσίμου]	CO [kg/τονκαυσίμου]	PM [kg/τονκαυσίμου]
Υπεραστικό Τρένο	63	18	1.2
Υπεραστικό Τρένο παλαιού τύπου	54.4	10.8	2.1
Τρένο κινούμενο σε αστική περιοχή	39.9	10.8	1.1

Πίνακας 3-1: Παράγοντες εκπομπών (NO<sub>x</sub>, CO και PM) για πετρελαιοκίνητα τρένα (πηγή: ΕΜΕΡ/ΕΟΧ)

Οι μονάδες αυτών των συντελεστών εκπομπών είναι σε kg/τόνο καυσίμου. Οι ισοδύναμοι συντελεστές εκπομπών σε g/km, όπου παράγονται πολλαπλασιάζοντας αυτούς τους συντελεστές εκπομπών με την κατανάλωση των πετρελαιοκίνητων αμαξοστοιχιών (σε lt/km). Η κατανάλωση καυσίμων των πετρελαιοκίνητων παρέχεται σε lt/km, πολλαπλασιάστηκε με τη τιμή της πυκνότητας πετρελαίου, 0,835 kg/lt. Οι τελικοί συντελεστές εκπομπών είναι διαφορετικοί για κάθε αμαξοστοιχία, δεδομένου ότι βασίζονται στην κατανάλωση καυσίμου. Ένα δείγμα των τελικών υπολογιζόμενων συντελεστών εκπομπών παρουσιάζεται στον πίνακα 3 2.



Τεχνολογία τρένων	Ρύποι		
	NOx [g/km]	CO [g/km]	PM [g/km]
Υπεραστικό Τρένο παλαιού τύπου	83.62	16.6	3.23
Υπεραστικό Τρένο	173.6	49.6	3.31
Τρένο κινούμενο σε αστική περιοχή	36.65	9.92	1.01

Πίνακας 3-2: Τελικοί υπολογισμένοι συντελεστές εκπομπών (NOx,CO και PM) για τα πετρελαιοκίνητα τρένα

### 3.2.2.1.3 N<sub>2</sub>O και CH<sub>4</sub>

Για τους ρύπους N<sub>2</sub>O και CH<sub>4</sub> η μεθοδολογία υπολογισμών που χρησιμοποιήθηκε είναι η ίδια όπως για όλους τους ρύπους. Παρόλο που οι γενικοί παράγοντες εκπομπών παρέχονται στον προαναφερθέντα οδηγό (EMEP/EOX), λόγω της διαθεσιμότητας δεδομένων για συγκεκριμένες χώρες, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν οι συντελεστές εκπομπών ανά χώρα. Ειδικότερα, ζητείται από όλα τα 28 κράτη μέλη της ΕΕ να δημοσιεύουν τις ετήσιες καταγραφές που περιλαμβάνουν την εθνική έκθεση απογραφής (NIR) και (CRF). Τα NIR περιέχουν λεπτομερείς περιγραφικές και αριθμητικές πληροφορίες και οι πίνακες CRF περιέχουν όλες τις εκπομπές GHG, τους συντελεστές εκπομπών και τα δεδομένα δραστηριότητας. Για το λόγο αυτό, οι εθνικές απογραφές χρησιμοποιήθηκαν για την Τσεχία, την Ελλάδα και την Ολλανδία. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτοί οι παράγοντες εκπομπών έχουν ίδιες τιμές για όλους τους τύπους αμαξοστοιχιών (Υπεραστικό Τρένο παλαιού τύπου, Υπεραστικό Τρένο, Τρένο κινούμενο σε αστική περιοχή). Αυτοί οι συντελεστές εκπομπών παρουσιάζονται στον πίνακα 3-3.

Χώρα	Ρύποι	
	CH <sub>4</sub> [kg/TJ]	N <sub>2</sub> O [kg/TJ]
Τσεχία	4.147	28.581
Ελλάδα	4.190	28.867
Ολλανδία	4.262	0.562

Πίνακας 3-3: Παράγοντες εκπομπής (CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O) για τα τρένα ντιζελ (υπό εκπομπές CRF)

Οι μονάδες αυτών των συντελεστών εκπομπών είναι σε kg/TJ. Προκειμένου να έχουμε έναν συντελεστή εκπομπών σε g/km, πολλαπλασιάσαμε αυτούς τους συντελεστές εκπομπών με τη τιμή 0,042695 TJ/ton που είναι ο συντελεστής μετατροπής από TJ σε τόνο. Στη συνέχεια πολλαπλασιάστηκε με την κατανάλωση των πετρελαιοκίνητων αμαξοστοιχιών (που παρέχονται σε lt/km) προκειμένου να επιτευχθεί συντελεστής εκπομπών σε g/km. Η κατανάλωση καυσίμων των πετρελαιοκίνητων αμαξοστοιχιών παρέχεται σε lt/km, πολλαπλασιάζοντας έτσι με τη τιμή της πυκνότητας πετρελαίου, 0.835 kg/lt. Οι τελικοί συντελεστές εκπομπών είναι διαφορετικοί για κάθε αμαξοστοιχία και βασίζονται



στην κατανάλωση καυσίμου. Ένα δείγμα των τελικών υπολογιζόμενων συντελεστών εκπομπών παρουσιάζεται στον πίνακα 3 4..

Τεχνολογία τρένων	Ρύποι	
	CH <sub>4</sub> [g/km]	N <sub>2</sub> O [g/km]
Υπεραστικό Τρένο παλαιού τύπου	0.28	1.9
Υπεραστικό Τρένο	0.49	3.36
Τρένο κινούμενο σε αστική περιοχή	0.16	1.12
...	...	...

Πίνακας 3-4: Δείγμα των τελικών υπολογιζόμενων συντελεστών εκπομπών (CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O) για τις πετρελαιοκίνητες αμαξοστοιχίες

#### 3.2.2.1.4 CO<sub>2</sub>

Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από τα πετρελαιοκίνητα θα υπολογίζονται με βάση την κατανάλωση καυσίμου για κάθε αμαξοστοιχία. Η μεθοδολογία αυτή παρουσιάζεται λεπτομερώς στον οδηγό απογραφής εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων του ΕΜΕΡ/ΕΕΑ (2013), στο κεφάλαιο "1.Α.3.β.i-iv Εκπομπές καυσαερίων από οδικές μεταφορές". Βάσει αυτής της μεθοδολογίας, η μάζα του CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$E_{CO_2} = 44.011 \times \frac{FC}{12.011 + 1.008 * r_{H:C} + 16.000 * r_{O:C}} \quad \text{Εξ. 2}$$

όπου:

FC: είναι η κατανάλωση καυσίμου του οχήματος

r<sub>H:C</sub>: είναι η αναλογία υδρογόνου προς άνθρακα (η τιμή για το πετρέλαιο είναι 2,00)

r<sub>O:C</sub>: είναι η αναλογία οξυγόνου προς άνθρακα (η τιμή για το πετρέλαιο είναι 0,0)

#### 3.2.2.2 Ηλεκτρικά τρένα, μετρό, τραμ και Τρόλεϊ

##### 3.2.2.2.1 Ιστορικό

Η μεθοδολογία για τα ηλεκτρικά τρένα, το μετρό, τα τραμ και τα τρόλεϊ είναι αρκετά παρόμοια με αυτή που περιγράφηκε παραπάνω. Καθώς όλη η χρησιμοποιούμενη ενέργεια παράγεται από τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας δεν υπάρχει συντελεστής εκπομπών. Χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπών για τη δημόσια παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.





### 3.2.2.2.2 NO<sub>x</sub>, CO και PM

Για τους ρύπους NO<sub>x</sub>, CO και PM χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές εκπομπών ηλεκτρικής παραγωγής κάθε χώρας από τον οδηγό EMEP/EEA. Κατατάχθηκαν με βάση τον τύπο καυσίμου που καταναλώνεται σε κάθε χώρα (δηλαδή τα υγρά καύσιμα, τα στερεά καύσιμα, ο άνθρακας, η βιομάζα, τα αέρια καύσιμα) στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, επειδή η μονάδα αυτών των συντελεστών εκπομπών είναι g/GJ και μετατράπηκαν σε g/kWh χρησιμοποιώντας τη τιμή 277,777 kWh/GJ. Αυτοί οι συγκεκριμένοι συντελεστές εκπομπών ανά χώρα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 5. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτοί οι παράγοντες εκπομπών είναι ειδικοί για κάθε χώρα δεδομένου ότι ο συνδυασμός των καυσίμων που καταναλώνονται σε κάθε χώρα είναι διαφορετικός.

Επιπλέον, το μείγμα χωρών μεταβάλλεται ετησίως, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται μικρές αλλαγές εάν οι συντελεστές εκπομπών υπολογίζονται ετησίως. Για τον υπολογισμό αυτών των συντελεστών εκπομπών χρησιμοποιήθηκαν τα τελευταία διαθέσιμα δεδομένα (δεδομένα 2014).

Χώρα	Ρύποι		
	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	CO [g/kWh]	PM [g/kWh]
Τσεχία	0.77	0.05	0.047
Ελλάδα	0.69	0.05	0.032
Ολλανδία	0.53	0.11	0.068

Πίνακας 3-5: Παράγοντες εκπομπών (NO<sub>x</sub>, CO και PM) για ηλεκτρικά τρένα (πηγή: EMEP / EOX)

Αυτοί οι συντελεστές εκπομπών πολλαπλασιάζονται στη συνέχεια με την κατανάλωση των ηλεκτρικών αμαξοστοιχιών, που παρέχονται σε kWh/h, με αποτέλεσμα οι τελικοί υπολογιζόμενοι συντελεστές εκπομπών να είναι σε g/h. Ένα δείγμα αυτών των παραγόντων εκπομπής, που εξαρτάται μόνο από την ηλεκτρική κατανάλωση, παρουσιάζεται στον πίνακα 3 6.

Τεχνολογία	Κατανάλωση ενέργειας [kWh/h]	Ρύποι		
		NO <sub>x</sub> [g/h]	CO [g/h]	PM [g/h]
Ηλεκτρικά τρένα	4,022	2,778	209.65	126.8
	1,776	1,227	95.59	56
	2,239	1,185	245.15	151.28
	...	...	...	...

Πίνακας 3-6: Δειγμάτων τελικών υπολογιζόμενων συντελεστών εκπομπών (NO<sub>x</sub>, CO και PM) για ηλεκτρικά τρένα

Προκειμένου να έχουμε παράγοντες σε g/km, διαιρούμε με τη μέση ταχύτητα του οχήματος CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O



Για τους ρύπους CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O, ήταν ευκολότερο να καθοριστούν βασικοί συντελεστές εκπομπών ανά χώρα, δεδομένου ότι τα τρία κράτη μέλη (η Τσεχία, η Ελλάδα και η Ολλανδία) ανέφεραν αυτούς τους συντελεστές εκπομπών στους αντίστοιχους πίνακες CRF. Αυτοί οι συντελεστές εκπομπών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-7. Για να χρησιμοποιήσουν αυτούς τους συντελεστές εκπομπών, πολλαπλασιάστηκαν με την κατανάλωση των ηλεκτρικών τρόπων μεταφοράς (σε kWh/h) και με τον αντίστοιχο συντελεστή μετατροπής (0,0036 GJ/kWh) από TJ σε kWh. Έτσι, οι τελικοί συντελεστές εκπομπών είναι σε g/kWh και είναι διαφορετικοί για κάθε αμαξοστοιχία και με βάση την κατανάλωση καυσίμου. Εναδειγματωντελικώνυπολογιζόμενωνσυντελεστώνεκπομπώνπαρουσιάζεταιιστονπίνακα 3-8.

Χώρα	Ρύποι		
	CO <sub>2</sub> [t/TJ]	CH <sub>4</sub> [kg/TJ]	N <sub>2</sub> O [kg/TJ]
Τσεχία	95.56	1.84	1.42
Ελλάδα	107.24	1.25	1.18
Ολλανδία	83.42	4.48	1.19

Πίνακας 3-7: συντελεστές εκπομπών (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> καιN<sub>2</sub>O) για ηλεκτρικά τρένα (υποεκπομπέςCRF)

Τεχνολογία τρένων		Κατανάλωση ενέργειας [kWh/h]	Ρύποι		
			CO <sub>2</sub> [g/h]	CH <sub>4</sub> [g/h]	N <sub>2</sub> O [g/h]
Αμαξοστοιχία	SIEMENS/KRAUSS MAFFEI - EUROSPRINTER-Ελλάδα	4,022	1,552.6	18.03	17.09
Αμαξοστοιχία	SIEMENS - Desiro electric- Ελλάδα	<b>1,776</b>	685.67	7.96	7.55
Ηλεκτρικός Σιδηρόδρομος	Ολλανδία	<b>2,239</b>	672.41	36.14	9.59
...	...	...	...	...	...

Πίνακας 3-8: Δειγμάτων τελικών υπολογιζόμενων συντελεστών εκπομπών (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) για ηλεκτρικά τρένα

### 3.2.3 Παράγοντες στην υπάρχουσα μεθοδολογία

Συνοπτικά, η υπάρχουσα μεθοδολογία χρησιμοποιεί τους ακόλουθους παράγοντες:

#### 3.2.3.1 Οδικές μεταφορές

1. Χαρακτηριστικά του οχήματος: Τύπος (λεωφορεία ή πούλμαν), υποκατηγορίες (τάξεις μεγέθους) και κινητήρες τεχνολογίας (Eurostandards);
2. Καύσιμο (πετρέλαιο, βιοντίζελ και CNG)
3. Μέση ταχύτητα οχήματος
4. Φορτίο.



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

---

### 3.2.3.2 Σιδηροδρομικές μεταφορές

1. Χαρακτηριστικά: τύπος οχήματος (κατασκευαστής, μέγεθος κινητήρα) και κατανάλωση καυσίμου/ενέργεια
2. Συνδυασμός ενέργειας ανά χώρα.

### 3.3 Εισαγωγή νέων παραγόντων

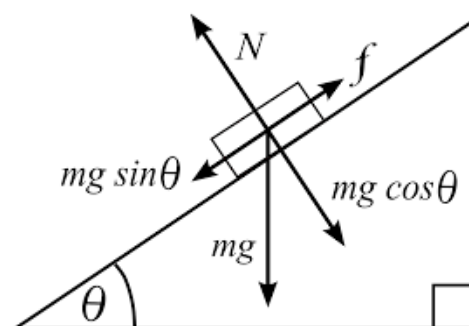
#### 3.3.1 Εισαγωγή

Οι παράγοντες που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, προσφέρουν βασικές εκτιμήσεις. Σε αυτή την ενότητα, θα προσδιοριστούν περισσότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή εκπομπών για να συμπεριληφθούν στην ανάπτυξη του νέου μοντέλου. Με τον τρόπο αυτό, οι τελικές εκτιμήσεις των εκπομπών θα γίνουν ακριβέστερες και ειδικές για συγκεκριμένες περιπτώσεις. Η κύρια ιδέα είναι να προσδιοριστούν παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά των οχημάτων, την ταχύτητα/το πρότυπο οδήγησης ή την κατανάλωση καυσίμου και στη συνέχεια την παραγωγή εκπομπών. Μια συνολική ανάλυση των παραμέτρων και ο ακριβής τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν τις εκπομπές δεν θα παρουσιαστεί εδώ. Η ανάλυση θα ακολουθήσει στα επόμενα τμήματα της έκθεσης. Με βάση αυτά, οι παράμετροι που θα μπορούσαν να αυξήσουν τις εκπομπές είναι οι εξής.

