



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



*Διπλωματική εργασία*

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ**  
**ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟΥ ΚΑΛΗΣ ΟΔΗΓΗΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΓΙΑ**  
**ΟΔΗΓΟΥΣ ΑΜΑΞΟΣΤΟΙΧΙΩΝ**

**ΣΟΥΡΛΑ ΜΑΤΙΝΑ**

*Επιβλέπων καθηγητής: Αθ. Ζηλιασκόπουλος*

*Βόλος, Απρίλιος 2015*

## Περίληψη

Το συνεχώς αυξανόμενο κόστος της παραγωγής ενέργειας τα τελευταία χρόνια δίνει μεγαλύτερη έμφαση στη ανάγκη για βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης των οχημάτων μεταφοράς. Η αύξηση του πληθυσμού και η ανάπτυξη της οικονομίας καθιστά δύσκολη (αν όχι αδύνατη) τη μείωση του συνολικού αριθμού των ταξιδιών και των παραδόσεων, ως εκ τούτου λύσεις θα πρέπει να βρεθούν ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας διατηρώντας τη συνολική κυκλοφορία. Οι υπάρχουσες έρευνες επικεντρώνονται κυρίως σε οχήματα ελαστικών (αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία, κλπ), σε τεχνολογικές καινοτομίες (πιο αποδοτικοί κινητήρες, αεροδυναμική, ελαστικά, κλπ) και σε υποδομές και λειτουργικές ρυθμίσεις (μικρότερες οδοί, όρια ταχύτητας, κ.λπ.). Τα παραπάνω μας παρακίνησαν στην αναζήτηση καινοτόμων μοντέλων, που δεν εξετάζουν την υποδομή του σιδηροδρομικού δικτύου, αλλά άλλες παραμέτρους, όπως την οδηγητική συμπεριφορά.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας θα μελετηθεί η διαδρομή Αθήνα - Θεσσαλονίκη. Υπάρχουν δύο βασικά μέρη της διαδρομής αυτής τα οποία διαφοροποιούνται με βάση το είδος της αυτοκινητάμαξας (δηζελοκίνητη, ηλεκτροκίνητη). Η διαδρομή από την Αθήνα στο Δομοκό πραγματοποιείται με δηζελάμαξα, ενώ διαδρομή από το Δομοκό στη Θεσσαλονίκη πραγματοποιείται με ηλεκτρική ενέργεια.

Για το τμήμα του σιδηροδρομικού δικτύου από το Δομοκό προς τη Θεσσαλονίκη, χρησιμοποιώντας ως είσοδο δεδομένα μετρήσεων κατανάλωσης ενέργειας (σειρές ταχύτητας και ενέργειας) σε έναν αλγόριθμο που κατασκευάστηκε στο πλαίσιο της συνεργασίας με το γερμανικό Πανεπιστήμιο του Hildesheim, βρέθηκε η βέλτιστη πολιτική. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος ψάχνει όλες τις σειρές ταχύτητας και τις σειρές στιγμιαίας ενέργειας, προκειμένου να υπολογίσει την καλύτερη πολιτική οδήγησης, δηλαδή τη σειρά που έχει την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας και πληροί τους χρόνους μεταφοράς. Η μελέτη του ηλεκτροκίνητου τμήματος της διαδρομής ολοκληρώνεται με την δοκιμή στην πράξη των οδηγικών προφίλ που προέκυψαν και την σύνταξη ενός εγχειριδίου καλής οδηγικής συμπεριφοράς, το οποίο θα απευθύνεται στους μηχανοδηγούς. Για το τμήμα του σιδηροδρομικού δικτύου από την Αθήνα προς το Δομοκό, θα μελετηθεί η επίδραση των στάσεων (σταθμών) στην κατανάλωση καυσίμου μιας τυπικής δηζελομηχανής.

## Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	6
2. Περιγραφή του Προβλήματος .....	7
3. Σκοπός της Εργασίας.....	9
4. Παράμετροι Ενεργειακής Κατανάλωσης Σιδηροδρόμων .....	11
4.1 Γεωγραφικοί Παράγοντες .....	11
4.2 Τύποι Ελκυστήρων .....	12
4.3 Καιρικές συνθήκες .....	12
4.4 Αεροδυναμική αμαξοστοιχιών .....	12
4.5 Χρονοδιάγραμμα δρομολογίων .....	12
4.6 Τρόπος Οδήγησης.....	13
5. Οικονομική Οδήγηση.....	14
5.1 Εισαγωγή.....	14
5.2 Παράμετροι Οικονομικής οδήγησης .....	14
5.2.1 Ταχύτητα .....	14
5.2.2 Επιβράδυνση.....	15
5.2.3 Επιτάχυνση.....	15
5.3 Οδηγικά πρότυπα και στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας .....	15
5.3.1 Εισαγωγή.....	15
5.3.2 Στρατηγικές βελτιστοποίησης της ταχύτητας για εξοικονόμηση ενέργειας σε τρένα.....	16
5.3.3 Στρατηγικές μείωσης των εκπομπών .....	21
5.3.4 Μοντέλα ελαχιστοποίησης της ενέργειας σε τρένα.....	23
5.3.5 Μακροχρόνια επίδραση ενός οικολογικού μαθήματος οδήγησης.....	24
5.3.6 Σύστημα εξοικονόμησης καυσίμου .....	25
5.3.7 Ανάπτυξη και δοκιμή συστήματος υποστήριξης οδηγού.....	26
5.3.8 Σύστημα ενεργειακής βελτιστοποίησης για οδικά οχήματα, με χρήση οδικών και κυκλοφοριακών δεδομένων πραγματικού χρόνου .....	28
6. Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης για χρήση τους στο πρόβλημα βελτιστοποίησης της παρούσης διπλωματικής.....	30
6.1 Εισαγωγή.....	30
6.2 Επαναληπτική βελτίωση.....	31

6.3	Αναζήτηση με Αναρρίχηση Λόφων (HC).....	32
6.4	Τοπική Ακτινική Αναζήτηση .....	33
6.5	Γενετικοί Αλγόριθμοι .....	34
6.6	Προσομοιωμένη Ανόπτηση .....	35
6.6.1	Ιστορικά.....	37
6.6.7	Παρουσίαση βημάτων της μεθόδου .....	41
6.6.7.1	Επιλογή αρχικής θερμοκρασίας $T_0$ .....	42
6.6.7.2	Εύρεση γειτονικής λύσης.....	43
6.6.7.3	Ορισμός πολιτικής αποδοχής .....	43
6.6.7.4	Χρονοπρογραμματισμός Μείωσης Θερμοκρασίας.....	45
6.6.7.5	Τερματισμός.....	46
7	Δεδομένα .....	47
7.1	Δεδομένα για τις ηλεκτράμαξες .....	47
7.2	Δεδομένα για τις δηζελάμαξες .....	50
7.2.1	Μετρικές Δηζελάμαξας για απλή τροχοδρόμηση .....	51
7.2.2	Μετρικές Δηζελάμαξας για Επιταχύνσεις.....	52
7.2.3	Μετρικές Δηζελάμαξας για Επιβραδύνσεις.....	52
8	Μεθοδολογία.....	53
8.1	Μεθοδολογία για τις ηλεκτράμαξες.....	53
8.1.1	Η διατάραξη μιας σειράς δι-μεταβλητών Ταχύτητα-Ενέργεια .....	55
8.1.2	Η αναζήτηση προσομοιωμένης ανόπτησης .....	56
8.1.3	Η σύγκλιση της αναζήτησης .....	58
8.2	Μεθοδολογία για τις δηζελάμαξες.....	59
9	Πειραματική Διαδικασία.....	61
9.1	Πειραματική διαδικασία για τις ηλεκτράμαξες.....	61
9.2	Πειραματική διαδικασία για τις δηζελάμαξες.....	73
10	Αποτελέσματα .....	76
10.1	Αποτελέσματα για τις ηλεκτράμαξες .....	76
10.1.1	Περιορισμός του χρόνου ταξιδιού.....	76
10.1.2	Προσομοίωση πολιτικής οδήγησης για τις Ηλεκτράμαξες στο δρομολόγιο Δομοκός-Θεσσαλονίκη.....	77
10.1.3	Ανάλυση των πιθανών εξοικονομήσεων.....	79

10.1.4 Εγχειρίδιο καλής οδηγητικής συμπεριφοράς.....	80
10.1.5 Πιλοτική δοκιμή της τεχνικής μελέτης .....	81
10.2 Αποτελέσματα για τις δηζελάμαξες .....	87
11      Συμπεράσματα.....	94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	100

---

## 1. Εισαγωγή

Η έννοια της οικονομικής οδήγησης παρουσιάστηκε έντονη τα τελευταία χρόνια με ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης και άρα μείωσης κόστους λειτουργίας σε επίπεδο χώρας, αλλά και της ανάγκης μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Η ανάγκη μείωσης του κόστους λειτουργίας είναι προφανής για κάθε μη κερδοσκοπικό οργανισμό ή εταιρεία. Ωστόσο η ανάγκη μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> δεν είναι προφανής και σε άμεση σχέση με την μείωση του λειτουργικού κόστους. Συνδέεται κυρίως με γενικότερους περιορισμούς περιβαλλοντικής ρύπανσής και συμμόρφωσης με ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> για μια μεταφορική εταιρεία και όχι μια εταιρεία παραγωγής ενέργειας μπορεί να συνδεθεί άμεσα με την κατανάλωση καυσίμων (πετρελαιοειδή κυρίως) και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας .

Η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στις αμαξοστοιχίες συνδέεται άμεσα:

1. Με το ποσό καυσίμων που χρησιμοποιείται για την κίνηση των πετρελαιοκίνητων αμαξοστοιχιών στις κεντρικές γραμμές του σιδηροδρομικού δικτύου
2. Με το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται στις γραμμές του προαστιακού σιδηρόδρομου καθώς και σε κάποια μέρη τη κυρίου δικτύου.

---

## 2. Περιγραφή του Προβλήματος

Ο τομέας των μεταφορών είναι υπεύθυνος για περίπου το ένα τέταρτο των συνολικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρώπη. Οι δεσμεύσεις και οι συνακόλουθες πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και οι σταθερά υψηλές τιμές των καυσίμων έχουν οδηγήσει τις μεταφορικές εταιρείες να αναζητούν τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας χωρίς να κάνουν έκπτωση στις προσφερόμενες υπηρεσίες προς τους πελάτες τους. Μείωση της ενεργειακής δαπάνης σε μία εταιρεία συνεπάγεται ταυτόχρονη μείωση του κόστους μεταφοράς και μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των δραστηριοτήτων της, βελτιώνοντας την οικονομική της θέση, την ανταγωνιστικότητά της και την εταιρική της εικόνα προς τους πελάτες της και το κοινό.

Η οδηγική συμπεριφορά αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται. Η επίδειξη προσοχής κατά την οδήγηση, καθώς και η εφαρμογή μερικών τεχνικών εξοικονόμησης καυσίμου κατά τη διάρκεια της οδήγησης, μπορούν εύκολα να επιφέρουν σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου.

Στη συγκεκριμένη εργασία, θα πραγματοποιηθεί μελέτη ενεργειακής κατανάλωσης στη διαδρομή από το Δομοκό προς τη Θεσσαλονίκη, η οποία αποτελεί μέρος της διαδρομής Αθήνα – Θεσσαλονίκη, για επιβατικές αμαξοστοιχίες και θα κατασκευαστεί εγχειρίδιο καλής οδηγικής συμπεριφοράς για οδηγούς αμαξοστοιχιών. Στόχος της μελέτης ήταν να βρεθεί το βέλτιστο καθοδηγητικό πρότυπο που εφόσον κάποιος μηχανοδηγός το εφαρμόζει θα μπορούσε να πετύχει μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτή τη διαδρομή. Η οικονομική οδήγηση είναι κάτι που έχει μελετηθεί σε βάθος από την διεθνή ερευνητική κοινότητα και μία προσέγγιση που θα μπορούσε να βελτιώσει την ενεργειακή κατανάλωση είναι και το εγχειρίδιο καλής οδηγικής συμπεριφοράς. Παρόλα αυτά πολλές φορές μπορεί να βρεθεί σε αντίθεση με τις απαιτήσεις και τις δεσμεύσεις προς τους επιβάτες/πελάτες μίας μεταφορικής εταιρείας που πρέπει να πετυχαίνει τους διακηρυγμένους χρόνους μεταφοράς. Στην περίπτωση που εξετάσθηκε, η μελέτη οδήγησε στην δημιουργία τριών οδηγικών προφίλ μηχανοδήγησης τα οποία διέφεραν ως προς την διάρκεια του ταξιδιού.

Στη συνέχεια της εργασίας θα πραγματοποιηθεί μελέτη ενεργειακής κατανάλωσης στη διαδρομή από την Αθήνα προς το Δομοκό, η οποία αποτελεί επίσης

μέρος της διαδρομής Αθήνα – Θεσσαλονίκη. Για τη συγκεκριμένη διαδρομή θα λάβουμε μετρήσεις από μια τυπική δηζελομηχανή και θα εξετάσουμε την επίδραση των επιταχύνσεων/επιβραδύνσεων, που πραγματοποιούνται λόγω των 7 στάσεων που παρεμβάλλονται, στην κατανάλωση καυσίμου.



---

### 3. Σκοπός της Εργασίας

Αν και οι μεταφορές, και πιο συγκεκριμένα οι αμαξοστοιχίες, έχουν βελτιωθεί και τα τελευταία χρόνια μεγάλες επενδύσεις έχουν γίνει σε αυτόν τον τομέα, η έρευνα στην εξοικονόμηση ενέργειας σιδηροδρομικών μεταφορών και κατ' επέκταση η μείωση εκπομπών ρύπων είναι σε πρώιμο στάδιο. Υπάρχουν πολλοί λόγοι που συμβαίνει αυτό.

Πρώτα από όλα, οι κατασκευαστές επενδύουν στην βελτίωση του σιδηροδρομικού δικτύου, πχ εξομάλυνση των χρονοβόρων κομματιών του δικτύου, επέκταση του δικτύου σε νέες περιοχές. Δεύτερον, η τάση των κατασκευαστών αμαξοστοιχιών για πιο γρήγορους κινητήρες με ολοένα και αυξανόμενες τελικές ταχύτητες πχ. Shanghai Maglev (Κίνα) 430 km/h, Harmony CRH (Κίνα) 486 km/h. Πριν τις αρχές της δεκαετίας του '90 στην παγκόσμια κοινότητα δεν υπήρχε ενδιαφέρον για τα θέματα κλιματικής αλλαγής και περιορισμένων αποθεμάτων ενέργειας. Η ευαισθητοποίηση στα θέματα αυτά προκλήθηκε χάρις στις έρευνες της πανεπιστημιακής κοινότητας και ερευνητικών φορέων και πλέον γίνονται ολοένα και μεγαλύτερες προσπάθειες προς την κατεύθυνση αυτή.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας θα μελετηθεί η διαδρομή Αθήνα - Θεσσαλονίκη με χρήση μοντέλου που δεν ασχολείται με την υποδομή αλλά μόνο με την βελτίωση αλλά παραμέτρων όπως οδηγική συμπεριφορά, με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Υπάρχουν δύο βασικά μέρη της διαδρομής αυτής τα οποία διαφοροποιούνται με βάση το είδος της αυτοκινητάμαξας (δηζελοκίνητη, ηλεκτροκίνητη). Η διαδρομή Δομοκός – Θεσσαλονίκη πραγματοποιείται με ηλεκτρική ενέργεια, ενώ η διαδρομή από την Αθήνα στην Θεσσαλονίκη πραγματοποιείται με δηζελάμαξα.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων στα ποσοτικά χαρακτηριστικά της κατανάλωσης προχωρήσαμε σε μια σειρά από μετρήσεις κατανάλωσης επί της βασικής γραμμής Αθήνας - Θεσσαλονίκης. Αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας θα είναι ένα εγχειρίδιο οδηγητικών συμβουλών προς τους μηχανοδηγούς, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Σκοπός του εγχειριδίου είναι να εντοπίσουμε τα ποσοτικά χαρακτηριστικά της «κακής» - ενεργοβόρας επιτάχυνσης και να προτείνουμε την αντικατάστασή της με «καλές» επιταχύνσεις που επιφέρουν το ίδιο αποτέλεσμα.

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για τη δημιουργία εγχειριδίων στο υπόλοιπο σιδηροδρομικό δίκτυο της

επικράτειας, καθώς θα έχουν διαπιστωθεί τα κρίσιμα σημεία μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης. Η δημιουργία ενός εγχειριδίου καλής οδηγητικής συμπεριφοράς θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από την ΤΡΑΙΝΟΣΕ Α.Ε. στα πλαίσια της εκπαίδευσης των νέων μηχανοδηγών.

Επίσης σημαντικό πλεονέκτημα της παρούσας εργασίας είναι ότι δεν έχει πραγματοποιηθεί παρόμοια μελέτη ενεργειακής βελτιστοποίησης στο σιδηροδρομικό δίκτυο της Ελλάδας. Η εφαρμογή μίας μεθόδου όπως αυτή είναι πολύ σημαντική για τον Ευρωπαϊκό σιδηρόδρομο διότι τα αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας στη λειτουργία των σιδηροδρόμων φαίνονται άμεσα και στο κόστος λειτουργίας μίας σιδηροδρομικής εταιρείας.

---

## 4. Παράμετροι Ενεργειακής Κατανάλωσης Σιδηροδρόμων

Η κατανάλωση καυσίμων / ηλεκτρικής ενέργειας υπόκειται σε μια σειρά από παράγοντες που μπορούν την επηρεάσουν δραματικά. Εάν καταφέρουμε να προσδιορίσουμε επακριβώς αυτούς του παράγοντες τότε μπορούμε να προχωρήσουμε και στις αντίστοιχες μετρικές, στατιστικές αναλύσεις και τέλος στην ανάλυση ευαισθησίας τους.

Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων/ενέργειας είναι :

- Γεωγραφία επί της οποίας κινείται η αμαξοστοιχία.
- Τύπος ελκυστήρας αμαξοστοιχίας – Υγρών καυσίμων ή Ηλεκτρικού Ρεύματος
- Καιρικές συνθήκες (κατεύθυνση και ένταση ανέμου)
- Αεροδυναμική των αμαξοστοιχιών και των συρόμενων βαγονιών
- Οδηγική συμπεριφορά
- Χρονοδιάγραμμα Δρομολογίων

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε κυρίως με τους παράμετρους οι οποίοι επηρεάζουν την κατανάλωση και οι οποίοι μπορούν αν μεταβληθούν χωρίς οικονομικό κόστος.

### 4.1 Γεωγραφικοί Παράγοντες

Η γεωγραφία της σιδηροδρομικής γραμμής επηρεάζει δραματικά την κατανάλωση καυσίμων / ενέργειας. Η παρουσία μεγάλων κλίσεων (ανωφέρειες, κατωφέρειες) αυξάνουν την κατανάλωση λόγω του έξτρα φόρτου που απαιτείται για την έλξη στις ανωφέρειες και επιπλέον της μη μηδενικής κατανάλωσης στις κατωφέρειες, δεδομένου ότι η δηζελάμαξα θα πρέπει πάντα να διαθέτει ισχύ. Ωστόσο για τις ηλεκτράμαξα υπάρχει η δυνατότητα για παραγωγή ενέργειας μέσω της διαδικασίας πέδησης. Θα πρέπει να επισημάνουμε εδώ ότι η γεωγραφία της σιδηροδρομικής δεν είναι μια παράμετρος η οποία μπορεί να μεταβληθεί χωρίς κόστος.

## **4.2 Τύποι Ελκυστήρων**

Ο τύπος ελκυστήρα (δηζελοκίνητος ή ηλεκτροκίνητος) επηρεάζει επίσης και την σχετική κατανάλωση ενέργειας (είτε θερμική είτε ηλεκτρική). Η εταιρεία ΤΡΑΙΝΟΣΕ διαθέτει για το κεντρικό δίκτυο της, δηζελοκίνητους ελκυστήρες για το μέρος της γραμμής από Αθήνα μέχρι και Λαμία, και στην συνέχεια ηλεκτροκίνητους ελκυστήρες . Ο τύπος των ελκυστήρων δεν είναι δυνατό να αλλάξει στο προσεχές μέλλον.

## **4.3 Καιρικές συνθήκες**

Οι καιρικές συνθήκες αν και επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων/ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μια παράμετρος η οποία δύναται να ελεγχθεί.

## **4.4 Αεροδυναμική αμαξοστοιχιών**

Η αεροδυναμική κατάσταση των αμαξοστοιχιών δύναται να επηρεάσει δραματικά την κατανάλωση καυσίμου/ενέργειας. Ωστόσο δεν είναι μια παράμετρος η οποία μπορεί να μεταβληθεί χωρίς κόστος.

## **4.5 Χρονοδιάγραμμα δρομολογίων**

Το χρονοδιάγραμμα των δρομολογίων μπορεί επηρεάσει την κατανάλωση καυσίμων/ ηλεκτρικής ενέργειας. Δρομολόγια τα οποία έχουν μεγάλες αναμονές για ανταποκρίσεις, δρομολόγια τα οποία έχουν ελάχιστες ανοχές σε καθυστερήσεις μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την κατανάλωση. Για την περίπτωση των μεγάλων αναμονών η κατανάλωση αυξάνεται λόγω των ενεργών μηχανών σε που βρίσκονται σε λειτουργική κατάσταση αδράνειας. Για την περίπτωση δρομολογίων με μικρές ανοχές σε καθυστερήσεις, αυτό οδηγεί σε αυξημένες καταναλώσεις μέσω της ασκούμενης πίεσης επί των μηχανοδηγών να κρατηθούν εντός ορθού χρονικού πλαισίου

## 4.6 Τρόπος Οδήγησης

Ο τρόπος οδήγησης είναι μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου/ενέργειας. Για την ίδια διαδρομή δύο διαφορετικοί μηχανοδηγοί μπορούν να παρουσιάσουν σημαντικές αποκλίσεις στην κατανάλωση ενέργειας. Έτσι για παράδειγμα ένας «επιθετικός» οδηγός μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση χωρίς τελικά να επιτύχει καλύτερους χρόνους για το δρομολόγιο του. Ο τρόπος οδήγησης μπορεί να επηρεασθεί χωρίς κόστος για τον οργανισμό / εταιρεία. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος έχει νόημα να μελετήσουμε τους τρόπους οδήγησης και να προσπαθήσουμε μέσω κάποιας μεθοδολογίας να εντοπίσουμε τον πιο οικονομικό τρόπο.

---

## 5. Οικονομική Οδήγηση

### 5.1 Εισαγωγή

Η οικονομική οδήγηση μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό παράγοντα βελτίωσης της κατανάλωσης καυσίμων/ενέργειας. Μπορεί να βασισθεί σε καλές πρακτικές οδήγησης οι οποίες μπορούν εξαχθούν με χρήση εργαλείων στατιστικής σε μια σειρά από διάφορες μετρήσεις. Ωστόσο πριν προχωρήσουμε σε ανάλυση μετρήσεων θα πρέπει να προσδιορίσουμε τους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την οικονομική οδήγηση. Σε γενικές γραμμές οι παράμετροι που επηρεάζουν στον μεγαλύτερο βαθμό την σχετιζόμενη με την οδηγική συμπεριφορά κατανάλωση καυσίμου/ενέργειας είναι α. ταχύτητα κύλισης, β. επιβράδυνση, γ. επιτάχυνση. Στην παράγραφο που ακολουθεί περιγράφονται με μεγαλύτερη ακρίβεια οι προαναφερθείσες παράμετροι και αναλύονται αντιστοίχως.

### 5.2 Παράμετροι Οικονομικής οδήγησης

#### 5.2.1 Ταχύτητα

Η ταχύτητα με την οποία κινείται η αμαξοστοιχία επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου/ενέργειας. Το ποια ταχύτητα θα χρησιμοποιείται κάθε φορά από την αμαξοστοιχία είναι άμεση συνάρτηση του περιορισμών του δρομολογίου καθώς και της παρεχόμενης υπηρεσίας στους πελάτες της εταιρείας. Αυτό που μπορεί να βελτιωθεί είναι, να περιοριστούν οι άσκοπα μεγάλες ταχύτητες οι οποίες αυξάνουν την κατανάλωση χωρίς να προσφέρουν σημαντική βελτίωση της περιεχόμενης υπηρεσίας.

### **5.2.2 Επιβράδυνση**

Η περιττή επιβράδυνση επηρεάζει την κατανάλωση εμμέσως ως αποτέλεσμα της ακολουθούμενης επιτάχυνσης, προκειμένου η αμαξοστοιχία να επανακάμψει στην αρχική ταχύτητα κύλισης.

### **5.2.3 Επιτάχυνση**

Οι επιτάχυνση επιφέρει εγγενώς αύξηση της κατανάλωσης. Ωστόσο είναι εξαιρετικά σημαντικό η ρυθμός επιτάχυνσης. Έντονοι ρυθμοί επιτάχυνσης επιφέρουν δραματική αύξηση στην κατανάλωση καυσίμων από ότι ήπιοι ρυθμοί επιτάχυνσης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

## **5.3 Οδηγικά πρότυπα και στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας**

### **5.3.1 Εισαγωγή**

Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι αναμφίβολα ο ταχύτερος, ο οικονομικότερος και ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα καθώς και για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της χρήσης τους. Το σκεπτικό της εξοικονόμησης ενέργειας βασίζεται στην προσπάθεια για εξεύρεση τρόπων που θα μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και θα βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση του εξοπλισμού που καταναλώνει ενέργεια, χωρίς να επηρεάζονται οι συνθήκες άνεσης των χρηστών. Με το τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μείωση της ζήτησης ενέργειας και συνεπώς μείωση της κατανάλωσης καυσίμων.

Η ανάπτυξη συστημάτων μεταφοράς υψηλής ενεργειακής απόδοσης και κατά συνέπεια χαμηλών εκπομπών σε ρύπους είναι μια μεγάλη πρόκληση για την κοινωνία, προκειμένου να βελτιωθεί η αειφόρος κινητικότητα, κυρίως στις αστικές και μητροπολιτικές περιοχές. Η συνολική ενέργεια που δαπανάται για τις ανάγκες μεταφοράς ανέρχεται σε πάνω από 33% του συνόλου της παγκόσμιας παραγωγής

ενέργειας, με το ποσοστό που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα να είναι περίπου στο 85% [4].

Στην κατεύθυνση αυτή, τα σιδηροδρομικά συστήματα αποτελούν μια από τις πιο ενδιαφέρουσες λύσεις για την ικανοποίηση της υψηλής ζήτησης για ταξίδια με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας: οι σιδηρόδρομοι μπορεί να έχουν σημαντικά χαμηλότερο κόστος ανά p-km (passenger-kilometre) από οδικά συστήματα (για παράδειγμα, στην περίπτωση του ίδιου βαθμού πληρότητας) και να επιτρέπουν υψηλές χωρητικότητες χωρίς σημαντική απώλεια της ποιότητας των υπηρεσιών. Πράγματι, αν και στην περίπτωση του σιδηροδρομικού συστήματος το λειτουργικό κόστος είναι περίπου πέντε φορές υψηλότερο σε σχέση με τα οδικά συστήματα, η ικανότητα του οχήματος μπορεί να είναι τόσο πολύ όσο δέκα φορές υψηλότερη. Επιπλέον, η κατανάλωση ενέργειας και κατά συνέπεια των αερίων του θερμοκηπίου και τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων των σιδηροδρομικών συστημάτων είναι επίσης χαμηλότερες σε σύγκριση με άλλα συστήματα μεταφοράς [4].

Η εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και η συνακόλουθη μείωση των εκπομπών καυσαερίων έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές, οι οποίοι ασχολήθηκαν με την εύρεση νέων στρατηγικών και οδηγικών προτύπων που θα βοηθήσουν στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και την εκπομπή ρύπων. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες από αυτές τις προσπάθειες που στρέφονται προς αυτή την κατεύθυνση.

### **5.3.2 Στρατηγικές βελτιστοποίησης της ταχύτητας για εξοικονόμηση ενέργειας σε τρένα**

Οι Feng et al (2012), βασισμένοι σε προσομοιώσεις με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, μελέτησαν τις επιβατικών μεταφορές διαφορετικών ειδών αμαξοστοιχιών στην Κίνα. Ανέλυσαν τις αλλαγές του κόστους της ενέργειας έλξης των αμαξοστοιχιών αυτών λαμβάνοντας διαφορετικές κλίμακες σχηματισμού και μεγέθη έλξης για την βελτίωση της ταχύτητας της αμαξοστοιχίας και ως τελικό στόχο τον υπολογισμό της βέλτιστης έλξης της αμαξοστοιχίας. Βρέθηκε ότι η αύξηση του ενεργειακού κόστους έλξης (TEC) ενός υψηλής ταχύτητας (HSR) τρένου είναι πάνω από το διπλάσιο της βελτίωσης της ταχύτητας στόχου. Αντίθετα, το ποσοστό αύξησης (TEC) μιας αμαξοστοιχίας του μετρό είναι μόνο περίπου το ένα τέταρτο του λόγου βελτίωση της



ταχύτητας στόχου. Επιπλέον, σε μεγάλους σχηματισμούς βαγονιών των HSR τρένων αυξάνεται το TEC, λόγω του περιορισμού της ταχύτητας από τους διακόπτες των βαγονιών. Επιπλέον, επεκτείνοντας την κλίμακα σχηματισμού ενός μετρώ ή μιας επιβατική αμαξοστοιχίας συμβατικής ατμομηχανής με την προσθήκη ρυμουλκούμενων μειώνει το (TEC) του πληρώνοντας περισσότερο χρόνο μεταφοράς λόγω της μειωμένης ικανότητας επιτάχυνσής του, η οποία απαιτεί η αναλογία των ρυμουλκούμενων να προσδιορίζεται για την εξοικονόμηση ενέργειας έλξης του, το οποίο αποτελεί προϋπόθεση για μια αποτελεσματική μεταφορά, ειδικά σε πολυσύχναστη σιδηροδρομική γραμμή [3].

Διαπιστώθηκε ότι οι μεταβολές των TEC ανά 10.000 p-km των διαφόρων ειδών των αμαξοστοιχιών με τις αυξήσεις των ταχυτήτων στόχος τους είναι άμεσα συνδεδεμένες με τις κλίμακες σχηματισμού τους και τις δυνατότητες έλξης. Οι σχεδόν παράλληλες γραμμικές αυξήσεις των TEC ανά 10.000 p-km ενός HSR τρένου υιοθετώντας διαφορετικούς σχηματισμούς για το αμετάβλητο ποσοστό χρησιμοποίησης των επιβατικών καθισμάτων του, είναι υπερδιπλάσιες της βελτίωσης της ταχύτητας στόχου του [3].

Μία αμαξοστοιχία HSR μικρού σχηματισμού διαθέτει μικρότερο TEC ανά 10.000 p-km σε σύγκριση με το TEC ανά 10.000 p-km ενός μεγάλου σχηματισμού που αποτελείται από δύο όμοιους μικρούς σχηματισμούς, κυρίως λόγω του περιορισμού της ταχύτητας από τους διακόπτες των βαγονιών. Αντίθετα, το ποσοστό αύξησης του TEC ανά 10.000 p-km για ένα μετρώ είναι το πολύ περίπου στο 25% του δείκτη αύξησης της ταχύτητας στόχου του για την πλήρη αξιοποίηση της ικανότητας χωρητικότητας των επιβατών [3].

Επιπλέον, η αλλαγή του μεγέθους σχηματισμού ενός τρένου μετρώ έχει μικρή επίδραση στο TEC ανά μονάδα μεταφοράς, αν η αναλογία των μηχανοκίνητων οχημάτων του σε σχέση με τα ρυμουλκούμενά του είναι αμετάβλητη. Παρ' όλα αυτά, όταν το μέγεθος σχηματισμού ενός τρένου μετρώ αυξάνεται με την προσθήκη ρυμουλκούμενων για τη σταθερή πλήρη χρήση της μεταφορικής ικανότητας επιβατών του, η αύξηση του TEC ανά μονάδα μεταφοράς με τη βελτίωση της ταχύτητας στόχου του, ιδίως πάνω από τα 50,00 km / h είναι προφανώς επιβραδυνόμενη. Αυτό είναι λόγω της αποτελεσματικής αξιοποίησης της αμετάβλητη ικανότητας έλξης του τρένου μετρώ για τα αυξημένα του οχήματα και με τον ίδιο ρυθμό επιβίβασης. Αυτός είναι επίσης ο λόγος για τον οποίο μια μακρά διαμόρφωση ενός τρένου CLHP είναι επωφελής για τη μείωση του TEC ανά 10.000 p-km. Επιπλέον, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των

καμπυλών κόστους ενέργειας των μηχανών για τις αμαξοστοιχίες CLHP, οι μεταβολές των TECs ανά 10.000 p-km μιας αμαξοστοιχίας CLHP για διάφορους σχηματισμούς της με την αύξηση της ταχύτητας στόχου έχουν σχεδόν καθόλου προφανείς κανονικότητες [3].

Λόγω των πολύ ταχύτερων αυξήσεων των TEC των HSR τρένων σε σύγκριση με τις βελτιώσεις των ταχυτήτων στόχου τους, την απόλυτη αναγκαιότητα να αποφασιστεί μια υψηλή ταχύτητα στόχου (π.χ. πάνω από 250 km / h) ή τη βελτίωση της ταχύτητας στόχου της HSR αμαξοστοιχίας πρέπει να αποδειχθούν πλήρως με σοβαρή εξέταση της λεπτομερούς εξοικονόμησης του χρόνου μεταφοράς, της ζήτησης μεταφοράς των επιβατών για μια τέτοια εξοικονόμηση χρόνου και ούτω καθεξής. Ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι ο μέσος βαθμός χρήσης των καθισμάτων των επιβατών των HSR αμαξοστοιχιών μεταξύ Σαγκάη και Hangzhou είναι μόνο γύρω στο 1,00%. Επιπλέον, η χρησιμοποίηση του μικρού σχηματισμού ενός HSR τρένου είναι πιο ενεργειακά αποδοτική σε σύγκριση με την κατανάλωση ενέργειας του μεγάλου σχηματισμού, η οποία είναι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη σήμερα στην Κίνα, για το ίδιο μεταφορικό έργο του τρένου, με την ίδια ταχύτητα στόχο και για τον ίδιο λόγο αξιοποίηση των καθισμάτων των επιβατών του [3].

Εν όψει της πολύ μικρότερης αναλογίας αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας έλξης ενός μετρώ σε σύγκριση με το ποσοστό βελτίωσης της ταχύτητας στόχου του, πιστεύεται ευρέως και είναι επίσης λογικό ότι βελτιώνοντας την ταχύτητα στόχο ενός μετρώ σε μια σχετικά υψηλή τιμή (π.χ. άνω των 100,00 χλμ/ώρα) για να μειωθεί ο χρόνος ταξιδιού των επιβατών με μία συγκριτικά μικρή αύξηση του (TEC) του αξίζει τον κόπο. Ωστόσο, οι συνήθως πολύ σύντομες στάσεις των γραμμών του μετρώ είναι σε θέση να μειώσουν αισθητά την εν λόγω επίδραση εξοικονόμησης χρόνου, η οποία καταναλώνει ενέργεια πιο εντατικά. Επιπλέον, η επέκταση της κλίμακας σχηματισμού ενός μετρώ ή ενός CLHP τρένου, προσθέτοντας ρυμουλκούμενα, είναι σε θέση να μειώσει το (TEC) του ανά μονάδα μεταφοράς προφανώς με περισσότερο χρόνο ταξιδιού για την ίδια εργασία μεταφοράς, για την ίδια ταχύτητα-στόχο και το αμετάβλητο ποσοστό επιβίβασης. Ως εκ τούτου, η αναλογία των ρυμουλκούμενων πρέπει να αποφασίζεται σοβαρά ώστε να εναρμονίζεται η ένταση του κόστους της ενέργειας ενός τρένου με την απαίτηση της ικανότητας επιτάχυνσης ώστε να εξασφαλίζεται μια ικανοποιητικής απόδοσης μεταφορά, ειδικά μίας πολυσύχναστης σιδηροδρομικής γραμμής, π.χ. μιας αναπτυσσόμενης χώρας όπως η Κίνα, παρά μια υποκειμενική απόφαση, π.χ. σε

ακρότητες όπως πάντα σχηματίζουν οι πιο πολλοί συρμοί του μετρό στο Πεκίνο με μόνο οχήματα αυτοκίνησης [3].

Καταλήγουν ότι, η αξιολόγηση της επίδρασης της ταχύτητας στόχου μιας αμαξοστοιχίας στο TEC της ανά μονάδα μεταφοράς, λαμβάνοντας υπόψη την εμπεριστατωμένη επιρροή περισσότερων παραγόντων, π.χ. ποικίλες αναλογίες των ρυμουλκούμενων της για την ίδια κλίμακα σχηματισμού, την άνιση κατανομή της μάζας του τρένου, κλπ, από μια πιο ολοκληρωμένη άποψη, συμπεριλαμβανομένης της εξέτασης της αποδοτικότητας των μεταφορών μιας σιδηροδρομικής γραμμής κάτω από συνθήκες δικτύου σε περιβάλλοντα δυναμικής της αγοράς, αξίζει να διερευνηθεί σε μελλοντικές έρευνες. Ως εκ τούτου, οι Feng et al προτείνουν οι ενεργειακές καταναλώσεις περισσότερων τύπων των διαφόρων ειδών αμαξοστοιχιών σε διαφορετικές σιδηροδρομικές γραμμές να μελετηθούν συγκριτικά με την περαιτέρω επικύρωση των συμπερασμάτων της μελέτης τους στο μέλλον [3].

Στο πλαίσιο επιδίωξης υψηλότερης ταχύτητας λειτουργίας στα επιβατικά τρένα στην Κίνα, οι επιπτώσεις της υψηλής ταχύτητας λειτουργίας στην κατανάλωση ενέργειας και την αποτελεσματικότητα των μεταφορών δεν προσδιορίζονται με σαφήνεια. Ο Feng (2011) προσπάθησε να αναλύσει το κόστος της ενέργειας έλξης και του χρόνου λειτουργίας μεταφορών ανά 10.000 p-km των τρένων υψηλών ταχυτήτων (HSR), με ένα εύρος ταχυτήτων στόχου για ορισμένες HSR γραμμές στην Κίνα μέσω μιας προσέγγισης προσομοίωσης. Έχοντας μελετήσει την επίδραση των μεταφορικών αποστάσεων μεταξύ των στάσεων, τα χαρακτηριστικά έλξης των HSR τρένων και τις κλίσεις, καμπυλότητες, κλπ των σιδηροδρομικών γραμμών, προκύπτει ότι η τελική ταχύτητα ενός HSR τρένου για μια μεταφορικές αποστάσεις μεταξύ στάσεων μικρότερες από 100 km θα πρέπει να είναι κάτω από 190 χλμ/ώρα από την προοπτική της εξοικονόμησης ενέργειας έλξης και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των μεταφορών [2].

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της μελέτης του δείχνουν ότι, σε αντίθεση με την πραγματική HSR λειτουργία, η ταχύτητα-στόχος θα πρέπει να προσαρμόζεται δυναμικά ανάλογα με τις μεταφορικές αποστάσεις μεταξύ των στάσεων, αν η μεταφορική ικανότητα της σιδηροδρομικής γραμμής δεν χρησιμοποιείται εκτενώς. Σύμφωνα πάντα με τον Feng, η ακριβής ταχύτητα-στόχος για κάθε απόσταση μεταξύ στάσεων μικρότερη των 100 km πρέπει να προσδιοριστεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά έλξης της αμαξοστοιχίας και τη γεωμετρίας της τροχιάς της σιδηροδρομικής γραμμής [2].

Για ένα δεδομένο ποσοστό χρησιμοποίησης των επιβατικών καθισμάτων, αποκαλύπτεται ότι η αύξηση του TEC (Traction Energy Cost) ανά 10.000 p-km ενός HSR τρένου είναι πολύ ταχύτερη από την αύξηση της ταχύτητας στόχου του. Επιπλέον, εάν η ταχύτητα στόχος είναι υψηλότερη από 180 χλμ/ώρα, τόσο το TEC όσο και το TOT (Technical Operation Time) ανά 10.000 p-km αυξάνονται σημαντικά με τη μείωση της απόστασης μεταξύ στάσεων κάτω των 100 km. Διαφορετικά χαρακτηριστικά έλξης των HSR τρένων μπορούν να κάνουν την ίδια απόσταση μεταξύ στάσεων να έχει διαφορετική επίδραση στο TEC και στο TOT ανά 10.000 p-km. Επίσης, όταν η απόσταση μεταξύ στάσεων είναι μικρότερη από 50 km, αλλαγές στις τιμές των TEC και TOT ανά 10.000 p-km με την αύξηση της ταχύτητας στόχου, θα αποφευχθούν, εμποδίζοντας το τρένο από μία επιτάχυνση που υπερβαίνει μια μέγιστη ταχύτητα άνω των 300 km / h σε μία τόσο μικρή απόσταση. Ωστόσο, ο χρόνος οδήγησης στη νεκρά ενός HSR τρένου μπορεί να τύχει να επεκταθεί λόγω των ανώτατων ορίων ταχύτητας που απαιτούνται από τις κλίσεις, καμπυλότητες, κλπ. της σιδηροδρομικής γραμμής, και ως εκ τούτου το TEC ανά 10.000 p-km του συρμού, μπορεί να μειωθεί [2].

Έχει εμπειρικά επιβεβαιωθεί ότι ενόψει της εξοικονόμησης ενέργειας έλξης και της βελτίωσης της αποτελεσματικότητας των μεταφορών, η τελική ταχύτητα ενός HSR τρένου για μία συγκεκριμένη αναλογία χρησιμοποίησης των επιβατικών θέσεων του, θα πρέπει να είναι μικρότερη από 190 km / h εάν η απόσταση μεταφοράς μεταξύ των στάσεων είναι μικρότερη από 100 χιλιόμετρα. Η ταχύτητα στόχος ενός HSR τρένου οφείλει να προσαρμόζεται δυναμικά σύμφωνα με τις μεταφορικές αποστάσεις μεταξύ στάσεων, ιδίως όταν αυτές είναι μικρότερες από 100 χιλιόμετρα, εάν η μεταφορική ικανότητα της σιδηροδρομικής γραμμής δεν έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα, αντί να διατηρηθεί η συνέπεια για το σύνολο της διαδρομής από το σταθμό προέλευσης στο σταθμό προορισμού στην πραγματική HSR λειτουργία. Η ακριβής ταχύτητα στόχος της αμαξοστοιχίας για κάθε διάστημα μεταξύ στάσεων θα πρέπει να προσδιορίζεται περαιτέρω με βάση την αναγκαιότητα της ταχείας υπηρεσίας μεταφοράς, τα χαρακτηριστικά έλξης των αμαξοστοιχιών και τη γεωμετρία της τροχιάς της σιδηροδρομικής γραμμής. Όπως επισημαίνει ο Feng, διαφορετικές τιμές θα πρέπει να καθοριστούν, κυρίως σύμφωνα με τις ταχύτητες στόχους των HSR τρένων. Ωστόσο, η αρχή αυτή δεν έχει ληφθεί πλήρως υπόψη κατά στο HSR μεταφορικό έργο στην Κίνα [2].

Τέλος, επισημαίνουν ότι θα πρέπει να μελετηθούν συγκριτικά οι μεταφορές περισσότερων τύπων HSR τρένων και για άλλες γραμμές HSR, ώστε να αξιολογηθούν περαιτέρω τα συμπεράσματα της έρευνάς τους, στην οποία αναλύθηκαν μόνο οι

επιδόσεις δύο τύπων κινεζικών HSR τρένων ως προς τις υπηρεσίες μεταφοράς επιβατών σε συγκεκριμένες HSR γραμμές στην Κίνα. Μία ακόμη πρόταση μελλοντικής έρευνας που προτείνει ο Feng είναι ο προσδιορισμός της ταχύτητας στόχου ενός HSR τρένου εξετάζοντας περισσότερους παράγοντες, π.χ. αναλογία χρησιμοποίησης των επιβατικών καθισμάτων, αεροδυναμικές επιδράσεις, κλπ [2].

### 5.3.3 Στρατηγικές μείωσης των εκπομπών

Οι Int Panis et al (2010), οι οποίοι ασχολήθηκαν με τη μείωση των εκπομπών PM, NO<sub>x</sub> και CO<sub>2</sub>, αναφέρουν ότι τα μέτρα για τη μείωση της ταχύτητας κατατάσσονται μεταξύ των πιο κοινών συστημάτων για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Πολλές αστικές οδοί ή ολόκληρες συνοικίες μετατράπηκαν σε ζώνες 30 kph και σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα των φορτηγών στους αυτοκινητοδρόμους είναι υπό συζήτηση. Ωστόσο, εκτός από τη συμβολή στην ασφάλεια της κυκλοφορίας, η μείωση της μέγιστης ταχύτητας θεωρείται επίσης ευεργετική και για το περιβάλλον, λόγω του ότι η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου συνδέεται με χαμηλότερες εκπομπές [5].

Για την απόκτηση μιας καλύτερης εικόνας των επιπτώσεων των πολιτικών διαχείρισης της ταχύτητας για τις εκπομπές, οι Int Panis et al εξέτασαν τις επιπτώσεις των διαφόρων τύπων κυκλοφορίας (αστικό έναντι εθνικού οδικού δικτύου) με διαφορετικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης (μικροσκοπική έναντι μακροσκοπικής). Οι εκπομπές υπολογίστηκαν μικροσκοπικά για συγκεκριμένους τύπους οχημάτων με το εργαλείο VeTESS (Vehicle Transient Emissions Simulation Software), με τη χρήση πραγματικών κύκλων οδήγησης και στη συνέχεια έγινε σύγκριση με τα αποτελέσματα που λήφθηκαν με τη μακροσκοπική προσέγγιση της μεθοδολογίας Copert [5].

Στη συνέχεια αναλύθηκε η σχετική μεταβολή των εκπεμπόμενων ρύπων πριν και μετά την εφαρμογή του μέτρου μείωσης ταχύτητας των επιβατικών αυτοκινήτων σε τοπικούς δρόμους (50-30 kph) και των φορτηγών σε αυτοκινητοδρόμους (90-80 kph). Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι οι εκπομπές των περισσότερων κλασικών ρύπων δεν αυξάνονται ούτε μειώνονται δραματικά. Για τα επιβατικά αυτοκίνητα και οι δύο μέθοδοι δείχνουν μόνο μικρές αλλαγές στις εκπομπές των NO<sub>x</sub> και CO<sub>2</sub>. Για τα PM, η μακροσκοπική προσέγγιση προβλέπει μια μέτρια αύξηση των εκπομπών ενώ τα μικροσκοπικά αποτελέσματα δείχνουν μια σημαντική μείωση. Τα αποτελέσματα της

μείωσης της ταχύτητα στις εκπομπές PM των φορτηγών είναι ασαφής, αλλά όσον αφορά τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, η μείωση των μέγιστων ταχυτήτων οδηγεί σταθερά σε χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> και χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου. Αυτά τα αποτελέσματα απεικονίζουν τις επιστημονικές αβεβαιότητες που αντιμετωπίζουν οι διάφοροι φορείς κατά την εξέταση της εφαρμογής πολιτικών διαχείρισης της ταχύτητας [5].

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας των Int Panis et al, είναι απίθανο τα αυστηρά όρια ταχύτητας σε αστικά περιβάλλοντα να έχουν κάποια σημαντική επίδραση στις εκπομπές των NO<sub>x</sub> ή CO<sub>2</sub>. Όσον αφορά την επίδραση στις εκπομπές του PM τα μικροσκοπικά αποτελέσματα δείχνουν ότι τα καυσαέρια των πετρελαιοκίνητων οχήματα μπορούν να παρουσιάζουν σημαντική μείωση, ενώ η μακροσκοπική προσέγγιση υποθέτει μια μέτρια αύξηση. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα αποτελέσματα, οι διάφοροι φορείς θα πρέπει να ερμηνεύουν προσεκτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των εκπομπών που υπολογίζουν τις επιπτώσεις των πολιτικών μείωσης ταχύτητας στις εκπομπές για τις αστικές περιοχές. Η αλλαγή των ορίων ταχύτητας σε αστικά περιβάλλοντα, θα πρέπει να εξεταστεί από μια ασφαλή προσέγγιση. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον δεν θα πρέπει να είναι ο παράγοντας απόφασης μεταξύ εφαρμογής ή μη χαμηλότερων ορίων ταχύτητας [5].

Επιπρόσθετα, τα χαμηλότερα υπεραστικά όρια ταχύτητας συχνά παρουσιάζονται ως καλό για το περιβάλλον, αλλά κακό για την οικονομία. Η ανάλυσή των Int Panis et al όσον αφορά την αλλαγή των ορίων ταχύτητας για τα φορτηγά από 90 σε 80 χιλιόμετρα την ώρα, σε γενικές γραμμές επιβεβαίωσε το περιβαλλοντικό όφελος. Όλα τα αποτελέσματα για φορτηγά δείχνουν σταθερά ότι χαμηλώνοντας τις μέγιστες ταχύτητες για τα φορτηγά στους αυτοκινητόδρομους έχουμε μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Τα αποτελέσματα για τα NO<sub>x</sub> και PM δεν είναι συνεπή. Οι επιπτώσεις στην οικονομία και την ασφάλεια της κυκλοφορίας δεν συζητήθηκε [5].

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται από τους Int Panis et al αποδεικνύουν ότι η εκτίμηση της επίδρασης της μείωσης των ορίων ταχύτητας για τις εκπομπές των οχημάτων είναι ένα περίπλοκο εγχείρημα. Η εκτίμηση των επιπτώσεων των πολιτικών στη μείωση των εκπομπών και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα είναι ακόμη πιο δύσκολη, ένα εμπόδιο που συχνά παραβλέπεται, αλλά είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις πολιτικές περιβαλλοντικών μεταφορών. Όλο και περισσότεροι φορείς χάραξης περιβαλλοντικής πολιτικής στις μέρες μας βασίζονται σε

μοντέλα υπολογιστών για να ελέγξουν τις πολιτικές κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν τις επιστημονικές αβεβαιότητες που αντιμετωπίζουν οι φορείς χάραξης πολιτικών κατά την εξέταση της εφαρμογής των πολιτικών διαχείρισης της ταχύτητας και αποδεικνύουν ότι οι αξιολογήσεις των πολιτικών διαχείρισης της ταχύτητας δεν πρέπει να βασίζεται αποκλειστικά σε μακροσκοπική εκτίμηση [5].

### **5.3.4 Μοντέλα ελαχιστοποίησης της ενέργειας σε τρένα**

Οι De Martinis et al (2012) ασχολήθηκαν με μοντέλα και μεθόδους βελτιστοποίησης των προφίλ ταχύτητας τρένων σε προαστιακές περιοχές, με απώτερο σκοπό την ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, ανέπτυξαν ένα πλαίσιο βελτιστοποίησης για το σχεδιασμό στρατηγικών οδήγησης, το οποίο απαιτεί ένα μοντέλο προσομοίωσης των σιδηροδρόμων ως υπορουτίνα. Για να καθορίσουν τα ενεργειακά αποδοτικά προφίλ ταχύτητας και την ανάλογη κατανάλωση ενέργειας, εστίασαν στο μοντέλο βελτιστοποίησης του τρένου θεωρώντας τις παραμέτρους μετάδοσης κίνησης ως μεταβλητές ελέγχου. Θεώρησαν δύο περιπτώσεις: με και χωρίς συστήματα ανάκτησης ενέργειας. Τα προτεινόμενα μοντέλα και μέθοδοι δοκιμάστηκαν σε μία πραγματική προαστιακή περίπτωση. Τα αρχικά αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση [4].

Οι De Martinis et al πρότειναν δύο μοντέλα βελτιστοποίησης για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας με τον καθορισμό βέλτιστων προφίλ ταχύτητας, ένα μοντέλο με στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας και ένα μοντέλο με στρατηγικές ανάκτησης ενέργειας. Και για τα δύο μοντέλα προτάθηκε μια διαδικασία επίλυσης και δοκιμάστηκε σε μια περίπτωση πραγματικού μεγέθους που περιλάμβανε μια προαστιακή γραμμή. Τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν μια πολλά υποσχόμενη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με το βέλτιστα ενεργειακά αποδοτικό προφίλ ταχύτητας για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Παρόλο που το ενεργειακό ισοζύγιο υποστηρίζει στρατηγικές ανάκτησης ενέργειας, η υπό εξέταση τεχνολογία είχε ως αποτέλεσμα επιπλέον δαπάνες από την άποψη τόσο των επενδύσεων όσο και της λειτουργίας, οι οποίες θα πρέπει να υπολογίζονται σύμφωνα με την κάθε περίπτωση.

Τέλος, τα αριθμητικά αποτελέσματα έδειξαν την εφαρμοσιμότητα των προτεινόμενων διαδικασιών και τα οφέλη όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας [4].

Περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να πραγματοποιηθεί, σύμφωνα πάντα με τους De Martinis et al, όσον αφορά τη βαθμονόμηση του μοντέλου σε πραγματικά δεδομένα. Έτσι, η σιδηροδρομική γραμμή που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές θα πρέπει να εξεταστεί από την άποψη των παραμέτρων κίνησης και της κατανάλωσης ενέργειας με και χωρίς συστήματα ανάκτησης ενέργειας [4].

### **5.3.5 Μακροχρόνια επίδραση ενός οικολογικού μαθήματος οδήγησης**

Οι Beusen et al (2009), προσπάθησαν να αξιολογήσουν τη μακροπρόθεσμη επίδραση ενός οικολογικού μαθήματος οδήγησης με την παρακολούθηση της οδηγικής συμπεριφοράς και της κατανάλωσης καυσίμου για αρκετούς μήνες πριν και μετά το μάθημα. Τα οχήματα που μελέτησαν ήταν εξοπλισμένα με μια συσκευή καταγραφής που καταγράφει τη θέση και την ταχύτητα του οχήματος με χρήση GPS εντοπισμού καθώς και τα ηλεκτρονικά δεδομένα του κινητήρα, τα οποία εξάγονταν σε πραγματικό χρόνο από δίκτυο με αισθητήρες (CAN). Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν τα διανυθέντα χιλιόμετρα, τον αριθμός των στροφών ανά λεπτό, τη θέση του πεντάλ του γκαζιού, και την στιγμιαία κατανάλωση καυσίμου. Συγκεντρώθηκαν κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 10 μηνών, για 10 οδηγούς και για πραγματικές συνθήκες, επιτρέποντας έτσι μια ανάλυση εξατομικευμένου στυλ οδήγησης. Όπως επισημαίνουν οι Beusen et al, οι περισσότεροι οδηγοί έδειξαν άμεση βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμου η οποία ήταν σταθερή με την πάροδο του χρόνου, αλλά κάποιοι είχαν την τάση να πέσουν πίσω στις αρχικές οδηγικές συνήθειες τους [1].

Οι Beusen et al έδειξαν ότι ενσωματωμένες συσκευές καταγραφής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη της οδηγικής συμπεριφοράς για σχετικά μεγάλες χρονικές περιόδους. Επιπλέον, η συλλογή δεδομένων μέσω CAN παρέχει μεγάλες ποσότητες πρόσθετων πληροφοριών όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου, τις στρόφες του κινητήρα, και αλλαγής ταχυτήτων ανά δευτερόλεπτο [1].



Η μέση μεταβολή στην κατανάλωση καυσίμων για όλους τους υπό μελέτη οδηγούς μετά το μάθημα οικολογικής οδήγησης τους, ήταν μια μείωση της τάξεως του 5,8%, αλλά με μεγάλες διαφορές μεταξύ των ατόμων. Μπορεί ωστόσο να έχουμε υποτιμήσει την πιθανή επίδραση του οικολογικού μαθήματος οδήγησης διότι οι οδηγοί συμμετείχαν εθελοντικά και το 40% από αυτούς είχαν ήδη μειώσει την κατανάλωση καυσίμου τους σταδιακά πριν παρακολουθήσουν την εκπαίδευση. Οι διαφορές στην κατανάλωση καυσίμου εντοπίζονται επίσης σε αλλαγές σε παραμέτρους οδηγικής συμπεριφοράς βασισμένες σε συμβουλές του μαθήματος οικολογικής οδήγησης: οι στροφές κατά την επιτάχυνση μετακινήθηκαν πιο κοντά στο βέλτιστο των 2000 rpm, η διανυθείσα απόσταση με νεκρά αυξήθηκε, λιγότερες έντονες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις πραγματοποιήθηκαν, και η απόσταση οδήγησης με σταθερές ταχύτητες, χρησιμοποιώντας τη βέλτιστη κάθε φορά ταχύτητα αυξήθηκε. Ωστόσο, δεν πραγματοποίησαν όλοι οι οδηγοί σημαντικές βελτιώσεις, 20% δεν πέτυχαν καμία εξοικονόμηση καυσίμων [1].

### 5.3.6 Σύστημα εξοικονόμησης καυσίμου

Το γεγονός ότι τα μηχανοκίνητα οχήματα που κινούνται με τον απλό βενζινοκινητήρα είναι μία από τις κύριες πηγές ρύπων για το τοπικό και το παγκόσμιο περιβάλλον, ήταν αυτό που ώθησε τους Wu et al (2011) να αναπτύξουν και να επικυρώσουν ένα νέο σύστημα βελτιστοποίησης οικονομίας καυσίμου (FEOS). Το συγκεκριμένο σύστημα βελτιστοποίησης δέχεται σαν είσοδο τις μεταβλητές του οχήματος και τις μεταβλητές περιβάλλοντος (π.χ., απόσταση ασφαλείας μεταξύ οχημάτων), υπολογίζει μαθηματικά τη βέλτιστη τιμή της επιτάχυνσης / επιβράδυνσης με τη μέθοδο των πολλαπλασιαστών Lagrange και στέλνει τις βέλτιστες τιμές στους οδηγούς μέσω μιας διεπαφής ανθρώπου-μηχανής (HMI) ή μέσω συστημάτων αυτόματου ελέγχου αυτόνομων οχημάτων. Το FEOS μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε ελεύθερη ροή όσο και σε συνθήκες κίνησης. Μια πειραματική μελέτη διεξήχθη για να αξιολογηθεί το FEOS. Διαπιστώθηκε ότι, χωρίς να θυσιάζει την ασφάλεια του οδηγού, οι οδηγοί με τη βοήθεια του FEOS κατανάλωναν σημαντικά λιγότερο καύσιμο από εκείνους χωρίς FEOS, σε όλες τις συνθήκες επιτάχυνσης (συνολικά 22-31% εξοικονόμηση καυσίμου) και στην πλειοψηφία των συνθηκών επιβράδυνσης (συνολικά 12-26%

εξοικονόμηση καυσίμου ). Συγκριτικά με τα σχετικά ακριβά συστήματα σχεδιασμού και βελτίωσης οχημάτων, το FEOS παρέχει έναν εφικτό τρόπο για να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση καυσίμου λαμβάνοντας υπόψη τον ανθρώπινο παράγοντα. Εξετάστηκαν εφαρμογές του βέλτιστου μοντέλου και σε οχήματα με ανθρώπινα οδηγούς και σε αυτόνομα οχήματα [6].

Διαπιστώθηκε ότι οι τροποποιημένες οδηγικές συμπεριφορές μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου του οχήματος σε σχέση με την τεχνολογική βελτίωση ή τους κανονισμούς. Όταν οι οδηγοί ακολουθούν τις συμβουλές του συστήματος βελτιστοποίησης οικονομίας καυσίμου ώστε να ελέγξουν το επίπεδο της επιτάχυνσης, δεν παραβιάζουν τους κανόνες κυκλοφορίας, όπως υπερβολική ταχύτητα ή να περνάν με κόκκινο φανάρι. Αν η συμβουλή δεν ακολουθείται, η μονάδα επεξεργασίας των δεδομένων υπολογίζει εκ νέου τις βέλτιστες λύσεις σύμφωνα με τις τρέχουσες κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές εισροές [6].

Τέλος, σύμφωνα με τους Wu et al, το FEOS μπορεί να προσφέρει στους οδηγούς όχι μόνο online υποστήριξη, αλλά και offline εκπαίδευση. Με δεδομένη την εγκατάσταση FEOS στο όχημα, ο οδηγός έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες κατανάλωσης καυσίμου καθώς και οδηγίες σχετικά με το φρένο ή / και το πεντάλ του γκαζιού κατά την οδήγηση. Το FEOS θα μπορούσε επίσης να βοηθήσει τους οδηγούς, ειδικά τους νέους οδηγούς, να μάθουν πώς να χειρίζονται τα πεντάλ, σύμφωνα με κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές συνθήκες και τελικά να σχηματίσουν ένα οικολογικό στυλ οδήγησης [6].

### **5.3.7 Ανάπτυξη και δοκιμή συστήματος υποστήριξης οδηγού**

Σύμφωνα με τους Vagg et al. (2013), τα προγράμματα εκπαίδευσης οδηγών και οι τεχνικές οικολογικής οδήγησης μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου κατά 10%, αλλά η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από την προθυμία των οδηγών να αλλάξουν τη συμπεριφορά τους και οι αλλαγές αυτές μπορεί να είναι μικρή διάρκεια ζωής. Όπως αναφέρουν, τα συστήματα υποστήριξης οδηγού, τα οποία είναι εγκατεστημένα σε οχήματα επαγγελματικής χρήσης, μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στη βελτίωση του στυλ οδήγησης καθώς έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν ένα αντισυμβαλλόμενο στυλ οδήγησης και να το αναφέρουν στο διαχειριστή του στόλου

οχημάτων. Ένα σύστημα υποβοήθησης του οδηγού αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε από τους Vagg et al σε οδηγούς επαγγελματικών οχημάτων. Το σύστημα είχε ως στόχο να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου, ενθαρρύνοντας δύο συμπεριφορές: μειωμένους συντελεστές επιτάχυνσης, και έγκαιρη αλλαγή μεταξύ των ταχυτήτων. Η οπτική ανατροφοδότηση του συστήματος είχε ενισχυθεί με ηχητική προειδοποίηση όταν ο οδηγός κάνει αντισυμβαλλόμενη χρήση του κινητήρα [7].

Δοκιμές του συστήματος πραγματοποιήθηκαν στο Ηνωμένο Βασίλειο με τη χρήση 15 ελαφριών επαγγελματικών οχημάτων, τα οποία οδηγούσαν οι επαγγελματίες οδηγοί από ένα εύρος εμπορικών εφαρμογών. Οι δοκιμές αποτελούνταν από καθημερινή συλλογή δεδομένων εν αγνοία των οδηγών για δύο εβδομάδες και από καθημερινή συλλογή δεδομένων για άλλες δύο εβδομάδες με το σύστημα ενεργό. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών συλλέχθηκαν συνολικά δεδομένα ταξιδιού 39300 χιλιομέτρων. Τα αποτελέσματα των δοκιμών κατέδειξαν ότι η κατανάλωση καυσίμου του στόλου (σταθμισμένη με την απόσταση που διανύει κάθε όχημα) μειώθηκε κατά 7,61%. Σημειώνεται ότι οι εξοικονομήσεις των μεμονωμένων οχημάτων / οδηγών διέφεραν σημαντικά, με τη μέγιστη εξοικονόμηση να είναι 12.03%. Αυτές οι εξοικονομήσεις επιτεύχθηκαν με την ενθάρρυνση των οδηγών να επιταχύνουν πιο ήπια και με την επιβολή συμβουλών ενός GSI, μειώνοντας έτσι τη μέση ταχύτητα του κινητήρα [7].

Οι αλλαγές στη συμπεριφορά των οδηγών και στην κατανάλωση καυσίμου επιτεύχθηκαν χωρίς καμία επίπτωση στην μέση ταχύτητα των οχημάτων. Η συσκευή που παρουσιάστηκε από τους Vagg et al αποτελεί μια βελτίωση σε σχέση με εκείνες που αναπτύχθηκαν από άλλους ερευνητές, λόγω του ότι η σχετική απλότητά της επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση σε οχήματα χωρίς την ανάγκη ειδικών αισθητήρων. Οι Vagg et al υπολογίζουν ότι εάν αυτή η συσκευή τοποθετηθεί στα επαγγελματικά ελαφρά φορτηγά της Μεγάλης Βρετανίας θα μπορούσαν να αποφευχθούν περίπου 482 kt CO<sub>2</sub> εκπομπών κάθε χρόνο [7].

### **5.3.8 Σύστημα ενεργειακής βελτιστοποίησης για οδικά οχήματα, με χρήση οδικών και κυκλοφοριακών δεδομένων πραγματικού χρόνου**

Στις μέρες μας, η μείωση της ενέργειας και της κατανάλωσης καυσίμου των οδικών οχημάτων είναι ένα βασικό ζήτημα. Πολλές διαφορετικές στρατηγικές έχουν προταθεί για αυτό τον σκοπό. Μία από αυτές είναι η προώθηση της οικολογικής οδηγικής συμπεριφοράς των οδηγών. Οι περισσότερες συμβουλές για οικολογική οδήγηση λαμβάνουν υπόψη μόνο το τμήμα του δρόμου όπου βρίσκεται το όχημα. Ωστόσο, θα μπορούσε να επιτευχθεί μεγαλύτερη βελτίωση εάν οι πληροφορίες από τα επόμενα τμήματα χρησιμοποιούνταν. Οι Jiménez et al. (2014) ανέπτυξαν ένα σύστημα που προειδοποιεί τον οδηγό σε πραγματικό χρόνο για τη βέλτιστη ταχύτητα που πρέπει να διατηρήσει σε κάθε οδικό τμήμα, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ενέργεια που χρησιμοποιείται και η κατανάλωση καυσίμου, ενώ τηρείται ένα χρονοδιάγραμμα. Το σύστημα λαμβάνει υπόψη το προφίλ του δρόμου, τα σταθερά και μεταβλητά όρια ταχύτητας και πληροφορίες για την κίνηση, οι οποίες ανακτώνται με τη χρήση επικοινωνιών V2V και V2I. Το σύστημα δοκιμάστηκε σε πραγματικά οδικά τμήματα με ικανοποιητικά αποτελέσματα στην εξοικονόμηση καυσίμου [10]

Πιο συγκεκριμένα, οι Jiménez et al. Υλοποίησαν ένα σύστημα βελτιστοποίησης βασισμένο σε μια δυναμική θεωρία προγραμματισμού με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ενέργειας και της κατανάλωσης καυσίμου σε οχήματα. Ο αλγόριθμος συνενώνει μεταβολές ταχυτήτων για να σχηματίσει το βέλτιστο προφίλ ταχύτητας που παράγει την ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου για ένα καθορισμένο ταξίδι. Αυτό το προφίλ ταχύτητας παρέχεται στον οδηγό, σε πραγματικό χρόνο, χάρη σε ένα ειδικό περιβάλλον. Αυτός ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί ένα οιονεί στατικό μοντέλο για την απόκτηση των δεδομένων της κατανάλωσης ενέργειας και καυσίμου. Οι αλληλουχίες ταχύτητας αξιολογούνται με τη χρήση μιας αντικειμενικής συνάρτησης που λαμβάνει υπόψη την κατανάλωση καυσίμου και χρονική διάρκεια για κάθε μετάβαση ταχύτητας. Οι συντελεστές βαρύτητας περιλαμβάνονται σε αυτή τη λειτουργία, προκειμένου να δώσουν διαφορετική σημασία στην κατανάλωση καυσίμου και την χρονική διάρκεια κατά τη διαδικασία

βελτιστοποίησης και χρησιμοποιούνται για να εξασφαλιστεί ότι το χρονοδιάγραμμα του ταξιδιού πληρείται. Το προφίλ του δρόμου θεωρείται ότι διεξάγει την βελτιστοποίηση καυσίμου [10].

Περιορισμοί μέγιστων σταθερών και μεταβλητών ταχύτητας περιλαμβάνονται εντός της βέλτιστης αναζήτηση λύσης. Μία από τις πιο σημαντικές βελτιώσεις αυτού του συστήματος είναι ο μηχανισμός που εγγυάται, την άφιξη στον προορισμό την σωστή ώρα. Σύμφωνα με τους Jiménez et al., το γεγονός αυτό έχει επιτευχθεί λαμβάνοντας υπόψη τα όρια ταχύτητας και πιθανές κυκλοφοριακές συμφορήσεις, καθώς και πληροφοριών που λαμβάνονται μέσω ασύρματων επικοινωνιών V2V και V2I. Με αυτά τα δεδομένα, το σύστημα γνωρίζει τις περιοδικές κυκλοφοριακές συμφορήσεις και τις απροσδόκητες διαταραχές εκ των προτέρων, έτσι ώστε να μπορεί να υπολογίσει τη μέση ταχύτητα σε κάθε τμήμα του δρόμου μεταξύ δύο διαδοχικών τμημάτων με συγκεκριμένα όρια ταχύτητας [10].

---

## 6. Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης για χρήση τους στο πρόβλημα βελτιστοποίησης της παρούσης διπλωματικής

### 6.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της βελτιστοποίησης κατανάλωσης της σιδηροδρομικής γραμμής Δομοκός - Θεσσαλονίκη, έγινε χρήση των αλγορίθμων τοπικής αναζήτησης, και πιο συγκεκριμένα της Προσομοιωμένης Ανόπτησης. Ενδεικτικά, παρακάτω θα αναφερθούν τα κύρια γνωρίσματα των αλγορίθμων τοπικής αναζήτησης, καθώς και οι αλγόριθμοι που ανήκουν στην κατηγορία αυτή.

Οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης (local search) χρησιμοποιούν την τεχνική της επαναληπτικής βελτίωσης και λειτουργούν ως εξής [11], [12] :

- Διαλέγουμε μία 'λύση' από το χώρο αναζήτησης και την αποτιμούμε. Ονομάζουμε αυτή τη λύση τρέχουσα.
- Εφαρμόζουμε ένα μετασχηματισμό στην τρέχουσα λύση για να παράγουμε μια νέα λύση. Αξιολογούμε τη νέα λύση.
- Αν η νέα λύση είναι καλύτερη από την τρέχουσα, τότε την ανταλλάσσουμε με την τρέχουσα λύση, διαφορετικά απορρίπτουμε τη νέα λύση.
- Επαναλαμβάνουμε τα παραπάνω βήματα μέχρι κανένας μετασχηματισμός να μη βελτιώνει άλλο την τρέχουσα λύση.

Στους αλγόριθμους τοπικής αναζήτησης εντάσσονται οι παρακάτω [11], [12] :

- Αναζήτηση με αναρρίχηση λόφων
- Προσομοιωμένη ανόπτηση
- Τοπική ακτινική αναζήτηση
- Τοπικοί γενετικοί αλγόριθμοι

Οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης λειτουργούν βελτιώνοντας μια μοναδική τρέχουσα κατάσταση και γενικά μετακινούνται μόνο σε γειτονικές της καταστάσεις. Σε

κάθε βήμα ενός αλγορίθμου τοπικής αναζήτησης έχουμε μια πλήρη αλλά ατελή λύση στο δοσμένο πρόβλημα αναζήτησης.

Καλές ιδιότητες αλγορίθμων τοπικής αναζήτησης [11], [12] :

- Χρειάζονται σταθερό χώρο.
- Είναι κατάλληλοι για on-line καθώς και για off-line προβλήματα.
- Μπορούν να βρουν ικανοποιητικές λύσεις σε μεγάλους ή και άπειρους χώρους λύσεων όπου η εξαντλητική αναζήτηση θα αποτύγχανε.

## 6.2 Επαναληπτική βελτίωση

Σε πολλά προβλήματα αναζήτησης δε μας ενδιαφέρει η διαδρομή προς μια κατάσταση στόχου, αλλά η ίδια η κατάσταση στόχου [11], [12].

Παράδειγμα:

- Εύρεση λύσης που να ικανοποιεί συγκεκριμένους περιορισμούς π.χ. το πρόβλημα των 8 βασιλισσών ή το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού εργασιών.

Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια τεχνική που λέγεται επαναληπτική βελτίωση (iterative improvement): ξεκινάμε με μια μοναδική τρέχουσα κατάσταση και προσπαθούμε να τη βελτιώσουμε.

Το ίδιο πλαίσιο εργασίας μπορεί να εφαρμοστεί και σε προβλήματα βελτιστοποίησης όπου μας ενδιαφέρει η λύση που βελτιστοποιεί μια δοσμένη αντικειμενική συνάρτηση.

### 6.3 Αναζήτηση με Αναρρίχηση Λόφων (HC)

Η Αναρρίχηση λόφου (Hill Climbing Search - HC) μοιάζει πολύ με τον αλγόριθμο DFS. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση προβλημάτων που έχουν πολλές λύσεις, από τις οποίες κάποιες θα είναι καλύτερες από άλλες. Ο αλγόριθμος ξεκινά με μία τυχαία (πιθανώς κακή) λύση στο πρόβλημα και διαδοχικά κάνει μικρές αλλαγές στην λύση, βελτιώνοντας την λίγο κάθε φορά. Κάποια στιγμή δεν μπορεί να κάνει άλλη βελτίωση, οπότε ο αλγόριθμος τερματίζει [13].

Τα βήματα που ακολουθεί στην προσπάθειά του να βρει μία λύση είναι:

1. Η αρχική κατάσταση είναι η τρέχουσα κατάσταση.
2. Αν η κατάσταση είναι μία τελική, τότε ανέφερε τη λύση και σταμάτησε.
3. Εφάρμοσε τους τελεστές μετάβασης για να βρεις τις καταστάσεις - παιδιά.
4. Βρες την καλύτερη κατάσταση σύμφωνα με την ευριστική συνάρτηση.
5. Αν η νέα κατάσταση είναι καλύτερη από την τρέχουσα κατάσταση τότε αυτή γίνεται και η τρέχουσα κατάσταση. Πήγαινε στο βήμα 2.
6. Αλλιώς σταμάτησε σε αυτήν την κατάσταση (τοπικά καλύτερη).

Οι διαφορές μεταξύ του αλγορίθμου HC και του DFS είναι ότι στον HC χρησιμοποιείται μια ευριστική συνάρτηση, η οποία καθορίζει ποια από τις καταστάσεις-παιδιά θα επεκταθεί στη συνέχεια, ενώ στον DFS επιλέγεται μία από αυτές, συνήθως η αριστερότερη. Δεύτερον στον HC υπάρχει μόνο μία κατάσταση στο μέτωπο αναζήτησης, καθώς κάθε φορά που επιλέγεται ένα παιδί για επέκταση, οι άλλες κλαδεύονται, ενώ στον DFS αποθηκεύονται στο μέτωπο αναζήτησης και εξετάζονται αργότερα μέσω της οπισθοδρόμησης [13].

Ο HC είναι πολύ αποδοτικός τόσο σε χρόνο όσο και σε μνήμη, αλλά είναι μη πλήρης. Επιπλέον έχει και άλλα προβλήματα, τα οποία γίνονται κατανοητά αν γίνει ο εξής παραλληλισμός:

- Χώρος Αναζήτησης = μια τρισδιάστατη επιφάνεια με λόφους, πεδιάδες και χαράδρες.



- Στόχος = η ψηλότερη κορυφή.
- Παράμετροι: η αναζήτηση γίνεται σε ομίχλη επομένως καμία πληροφορία για το που βρίσκεται η ψηλότερη κορυφή
- Ευριστικός μηχανισμός = η ανάβαση στην ψηλότερη κορυφή από την τρέχουσα με την εξέταση των γειτονικών περιοχών, όπου υπάρχει ορατότητα.

Σύμφωνα με αυτόν τον παραλληλισμό προκύπτουν τα τρία παρακάτω βασικά προβλήματα του HC [13]:

- Πρόποδες (foothill): Κάποιες χαμηλότερες κορυφές προσελκύουν το ενδιαφέρον της αναζήτησης. Έτσι η λύση που βρίσκεται είναι η τοπικά καλύτερη και όχι η συνολικά καλύτερη.
- Οροπέδιο (plateau): Υπάρχει η περίπτωση όλα τα γύρω σημεία να έχουν το ίδιο ακριβώς ύψος. Η επιλογή ενός από τα ισοϋψή σημεία γίνεται τυχαία και η περιπλάνηση γύρω από την ίδια περιοχή είναι αναπόφευκτη.
- Κορυφογραμμές (ridges): Είναι ψηλά και γενικά βρίσκονται με ευκολία, όμως από εκεί και πέρα η πρόοδος αναρρίχησης σε υψηλότερη κορυφή είναι μία αργή διαδικασία. Υπάρχει περίπτωση η ευριστική τιμή να εναλλάσσεται μεταξύ δύο τιμών, δηλαδή των σημείων που βρίσκονται εκατέρωθεν της κορυφογραμμής, χωρίς όμως να υπάρχει ουσιαστική πρόοδος.

Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα αυτά θα πρέπει η ευριστική συνάρτηση να έχει μεγαλύτερο εύρος.

## 6.4 Τοπική Ακτινική Αναζήτηση

Η ιδέα πίσω από τον αλγόριθμο Τοπικής Ακτινικής Αναζήτησης (Local Beam Search) είναι αντί για μία τρέχουσα κατάσταση, να διατηρούνται  $k$  τρέχουσες καταστάσεις. Σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου, παράγονται όλες οι διαδοχικές καταστάσεις των  $k$  καταστάσεων. Αν κάποια από αυτές είναι λύση, ο αλγόριθμος τερματίζει. Διαφορετικά επιλέγονται οι  $k$  καλύτερες καταστάσεις από αυτές και η

διαδικασία επαναλαμβάνεται. Η ποικιλία (diversity) των διαδοχικών καταστάσεων είναι σημαντική έτσι ώστε να μην κολλάμε σε ακατάλληλες περιοχές του χώρου αναζήτησης. Αυτό επιτυγχάνεται με την Στοχαστική Ακτινική Αναζήτηση (Stochastic Beam Search), στην οποία επιλέγονται  $k$  τυχαίες διαδοχικές καταστάσεις, με την πιθανότητα επιλογής μίας κατάστασης να εξαρτάται από την τιμή της συνάρτησης αξιολόγησης για την κατάσταση αυτή [14].

## 6.5 Γενετικοί Αλγόριθμοι

Ένας Γενετικός Αλγόριθμος (Genetic Algorithm) αποτελεί μια παραλλαγή της Στοχαστικής Ακτινικής Αναζήτησης στην οποία οι διαδοχικές καταστάσεις παράγονται συνδυάζοντας δύο καταστάσεις – προγόνους [14].

Έννοιες των Γενετικών Αλγορίθμων:

- Τα άτομα (individuals) αναπαριστούν καταστάσεις και συμβολίζονται με συμβολοσειρές κάποιου αλφαβήτου, π.χ. το  $\{0, 1\}$
- Οι πληθυσμοί (populations) είναι σύνολα ατόμων
- Η συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function) είναι μια συνάρτηση βαθμολόγησης κάθε ατόμου
- Επιτρεπόμενες Ενέργειες:
- Αναπαραγωγή (reproduction): ένα νέο άτομο παράγεται με συνδυασμό δύο γονέων
- Μετάλλαξη (mutation): ένα νέο άτομο αλλάζει σε περιορισμένο βαθμό

Διαισθητικά το πλεονέκτημα των γενετικών αλγορίθμων προέρχεται από την ικανότητα της διασταύρωσης (crossover), η οποία συνδυάζει μεγάλα τμήματα από άτομα που έχουν εξελιχθεί αυτόνομα προκειμένου να παράγει χρήσιμη πληροφορία.

Χρειάζεται ακόμα πολλή έρευνα για να κατανοηθούν πλήρως οι συνθήκες κάτω από τις οποίες οι γενετικοί αλγόριθμοι λειτουργούν πολύ καλά.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε προβλήματα βελτιστοποίησης όπως για παράδειγμα το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού εργασιών.