#### 3.3.2 Νέοι παράγοντες

##### 3.3.2.1 Η κλίση του οδοστρώματος

Η κλίση του οδοστρώματος είναι ένα γεωγραφικό χαρακτηριστικό κάθε διαδρομής και μπορεί να διατεθεί μέσω διαφόρων πηγών. Ο κύριος μηχανισμός που επηρεάζει τις εκπομπές είναι μέσω της αύξησης της ισχύος του κινητήρα που απαιτείται για να ξεπεραστούν οι βαρυντικές δυνάμεις που επηρεάζουν το όχημα. Το παρακάτω σχήμα δείχνει πώς οι δυνάμεις που εφαρμόζονται στο όχημα τροποποιούν τη συμπεριφορά του κινητήρα.



Εικόνα 8: Επίδραση της κλίσης

Όπου  $mg$  είναι η βαρυντική δύναμη και  $mg \sin \theta$  η πρόσθετη δύναμη που εφαρμόζεται στο όχημα.



### 3.3.2.2 Φορτίο/Πληρότητα οχήματος

Το φορτίο και ο πληθυσμός του οχήματος επηρεάζει έμμεσα τις εκπομπές και την κατανάλωση καυσίμου/ενέργειας μέσω της αύξησης της μάζας των οχημάτων. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση επιτάχυνσης σε καταστάσεις στάσης και μετάβασης σε βαριά κυκλοφορία. Αυτός ο παράγοντας έχει επιπρόσθετο βάρος σε περίπτωση κλίσης (κατωφέρεια ή ανηφόρα). Διαπιστώθηκε ότι το αποτέλεσμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των οδικών μεταφορών. Για το λόγο αυτό ο διορθωτικός συντελεστής που περιγράφεται στις επόμενες ενότητες εξαρτάται τόσο από το φορτίο και την πληρότητα όσο και από την κλίση.

### 3.3.2.3 Τεχνολογία κινητήρων

Οι νεότεροι τύποι κινητήρων δεν ανταποκρίνονται μόνο στις ανάγκες των χρηστών για μικρότερη κατανάλωση καυσίμου/ενέργειας, αλλά πρέπει επίσης να συμμορφώνονται με τα όρια εκπομπών που ορίζει η νομοθεσία της ΕΕ. Αυτά τα όρια, που καθορίζονται από ειδικούς περιβαλλοντικούς στόχους, αλλάζουν κάθε δύο χρόνια και όλοι οι νέοι κινητήρες που εγκαθίστανται στα οχήματα πρέπει να συμμορφώνονται υπό συγκεκριμένες συνθήκες προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Για το λόγο αυτό, προσδιορίζεται διαφορετικός συντελεστής κατανάλωσης εκπομπών και ενέργειας/καυσίμου κάθε φορά που εφαρμόζεται νέα τεχνολογία στον κινητήρα.

### 3.3.2.4 Αντίσταση αέρα

Μια άλλη παράμετρος που μπορεί να επηρεάσει την κατανάλωση καυσίμου/ενέργειας (και επομένως τις εκπομπές ενός οχήματος) είναι η αντίσταση του αέρα. Η ροή αέρα επί ενός οχήματος μεταδίδει μία αεροδυναμική δύναμη στο όχημα μέσω κατανομής πίεσης και διαμητρικής τάσης που επενεργεί στην επιφάνεια του οχήματος. Με αυτό τον τρόπο, το όχημα, για να ξεπεράσει αυτή τη δύναμη, καταναλώνει περισσότερα καύσιμα. Με βάση αυτό, πρέπει να εισαχθεί διορθωτικός συντελεστής, ο οποίος θα λαμβάνει υπόψη την αντίσταση του αέρα που εξαρτάται από την πυκνότητα αέρα και αέρα.

### 3.3.2.5 Ηλικία και τύπος οδοστρώματος

Η ηλικία και ο τύπος του οδοστρώματος μπορεί να επηρεάσει τις εκπομπές και την κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος μόνο έμμεσα. Χαμηλά επίπεδα εκπομπών μπορούν να επιτευχθούν όταν το όχημα κινείται με σταθερές ταχύτητες. Ένας παλιός και κακώς συντηρημένος δρόμος μπορεί να συσχετιστεί με οδικούς κινδύνους, όπως λακκούβες, ή μερικώς ολοκληρωμένο οδόστρωμα. Όλα αυτά αναγκάζουν τον οδηγό να αλλάξει πορεία, να επιβραδύνει και στη συνέχεια να επιταχύνει, πράγμα που οδηγεί σε ασταθή οδηγική συμπεριφορά και συνεπώς σε αυξημένες εκπομπές και κατανάλωση καυσίμου.



### 3.3.2.6 Χρήση A/C (κλιματισμού)

Η χρήση του A/C διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις εκπομπές ενός οχήματος. Ωστόσο, δεν υπάρχουν πολλές μελέτες για την επίδραση της λειτουργίας A/C. Έτσι, θα πρέπει να εισαχθεί ένας διορθωτικός συντελεστής για την εκτίμηση της πρόσθετης κατανάλωσης καυσίμου/ενέργειας από τη λειτουργία A/C, με βάση τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την υγρασία.

### 3.3.2.7 Κυκλοφορία/συμφόρηση

Οι εξισώσεις της COPERT για τον υπολογισμό των εκπομπών δεν απεικονίζουν απαραίτητως τις μεταβολές εκπομπών σε βαριά κυκλοφοριακή συμφόρηση (δηλ. αδράνεια, επιτάχυνση / επιβράδυνση). Επομένως, συντελεστής διόρθωσης των παραμέτρων πρέπει να προστεθεί και στις εξισώσεις, λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των κινήσεων stop και go, καθώς και του χρόνου αδράνειας.

### 3.3.2.8 Καιρικά φαινόμενα

Εκτός από τον άνεμο που επηρεάζει την αντίσταση του αέρα, τη θερμοκρασία και την υγρασία που επηρεάζει την λειτουργία κλιματισμού, άλλα φαινόμενα καιρού που μπορεί να επηρεάσουν την κατανάλωση καυσίμου είναι οι βροχοπτώσεις (βροχή, χιόνι κ.λπ.) και η ομίχλη. Επιδρούν έμμεσα στην κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος. Οι κακές καιρικές συνθήκες αυξάνουν τη δυσκολία οδήγησης εξαιτίας της χαμηλής ορατότητας (π.χ. ομίχλη, βροχή) ή κακές συνθήκες οδού (δηλαδή χιόνι, βροχή). Οι οδηγοί πρέπει να επιβραδύνουν, να αυξάνουν την κυκλοφορία και να μειώνουν τις ταχύτητες οδήγησης. Αυτή η συμπεριφορά συνδέεται άμεσα με την απόδοση του κινητήρα που οδηγεί σε υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου.

## 3.4 Κατηγοριοποίηση των παραγόντων

Οι νέου παραγόντες χωρίστηκαν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες με βάση τις πηγές τους. Έτσι έχουμε στατικούς και δυναμικούς παράγοντες, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Παράγοντες	Κατηγορία
Χαρακτηριστικά του οχήματος (π.χ. καύσιμο)	Στατικός
Φορτίο	Στατικός / Δυναμικός
Ταχύτητα	Στατικός / Δυναμικός
Κλίση	Στατικός
Τεχνολογία κινητήρα	Στατικός
Τύπος και ηλικία οδοστρώματος	Στατικός
Αντίσταση αέρα	Δυναμικός
Χρήση κλιματισμού (Θερμοκρασία / Υγρασία)	Στατικός / Δυναμικός
Κυκλοφοριακή συμφόρηση	Δυναμικός



Διπλωματική Εργασία:

Υπολογισμός ρύπων στις μεταφορές λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους

Παράγοντες	Κατηγορία
Άλλα καιρικά φαινόμενα	Δυναμικός

Πίνακας 3-9: Κατηγοριοποίηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τις εκπομπές



## 4 Ανάπτυξη διορθωτικών συντελεστών

### 4.1 Εισαγωγή

Η κλίση ενός δρόμου είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις εκπομπές καυσαερίων και την κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος. Έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση ή τη μείωση της αντίστασης ενός οχήματος στην πρόσφυση. Όπως έχει αποδειχθεί κατά την ανάπτυξη λειτουργιών εκπομπής, η ισχύς που απαιτείται κατά τη διάρκεια της οδήγησης, είναι η καθοριστική παράμετρος για την εκπομπή ρύπων ενός οχήματος. Ακόμη και στην περίπτωση των εκτιμήσεων μεγάλης κλίμακας, δεν μπορεί να υποτεθεί ότι - για παράδειγμα - οι επιπλέον εκπομπές που προκύπτουν όταν τα οχήματα μετακινούνται σε ανηφόρα, αντισταθμίζονται από αντίστοιχα μειωμένες εκπομπές όταν ταξιδεύουν σε κατηφόρα. Κατ' αρχήν, οι εκπομπές και η κατανάλωση καυσίμου τόσο των ελαφρών, όσο και των βαρέων οχημάτων επηρεάζονται από την κλίση. Εντούτοις, διαπιστώθηκε ότι η συνολική επίδραση της κλίσης στη συμπεριφορά των ελαφρών οχημάτων (επιβατικά αυτοκίνητα και ελαφρά φορτηγά) ήταν σε ορισμένες περιπτώσεις λιγότερο σημαντική (Keller, Enequoz, Heldstab, & Kessler, 1995), σε σύγκριση με τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα, λόγω του μεγαλύτερου βάρους τους. Η κλίση είναι ένας από τους παράγοντες που σχετίζονται με την εθνική οδό και επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου και τα ποσοστά εκπομπών. Είναι αποδεκτό το γεγονός ότι τα οχήματα καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια και εκπέμπουν υψηλότερες εκπομπές καθώς ταξιδεύουν κατά μήκος των διαβαθμίσεων του οδοστρώματος, ενώ υπάρχει αρκετή βιβλιογραφία που έχει γίνει προσπάθεια μελέτης της επίδρασης της κλίσης των δρόμων στην κατανάλωση καυσίμων και στις εκπομπές.

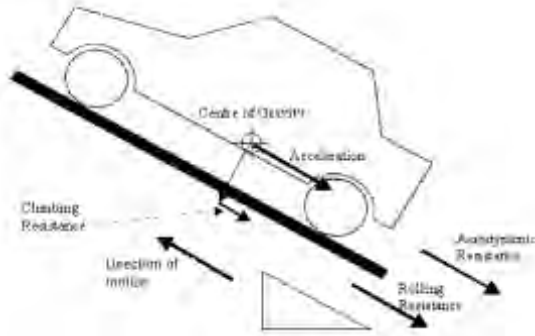
Οι περισσότερες από τις μελέτες επικεντρώνονται σε συγκεκριμένους τύπους οχημάτων, φορτίο, καιρικές συνθήκες κλπ. Έτσι δεν υπάρχουν γενικά αποτελέσματα. Οι (Pierson W., et al., 1994) διεξήγαγαν μια μελέτη, που αποσκοπούσε στην ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των τρόπων οδήγησης, χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο στόλο οχημάτων με τη χρήση μετρήσεων απομακρυσμένων αισθητήρων. Οι συντελεστές εκπομπών για την ανηφόρα και τη κατηφόρα μετρήθηκαν στην περιοχή FortMcHenry με αποτέλεσμα κλίση: 3,76%. Η μελέτη κατέδειξε ότι οι εκπομπές στην ανηφόρα ήταν υψηλότερες από τις εκπομπές στη κατηφόρα με συντελεστές 1,52, 1,86 στις εκπομπές CO και NOx και 2,19 για τους υδρογονάνθρακες εκτός του μεθανίου (NMHC). Άλλα σημεία που μπορούν να αυξηθούν οι εκπομπές ρύπων είναι οι ράμπες όπου έχουμε απότομες επιταχύνσεις. Οι ράμπες έχουν ποικίλα σχέδια που περιλαμβάνουν τους ακόλουθους παράγοντες: καμπυλότητα, μήκος, βοηθητικές λωρίδες, κλίσεις και μήκος, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν διαφορετικές συστοιχίες από ράμπες, σε ποικίλα συνολικά μήκη (Sullivan&Edward, 1993).

Η κλίση της οδού,  $g$  (επί τοις εκατό), μεταξύ δύο σημείων αναφοράς υπολογίζεται ως το εύρος της γωνίας που περιλαμβάνεται μεταξύ των δύο σημείων:



$$g = \frac{e_i - e_{i-1}}{\left(\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}\right)} \times 100$$

Εξ. 3



Εικόνα 9: Υπάρχουσες δυνάμεις σε όχημα που κινείται σε δρόμο με κλίση

όπου  $x$  και  $y$  είναι οι τιμές γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους αυτών των σημείων (σε μέτρα από το σταθμό βάσης),  $e$  είναι η ανύψωση (σε μέτρα). Ο δείκτης  $i$  είναι το σημερινό σημείο αναφοράς και το  $i-1$  είναι το προηγούμενο σημείο αναφοράς (Boriboonsomsin&Barth, 2009).

Η κλίση του δρόμου είναι μια σημαντική μεταβλητή όσον αφορά τις εκπομπές, αλλά μερικές φορές είναι δύσκολο να ληφθεί με μεγάλη ακρίβεια σε σύγκριση με την ταχύτητα και την επιτάχυνση. Πολλές μέθοδοι μέτρησης των οδικών κλίσεων κατοχυρώνονται με διπλώματα ευρεσιτεχνίας, ενώ ορισμένες συσκευές παράγονται και εμπορικά. Ακόμη, έχουν αρχίσει μελέτες όσον αφορά τη μέτρηση των κλίσεων του οδοστρώματος, αλλά οι περισσότερες εμπορικές συσκευές αποτελούνται από επιταχυνσιόμετρα (αποκαλούμενα ως gravity gradiometers) τα οποία μετρούν μόνο τις επιταχύνσεις στο πεδίο βαρύτητας. Αυτές οι συσκευές λειτουργούν αρκετά καλά όταν το όχημα κινείται με σταθερή ταχύτητα ή επιταχύνεται πολύ αργά. Ωστόσο, όταν το όχημα επιταχύνει ή επιβραδύνει, αυτές οι συσκευές μετρούν τις κλίσεις των δρόμων δίνοντας αμφισβητήσιμα αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει επειδή η επιτάχυνση της βαρύτητας και η επιτάχυνση του οχήματος έχουν τις ίδιες φυσικές ιδιότητες, οι αισθητήρες βαρύτητας δεν μπορούν να κάνουν διακρίσεις μεταξύ τους (ParkJ., Kong, Jo, Park, &Lee,2001).

Σύμφωνα με το (Zhang&Frey, 2005), περιγράφηκε μια μέθοδος για την εκτίμηση της κλίσης με βάση την αμφίπλευρη παλινδρόμηση, χρησιμοποιώντας δεδομένα ανίχνευσης φωτός και βαθμονόμησης (LIDAR). Τα δεδομένα LIDAR παρέχουν 3D συντεταγμένες ενός γεωγραφικού σημείου στη γη. Η ειδική ισχύς του οχήματος (VSP) μπορεί να χρησιμοποιηθεί



για τον χαρακτηρισμό των εκπομπών οχημάτων οδικής κυκλοφορίας ανά δευτερόλεπτο βάσει μετρήσεων με φορητά συστήματα παρακολούθησης εκπομπών (PEMS). Το VSP βάσει της ταχύτητας του οχήματος, της επιτάχυνσης και της κλίσης του δρόμου υπολογίζει την απαίτησης ισχύος κινητήρα, δεδομένης της ποιότητας, της αντίστασης κύλισης και της αεροδυναμικής αντίστασης. Ο υπολογισμός του VSP απαιτεί την απόκτηση δεδομένων ταχύτητας, επιτάχυνσης και της κλίσης. Η ταχύτητα και η επιτάχυνση μπορούν να μετρηθούν απευθείας από την PEMS, ενώ η κλίση δεν μπορεί. Από την άλλη πλευρά, η κλίση του δρόμου μπορεί να προσεγγιστεί με τη χρήση δεδομένων GPS (Global Positioning System). Ωστόσο, τα δεδομένα GPS μπορεί να είναι ανακριβή για την προσέγγιση της οδικής ποιότητας εκτός εάν χρησιμοποιείται επαρκώς εξελιγμένο (και δαπανηρό) σύστημα GPS και διαδικασίες ανάλυσης δεδομένων (Zhang&Frey, 2005).

Το 2008, η πρόταση του (Sahlholm, 2008) παρουσίασε μια νέα μέθοδο για την εκτίμηση της κλίσης της οδού που βασίζεται σε αισθητήρες που χρησιμοποιούνται κοινώς στα σύγχρονα βαρέα επαγγελματικά οχήματα. Αναφέρθηκε ότι όταν ένας αυτοκινητόδρομος περιέχει τμήματα με κλίση τόσο απότομα ώστε ένα όχημα να μην μπορεί να διατηρήσει την επιθυμητή ταχύτητα. Το ίδιο συμβαίνει σε μία πολύ απότομη κλίση κατηφόρας που θα επιφέρει υπερβολική ταχύτητα, εκτός εάν χρησιμοποιηθεί το σύστημα πέδησης. Αναφέρεται ότι για να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης καυσίμου είναι απαραίτητο να μειωθεί η ταχύτητα του οχήματος πάνω από τις κορυφές των λόφων και να αυξηθεί μπροστά από απότομα ανοδικά τμήματα. Έτσι, ο αριθμός των απότομων τμημάτων, καθώς και το φορτίο κυκλοφορίας του δρόμου, επηρεάζουν την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου που μπορεί να επιτευχθεί. Ωστόσο, έχουν παρουσιαστεί μόνο θεωρητικές υποθέσεις (Sahlholm, 2008).

Στο παρελθόν, έχουν γίνει πολλές μελέτες σχετικά με το πώς η κλίση ενός δρόμου μπορεί να συμβάλει στην κατανάλωση καυσίμου και στους ρυθμούς εκπομπής ενός οχήματος. Υπάρχουν δημοσιεύσεις που αναφέρονται σε διαφορετικές επιλογές αυτού του θέματος, αλλά καμία, που να εξετάζει όλες τις επιλογές μαζί. Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιαστούν δημοσιεύσεις μελετών με χρονολογική σειρά, εξετάζοντας τις επιπτώσεις της οδικής κλίσης στην κατανάλωση καυσίμου, την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές των διαφόρων τύπων οχημάτων.

Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες μελέτες συνήθως εξετάζουν έναν τύπο οχήματος ή μια ομάδα διαφορετικών τύπων οχημάτων, αλλά υπάρχουν μόνο λίγες από αυτές που αναφέρονται γενικά σε όλα τα οχήματα που δίνουν συμπεράσματα βάσει μέσου όρου. Ως εκ τούτου, διαιρέσαμε τη μελέτη μας σε τρεις βασικές κατηγορίες που αναφέρονται σε μια συγκεκριμένη κλάση οχημάτων, ώστε να μπορούμε να έχουμε ακόμα καλύτερη εικόνα της έρευνάς μας. Κατά τη διάρκεια της ανασκόπησής μας, διαχωρίσαμε τρεις διαφορετικές κατηγορίες που σχετίζονται με την κλάση του οχήματος: (1) έγγραφα και εκθέσεις που εξετάζουν τα LDVs (2) εκείνα που εξετάζουν HDVs (3) αυτά που μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλούς διαφορετικούς τύπους οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο οχήματος (ονομάζεται STV-ειδικός τύπος οχημάτων). Αυτή η τρίτη κατηγορία αναφέρεται επίσης σε



έγγραφα και αναφορές που δίνουν αποτελέσματα σχετικά με τη μέση συμπεριφορά πολλών οχημάτων (π.χ. πειράματα που πραγματοποιούνται σε καθημερινή κυκλοφορία δρόμου).

Για αυτές τις τρεις κατηγορίες παρέχουμε όλες τις πληροφορίες σχετικά με την περίπτωση που αναπτύχθηκε σε κάθε μελέτη: (1) Ο τύπος του εξεταζόμενου δρόμου, είτε είναι ένας επαρχιακός δρόμος είτε ένας αυτοκινητόδρομος. (2) τις συνέπειες που σχετίζονται με την κλίση που μπορεί να αφορά στην (α) Κατανάλωση καυσίμου του οχήματος (FC), (β) τις παραγόμενες εκπομπές και / ή (γ) την ισχύ που απαιτείται για την υπέρβαση της κλίσης. (3) Ο τρόπος με τον οποίο καταλήγουμε στο συμπέρασμα σχετικά με τις συνέπειες των τριών παραπάνω, είτε υπάρχουν π.χ. μαθηματικές εκφράσεις που απέδειξαν ότι υπάρχει αντίκτυπος σε αυτές λόγω της κλίσης, είτε υπήρξαν πειράματα που έδωσαν δεδομένα σχετικά με αυτές τις συνέπειες (δείτε την επόμενη εικόνα).

Μέσα από όλες αυτές τις μελέτες και χρησιμοποιώντας αυτή την κατηγοριοποίηση, καταφέραμε να καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα σχετικά με τη σχέση της κλίσης με την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές που παράγονται από τα οχήματα.

#### 4.1.1 Βασικές παράμετροι - Χαρακτηριστικά του οχήματος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή εκπομπών στην περίπτωση των οδικών μεταφορών είναι ο τύπος οχημάτων, το καύσιμο, η τεχνολογία κινητήρων και η ταχύτητα. Ωστόσο, δεν είναι απόλυτα ανεξάρτητοι παράγοντες, δεδομένου ότι η επιλογή του κινητήρα σχετίζεται με τη χρήση κάθε οχήματος. Για παράδειγμα, μπορούμε να αναφερθούμε στα διαφορετικά πρότυπα οδήγησης ενός λεωφορείου σε σχέση με ένα αστικό λεωφορείο. Και οι δύο απαιτούν μεγάλους κινητήρες που εστιάζουν στην κατανάλωση καυσίμου και όχι στην απόδοση. Επιπλέον, ένας προπονητής έχει διαφορετικό μοτίβο οδήγησης από το λεωφορείο. Ο κινητήρας ενός πούλμαν πρέπει να σχεδιάζεται κατά τρόπο ώστε να μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές κατά την οδήγηση σε σχετικά μεγάλες ταχύτητες.

Ο κινητήρας αστικών λεωφορείων, από την άλλη πλευρά, πρέπει να βελτιστοποιηθεί σε καταστάσεις στάσης και μετάβασης και σε χαμηλές ταχύτητες. Γι' αυτόν τον λόγο λειτουργούν εντελώς διαφορετικά, επομένως η κατανάλωση καυσίμου και ο συντελεστής εκπομπών είναι τελείως διαφορετικοί για αυτές τις κατηγορίες οχημάτων. Εκτός αυτού, οι κατασκευαστές υποχρεούνται να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς εκπομπών που έχουν θεσπιστεί από την ΕΕ. Τα αυστηρότερα όρια εκπομπών βελτιώνουν τους κινητήρες και τα χαρακτηρίζονται βάση του προτύπου EURO. Επιπλέον, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, το δίκτυο κάθε χώρας είναι αρκετά περίπλοκο και ίσως δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε τον ακριβή τύπο οχήματος που χρησιμοποιείται σε κάθε διαδρομή οποιαδήποτε συγκεκριμένη ώρα.



Προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτές οι δυσκολίες, καθορίστηκαν οι μέσες κατηγορίες οχημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελλείψει λεπτομερέστερων στοιχείων (βλέπε πίνακα 2 15) και οι εκπομπές θα υπολογίζονται με βάση είτε τη δραστηριότητα του οχήματος είτε τη διαθέσιμη μεθοδολογία για όλους τριών χωρών (Τσεχία, Ελλάδα και Ολλανδία).

Πιο συγκεκριμένα:

- Για τις οδικές μεταφορές (λεωφορεία και πούλμαν) ο μέσος συντελεστής εκπομπών υπολογίστηκε με βάση τη δραστηριότητα για κάθε χώρα όπως αναφέρεται στο TRACCS [17]. Για να παραχθεί ο συντελεστής εκπομπών για κάθε ταχύτητα οχήματος χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση.

$$\overline{\text{Συντελεστής εκπομπών}}_{i,j} = \frac{\sum \text{Συντελεστής εκπομπών}_{i,j} \times \text{Δραστηριότητα}_i}{\sum \text{Δραστηριότητα}_i} \quad \text{Εξ. 4}$$

όπου j: ταχύτητα και i: τύπος οχήματος.

#### 4.1.2 Βασικοί παράμετροι-Ταχύτητα οχήματος

Η ταχύτητα μπορεί να είναι μια στατική παράμετρος ή μια δυναμική, εάν είναι διαθέσιμες πληροφορίες πραγματικού χρόνου. Η ταχύτητα του οχήματος επηρεάζει τις εκπομπές με διάφορους τρόπους, είτε άμεσα είτε έμμεσα. Για τα πούλμαν και τα λεωφορεία, το αποτέλεσμα είναι άμεσο, που σημαίνει ότι η τιμή του συντελεστή εκπομπών υπολογίζεται από μια συνάρτηση που απαιτεί την ταχύτητα ως είσοδο. Ωστόσο, για τους άλλους τρόπους μεταφοράς, η επίδραση της ταχύτητας είναι έμμεση μέσα από τον απαιτούμενο χρόνο για τη διέλευση της αναγκαίας απόστασης για την εν λόγω διαδρομή. Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, η μεθοδολογία περιλαμβάνει όχι μόνο τον συντελεστή εκπομπών σε g / km αλλά και σε g / h. Ο χρόνος ταξιδιού, ο οποίος εξαρτάται από την ταχύτητα του οχήματος, επηρεάζει έμμεσα τις εκπομπές.

Οι ταχύτητες οχημάτων που βασίζονται σε στατιστικά δεδομένα συλλέγονται μέσω των χρηστών του φορητού συστήματος GYM ή μπορούν να υπολογιστούν με βάση τα χρονοδιαγράμματα και την απόσταση μετακίνησης και θα αποθηκευτούν στη βάση δεδομένων.

Η ταχύτητα του οχήματος σε πραγματικό χρόνο μπορεί να υπολογιστεί με την ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο των θέσεων του οχήματος. Αυτό έχει σχεδιαστεί και ενσωματωθεί στη βάση δεδομένων GYM, μέσω της συμπεριληψής του "GTFS-RT" (πραγματικού χρόνου) πίνακα "θέσεις του οχήματος". Η υποδομή βρίσκεται στη θέση της, για να λάβετε οποιαδήποτε συστήματα επιλέγουν να συνδεθούν με την πλατφόρμα GYM.

Παρόλο που η ταχύτητα του οχήματος είναι στην πραγματικότητα ένας δυναμικός παράγοντας, μπορεί να μην υπάρχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τον ακριβή



υπολογισμό των εκπομπών. Ωστόσο, οι στατιστικές πληροφορίες είναι πάντοτε διαθέσιμες έτσι ώστε να είναι δυνατή η επιλογή της κατάλληλης τιμής.

#### 4.1.3 Η κλίση του οδοστρώματος

Ο οδηγός απογραφής εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων COPERT και EMEP / EEA [3] περιλαμβάνει ήδη μια λεπτομερή μεθοδολογία που υπολογίζει τους επικαιροποιημένους συντελεστές εκπομπών ως συνάρτηση της κλίσης του δρόμου. Οι παράγοντες εκπομπής προέκυψαν από λεπτομερή μοντελοποίηση των οχημάτων. Ωστόσο, για να καταστεί η νέα μεθοδολογία συνεπής για όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές, πρέπει να γίνουν αλλαγές στη μεθοδολογία. Η κλίση του δρόμου επηρεάζει τη μεθοδολογία μέσω διορθωτικού συντελεστή. Προκειμένου να ληφθεί ο διορθωτικός συντελεστής από την τρέχουσα μεθοδολογία COPERT, χρειάστηκε να επανεξεταστεί η μεθοδολογία, να υπολογιστούν εκ νέου όλοι οι συντελεστές εκπομπών και να προκύψει νέος διορθωτικός συντελεστής εφαρμόζοντας την ακόλουθη εξίσωση.

$$\text{Κλίση}CC_{i,j} = \frac{\text{Συντελεστής εκπομπών}_{i,j}}{\text{Συντελεστής εκπομπών}_{i,0\%}} \quad \text{Εξ. 5}$$

όπου  $i$  είναι ο τύπος οχήματος και  $j$  η κλίση του δρόμου. Αυτός ο διορθωτικός συντελεστής θα υπολογιστεί σύμφωνα με την εξίσωση Εξ. 4

Η μεθοδολογία για την τροποποίηση των εκπομπών και της κατανάλωσης καυσίμων έχει εφαρμοστεί στις οδικές μεταφορές και πιο συγκεκριμένα στα λεωφορεία και τα πόρτλαντ.

Τα δεδομένα της οδικής κυκλοφορίας υπολογίζονται με τη χαρτογράφηση των οδικών και σιδηροδρομικών δικτύων σε σχέση με το υψομετρικό μοντέλο της Ελλάδας. Οι αναπτυγμένες διαδικτυακές υπηρεσίες παρέχουν μεθόδους για να εξαχθούν οι τιμές μεταξύ δύο ή περισσότερων γνωστών γεωγραφικών σημείων (μέσω παραμέτρων γεωγραφικού μήκους / γεωγραφικού πλάτους) ή μεταξύ δύο ή περισσότερων γνωστών στάσεων μεταφοράς.