## **6.6 Προσομοιωμένη Ανόπτηση**

Όπως θα αναφερθεί και στα παρακάτω κεφάλαια, τα δεδομένα προς βελτιστοποίηση είναι δείγματα ταχύτητας και επιτάχυνσης αμαξοστοιχιών. Λόγω της πληθώρας των τιμών που περιλαμβάνονται στο δείγμα, καθώς και για την αποφυγή εγκλωβισμού σε τοπικά ελάχιστα, επιλέχθηκε ο αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτησης για την στοχαστική του φύση ώστε να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα. Η Προσομοιωμένη Ανόπτηση (SA) είναι ένας γενικός πιθανολογικός μεταερευτικός αλγόριθμος (metaheuristics) για το πρόβλημα ολικής βελτιστοποίησης της χωροθέτησης μιας καλής προσέγγισης του ολικού βέλτιστου μιας συγκεκριμένης λειτουργίας σε ένα μεγάλο χώρο αναζήτησης. Συνήθως χρησιμοποιείται όταν ο χώρος αναζήτησης είναι διακριτός (π.χ. όλες οι περιηγήσεις που επισκέπτονται ένα δεδομένο σύνολο πόλεων). Για ορισμένα προβλήματα, η προσομοιωμένη ανόπτηση μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική από την εξαντλητική απαρίθμηση - υπό την προϋπόθεση ότι ο στόχος είναι απλώς να βρεθεί μια αποδεκτά καλή λύση σε ένα σταθερό χρονικό διάστημα, αντί για την καλύτερη δυνατή λύση [15]. Η μέθοδος της Προσομοιωμένης Ανόπτησης (Simulated Annealing), επιχειρεί να συνδυάσει την Επαναληπτική Βελτίωση με την Τυχαία Περιήγηση [14].

Το όνομα είναι εμπνευσμένο από την ανόπτηση στη μεταλλουργία, μια τεχνική που περιλαμβάνει θέρμανση και ελεγχόμενη ψύξη ενός υλικού για να αυξηθεί το μέγεθος των κρυστάλλων του και να μειωθούν τα ελαττωμάτά τους [16]. Κατά τη διαδικασία αυτή το μέταλλο θερμαίνεται αρχικά σε μεγάλες θερμοκρασίες και ύστερα ψύχεται σταδιακά, επιτρέποντας έτσι στο υλικό να σταθεροποιηθεί σε μία κρυσταλλική κατάσταση χαμηλής ενεργειακής στάθμης. Η θέρμανση και ψύξη του υλικού επηρεάζει τόσο την θερμοκρασία όσο και τη θερμοδυναμική ελεύθερη ενέργειά του. Ενώ η ίδια ποσότητα ψύξης φέρνει την ίδια ποσότητα μείωσης της θερμοκρασίας, θα φέρει μία μεγαλύτερη ή μικρότερη μείωση στην ελεύθερη ενέργεια, ανάλογα με το ρυθμό που εμφανίζεται, με ένα βραδύτερο ρυθμό να προκαλεί μεγαλύτερη μείωση [17].

Έτσι και στην Προσομοιωμένη Ανόπτηση, όσο η “θερμοκρασία” είναι υψηλή, υπάρχει μεγάλη χαλαρότητα στις επιλογές του αλγορίθμου –σε αντιστοιχία με την χαλαρότητα των ατόμων του μετάλλου στις μεγάλες θερμοκρασίες. Όσο η “θερμοκρασία” μειώνεται, τόσο οι επιλογές του αλγορίθμου γίνονται πιο αυστηρές [14].

Πιο ειδικά, σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου επιλέγεται τυχαία κάποια μετάβαση σε γειτονική θέση. Αν αυτή η μετάβαση αποτελεί βελτίωση σε σχέση με την τρέχουσα θέση τότε πραγματοποιείται. Σε διαφορετική περίπτωση, πραγματοποιείται με κάποια πιθανότητα μικρότερη του ένα. Η πιθανότητα αυτή μειώνεται εκθετικά συναρτήσει της τιμής της συνάρτησης αξιολόγησης για την μετάβαση που επιλέχθηκε (μεγαλύτερες τιμές της συνάρτησης αξιολόγησης συνεπάγονται μικρότερη πιθανότητα) και επίσης συναρτήσει της παραμέτρου θερμοκρασίας  $T$  [14].

Η μέθοδος της Προσομοιωμένης Ανόπτησης, ξεκινά με μία μεγάλη τιμή για την παράμετρο  $T$  και στη συνέχεια η τιμή αυτή μειώνεται σταδιακά. Για μεγάλες τιμές της παραμέτρου αυτής, ο αλγόριθμος συμπεριφέρεται σαν μία καθαρά Τυχαία Περιήγηση. Αντίθετα στο τέλος του αλγορίθμου όταν οι τιμές της παραμέτρου είναι αρκετά μικρές, ο αλγόριθμος συμπεριφέρεται σαν την Επαναληπτική Βελτίωση [14].

Η μέθοδος της Προσομοιωμένης Ανόπτησης βρίσκει την υποψήφια λύση με το ολικό ελάχιστο, με πιθανότητα που πλησιάζει το ένα, όταν ο χρονοπρογραμματιστής μειώνει αρκετά σιγά τις τιμές της παραμέτρου  $T$ . Συχνά ο χρονοπρογραμματιστής εξαρτάται στενά από το πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί και για αυτό το λόγο είναι απαραίτητος κάποιος πειραματισμός σε κάθε νέο πρόβλημα, για να διαπιστωθεί αν ο αλγόριθμος προσφέρεται για το πρόβλημα αυτό [14].

Ο αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτησης είναι αρκετά δημοφιλής και έχει χρησιμοποιηθεί συχνά με επιτυχία για να λυθούν προβλήματα βελτιστοποίησης όπως για παράδειγμα προβλήματα σχεδίασης VLSI και προβλήματα χρονοπρογραμματισμού εργασιών. Η μέθοδος αυτή περιγράφηκε ανεξάρτητα από τους C. Daniel Gelatt et al. [18] και από τον Vlado Černý [19]. Η μέθοδος είναι μια προσαρμογή του αλγορίθμου Metropolis-Hastings, μια μέθοδο Monte Carlo για τη δημιουργία καταστάσεων ενός θερμοδυναμικού συστήματος, που εφευρέθηκε από τον M.N. Rosenbluth και δημοσιεύτηκε σε έγγραφο των N. Metropolis et al. το 1953 [20].

### 6.6.1 Ιστορικά

Το 1953 μια ομάδα επιστημόνων που εργάζονταν στο Los Alamos National Laboratory των Ηνωμένων Πολιτειών ανέπτυξε έναν αλγόριθμο που έμελλε να γίνει το σημείο έναρξης μιας οικογένειας αλγορίθμων Ολικής Βελτιστοποίησης, ήταν ο αλγόριθμος Metropolis από την ομάδα του Νίκου Μητρόπουλου και των συνεργατών του [20]. Πάνω στην επέκταση αυτής της εργασίας, που παρουσιάζει μεθόδους τυχαιοποιημένης δειγματοληψίας, ο Hastings εισήγαγε για πρώτη φορά την έννοια της ανάλυσης [21]. Ο αλγόριθμος Metropolis έθεσε τα θεμέλια και τις έννοιες πάνω στις οποίες το 1983 ο Kirkpatrick εισήγαγε αυτό που σήμερα αναγνωρίζουμε ως αλγόριθμο Προσομοιωμένης Ανόπτησης [18]. Βλέπουμε από την προέλευση του αλγορίθμου πως πρόκειται για μια κλάση αλγορίθμων που βασίζεται θεμελιωδώς στην τυχαιότητα.

Η μέθοδος της Προσομοιωμένης Ανόπτησης, προσομοιώνει την κίνηση ενός θερμαινόμενου σωματιδίου σε ένα δυναμικό πεδίο. Ο παραλληλισμός συνδέει υπολογιστικές μεθόδους με μεθόδους χημικής μηχανικής για επεξεργασία μετάλλου. Αξίζει ίσως να τονίσουμε πως η αρχική εργασία του Νίκου Μητρόπουλου και των συνεργατών του είχε δημοσιευθεί στο Journal of Chemical Physics, αποδεικνύοντας έτσι την προέλευση της έμπνευσης της μεθόδου.

Συνεχίζοντας, θα πρέπει να αναφερθεί η εργασία των Bertsimas et al., όπου παρουσιάζουν τον αλγόριθμο της Προσωμοιωμένης Ανόπτησης ως μη ομογενής αλυσίδες Markov. Μάλιστα εάν αγνοήσουμε το πρόγραμμα ψύξης παρομοιάζουν τη διεργασία ως τυχαίο περίπατο στο χώρο λύσεων. Εξίσου σημαντική ανάλυση εμπεριέχεται στην εργασία σχετικά με τη σύγκλιση του αλγορίθμου. Οι συγγραφείς χρησιμοποιώντας αποτελέσματα από τη βιβλιογραφία αποδεικνύουν πως οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν Προσομοιωμένη Ανόπτηση συγκλίνουν πάντοτε στην επιθυμητή λύση, δεδομένου ότι ο χρόνος που δίνεται στον αλγόριθμο είναι επαρκής. Αξιοσημείωτη είναι η κριτική που κάνουν στην κλάση αυτή των αλγορίθμων όταν κάνουν στατιστική σύγκριση με την εξαντλητική εξερεύνηση του χώρου των λύσεων. Στην εργασία βλέπουμε πως δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος να αποδείξουμε πως ο αλγόριθμος μπορεί να δουλέψει καλύτερα από το χειρότερο δυνατό αλγόριθμο της ωμής επίθεσης, με εξαντλητική εξερεύνηση όλου του πεδίου των λύσεων για την εύρεση της βέλτιστης [22].

Αυτό είναι αρκετά σημαντικό πόρισμα και είναι κάτι που έχουμε επαναλάβει σε πολλά σημεία στην εργασία μας, όπως στην ενότητα παρουσίασης της πολυπλοκότητας. Δεν υπάρχουν εγγυήσεις λειτουργίας με αυτούς τους αλγορίθμους της κλάσης των Metaheuristics. Η μόνη εγγύηση που έχουμε είναι η γνώση που μας έχει δώσει η ενασχόληση της επιστημονικής κοινότητας με αυτούς τους αλγορίθμους με εφαρμογή σε πολύ δύσκολα πεδία καθώς και η επιτυχία τους να παράγουν αξιόλογα αποτελέσματα.

Στην εργασία του Rudolph, βλέπουμε αναλυτικά τη σύνδεση της μεθόδου με τις αλυσίδες Markov [23]. Επίσης από την εργασία του Ροβιθάκη βλέπουμε πως για αντικειμενικές συναρτήσεις που είναι κυρτές ή ψευδο- κυρτές η μέθοδος έχει εγγυημένη σύγκλιση [24].

### 6.6.2 Γενική Περιγραφή

Η κατάσταση ορισμένων φυσικών συστημάτων, καθώς και η συνάρτηση  $E(s)$  που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί είναι ανάλογες με την εσωτερική ενέργεια του συστήματος σε αυτή την κατάσταση. Ο στόχος είναι να φέρει το σύστημα, από μια αυθαίρετη αρχική κατάσταση, σε μια κατάσταση με την ελάχιστη δυνατή ενέργεια [25].

### 6.6.3 Η βασική επανάληψη

Σε κάθε βήμα, ο S.A. ευρετικός αλγόριθμος θεωρεί κάποια γειτονική κατάσταση  $s'$  της τρέχουσας κατάστασης  $s$ , και στοχαστικά, αποφασίζει μεταξύ του να μετακινήσει το σύστημα στην κατάσταση  $s'$  ή να παραμείνει στην κατάσταση  $s$ . Αυτές οι πιθανότητες οδηγούν τελικά το σύστημα να κινηθεί προς καταστάσεις χαμηλότερης ενέργειας. Τυπικά αυτό το βήμα επαναλαμβάνεται έως ότου το σύστημα φτάσει σε μια κατάσταση που είναι αρκετά καλή για την εφαρμογή, ή μέχρι ότου ένας ορισμένος προϋπολογισμός έχει εξαντληθεί [26].

#### 6.6.4 Οι γειτονικές καταστάσεις

Οι γείτονες μιας κατάστασης είναι νέες καταστάσεις του προβλήματος που παράγονται τροποποιώντας μία δεδομένη κατάσταση με κάποιον καλά καθορισμένο τρόπο. Για παράδειγμα, στο πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή κάθε κατάσταση τυπικά ορίζεται ως μια μετάθεση των πόλεων που θα δεχτούν επίσκεψη. Οι γείτονες μιας κατάστασης είναι το σύνολο των μεταθέσεων που παράγονται, για παράδειγμα, με αντιστροφή της σειράς των οποιωνδήποτε δύο διαδοχικών πόλεων. Ο καλά καθορισμένος τρόπος με τον οποίο οι καταστάσεις τροποποιούνται προκειμένου να βρεθούν γειτονικές καταστάσεις ονομάζεται "κίνηση" και διαφορετικές κινήσεις δίνουν διαφορετικά σύνολα γειτονικών καταστάσεων. Αυτές οι κινήσεις συνήθως καταλήγουν σε ελάχιστες αλλαγές από την τελευταία κατάσταση, προκειμένου να βοηθήσουν τον αλγόριθμο να κρατήσει τα καλύτερα μέρη της λύσης και να αλλάξει μόνο τα χειρότερα μέρη. Στο πρόβλημα του περιπλανώμενου πωλητή, τα τμήματα της λύσης είναι οι συνδέσεις της πόλης.

Η αναζήτηση των γειτόνων μίας κατάστασης είναι θεμελιώδους σημασίας για τη βελτιστοποίηση, διότι η τελική λύση θα έρθει μετά από μια περιοδεία των διαδοχικών γειτόνων. Οι απλοί ευρετικοί αλγόριθμοι διασχίζουν το δίκτυο βρίσκοντας τον καλύτερο γείτονα του καλύτερου γείτονα και σταματούν όταν έχουν φθάσει σε μια λύση η οποία δεν έχει γείτονες που είναι καλύτερες λύσεις. Το πρόβλημα με αυτή την προσέγγιση είναι ότι οι γείτονες μίας κατάστασης δεν είναι εγγυημένα κάποια από τις υπάρχουσες καλύτερες λύσεις, που σημαίνει ότι η αποτυχία να βρεθεί μια καλύτερη λύση μεταξύ τους δεν εγγυάται ότι δεν υπάρχει καλύτερη λύση. Γι' αυτό το λόγο, η καλύτερη λύση που βρίσκεται από τέτοιους αλγορίθμους καλείται ως τοπικό βέλτιστο, σε αντίθεση με την πραγματική βέλτιστη λύση η οποία ονομάζεται ολικό βέλτιστο [27]. Οι μεταερευτικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν τους γείτονες μίας λύσης ως έναν τρόπο εξερεύνησης του χώρου λύσεων και παρόλο που προτιμούν καλύτερους γείτονες δέχονται επίσης χειρότερους γείτονες, προκειμένου να αποφύγουν την πιθανότητα να κολλήσουν σε τοπικά βέλτιστα. Ως αποτέλεσμα, εάν ο αλγόριθμος εκτελείται για ένα άπειρο χρονικό διάστημα, το ολικό βέλτιστο θα βρεθεί.

### 6.6.5 Πιθανότητες αποδοχής

Η πιθανότητα να γίνει η μετάβαση από την τρέχουσα κατάσταση  $s$  σε μία υποψήφια νέα κατάσταση  $s'$  προσδιορίζεται από μια συνάρτηση πιθανότητας αποδοχής  $P(e, e', T)$ , η οποία εξαρτάται από τις ενέργειες  $e = E(s)$  και  $e' = E(s')$  των δύο καταστάσεων, όσο και σε μία ολική χρονικά μεταβαλλόμενη παράμετρο  $T$  που καλείται θερμοκρασία. Καταστάσεις με μικρότερη ενέργεια είναι καλύτερες από καταστάσεις με μεγαλύτερη ενέργεια. Η συνάρτηση πιθανότητας  $P$  πρέπει να είναι θετική ακόμη και όταν το  $e'$  είναι μεγαλύτερο από το  $e$ . Αυτό το χαρακτηριστικό αποτρέπει την μέθοδο από το να κολλήσει σε ένα τοπικό ελάχιστο που είναι χειρότερο από ό, τι το ολικό [27].

Όταν το  $T$  τείνει στο μηδέν, η πιθανότητα  $P(e, e', T)$  πρέπει να τείνει στο μηδέν, εάν  $e' > e$  και σε μια θετική τιμή σε διαφορετική περίπτωση. Για αρκετά μικρές τιμές του  $T$ , το σύστημα τότε θα ευνοήσει όλο και περισσότερο τις κινήσεις που πηγαίνουν "καθοδικά" (π.χ. σε χαμηλότερες τιμές της ενέργειας) και θα αποφύγει εκείνες που πηγαίνουν "ανοδικά". Για  $T = 0$  η διαδικασία περιορίζεται στον άπληστο αλγόριθμο, ο οποίος κάνει μόνο τις καθοδικές μεταβάσεις [28].

Στην αρχική περιγραφή του ευρετικού αλγόριθμου S.A., η πιθανότητα  $P(e, e', T)$  ήταν ίση με 1 όταν  $e' \leq e$  (π.χ. η διαδικασία κινούνταν πάντα καθοδικά, όταν έβρισκε ένα τρόπο να το κάνει, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία). Πολλές περιγραφές και εφαρμογές του ευρετικού αλγόριθμου S.A. ακόμα παίρνουν αυτή την προϋπόθεση ως μέρος του ορισμού της μεθόδου. Ωστόσο, αυτή η προϋπόθεση δεν είναι απαραίτητη για να λειτουργήσει η μέθοδος.

Η συνάρτηση  $P$  συνήθως επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε η πιθανότητα αποδοχής μια κίνηση να μειώνεται όταν η διαφορά  $e' - e$  αυξάνεται, ήτοι μικρές κινήσεις προς τα επάνω είναι πιο πιθανές από ότι οι μεγάλες κινήσεις. Ωστόσο, η απαίτηση αυτή δεν είναι απολύτως αναγκαία, υπό την προϋπόθεση ότι οι ανωτέρω προϋποθέσεις πληρούνται.

Δεδομένων αυτών των ιδιοτήτων, η θερμοκρασία  $T$  διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο της εξέλιξης της κατάστασης  $s$  του συστήματος όσον αφορά την ευαισθησία του στις μεταβολές των ενεργειών του συστήματος. Για να είμαστε ακριβείς, για ένα μεγάλο  $T$ , η εξέλιξη του  $s$  είναι ευαίσθητη σε μεγαλύτερες διακυμάνσεις της



ενέργειας, ενώ όταν το  $T$  είναι μικρό είναι ευαίσθητη σε μικρότερες διακυμάνσεις της ενέργειας.

### 6.6.6 Το χρονοδιάγραμμα ανόπτησης

Το όνομα και η έμπνευση του αλγορίθμου απαιτούν ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό που σχετίζεται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας να ενσωματωθεί στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του αλγορίθμου. Αυτό απαιτεί μια σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας καθώς προχωρά η προσομοίωση. Ο αλγόριθμος ξεκινά αρχικά με μία υψηλή τιμή του  $T$  (ή άπειρη), η οποία στη συνέχεια μειώνεται σε κάθε βήμα ακολουθώντας κάποιο χρονοδιάγραμμα ανόπτησης, το οποίο μπορεί να καθορίζεται από τον χρήστη, αλλά πρέπει να τελειώνει με  $T = 0$  στο τέλος του προβλεπόμενου χρόνου προϋπολογισμού. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα αναμένεται να περιπλανηθεί αρχικά προς μια ευρεία περιοχή του χώρου αναζήτησης που περιέχει καλές λύσεις, αγνοώντας τα μικρά χαρακτηριστικά της συνάρτησης ενέργειας, στη συνέχεια μετατοπίζεται προς την κατεύθυνση χαμηλών περιοχών ενέργειας, που γίνονται όλο και πιο στενές και τελικά κινείται καθοδικά, σύμφωνα με τον απότομο καθοδικό αλγόριθμο [29].

### 6.6.7 Παρουσίαση βημάτων της μεθόδου

Η γενική μορφή του αλγορίθμου Προσομοιωμένης Ανόπτησης φαίνεται στον παρακάτω ψευδοκώδικα [30].

#### **Αλγόριθμος Προσομοιωμένη Ανόπτησης ( $S_0$ , $T_0$ )**

1.  $T \leftarrow T_0$  //αρχικοποιούμε τη θερμοκρασία
2.  $S \leftarrow S_0$  //θέτουμε την αρχική λύση
3.  $Best \leftarrow S$  //θέτουμε ως βέλτιστη λύση την αρχική
4.  $Count \leftarrow 1$  //αρχικοποιούμε το μετρητή επαναλήψεων
5.  $Count\ failed \leftarrow 0$  //μετρητής αποτυχημένων ανανεώσεων βέλτιστης λύσης

6. Επανέλαβε
7.  $R \leftarrow \text{Δημιούργησε Γειτονική Λύση } (S)$
8.  $Rand \leftarrow \text{Δημιούργησε Τυχαίο Αριθμό}$
9.  $Probability \leftarrow \text{Υπολόγισε Πιθανότητα Αποδοχής } (Κόστος(R), Κόστος(S))$
10. Εάν  $Κόστος(R) < Κόστος(S)$  ή  $rand < probability$
11.  $S \leftarrow R$
12. Τέλος Εάν
13.  $Count \leftarrow Count + 1$
14.  $T \leftarrow \text{Χρονοπρογραμματισμός Μείωσης Θερμοκρασίας } (T)$
15. Εάν  $Κόστος(S) > Κόστος(Best)$
16.  $Best \leftarrow S$
17.  $Count\ failed \leftarrow 0$
18. Αλλιώς
19.  $Count\ failed \leftarrow Count\ failed + 1$
20. Τέλος Εάν
21. Μέχρι **Συνθήκη Τερματισμού**( $count, count\ failed, T, Best$ )
22. Επέστρεψε  $Best$

Ο παραπάνω ψευδοκώδικας μας δίνει όλες τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε για να παρουσιάσουμε τη λειτουργία του. Με bold έχουμε σημειώσει όλες τις υπορουτίνες που θα χρειαστεί κάποιος να αναπτύξει για να μπορέσει να τρέξει ο αλγόριθμος. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε αναλυτικά κάθε υπορουτίνα και τη σημασία της στην πορεία του αλγορίθμου.

#### 6.6.7.1 Επιλογή αρχικής θερμοκρασίας $T_0$

Στο Βήμα 1 αρχικοποιούμε τη θερμοκρασία σε μια αρχική τιμή  $T_0$ . Ποια όμως είναι η καλύτερη επιλογή για αυτήν την παράμετρο? Όπως θα δούμε η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία κίνησης του αλγορίθμου οπότε είναι μια ευαίσθητη

παράμετρος για το σύστημα. Αποδεικνύεται πως η επιλογή δεν είναι κάτι εύκολο ενώ συνήθως δεν υπάρχει κάποιος άμεσος τρόπος να επιλεγεί μια τιμή με βάση τις παραμέτρους του προβλήματος. Στην εργασία του ο Czech εκτελεί ένα προκαθορισμένο αριθμό από εκτελέσεις της υπορουτίνας Εξερεύνησης Γειτονιάς και συλλέγει τη μέση αύξηση της αντικειμενικής συνάρτησης από τις κινήσεις. Έπειτα θέτει την τιμή  $T_0$  ως μια τιμή που θα δώσει σταθερή πιθανότητα αποδοχής χειρότερης λύσης στα πρώτα βήματα του αλγορίθμου [31]. Άλλες προσεγγίσεις ακολουθούν μεθόδους Δοκιμής και Σφάλματος. Εάν το  $T_0$  επιλεγεί με πολύ υψηλή τιμή ο αλγόριθμος θα αργήσει να συγκλίνει ενώ αν επιλεγεί πολύ χαμηλά ο αλγόριθμος θα παγιδευτεί γρήγορα σε τοπικό ελάχιστο [30].

#### **6.6.7.2 Εύρεση γειτονικής λύσης**

Η υπορουτίνα Δημιουργήσε Γειτονική Λύση παίρνει σαν είσοδο την τρέχουσα λύση και παρέχει μια γειτονική ελαφρώς διαφορετική. Στη δική μας περίπτωση η υπορουτίνα θα περιέχει ένα συνδυασμό από εν σειρά εφαρμογή των ευριστικών αλγορίθμων εξερεύνησης γειτονιάς. Είναι πολύ σημαντικό οι αλγόριθμοι που θα εμπεριέχονται σε αυτή τη ρουτίνα να μπορούν να επιφέρουν μεγάλες και σημαντικές αλλαγές στην αρχική λύση, διατηρώντας όμως τη βασική δομή στοιχειωδώς παρόμοια. Η λειτουργία της Προσομοιωμένης Ανόπτησης συχνά παρομοιάζεται με Τυχαίους Περιπάτους στο χώρο της λύσης και πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι τα εργαλεία που χρησιμοποιούμε μπορούν να μας εγγυηθούν εύρος κινήσεων από το αρχικό σημείο έναρξης [30].

#### **6.6.7.3 Ορισμός πολιτικής αποδοχής**

Στο Βήμα 8 παράγουμε έναν τυχαίο αριθμό από το 0 έως το 1. Αυτός ο αριθμός αργότερα χρησιμοποιείται για την απόφαση κίνησης.

Στο Βήμα 9 περιέχει ακόμη ένα από τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία των αλγορίθμων Προσομοιωμένης Ανόπτησης. Εδώ καλείται η υπορουτίνα Υπολόγισε Πιθανότητα Αποδοχής η οποία χρησιμοποιείται στο Βήμα 10. Όπως βλέπουμε όταν έχουμε τη γειτονική λύση της S, την R, αυτή είτε μπορεί να είναι καλύτερη είτε χειρότερη. Στην περίπτωση που η λύση R είναι καλύτερη της S και άρα βελτιστοποιεί το πρόβλημα την αποδεχόμαστε. Όμως εάν η R είναι χειρότερη και δεν δίνει καλύτερο αποτέλεσμα από το τρέχον τότε την αποδεχόμαστε υπό συνθήκη. Υπάρχει στη βιβλιογραφία μια παραλλαγή που η αποδοχή γίνεται υπό συνθήκη είτε η R είναι καλύτερη είτε όχι. Συνήθως οι συναρτήσεις που υπολογίζουν τις πιθανότητες αποδοχής σχεδιάζονται έτσι ώστε όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση από την τρέχουσα λύση τόσο να μειώνεται η πιθανότητα αποδοχής. Συχνά χρησιμοποιούνται εκθετικές συναρτήσεις με όρισμα τη διαφορά των δύο λύσεων καθώς και την τρέχουσα θερμοκρασία. Έτσι καθώς η διαδικασία προχωρά και η θερμοκρασία πέφτει, η πιθανότητα να αποδεχθούμε κίνηση που θα χειροτερεύει την τρέχουσα θέση σχεδόν μηδενίζονται [30]. Σαν παράδειγμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση:

$$e^{\frac{\text{Κόστος}(S) - \text{Κόστος}(R)}{T}}$$

### Παράδειγμα:

Ας υποθέσουμε ότι  $\Delta E = \text{Κόστος}(S) - \text{Κόστος}(R) = -13$ . Τότε:

T	$e^{\Delta E/T}$
1	0.000002
5	0.0743
10	0.2723
20	0.52
50	0.77
$10^{10}$	0.9999...

Έτσι σε μεγάλες τιμές του  $T$ , η προσομοιωμένη ανόπτηση συμπεριφέρεται σαν τυχαίος περίπατος, ενώ σε χαμηλές τιμές του  $T$ , συμπεριφέρεται σαν αναρρίχηση λόφων.

Στη βιβλιογραφία μπορούμε να συναντήσουμε διάφορες παραλλαγές αυτής της συνάρτησης αλλά πάντα γίνεται προσπάθεια ώστε μεγάλες διαφορές στο κόστος να οδηγούν σε μικρές πιθανότητες αποδοχής.

#### 6.6.7.4 Χρονοπρογραμματισμός Μείωσης Θερμοκρασίας

Στο Βήμα 14 ανανεώνουμε την τιμή της τρέχουσας θερμοκρασίας καλώντας την υπορουτίνα Χρονοπρογραμματισμός Μείωσης Θερμοκρασίας. Έχουμε ήδη περιγράψει πως κατά τη διάρκεια του αλγορίθμου η παράμετρος της θερμοκρασίας μειώνεται σταδιακά μέχρι να φτάσει στην ψύξη όπου πλέον ο αλγόριθμος μετατρέπεται σε αλγόριθμο άπληστης συμπεριφοράς. Η μέθοδος που θα ακολουθήσουμε για τη ψύξη της θερμοκρασίας είναι επίσης ένα από τα θεμελιώδη στοιχεία των αλγορίθμων Προσομοιωμένης Ανόπτησης. Υπάρχουν στη βιβλιογραφία πολλές παραλλαγές όπως γεωμετρική μείωση, γραμμική καθώς και εκθετική μείωση του Ροβιθάκη [24]. Η επιλογή είναι θέμα σχεδιασμού και αναγκών του προβλήματος. Συνήθως αργή ψύξη της θερμοκρασίας επιτρέπει περισσότερο χρόνο αναζήτησης στο πεδίο των λύσεων αλλά βλάπτει στο χρόνο σύγκλισης. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι όπως [31]:

$$\text{Ανόπτηση Boltzman: } T_k = \frac{T_0}{\ln(\text{Count})}$$

$$\text{Ταχεία ανόπτηση: } T_k = \frac{T_0}{\text{Count}}$$

$$\text{Προσαρμοστική ανόπτηση: } T_k = T_0 e^{-k \cdot \text{count}^{1/n}}, k \in R$$

Πέρα από τις παραπάνω προτάσεις ο κάθε μελετητής μπορεί να εφαρμόσει όποιο πρόγραμμα ψύξεις ταιριάζει καλύτερα στην εφαρμογή του.

#### **6.6.7.5 Τερματισμός**

Στο Βήμα 21 συναντάμε τη υπορουτίνα αληθείας Συνθήκη Τερματισμού. Ανάλογα με τις ανάγκες του προβλήματος μπορούμε να θέσουμε όποια συνθήκη επιθυμούμε για να αποφασίσουμε πότε θα τερματίσουμε το πρόγραμμα. Μπορούν να μπουν χρονικά όρια ή και όρια στο μέγιστο αριθμό επαναλήψεων. Συνηθισμένη επιλογή είναι να μπαίνει ένα κριτήριο που ελέγχει τον τρέχοντα αριθμό αδυναμίας του αλγορίθμου να βρει καινούρια ολικά βέλτιστη λύση. Εξαιτίας της τυχαίας φύσης του αλγορίθμου μπορούμε να πούμε πως ισχύει η αρχή του «Περισσότερο σημαίνει καλύτερο» άρα καλό είναι να εξαντλούμε τα χρονικά όρια που έχουμε διαθέσιμα [31].

### 7.1 Δεδομένα για τις ηλεκτράμαξες

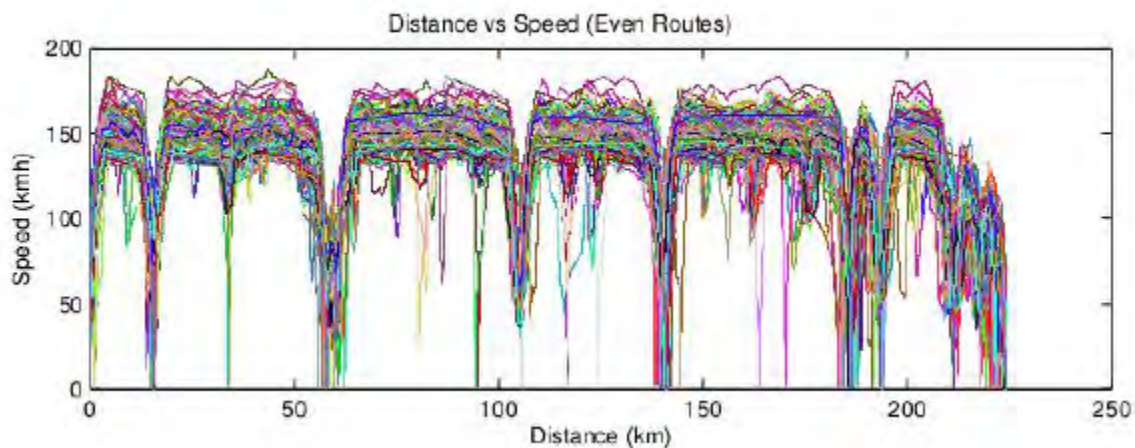
Για την ολοκλήρωση της μελέτης ενεργειακής κατανάλωσης επιλέχθηκε η διαδρομή από τη Δομοκό στη Θεσσαλονίκη, η οποία αποτελεί μέρος της γραμμής Αθήνα – Θεσσαλονίκη. Για αυτό το μήκος της γραμμής στο οποίο οι αυτοκινητάμαξες κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια (224 km), επιλέχθηκε πλήθος απομαστεύσεων από την Train-OSE κατά τις χρονιές 2013 - 2014, οι οποίες παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α. Σε κάθε ηλεκτρικά κινούμενη αμαξοστοιχία βρίσκεται εγκατεστημένη μία συσκευή καταγραφής δεδομένων (Hasler Teloc). Αυτή καταγράφει πληθώρα δεδομένων όπως την ταχύτητα της αμαξοστοιχίας, την έλξη, τα είδη της πέδης και πότε αυτά έγιναν και τέλος την ενεργειακή κατανάλωση με αρκετά μεγάλη ακρίβεια. Η απομάστευση αυτών των πληροφοριών μας δίνει την δυνατότητα να συγκρίνουμε τα μεγέθη αυτά και να τα επεξεργαστούμε.

Για να υπάρχουν ίδιες συνθήκες μεταξύ των μετρήσεων επιλέχθηκε το σύνολο των Intercity (Siemens 120). Ο λόγος αυτής της επιλογής έγκειται στο ότι μεταξύ τους οι αμαξοστοιχίες διαθέτουν ίδιο βάρος, ίδιες στάσεις, κινούνται στην ίδια διαδρομή και τέλος έχουν ακριβώς τον ίδιο τύπο ηλεκτράμαξας. Αυτό αμέσως περιορίζει τις μεταβλητές κατανάλωσης στον μηχανοδηγό και την συμπεριφορά του αυτή καθ αυτή. Στην εικόνα 1 περιγράφεται αναλυτικά η ηλεκτροδοτούμενη γραμμή Δομοκός - Θεσσαλονίκη.



**Εικόνα 1: Ηλεκτροδοτούμενη Γραμμή Δομοκός Θεσσαλονίκη**

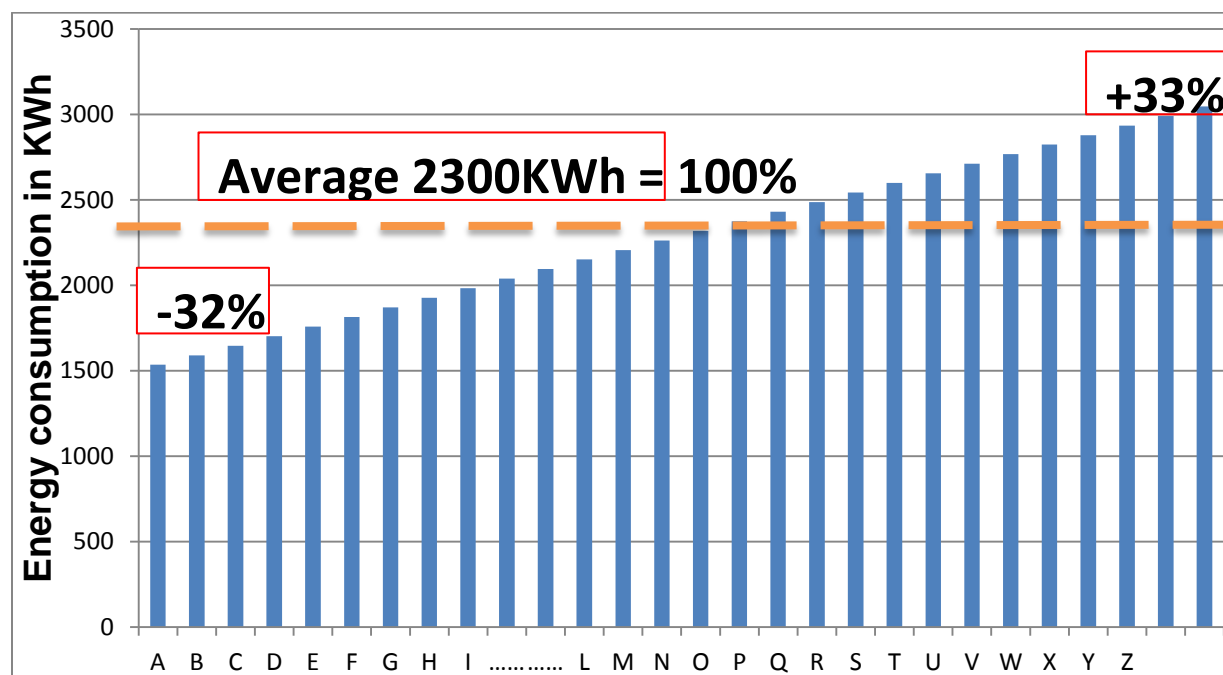
Στην εικόνα 2 παρατηρούμε ένα διάγραμμα ταχύτητας – απόστασης που αντιστοιχεί σε ταξίδια που πραγματοποιούνται από διαφορετικούς οδηγούς τρένων μεταξύ των σταθμών Δομοκός – Θεσσαλονίκη.



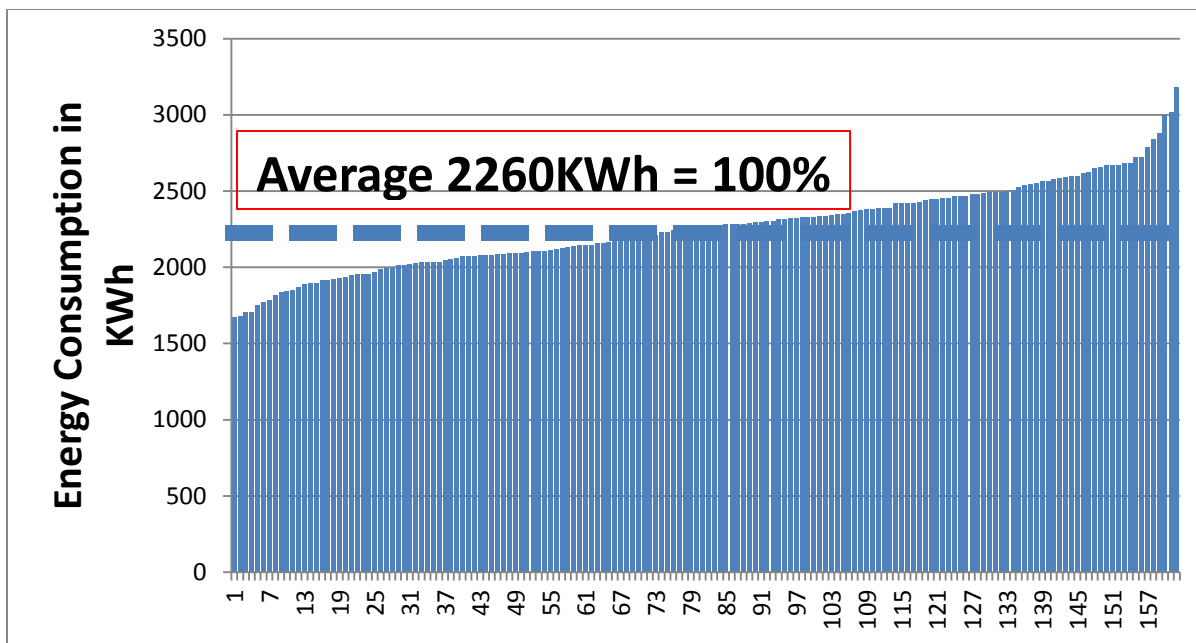
**Εικόνα 2 - 385 σειρές ταχύτητας μεταξύ των σταθμών Δομοκού και Θεσσαλονίκης**



Στις εικόνες 3, 4 μπορεί κανείς να δει την κατανομή καταναλώσεων στη διαδρομή Θεσσαλονίκη - Δομοκός για όλες τις ηλεκτράμαξες Siemens 120 (Intercity) που αποκτήθηκαν από τις απομαστεύσεις, για το 2013 και το 2014 αντίστοιχα. Σύμφωνα με τις μετρήσεις ο μέσος όρος της διαδρομής Δομοκός Θεσσαλονίκη για το 2013 είναι 2300KWh και για το 2014 είναι 2260 KWh.



Εικόνα 3: Εύρος καταναλώσεων στη διαδρομή Δομοκός - Θεσσαλονίκη (2013)



**Εικόνα 4: Εύρος καταναλώσεων στη διαδρομή Δομοκός - Θεσσαλονίκη (2014)**

Με βάση την Εικόνα 3 παρατηρούμε ότι οι καταναλώσεις της ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλουν από -32% έως και 33%. Είναι προφανές ότι οι διαφορές οφείλονται κατά κύριο λόγο στον τρόπο οδήγησης των συρμών.

## **7.2 Δεδομένα για τις δηζελάμαξες**

Για την πραγματοποίηση της μελέτης ενεργειακής κατανάλωσης των δηζελοκίνητων αμαξοστοιχιών επιλέχθηκε μια τυπική δηζελομηχανή. Στη συγκεκριμένη μελέτη εξετάστηκε η επίδραση που έχουν οι στάσεις (σταθμοί) στην κατανάλωση ενέργειας και κατ' επέκταση στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων λήφθηκαν οι καταναλώσεις ενέργειας των διαφόρων οδηγικών φάσεων της διαδρομής (απλή τροχοδρόμηση, επιτάχυνση, επιβράδυνση) σε κανονικές συνθήκες και για μία τυπική εργάσιμη ημέρα.

Η διαδρομή που μελετήθηκε ήταν η διαδρομή από την Αθήνα στο Δομοκό, η οποία αποτελεί μέρος της γραμμής Αθήνα – Θεσσαλονίκη, εκτείνεται σε 251 km και περιλαμβάνει 7 στάσεις (σταθμούς). Η διαδρομή Αθήνα – Δομοκός περιγράφεται με σχετική ακρίβεια στην εικόνα 5.



**Εικόνα 5: Δρομολόγιο Αυτοκινητάμαξας στο τμήμα Αθήνα - Δομοκού**

### 7.2.1 Μετρικές Δηζελάμαξας για απλή τροχοδρόμηση

Ο πίνακας 1 που ακολουθεί περιγράφει τις αποστάσεις κατά τις οποίες η αυτοκινητάμαξα τροχοδρομεί χωρίς επιταχύνσεις – επιβραδύνσεις. Η πρώτη γραμμή περιέχει την απόσταση απλής τροχοδρόμησης και η δεύτερη γραμμή περιγράφει την μέση κατανάλωση καυσίμου σε lt/Km.

Route Parts	Part-1	Part-2	Part-3	Part-4	Part-5	Part-6
Απόσταση (απλή τροχοδρόμηση)	7,26Km	58 Km	34 Km	60 Km	30 Km	25 Km
Κατανάλωση Diesel - Lt/per Km	2,07lt/km	1,81 lt/km	1,6 lt/km	2,31 lt/km	2,02 lt/km	2,47 lt/km

**Πίνακας 1: Απλή τροχοδρόμηση**

### 7.2.2 Μετρικές Δηζελάμαξας για Επιταχύνσεις

Ο πίνακας 2 περιγράφει έξι σημεία στα οποία παρατηρήθηκαν επιταχύνσεις. Η πρώτη γραμμή περιέχει την απόσταση που απαιτείται προκειμένου η αυτοκινητάμαξα να προσεγγίσει την ταχύτητα των 100 km/h. Η δεύτερη γραμμή περιγράφει την μέση κατανάλωση καυσίμου σε lt/Km.

Stops	STOP-1	STOP-2	STOP-3	STOP-4	STOP-5	STOP-6
Απόσταση για να φτάσει η αυτοκινητάμαξα την ταχύτητα των 100 km/h	3.6Km	5.7 Km	8 Km	17 Km	7.3 Km	5.2 Km
Κατανάλωση Diesel - Lt/per Km	6.6 lt/km	5.8 lt/km	5.3 lt/km	7.4 lt/km	4.6 lt/km	7.5 lt/km

Πίνακας 2: Επιταχύνσεις

### 7.2.3 Μετρικές Δηζελάμαξας για Επιβραδύνσεις

Ο πίνακας 3 περιγράφει έξι σημεία στα οποία παρατηρήθηκαν επιβραδύνσεις (αντίστοιχες των επιταχύνσεων). Η πρώτη γραμμή περιέχει την απόσταση που απαιτείται προκειμένου η αυτοκινητάμαξα να μειώσει την ταχύτητα από 100 km/h σε 0 km/h. Η δεύτερη γραμμή περιγράφει την μέση κατανάλωση καυσίμου σε lt/Km.

Stops	STOP-1	STOP-2	STOP-3	STOP-4	STOP-5	STOP-6
Απόσταση για να φτάσει η αυτοκινητάμαξα την ταχύτητα 0kms/h	2.95	0.92	1.68	1.89	2.00	1.35
Κατανάλωση Diesel - Lt/per Km	4.06	2.17	1.19	2.11	1.37	2.21

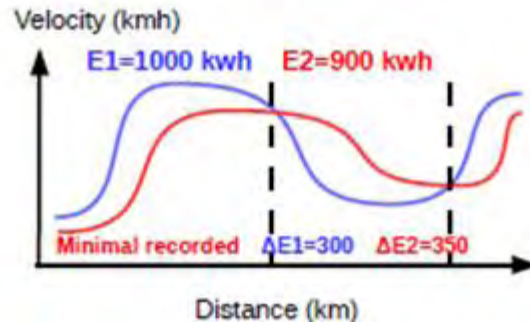
Πίνακας 3 – Επιβραδύνσεις

### 8.1 Μεθοδολογία για τις ηλεκτράμαξες

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της μελέτης των ηλεκτροκίνητων αμαξοστοιχιών, ελέγχει όλες τις σειρές ταχυτήτων και τις στιγμιαίες καταναλώσεις ενέργειας προκειμένου να υπολογίσει την καλύτερη πολιτική οδήγησης, δηλαδή τη σειρά που έχει την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Θα δείξουμε ότι η βέλτιστη πολιτική μπορεί να κατασκευάζεται συνενώνοντας υπο-αλληλουχίες χαμηλής κατανάλωσης διαφορετικών σειρών ταχύτητας - ενέργειας. Η αναζήτηση για τη βέλτιστη πολιτική γίνεται με τη χρήση μιας μη-κυρτής μεθόδου βελτιστοποίησης που ονομάζεται Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing). Η αναζήτηση ξεκινάει με την χρονοσειρά ταχύτητας που έχει την ελάχιστη καταγεγραμμένη συνολική κατανάλωση ενέργειας, την οποία βελτιώνει με την διατάραξη τοπικών τμημάτων της. Επειδή τα τμήματα της βέλτιστης πολιτικής που εξάγονται από οδηγητικές σειρές δεδομένων πραγματικών οδηγών, το τελικό αποτέλεσμα είναι μια ρεαλιστική (πρακτικά εφικτή) πολιτική.

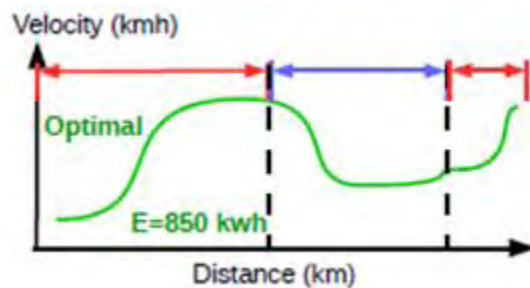
Φυσικά η πρώτη διαίσθηση για την επίλυση του προβλήματος είναι να χρησιμοποιήσουμε τη σειρά που έχει την ελάχιστη ενέργεια ως τη βέλτιστη πολιτική οδήγησης. Ωστόσο, η ελάχιστη καταγραφείσα σειρά της ενέργειας μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με την ενσωμάτωση τμημάτων άλλων σειρών.

Στην εικόνα 6 μπορούμε να δούμε ένα παράδειγμα ώστε να κατανοήσουμε καλύτερα τη μέθοδο που χρησιμοποιούμε. Το άνω διάγραμμα περιλαμβάνει δύο σειρές ταχύτητας με κόκκινο και μπλε χρώμα, οι οποίες επισημαίνονται ως E1 και E2, καθεμία με διαφορετική συνολική ενέργεια. Η κόκκινη σειρά E2 έχει τη μικρότερη εκ των δύο ενέργεια και είναι ίση με 900 kWh, ενώ η μπλε σειρά E1 έχει χειρότερη συνολική κατανάλωση ενέργειας ίση με 1000 kWh. Ωστόσο, υπάρχει ένα τμήμα που οριοθετείται από κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές όπου η μπλε σειρά είναι πιο αποδοτική από την κόκκινη σειρά. Συγκεκριμένα, η μπλε γραμμή έχει μια κατανάλωση ενέργειας 300kWh για την υπο-αλληλουχία, που είναι μικρότερη από την 350kWh που καταναλώνεται στην κόκκινη σειρά. Αυτό δείχνει ότι μια σειρά συνολικά ενεργειακά ελάχιστη μπορεί να έχει μη αποδοτικές υπο-ακολουθίες.



Εικόνα 6: Σειρές ταχύτητας E1, E2

Η βέλτιστη πολιτική, από την άλλη πλευρά, λαμβάνεται με συνένωση των πλέον ενεργειακά αποδοτικών υπο-αλληλουχιών / τμημάτων διαφορετικών σειρών, όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 7. Η βέλτιστη πολιτική που βλέπουμε με πράσινο χρώμα μπορεί να κατασκευαστεί με τη χρήση της καταγεγραμμένης ελάχιστης σειράς E1 και την αντικατάσταση του τμήματος μεταξύ των διακεκομμένων κάθετων γραμμών με το τμήμα της μπλε σειράς E2. Με τον τρόπο αυτό, η συνολική κατανάλωση της βέλτιστης πολιτικής μειώνεται σε  $900 - 350 + 300 = 850 \text{ kWh}$ .



Εικόνα 7: Βελτίωση της πολιτικής οδήγησης με εναλλαγή τμημάτων

Συμπερασματικά για την εύρεση της βέλτιστης πολιτικής θα χρησιμοποιηθεί μια μέθοδος αναζήτησης που ονομάζεται προσομοιωμένη ανόπτηση (Simulated Annealing). Η ιδέα της αναζήτησης είναι η εκκίνηση με την ελάχιστη τιμή κατανάλωσης ως τρέχουσα λύση και την αναπαραγωγή στη συνέχεια πολλών υποψήφιων λύσεων μέσω της διαταραχής.

### 8.1.1 Η διατάραξη μιας σειράς δι-μεταβλητών Ταχύτητα-Ενέργεια

Η ενότητα αυτή τυποποιεί απλώς τη διαδικασία της εναλλαγής του περιεχομένου των τμημάτων ανάμεσα σε δύο σειρές, τα οποία συμβολίζουμε ως διαταραχή. Στον επικείμενο αλγόριθμο αναζήτησης, η διατάραξη της σειράς με τη ελάχιστη καταγραφείσα ενέργεια θα παράξει χρήσιμους υποψηφίους προς εξεύρεση πιο ενεργειακά αποδοτικών πολιτικών.

Ο αλγόριθμος 1 περιγράφει τον ψευδοκώδικα που απαιτείται για να δημιουργηθεί μία τυχαία διατάραξη της τρέχουσας σειράς εισόδου δι-μεταβλητών, που συμβολίζεται ως  $V^{curr}$ ,  $E^{curr}$ . Η διατάραξη της τρέχουσας σειράς δι-μεταβλητών ταχύτητα-ενέργεια πραγματοποιείται επιλέγοντας πρώτα δύο τυχαία σημεία  $p_1$ ,  $p_2$  στις γραμμές 2-3 του αλγορίθμου. Στη συνέχεια, μια αναζήτηση πραγματοποιείται στις γραμμές 4-5 για να ελέγξει κατά πόσο υπάρχει οποιαδήποτε σειρά  $V_i$ , από τα δεδομένα μας  $V$ , όπου οι τιμές της ταχύτητας στο τέλος των τμημάτων ταιριάζουν.

Είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι δεν μπορούμε απλά να εναλλάσουμε το περιεχόμενο τμημάτων που δημιουργούν μη ομαλές πολιτικές με αποσυνδεδεμένα τμήματα. Ωστόσο, μπορούμε να ανεχθούμε οι τιμές στο τέλος των τμημάτων δύο διαφορετικών σειρών να είναι εντός μίας απόστασης (στη δική μας περίπτωση ορίζουμε 3 χλμ/ώρα). Σε περίπτωση που υπάρχει μια σειρά όπου οι τιμές ταχύτητας είναι κοντά στα τελικά σημεία των τμημάτων  $p_1$ ,  $p_2$ , τότε το βήμα εναλλαγής εκτελείται στις γραμμές 6-7. Τόσο η νέα ταχύτητα όσο και η ενέργεια της σειράς, που συμβολίζονται ως  $V^{next}$ ,  $E^{next}$ , έχουν δημιουργηθεί από τη συνένωση των υφιστάμενων τμημάτων της εισόδου της σειράς  $V^{curr}$ ,  $E^{curr}$  και του τμήματος της σειράς  $V_i$ ,  $E_i$ . Μετά την διατάραξη σπάει ο βρόχος (επιστρέφει ο αλγόριθμος) στη γραμμή 8. Διαφορετικά, αν δε βρεθεί κάποια σειρά  $V_i$  που να ταιριάζει, τότε, δύο άλλα τυχαία τελικά σημεία τμημάτων επιλέγονται και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται μέχρις ότου δημιουργηθεί μια διαταραχή.

#### **Algorithm 1: Perturbate a Policy Using Real Data**

**Data:** Current Policy Speed:  $V^{curr} \in R^L$ , Current

Policy Energy:  $E^{curr} \in R^L$ , Velocity series:

$V \in R^{N \times L}$ , Energy series:  $E \in R^{N \times L}$ ,

Swapping threshold  $\varepsilon \in R^L$

**Result:** Perturbed policy:  $V^{next} \in R^L, E^{next} \in R^L$

```
1 while true do  
2   Draw a random point  $p_1 \in U(1, \dots, L)$ ;  
3   Draw a random point  $p_2 \in U(p_1 + 1, \dots, L)$ ;  
4   if  $\exists V_i \mid i \in [1, \dots, N] \mid \wedge (V_{i,p_1} - V_{p_1}^{curr} < \varepsilon)$   
5        $\wedge (V_{p_2}^{curr} - V_{i,p_2} > \varepsilon)$  then  
6        $V^{next} \leftarrow [V_{1:p_1-1}^{curr} \oplus V_{i,p_1:p_2} \oplus V_{p_2+1:L}^{curr}]$ ;  
7        $E^{next} \leftarrow [E_{1:p_1-1}^{curr} \oplus E_{i,p_1:p_2} \oplus E_{p_2+1:L}^{curr}]$ ;  
8       break;  
9   end  
10 end  
11 return  $V^{next}, E^{next}$ 
```

### 8.1.2 Η αναζήτηση προσομοιωμένης ανόπτησης

Η ελάχιστη καταγραφείσα σειρά είναι μια πολύ καλή αρχή προς την ανακάλυψη της βέλτιστης πολιτικής. Ωστόσο περαιτέρω βελτιώσεις μπορούν να επιτευχθούν μέσα από την εναλλαγή των ενεργειακά μη αποδοτικών τμήματα της βέλτιστης πολιτικής με πιο ενεργειακά αποδοτικά τμήματα άλλων σειρών δι-μεταβλητών.

Η ελάχιστη που καταγράφονται σειρά είναι μια καλή αρχή προς την ανακάλυψη της βέλτιστης πολιτικής. Ακόμα περαιτέρω βελτιώσεις μπορούν να επιτευχθούν μέσα από την εναλλαγή των ενεργειακά σπάταλες τμήματα της βέλτιστης πολιτικής με πιο ενεργειακά αποδοτικά τμήματα του άλλης σειράς δι-περιγραφικές.

Πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μια μέθοδος αναζήτησης που ονομάζεται προσομοιωμένη ανόπτηση η οποία θα διεξάγει την έρευνα για τη βέλτιστη πολιτική. Η ιδέα της αναζήτησης είναι να ξεκινήσει με το ελάχιστο ποσό ως τρέχουσα λύση και να δημιουργήσει πολλές υποψήφιος μέσω της διαταραχής. Η προσομοιωμένη ανόπτηση παρουσιάζεται με τη βοήθεια του αλγόριθμου 2.

#### **Algorithm 2: Simulated Annealing: Finding The Optimal Policy**



**Data:** Velocity series:  $V \in R^{N \times L}$ , Energy series:  $E \in R^{N \times L}$ ,

**Result:** Optimal policy  $V^{opt} \in R^L$

```
1  $[V^{opt}, E^{opt}] \leftarrow [V^{curr}, E^{curr}] \leftarrow$   
    $\{[V_i, E_i] \mid \neg \exists j \text{ s.t. } \sum E_j < \sum E_i, i, j \in [1, \dots, N]\};$   
2 for  $T = T_{max}, \dots, T_{min}$  do  
3    $[V^{next}, E^{next}] \leftarrow \text{Perturbate}(V^{curr}, E^{curr}, V, E);$   
4    $\Delta E = \sum E^{next} < \sum E^{curr};$   
5   if  $\Delta E < 0 \vee \text{rand}(0, 1) < e^{\frac{\Delta E}{T}}$  then  
6      $[V^{curr}, E^{curr}] \leftarrow [V^{next}, E^{next}];$   
7     if  $\sum E^{curr} < \sum E^{opt}$  then  
8        $[V^{opt}, E^{opt}] \leftarrow [V^{curr}, E^{curr}];$   
9     end  
10  end  
11 end  
12 return  $V^{opt}$ 
```

Ο αλγόριθμος ξεκινάει με την αρχικοποίηση δύο σειρών δι-μεταβλητών ταχύτητα – ενέργεια στη γραμμή 1, οι οποίες υποδηλώνονται από τους εκθέτες current και optimal. Η σειρά current προσδιορίζει την τελευταία διατάραξη κατά διαδοχικό (επαναληπτικό) ύψος, ενώ η current σειρά καταγράφει τη σειρά με την ελάχιστη συνολική ενέργεια που αποδόθηκε μέχρι εκείνη τη στιγμή. Κατά τη διάρκεια κάθε επανάληψης (γραμμή 2), η επόμενη σειρά (γραμμή 3) μπορεί να έχει μια μικρότερη ή μεγαλύτερη συνολική ενέργεια. Η διαφορά  $E$ , της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας πριν και μετά τη διαταραχή, καταγράφεται στη γραμμή 4. Εάν η επόμενη σειρά έχει χαμηλότερη ενέργεια ( $E < 0$ ) τότε γίνεται αποδεκτή απ' ευθείας στη γραμμή 5 και η διαταραγμένη επόμενη σειρά αντιγράφεται στην τρέχουσα λύση (γραμμή 6), προκειμένου να ξεκινήσει μια νέα διαταραχή. Κατά τη διάρκεια κάθε επόμενης αποδεκτής λύσης θα ελέγχει αν η νέα τρέχουσα σειρά έχει την ελάχιστη / βέλτιστη μέχρι στιγμής ενέργεια (γραμμές 7-9).

Μια σημαντική πτυχή της προσομοιωμένης ανόπτησης είναι η υπό όρους αποδοχή διαταραγμένων σειρών που επιδεινώνουν την κατανάλωση ενέργειας. Προκειμένου να

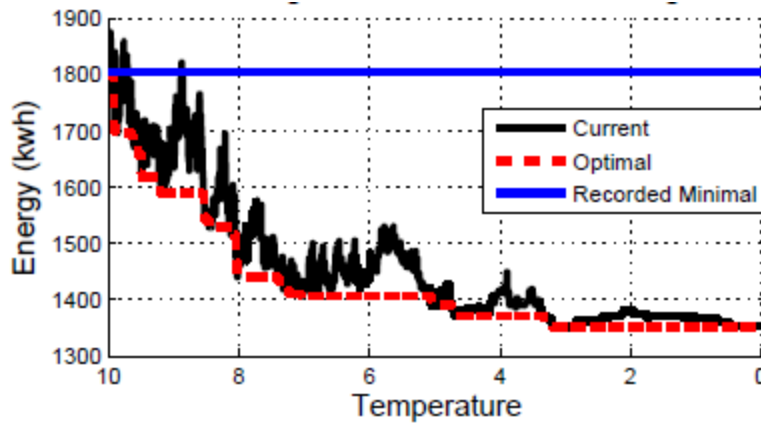
αποφευχθούν τα τοπικά βέλτιστα, θα πρέπει να επιτρέπονται περιστασιακά βήματα απόκλισης κατά την αναζήτηση. Η μεταβλητή επανάληψης, που συμβολίζεται ως  $T$ , αντιπροσωπεύει μεταφορικά τη θερμοκρασία αναζήτησης. Η υπό όρους αποδοχή πραγματοποιείται μόνο εάν ένας τυχαίος αριθμός μεταξύ του 0 και 1 είναι μικρότερος από τον όρο  $e^{\frac{\Delta E}{T}}$ . Αυτή η “μεταφορική” θερμοκρασία κληρονομείται από τον τομέα της μεταλλουργίας, όπου τα μέταλλα θερμαίνονται σε υψηλές θερμοκρασίες, όπου τυχαίες διαταραχές της μοριακής δομής επιτρέπονται. Σταδιακά, η θερμοκρασία του μετάλλου ψύχεται ενώ τα μόρια προσπαθούν να αποκτήσουν μια ελάχιστη ενέργεια δεσμού. Περαιτέρω συζητήσεις σχετικά με το μηχανισμό της προσομοιωμένης ανόπτωσης μπορεί να βρεθεί στο [11].

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας οι τιμές των χρησιμοποιούμενων παραμέτρων αναζήτησης που επιλέχθηκαν είναι  $T_{\max} = 10$  και  $T_{\min} = 0$ , με το  $T$  να μειώνεται κατά 0,0003.

### 8.1.3 Η σύγκλιση της αναζήτησης

Η σύγκλιση της Προσομοιωμένης Ανόπτωσης τερματίζεται όταν η θερμοκρασία  $T$  προσεγγίζει την καθορισμένη ελάχιστη θερμοκρασία  $T_{\min}$ . Το Σχήμα 8 απεικονίζει τη σύγκλιση του αλγορίθμου αναζήτησης. Αρχικά, τόσο η τρέχουσα σειρά (μαύρα) όσο και η βέλτιστη σειρά πολιτικής (κόκκινο χρώμα) αρχικοποιούνται με την ελάχιστη καταγραφείσα σειρά (μπλε). Όπως είναι επόμενο καθώς δημιουργούνται διαταραχές η τρέχουσα γραμμή πηγαίνει προς τα κάτω ( $E < 0$ ), ή ταλαντεύεται για υπό όρους πιθανολογικές αποδοχές.

Συμπερασματικά, η τρέχουσα σειρά καταλήγει σε όλο και μικρότερες συνολικές ενέργειες, καθώς η θερμοκρασία (x-άξονας) μειώνεται. Καθώς πλησιάζει την ελάχιστη ενέργεια ( $T \rightarrow T_{\min}$ ) υπάρχουν λιγότερες ταλαντώσεις επειδή ο όρος  $e^{\frac{\Delta E}{T}}$  προσεγγίζει το μηδέν. Μια τέτοια σταθερότητα σε σχέση με τις αλλαγές στις τρέχουσες και στις βέλτιστες πολιτικές είναι γνωστή ως η σύγκλιση του αλγορίθμου αναζήτησης.



Εικόνα 8: Η σύγκλιση της Προσομοιωμένης Ανόπτησης

## 8.2 Μεθοδολογία για τις δηζελάμαξες

Από τις μετρικές την δηζελαμαξών παρατηρούμε ότι η κατανάλωση αυξάνεται κατά πολύ όταν ο συρμός επιταχύνει για να πιάσει τα 100 km/h. Οι επιταχύνσεις αυτές παρατηρούνται αφού ο συρμός “αφήσει” μία στάση. Είναι προφανές λοιπόν ότι υπάρχουν δύο τρόποι μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας. Ο ένας τρόπος είναι να πείσουμε τους μηχανοδηγούς να επιταχύνουν πιο ήπια και ο δεύτερος τρόπος, τον οποίο θα αξιοποιήσαμε εδώ, είναι να μειώσουμε τις στάσεις. Προκειμένου να πείσουμε τους πελάτες να χρησιμοποιούν άλλες στάσεις και στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τοπικά τρένα (χωρίς κράτηση θέσεων) να φτάσουν στον τελικό τους προορισμό, θα τους προσφέρουμε μεγάλες εκπτώσεις για τα ταξίδια τους. Ένας απλός αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι’ αυτό, τα βήματα του οποίου παρουσιάζονται στη συνέχεια.

*Step 0: Define all stations that stops can be avoided and served by local trains.*

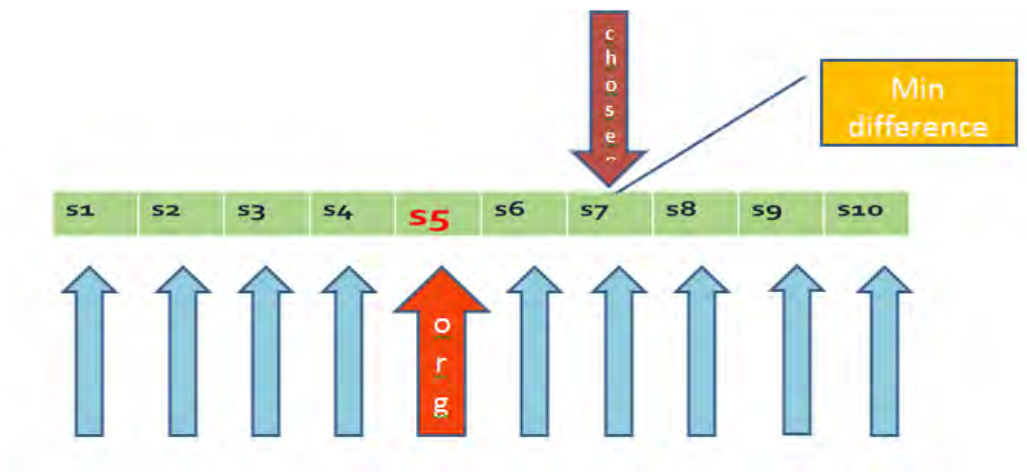
*Step 1: For each of these stations define up and down stations that can be used as transfer stations by using local trains*

*Step 2: For each combination of these stations and the original final station transfers, find the new arrival time.*

*Step 3: From all arrival times choose the one with minimum difference from the original arrival time.*

*Step 4: Use price policy in order to offer the discounts*

Στην εικόνα 9 μπορούμε να δούμε ένα γραφικό παράδειγμα του αλγορίθμου αποφυγής στάσεων.



**Εικόνα 9: Παράδειγμα του αλγορίθμου αποφυγής στάσεων**

---

## 9 Πειραματική Διαδικασία

### 9.1 Πειραματική διαδικασία για τις ηλεκτράμαξες

Για να αντιληφθούμε καλύτερα την επίδραση της ταχύτητας στην κατανάλωση ενέργειας και την επίδραση της χαμηλότερης ταχύτητας στους χρόνους μεταφοράς, καθώς μια μεταφορική εταιρεία είναι δεσμευμένη προς τους πελάτες της να πετυχαίνει τους διακηρυγμένους χρόνους μεταφοράς, επιλέχθηκε το σύνολο των μετρήσεων από μία μηχανή (HSIE030) στην διαδρομή Θεσσαλονίκη - Δομοκός για την διεξαγωγή ενός πειράματος. Από σύνολο 45 μετρήσεων μελετήθηκαν οι 3 μεγαλύτερες και οι 3 μικρότερες.

Διαθέτοντας τις έξι απομαστεύσεις ακολουθήσαμε την παρακάτω διεργασία

1. Υπολογισμός χρόνου διαδρομής σε λεπτά της ώρας
2. Για κάθε λεπτό υπολογίστηκε η μέση ταχύτητα της αμαξοστοιχίας
3. Για κάθε λεπτό υπολογίστηκε αν υπήρχε ή όχι τιμή έλξης
4. Η τιμή της ταχύτητας για το κάθε ένα λεπτό ταξινομήθηκε σε πίνακα στα εξής διαστήματα
  - 0-60km/h
  - 60-120km/h
  - 120-140km/h
  - 140-160km/h
  - 160-180km/h
  - 180+km/h
5. Έπειτα σε δεύτερο πίνακα ταξινομήθηκε η τιμή της ταχύτητας αν και μόνο υπήρχε ταυτόχρονα και έλξη

6. Για κάθε διάστημα διαιρέθηκε το σύνολο των λεπτών που η αμαξοστοιχία είχε την εντός του διαστήματος ταχύτητα με το σύνολο των λεπτών του δρομολογίου.
7. Για κάθε διάστημα διαιρέθηκε το σύνολο των λεπτών που η αμαξοστοιχία είχε την εντός του διαστήματος ταχύτητα ταυτόχρονα με έλξη με το σύνολο των λεπτών του δρομολογίου.

Μία πρώτη ανάλυση των απομαστεύσεων για τη μηχανή HSIE030 στο δρομολόγιο Θεσσαλονίκη Δομοκός φαίνεται στον πίνακα 4.

Κωδικός Μηχανής	HSIE030
Μέσος όρος καταναλώσεων	2375KWh
Πλήθος μετρήσεων	45
Ανώτερη τιμή	2702KWh
Κατώτερη τιμή	2050KWh

**Πίνακας 4: Στοιχεία των απομαστεύσεων της μηχανής HSIE030**

Από σύνολο 45 μετρήσεων μελετήθηκαν οι 3 μεγαλύτερες και οι 3 μικρότερες. Τα δεδομένα των μετρήσεων για διαφορετικά δρομολόγια στην ίδια διαδρομή παρουσιάζονται στους πίνακες 5,6.

Μηχανή	Δρομολόγιο	Κατανάλωση	Αύξων Κωδικός
HSIE030	61	2050	A
HSIE030	51	2053	B
HSIE030	59	2065	C

**Πίνακας 5: Δεδομένα για τις 3 μικρότερες μετρήσεις της μηχανής HSIE030**

Μηχανή	Δρομολόγιο	Κατανάλωση	Αύξων Κωδικός
HSIE030	59	2673	D
HSIE030	57	2683	E
HSIE030	51	2701	F

**Πίνακας 6: Δεδομένα για τις 3 μεγαλύτερες μετρήσεις της μηχανής HSIE030**

Για να γίνει πλήρως κατανοητή η διαδικασία που ακολουθήθηκε, θα παρουσιαστεί ως παράδειγμα η επεξεργασία δεδομένων του πειράματος με αύξων αριθμό Α:

#### Παράδειγμα

1. Αρχικά υπολογίστηκε ο συνολικός χρόνος διαδρομής σε λεπτά της ώρας:

Λεπτά δρομολογίου → 129min

2. Στη συνέχεια υπολογίστηκε για το κάθε λεπτό η μέση ταχύτητα της αμαξοστοιχίας και αν υπήρχε ή όχι τιμή έλξης.
3. Η τιμή της ταχύτητας για το κάθε ένα λεπτό ταξινομήθηκε σε πίνακα στα εξής διαστήματα:

Διάστημα ταχύτητας	Λεπτά παραμονής
0-60km/h	24 min
60-120km/h	31 min
120-140km/h	70 min
140-160km/h	4 min
160-180km/h	0 min

4. Για κάθε διάστημα διαιρέθηκε το σύνολο των λεπτών που η αμαξοστοιχία είχε την εντός του διαστήματος ταχύτητα με το σύνολο των λεπτών του δρομολογίου:

Διάστημα ταχύτητας	Λεπτά παραμονής	Ποσοστό επί του συνόλου
0-60km/h	24 min	$24/129 = 19\%$
60-120km/h	31 min	$31/129 = 24\%$
120-140km/h	70 min	$70/129 = 54\%$
140-160km/h	4 min	$4/129 = 3\%$
160-180km/h	0 min	$0/129 = 0\%$
180+km/h	0 min	$0/120 = 0\%$

5. Στη συνέχεια σε δεύτερο πίνακα ταξινομήθηκε η τιμή της ταχύτητας αν και μόνο υπήρχε ταυτόχρονα και έλξη:

Διάστημα ταχύτητας	Λεπτά παραμονής
0-60km/h	10 min
60-120km/h	8 min
120-140km/h	44 min

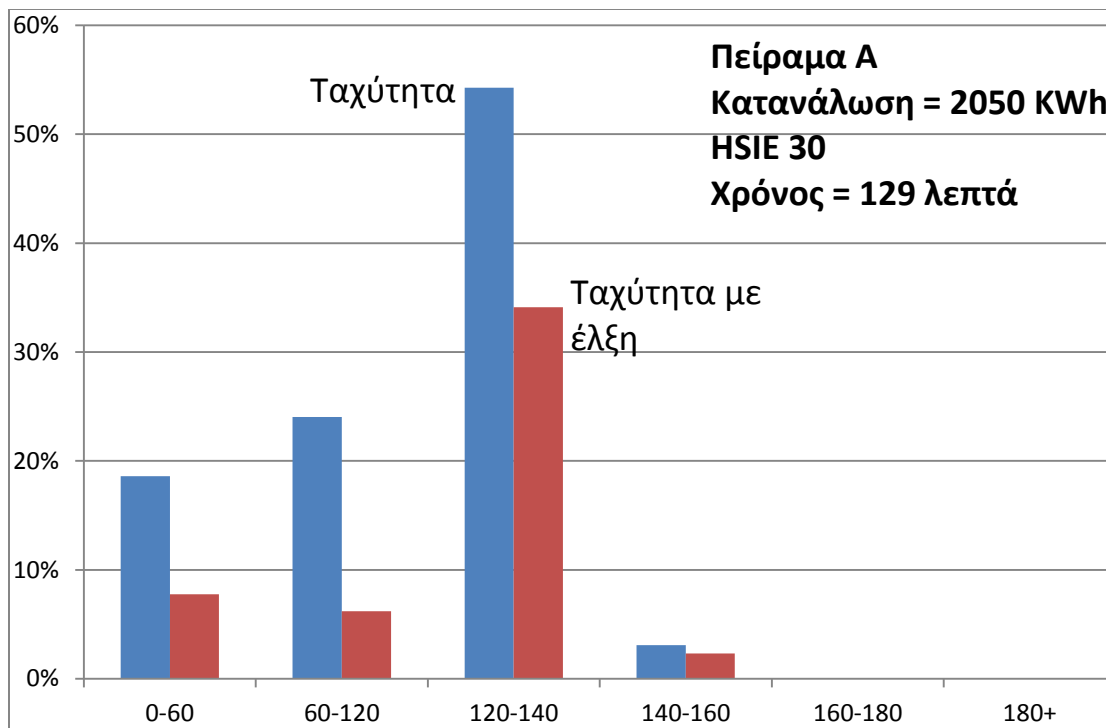


140-160km/h	3 min
160-180km/h	0 min
180+km/h	0 min

6. Για κάθε διάστημα διαιρέθηκε το σύνολο των λεπτών που η αμαξοστοιχία είχε την εντός του διαστήματος ταχύτητα ταυτόχρονα με έλξη με το σύνολο των λεπτών του δρομολογίου.

Διάστημα ταχύτητας	Λεπτά παραμονής	Ποσοστό επί του συνόλου
0-60km/h	10 min	10/129 = 8%
60-120km/h	8 min	8/129 = 6%
120-140km/h	44 min	44/129 = 34%
140-160km/h	3 min	3/129 = 2%
160-180km/h	0 min	0/129 = 0%
180+km/h	0 min	0/129 = 0%

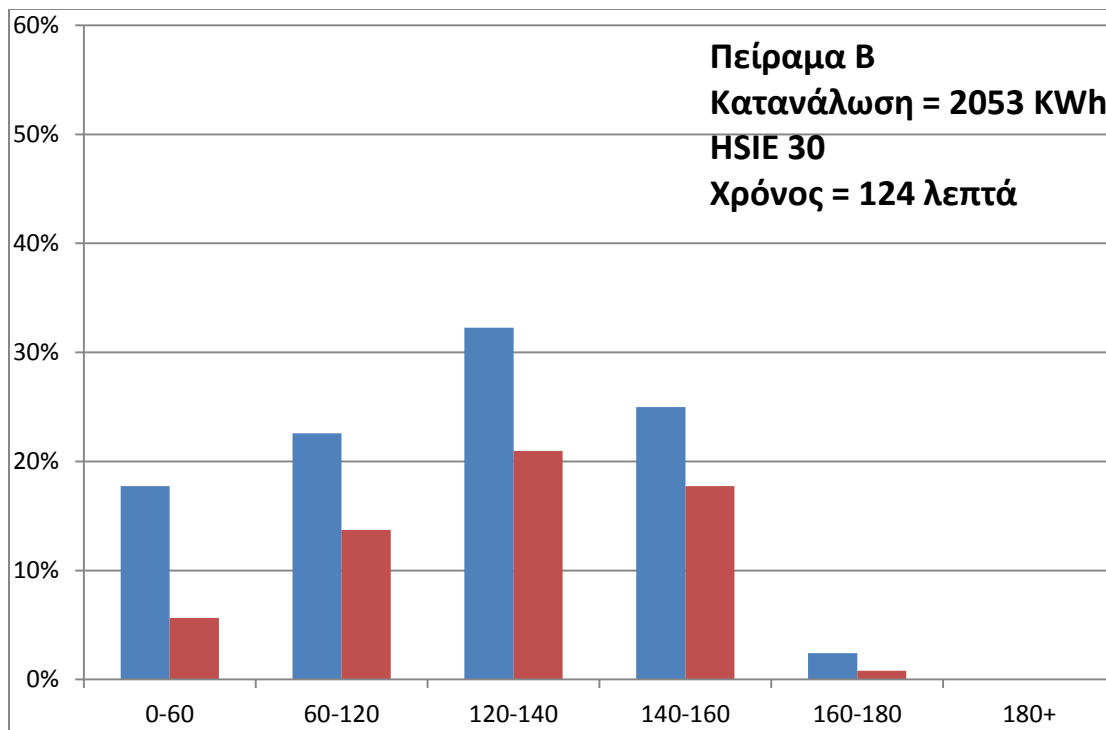
Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις υπόλοιπες 5 μετρήσεις που μελετήθηκαν (Πειράματα Β, C, D, E, F), οι οποίες στη συνέχεια παρουσιάζονται σε διαγράμματα που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του εργαλείου excel και θα μας δώσουν μια πιο πλήρη εικόνα.