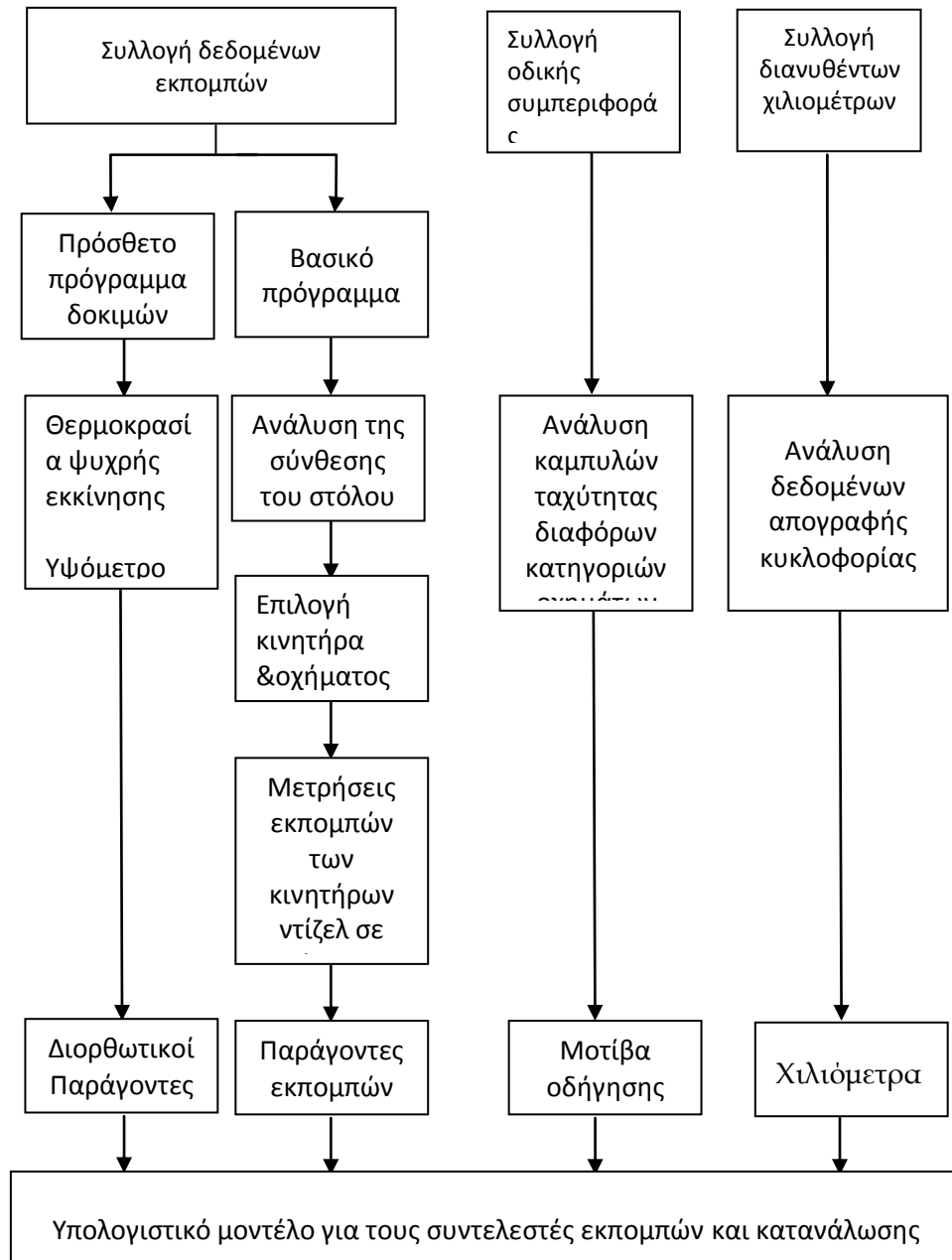
#### 4.1.4 Ανασκόπηση της έρευνας σχετικά με την παράμετρο κλίσης

##### Βαρέα οχήματα (HDV)

Ο (Jest, Hassel, & Sonnborn, 1995) εισήγαγε μια νέα μέθοδο για την ανάπτυξη ρεαλιστικών συναρτήσεων εκπομπών για βαρέα φορτηγά και λεωφορεία, ανεξάρτητα από την συμπεριφορά οδήγησης. Αυτή η μέθοδος βελτίωσε μια προηγούμενη μέθοδο που αναπτύχθηκε πριν από 10 χρόνια από την TiiVRheinland, για την αντιπροσώπευση της συμπεριφοράς εκπομπών βαρέων επαγγελματικών οχημάτων, βάσει σταθερών κινητικών χαρτών, δεδομένων οχημάτων και καμπύλων οδήγησης (Hassel, Brosthaus, Dursbeck, Jost, Sonnborn & Rheinland, 1983). Η μελέτη επικεντρώθηκε σε πειράματα σε αστικούς και εθνικούς δρόμους. Οι εκπομπές των καυσαερίων και η κατανάλωση καυσίμου 34 διαφορετικών κινητήρων ντίζελ μετρήθηκαν σε δυναμικούς σταθμούς δοκιμών κινητήρα. Η συμπεριφορά εκπομπών καυσαερίων σε περισσότερους από 300 διαφορετικούς τύπους φορτηγών και λεωφορείων θα μπορούσε να προσομοιωθεί με βάση μια νέα μέθοδο. Αυτή η νέα μέθοδος επέτρεψε τον προσδιορισμό των παραγόντων εκπομπής καυσαερίων και κατανάλωσης καυσίμου για ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών κλιμάκων, από τη προσομοίωση εκπομπών για ένα μόνο όχημα μέχρι τις συνολικές εκτιμήσεις εκπομπών. Επίσης, βρέθηκαν συγκεκριμένα αποτελέσματα για τις εκπομπές, αλλά όχι για την κατανάλωση καυσίμου ή τις απαιτήσεις ισχύος των δοκιμαζόμενων οχημάτων. Τέλος, για να καταλήξουν στις παρακάτω εκφράσεις χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά αποτελέσματα και όχι μαθηματικές εκφράσεις.

Το Πρόγραμμα Παράγοντας Εκπομπών χρηματοδοτήθηκε από το Γερμανικό Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος (UBA) στο Βερολίνο και από την Swiss Environmental Protection Agency (BUWAL) στη Βέρνη. Η διάρκεια του Έργου ήταν 5 χρόνια. Το όλο έργο χωρίστηκε σε τρία μέρη

- συλλογή δεδομένων εκπομπών, που εκπονήθηκαν από την Tii VR heinland, το Kiiln,
- συλλογή στοιχείων συμπεριφοράς οδήγησης, που διεξάγονται από την FIGEGmbH, Herzogenrath,
- συλλογή δεδομένων σχετικά με τα χιλιόμετρα του οχήματος, που εκπονήθηκε από την Heusch-Boesefeldt, Aachen



Εικόνα 10: Δομή του έργου για τον προσδιορισμό του παράγοντα εκπομπής βαρέων φορτίων

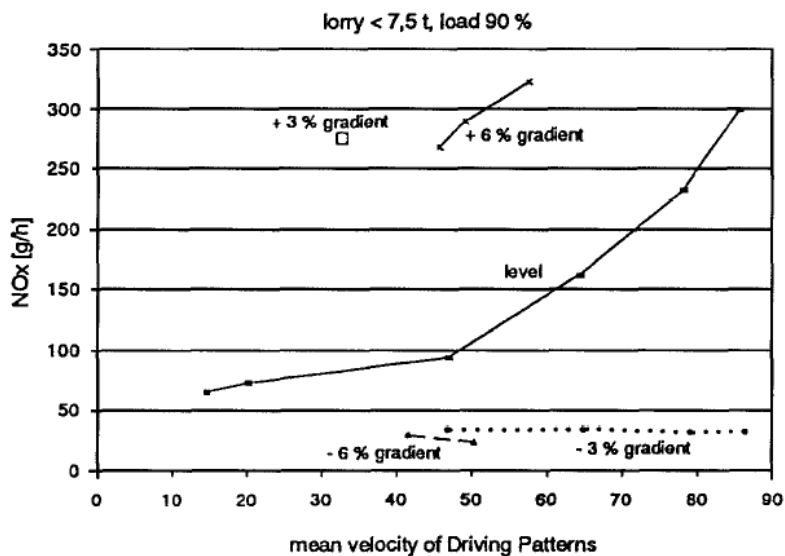
[Σχήμα 1, (Jest, Hassel, & Sonnbrn, 1995)]

Το αποτέλεσμα της ανάλυσης ήταν ο προσδιορισμός των κατηγοριών που καλύπτουν το σύνολο του στόλου βαρέων φορτηγών στη Γερμανία και την Ελβετία. Κάθε κατηγορία οχημάτων χωρίστηκε σε



πέντε έως επτά κατηγορίες μαζών και κάθε κατηγορία μαζών κατατάχθηκε σε τέσσερις κατηγορίες τύπου αμαξώματος. Επιπλέον, κάθε κατηγορία αμαξώματος χωρίστηκε σε δύο ομάδες μοντέλου χρονολογίας. Ο συνολικός αριθμός επιπέδων για το γερμανικό στόλο ήταν 157 και για τον ελβετικό στόλο 72. Όπως προαναφέρθηκε, όλα αυτά τα επίπεδα θα μπορούσαν να καλυφθούν από 300 διαφορετικούς τύπους βαρέων επαγγελματικών οχημάτων. Η βασική ιδέα για το μοντέλο εκπομπών είναι το γεγονός ότι οι εκπομπές ενός οχήματος είναι ανάλογες με την ισχύ του κινητήρα.

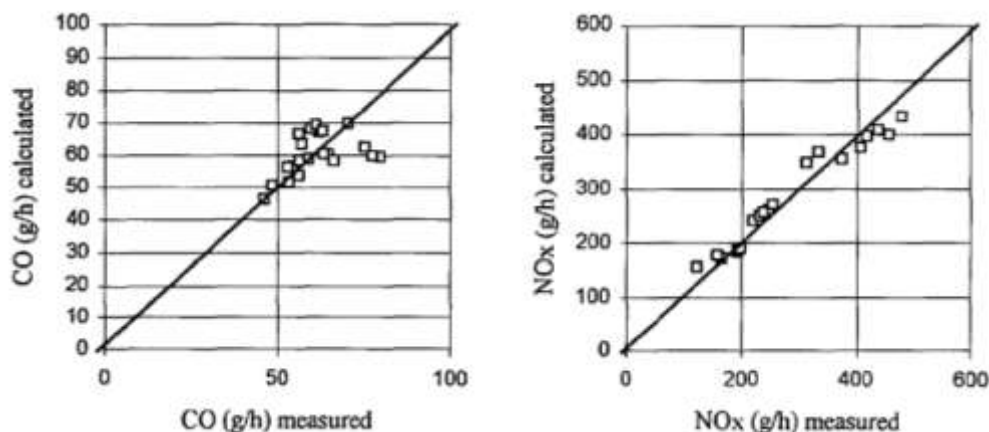
Το παρακάτω σχήμα δείχνει, ως παράδειγμα, τους συντελεστές εκπομπών NOx για μία κατηγορία (φορτηγό <7,5 τόνους, φορτίο 90%) ως συνάρτηση της μέσης ταχύτητας των μοτοσυκλετών και των κλίσεων των οδών.



Εικόνα 11: NO - εκπομπές και κλίση οδού, κατηγορία: φορτηγό <7,5 τόνους, φορτίο 90% [Σχήμα 4, (Jest, Hassel, & Sonnbrn, 1995)]

Προκειμένου να αξιολογηθεί το μοντέλο εκπομπών, διεξήχθη πρόγραμμα επαλήθευσης, κατά τη διάρκεια του οποίου εξετάστηκαν τρία επαγγελματικά οχήματα, ένα όχημα διανομής, ένα αστικό λεωφορείο και ένα λεωφορείο. Για το σκοπό αυτό, τα τρία οχήματα διενεργήθηκαν στη δυναμομετρική πλατφόρμα, δοκιμές και μετρήθηκαν εκπομπές στο Ινστιτούτο Μηχανών Εσωτερικής Καύσης και Θερμοδυναμικής στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο του Graz, ακολουθώντας τα μοτίβα οδήγησης στην Ελβετία κατά τη διάρκεια πραγματικών διαδρομών. Στη συνέχεια οι κινητήρες αφαιρέθηκαν και τοποθετήθηκαν στον πάγκο δοκιμών κινητήρων και καταγράφηκαν τα δεδομένα εκπομπών. Με αυτά τα σύνολα δεδομένων ήταν δυνατόν να προσδιοριστούν οι λειτουργίες εκπομπών για κάθε όχημα. Έτσι, οι εκπομπές των οχημάτων θα μπορούσαν να υπολογιστούν για κάθε δοκιμή που οδηγείται στη δυναμομετρική πλατφόρμα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 17, η σχέση μεταξύ υπολογισμού και μέτρησης είναι ικανοποιητική για τα CO και NOx. Για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και η κατανάλωση καυσίμων είναι ακόμη καλύτερη, ενώ η σχέση για HC και σωματίδια είναι παρόμοια με αυτή της CO.





Εικόνα 12: Σύγκριση μεταξύ υπολογισμένων και μετρούμενων εκπομπών CO και NO

[Σχήμα 5, (Jest, Hassel, & Sonnbrn, 1995)]

Αυτό το μοντέλο έδωσε τη δυνατότητα για πρώτη φορά να διαχωρίσει τα δεδομένα εκπομπών (σταθερές δοκιμές κινητήρα και διορθωτικός συντελεστής δυναμικής δοκιμής κινητήρα) από τα δεδομένα της συμπεριφοράς οδήγησης.

Το 1996, η μελέτη του WilliamR. Pierson, του AlanW. Gertler, του NormanF. Robinson, του JohnC. Sagebiel, της BarbaraZielinska, του GaryA. Bishop, του DonaldH. Stedman, του RoyB. Zweidinger και του WilliamD. Ray (κατά την παρουσίαση των ελαφρών φορτηγών οχημάτων) έκαναν μετρήσεις των εκπομπών των οχημάτων με κινητήρα σε ορεινές σήραγγες και παρουσίασαν κάποια πειραματικά αποτελέσματα (PiersonWR, etal., 1996). Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στις σήραγγες ενός αυτοκινητόδρομου (όχι αστικής περιοχής) και εξέτασε τις εκπομπές που παράγουν τα οχήματα σε διαφορετικές σήραγγες και κλίσης. Όλα τα δεδομένα που παρουσιάζονται παρακάτω είναι αποτελέσματα πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στις σήραγγες. Δεν χρησιμοποιήθηκαν μαθηματικές εκφράσεις για τον υπολογισμό εκπομπών και δεν έγινε αναφορά στην μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου ή στις απαιτήσεις ισχύος των οχημάτων.

Οι εκπομπές μηχανοκίνητων οχημάτων σε CO, NO, NOx και αέριας φάσης που καθορίστηκαν με υδρογονάνθρακες και ενώσεις καρβονυλίου, εκτός του μεθανίου, μετρήθηκαν το 1992 στη σήραγγα Fort McHenry κάτω από το λιμάνι του Baltimore και στην ορεινή σήραγγα Tuscarora του Pennsylvania Turnpike. Και οι δύο σήραγγες αποτελούν υψηλής ταχύτητας δοκιμές, με σταθερό μέτρο. Τα αυτοκίνητα και στις δύο τοποθεσίες τείνουν να είναι νεότερα από ό, τι αλλού (μέση ηλικία <4 έτη) και πολύ καλύτερα διατηρημένα, όπως κρίνονται από τις χαμηλές αναλογίες CO / CO<sub>2</sub> και άλλα χαρακτηριστικά εκπομπών. Η σήραγγα του βουνού Tuscarora ήταν επίπεδη, ιδανική για τη μελέτη μοντέλων εκπομπών αυτοκινήτων, ενώ στην υποθαλάσσια σήραγγα Fort McHenry η επίδραση της κλίσης του οδοστρώματος μπορούσε να ληφθεί υπόψη.



Η επίδραση της κλίσης οδοστρώματος στις εκπομπές ήταν μεγάλη (τόσο μεγάλη όσο και στην κατανάλωση του καυσίμου ή και μεγαλύτερη). Σε γενικές γραμμές, οι εκπομπές που εκτιμώνται σε ανηφόρα (κλίση 0 έως + 3,76%, μέσος όρος + 3,3%) ήταν διπλάσιοι σε σχέση με εκείνες σε κατηφόρα (0 έως - 3,76%, μέσος όρος - 1,8%). Τα παρακάτω αποτελέσματα αφορούν τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα, καθώς τα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα όπως έχουν παρουσιαστεί προηγουμένως. Στον Πίνακα 7 και στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα

	βαρέα επαγγελματικά οχήματα	
	ανηφόρα	κατηφόρα
CO <sub>2</sub> mi <sup>-1</sup>	897 ± 48	1897 ± 168
CO g mi <sup>-1</sup>	6.8 ± 1.5	14.3 ± 5.5
NMHCmi <sup>-1c,d</sup>	0.92 ± 0.21	2.55 ± 1.05
Formaldehyde mi <sup>-1</sup>	0.039 ± 0.008	0.075 ± 0.022
NO g×mi <sup>-1</sup> as NO <sub>2</sub> <sup>e</sup>	8.73 ± 0.33	20.2 ± 1.0
NO <sub>x</sub> g×mi <sup>-1</sup> as NO <sub>2</sub> <sup>e</sup>	9.66 ± 0.32	22.5 ± 1.0
Mi×gal <sup>-1f</sup>	10.1 ± 0.5	4.8 ± 0.4

Πίνακας 4-1: Επίδραση κλίσης. Οι εκπομπές σε κατηφόρα και ανηφόρα στη σήραγγα του Fort McHenry, Ιούνιος 1992 [Πίνακας 3, (Pierson W.R., et al., 1996)]

όπου:

βαρέα επαγγελματικά οχήματα	λεωφορεία και βαρέα φορτηγά, κυρίως ντίζελ
c:	πιθανώς 10-20%
d:	υπολογίζεται με την υπόθεση του εμπειρικού τύπου C <sub>n</sub> H <sub>1.825n</sub>
e:	υπολογίζεται από mol×mi <sup>-1</sup> με τη χρήση μοριακού βάρους NO <sub>2</sub> (το μοριακό βάρος βοηθά στην αλλαγή μεταξύ γραμμάρια και mols όταν χρειάζεται).
f:	υπολογίζεται από το συνολικό ποσοστό εκπομπών άνθρακα (ΣCO <sub>2</sub> + CO + organics), υποθέτοντας τον εμπειρικό τύπο



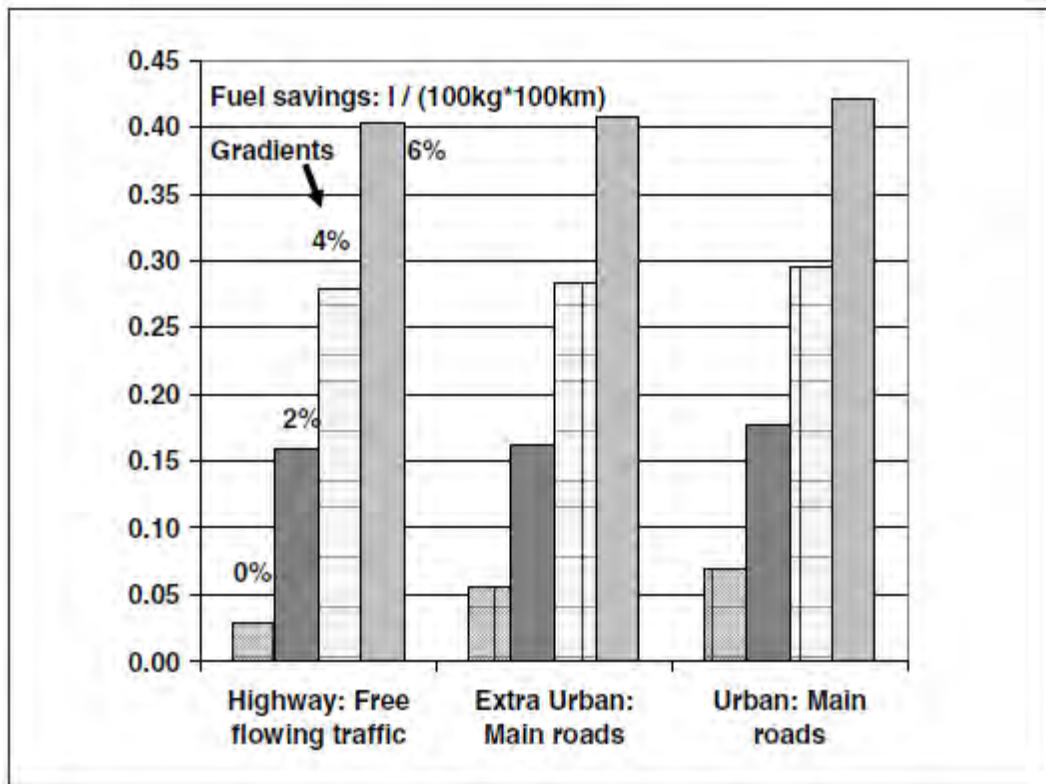
	$C_nH_{1.825n}$ για βενζίνη και $C_nH_{2n}$ για καύσιμο ντίζελ, και υποθέτοντας πυκνότητα βενζίνης $0,7406 \text{ gcm}^{-3}$ (καύσιμο δοκιμής βλέπε Stumpetal. , 1992) και πυκνότητα καυσίμου ντίζελ $0.77331$ (κετάνιο).
--	---

	βαρέα επαγγελματικά οχήματα		
	Fort McHenry		
	ανηφόρα	κατηφόρα	επίπεδο
CO <sub>2</sub>	9043	9029	9163
CO	68 ± 15	68 ± 26	35 ± 9
NMHC	9 ± 2	12 ± 5	4 ± 1
HCHO	0.40 ± 0.08	0.35 ± 0.11	0.25 ± 0.04
NO <sub>x</sub>	97 ± 3	107 ± 5	112 ± 5

Πίνακας 4-2: ρυθμοί εκπομπών καυσίμου ( $\text{g} \times \text{gal}^{-1}$ ): επίδραση της κλίσης οδοστρώματος [Πίνακας 6, (Pierson W. R., et al., 1996)]

Το 2006, οι Hinrich Helms και Udo Lambrecht παρουσίασαν τη σχέση μεταξύ βάρους οχήματος και κατανάλωσης ενέργειας (ή κατανάλωσης καυσίμου, δεδομένου ότι είναι γραμμικά συσχετισμένοι) (Helms&Lambrecht, 2006). Οι διαθέσιμες εκτιμήσεις και τα δεδομένα μετρήσεων για τα οχήματα εδάφους καθώς για τα αεροσκάφη και για τα ταχύπλοα έχουν αναλυθεί σε σχέση με τα όρια και τις μεθοδολογίες του συστήματος μέσω πειραμάτων. Δεν παρουσιάστηκαν μαθηματικές εκφράσεις και δεν δόθηκαν αποτελέσματα από τις απαιτήσεις ισχύος και από τις μεταβολές στις εκπομπές. Γενικά, η κατανάλωση ενέργειας των οχημάτων οφείλεται στους παράγοντες φυσικής αντίστασης που πρέπει να ξεπεράσει το όχημα κατά τη λειτουργία του. Η αντίσταση κλίσης είναι ανάλογη της μάζας και της κλίσης.

Τα πειράματα διεξήχθησαν σε διαφορετικούς τύπους αυτοκινητοδρόμων και αστικών οδών λαμβάνοντας επίσης υπόψη τα αποτελέσματα της κατανάλωσης καυσίμων λόγω της συσχέτισης μεταξύ κλίσης και τύπου δρόμου. Οι τιμές προσομοίωσης για την εξοικονόμηση καυσίμου στο Νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης (NEDC) με ρυθμίσεις στην περιοχή μετάδοσης του οπισθίου άξονα από  $0,34$  έως  $0,48 \text{ l} / (100 \text{ km} * 100 \text{ kg})$  για βενζινοκίνητα αυτοκίνητα μπορούν να φθάσουν ακόμα και σε  $0,510 \text{ l} / (100 \text{ km} * 100 \text{ kg})$  σε περίπτωση πιο επιθετικής οδήγησης. Παρόμοιο επίπεδο εξοικονόμησης καυσίμου υποδεικνύεται επίσης από άλλες πηγές, π.χ. (Schmidt, κ.ά., 2004):  $0,38 \text{ l} / (100 \text{ km} * 100 \text{ kg})$ . Η εξοικονόμηση καυσίμων για τα οχήματα ντίζελ είναι ελαφρώς χαμηλότερη, από  $0,29$  έως  $0,33 \text{ l} / (100 \text{ km} * 100 \text{ kg})$  στο NEDC (Eberle 2000).



Εικόνα 13: Εξοικονόμηση καυσίμου για αρθρωτά φορτηγά σε διαφορετικές καταστάσεις κυκλοφορίας και για διαφορετικές κλίσεις [Σχήμα 1, (Helms&Lambrecht, 2006)]

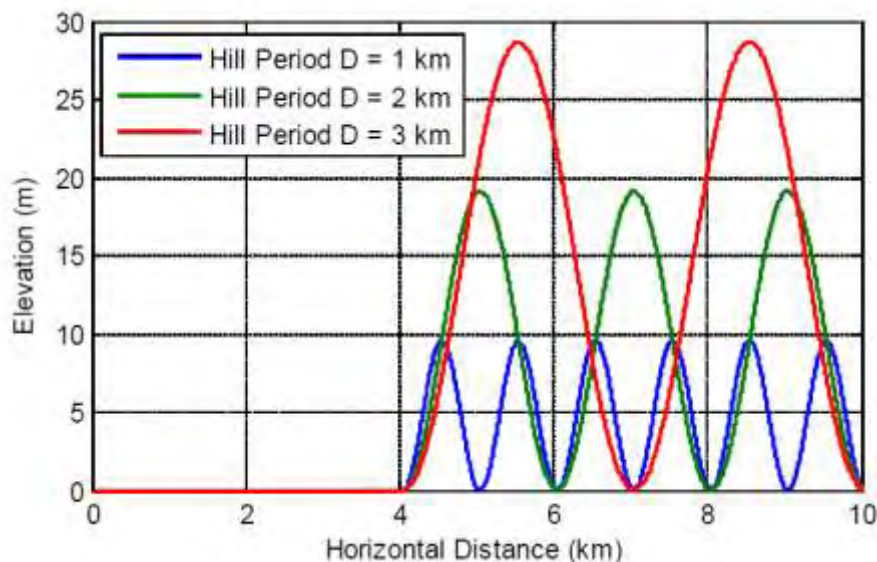
Η εξοικονόμηση καυσίμων σε επίπεδο αυτοκινητόδρομο είναι περίπου 0,03 l ανά 100 km για μείωση βάρους 100 kg, αλλά μπορεί να υπερβεί τα 0,1 l / (100 km \* 100 kg) σε καταστάσεις αστικής κυκλοφορίας, λόγω συχνών επιταχύνσεων. Η εξοικονόμηση καυσίμων είναι πολύ υψηλότερη σε ανηφορικούς δρόμους: για κλίση 2% σε αυτοκινητόδρομο, η εξοικονόμηση καυσίμων είναι περίπου 5 φορές υψηλότερη, με κλίση 4% σχεδόν 10 φορές υψηλότερη σε σχέση με επίπεδο δρόμο. Για κατηφορικές διαδρομές δεν έχει βρεθεί σημαντική αλλαγή στην εξοικονόμηση καυσίμου που προκαλείται από το βάρος (Σχήμα 18).

Προκειμένου να επιτευχθεί μέση εξοικονόμηση καυσίμου για αρθρωτά φορτηγά, τα διαφοροποιημένα στοιχεία εξοικονόμησης καυσίμου σταθμίστηκαν σύμφωνα με τις μέσες χιλιομετρικές τιμές για την κυκλοφοριακή κατάσταση και τις κλίσεις στη Γερμανία. Η Γερμανία έχει επιλεγεί λόγω της κεντρικής θέσης της, των ορεινών τμημάτων της και των επίπεδων δρόμων της. Η μέση εξοικονόμηση καυσίμου για τα αρθρωτά φορτηγά είναι περίπου 0,06 λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα για μείωση βάρους 100 κιλών.

Το 2009, οι Delorme, Dominik Karbowski και Phil Sharer συνέταξαν έκθεση σχετικά με την αξιολόγηση του δυναμικού κατανάλωσης καυσίμου των μέσων και βαρέων επαγγελματικών οχημάτων μέσω της μοντελοποίησης και προσομοίωσης στους οδικούς άξονες (Delorme, Karbowski, & Sharer, 2009). Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, τέσσερα οχήματα μοντελοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν: Φορτηγό φορτοεκφόρτωσης, φορτηγό οχημάτων, φορτηγά transit και φορτηγά με συρμό. Όλα τα αποτελέσματα βγήκαν μέσα από αυτά τα πειράματα και όχι με τη χρήση μαθηματικών εκφράσεων. Επίσης, στην παρούσα μελέτη δεν παρουσιάστηκαν αποτελέσματα σχετικά με τις εκπομπές και τις απαιτήσεις ισχύος.

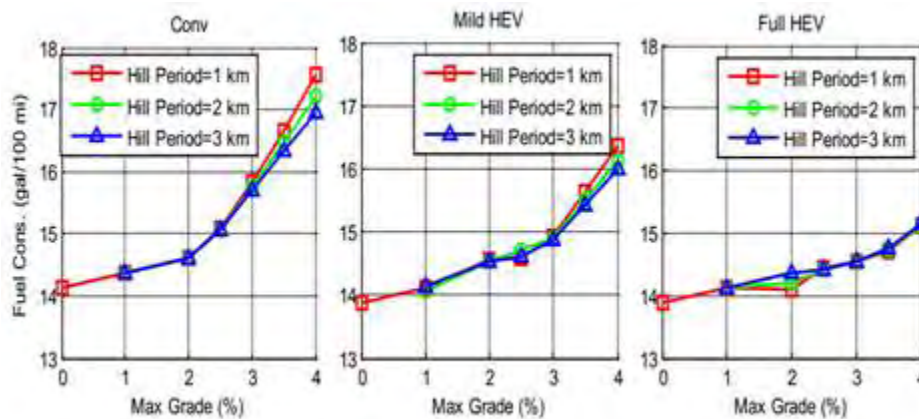
Λόγω της έλλειψης πραγματικών δεδομένων οδήγησης που περιλαμβάνουν την κλίση και να απεικονίζουν τα πιθανά οφέλη της υβριδοποίησης σε ένα "λοφώδες" έδαφος, δημιουργήθηκαν εξιδανικευμένα ημιτονοειδή οδικά χαρακτηριστικά. Η ανύψωση ενός τέτοιου δρόμου ήταν μια ημιτονοειδής λειτουργία της οριζόντιας απόστασης, με μια περίοδο "λόφου" κυμαινόμενη μεταξύ 1 και 3 χλμ. Οι μέγιστες κλίσεις επίσης κυμαίνονταν από 0 έως 4% , ενώ αναλύθηκαν όλοι οι συνδυασμοί μέγιστης κλίσης και περιόδου.