**Εικόνα 11: Κατανομή ταχυτήτων αμαξοστοιχίας για το Πείραμα Α**

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει ότι:

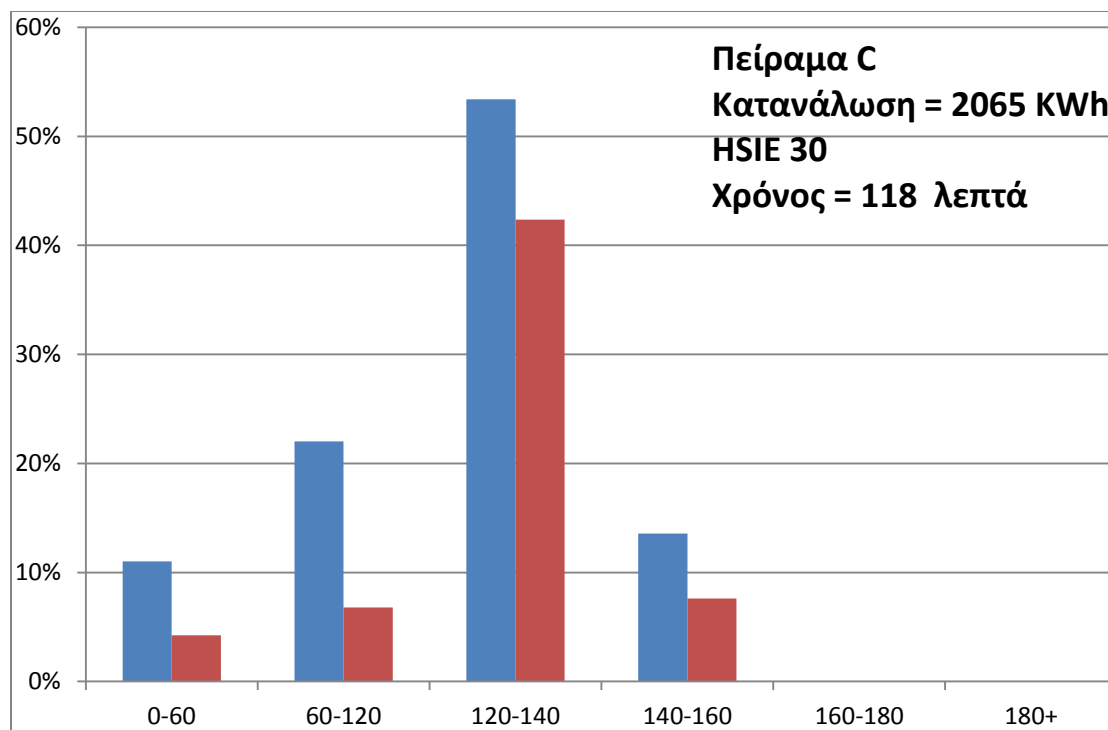
- Το 19% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 0 έως 60km/h. Το 8% έγινε με έλξη.
- Το 24% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 60 έως 120 km/h. Το 6% έγινε με έλξη.
- Το 54% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 120 έως 140km/h. Το 34% έγινε με έλξη.
- Το 3% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα μεγαλύτερη των 140km/h. Το 2% έγινε με έλξη.



**Εικόνα 12: Κατανομή ταχυτήτων αμαξοστοιχίας για το Πείραμα Β**

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει ότι:

- Το 18% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 0 έως 60km/h. Το 6% έγινε με έλξη.
- Το 23% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 60 έως 120 km/h. Το 14% έγινε με έλξη.
- Το 32% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 120 έως 140km/h. Το 21% έγινε με έλξη.
- Το 25% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 140 έως 160km/h. Το 18% έγινε με έλξη.
- Το 2% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα μεγαλύτερη των 160km/h. Το 1% έγινε με έλξη.



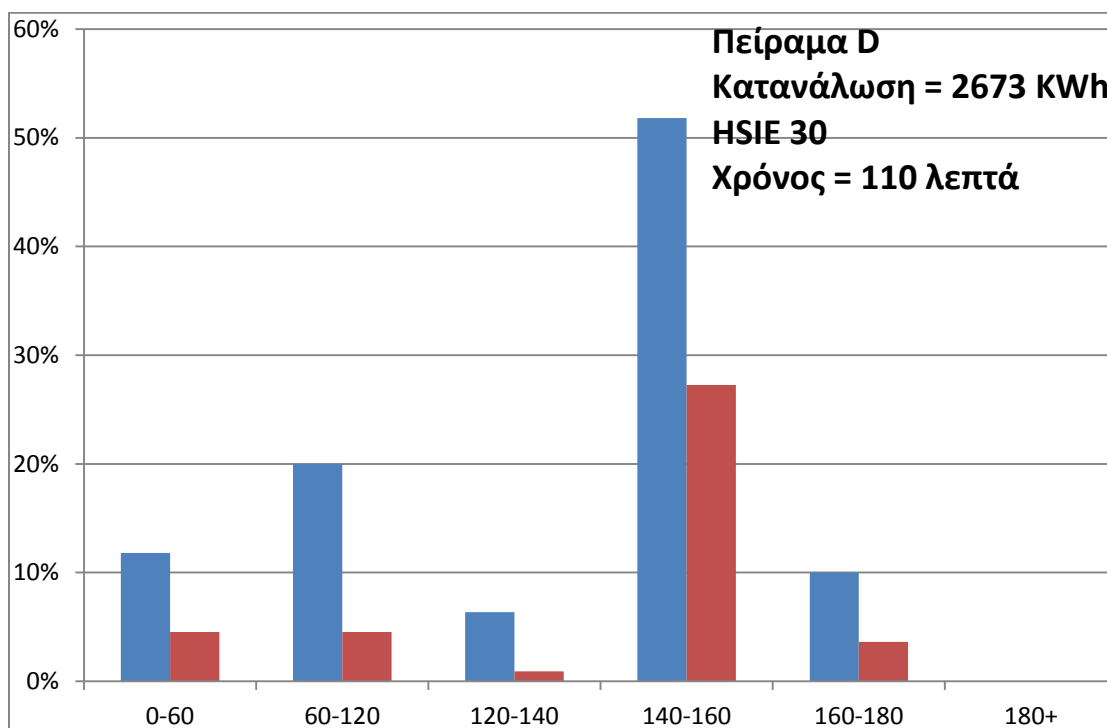
**Εικόνα 13: Κατανομή ταχυτήτων αμαξοστοιχίας για το Πείραμα C**

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει ότι:

- Το 11% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 0 έως 60km/h. Το 4% έγινε με έλξη.
- Το 22% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 60 έως 120 km/h. Το 7% έγινε με έλξη.
- Το 53% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 120 έως 140km/h. Το 42% έγινε με έλξη.
- Το 14% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα μεγαλύτερη των 140km/h. Το 8% έγινε με έλξη.

Τα γραφήματα των εικόνων 11, 12, 13, αφορούν ταξίδια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Σε κάθε σήμανση ταχύτητας του οριζοντίου άξονα παρουσιάζονται 2 στήλες. Η αριστερή στήλη προβάλλει το ποσοστό του χρόνου τα ιδίου κατά το οποίο η αμαξοστοιχία κινούνται στην συγκεκριμένη ταχύτητα ενώ η δεξιά στήλη περιγράφει το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο η αυτοκινητάμαξα βρίσκονταν σε κατάσταση έλξης. Παρατηρούμε ότι εφόσον η αμαξοστοιχία κινείται με ταχύτητες στο όριο των 120-140 km/h η κατανάλωση είναι μικρή. Κάποιες μικρές διαφορές κατανάλωσης δύνανται να προκύψουν επίσης και εκ του αυξημένου ποσοστού χρόνου

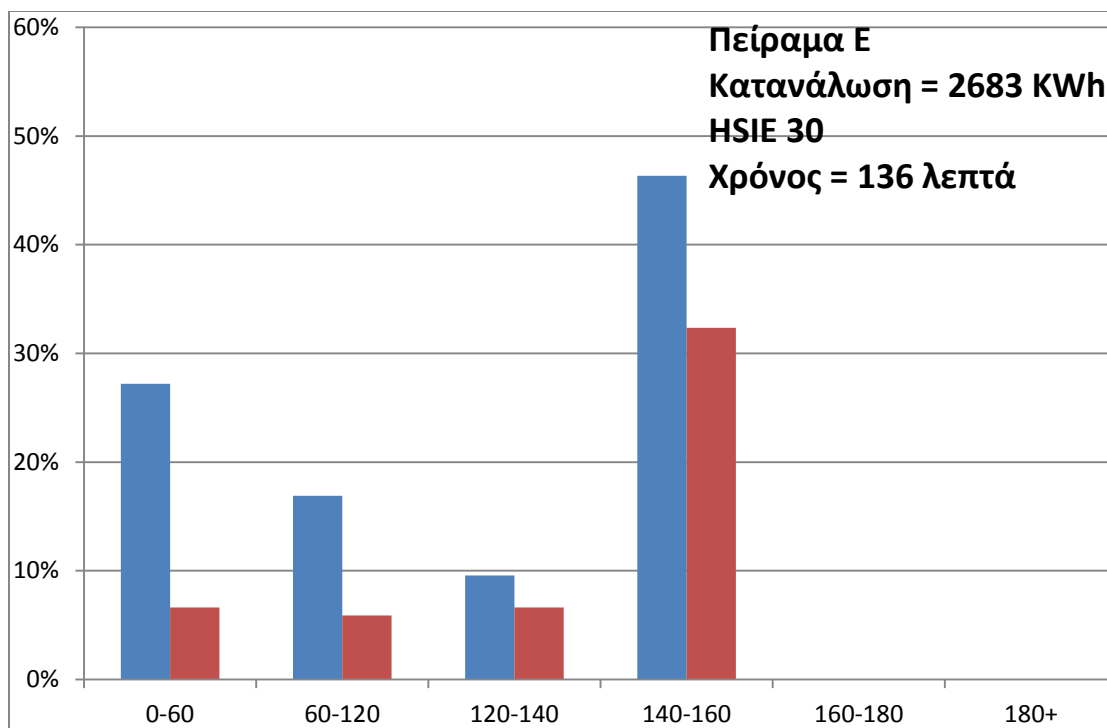
όπου η αμαξοστοιχία βρίσκεται σε κατάσταση έλξης αλλά πάντα για την ταχύτητα των 120-140 km/h.



**Εικόνα 14: Κατανομή ταχυτήτων αμαξοστοιχίας για το Πείραμα D**

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει ότι:

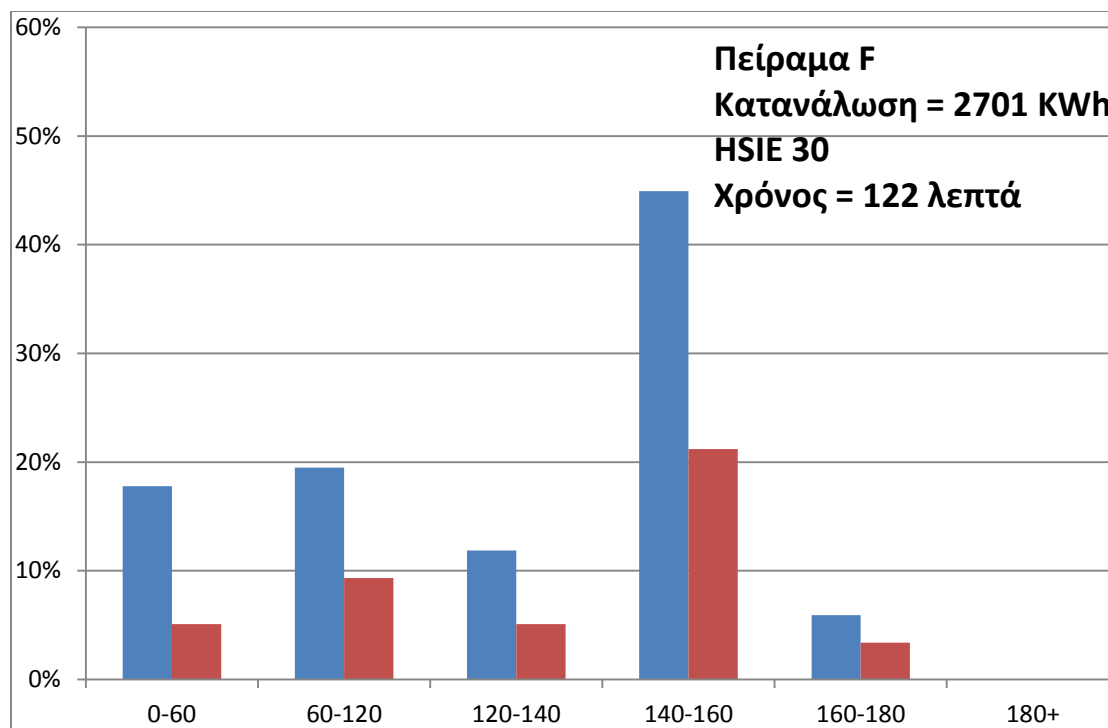
- Το 12% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 0 έως 60km/h. Το 5% έγινε με έλξη.
- Το 20% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 60 έως 120 km/h. Το 5% έγινε με έλξη.
- Το 6% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 120 έως 140km/h. Το 1% έγινε με έλξη.
- Το 52% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 140 έως 160km/h. Το 27% έγινε με έλξη.
- Το 10% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα μεγαλύτερη των 160km/h. Το 4% έγινε με έλξη.



**Εικόνα 15: Κατανομή ταχυτήτων αμαξοστοιχίας για το Πείραμα Ε**

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει ότι:

- Το 27% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 0 έως 60km/h. Το 7% έγινε με έλξη.
- Το 17% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 60 έως 120 km/h. Το 6% έγινε με έλξη.
- Το 10% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 120 έως 140km/h. Το 7% έγινε με έλξη.
- Το 46% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα μεγαλύτερη των 140km/h. Το 32% έγινε με έλξη.



**Εικόνα 16: Κατανομή ταχυτήτων αμαξοστοιχίας για το Πείραμα F**

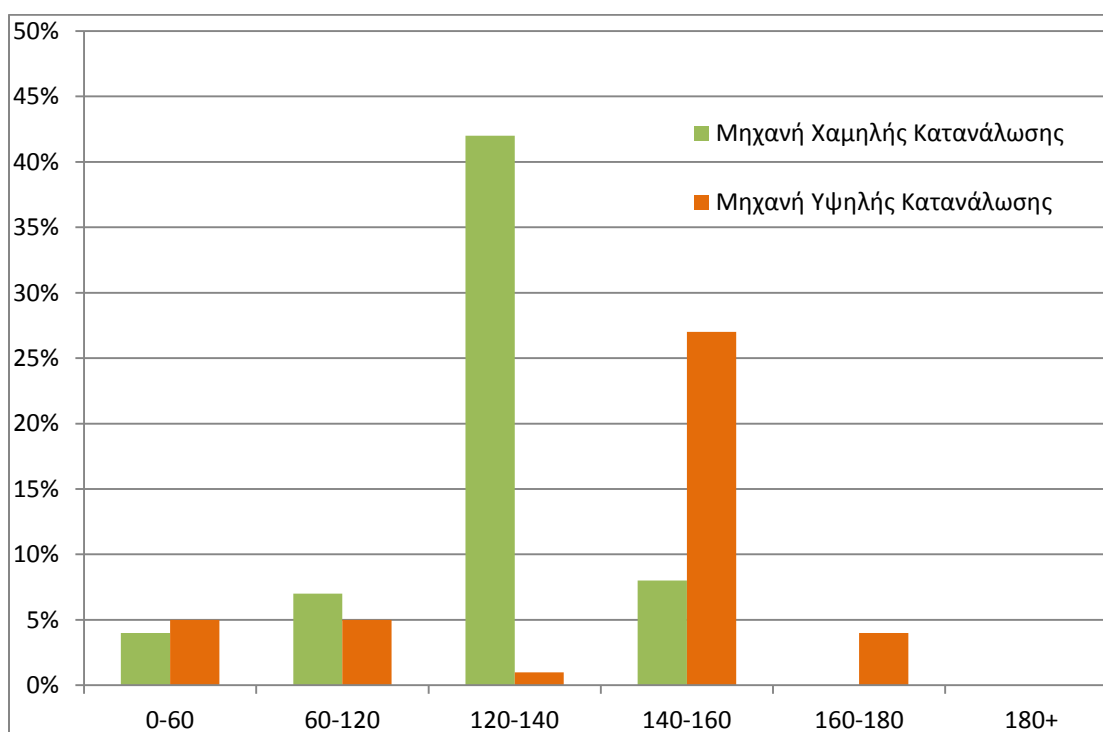
Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει ότι:

- Το 18% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 0 έως 60km/h. Το 5% έγινε με έλξη.
- Το 19% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 60 έως 120 km/h. Το 9% έγινε με έλξη.
- Το 12% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 120 έως 140km/h. Το 5% έγινε με έλξη.
- Το 45% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα από 140 έως 160km/h. Το 21% έγινε με έλξη.
- Το 6% της διαδρομής έγινε με ταχύτητα μεγαλύτερη των 160km/h. Το 3% έγινε με έλξη.

Τα γραφήματα των εικόνων 14, 15, 16, αφορούν ταξίδια υψηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Σε κάθε σήμανση ταχύτητας του οριζοντίου άξονα παρουσιάζονται 2 στήλες. Η αριστερή στήλη προβάλλει το ποσοστό του χρόνου τα ιδίου κατά το οποίο η αμαξοστοιχία κινούνται στην συγκεκριμένη ταχύτητα ενώ η δεξιά στήλη περιγράφει το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο η αυτοκινητάμαξα βρίσκονταν σε κατάσταση έλξης. Παρατηρούμε ότι εφόσον η αμαξοστοιχία κινείται με ταχύτητες στο όριο των 140-160 km/h η κατανάλωση είναι μεγάλη και πάνω από τον

μέσο όρο. Αν και το ποσό του χρόνου που καταναλώνεται για έλξη σε αυτές τις ταχύτητες δεν είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσό για τις ταχύτητες των 120-140 km/h.

Τα γραφήματα των εικόνων 11, 12, 13, 14, 15, 16 είναι απλά στιγμιότυπα συγκεκριμένων ταξιδιών. Ωστόσο το γράφημα της εικόνας 17 περιγράφει αναλυτικά σε ποιο εύρος ταχυτήτων συγκεντρώνονται οι μεγαλύτερες καταναλώσεις ενέργειας. Από το γράφημα προκύπτει ότι τα ποιο ενεργοβόρα δρομολόγια είναι αυτά για τα οποία η μέση ωριαία ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ 140-160 km/h. Αντιθέτως τα ποιο οικονομικά δρομολόγια είναι αυτά για τα οποία η μέση ωριαία ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ 120-140 km/h.



**Εικόνα 17: Γράφημα Συγκριτικής Κατανάλωσης**

Μέσω των διαγραμμάτων παρατηρείται ότι οι αμαξοστοιχίες που έχουν ελάχιστη κατανάλωση καταναλώνουν το 50% του χρόνου τους στο διάστημα ταχυτήτων μεταξύ 120 km/h



και 140 km/h. Αντιθέτως αυτές που έχουν τη μέγιστη κατανάλωση διατηρούν το 50% του χρόνου τους στο διάστημα μεταξύ των 140 και 160 km/h.

Επίσης οι αμαξοστοιχίες με την χαμηλή κατανάλωση σπανίως ξεπερνούν τα 160km/h ενώ όπως φαίνεται από τα διαγράμματα η μεγαλύτερη διαφορά χρόνου σε δρομολόγια είναι στα 15 λεπτά πράγμα που σημαίνει ότι η διαφορά στον χρόνο της διαδρομής δεν είναι πολύ μεγάλη.

## 9.2 Πειραματική διαδικασία για τις δηζελάμαξες

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας των δηζελαμαξών, ακολουθήθηκε η διαδικασία που παρουσιάζεται παρακάτω:

1. Όπως παρουσιάστηκε και στους πίνακες 1, 2, 3, έχουμε χωρίσει τα δεδομένα από τις μετρήσεις (απόσταση σε km και κατανάλωση καυσίμου σε lt/km) σε απλή τροχοδρόμηση χωρίς επιταχύνσεις – επιβραδύνσεις, στα σημεία στα οποία παρατηρήθηκαν επιταχύνσεις και στα σημεία στα οποία παρατηρήθηκαν επιβραδύνσεις.
2. Στη συνέχεια υπολογίστηκε για την κάθε περίπτωση την κατανάλωση καυσίμου σε λίτρα πολλαπλασιάζοντας την απόσταση με την κατανάλωση καυσίμου σε lt/km.
3. Επιπλέον υπολογίστηκε τη συνολική απόσταση για την κάθε περίπτωση.
4. Ακολούθως, υπολογίστηκε η συνολική κατανάλωση καυσίμου σε λίτρα αθροίζοντας τις επιμέρους του βήματος 2.
5. Τέλος, διαιρέσαμε την συνολική κατανάλωση καυσίμου σε λίτρα με τη συνολική απόσταση και υπολογίστηκε έτσι η μέση κατανάλωση καυσίμου της κάθε περίπτωσης σε λίτρα.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η παραπάνω διαδικασία όπως υπολογίστηκε για την κάθε περίπτωση:

## Απλή τροχοδρόμηση

Route Parts	Part-1	Part-2	Part-3	Part-4	Part-5	Part-6
Distance (normal Roll)	7,26Km	58 Km	34 Km	60 Km	30 Km	25 Km
Consumption Diesel - Lt/per Km	2,07 lt/km	1,81 lt/km	1,6 lt/km	2,31 lt/km	2,02 lt/km	2,47 lt/km
Total Consumption - Liters	7,26*2,07 15,03 lt	58*1,81 = 104,98 lt	34*1,6 = 54,4 lt	60*2,31 = 138,6 lt	30*2,02 = 60,6 lt	25*2,47 = 61,75 lt
Total Distance	7,26+58+34 +60+30+25 = 214,26 Km					
Total Consumption	2,07+1,81+1,6 +2,31+2,02+2,47 = 435,36 lt					
Average Consumption	435,36/214,26 = <b>2,03 lt/km</b>					

## Επιταχύνσεις

Stops	STOP-1	STOP-2	STOP-3	STOP-4	STOP-5	STOP-6
Distance to reach max speed of 100kms/h	3.6Km	5.7 Km	8 Km	17 Km	7.3 Km	5.2 Km
Consumption Diesel - Lt/per Km	6.6 lt/km	5.8 lt/km	5.3 lt/km	7.4 lt/km	4.6 lt/km	7.5 lt/km
Total Consumption - Liters	3,6*6,6 = 23.76lt	5,7*5,8= 33.06lt	8*5,3= 42.4lt	17*7,4= 125.8lt	7,3*4,6= 33.58lt	5,2*7,5= 39lt
Total Distance for all accelerations	3,6+5,7+8+ 17+7,3+5,2 = 46,8Km					
Total Consumption for all accelerations	23,76+33,06 +42,4+125,8+ 33,58+39 = 297,6lt					

Average Consumption (lt/Kms)	$297,6/46,8 =$ <b>6.3lt/Km</b>
---------------------------------	-----------------------------------

### Επιβραδύνσεις

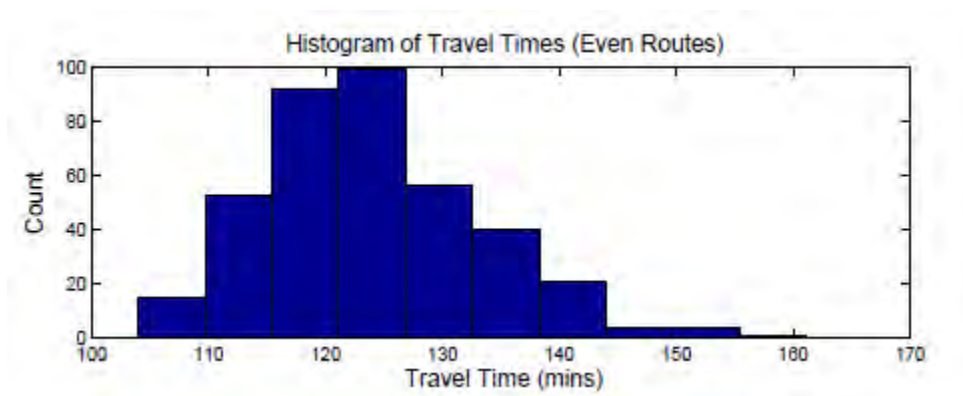
Stops	STOP-1	STOP-2	STOP-3	STOP-4	STOP-5	STOP-6
Distance to reduce speed to 0 kms/h	2.95 km	0.92 km	1.68 km	1.89 km	2.0 km	1.35 km
Consumption Diesel - lt/per Km	4.06 lt/km	2.17 lt/km	1.19 lt/km	2.11 lt/km	1.37 lt/km	2.21 lt/km
Total Consumption - Liters	$2,95 * 4,06$ =11.98 lt	$0,92 * 2,17$ =2	$1,68 *$ 1,19=2	$1,89 * 2,11$ =3.99	$2 * 1,37$ =2.74	$1,35 *$ 2,21=2.98
Total Distance for all decelerations	$4,06 + 2,17 + 1,19 +$ $2,11 + 1,37 + 1,35 =$ 10.79					
Total Consumption for all decelerations	$11,98 + 2 + 2 + 3,99 +$ $2,74 + 2,98 = 25.69$					
Average Consumption (lt/Kms)	$25,69 / 10,79 =$ <b>2.38lt/km</b>					

## 10 Αποτελέσματα

### 10.1 Αποτελέσματα για τις ηλεκτράμαξες

#### 10.1.1 Περιορισμός του χρόνου ταξιδιού

Πριν από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των βέλτιστων πολιτικών, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ένας περιορισμός στον χρόνο ταξιδιού. Ένας ενεργειακά αποδοτικός τρόπος οδήγησης τυπικά απαρτίζεται από πιο χαμηλές ταχύτητες. Ωστόσο, ένα τρένο πρέπει να φτάσει εγκαίρως στον προορισμό του. Προκειμένου να εξασφαλιστεί αυτός ο περιορισμός, θα διαιρέσουμε τα δεδομένα σε τρεις ομάδες με βάση το ιστόγραμμα των χρόνων ταξιδιού που φαίνεται στην εικόνα 18.



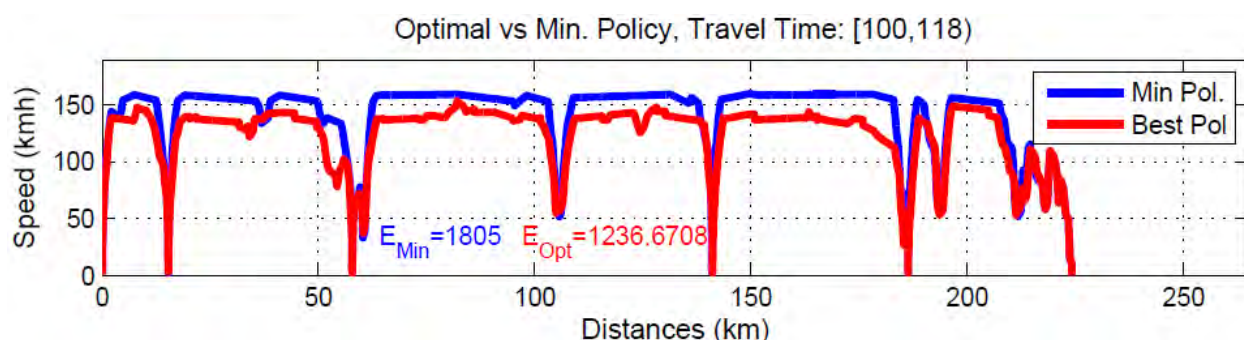
**Εικόνα 18: Ιστόγραμμα των χρόνων ταξιδιού μεταξύ Δομοκού και Θεσσαλονίκη**

Τα ταξίδια χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, διαιρώντας το ιστόγραμμα σε τρία ίσων όγκων κομμάτια, ως εξής:

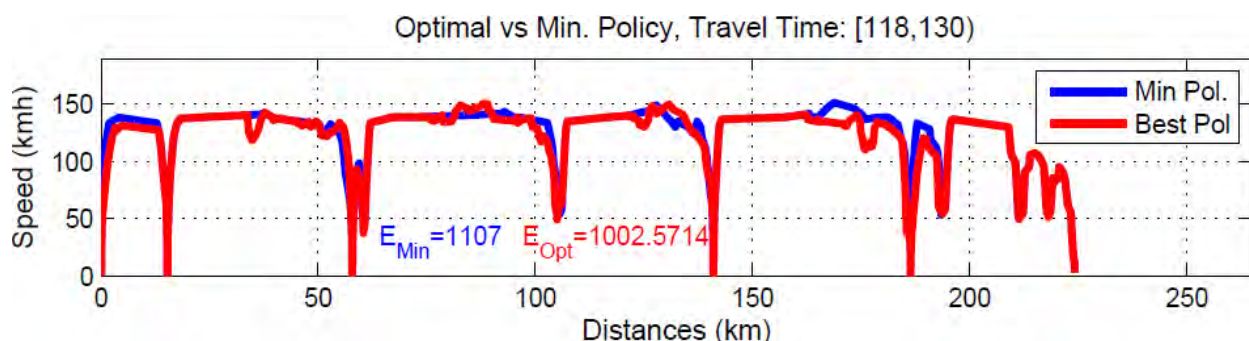
- Διάρκεια ταξιδιού μεταξύ [100, 118] λεπτά: Γρήγορα ταξίδια
- Διάρκεια ταξιδιού μεταξύ [118, 130] λεπτά: Κανονικά ταξίδια
- Διάρκεια ταξιδιού μεταξύ [130, 160] λεπτά: Αργά ταξίδια

### 10.1.2 Προσομοίωση πολιτικής οδήγησης για τις Ηλεκτράμαξες στο δρομολόγιο Δομοκός-Θεσσαλονίκη

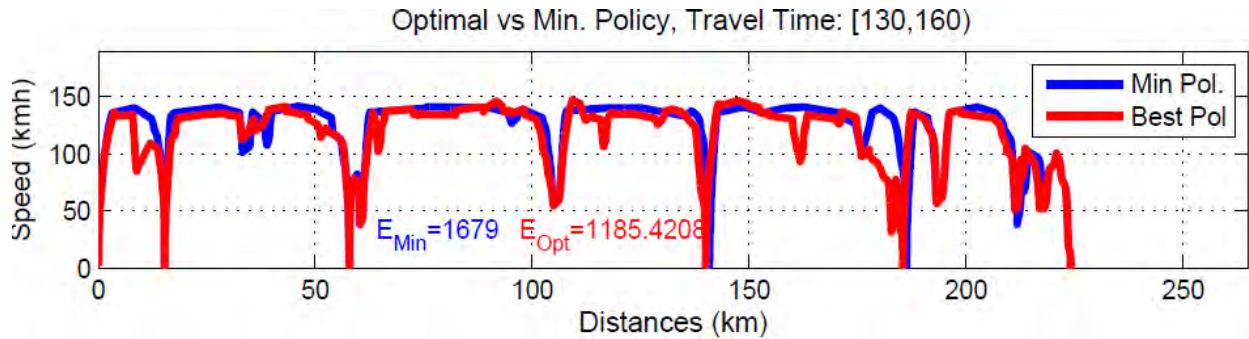
Με βάση τα αναλυτικά στοιχεία κατανάλωσης δύναται να κατασκευασθεί διάγραμμα βέλτιστης πολιτικής οδήγησης στην οποία θα περιγράφεται πλήρως η ταχύτητα κύλισης για κάθε μέρος της διαδρομής, καθώς και οι επιταχύνσεις / επιβραδύνσεις. Οι εικόνες 19, 20, 21 περιγράφουν τις βέλτιστες πολιτικές για τα δρομολόγια διαφορετικών ταχυτήτων. Με βάση αυτές τις πολιτικές μπορούμε να κατασκευάσουμε τον οδηγό καλής συμπεριφοράς.



Εικόνα 19: Γράφημα Βέλτιστης Πολιτικής για ταχύτητες [100,118]



Εικόνα 20: Γράφημα Βέλτιστης Πολιτικής για ταχύτητες [118,130]



**Εικόνα 21: Γράφημα Βέλτιστης Πολιτικής για ταχύτητες [130,160]**

Η μπλε γραμμή δηλώνει την ελάχιστη πολιτική που έχει καταγραφεί, ενώ η κόκκινη γραμμή τη βέλτιστη πολιτική που επιτεύχθηκε με τον αλγόριθμο αναζήτησης. Όσον αφορά τα αργά ταξίδια [100,118] λεπτά, παρατηρούμε ότι η βέλτιστη πολιτική οδηγεί σε μια συνολική κατανάλωση των 1236,7 kWh, σε σύγκριση με τις 1805 kWh της ελάχιστης καταγραφείσας σε αυτούς τους χρόνους ταξιδιού. Να σημειώσουμε επίσης ότι η δυνατότητα εξοικονόμησης της βέλτιστης πολιτικής είναι 31% καλύτερη από την ελάχιστη καταγραφείσα. Παρατηρούμε επίσης ότι η βέλτιστη πολιτική επιβάλλει χαμηλότερες τιμές ταχύτητας και φυσικά χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

Η βέλτιστη πολιτική είναι επίσης ορατά καλύτερη και στα δύο υπόλοιπα τμήματα του χρόνου ταξιδιού ([118,130] λεπτά, [130,160] λεπτά). Στην περίπτωση των κανονικών ταξιδιών, η βέλτιστη ενέργεια οδηγεί σε μια συνολική κατανάλωση 1002,6 kWh. Αυτό είναι κατά 104,4 kWh μικρότερο από την ελάχιστη καταγραφείσα σε αυτούς τους χρόνους ταξιδιού. Ομοίως, η βέλτιστη πολιτική για τα γρήγορα ταξίδια έχει 493,6 kWh λιγότερη κατανάλωση από την ελάχιστη καταγραφείσα σε αυτούς τους χρόνους ταξιδιού.

### 10.1.3 Ανάλυση των πιθανών εξοικονομήσεων

Είναι σημαντικό να αξιολογήσουμε την πιθανή οικονομική επίδραση που μπορεί να επιτύχει η βέλτιστη πολιτική. Στα πλαίσια αυτού του σκοπού, παρουσιάζεται το ποσό των χρημάτων που μια εταιρία αμαξοστοιχιών θα μπορούσε να εξοικονομήσει, αν ένας μέσος οδηγός ακολουθήσει αυστηρά την προτεινόμενη βέλτιστη πολιτική μας. Τα μέσα, τα ελάχιστα και τα βέλτιστα στοιχεία ανά ταξίδι εμφανίζονται στον πίνακα 7 για τρία κριτήρια: την κατανάλωση ενέργειας, το χρηματικό κόστος και την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Το χρηματικό κόστος προέρχεται από την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος της Eurostat ανά kWh ενέργειας [8] και οι εκπομπές CO<sub>2</sub> υπολογίζονται μέσω του εργαλείου EcoTransIT [9].

	Time (min)	Average	Minimal	Optimal
Energy (kwh)	100-118	2290	1800	1240
	118-130		1100	1000
	130-160		1680	1190
Cost (euro)	100-118	254	200	140
	118-130		125	110
	130-160		190	130
CO <sub>2</sub> (kg)	100-118	2244	1170	1210
	118-130		1080	980
	130-160		1645	1160

**Πίνακας 7: Κατανάλωση ενέργειας (kWh), χρηματικό κόστος (EURO) και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (kg CO<sub>2</sub>)**

Ως εκ τούτου, οι πιθανές μειώσεις ενέργειας, κόστους και εκπομπών που θα μπορούσαν να επιτευχθούν αν ένας μέσος οδηγός ακολουθήσει τη βέλτιστη πολιτική είναι έως και 45% για το χρονικό διάστημα [100,118) λεπτών, 56% για το χρονικό διάστημα [118,130) λεπτών και 48% για το χρονικό διάστημα [130,160] λεπτών. Δεδομένου ότι η βέλτιστη πολιτική κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα οδήγησης, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μείωση κατά περίπου 50% είναι ένα ρεαλιστικό άνω όριο.

#### 10.1.4 Εγχειρίδιο καλής οδηγητικής συμπεριφοράς

Ο πιλότος της οικονομικής οδήγησης αφορά την οικονομική οδήγηση στις ηλεκτροκίνητες αυτοκινητάμαξες για το μέρος του δρομολογίου από Δομοκό προς Θεσσαλονίκη.