Η εικόνα 19 δείχνει ένα παράδειγμα μεταβολής ανύψωσης ως συνάρτηση της οριζόντιας απόστασης για δρόμους με τις ίδιες μέγιστες κλίσεις αλλά με διαφορετικές περιόδους λόφων. Η περίοδος του λόφου μπορεί να θεωρηθεί ως διπλάσια από την κατά προσέγγιση απόσταση που διανύθηκε μεταξύ του πυθμένα του λόφου ("κοιλιάδα") και της κορυφής του λόφου ("κορυφή"). Η ταχύτητα του οχήματος ήταν 60 μίλια / ώρα. Η μέγιστη θετική κλίση είχε επιτευχθεί κατά το ήμισυ της καμπύλης και η μέγιστη αρνητική κλίση στο μισό μεταξύ της "κορυφής" και της "κοιλιάδας" - υπάρχει μια (οριζόντια) διαφορά φάσης ενός τετάρτου μιας περιόδου μεταξύ της κλίσης και της ανύψωσης .



Εικόνα 14: Διατημηματική όψη δρόμων με τον ίδιο ανώτατο όριο (3%), σε 3 διαφορετικές περιόδους λόφων [Εικόνα 38, (Delorme, Karbowski, & Sharer, 2009)]

Το σχήμα 20 δείχνει την κατανάλωση καυσίμου των τριών περιπτώσεων των φορτηγών σε διάφορους λόφους. Με κλίση 1%, δεν χρειάζεται να φρεναρίει ο οδηγός για να παραμείνει στα 60 mph και δεν είναι δυνατή η αναδρομική πέδηση, έτσι τα κέρδη υβριδισμού είναι περιορισμένα. Σε κλίση 2%, υπάρχει κάποια περιορισμένη ποσότητα φρεναρίσματος, αλλά ακόμη και με πλήρη ρυθμό, η ανάκτηση ενέργειας δεν επαρκεί για την παροχή ενέργειας για το πρόσθετο φορτίο. Η αντιστάθμιση φορτίου είναι δύσκολο να επιτευχθεί σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας και ενδέχεται να προκύψει φόρτιση από τον κινητήρα, γεγονός που εξηγεί τη διαφορά στις τάσεις. Από 2,5% και πάνω, η κατηφορική κλίση είναι αρκετά απότομη για να ανακτήσει αρκετή ενέργεια για το πρόσθετο φορτίο και για κάποια βοήθεια ροπής. Πάνω από 3%, η μερική υβριδική εξοικονόμηση σταματά να αυξάνεται επειδή η πρόσθετη διαθέσιμη ενέργεια φρεναρίσματος δεν μπορεί να ανακτηθεί από το μικρό κινητήρα. Για μεγάλες κλίσεις, η κατανάλωση καυσίμου για τη πλήρη υβριδική εξοικονόμηση είναι μεγαλύτερη όπου η περίοδος του λόφου είναι μικρότερη. Αυτό δεν οφείλεται στο ίδιο το υβριδικό σύστημα, αλλά στο συμβατικό, το οποίο καταναλώνει περισσότερο καύσιμο όταν η περίοδος του λόφου είναι μικρότερη (και η ανύψωση είναι χαμηλότερη).



Εικόνα 15: Κατανάλωση καυσίμων συμβατικών, μερικών-υβριδικών και πλήρων υβριδικών φορτηγών σε ημιτονοειδή οδό ως συνάρτηση της κλίσης(και για διάφορες περιόδους λόφου)

[Σχήμα 41, (Delorme, Karbowski, & Sharer, 2009)]

## 5 Ανάπτυξη εξισώσεων EES

### 5.1 Κλίση/Gradient

Η κλίση ενός δρόμου είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις εκπομπές καυσαερίων και την κατανάλωση καυσίμου οποιουδήποτε τύπου οχήματος. Έχει ουσιαστική επίδραση στην αντίσταση ενός οχήματος στην πρόσφυση. Ακόμα και στην περίπτωση των χονδροειδών προσεγγίσεων, δεν μπορεί να υποτεθεί ότι οι επιπλέον εκπομπές κατά τη μετακίνηση σε ανηφόρα αντισταθμίζονται από τη μειωμένη εκπομπή κατά την μετακίνηση σε κατηφόρα.



Παρουσιάζουμε το  $EES_{f(G)}^{FC}$  που αντιστοιχεί σε κάθε κατηγορία οχημάτων. ( $EES_{f(LDV,G)}^{FC}$  για LDVs και  $EES_{f(HDV,G)}^{FC}$  για HDVs) και στη συνέχεια μια μέση (Ave) συνάρτηση (i.e.  $EES_{f(Ave,G)}^{FC}$ ) που αντιστοιχεί σε οποιαδήποτε κατηγορία οχήματος.

## 5.2 HDV( $EES_{f(HDV,G)}^{FC}$ )

Υπάρχουν λίγα πειραματικά αποτελέσματα και μαθηματικές εκφράσεις στη βιβλιογραφία που αφορούν την κατανάλωση καυσίμου στην παράμετρο κλίσης για HDVs. Ορισμένα πειραματικά αποτελέσματα περιορίζονται σε θετικές τιμές κλίσης π.χ. (Helms&Lambrecht, 2006) ενώ άλλες σε μέσες τιμές κατά τη διάρκεια ανηφόρας και κατηφόρας, π.χ. (Pierson W. R., et al., 1996). Υπάρχουν επίσης δημοσιεύσεις που παρέχουν πειραματικά αποτελέσματα για μια ευρεία κλίμακα τιμών κλίσης, αλλά αφορούν άλλους παράγοντες εκπομπής και όχι την κατανάλωση καυσίμου όπως τα NOx, π.χ. (Jest, Hassel&Sonnbrn, 1995).

Η ανάπτυξη του  $EES_{f(HDV,G)}^{FC}$  βασίστηκε στα αποτελέσματα του έργου MEET (Hassel&Weber, 1997). Αναπτύξαμε τέσσερις διαφορετικές λειτουργίες  $EES_{f(HDV,G)}^{FC}$  που αντιστοιχούν σε καθεμία από τις τέσσερις κατηγορίες HDV που εξετάζονται στο MEET. Αυτές οι κατηγορίες βασίζονται στο βάρος των HDVs:

- Κατηγορία 1:  $HDV < 7t$
- Κατηγορία 2:  $7t \leq HDV < 16t$
- Κατηγορία 3:  $16t \leq HDV < 32t$
- Κατηγορία 4:  $32t \leq HDV$

Η υιοθετημένη προσέγγιση για την αναπτυγμένη λειτουργία του  $EES_{f(HDV,G)}^{FC}$  περιλαμβάνει τρία βήματα. Στο πρώτο στάδιο, η κατανάλωση καυσίμου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία του ισοζυγίου του άνθρακα και τις λειτουργίες που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του MEET για την εκτίμηση του CO<sub>2</sub>, CO και VOC για κάθε κατηγορία HDV. Συγκεκριμένα, υπολογίζουμε πρώτα την κατανάλωση καυσίμου σε επίπεδο δρόμο και στη συνέχεια τους συντελεστές διόρθωσης για κάθε κατηγορία κλίσης που λαμβάνεται υπόψη στο πλαίσιο του έργου MEET. Οι δοκιμές εκπομπών περιλαμβάνουν συνήθως τη μέτρηση του CO<sub>2</sub> καθώς και των άλλων 2 ρύπων (δηλ. CO και VOC) και είναι λιγότερο συχνή η άμεση μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου. Για το λόγο αυτό, παρουσιάζονται συντελεστές εκπομπών οδικών μεταφορών για τα συστατικά των καυσαερίων, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών CO<sub>2</sub>, CO και VOC. Η κατανάλωση καυσίμων προέρχεται από τη μέθοδο ισοζυγίου του άνθρακα που περιγράφεται στις εκθέσεις της MEET (Hassel&Weber, 1997) και εκφράζεται ως εξής:



$$FC = (12 + k_1) \times \left[ \frac{[CO_2]}{44} + \frac{[CO]}{28} + \frac{[VOC]}{12 + k_2} \right] \quad \text{Εξ.6}$$

Όπου:

- $[CO_2]$  η μάζα του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα  
 $[CO]$  η μάζα μονοξειδίου του άνθρακα που παράγεται  
 $[VOC]$  η μάζα των παραγόμενων πτητικών οργανικών ενώσεων  
 $k_1$  και  $k_2$  οι αναλογίες υδρογόνου προς άνθρακα των καυσίμων και των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων αντίστοιχα. Μπορεί να θεωρηθεί ότι το  $k_1$  και το  $k_2$  είναι ίσα και μια τυπική μέση τιμή είναι 1,9.

Στην έκθεση MEET οι συγγραφείς παρουσιάζουν μία γενική εξίσωση για την εκτίμηση των συντελεστών εκπομπών (EFs). Ο ρυθμός EF σε g / km για HDV σε δρόμο με κλίση 0% δίνεται από τον ακόλουθο γενικό τύπο:

$$EF = K + av + bv^2 + cv^3 + d/v + e/v^2 + f/v^3 \quad 1$$

Όπου:

- $EF$  ρυθμός εκπομπών σε g/km για HDV σε δρόμο με κλίση 0%.  
 $K$  σταθερά  
 $a, b, c, d, e, f$  συντελεστές  
 $V$  Μέση ταχύτητα του οχήματος σε km/h.

Για κάθε μία από τις τέσσερις κατηγορίες HDV, για κάθε συντελεστή εκπομπών (π.χ. CO<sub>2</sub>, CO και VOC) που απαιτείται για την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου, και για τις διαφορετικές τιμές της ταχύτητας οδήγησης χρησιμοποιώντας τη σταθερά και τον συντελεστή που παρουσιάζεται στους πίνακες A24, A25, A26 και A27 της έκθεσης MEET. Υπολογίζεται η ποσότητα κάθε κατανάλωσης καυσίμου για την περίπτωση κλίσης 0%. Οι ποσότητες αυτές αντιστοιχούν μόνο στην περίπτωση κλίσης 0% και παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α, Πίνακας Α6.

Στο δεύτερο βήμα, χρησιμοποιούμε και πάλι τη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην έκθεση MEET, η οποία δείχνει πώς η κλίση του δρόμου επηρεάζει (αυξάνει ή μειώνει) την αντίσταση ενός οχήματος στην πρόσφυση. Αυτή η μεθοδολογία βασίζεται στα αποτελέσματα του προγράμματος γερμανικών





συντελεστών εκπομπών (Hassel&Weber, 1997). Οι αυξήσεις ή μειώσεις του φορτίου στον κινητήρα έχουν αντίστοιχη επίδραση στα ποσοστά κατανάλωσης καυσίμου. Ειδικοί συντελεστές κλίσης έχουν εισαχθεί στην έκθεση MEET και για κάθε κατηγορία οχημάτων, κλίση και ρύπο, ο συντελεστής κλίσης μπορεί να υπολογιστεί ως μια πολυωνυμική συνάρτηση της μέσης ταχύτητας του οχήματος:

$$CF_{Gradient}^{i,j,k} = [A6]_{(i,j,k)} v^6 + [A5]_{(i,j,k)} v^5 \quad \text{Εξ.8}$$

$$+ [A4]_{(i,j,k)} v^4 + [A3]_{(i,j,k)} v^3$$

$$+ [A2]_{(i,j,k)} v^2 + [A1]_{(i,j,k)} v + A0$$

Όπου:

$CF_{Gradient}^{i,j,k}$  : συντελεστής διόρθωσης για τον συντελεστή εκπομπών (EF) του ρύπου  $i$  σε g/km του οχήματος κατηγορίας  $j$  που οδηγείται σε δρόμους τύπου  $k$  με ζεστό κινητήρα

$v$  : Μέση ταχύτητα του οχήματος

$A6_{i,j,k}, A5_{i,j,k}, A4_{i,j,k}, A3_{i,j,k}, A2_{i,j,k}, A1_{i,j,k}, A0$  σταθερές για κάθε κατηγορία ρύπων, οχήματος και κλίσης

Για κάθε μια από τις κατηγορίες  $j$  του HDV χρησιμοποιούμε τον συντελεστή που παρουσιάζεται στους Πίνακες A37, A38, A39 και A40 της τελικής έκθεσης MEET. Προτείνεται να διορθωθεί ο συντελεστής εκπομπών που υπολογίζεται για τη χρήση του οχήματος σε επίπεδο δρόμο σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$Corrected\_EF_G^{i,j,k} = EF^{i,j,k} \times CF_G^{i,j,k} \quad 2$$

Όπου:

$Corrected\_EF_G^{i,j,k}$  διορθωμένος συντελεστής εκπομπών του ρύπου  $i$  σε g/km του οχήματος της κατηγορίας  $j$  που οδηγείται σε δρόμους τύπου  $k$  με ζεστή μηχανή και κλίση  $G$ .

$EF^{i,j,k}$  συντελεστής εκπομπών του ρύπου  $i$ , σε g/km, του οχήματος της κατηγορίας  $j$  που οδηγείται με ζεστούς κινητήρες σε οδούς τύπου  $k$  με μηδενική κλίση.

$CF_G^{i,j,k}$  συντελεστής διόρθωσης μεταβαλλόμενης κλίσης του ρύπου  $i$  του οχήματος της κατηγορίας  $j$  που οδηγείται σε δρόμους τύπου  $k$  για την κατάλληλη κλίση τάξης  $G$ . Οι τάξεις κλίσης είναι: 0%, 2%, 4%, 6%, -



2%, -4% και -6%.

Ο συντελεστής διόρθωσης κλίσης του ρύπου  $i$  της κατηγορίας οχήματος  $j$  που οδηγείται σε δρόμους τύπου  $k$  για την κατάλληλη κλίση τάξης  $G$  υπολογίζεται με βάση την εξίσωση και αναφέρεται στο παράρτημα Α στον πίνακα Α7 έως Α10. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές διόρθωσης και τους συντελεστές εκπομπών υπολογίζουμε το  $Corrected\_EF_G^{i,j,k}$  όπου  $i$  αντιπροσωπεύει την κατανάλωση καυσίμου.