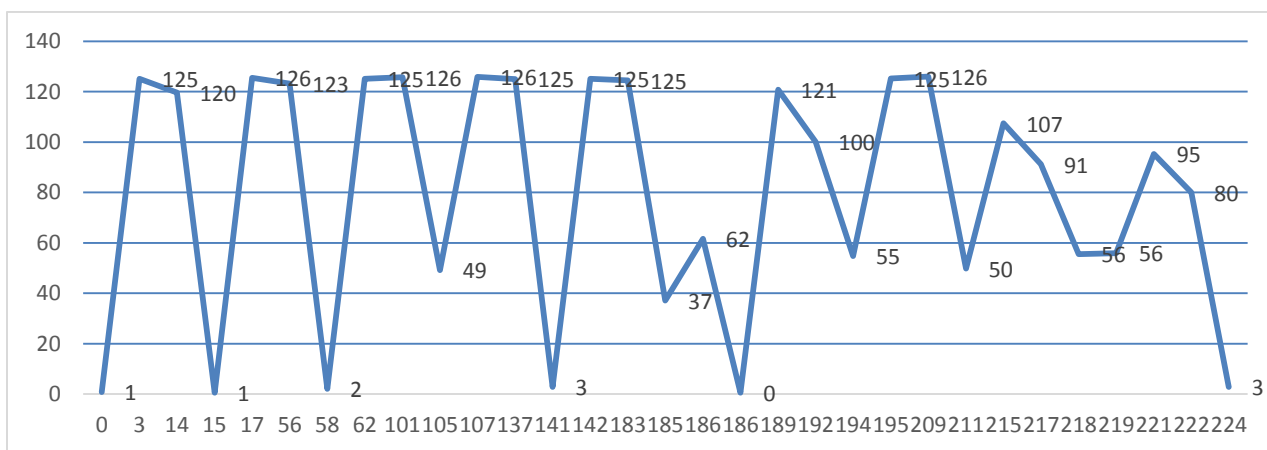
Στον πίνακα 8 παρουσιάζεται ο οδηγός οικονομική οδήγηση και στην εικόνα 22 ένα γράφημα βέλτιστης πολιτικής για τις ηλεκτροκίνητες αυτοκινητάμαξες:

Αρ. Ενέργειας	Περιγραφή Ενέργειας
1	Επιτάχυνση Από:0 Χιλ, Μέχρι:3 Χιλ. Σε Ταχύτητα:125
2	Κύλιση Από:3 Χιλ, Μέχρι:14 Χιλ. Σε Ταχύτητα:120
3	Επιβράδυνση Από:14 Χιλ, Μέχρι:15 Χιλ. Σε Ταχύτητα:1
4	Επιτάχυνση Από:15 Χιλ, Μέχρι:17 Χιλ. Σε Ταχύτητα:126
5	Κύλιση Από:17 Χιλ, Μέχρι:56 Χιλ. Σε Ταχύτητα:123
6	Επιβράδυνση Από:56 Χιλ, Μέχρι:58 Χιλ. Σε Ταχύτητα:2
7	Επιτάχυνση Από:58 Χιλ, Μέχρι:62 Χιλ. Σε Ταχύτητα:125
8	Κύλιση Από:62 Χιλ, Μέχρι:101 Χιλ. Σε Ταχύτητα:126
9	Επιβράδυνση Από:101 Χιλ, Μέχρι:105 Χιλ. Σε Ταχύτητα:49
10	Επιτάχυνση Από:105 Χιλ, Μέχρι:107 Χιλ. Σε Ταχύτητα:126
11	Κύλιση Από:107 Χιλ, Μέχρι:137 Χιλ. Σε Ταχύτητα:125
12	Επιβράδυνση Από:137 Χιλ, Μέχρι:141 Χιλ. Σε Ταχύτητα:3
13	Επιτάχυνση Από:141 Χιλ, Μέχρι:142 Χιλ. Σε Ταχύτητα:125
14	Κύλιση Από:142 Χιλ, Μέχρι:183 Χιλ. Σε Ταχύτητα:125
15	Επιβράδυνση Από:183 Χιλ, Μέχρι:185 Χιλ. Σε Ταχύτητα:37
16	Επιτάχυνση Από:185 Χιλ, Μέχρι:186 Χιλ. Σε Ταχύτητα:62
17	Επιβράδυνση Από:186 Χιλ, Μέχρι:186 Χιλ. Σε Ταχύτητα:0
18	Επιτάχυνση Από:186 Χιλ, Μέχρι:189 Χιλ. Σε Ταχύτητα:121
19	Επιβράδυνση Από:189 Χιλ, Μέχρι:192 Χιλ. Σε Ταχύτητα:100



20	Επιβράδυνση Από:192 Χιλ, Μέχρι:194 Χιλ. Σε Ταχύτητα:55
21	Επιτάχυνση Από:194 Χιλ, Μέχρι:195 Χιλ. Σε Ταχύτητα:125
22	Κύλιση Από:195 Χιλ, Μέχρι:209 Χιλ. Σε Ταχύτητα:126
23	Επιβράδυνση Από:209 Χιλ, Μέχρι:211 Χιλ. Σε Ταχύτητα:50
24	Επιτάχυνση Από:211 Χιλ, Μέχρι:215 Χιλ. Σε Ταχύτητα:107
25	Κύλιση Από:215 Χιλ, Μέχρι:217 Χιλ. Σε Ταχύτητα:91
26	Επιβράδυνση Από:217 Χιλ, Μέχρι:218 Χιλ. Σε Ταχύτητα:56
27	Κύλιση Από:218 Χιλ, Μέχρι:219 Χιλ. Σε Ταχύτητα:56
28	Επιτάχυνση Από:219 Χιλ, Μέχρι:221 Χιλ. Σε Ταχύτητα:95
29	Κύλιση Από:221 Χιλ, Μέχρι:222 Χιλ. Σε Ταχύτητα:80
30	Επιβράδυνση Από:222 Χιλ, Μέχρι:224 Χιλ. Σε Ταχύτητα:3

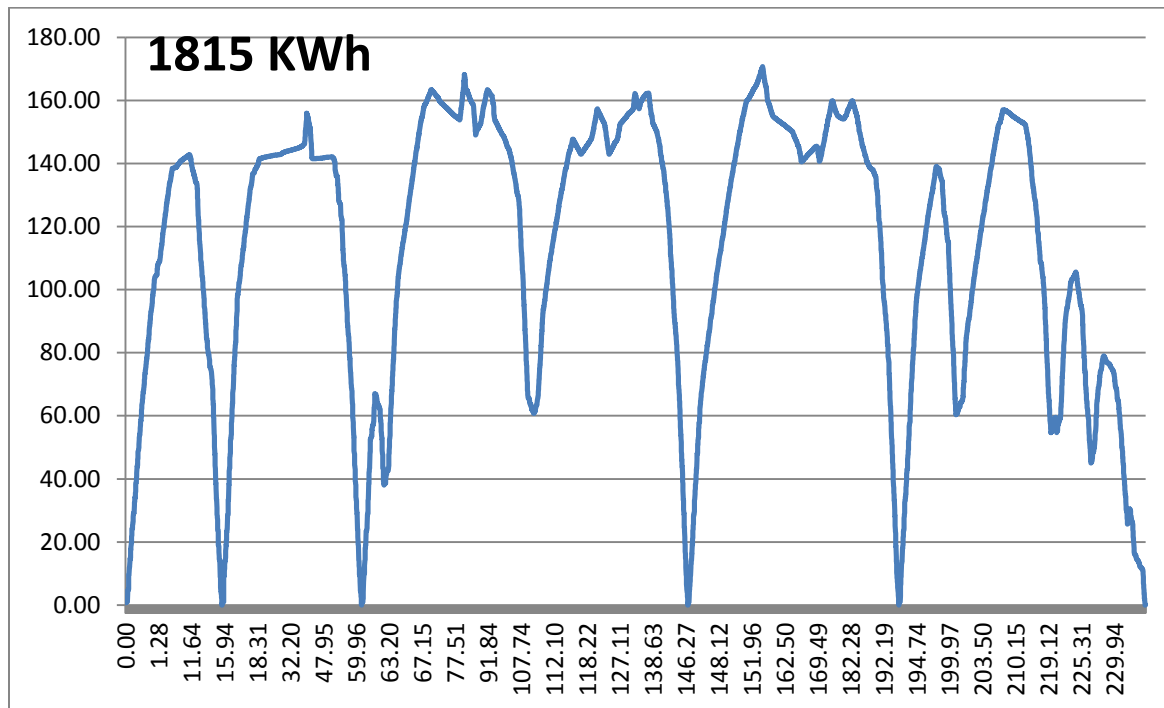
**Πίνακας 8: Οδηγική Συμπεριφορά Ηλεκτράμαξας**



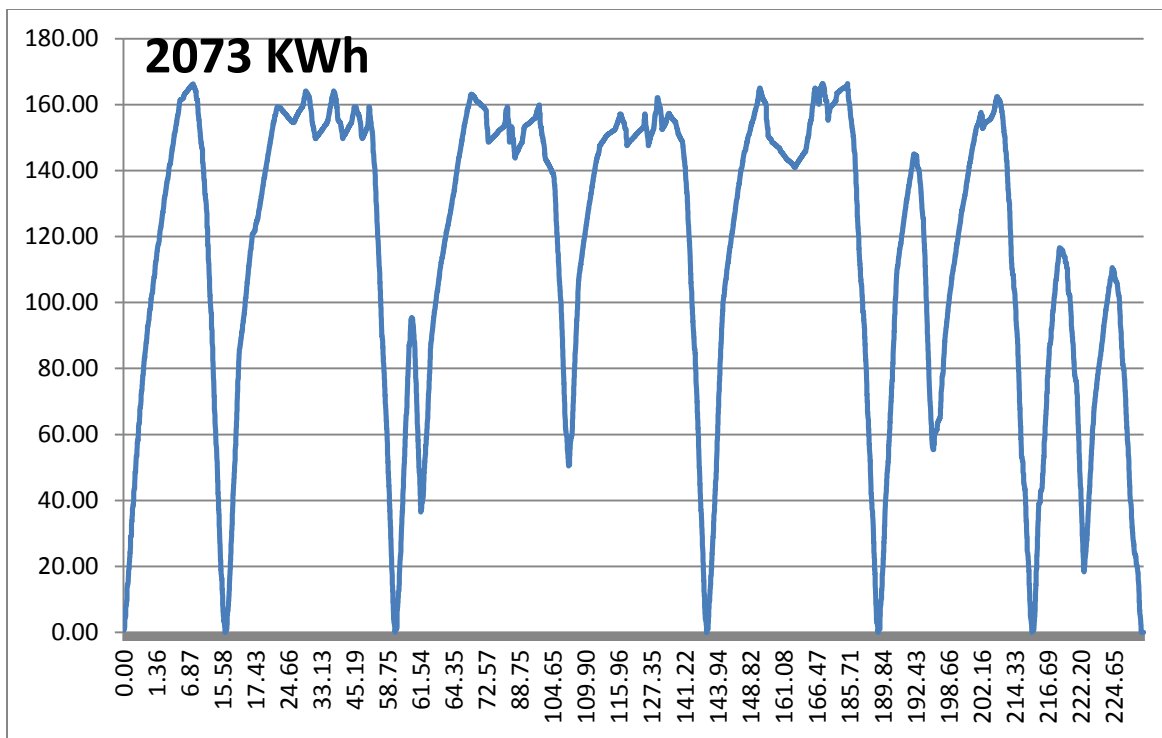
**Εικόνα 22: Γράφημα Βέλτιστης Πολιτικής για ταχύτητες [118,130]**

### 10.1.5 Πιλοτική δοκιμή της τεχνικής μελέτης

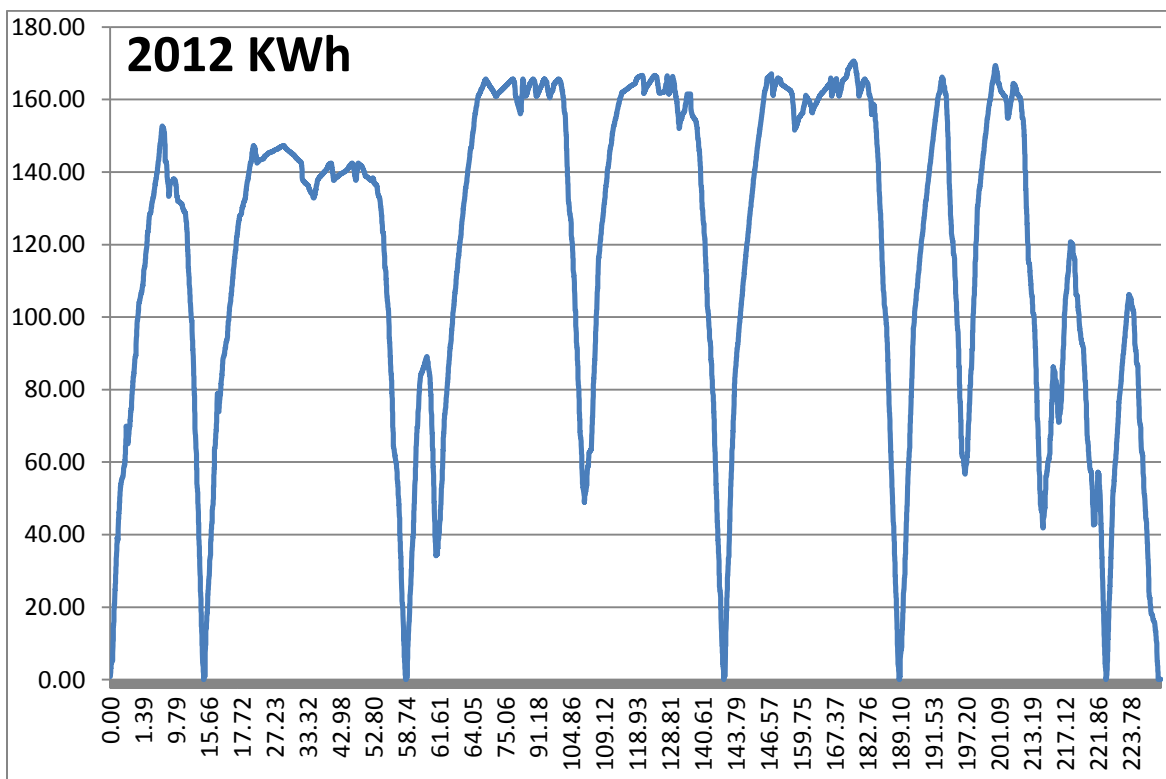
Πραγματοποιήθηκαν 5 πιλοτικές δοκιμές, με διαφορετικό οδηγό σε κάθε δοκιμή. Οι οδηγοί ακολούθησαν την προτεινόμενη διαδρομή και ένας συνεργάτης ήταν παρών στο τρένο για την επιβεβαίωση της ταχύτητας. Τα διαγράμματα από τις 5 μετρήσεις παρουσιάζονται παρακάτω στις εικόνες 23, 24, 25, 26, 27 και στην εικόνα 28 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα και με τις 5 μετρήσεις μαζί.



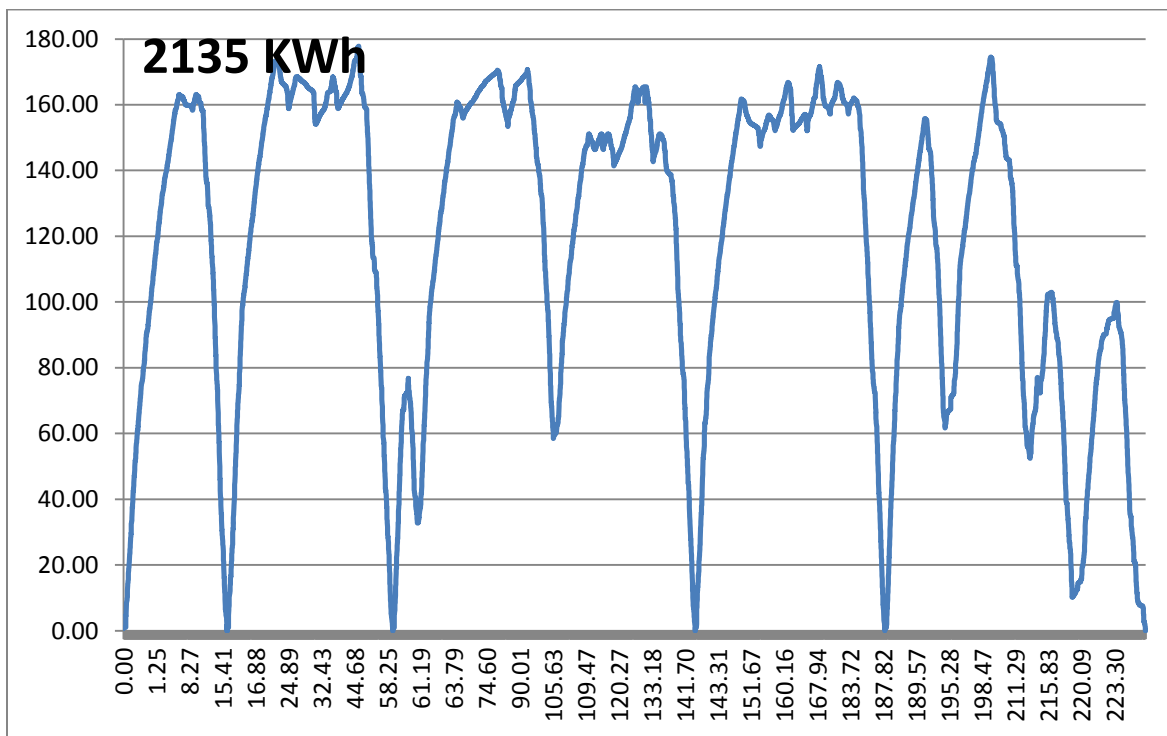
**Εικόνα 23: Μέτρηση 1**



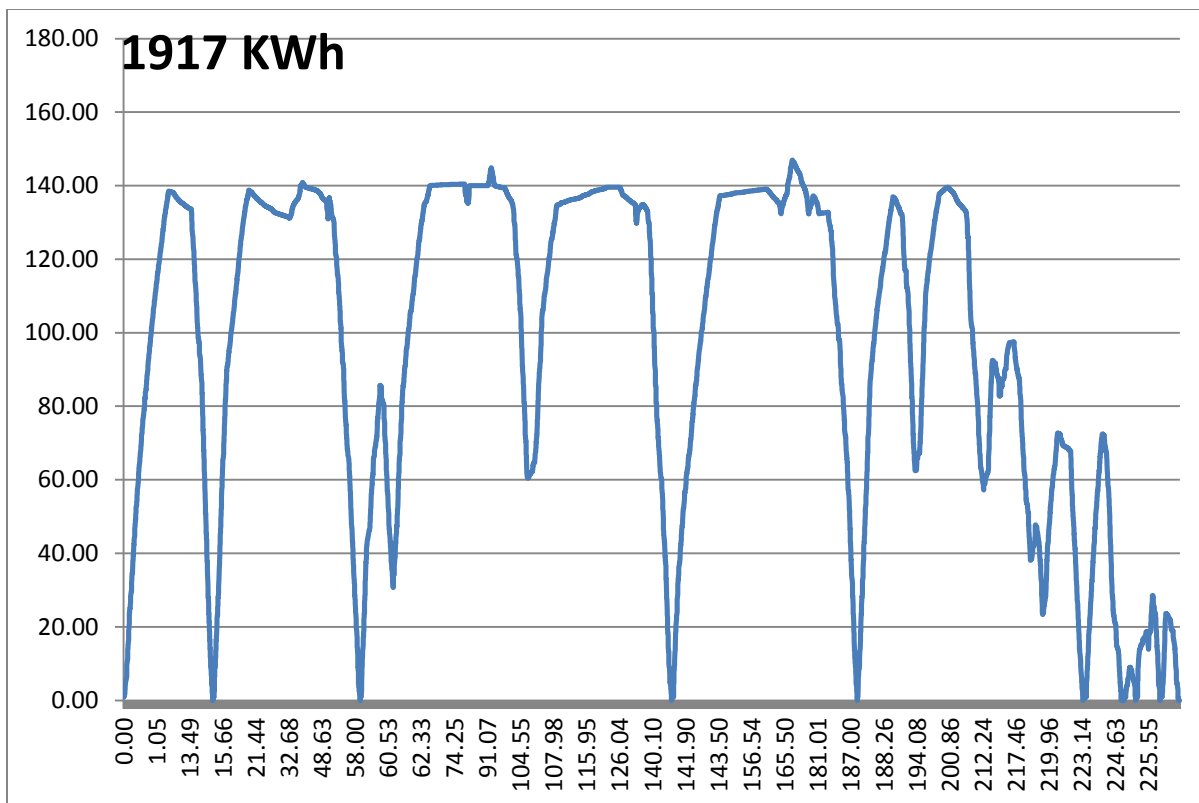
Εικόνα 24: Μέτρηση 2



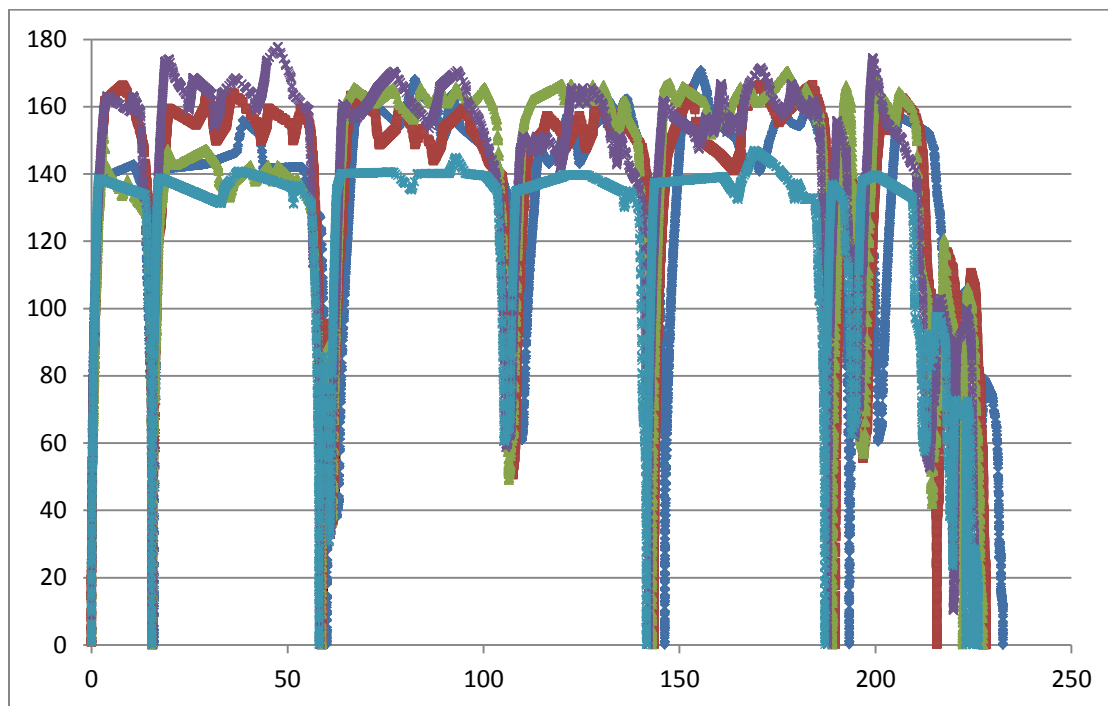
Εικόνα 25: Μέτρηση 3



Εικόνα 26: Μέτρηση 4

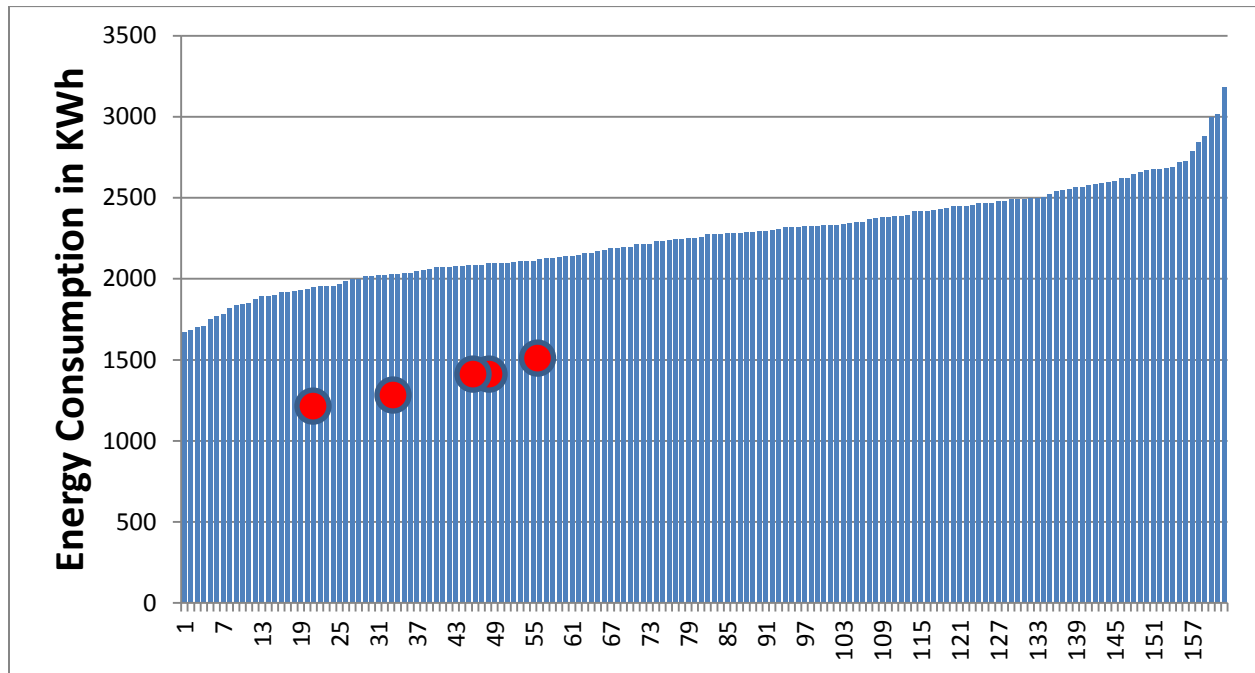


**Εικόνα 27: Μέτρηση 5**



**Εικόνα 28: Σύγκριση των 5 μετρήσεων**

Η ενεργειακή κατανάλωση των 5 μετρήσεων ήταν κάτω από τον μέσο όρο, όπως φαίνεται και στην εικόνα 29:



**Εικόνα 29: Ενεργειακή κατανάλωση των 5 πιλοτικών διαδρομών**

Ωστόσο , απέχαν κατά πολύ από τα θεωρητικά αποτελέσματα, όπως φαίνεται και στους πίνακες 8, 9.

Deviation from Optimum (Technical Study Results)									
Optimum	A		B		C		D		E
1236	1815	31.90%	2073	40.38%	2012	38.57%	2135	42.11%	35.52%
1002		44.79%		51.66%		50.20%		53.07%	47.73%

1185		34.71%		42.84%		41.10%		44.50%		38.18%
------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------

Πίνακας 8: Απόκλιση κατανάλωσης πιλοτικών διαδρομών από τα βέλτιστα

Deviation from Minimum (Annual minimum Values)										
minimum	A		B		C		D		E	
1805	1815	0.55%	2073	12.93%	2012	10.29%	2135	15.46%	1917	5.84%
1107		39.01%		46.60%		44.98%		48.15%		42.25%
1679		7.49%		19.01%		16.55%		21.36%		12.42%

Πίνακας 9: Απόκλιση κατανάλωσης πιλοτικών διαδρομών από τα ελάχιστα

## 10.2 Αποτελέσματα για τις δηζελάμαξες

Από την πειραματική διαδικασία που παρακολουθήσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, παρατηρούμε ότι η κατανάλωση για απλή τροχοδρόμηση χωρίς επιταχύνσεις / επιβραδύνσεις κείται στο όριο των 2 lt/Km.

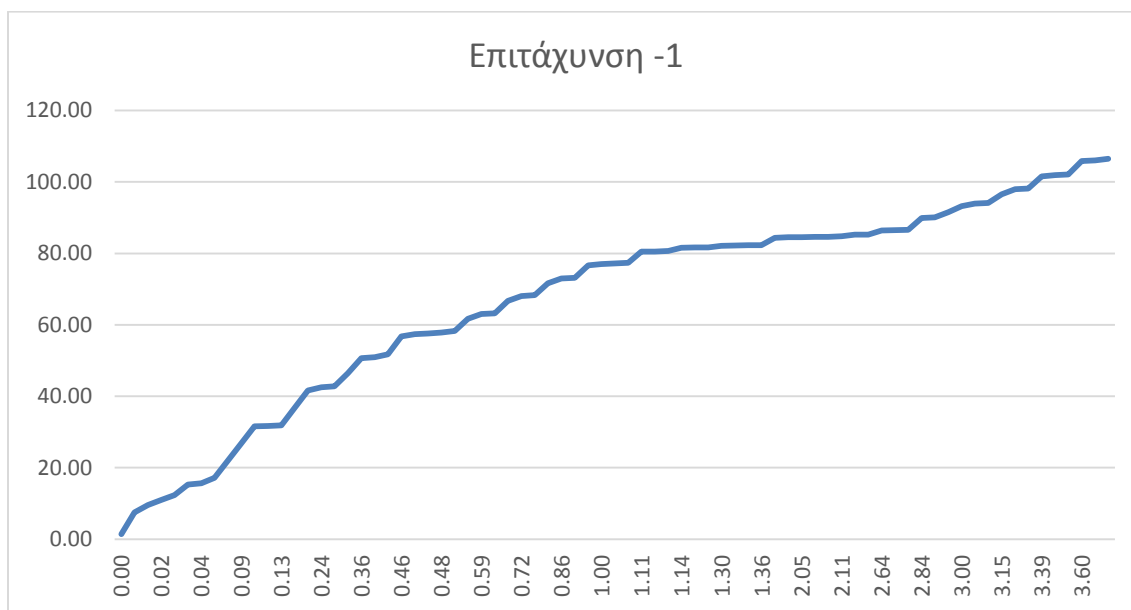
Στα σημεία στα οποία παρατηρήθηκαν επιταχύνσεις, αυτό που παρατηρούμε είναι ότι η κατανάλωση είναι σχεδόν 300% (μέση κατανάλωση περί το 2 lt/Km) περισσότερη από την

περίπτωση όπου η αυτοκινητάμαξα κινείται με σταθερή ταχύτητα και σε διαδρομή χωρίς θετικές κλίσεις εδάφους.

Στα σημεία στα οποία παρατηρήθηκαν επιβραδύνσεις, αυτό που παρατηρούμε είναι ότι η κατανάλωση είναι σχεδόν ίδια (μέση κατανάλωση περί το 2 lt/Km) με την περίπτωση όπου η αυτοκινητάμαξα κινείται με σταθερή ταχύτητα και σε διαδρομή χωρίς θετικές κλίσεις εδάφους.

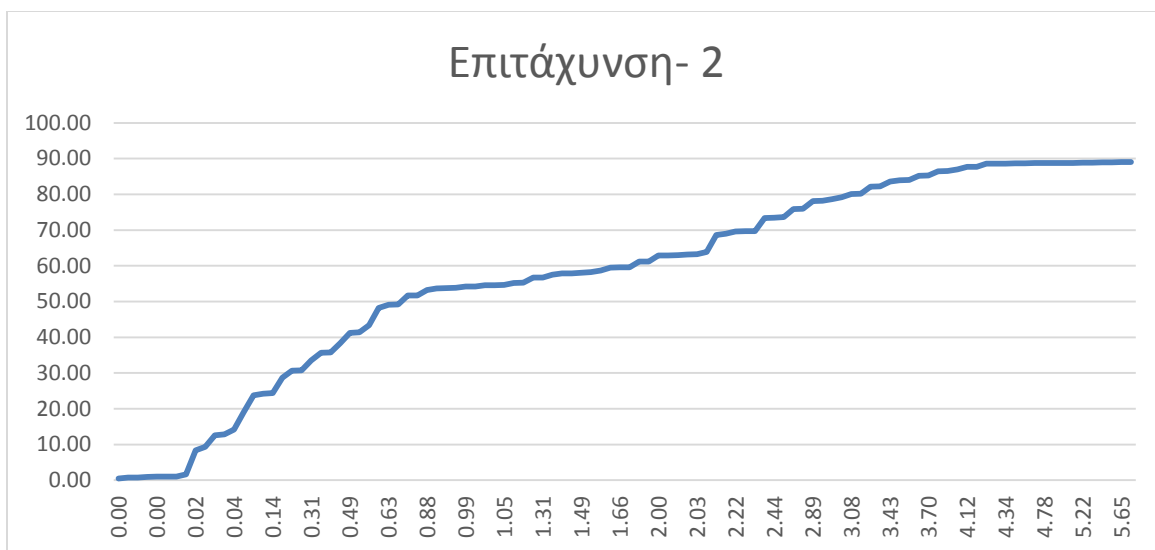
Προκύπτει λοιπόν αβίαστα το συμπέρασμα ότι οι επιταχύνσεις επιβαρύνουν δραματικά την κατανάλωση καυσίμων. Με αυτό το δεδομένο η συμβουλευτική κατεύθυνση προς τους μηχανοδηγούς είναι η προσπάθεια για μείωση των έντονων επιταχύνσεων και αντικατάσταση αυτών με ηπιότερες. Ο ιδεατός μηχανοδηγός που θα προταθεί ως πρότυπο μηχανοδήγησης θα διαθέτει την καλύτερη (μικρότερη) δυνατή κατανάλωση καυσίμου μέσω της αποφυγής των άσκοπων και έντονων επιταχύνσεων.

Οι παρακάτω εικόνες περιγράφουν τα σημεία της έντονης επιτάχυνσης και για τα οποία μπορεί να υπάρξει σημαντική βελτίωση εάν αυτές οι επιταχύνσεις ομαλοποιηθούν. Ο οριζόντιος άξονας περιγράφει την χιλιομετρική απόσταση κατά την οποία επιχειρείται η επιτάχυνση, ενώ ο κάθετος πίνακας περιγράφει την ταχύτητα της αυτοκινητάμαξας – συρμού.

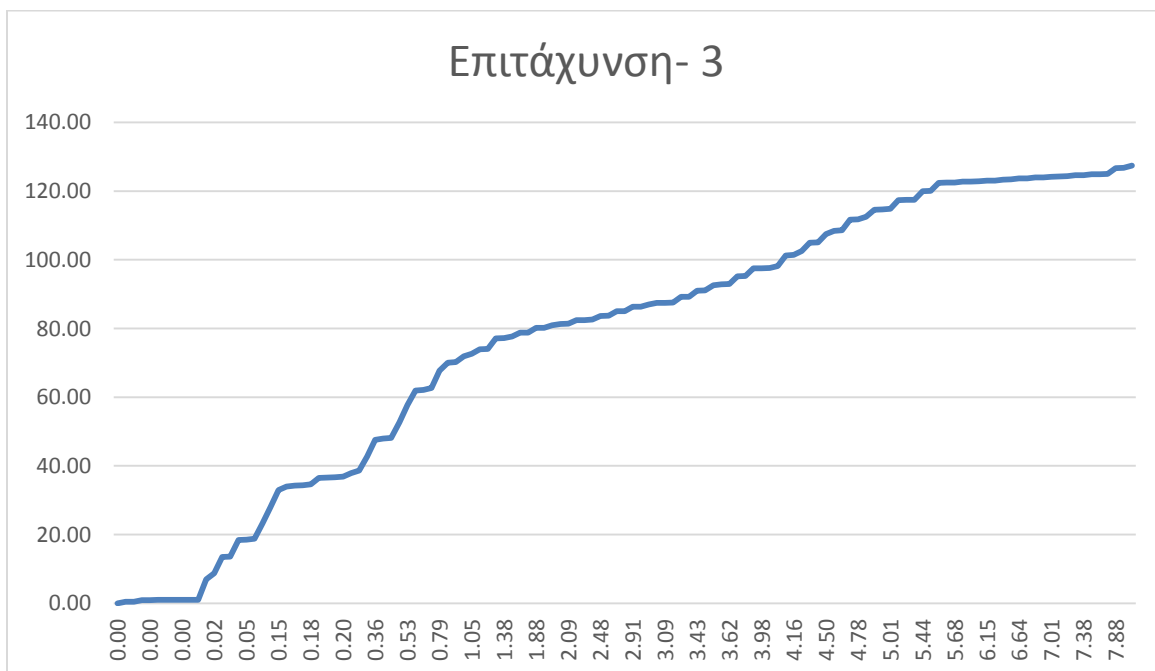


**Εικόνα 30: 1<sup>η</sup> Επιτάχυνση στο τμήμα Αθήνα - Δομοκού**

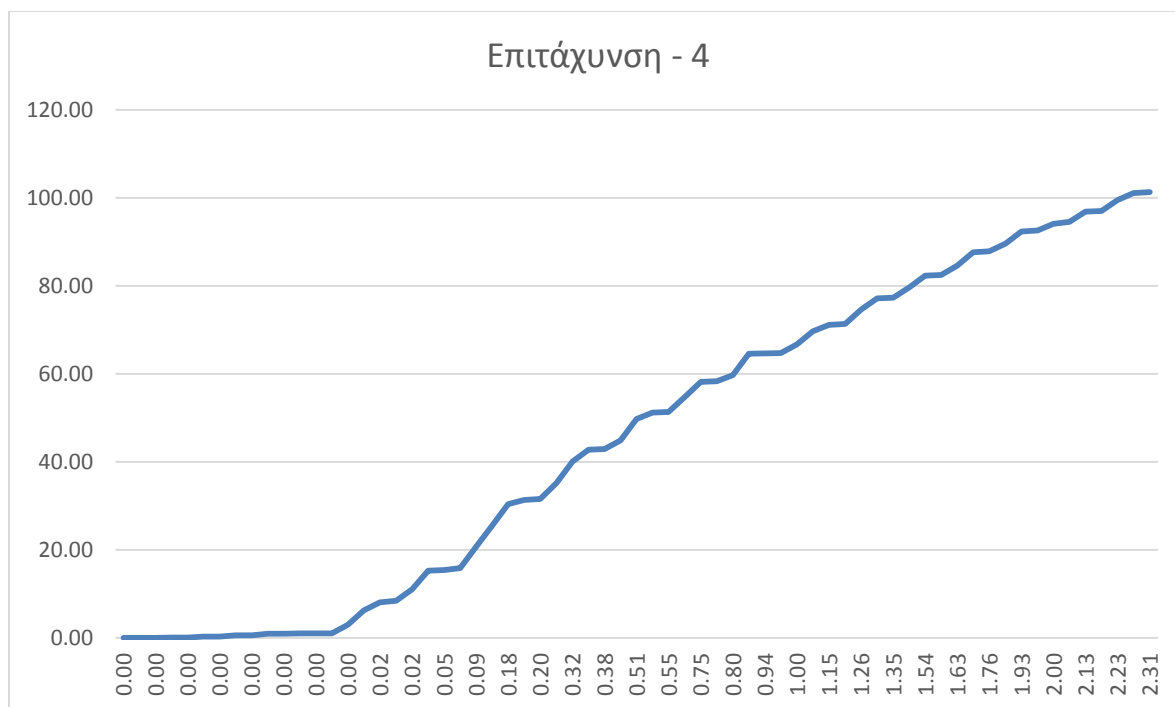




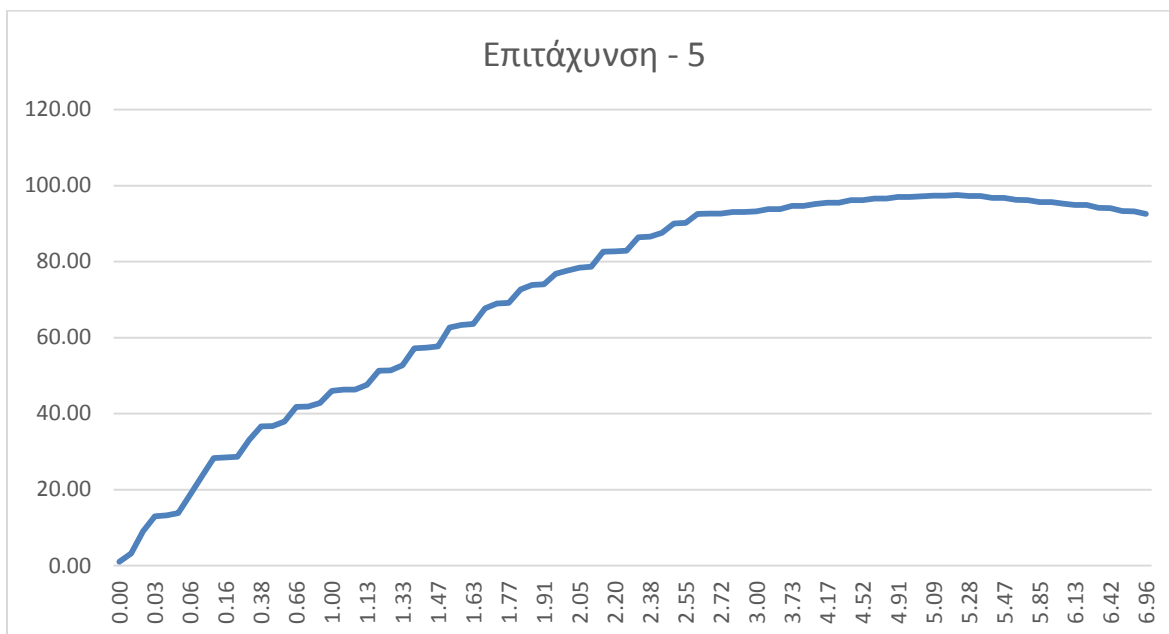
**Εικόνα 31: 2<sup>η</sup> Επιτάχυνση στο τμήμα Αθήνα - Δομοκού**



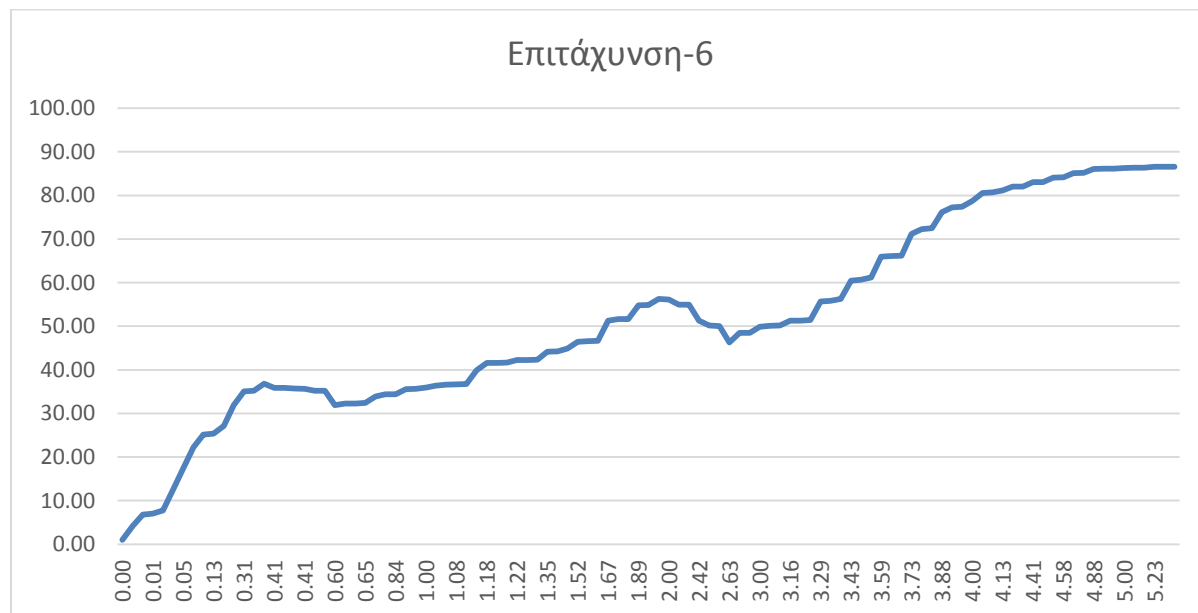
**Εικόνα 32: 3<sup>η</sup> Επιτάχυνση στο τμήμα Αθήνα - Δομοκού**



**Εικόνα 33: 4<sup>η</sup> Επιτάχυνση στο τμήμα Αθήνα - Δομοκού**

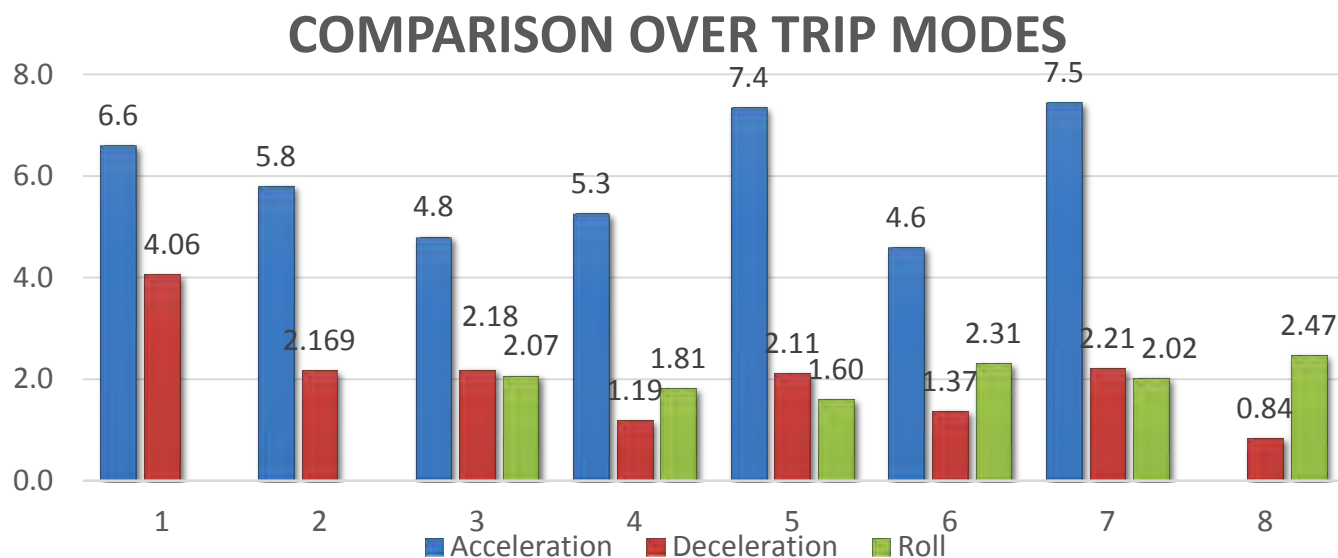


**Εικόνα 34: 5<sup>η</sup> Επιτάχυνση στο τμήμα Αθήνα - Δομοκού**



**Εικόνα 35: 6<sup>η</sup> Επιτάχυνση στο τμήμα Αθήνα – Δομοκού**

Στην εικόνα 36 μπορούμε να δούμε ένα διάγραμμα σύγκρισης των καταναλώσεων στη φάση της επιτάχυνσης, στη φάση της επιβράδυνσης και της απλής τροχοδρόμησης.

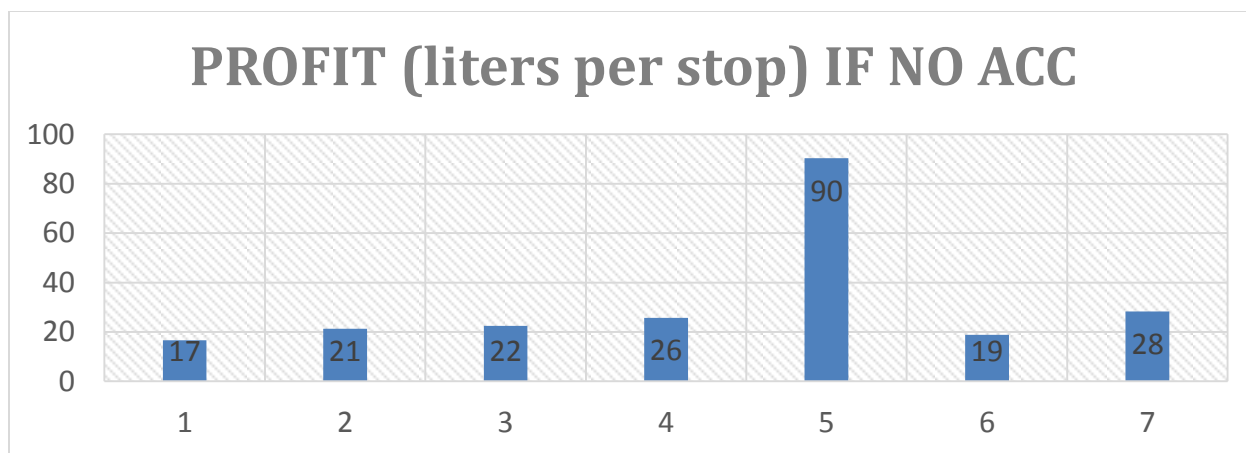


**Εικόνα 36: Συγκριτικό διάγραμμα καταναλώσεων**

Στην πίνακα 10 μπορούμε να δούμε την εξοικονόμηση ενέργειας σε λίτρα στην περίπτωση που το ταξίδι πραγματοποιούνταν χωρίς επιταχύνσεις καθώς και το αντίστοιχο διάγραμμα καταναλώσεων στην εικόνα 37.

Points	Point-1	Point-2	Point-3	Point-4	Point-5	Point-6	Point-7
Gain (lts)	17	21	22	26	90	19	28
SUM	252						

**Πίνακας 10: Εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς επιταχύνσεις**



**Εικόνα 37: Διάγραμμα εξοικονόμησης ενέργειας χωρίς επιταχύνσεις**

---

## 11 Συμπεράσματα

Η βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης είναι στην αιχμή της μελέτης των μεταφορών. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η διαδρομή από τη Δομοκό προς τη Θεσσαλονίκη, η οποία λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια και αποτελεί μέρος της διαδρομής Αθήνα – Θεσσαλονίκη, με μία νέα μέθοδο που υπολογίζει off-line τη βέλτιστη οδηγική πολιτική για αμαξοστοιχίες. Η μέθοδος αυτή λειτουργεί με πραγματικά δεδομένα οδήγησης τρένων, διασφαλίζοντας έτσι ότι η βέλτιστη πολιτική είναι ρεαλιστικά εφικτή. Η Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing) χρησιμοποιείται για να βρεθεί η βέλτιστη πολιτική ταχύτητας, ξεκινώντας από την ελάχιστη καταγραφείσα σειρά και βελτιώνοντάς τη εναλλάσσοντας τμήματα με άλλες καταγραφείσες σειρές. Στόχος της μελέτης ήταν να βρεθεί το βέλτιστο καθοδηγητικό πρότυπο που εφόσον κάποιος μηχανοδηγός εφαρμόζε θα μπορούσε να πετύχει μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας στη διαδρομή Δομοκός - Θεσσαλονίκη, διατηρώντας τη χρονική συνέπεια και την αξιοπιστία που προσφέρεται στις μεταφορικές υπηρεσίες. Η μελέτη των ηλεκτροκίνητων αμαξοστοιχιών ολοκληρώνεται με τη σύνταξη ενός εγχειριδίου καλής οδηγικής συμπεριφοράς, το οποίο απευθύνεται στους μηχανοδηγούς και τη δοκιμή στην πράξη των οδηγικών προφίλ που προέκυψαν.

Τελικά, τα αποτελέσματα των βέλτιστων πολιτικών παρουσιάζονται για τρεις κατηγορίες ταξιδιών, ομαδοποιημένα βάσει του χρόνου ταξιδιού, σε γρήγορα, κανονικά και αργά ταξίδια. Η βέλτιστη πολιτική που βρέθηκε με τη μέθοδό μας βελτιώνει την ελάχιστη καταγραφείσα ενεργειακή κατανάλωση κατά 31%. Στην περίπτωση που ένας μέσος οδηγός ακολουθήσει την προτεινόμενη βέλτιστη πολιτική, η συνολική κατανάλωση ενέργειας του συρμού θα μπορούσε να μειωθεί κατά περίπου 50%. Όσον αφορά τις πιθανές εξοικονομήσεις χρημάτων και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, μπορεί να υπάρξει μείωση κατά 50%.

Μετά την θεωρητική μελέτη η ΤΡΑΙΝΟΣΕ δοκίμασε στην πράξη τα οδηγικά προφίλ που προέκυψαν. Πραγματοποιήθηκαν 5 πιλοτικές δοκιμές, με διαφορετικό οδηγό σε κάθε δοκιμή. Τα συμπεράσματα έχουν μεγάλο ενδιαφέρον και αποτελούν την αρχή μίας γενικότερης αναζήτησης των βέλτιστων λύσεων. Το πρώτο συμπέρασμα είναι ότι η εφαρμογή των οδηγικών προφίλ στην πράξη εμφάνιζε καταναλώσεις κάτω από τον ετήσιο μέσο όρο της διαδρομής όπως έχει αποτυπωθεί στα στατιστικά στοιχεία. Το δεύτερο συμπέρασμα ήταν ότι μία μείωση στις εφαρμοζόμενες ταχύτητες δε δημιουργεί καθυστέρηση στην διάρκεια του ταξιδιού εφόσον επιτυγχάνεται ο κατάλληλος συγχρονισμός στις διασταυρώσεις και στους ενδιάμεσους

επιβατικούς σταθμούς. Επομένως, βελτιστοποίηση της χρονικής διάρκειας των στάσεων στις διασταυρώσεις οδηγεί σε ταχύτερους χρόνους ταξιδιού. Βελτιώνοντας τον συγχρονισμό και μειώνοντας τη μέση ταχύτητα, μειώνεται κατά 20% η κατανάλωση ενέργειας ενώ ταυτόχρονα διατηρείται η χρονική συνέπεια και η αξιοπιστία που προσφέρεται στις μεταφορικές υπηρεσίες. Ωστόσο, τα αποτελέσματα των δοκιμών απείχαν κατά πολύ από τα θεωρητικά. Αυτό συνέβη διότι στο διάστημα των δοκιμών είχε αυξηθεί η μέγιστη ταχύτητα του δικτύου από 140 km/h σε 160 km/h. Οι οδηγοί είχαν τη νοοτροπία να κυνηγούν τη μέγιστη ταχύτητα (160 km/h) και όταν συναντούσαν κάποια ασυνέχεια στη γραμμή, π.χ. κάποια στροφή, μείωναν απότομα ταχύτητα. Δεν είχαν δηλαδή συμπεριφορά οικολογικής οδήγησης, η οποία βασίζεται στην επίτευξη της βέλτιστης ταχύτητας. Μία ενδιαφέρουσα λύση σε αυτό το πρόβλημα θα ήταν η δημιουργία ενός συστήματος “bonus” για τους οδηγούς που ακολουθούν τους κανόνες. Επιπλέον, το εγχειρίδιο καλής οδηγητικής συμπεριφοράς θα μπορούσε να συμπεριληφθεί στο πλαίσιο της εκπαίδευσης νέων οδηγών.

Επιπλέον, μελετήθηκε η ενεργειακή κατανάλωση των δηζελοκίνητων αμαξοστοιχιών της διαδρομής από την Αθήνα προς το Δομοκό, η οποία αποτελεί μέρος της γραμμής Αθήνα – Θεσσαλονίκη και περιλαμβάνει 7 στάσεις (σταθμούς). Συνοπτικά, λήφθηκαν μετρικές από τις καταναλώσεις ενέργειας των διαφόρων οδηγικών φάσεων της διαδρομής (απλή τροχοδρόμηση, επιτάχυνση, επιβράδυνση), και εξετάστηκε η επίδραση που έχουν οι στάσεις (σταθμοί) στην κατανάλωση ενέργειας και κατ’ επέκταση στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Παρατηρήθηκε ότι οι επιταχύνσεις / επιβραδύνσεις, που πραγματοποιούσε το όχημα κατά την άφιξη και κατά την αναχώρησή του από κάποιο σταθμό / στάση επιβάρυνε δραματικά την κατανάλωση καυσίμου. Πιο συγκεκριμένα, κατά την απλή τροχοδρόμηση (χωρίς επιταχύνσεις / επιβραδύνσεις), η μέση κατανάλωση καυσίμου του συρμού υπολογίστηκε σε 2,03 lt/km. Κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης της αμαξοστοιχίας ώστε να προσεγγίσει κάποιον σταθμό, η μέση κατανάλωση καυσίμου υπολογίστηκε σε 2.38 lt/km, ενώ κατά τη φάση της αναχώρησης από τον σταθμό (φάση επιτάχυνσης), η κατανάλωση καυσίμου υπολογίστηκε σε 6.3 lt/Km. Ως λύση προτάθηκε η χρήση ενός αλγορίθμου αποφυγής στάσεων. Προκειμένου να πεισθούν οι πελάτες του σιδηροδρόμου να χρησιμοποιούν άλλες στάσεις και στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τοπικά τρένα (χωρίς κράτηση θέσεων) να φτάνουν στον τελικό τους προορισμό, μία καλή λύση θα ήταν η προσφορά μεγάλων εκπτώσεων για τα ταξίδια τους.

Η εφαρμογή μεθόδων όπως αυτές που αναπτύχθηκαν είναι πολύ σημαντικές σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Τα αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας φαίνονται άμεσα στο κόστος λειτουργίας μίας εταιρίας. Η μείωση του κόστους βελτιώνει την ανταγωνιστικότητα της

εταιρείας και της δίνει την δυνατότητα να επενδύσει τα εξοικονομούμενα χρήματα σε νέες υπηρεσίες προς τους πελάτες/επιβάτες, στην βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών και στην αξιοποίηση του ανθρώπινου δυναμικού της. Η μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος σημαίνει καλύτερη ποιότητα ζωής για τους πολίτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επιπλέον η υπάρχουσα μελέτη δεν περιορίζεται στις αμαξοστοιχίες, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί για την ενεργειακή βελτιστοποίηση και άλλων μέσων μεταφοράς όπως τα λεωφορεία, τα ταξί, κλπ.

Τέλος, να υπογραμμίσουμε ότι το παρόν εγχειρίδιο καλής οδηγητικής συμπεριφοράς καθώς και η μελέτη που πραγματοποιήθηκε στις αμαξοστοιχίες βρίσκονται υπό συνεχή αναμόρφωση κάθε στιγμή που μια διαφορετική εκδοχή βελτιστοποίησης επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας.



---

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] B. Beusen, S. Broekx, T. Denys, C. Beckx, B. Degraeuwe, M. Gijsbers, K. Scheepers, L. Govaerts, R. Torfs, and L. I. Panis, "Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course", 2009
- [2] X. Feng, "Optimization of target speeds of high-speed railway trains for traction energy saving and transport efficiency improvement", 2011
- [3] X. Feng, J. Feng, K. Wu, H. Liu, and Q. Sun, "Evaluating target speeds of passenger trains in china for energy saving in the effect of different formation scales and traction capacities", 2012
- [4] V. D. Martinis and M. Gallo, "Models and methods to optimize train speed profiles with and without energy recovery systems: A suburban test case", 2012
- [5] L. I. Panis, C. Beckx, S. Broekx, I. D. Vlieger, L. Schrooten, B. Degraeuwe, and L. Pelkmans, "Pm, NOx and CO2 emission reductions from speed management policies in Europe", 2011
- [6] C. Wu, G. Zhao, and B. Ou, "A fuel economy optimization system with applications in vehicles with human drivers and autonomous vehicles", 2011
- [7] C. Vagg, C. Brace, D. Hari, S. Akehurst, J. Poxon, and L. Ash, "Development and field trial of a driver assistance system to encourage ecodriving in light commercial vehicle fleets", 2013
- [8] EUROSTAT, "Electricity prices for industrial consumers", 2013
- [9] ECOTransIT, "Ecological transport information tool for worldwide transports", 2011
- [10] F. Jiménez and W. Cabrera-Montiel, "System for Road Vehicle Energy Optimization Using Real Time Road and Traffic Information", 2014
- [11] S. Russell and P. Norvig, "Artificial Intelligence: A Modern Approach", 2009
- [12] Z. Michalewicz and D. B. Fogel, "How to Solve it: Modern Heuristics", 2000

- [13] Ε. Μπούτα, “Δημιουργία Ασκήσεων για Αλγόριθμους Αναζήτησης σε Ευφυές Σύστημα Διδασκαλίας”, 2009
- [14] Γ. Καστρίνης, “Αλγόριθμοι Τοπικής Αναζήτησης στον Προγραμματισμό με Περιορισμούς”, 2011
- [15] Vasileios Karyotis, Eleni Stai, Symeon Papavassiliou, “Evolutionary Dynamics of Complex Communications Networks”, 2014
- [16] Zhu Han, K. J. Ray Liu, “Resource Allocation for Wireless Networks”, 2008
- [17] S. M. Ferdous, Anindya Das, “A Simulated Annealing approach for solving Minimum Manhattan Network Problem”, 2014
- [18] Kirkpatrick, S., Gelatt Jr, C. D., Vecchi, M. P., "Optimization by Simulated Annealing", 1983
- [19] Černý, V. "Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm", 1985
- [20] Metropolis, Nicholas, Rosenbluth, Arianna W., Rosenbluth, Marshall N. Teller, Augusta H., Teller, Edward, "Equation of State Calculations by Fast Computing Machines", 1953
- [21] Robert C. P., & Casella G., "Introducing Monte Carlo Methods with R", 2010
- [22] Bertsimas D., & Tsitsiklis J., "Simulated Annealing", 1993
- [23] Rudolph G., "Massively Parallel Simulated Annealing and its Relation to Evolutionary Algorithms"
- [24] Ροβιθάκης, Γ. Α., "Τεχνικές Βελτιστοποίησης", 2007
- [25] Qing Li, Timothy K. Shih, "Ubiquitous Multimedia Computing", 2010
- [26] Zengnian Zhang, Xudong Ke, "Solving Terminal Allocation Problem Using Simulated Annealing Arithmetic", 2008
- [27] Sheetal Nave, Neeru Malhotra, Rajdeep Singh, "Implementation GASAO Algorithm for Circuit Minimization and Optimization", 2013
- [28] Yihong Gong, Wei X., "Machine Learning for Multimedia Content Analysis", 2007

- [29] Meng Yang, "State Assignment for Finite State Machine Synthesis", 2013
- [30] Luke S., "Essentials of Metaheuristics", (2011)
- [31] Czech Z. J., "Speeding up sequential simulated annealing by parallelization", 2006

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

**2013**

	Κατερχόμενα	Ανερχόμενα
Ιανουάριος	105	99
Φεβρουάριος	112	113
Μάρτιος	58	54
Απρίλιος	77	74
Μάιος	0	0
Ιούνιος	0	0
Ιούλιος	54	52
Αύγουστος	52	53
Σεπτέμβριος	51	50
Οκτώβριος	57	52
Νοέμβριος	61	57
Δεκέμβριος	56	54
Ιανουάριος	58	57

ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΑ Θεσσαλονίκη – Δομοκός			
ΜΗΧΑΝΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟ	KW
HSIE007	4/1/2013	55	2229
HSIE007	4/1/2013	61	2098
HSIE007	4/2/2013	51	2104
HSIE007	4/3/2013	53	3314
HSIE007	4/4/2013	53	2321
HSIE007	4/5/2013	51	2545
HSIE007	4/15/2013	59	1815
HSIE007	4/16/2013	57	2225
HSIE007	4/22/2013	51	2364

ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΑ Δομοκός - Θεσσαλονίκη			
ΜΗΧΑΝΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟ	KW
HSIE007	4/1/2013	52	2046
HSIE007	4/1/2013	60	1706
HSIE007	4/2/2013	58	1737
HSIE007	4/3/2013	50	2375
HSIE007	4/4/2013	50	1789
HSIE007	4/15/2013	59	2246
HSIE007	4/16/2013	54	1831
HSIE007	4/21/2013	58	1878
HSIE007	4/22/2013	52	1747

HSIE007	4/22/2013	61	2387
HSIE007	4/23/2013	51	2383
HSIE007	4/24/2013	53	2125
HSIE007	4/24/2013	59	2370
HSIE008	4/2/2013	57	2279
HSIE008	4/5/2013	53	2305
HSIE008	4/6/2013	51	2126
HSIE010	4/6/2013	57	3258
HSIE010	4/7/2013	55	2916
HSIE010	4/7/2013	61	2320
HSIE010	4/8/2013	51	2290
HSIE010	4/13/2013	51	3055
HSIE010	4/14/2012	51	2433
HSIE010	4/16/2013	53	2247
HSIE010	4/17/2013	57	2336
HSIE010	4/18/2013	53	2441
HSIE010	4/19/2013	57	2192
HSIE010	4/20/2013	55	2627
HSIE010	4/22/2013	57	2751
HSIE010	4/23/2013	55	2191
HSIE010	4/23/2013	61	2154
HSIE010	4/24/2013	51	2275
HSIE010	4/26/2013	53	2165
HSIE010	4/26/2013	59	2441
HSIE010	4/27/2013	57	2242
HSIE010	4/28/2013	57	2201
HSIE010	4/29/2013	55	2322
HSIE010	4/29/2013	51	2282
HSIE010	4/30/2013	53	2522
HSIE010	4/30/2013	50	2601
HSIE016	4/2/2013	53	2144
HSIE016	4/2/2013	59	2236
HSIE016	4/4/2013	51	2553

HSIE007	4/22/2013	60	1860
HSIE007	4/23/2013	58	1914
HSIE007	4/24/2013	50	1970
HSIE007	4/24/2013	56	1914
HSIE008	4/2/2013	54	1775
HSIE008	4/5/2013	50	2179
HSIE010	4/6/2013	54	1988
HSIE010	4/7/2013	52	2268
HSIE010	4/7/2013	60	1970
HSIE010	4/12/2013	52	2012
HSIE010	4/13/2013	58	1604
HSIE010	4/15/2013	58	1855
HSIE010	4/16/2013	50	1824
HSIE010	4/17/2013	54	1736
HSIE010	4/18/2013	50	1862
HSIE010	4/19/2013	54	1971
HSIE010	4/20/2013	58	1619
HSIE010	4/22/2013	54	1996
HSIE010	4/23/2013	52	2166
HSIE010	4/23/2013	60	1709
HSIE010	4/25/2013	58	1535
HSIE010	4/26/2013	50	2197
HSIE010	4/26/2013	56	1887
HSIE010	4/28/2013	54	1820
HSIE010	4/29/2013	52	1972
HSIE010	4/29/2013	60	1767
HSIE010	4/30/2013	50	2025
HSIE010	4/30/2013	56	2168
HSIE016	4/2/2013	50	2039
HSIE016	4/2/2013	56	1866

HSIE016	4/21/2013	57	2278
HSIE016	4/22/2013	55	2239
HSIE028	4/4/2013	55	2313
HSIE028	4/6/2013	53	2399
HSIE028	4/6/2013	59	2210
HSIE028	4/7/2013	57	2117
HSIE028	4/8/2013	55	2130
HSIE028	4/8/2013	61	2173
HSIE028	4/9/2013	51	2147
HSIE028	4/13/2013	53	2911
HSIE028	4/13/2013	59	2435
HSIE028	4/14/2013	57	2214
HSIE028	4/15/2013	55	2093
HSIE028	4/15/2013	51	2062
HSIE028	4/16/2013	51	2108
HSIE028	4/17/2013	51	2222
HSIE028	4/18/2013	51	2482
HSIE028	4/19/2013	53	2335
HSIE028	4/19/2013	59	2168
HSIE028	4/20/2013	57	2134
HSIE028	4/21/2013	55	2331
HSIE028	4/21/2013	61	2152
HSIE028	4/22/2013	53	2525
HSIE030	4/1/2013	57	2594
HSIE030	4/2/2013	55	2175
HSIE030	4/2/2013	51	2273
HSIE030	4/3/2013	51	2212
HSIE030	4/6/2013	61	2050
HSIE030	4/7/2013	51	2053
HSIE030	4/8/2013	53	2581
HSIE030	4/8/2013	59	2065
HSIE030	4/9/2013	57	2135

HSIE016	4/21/2013	54	2120
HSIE028	4/3/2013	52	2598
HSIE028	4/4/2013	52	1974
HSIE028	4/6/2013	50	1840
HSIE028	4/6/2013	56	1832
HSIE028	4/7/2013	54	2010
HSIE028	4/8/2013	52	1947
HSIE028	4/8/2013	60	2144
HSIE028	4/12/2013	56	2502
HSIE028	4/13/2013	50	2228
HSIE028	4/13/2013	56	2027
HSIE028	4/14/2013	54	1944
HSIE028	4/15/2013	52	1940
HSIE028	4/15/2013	60	1671
HSIE028	4/16/2013	56	1797
HSIE028	4/17/2013	56	1809
HSIE028	4/18/2013	52	2400
HSIE028	4/19/2013	50	2090
HSIE028	4/19/2013	56	2143
HSIE028	4/20/2013	54	1975
HSIE028	4/21/2013	52	2090
HSIE028	4/21/2013	60	1705
HSIE028	4/22/2013	50	1941
HSIE030	4/1/2013	54	1726
HSIE030	4/2/2013	52	2138
HSIE030	4/2/2013	60	1975
HSIE030	4/6/2013	52	2561
HSIE030	4/6/2013	60	1930
HSIE030	4/7/2013	58	2029
HSIE030	4/8/2013	50	2001
HSIE030	4/8/2013	56	1824
HSIE030	4/9/2013	54	1913

HSIE030	4/10/2013	55	2142
HSIE030	4/10/2013	61	2477
HSIE030	4/11/2013	51	2164
HSIE030	4/12/2013	51	2323
HSIE007	1/30/2013	59	2652
HSIE007	2/1/2013	53	2474
HSIE007	2/1/2013	59	2374
HSIE007	2/2/2013	57	2407
HSIE007	2/3/2013	57	2372
HSIE007	2/4/2013	55	2313
HSIE007	2/4/2013	61	2098
HSIE007	2/5/2013	51	2517
HSIE007	2/6/2013	59	2261
HSIE007	2/7/2013	57	2429
HSIE007	2/8/2013	61	2412
HSIE007	2/9/2013	51	2937
HSIE007	2/11/2013	53	2631
HSIE007	2/11/2013	59	2524
HSIE007	2/12/2013	55	2276
HSIE007	2/12/2013	61	2100
HSIE007	2/13/2013	53	2445
HSIE007	2/22/2013	55	2215
HSIE007	2/22/2013	61	2378
HSIE007	2/23/2013	51	2434
HSIE007	2/24/2013	53	2305
HSIE007	2/24/2013	59	2398
HSIE007	2/25/2013	57	2212
HSIE007	2/28/2013	53	2686
HSIE007	2/28/2013	59	2521
HSIE007	3/1/2013	57	2198
HSIE007	3/2/2013	55	2421
HSIE007	3/2/2013	51	2102
HSIE007	3/3/2013	51	2558

HSIE030	4/10/2013	52	2106
HSIE030	4/10/2013	60	2142
HSIE030	4/11/2013	56	1774
HSIE007	1/30/2013	56	2004
HSIE007	2/1/2013	50	2052
HSIE007	2/1/2013	56	2616
HSIE007	2/2/2013	54	1999
HSIE007	2/3/2013	54	1807
HSIE007	2/4/2013	52	2302
HSIE007	2/4/2013	60	2143
HSIE007	2/6/2013	50	1967
HSIE007	2/6/2013	56	2115
HSIE007	2/8/2013	52	2926
HSIE007	2/8/2013	60	2118
HSIE007	2/11/2013	50	2372
HSIE007	2/11/2013	56	2257
HSIE007	2/12/2013	52	2285
HSIE007	2/12/2013	60	2198
HSIE007	2/13/2013	50	2072
HSIE007	2/22/2013	52	2022
HSIE007	2/22/2013	60	1959
HSIE007	2/23/2013	58	1962
HSIE007	2/24/2013	50	1950
HSIE007	2/24/2013	56	2212
HSIE007	2/25/2013	54	2195
HSIE007	2/28/2013	50	1964
HSIE007	2/28/2013	56	1880
HSIE007	3/1/2013	54	1940
HSIE007	3/2/2013	52	2379
HSIE007	3/2/2013	60	2185
HSIE007	3/4/2013	50	2166

HSIE007	3/4/2013	59	2831
HSIE010	3/17/2013	59	2474
HSIE010	3/20/2013	51	2221
HSIE012	1/18/2013	53	2311
HSIE012	1/18/2013	59	2740
HSIE012	1/19/2013	53	2601
HSIE012	1/19/2013	59	2509
HSIE012	1/20/2013	57	3701
HSIE012	1/21/2013	55	2138
HSIE012	1/21/2013	61	2553
HSIE012	1/22/2013	51	2871
HSIE012	1/23/2013	53	2707
HSIE012	1/23/2013	59	2254
HSIE012	1/25/2013	55	2797
HSIE012	1/25/2013	51	2338
HSIE012	2/6/2013	61	2262
HSIE012	2/7/2013	53	2325
HSIE012	2/7/2013	59	2598
HSIE012	2/13/2013	59	2613
HSIE012	2/14/2013	57	3066
HSIE012	2/16/2013	55	2584
HSIE012	2/16/2013	61	2324
HSIE018	1/18/2013	55	2338
HSIE018	1/18/2013	51	2865
HSIE018	1/19/2013	51	3004
HSIE018	1/20/2013	53	2294
HSIE018	1/23/2013	55	3005
HSIE018	1/23/2013	61	2334
HSIE018	1/24/2013	51	2422
HSIE018	1/24/2013	61	2227
HSIE018	1/30/2013	53	2427

HSIE007	3/4/2013	56	1908
HSIE010	3/17/2013	56	1809
HSIE012	1/18/2013	50	2116
HSIE012	1/18/2013	56	2066
HSIE012	1/19/2013	50	1901
HSIE012	1/19/2013	56	1964
HSIE012	1/20/2013	54	2035
HSIE012	1/21/2013	52	2131
HSIE012	1/21/2013	60	2223
HSIE012	1/22/2013	58	1873
HSIE012	1/23/2013	50	1813
HSIE012	1/23/2013	56	1824
HSIE012	1/25/2013	52	2338
HSIE012	1/25/2013	60	2154
HSIE012	2/6/2013	60	2062
HSIE012	2/7/2013	50	2196
HSIE012	2/7/2013	56	2193
HSIE012	2/13/2013	56	1864
HSIE012	2/14/2013	54	2171
HSIE012	2/16/2013	52	2760
HSIE012	2/16/2013	60	2171
HSIE018	1/18/2013	52	2382
HSIE018	1/18/2013	60	2243
HSIE018	1/20/2013	50	2615
HSIE018	1/23/2013	52	2048
HSIE018	1/23/2013	60	1998
HSIE018	1/24/2013	52	2092
HSIE018	1/24/2013	60	2141
HSIE018	1/29/2013	58	1907
HSIE018	1/30/2013	50	2255



HSIE019	1/1/2013	55	2450
HSIE019	1/1/2013	61	2215
HSIE019	1/2/2013	51	2826
HSIE019	1/4/2013	55	2791
HSIE019	1/4/2013	61	2089
HSIE019	1/5/2013	51	2461
HSIE019	1/6/2013	53	2609
HSIE019	1/6/2013	59	3001
HSIE019	1/7/2013	57	2864
HSIE019	1/8/2013	55	2670
HSIE019	1/9/2013	53	2717
HSIE019	1/11/2013	57	2111
HSIE019	1/12/2013	55	2315
HSIE019	1/19/2013	55	2562
HSIE019	1/19/2013	61	2471
HSIE019	1/20/2013	51	2563
HSIE019	1/21/2013	53	2572
HSIE019	1/21/2013	59	2510
HSIE019	1/22/2013	57	2248
HSIE019	1/24/2013	57	2355
HSIE019	1/29/2013	53	2683
HSIE019	1/29/2013	57	2330
HSIE019	1/30/2013	57	2488
HSIE019	2/1/2013	55	2498
HSIE019	2/1/2013	61	2301
HSIE019	2/2/2013	51	2385
HSIE019	2/4/2013	53	2630
HSIE019	2/4/2013	59	2393
HSIE019	2/5/2013	57	2318
HSIE019	2/12/2013	53	2724
HSIE019	2/12/2013	59	2336
HSIE019	2/13/2013	51	2365

HSIE019	1/1/2013	52	2641
HSIE019	1/1/2013	60	2206
HSIE019	1/4/2013	52	2159
HSIE019	1/4/2013	60	2115
HSIE019	1/5/2013	58	1964
HSIE019	1/6/2013	50	2520
HSIE019	1/6/2013	56	2221
HSIE019	1/7/2013	54	2221
HSIE019	1/8/2013	58	1941
HSIE019	1/9/2013	55	2254
HSIE019	1/11/2013	54	1870
HSIE019	1/12/2013	52	2546
HSIE019	1/19/2013	52	2185
HSIE019	1/19/2013	60	2747
HSIE019	1/20/2013	58	2078
HSIE019	1/21/2013	50	2263
HSIE019	1/21/2013	56	1810
HSIE019	1/22/2013	54	1800
HSIE019	1/24/2013	54	1976
HSIE019	1/29/2013	50	1936
HSIE019	1/29/2013	56	1928
HSIE019	1/30/2013	54	2107
HSIE019	2/1/2013	52	1719
HSIE019	2/1/2013	60	2063
HSIE019	2/3/2013	58	1840
HSIE019	2/4/2013	50	1825
HSIE019	2/4/2013	56	1937
HSIE019	2/5/2013	54	2158
HSIE019	2/11/2013	58	1814
HSIE019	2/12/2013	50	1862
HSIE019	2/12/2013	58	1724
HSIE019	2/13/2013	58	2032

HSIE019	2/14/2013	51	2642
HSIE019	2/14/2013	61	2364
HSIE019	2/15/2013	51	2427
HSIE019	2/17/2013	53	2501
HSIE019	2/17/2013	59	2440
HSIE019	2/18/2013	55	2634
HSIE019	2/18/2013	61	2382
HSIE019	2/19/2013	51	2415
HSIE020	2/5/2013	55	2474
HSIE020	2/5/2013	61	2308
HSIE020	2/6/2013	51	2393
HSIE020	2/16/2013	59	2215
HSIE020	2/17/2013	57	2493
HSIE020	2/18/2013	57	2197
HSIE020	2/19/2013	55	2515
HSIE020	2/19/2013	61	2765
HSIE020	2/21/2013	53	2462
HSIE020	2/21/2013	59	2419
HSIE020	2/22/2013	57	2685
HSIE020	2/23/2013	55	2224
HSIE020	2/23/2013	61	2236
HSIE020	3/24/2013	51	2542
HSIE020	2/26/2013	57	2361
HSIE020	2/27/2013	57	2466
HSIE020	2/28/2013	55	2428
HSIE020	3/5/2013	57	2845
HSIE020	3/6/2013	55	2432
HSIE020	3/6/2013	61	2672
HSIE020	3/7/2013	51	2620
HSIE020	3/8/2013	53	2331
HSIE020	3/8/2013	59	2349
HSIE020	3/9/2013	57	2160

HSIE019	2/14/2013	52	2502
HSIE019	2/14/2013	60	2162
HSIE019	2/16/2013	58	2211
HSIE019	2/17/2013	50	2022
HSIE019	2/17/2013	56	2398
HSIE019	2/18/2013	52	2294
HSIE019	2/18/2013	60	2191
HSIE019	2/19/2013	58	2258
HSIE020	2/5/2013	52	2209
HSIE020	2/5/2013	60	2458
HSIE020	2/6/2013	58	2021
HSIE020	2/17/2013	54	2029
HSIE020	2/18/2013	54	2289
HSIE020	2/19/2013	52	2346
HSIE020	2/19/2013	60	2130
HSIE020	2/21/2013	50	2229
HSIE020	2/21/2013	56	2375
HSIE020	2/22/2013	54	2042
HSIE020	2/23/2013	52	2241
HSIE020	2/23/2013	60	1920
HSIE020	2/26/2013	54	1679
HSIE020	2/27/2013	54	2245
HSIE020	2/28/2013	52	2399
HSIE020	3/5/2013	54	1923
HSIE020	3/6/2013	52	2141
HSIE020	3/6/2013	60	2289
HSIE020	3/7/2013	58	1973
HSIE020	3/8/2013	50	1969
HSIE020	3/8/2013	56	2167
HSIE020	3/9/2013	54	1685

HSIE020	3/10/2013	55	2261
HSIE020	3/10/2013	51	2521
HSIE020	3/11/2013	51	2764
HSIE022	1/1/2013	51	2276
HSIE022	1/3/2013	53	2498
HSIE022	1/4/2013	57	3271
HSIE022	1/5/2013	55	2730
HSIE022	1/5/2013	61	2759
HSIE022	1/6/2013	51	2732
HSIE022	1/7/2013	53	2559
HSIE022	1/7/2013	59	2470
HSIE022	1/8/2013	57	2449
HSIE022	1/12/2013	61	2322
HSIE022	1/13/2013	51	3004
HSIE022	1/13/2013	61	2194
HSIE022	1/14/2013	51	2793
HSIE022	1/14/2013	61	2631
HSIE022	1/15/2013	51	2653
HSIE022	1/15/2013	61	2339
HSIE022	1/16/2013	51	2741
HSIE022	1/17/2013	55	2622
HSIE022	1/17/2013	61	2255
HSIE022	1/18/2013	51	2359
HSIE022	2/1/2013	57	2490
HSIE022	2/2/2013	55	2586
HSIE022	2/2/2013	61	2370
HSIE022	2/3/2013	51	2524
HSIE022	2/5/2013	53	2895
HSIE022	2/5/2013	59	2681
HSIE022	2/6/2013	57	2299
HSIE022	2/7/2013	55	2508
HSIE022	2/7/2013	61	2252

HSIE020	3/10/2013	52	2297
HSIE020	3/10/2013	60	2093
HSIE020	3/16/2013	50	2201
HSIE022	1/2/2013	58	2249
HSIE022	1/3/2013	56	2051
HSIE022	1/4/2013	54	2228
HSIE022	1/5/2013	52	2808
HSIE022	1/5/2013	60	2280
HSIE022	1/6/2013	58	2429
HSIE022	1/7/2013	50	2266
HSIE022	1/7/2013	56	2542
HSIE022	1/8/2013	54	2414
HSIE022	1/12/2013	60	1990
HSIE022	1/13/2013	52	2303
HSIE022	1/13/2013	60	2077
HSIE022	1/14/2013	52	2675
HSIE022	1/14/2013	60	2423
HSIE022	1/15/2013	52	2337
HSIE022	1/15/2013	60	2490
HSIE022	1/17/2013	52	2100
HSIE022	1/17/2013	60	2199
HSIE022	1/18/2013	58	2381
HSIE022	2/1/2013	54	2086
HSIE022	2/2/2013	52	2307
HSIE022	2/2/2013	60	2105
HSIE022	2/4/2013	58	2049
HSIE022	2/5/2013	50	2217
HSIE022	2/5/2013	56	1917
HSIE022	2/6/2013	54	1931
HSIE022	2/7/2013	52	2594
HSIE022	2/7/2013	60	1990

HSIE022	2/8/2013	51	2861
HSIE022	2/9/2013	53	2773
HSIE022	2/9/2013	59	2292
HSIE022	2/10/2013	57	2505
HSIE022	2/11/2013	55	2444
HSIE022	2/11/2013	61	2469
HSIE022	2/12/2013	51	2699
HSIE022	2/14/2013	55	2463
HSIE022	2/16/2013	53	2353
HSIE022	2/18/2013	53	2713
HSIE022	2/18/2013	59	2667
HSIE022	2/19/2013	57	2312
HSIE022	2/21/2013	55	2516
HSIE022	2/21/2013	61	2642
HSIE024	1/16/2013	55	2141
HSIE024	1/16/2013	61	2093
HSIE024	1/17/2013	51	2400
HSIE024	1/17/2013	59	2596
HSIE024	1/18/2013	57	3173
HSIE024	1/19/2013	57	2340
HSIE024	1/20/2013	55	3785
HSIE024	1/20/2013	61	2234
HSIE024	1/21/2013	51	2816
HSIE024	1/22/2013	53	2271
HSIE024	1/22/2013	59	2518
HSIE024	1/23/2013	57	2318
HSIE024	2/25/2013	53	2812
HSIE024	2/25/2013	59	2753
HSIE024	2/28/2013	61	2391
HSIE024	3/1/2013	56	2412
HSIE024	3/1/2013	59	2296
HSIE024	3/2/2013	57	2419

HSIE022	2/8/2013	58	2024
HSIE022	2/9/2013	50	1988
HSIE022	2/9/2013	56	1906
HSIE022	2/10/2013	54	2108
HSIE022	2/11/2013	52	2427
HSIE022	2/11/2013	60	2195
HSIE022	2/13/2013	54	2184
HSIE022	2/15/2013	58	2218
HSIE022	2/17/2013	58	1911
HSIE022	2/18/2013	50	2437
HSIE022	2/18/2013	56	2104
HSIE022	2/19/2013	54	2206
HSIE022	2/21/2013	52	2178
HSIE022	2/21/2013	60	2397
HSIE022	2/26/2013	56	2184
HSIE024	1/16/2013	52	2052
HSIE024	1/16/2013	60	1854
HSIE024	1/17/2013	50	2577
HSIE024	1/17/2013	56	2157
HSIE024	1/18/2013	54	2110
HSIE024	1/19/2013	54	2175
HSIE024	1/20/2013	52	2363
HSIE024	1/20/2013	60	2839
HSIE024	1/21/2013	58	1659
HSIE024	1/22/2013	50	2204
HSIE024	1/22/2013	56	1708
HSIE024	1/23/2013	54	1842
HSIE024	2/25/2013	50	2277
HSIE024	2/25/2013	56	1107
HSIE024	2/28/2013	60	2001
HSIE024	3/1/2013	50	2002
HSIE024	3/1/2013	56	1837
HSIE024	3/2/2013	54	2096