Στο τρίτο βήμα της μεθοδολογίας μας υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου για κάθε κατηγορία κλίσεων και της κατανάλωσης καυσίμου στον επίπεδο δρόμο.

	Κατηγορία 1	Κατηγορία 2	Κατηγορία 3	Κατηγορία 4	
Παράμετροι	$HDV < 7t$	$7t \leq HDV < 16t$	$16t \leq HDV < 32t$	$32t \leq HDV$	Μέσο HDV
EES <sub>0</sub>	-135,67845	-88,2876	-120,99849	-149,76934	-134,7567
A1	99,49341	60,43497	91,07449	108,61944	99,21262
A2	-43,09819	-21,9829	-40,2573	-46,62329	-43,10435
A3	9,01694	4,25861	8,6452	9,58877	9,04269
A4	-0,86329	-0,39274	-0,84388	-0,90532	-0,86737
A5	0,02996	0,01306	0,02967	0,03113	0,03015
B1	98,20759	57,87872	88,32715	108,23084	97,71403
B2	-46,17088	-24,65342	-42,78598	-50,03943	-46,10022
B3	9,6534	4,82832	9,16714	10,30014	9,66366
B4	-0,92412	-0,44881	-0,89377	-0,97362	-0,92681
B5	0,03303	0,01599	0,03238	0,03445	0,03317
R <sup>2</sup>	0.82	0.82	0.83	0.80	0.80

Πίνακας 5-1: Παράμετροι και τιμές EES για κάθε κατηγορία οχημάτων)



Τέλος στο βήμα τέσσερα, οι ποσότητες που αποκτήθηκαν στο προηγούμενο βήμα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τελικών συναρτήσεων  $EES_{f(HDV,G)}^{FC}$ . Γενικά για κάθε κατηγορία HDV λαμβάνουμε την ακόλουθη συνάρτηση που εκφράζει την επίδραση της κλίσης και της ταχύτητας:

$$EES = EES_0 + A_1 \times Grd + A_2 \times Grd^2 + A_3 \times Grd^3 + A_4 \times Grd^4 + A_5 \times Grd^5 + B_1 \times v + B_2 \times v^2 + B_3 \times v^3 + B_4 \times v^4 + B_5 \times v^5 \quad 3$$

Στον Πίνακα 90 παρουσιάζουμε τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων για κάθε κατηγορία HDV καθώς και για ένα μέσο HDV. Στην τελευταία σειρά του πίνακα, το προσαρμοσμένο  $R^2$  παρέχεται από το λογισμικό OriginPro από την ανάλυση παλινδρόμησης που έχουμε εκτελέσει με ελάχιστο σφάλμα και μέγιστο ρυθμιζόμενο  $R^2$ . Οι τιμές αυτών των παραμέτρων για τους μέσους HDVs προκύπτουν από τη χρήση των μέσων τιμών κατανάλωσης καυσίμου όλων των κατηγοριών HDV's.

### Average Vehicle ( $EES_{f(Ave,G)}^{FC}$ )

Τέλος, για μια μέση λειτουργία που αντιστοιχεί σε δύο κατηγορίες οχημάτων (δηλ. LDV και HDV) υπολογίζουμε μια μέση κατανάλωση καυσίμου με βάση τη μέση κατανάλωση καυσίμου των LDV και τη μέση κατανάλωση καυσίμου των HDV. Η μέση συνάρτηση EES που προκύπτει από ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας το λογισμικό OriginPro με ελάχιστο σφάλμα και μέγιστο ρυθμιζόμενο  $R^2$  φαίνεται παρακάτω:

$$EES = EES_0 + A_1 \times Grd + A_2 \times Grd^2 + A_3 \times Grd^3 + A_4 \times Grd^4 + A_5 \times Grd^5 + B_1 \times v + B_2 \times v^2 + B_3 \times v^3 + B_4 \times v^4 + B_5 \times v^5 \quad \text{Εξ.11}$$

Παράμετροι	Τιμές	Παράμετροι	Τιμές
$EES_0$	-94,26154	B1	70,35854
A1	68,22935	B2	-34,24873
A2	-28,93715	B3	7,36625
A3	6,19151	B4	-0,72137
A4	-0,60252	B5	0,02626
A5	0,02091	$R^2$	0.89

Πίνακας 5-2: Παράμετροι και τιμές EES για τα μέσα οχήματα.



### 5.3 Συμπεράσματα

Παρουσιάσαμε το  $EES_{f(LDV,G)}^{FC}$  βασισμένο στα πειραματικά αποτελέσματα του (Hassel&Weber, 1997). Αποφασίσαμε να αναπτύξουμε  $EES_{f(LDV,G)}^{FC}$  βασισμένο σε αυτά τα αποτελέσματα επειδή αντιστοιχούν στους τρεις βασικούς τύπους του LDVs. Λαμβάνουμε στο βήμα 1 της προσέγγισής μας τις μέσες τιμές κατανάλωσης καυσίμου και για τους τρεις τύπους LDVs σε αξία για μια γενική κατηγορία LDVs. Τα ίδια πειραματικά αποτελέσματα επιλέγονται επίσης επειδή καλύπτουν ένα αρκετά μεγάλο εύρος τιμών κλίσης (δηλ. Από -6% έως + 6%) και ένα αρκετά μεγάλο εύρος τιμών ταχυτήτων.

Δεν επιλέξαμε για την ανάπτυξη του  $EES_{f(LDV,G)}^{FC}$  τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο (Zhang&Frey, 2005) για δύο λόγους: (α) οι ανεπτυγμένες σχέσεις περιλαμβάνουν την παράμετρο της επιτάχυνσης του οχήματος που δεν λαμβάνεται υπόψη στο πλαίσιο της πλατφόρμας GreenRoute, (β) ακόμη και αν υποθέσουμε ότι η τιμή της επιτάχυνσης είναι ίση με 0, η εξίσωση που αναπτύχθηκε από τους συγγραφείς παρέχει την εξειδικευμένη ισχύ του οχήματος (VSP) και όχι τον συντελεστή εκπομπών FC. Για τους ίδιους λόγους οι εξισώσεις που αναπτύχθηκαν από τους Frey, Zhang και Rouphail, 2008 δεν επιλέχθηκαν για την ανάπτυξη του  $EES_{f(LDV,G)}^{FC}$ . Τα υπόλοιπα ερευνητικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία δεν επαρκούν για να καταλήξουν σε ένα σαφές συμπέρασμα σχετικά με τη συσχέτιση FC, κλίσης και  $EES_{f(LDV,G)}^{FC}$ , είτε επειδή τα πειραματικά δεδομένα αφορούν μόνο τους δρόμους με θετική κλίση και για περιορισμένες κατηγορίες κλίσεων (π.χ., (Zhang&Frey, 2005) και (Cicero-Fernandez&Long, 1996)), είτε επειδή αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο τύπο οχήματος (Frey, Unal, &JamesD., 2003)).

Επιπλέον, αναπτύξαμε συνολικά 5 διαφορετικές  $EES_{f(HDV,G)}^{FC}$  συναρτήσεις για κάθε κατηγορία HDV's και μία για ένα μέσο HDV. Η μεθοδολογία μας βασίστηκε στα αποτελέσματα του έργου MEET όπου αναπτύσσονται συντελεστές διόρθωσης για FC όταν ένα HDV τρέχει σε δρόμο με θετική ή αρνητική κλίση. Ο κύριος στόχος της προσέγγισής μας ήταν να υπολογίσουμε τις τιμές FC που διορθώθηκαν από αυτούς τους παράγοντες και στη συνέχεια να υπολογίσουμε τη διαφορά μεταξύ κάθε κατηγορίας κλίσεων (δηλαδή κλίση -6%, + 6%, -4% και + 4%) και την επίπεδη (δηλ. κλίση 0%).

Άλλα ερευνητικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία είναι περιορισμένα και δεν παρέχουν πληροφορίες για τη σχέση μεταξύ FC και κλίσης για HDVs. Τα υπόλοιπα δημοσιευμένα πειραματικά αποτελέσματα περιορίζονται σε μικρές σειρές τιμών (Jest, Hassel, &Sonnbirn, 1995), αντιπροσωπεύουν γενικές περιπτώσεις ανηφόρας και κατηφόρας χωρίς να προσδιοριστούν οι ακριβείς τιμές κλίσης (PiersonWR, etal., 1996). Μελετούν μόνο την περίπτωση ανηφορικών (Helms&Lambrecht, 2006), η οποία θεωρείται πιο σημαντική δεδομένου ότι στην περίπτωση αυτή αυξάνεται το FC ενός HDV.



Τέλος, υπολογίσαμε μια μέση συνάρτηση (π.χ.  $EES_{f(Ave,G)}^{FC}$ ) για κάθε τύπο οχήματος που χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα που λαμβάνονται κατά την ανάπτυξη των  $EES_{f(LDV,G)}^{FC}$  και  $EES_{f(HDV,G)}^{FC}$ .

## 6 Μοντέλα υπολογισμού βελτιωμένων εκπομπών

### 6.1 Εισαγωγή

Ο γενικός σκοπός της εργασίας ήταν η ανασκόπηση των ευρέως γνωστών, χρησιμοποιημένων και αναφερόμενων μοντέλων για τον υπολογισμό των εκπομπών (και του λογισμικού που χρησιμοποιεί αυτά τα μοντέλα). Τα μοντέλα υπολογισμού εκπομπών αποσκοπούν στην παροχή ακριβούς περιγραφής της συμπεριφοράς εκπομπών οχημάτων μέσω της σχέσης των τιμών εκπομπής με τη λειτουργία του οχήματος. Στη βιβλιογραφία περιλαμβάνονται τα ακόλουθα πέντε μοντέλα και βασισμένα σε εκθέσεις και εγχειρίδια που δημοσιεύονται στο πλαίσιο των σχεδίων που σχετίζονται με τα εξελιγμένα μοντέλα (ARMEIS / Cost346, 2012), (DRIVE, 1989), (EMEP / EEA, (BART, et al., 1999), (Barthetal., 2001), (EMISIA, 2012), (INET, 2012):

- MODEM (Modeling of emissions and consumption in urban areas) που παράχθηκε κατά τη διάρκεια του προγράμματος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής DRIVE (Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe).
- Το PHEM (Passenger car and Heavy-duty Emission Model) υπολογίζει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων βάσει της στιγμιαίας ζήτησης ισχύος κινητήρα και της ταχύτητας του κινητήρα για ένα μοτίβο οδήγησης που καθορίζεται από τον χρήστη και αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου ARTEMIS και του COST Action 346.
- Το μοντέλο VeTESS (Vehicle Transient Emissions Simulation Software) είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης υπολογιστή που αναπτύσσεται από το πρόγραμμα DECADE.
- Το μοντέλο CMEM (Comprehensive Modal Emissions Model) δημιουργήθηκε το 2001 υπό την καθοδήγηση του Εθνικού Προγράμματος Έρευνας των Εθνικών Συνεργατικών Οδών (NCHRP) των Ηνωμένων Πολιτειών για τον σχεδιασμό εκπομπών ελαφρού οχήματος (LDV) ως συνάρτηση του τρόπου λειτουργίας του οχήματος.
- Το COPERT 4, το οποίο εκτιμά εκπομπές αερίων έχουν αναπτυχθεί στο πλαίσιο αρκετών επιστημονικών έργων, μεταξύ των οποίων: η δράση CORINAIR, η COST 319, η PARTICULATES, η MEET, η ARTEMIS κλπ.

Στο πλαίσιο του έργου GreenRoute, μοντέλα που χρησιμοποιούνται από το COPERT 4 θα συγχωνευθούν σε αυτή την ενότητα με τις λειτουργίες EES που αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, για να αναπτυχθεί μια βελτιωμένη έκδοση αυτών. Σημειώνουμε ότι παρόλο που τα μοντέλα εκπομπών COPERT 4 έχουν αρχικά αναπτυχθεί για την κατάρτιση εθνικών απογραφών (σε ετήσια βάση), μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν, με επαρκή βαθμό βεβαιότητας, σε βαθύτερη ανάλυση, δηλαδή για την κατάρτιση αστικών απογραφών εκπομπών με χωρική ανάλυση  $1 \times 1 \text{ km}^2$  και χρονική



ανάλυση 1 ώρας. Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους τα μοντέλα από το COPERT που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία είναι:

- Η μεθοδολογία COPERT εξισορροπεί την ανάγκη λεπτομερών υπολογισμών εκπομπών αφενός με τη χρήση μειωμένων απαιτούμενων δεδομένων εισόδου, αφετέρου, καθιστώντας τη χρήση της πλατφόρμας πιο πρακτική και ευκολότερη για τους δυνητικούς χρήστες.
- Το COPERT 4 εκτιμά τις εκπομπές όλων των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων (CO, NO<sub>x</sub>, VOC, PM, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, βαρέα μέταλλα) που παράγονται από διάφορες ευρωπαϊκές κατηγορίες οχημάτων (επιβατικά αυτοκίνητα, ελαφρά επαγγελματικά οχήματα, βαρέα φορτηγά, λεωφορεία, μοτοσικλέτες και μοτοποδήλατα), καθώς και εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>)
- Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη μεθοδολογία COPERT 4, διακρίνουν τις εκπομπές κινητήρων από εκείνες που παράγονται κατά την θερμική σταθεροποίηση της λειτουργίας του κινητήρα (εκπομπές καυσαερίων), τις εκπομπές που συμβαίνουν κατά την εκκίνηση του κινητήρα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (φαινόμενα θερμικής εκκίνησης και θέρμανσης) και τις εκπομπές εξαιτίας της εξάτμισης της βενζίνης. Η διάκριση αυτή θα μπορούσε να παράσχει τα αναγκαία και επαρκή δεδομένα για τον καθορισμό της βέλτιστης περιβαλλοντολογικής λύσης με μεγαλύτερη ακρίβεια.

## 6.2 Βελτιωμένα μοντέλα COPERT

Τα υπάρχοντα μοντέλα COPERT 4 αναπτύσσονται με βάση τις μέσες ονομαστικές συνθήκες. Σε δρομολόγηση οχημάτων σε πραγματικό χρόνο, η χρήση των μοντέλων συνήθως παρέχει αριθμούς που είναι αρκετά μακριά από τις μετρηθείς τιμές. Επομένως, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένας διορθωτικός συντελεστής προκειμένου να είναι δυνατή η αποτελεσματική χρήση τους σε υπολογισμούς εκπομπών σε πραγματικό χρόνο. Αυτός ο εξωτερικός συντελεστής διόρθωσης είναι η εξίσωση  $EES_f^{FC}$ . Τα νέα μοντέλα θα μπορούσαν να εκφράζονται με τον ακόλουθο γενικό τύπο:

$$New\ Models = COPERT\ models \times EES_f^{FC} \quad \text{Εξ.12}$$

Για παράδειγμα, το μοντέλο COPERT για τον υπολογισμό του FC για ένα LDV Euro 4 με κινητήρα 1600cc είναι:

$$FC_{COPERT} = (a + c \times V + e \times V^2) / (1 + b \times V + d \times V^2)$$

όπου

$$a = 1.74E+02,$$

$$b = 6.85E-02,$$

$$c = 3.64E-01,$$

$$d = -2.47E-04$$



$e = 8.74E-03$ .

Το νέο μοντέλο που προέκυψε από τα μοντέλα COPERT και  $EES_{f(\cdot)}^{FC}$  παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Παράμετροι Διόρθωσης	Νέο μοντέλο
Κλίση	$FC_{New} = FC_{COPERT} \times EES_{f(LDV,G)}^{FC}$

Πίνακας 5-3: Σύνοψη νέου μοντέλου.

### 6.3 Αξιολόγηση νέων μοντέλων

Στα πλαίσια της μελέτης εκτενείς δοκιμές απόδοσης διεξήχθησαν για την ποσοτικοποίηση της κατανάλωσης καυσίμων υπό διαφορετικές συνθήκες παραμέτρων.

Συγκεντρώθηκαν στοιχεία για ένα επιβατικό αυτοκίνητο που δοκιμάστηκε σε μία κατάσταση φόρτωσης, σε διαφορετικές τιμές κλίσης. Όλα τα πειραματικά δεδομένα που συλλέγονται αφορούν την κατανάλωση καυσίμου και δεν γίνεται αναφορά στην κατανάλωση ενέργειας ή στους ρυθμούς εκπομπής του οχήματος.

Το LDV που χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές ήταν εξοπλισμένο με ένα bluetooth επικοινωνίας συνδεδεμένο στο ενσωματωμένο σύστημα επικοινωνίας κινητήρων (OBDII) στο αυτοκίνητο με επιτραπέζιο υπολογιστή που καταγράφει τις πληροφορίες και την κατανάλωση καυσίμου ανά δευτερόλεπτο.

Το δοκιμαζόμενο LDV ήταν ένα επιβατικό αυτοκίνητο των 1600cc με κινητήρα EURO 4 και βάρος 1000Kg. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ήταν εκτιμήσεις του ρυθμού κατανάλωσης καυσίμου (l/100km) ως συνάρτηση της κλίσης.

Προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν και να συγκριθούν τα βελτιωμένα μοντέλα με τα μοντέλα COPERT, πραγματοποιήθηκαν πειράματα στον εθνικό δρόμο που συνδέει τον Βόλο και την Αθήνα. Κάθε κατωτέρω πίνακας παρουσιάζει πειραματικά αποτελέσματα όπου η κατανάλωση καυσίμου υπολογίστηκε με τη χρήση μοντέλων COPERT και των βελτιωμένων νέων μοντέλων που αναπτύχθηκαν. Η κατανάλωση καυσίμου και η κατάσταση των παραμέτρων καταγράφηκαν επίσης



μέσω του OBD. Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται συγκριτικά αποτελέσματα όπου κάθε φορά η κλίση κυμαίνεται μεταξύ προκαθορισμένων τιμών (π.χ. για  $-8\%$  έως  $+8\%$ ) και οι άλλες παράμετροι παραμένουν σταθερές σαν να ήταν στην ονομαστική τους κατάσταση.

Στη συνέχεια, θα γίνουν συγκρίσεις για την περίπτωση ενός LDV. Αυτά τα πειράματα έχουν διεξαχθεί για να διευκολύνουν τη σύγκριση μεταξύ των νέων μοντέλων και των υφιστάμενων μοντέλων COPERT. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα αποσκοπούν στην παροχή κινήτρων για πιο εκτεταμένα πειράματα με όλους τους τύπους οχημάτων, σε ένα πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον μέτρησης, προκειμένου να επικυρωθεί αυστηρά και να ρυθμιστούν με ακρίβεια οι παράμετροι των αντίστοιχων μοντέλων. Δεδομένου των μέσων και της υποδομής που διατίθενται στο πλαίσιο αυτής της μελέτης γίνεται η παροχή των πρώτων αριθμητικών αποτελεσμάτων πάνω στα οποία θα πρέπει να πραγματοποιηθούν πιο πειραματικές εργασίες πριν αξιολογηθούν πλήρως αυτά τα μοντέλα.

### 6.3 Αξιολόγηση νέων μοντέλων που περιλαμβάνουν παράμετρο κλίσης

Συγκρίναμε τα νέα μας μοντέλα με τα υπάρχοντα μοντέλα COPERT χρησιμοποιώντας το αυτοκίνητο δοκιμών με ταχύτητες οδήγησης:  $50\text{km/h}$  και  $100\text{km/h}$ . Η κλίση κυμαίνεται από  $-8\%$  έως  $+8\%$ . Όλες οι άλλες παράμετροι διατηρήθηκαν στις ονομαστικές τους συνθήκες. Τα νέα βελτιωμένα μοντέλα COPERT που χρησιμοποιούν τη λειτουργία EES έχουν καλύτερη απόδοση από τα υπάρχοντα μοντέλα COPERT. Η μόνη εξαίρεση είναι η περίπτωση κλίσης  $8\%$  και ταχύτητας οδήγησης  $100$  χιλιομέτρων / ώρα, όπου τα μοντέλα COPERT είναι πιο κοντά στη μετρούμενη τιμή που παρέχεται μέσω της συσκευής OBD, αν και η ακρίβεια δεν είναι αξιόπιστη. Η σύγκριση δείχνει ότι για τη μέση ταχύτητα των  $50\text{ km/h}$  τα νέα μοντέλα υπολόγισαν την κατανάλωση καυσίμου καλύτερα από τα κλασικά μοντέλα, όσο για ανηφορικά, τόσο και για κατηφορικά, παρόλο που οι κατηφόρες είναι πιο δύσκολες σε σύγκριση με τις ανηφόρες. Σε ταχύτητα οδήγησης  $100\text{ km/h}$  και για την περίπτωση αρνητικής κλίσης, τα νέα μοντέλα είναι εξαιρετικά ακριβή. Το υπάρχον μοντέλο COPERT δεν παρεκκλίνει σε ακρίβεια πάνω από  $25\%$ , αλλά εξακολουθούν να μην επιβεβαιώνονται στο εύρος κλίσεων  $-0,20\%$  έως  $6,20\%$  του νέου μοντέλου. Με θετική κλίση, οι μετρήσεις αρχίζουν να αποκλίνουν. Το νέο και τα υπάρχον μοντέλο έχουν κακές επιδόσεις σε αυτές τις περιπτώσεις, ειδικά καθώς αυξάνεται η κλίση. Ο πίνακας 96 παρουσιάζει τα συγκριτικά αποτελέσματα.





Ταχύτητα	Κλίση	Κατανάλωση καυσίμου (l/100km)			Σχετικές διαφορές	
		COPERT	Νέο μοντέλο	OBD	COPERT vs OBD	Νέο μοντέλο vs OBD
50 km/h	0%	5,62	5,62	6,1	-7,84%	-7,84%
50 km/h	2%	5,62	5,71	6,3	-10,77%	-9,44%
50 km/h	4%	5,62	6,79	7	-19,69%	-2,95%
50 km/h	6%	5,62	14,55	12,5	-55,03%	16,44%
50 km/h	8%	5,62	52,48	50	-88,76%	4,97%
50 km/h	-2%	5,62	4,81	3,8	47,94%	26,68%
50 km/h	-4%	5,62	4,80	3,5	60,62%	37,15%
50 km/h	-6%	5,62	4,80	3,45	62,95%	39,06%
50 km/h	-8%	5,62	4,80	3	87,39%	59,90%
100 km/h	0%	5,54	5,54	7,5	-26,20%	-26,20%
100 km/h	2%	5,54	6,34	8,5	-34,88%	-25,47%
100 km/h	4%	5,54	12,60	12	-53,87%	5,01%
100 km/h	6%	5,54	43,23	30	-81,55%	44,09%
100 km/h	8%	5,54	192,90	78	-92,90%	147,31%
100 km/h	-2%	5,54	4,79	4,8	15,32%	-0,20%
100 km/h	-4%	5,54	4,74	4,5	23,01%	5,27%
100 km/h	-6%	5,54	4,73	4,45	24,39%	6,20%
100 km/h	-8%	5,54	4,72	4	38,38%	18,09%

Πίνακας 6-1: Αξιολόγηση νέων μοντέλων που ενσωματώνουν παράμετρο κλίσης.



## 7 Συμπεράσματα

Αναλύθηκαν και καταγράφηκαν λεπτομερώς τα δημόσια μέσα μαζικής μεταφοράς στην Ελλάδα την Τσεχία και την Ολλανδία. Στη συνέχεια, έγινε μελέτη για την υπάρχουσα βιβλιογραφία υπολογισμών ρύπων με τα διαθέσιμα μοντέλα που παράγονται. Μελετώνται μοντέλα για κάθε περίπτωση οχήματος (π.χ. ηλεκτρικό-πετραλειοκίνητο τρένο ή λεωφορείο). Παρατηρείται ότι οι μελέτες που βρέθηκαν δεν εστιάζουν αρκετά σε νέες παραμέτρους όπως: φορτίο ταχύτητα, κλίση, τεχνολογία κινητήρα, τύπος και ηλικία οδοστρώματος, αντίσταση αέρα, χρήση κλιματισμού (Θερμοκρασία / Υγρασία) και κυκλοφοριακή συμφόρηση. Στο πλαίσιο της εργασίας έγινε έρευνα για να βρεθούν όσο το δυνατόν τα πιο αξιόπιστα μοντέλα που μελετάνε το παράγοντα της κλίσης. Στο σημείο αυτό αναπτύχθηκε νέο μοντέλο υπολογισμού, εισάγοντας διορθωτικό παράγοντα στα μοντέλα που συμπεριλαμβάνουν το παράγοντα της κλίση του εδάφους. Για την διαπίστωση της ακρίβειας του νέου, αλλά και των παλιών μοντέλων πραγματοποιήθηκε πείραμα τοποθετώντας συσκευή OBD σε όχημα ιδιωτικής χρήσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν τις αποκλίσεις υπολογισμού κατανάλωσης των μοντέλων από την πραγματική κατανάλωση που μας παρείχε η συσκευή διάγνωσης. Τέλος, παρατηρούμε σε πολλές κλίμακες ότι η εισαγωγή του διορθωτικού συντελεστή και η παραγωγή του νέου μοντέλου ήταν ορθή καθώς βελτιώθηκε σε μεγάλο βαθμό η ακρίβεια.



## 8 Βιβλιογραφία

- [1] COPERT 4 - <http://emis.com/products/copert-4>
- [2] Konstantzos E. Giorgos, Saharidis K.D. Georgios and Loizidou Maria. (2016). Development of a model for assessing Greenhouse Gas (GHG) emissions from terminal and drayage operations. Oper Res Int J. DOI 10.1007/s12351-016-0242-0
- [3] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2013: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>
- [4] Attiko Metro - <http://www.ametro.gr/page/default.asp?la=1&id=4>
- [5] Athens Public Transport - <http://www.oasa.gr/>
- [6] Urban Rail Transport SA - <http://www.stasy.gr/>
- [7] The national inventory submissions uploaded under the United Nations Framework Convention on Climate Change: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/9492.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/9492.php)
- [8] Smit, R., Brown, A.L. and Chan, Y.C. (2008). Do air pollution emissions and fuel consumption models for roadways include the effects of congestion in the roadway traffic flow? Environ Modell Softw 23 (2008) 1262–1270
- [9] Konstantzos E. Giorgos, Saharidis K.D. Georgios and Loizidou Maria. (2016). Development of a model for assessing Greenhouse Gas (GHG) emissions from terminal and drayage operations. Oper Res Int J. DOI 10.1007/s12351-016-0242-0
- [10] Saharidis K.D. Georgios. (2013). GreenRoute: A web based platform which help individuals and companies move commodities with the most environmental friendly way, minimizing emissions and transportation cost, Deliverable 1.3, Scientific review paper on models calculating greenhouse gas emissions. FP7-PEOPLE-2011-CIG project
- [11] Lindgreen E., Sorenson S. (2005). Simulation of Energy Consumption and Emissions from Rail Traffic, Deliverable No. D7a, ARTEMIS project
- [12] Gillespie, J. S., & McGhee, K. K. (2007). Get in, get out, come back! What the relationship between pavement roughness and fuel consumption means for the length of the resurfacing cycle. Journal of the Transportation Research Board, 32-39.
- [13] Saharidis K.D. Georgios (2012). GreenYourRoute: Research report that presents the candidate TN factors for the definition of EESarc and the revision methodology following the development of new emission calculation models, Deliverable 3.1. FP7-PEOPLE-2011-CIG
- [14] Lim, Han, (2002). Study of Exhaust Emissions from Idling Heavy-Duty Diesel Trucks and Commercially Available Idle-Reducing Devices. s.l.: US Environmental Protection Agency, 2002
- [15] USEPA, (2010). MOVES 2010 Highway Vehicle Temperature, Humidity, Air Conditioning, and Inspection and Maintenance Adjustments. s.l.: EPA-420-R-10-027, 2010
- [16] Koupal, John W., (2001). Air conditioning activity effects in MOBILE6. s.l.: Environmental Protection Agency (EPA), 2001



- [17] TRACCS download page - <http://traccs.emisia.com/download.php>
- [18] Panis LL, Broekx S, Liu R (2006) Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits. *Sci Total Environ* 371:270–285
- [19] Hausberger S., Rexeis M., Zallinger M., Luz , R., & Eichlsede, H. (2009). Emission factors from the model PHEM for the HBEFA Version 3. Graz University of Technology.
- [20] [Online]. Available: <http://citybus.cz/>.
- [21] [Online]. Available: <http://citytrans.cz/>.
- [22] [Online]. Available: <http://tramvaje.net/tramvaje-vyrobene-v-cr>.
- [23] [Online]. Available: <http://www.dpp.cz>.
- [24] [Online]. Available: <http://www.atlaslokomotiv.net/>.
- [25] [Online]. Available: <http://www.dpmb.cz/>.
- [26] "Athens Metro Fleet Data (3rd Generation)," [Online]. Available: <http://www.ametro.gr/page/default.asp?la=1&id=4350>.
- [27] "Official Trolley Fleet Data," [Online]. Available: <http://www.osy.gr/ethelsite/pages/allBuses.php>.
- [28] [Online]. Available: <http://leoforeia.gr/>.
- [29] A. G. S.A., "B1.4\_Data services manual\_v2".
- [30] "Documentation of tracktype tag," [Online]. Available: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Key:tracktype>.



## 9 Παραρτήματα

Ρύποι	Μονάδες μέτρησης
CO	gr/km
NO <sub>x</sub>	gr/km
PM	gr/km
FC	gr/km
VOC	gr/km
FC	kWh/h
NO <sub>x</sub>	kg/tonne
CO	kg/tonne
PM	kg/tonne
N <sub>2</sub> O	g/tonne
CH <sub>4</sub>	g/tonne
CO <sub>2</sub>	g/tonne
CO <sub>2</sub>	g/h
CO	g/h
NO <sub>x</sub>	g/h
VOC	g/h
PM	g/h
N <sub>2</sub> O	mg/km
CH <sub>4</sub>	mg/km
N <sub>2</sub> O	g/h
CH <sub>4</sub>	g/h
FC	kWh/km

Πίνακας 9-1: Εκπομπές ρύπων και οι αντίστοιχες μονάδες