HSIE024	3/3/2013	55	2403
HSIE024	3/3/2013	61	2101
HSIE024	3/4/2013	51	3210
HSIE024	3/5/2013	55	2402
HSIE024	3/5/2013	51	2629
HSIE024	3/6/2013	51	2707
HSIE024	3/7/2013	53	2624
HSIE024	3/7/2013	59	3075
HSIE024	3/8/2013	57	2426
HSIE028	1/9/2013	55	2685
HSIE028	1/9/2013	61	2285
HSIE028	1/10/2013	59	2336
HSIE028	2/23/2013	53	2432
HSIE028	2/23/2013	59	2149
HSIE028	3/7/2013	55	2349
HSIE028	3/7/2013	61	2230
HSIE028	3/8/2013	51	2659
HSIE028	3/9/2013	53	2796
HSIE028	3/9/2013	59	2006
HSIE028	3/10/2013	57	2612
HSIE028	3/11/2013	55	2088
HSIE028	3/11/2013	51	2369
HSIE028	3/12/2013	51	2334
HSIE028	3/14/2013	61	2304
HSIE028	3/15/2013	51	2118
HSIE028	3/17/2013	51	2168
HSIE028	3/19/2013	53	2529
HSIE028	3/22/2013	53	2401
HSIE028	3/22/2013	59	2990
HSIE028	3/26/2013	53	2213
HSIE028	3/26/2013	59	2227

HSIE024	3/3/2013	52	2661
HSIE024	3/3/2013	60	1945
HSIE024	3/5/2013	52	2679
HSIE024	3/5/2013	30	2408
HSIE024	3/6/2013	58	1798
HSIE024	3/7/2013	50	2337
HSIE024	3/7/2013	56	2109
HSIE024	3/8/2013	54	2287
HSIE028	1/9/2013	52	2347
HSIE028	1/9/2013	60	1833
HSIE028	1/10/2013	56	2140
HSIE028	2/23/2013	50	1870
HSIE028	2/23/2013	56	1837
HSIE028	3/7/2013	52	2589
HSIE028	3/7/2013	60	1966
HSIE028	3/8/2013	58	1919
HSIE028	3/9/2013	50	1837
HSIE028	3/9/2013	56	1946
HSIE028	3/10/2013	54	1909
HSIE028	3/11/2013	52	2283
HSIE028	3/11/2013	60	1949
HSIE028	3/12/2013	58	1918
HSIE028	3/14/2013	60	1720
HSIE028	3/16/2013	58	1863
HSIE028	3/18/2013	58	2060
HSIE028	3/19/2013	50	1777
HSIE028	3/21/2013	58	1621
HSIE028	3/22/2013	50	2357
HSIE028	3/22/2013	56	2092
HSIE028	3/26/2013	50	1862
HSIE028	3/26/2013	56	1757

HSIE028	3/27/2013	57	2322
HSIE029	1/2/2013	53	2511
HSIE029	1/2/2013	59	3073
HSIE029	1/3/2013	57	2282
HSIE029	1/20/2013	59	2713
HSIE029	1/21/2013	57	2212
HSIE029	1/22/2013	55	2759
HSIE029	1/22/2013	61	2495
HSIE029	1/23/2013	51	2478
HSIE029	1/24/2013	53	2739
HSIE029	2/9/2013	55	2233
HSIE029	2/9/2013	61	2783
HSIE029	2/10/2013	53	2429
HSIE029	2/11/2013	57	2499
HSIE029	2/19/2013	53	2463
HSIE029	2/19/2013	59	2705
HSIE029	2/21/2013	57	2897
HSIE029	2/22/2013	51	2548
HSIE029	2/22/2013	53	2303
HSIE029	2/23/2013	57	2268
HSIE029	2/24/2013	57	2635
HSIE029	2/25/2013	55	2385
HSIE029	2/25/2013	61	2332
HSIE029	2/26/2013	51	2671
HSIE030	1/6/2013	52	2453
HSIE030	1/6/2013	60	2361
HSIE030	1/7/2013	58	2287
HSIE030	1/8/2013	53	2499
HSIE030	1/8/2013	59	2631
HSIE030	1/9/2013	57	2683
HSIE030	1/10/2013	55	2270
HSIE030	1/10/2013	61	2321

HSIE028	3/27/2013	54	2031
HSIE029	1/2/2013	56	2539
HSIE029	1/20/2013	56	2098
HSIE029	1/21/2013	54	1784
HSIE029	1/22/2013	52	2441
HSIE029	1/22/2013	60	2161
HSIE029	1/23/2013	58	1880
HSIE029	1/24/2013	58	1889
HSIE029	2/9/2013	52	2588
HSIE029	2/9/2013	60	2175
HSIE029	2/10/2013	50	2028
HSIE029	2/11/2013	54	1811
HSIE029	2/19/2013	50	2214
HSIE029	2/19/2013	56	1903
HSIE029	2/21/2013	58	1953
HSIE029	2/22/2013	50	2206
HSIE029	2/22/2013	56	1974
HSIE029	2/23/2013	54	2026
HSIE029	2/24/2013	54	2124
HSIE029	2/25/2013	52	2565
HSIE029	2/25/2013	60	2247
HSIE029	2/26/2013	58	1797
HSIE030	1/6/2013	51	2972
HSIE030	1/7/2013	51	2840
HSIE030	1/8/2013	50	2129
HSIE030	1/8/2013	56	2084
HSIE030	1/9/2013	54	2387
HSIE030	1/10/2013	52	1921
HSIE030	1/10/2013	60	1874

HSIE030	1/11/2013	53	2515
HSIE030	1/11/2013	59	2448
HSIE030	1/12/2013	57	2357
HSIE030	1/13/2013	55	2376
HSIE030	1/14/2013	53	2357
HSIE030	1/14/2013	59	2395
HSIE030	1/15/2013	57	2260
HSIE030	1/30/2013	51	2432
HSIE030	2/13/2013	57	2612
HSIE030	2/14/2013	59	2384
HSIE030	2/15/2013	57	2080
HSIE030	2/27/2013	53	2332
HSIE030	2/27/2013	59	2683
HSIE030	2/28/2013	57	2263
HSIE030	3/1/2013	55	2295
HSIE030	3/1/2013	61	2323
HSIE030	3/2/2013	51	2701
HSIE030	3/5/2013	53	2517
HSIE030	3/5/2013	59	2392
HSIE030	3/12/2013	55	2668
HSIE030	3/12/2013	61	2286
HSIE030	3/14/2013	57	2288
HSIE030	3/15/2013	55	2476
HSIE030	3/16/2013	53	2702

HSIE030	1/11/2013	50	1876
HSIE030	1/11/2013	56	2122
HSIE030	1/12/2013	54	2187
HSIE030	1/13/2013	58	2322
HSIE030	1/14/2013	50	2042
HSIE030	1/14/2013	56	2126
HSIE030	1/15/2013	54	1979
HSIE030	2/2/2013	58	1867
HSIE030	2/12/2013	54	2324
HSIE030	2/14/2013	56	2278
HSIE030	2/15/2013	54	2175
HSIE030	2/27/2013	50	2448
HSIE030	2/27/2013	56	2128
HSIE030	2/28/2013	54	2257
HSIE030	3/1/2013	52	2151
HSIE030	3/1/2013	60	1915
HSIE030	3/5/2013	50	2084
HSIE030	3/5/2013	56	2146
HSIE030	3/12/2013	52	2405
HSIE030	3/12/2013	60	1899
HSIE030	3/14/2013	54	2024
HSIE030	3/15/2013	58	2403

B Πακέτο δεδομένων							
--------------------	--	--	--	--	--	--	--

HSIE008	7/2/2013	55	2466
HSIE008	7/2/2013	61	2284
HSIE008	7/3/2013	51	2354
HSIE008	7/5/2013	53	2455
HSIE008	7/5/2013	59	2440
HSIE008	7/6/2013	57	2248

HSIE008	7/2/2013	52	2344
HSIE008	7/2/2013	60	1960
HSIE008	7/4/2013	58	1883
HSIE008	7/5/2013	50	2242
HSIE008	7/5/2013	56	2252

HSIE008	7/7/2013	61	2449
HSIE008	7/8/2013	51	2279
HSIE007	7/26/2013	55	2566
HSIE007	7/26/2013	61	2309
HSIE007	7/27/2013	51	2078
HSIE007	7/28/2013	53	2208
HSIE007	7/28/2013	59	2432
HSIE007	7/29/2013	57	2762
HSIE007	7/30/2013	57	2946
HSIE007	7/31/2013	57	2346
HSIE007	8/2/2013	61	2324
HSIE007	8/3/2013	51	2275
HSIE007	8/6/2013	53	2220
HSIE007	8/6/2013	59	2938
HSIE007	8/7/2013	57	2466
HSIE007	8/8/2013	55	2234
HSIE007	8/8/2013	61	2388
HSIE007	8/10/2013	55	2176
HSIE007	8/10/2013	61	2410
HSIE007	8/11/2013	53	2226
HSIE007	8/11/2013	59	2579
HSIE007	8/16/2013	59	2234
HSIE007	8/17/2013	55	2305
HSIE007	8/17/2013	61	2496
HSIE007	8/18/2013	51	2255
HSIE007	8/22/2013	55	2554
HSIE007	8/22/2013	61	3316
HSIE007	8/23/2013	51	1865
HSIE007	8/25/2013	53	2243
HSIE007	8/25/2013	59	2720
HSIE007	8/26/2013	55	2297
HSIE007	8/26/2013	61	2461

HSIE008	7/7/2013	60	2083
HSIE008	7/10/2013	54	1968
HSIE007	7/26/2013	52	1906
HSIE007	7/26/2013	60	2041
HSIE007	7/27/2013	58	1750
HSIE007	7/28/2013	50	2003
HSIE007	7/28/2013	56	2285
HSIE007	7/29/2013	54	2028
HSIE007	7/30/2013	54	1897
HSIE007	7/31/2013	54	2356
HSIE007	8/2/2013	60	1900
HSIE007	8/4/2013	58	2455
HSIE007	8/5/2013	58	1893
HSIE007	8/6/2013	50	2086
HSIE007	8/6/2013	56	2066
HSIE007	8/7/2013	54	2074
HSIE007	8/8/2013	52	2554
HSIE007	8/8/2013	60	5267
HSIE007	8/10/2013	52	2324
HSIE007	8/10/2013	60	2077
HSIE007	8/11/2013	50	2028
HSIE007	8/11/2013	56	2058
HSIE007	8/16/2013	56	1843
HSIE007	8/17/2013	60	2151
HSIE007	8/21/2013	56	2065
HSIE007	8/22/2013	52	2061
HSIE007	8/22/2013	60	2400
HSIE007	8/24/2013	58	1923
HSIE007	8/25/2013	50	2174
HSIE007	8/25/2013	56	2293
HSIE007	8/26/2013	52	2191
HSIE007	8/26/2013	60	2626



HSIE007	8/27/2013	51	2223
HSIE007	8/28/2013	53	2330
HSIE010	7/7/2013	57	2401
HSIE010	7/23/2013	53	2240
HSIE010	7/23/2013	59	2416
HSIE010	7/24/2013	57	1182
HSIE010	7/25/2013	55	2573
HSIE010	7/25/2013	61	2466
HSIE010	7/26/2013	51	2588
HSIE010	7/27/2013	53	2644
HSIE010	7/27/2013	59	2533
HSIE010	7/28/2013	57	2416
HSIE010	7/29/2013	55	2326
HSIE010	7/29/2013	61	2274
HSIE010	8/1/2013	57	2407
HSIE010	8/2/2013	55	2320
HSIE012	8/1/2013	53	2403
HSIE012	8/1/2013	59	2546
HSIE012	8/2/2013	57	2341
HSIE012	8/7/2013	53	2239
HSIE012	8/10/2013	51	2337
HSIE012	8/11/2013	51	2215
HSIE012	8/15/2013	59	2681
HSIE012	8/16/2013	55	2285
HSIE012	8/16/2013	61	2246
HSIE012	8/17/2013	51	2741
HSIE012	8/18/2013	57	3017
HSIE012	8/19/2013	55	2919
HSIE019	8/23/2013	61	2476

HSIE007	8/27/2013	58	1989
HSIE007	8/28/2013	50	1961
HSIE010	7/7/2013	54	2156
HSIE010	7/23/2013	50	1843
HSIE010	7/23/2013	58	2230
HSIE010	7/24/2013	54	2118
HSIE010	7/25/2013	52	2330
HSIE010	7/25/2013	60	2001
HSIE010	7/26/2013	58	2316
HSIE010	7/27/2013	50	2428
HSIE010	7/27/2013	56	2402
HSIE010	7/28/2013	54	2462
HSIE010	7/29/2013	52	3007
HSIE010	7/29/2013	60	2572
HSIE010	8/1/2013	54	1984
HSIE010	8/2/2013	52	2151
HSIE012	8/1/2013	50	2156
HSIE012	8/1/2013	56	2326
HSIE012	8/2/2013	54	2571
HSIE012	8/6/2013	58	1955
HSIE012	8/9/2013	58	2071
HSIE012	8/10/2013	58	1825
HSIE012	8/15/2013	56	2187
HSIE012	8/16/2013	60	1907
HSIE012	8/17/2013	52	2779
HSIE012	8/18/2013	54	2179
HSIE012	8/19/2013	54	2156
HSIE019	8/21/2013	58	1719
HSIE019	8/23/2013	52	2426
HSIE019	8/23/2013	60	2200

HSIE019	8/24/2013	51	2573
HSIE019	8/26/2013	53	2616
HSIE019	8/26/2013	59	3379
HSIE019	8/27/2013	55	2550
HSIE019	8/31/2013	57	2233
HSIE019	9/1/2013	57	2436
HSIE019	9/2/2013	55	2337
HSIE019	9/2/2013	61	3048
HSIE019	9/3/2013	51	2392
HSIE019	9/4/2013	53	2420
HSIE019	9/4/2013	59	2962
HSIE019	9/5/2013	51	2240
HSIE019	9/9/2013	51	2488
HSIE021	8/20/2013	53	2306
HSIE021	8/20/2013	59	2385
HSIE021	8/21/2013	55	2274
HSIE021	8/21/2013	61	3360
HSIE021	8/22/2013	51	2250
HSIE021	8/23/2013	53	2592
HSIE021	8/29/2013	57	2294
HSIE021	8/30/2013	57	2865
HSIE021	9/5/2013	55	2110
HSIE021	9/5/2013	61	2581
HSIE021	9/6/2013	51	1955
HSIE021	9/7/2013	51	2459
HSIE021	9/8/2013	51	2384
HSIE021	9/11/2013	53	2254
HSIE021	9/11/2013	59	2471
HSIE021	9/16/2013	61	2753
HSIE021	9/17/2013	51	1945
HSIE022	7/12/2013	55	2831
HSIE022	7/13/2013	51	2691

HSIE019	8/25/2013	58	2126
HSIE019	8/26/2013	50	2162
HSIE019	8/26/2013	56	2159
HSIE019	8/27/2013	52	2409
HSIE019	8/31/2013	54	1967
HSIE019	9/1/2013	54	2520
HSIE019	9/2/2013	52	2583
HSIE019	9/3/2013	58	2085
HSIE019	9/4/2013	50	2358
HSIE019	9/4/2013	56	2219
HSIE019	9/8/2013	58	1987
HSIE019	9/9/2013	58	1893
HSIE021	8/20/2013	50	2007
HSIE021	8/20/2013	56	2329
HSIE021	8/21/2013	52	2359
HSIE021	8/21/2013	60	1997
HSIE021	8/22/2013	58	2200
HSIE021	8/23/2013	50	2177
HSIE021	8/29/2013	54	2213
HSIE021	8/30/2013	54	2055
HSIE021	9/5/2013	52	2045
HSIE021	9/5/2013	60	2205
HSIE021	9/6/2013	58	2090
HSIE021	9/7/2013	58	1973
HSIE021	9/11/2013	50	2151
HSIE021	9/11/2013	56	2326
HSIE021	9/16/2013	52	2131
HSIE021	9/16/2013	60	2177
HSIE021	9/17/2013	58	1879
HSIE022	7/12/2013	58	2518
HSIE022	7/17/2013	52	2283

HSIE022	7/17/2013	61	2357
HSIE022	7/18/2013	51	2510
HSIE022	7/20/2013	53	2559
HSIE022	7/20/2013	59	2550
HSIE022	7/21/2013	57	2333
HSIE022	7/22/2013	53	2557
HSIE022	7/22/2013	59	2544
HSIE022	7/23/2013	57	2555
HSIE022	7/25/2013	59	2784
HSIE022	7/26/2013	57	2565
HSIE022	7/27/2013	55	2383
HSIE022	7/27/2013	61	3112
HSIE022	7/28/2013	51	2050
HSIE022	7/29/2013	53	2312
HSIE022	7/29/2013	59	2684
HSIE022	7/30/2013	55	2480
HSIE022	7/30/2013	61	2623
HSIE022	7/31/2013	51	2255
HSIE028	7/3/2013	55	3074
HSIE028	7/6/2013	61	2324
HSIE028	7/15/2013	61	2255
HSIE028	7/17/2013	51	2458
HSIE028	7/19/2013	53	2550
HSIE028	7/19/2013	59	2370
HSIE007	9/14/2013	57	2481
HSIE007	9/14/2013	61	2572
HSIE007	9/15/2013	51	2636
HSIE008	9/4/2013	57	1735
HSIE008	9/9/2013	51	2249
HSIE008	9/9/2013	61	1390
HSIE008	9/10/2013	51	2528
HSIE008	9/12/2013	61	2311
HSIE008	9/13/2013	51	2676

HSIE022	7/17/2013	60	1921
HSIE022	7/19/2013	58	2143
HSIE022	7/20/2013	50	2203
HSIE022	7/20/2013	56	2128
HSIE022	7/21/2013	58	2417
HSIE022	7/22/2013	50	2417
HSIE022	7/22/2013	56	1945
HSIE022	7/23/2013	54	2317
HSIE022	7/25/2013	56	2157
HSIE022	7/26/2013	54	2636
HSIE022	7/27/2013	52	2089
HSIE022	7/27/2013	60	2407
HSIE022	7/28/2013	58	2619
HSIE022	7/29/2013	50	2424
HSIE022	7/29/2013	56	2101
HSIE022	7/30/2013	52	2645
HSIE022	7/30/2013	60	2509
HSIE028	7/2/2013	54	2064
HSIE028	7/6/2013	60	1851
HSIE028	7/15/2013	60	2275
HSIE028	7/18/2013	58	1805
HSIE028	7/19/2013	50	1799
HSIE028	7/19/2013	56	2214
HSIE007	9/14/2013	54	2345
HSIE007	9/14/2013	60	1916
HSIE007	9/15/2013	58	2085
HSIE008	9/4/2013	54	2507
HSIE008	9/9/2013	52	2418
HSIE008	9/9/2013	60	1854
HSIE008	9/12/2013	52	2130
HSIE008	9/12/2013	60	1872
HSIE008	9/14/2013	56	2758

HSIE010	9/1/2013	59	2889
HSIE010	9/3/2013	57	2298
HSIE010	9/4/2013	55	2594
HSIE010	9/4/2013	61	2377
HSIE010	9/5/2013	57	2882
HSIE010	9/8/2013	59	2563
HSIE010	9/10/2013	57	2325
HSIE010	9/11/2013	55	2459
HSIE010	9/11/2013	61	3422
HSIE010	9/12/2013	51	2182
HSIE016	9/16/2013	55	2461
HSIE016	9/17/2013	53	2283
HSIE016	9/17/2013	59	2644
HSIE016	9/19/2013	55	2654
HSIE016	9/19/2013	61	2321
HSIE016	9/20/2013	51	1975
HSIE016	9/20/2013	61	2113
HSIE016	9/21/2013	51	2354
HSIE016	9/22/2013	53	2482
HSIE016	9/22/2013	59	2489
HSIE016	9/23/2013	55	2386
HSIE028	9/2/2013	61	2311
HSIE028	9/6/2013	53	2096
HSIE028	9/6/2013	59	2543
HSIE028	9/11/2013	57	2459

HSIE010	9/1/2013	50	2235
HSIE010	9/1/2013	56	2075
HSIE010	9/3/2013	54	2219
HSIE010	9/4/2013	52	2200
HSIE010	9/4/2013	60	2059
HSIE010	9/5/2013	54	1858
HSIE010	9/8/2013	56	2197
HSIE010	9/10/2013	54	2430
HSIE010	9/11/2013	52	2617
HSIE010	9/11/2013	60	1929
HSIE010	9/13/2013	52	1754
HSIE016	9/16/2013	58	1763
HSIE016	9/17/2013	50	2100
HSIE016	9/17/2013	56	2342
HSIE016	9/19/2013	52	2040
HSIE016	9/19/2013	60	2355
HSIE016	9/20/2013	52	2530
HSIE016	9/20/2013	60	1923
HSIE016	9/21/2013	58	2253
HSIE016	9/22/2013	50	2029
HSIE016	9/22/2013	56	1905
HSIE016	9/23/2013	52	2387
HSIE028	9/6/2013	50	2934
HSIE028	9/6/2013	56	1892
HSIE028	9/11/2013	54	2443

### Γ Πακέτο δεδομένων

HSIE007	10/2/2013	57	2249
HSIE007	10/4/2013	55	2102
HSIE007	10/4/2013	51	2254
HSIE007	10/5/2013	51	2727
HSIE007	10/6/2013	53	2344

HSIE007	10/2/2013	54	1950
HSIE007	10/4/2013	52	2273
HSIE007	10/4/2013	60	1980
HSIE007	10/5/2013	58	1902
HSIE007	10/6/2013	50	1971

HSIE007	10/6/2013	59	2385
HSIE007	10/7/2013	53	2214
HSIE007	10/8/2013	53	2135
HSIE007	10/8/2013	59	2545
HSIE007	10/9/2013	55	2059
HSIE007	10/9/2013	61	2431
HSIE007	10/10/2013	51	2176
HSIE007	10/11/2013	51	2471
HSIE007	10/12/2013	61	2315
HSIE007	10/13/2013	51	2193
HSIE007	10/14/2013	59	2208
HSIE007	10/15/2013	55	2274
HSIE007	10/15/2013	61	2226
HSIE007	10/16/2013	51	2186
HSIE007	10/19/2013	55	2229
HSIE007	10/19/2013	61	2101
HSIE007	10/23/2013	51	2402
HSIE007	10/23/2013	55	1876
HSIE008	10/12/2013	53	2682
HSIE008	10/12/2013	59	2254
HSIE008	10/16/2013	53	2378
HSIE008	10/16/2013	59	2406
HSIE008	10/17/2013	55	2401
HSIE008	10/17/2013	61	2398
HSIE008	10/18/2013	51	2115
HSIE008	10/20/2013	61	2280
HSIE008	10/21/2013	51	2743
HSIE008	10/30/2013	59	2608
HSIE008	10/31/2013	55	2242
HSIE008	10/31/2013	61	2185
HSIE008	11/1/2013	51	2265
HSIE008	11/7/2013	53	2348

HSIE007	10/6/2013	56	2114
HSIE007	10/7/2013	58	1640
HSIE007	10/8/2013	50	2100
HSIE007	10/8/2013	56	2461
HSIE007	10/9/2013	52	1912
HSIE007	10/9/2013	60	2147
HSIE007	10/10/2013	58	1869
HSIE007	10/12/2013	52	2070
HSIE007	10/13/2013	58	2553
HSIE007	10/14/2013	56	2107
HSIE007	10/15/2013	52	2011
HSIE007	10/18/2013	56	2555
HSIE007	10/19/2013	52	2227
HSIE007	10/19/2013	60	1881
HSIE007	10/23/2013	54	1773
HSIE008	10/12/2013	50	2164
HSIE008	10/12/2013	56	2345
HSIE008	10/13/2013	50	2083
HSIE008	10/16/2013	50	1804
HSIE008	10/16/2013	56	2152
HSIE008	10/17/2013	52	2178
HSIE008	10/17/2013	60	2045
HSIE008	10/20/2013	52	2009
HSIE008	10/20/2013	60	2107
HSIE008	10/30/2013	56	2237
HSIE008	10/31/2013	52	2107
HSIE008	11/5/2013	58	1969
HSIE008	11/7/2013	50	2090

HSIE008	11/7/2013	59	2734
HSIE008	11/8/2013	55	2399
HSIE008	11/8/2013	61	2392
HSIE008	11/9/2013	51	2430
HSIE008	11/10/2013	61	2932
HSIE008	11/11/2013	51	2889
HSIE008	11/12/2013	57	2523
HSIE008	11/12/2013	57	2736
HSIE010	10/27/2013	53	2378
HSIE010	10/27/2013	59	2300
HSIE010	10/28/2013	55	2660
HSIE010	10/28/2013	61	2496
HSIE010	10/29/2013	51	2703
HSIE010	11/10/2013	55	2625
HSIE010	11/11/2013	53	2601
HSIE010	11/11/2013	59	2502
HSIE010	11/12/2013	55	2303
HSIE010	11/13/2013	53	2378
HSIE010	11/13/2013	59	2753
HSIE010	11/14/2013	55	2433
HSIE010	11/15/2013	51	2281
HSIE010	11/16/2013	53	2406
HSIE010	11/16/2013	59	2708
HSIE010	11/17/2013	55	2651
HSIE010	11/18/2013	53	2640
HSIE010	11/18/2013	59	2290
HSIE010	11/19/2013	55	2425
HSIE010	11/19/2013	61	2131
HSIE010	11/20/2013	51	2148
HSIE018	10/14/2013	53	2449
HSIE018	10/15/2013	53	2548
HSIE018	10/15/2013	59	2251
HSIE018	10/16/2013	55	2584

HSIE008	11/7/2013	56	2482
HSIE008	11/8/2013	52	2066
HSIE008	11/8/2013	60	1919
HSIE008	11/10/2013	52	2427
HSIE008	11/10/2013	60	1691
HSIE008	11/12/2013	54	1950
HSIE008	11/12/2013	54	1978
HSIE010	10/27/2013	50	2088
HSIE010	10/27/2013	56	2125
HSIE010	10/28/2013	52	2245
HSIE010	10/28/2013	60	2224
HSIE010	11/10/2013	58	2000
HSIE010	11/11/2013	50	2104
HSIE010	11/11/2013	56	2134
HSIE010	11/12/2013	58	2347
HSIE010	11/13/2013	50	2274
HSIE010	11/13/2013	56	2194
HSIE010	11/14/2013	60	1989
HSIE010	11/15/2013	58	2342
HSIE010	11/16/2013	50	2443
HSIE010	11/16/2013	56	2074
HSIE010	11/17/2013	58	2146
HSIE010	11/18/2013	50	2157
HSIE010	11/18/2013	56	2372
HSIE010	11/19/2013	52	2326
HSIE010	11/19/2013	60	1929
HSIE010	11/20/2013	52	2005
HSIE018	10/14/2013	58	1998
HSIE018	10/15/2013	50	1905
HSIE018	10/15/2013	56	2133
HSIE018	10/16/2013	52	1785

HSIE018	10/16/2013	61	2283
HSIE018	10/17/2013	51	2140
HSIE021	10/30/2013	53	2605
HSIE021	11/3/2013	59	2327
HSIE021	11/4/2013	55	2194
HSIE021	11/4/2013	61	2581
HSIE021	11/5/2013	51	2455
HSIE021	11/9/2013	58	1766
HSIE021	11/10/2013	53	2676
HSIE021	11/10/2013	59	3287
HSIE021	11/11/2013	55	2242
HSIE021	11/11/2013	61	2663
HSIE021	11/12/2013	51	2560
HSIE021	11/12/2013	59	2608
HSIE021	11/13/2013	55	2331
HSIE021	11/13/2013	61	2140
HSIE021	11/14/2013	51	2199
HSIE021	11/15/2013	57	3279
HSIE021	11/16/2013	57	2423
HSIE021	11/17/2013	57	2786
HSIE022	10/1/2013	59	2943
HSIE022	10/2/2013	55	2704
HSIE022	10/2/2013	61	2499
HSIE022	10/3/2013	51	2098
HSIE022	10/4/2013	53	2963
HSIE022	10/4/2013	59	2588
HSIE022	10/5/2013	55	2369
HSIE022	10/5/2013	61	2330
HSIE022	10/6/2013	51	2943
HSIE022	10/11/2013	57	2595
HSIE028	11/1/2013	57	2230
HSIE028	11/3/2013	55	2217

HSIE018	10/16/2013	60	1977
HSIE018	10/18/2013	58	1778
HSIE021	10/30/2013	50	2298
HSIE021	11/3/2013	56	2517
HSIE021	11/4/2013	52	2524
HSIE021	11/4/2013	60	2903
HSIE021	11/10/2013	50	2358
HSIE021	11/10/2013	56	2509
HSIE021	11/11/2013	52	2021
HSIE021	11/11/2013	60	1902
HSIE021	11/12/2013	50	2374
HSIE021	11/12/2013	56	2803
HSIE021	11/13/2013	52	2195
HSIE021	11/13/2013	60	2022
HSIE021	11/14/2013	54	2681
HSIE021	11/15/2013	56	2306
HSIE021	11/16/2013	56	1952
HSIE021	11/17/2013	54	2041
HSIE022	10/1/2013	56	2384
HSIE022	10/2/2013	52	2080
HSIE022	10/2/2013	60	2544
HSIE022	10/3/2013	58	2267
HSIE022	10/4/2013	50	2332
HSIE022	10/4/2013	56	2661
HSIE022	10/5/2013	52	2635
HSIE022	10/5/2013	60	2095
HSIE022	10/11/2013	54	2251
HSIE022	10/16/2013	58	2223
HSIE028	11/1/2013	54	1988
HSIE028	11/3/2013	52	2125

HSIE028	11/3/2013	61	2534
HSIE028	11/4/2013	51	2676
HSIE028	11/5/2013	59	2957
HSIE028	11/7/2013	55	2030
HSIE028	11/7/2013	61	2536
HSIE028	11/8/2013	51	2040
HSIE028	11/8/2013	59	2158
HSIE028	11/9/2013	55	2314
HSIE028	11/9/2013	61	2155
HSIE028	11/10/2013	51	2135
HSIE028	11/12/2013	53	2185

HSIE028	11/3/2013	60	2002
HSIE028	11/4/2013	58	1898
HSIE028	11/5/2013	56	2324
HSIE028	11/7/2013	52	1927
HSIE028	11/7/2013	60	1981
HSIE028	11/8/2013	50	2010
HSIE028	11/8/2013	56	2220
HSIE028	11/9/2013	52	2088
HSIE028	11/9/2013	60	2032
HSIE028	11/11/2013	58	1951

Δ Πακέτο δεδομένων							
--------------------	--	--	--	--	--	--	--

HSIE010	11/28/2013	55	2402
HSIE010	11/28/2013	61	2247
HSIE010	11/29/2013	51	2515
HSIE010	11/30/2013	53	2865
HSIE010	11/30/2013	59	2770
HSIE010	12/1/2013	55	2391
HSIE010	12/1/2013	61	2278
HSIE010	12/2/2013	51	2825
HSIE010	12/3/2013	59	2484
HSIE010	12/4/2013	55	2328
HSIE010	12/4/2013	61	2324
HSIE010	12/5/2013	51	2502
HSIE010	12/6/2013	61	2287
HSIE010	12/7/2013	51	2359
HSIE010	12/8/2013	53	2682
HSIE010	12/8/2013	59	2777
HSIE010	12/9/2013	55	2825
HSIE010	12/9/2013	61	2369
HSIE010	12/10/2013	51	2449
HSIE016	12/5/2013	53	2849

HSIE010	11/28/2013	52	2354
HSIE010	11/28/2013	60	2527
HSIE010	11/29/2013	58	2167
HSIE010	11/30/2013	50	2275
HSIE010	11/30/2013	56	2450
HSIE010	12/1/2013	52	2310
HSIE010	12/1/2013	60	2629
HSIE010	12/3/2013	56	2220
HSIE010	12/4/2013	52	2528
HSIE010	12/4/2013	60	2756
HSIE010	12/6/2013	52	2139
HSIE010	12/7/2013	58	1815
HSIE010	12/8/2013	50	1809
HSIE010	12/8/2013	56	2063
HSIE010	12/9/2013	52	2145
HSIE010	12/9/2013	60	1893
HSIE016	12/5/2013	50	2300



HSIE016	12/5/2013	59	2738
HSIE016	12/6/2013	55	2208
HSIE016	12/7/2013	53	2530
HSIE016	12/7/2013	59	2201
HSIE016	12/8/2013	55	2663
HSIE016	12/8/2013	61	2788
HSIE016	12/9/2013	59	2215
HSIE016	12/10/2013	55	2649
HSIE016	12/11/2013	55	2266
HSIE016	12/12/2013	57	2950
HSIE016	12/12/2013	61	2357
HSIE017	12/4/2013	57	3088
HSIE017	12/6/2013	51	2667
HSIE017	12/9/2013	53	3129
HSIE017	12/13/2013	51	3094
HSIE017	12/14/2013	53	2616
HSIE017	12/14/2013	59	2923
HSIE017	12/17/2013	53	2684
HSIE017	12/19/2013	57	2908
HSIE017	12/20/2013	57	3110
HSIE019	12/8/2013	57	3529
HSIE019	12/9/2013	57	2449
HSIE019	12/11/2013	57	2546
HSIE019	12/12/2013	53	2589
HSIE019	12/16/2013	59	2188
HSIE019	12/17/2013	55	2433
HSIE019	12/18/2013	53	2655
HSIE019	12/19/2013	53	2752
HSIE019	12/19/2013	59	2214

HSIE016	12/5/2013	56	2352
HSIE016	12/6/2013	58	2155
HSIE016	12/7/2013	50	2102
HSIE016	12/7/2013	56	2834
HSIE016	12/8/2013	52	2238
HSIE016	12/9/2013	56	2719
HSIE016	12/12/2013	54	2442
HSIE016	12/12/2013	60	2786
HSIE017	12/4/2013	54	2251
HSIE017	12/5/2013	60	2388
HSIE017	12/8/2013	58	2314
HSIE017	12/9/2013	50	2070
HSIE017	12/13/2013	58	2386
HSIE017	12/14/2013	50	2603
HSIE017	12/14/2013	56	2635
HSIE017	12/16/2013	58	2335
HSIE017	12/17/2013	50	2054
HSIE017	12/19/2013	54	2144
HSIE017	12/20/2013	54	2210
HSIE019	12/8/2013	56	2114
HSIE019	12/9/2013	54	1810
HSIE019	12/10/2013	56	2062
HSIE019	12/11/2013	54	2314
HSIE019	12/11/2013	56	2553
HSIE019	12/12/2013	50	2318
HSIE019	12/16/2013	56	2371
HSIE019	12/17/2013	58	2231
HSIE019	12/18/2013	58	1936
HSIE019	12/19/2013	50	1907
HSIE019	12/19/2013	56	2445

HSIE019	12/20/2013	53	2614
HSIE019	12/20/2013	59	2250
HSIE019	12/21/2013	55	2351
HSIE019	12/21/2013	61	2574
HSIE019	12/22/2013	51	2687
HSIE019	12/23/2013	53	2738
HSIE019	12/24/2013	53	2305
HSIE019	12/24/2013	59	2331
HSIE019	12/28/2013	57	1989
HSIE019	12/29/2013	51	2491
HSIE019	12/31/2013	53	2896
HSIE019	12/31/2013	59	2444
HSIE019	1/1/2014	61	2258
HSIE019	1/2/2014	51	2549
HSIE019	1/3/2014	53	2331
HSIE019	1/3/2014	59	2399
HSIE019	1/4/2014	55	2544
HSIE019	1/4/2014	61	2399
HSIE020	1/2/2014	57	3199
HSIE020	1/3/2014	57	2413
HSIE020	1/5/2014	51	2109
HSIE020	1/6/2014	53	2648
HSIE020	1/6/2014	59	2721
HSIE020	1/7/2014	55	2286
HSIE020	1/7/2014	61	2655
HSIE020	1/8/2014	51	2309
HSIE020	1/12/2014	53	2520
HSIE020	1/12/2014	59	2686
HSIE020	1/13/2014	55	2401
HSIE020	1/13/2014	61	2444
HSIE020	1/14/2014	51	2385
HSIE020	1/15/2014	53	2478
HSIE020	1/15/2014	59	2384

HSIE019	12/20/2013	50	1843
HSIE019	12/20/2013	56	2554
HSIE019	12/21/2013	52	2278
HSIE019	12/21/2013	60	2372
HSIE019	12/22/2013	58	2159
HSIE019	12/23/2013	58	2174
HSIE019	12/24/2013	50	2199
HSIE019	12/24/2013	56	2341
HSIE019	12/28/2013	58	2037
HSIE019	12/30/2013	58	1957
HSIE019	12/31/2013	50	1949
HSIE019	12/31/2013	56	2218
HSIE019	1/1/2014	60	2318
HSIE019	1/2/2014	58	1777
HSIE019	1/3/2014	50	1883
HSIE019	1/3/2014	56	2274
HSIE019	1/4/2014	52	1881
HSIE019	1/4/2014	60	2328
HSIE020	1/2/2014	54	2030
HSIE020	1/3/2014	54	1813
HSIE020	1/5/2014	60	1933
HSIE020	1/6/2014	50	1968
HSIE020	1/6/2014	56	2111
HSIE020	1/7/2014	52	2209
HSIE020	1/7/2014	60	2034
HSIE020	1/11/2014	58	1833
HSIE020	1/12/2014	50	2188
HSIE020	1/12/2014	56	2180
HSIE020	1/13/2014	52	2366
HSIE020	1/13/2014	60	2066
HSIE020	1/14/2014	58	1974
HSIE020	1/15/2014	50	2114
HSIE020	1/15/2014	56	2367

HSIE021	1/4/2014	57	3059
HSIE021	1/5/2014	57	3258
HSIE021	1/7/2014	57	2704
HSIE021	1/8/2014	57	2686
HSIE021	1/9/2014	57	3127
HSIE021	1/10/2014	61	2232
HSIE021	1/11/2014	51	2660
HSIE021	1/13/2014	53	3215
HSIE021	1/13/2014	59	2943
HSIE021	1/14/2014	55	2776
HSIE021	1/14/2014	61	2622
HSIE021	1/15/2014	51	2530
HSIE021	1/16/2014	53	2612
HSIE021	1/17/2014	57	2373
HSIE021	1/17/2014	61	2320
HSIE021	1/18/2014	51	2616
HSIE022	1/2/2014	53	2575
HSIE022	1/2/2014	59	2821
HSIE022	1/3/2014	55	2386
HSIE022	1/3/2014	61	2713
HSIE022	1/4/2014	51	2806
HSIE024	1/8/2014	59	2542
HSIE024	1/9/2014	55	2564
HSIE024	1/9/2014	61	2582
HSIE024	1/10/2014	51	2311
HSIE024	1/11/2014	53	2510
HSIE024	1/11/2014	59	2151
HSIE024	1/12/2014	57	2523
HSIE024	1/13/2014	57	2686
HSIE024	1/16/2014	55	2314
HSIE024	1/16/2014	61	2126
HSIE024	1/17/2014	51	2430

HSIE021	1/4/2014	54	2696
HSIE021	1/5/2014	54	2048
HSIE021	1/7/2014	56	1872
HSIE021	1/8/2014	56	2343
HSIE021	1/9/2014	56	2469
HSIE021	1/10/2014	60	2289
HSIE021	1/12/2014	58	2024
HSIE021	1/13/2014	50	2140
HSIE021	1/13/2014	56	2323
HSIE021	1/14/2014	52	2390
HSIE021	1/14/2014	60	2153
HSIE021	1/15/2014	58	2238
HSIE021	1/16/2014	50	2030
HSIE021	1/16/2014	60	2497
HSIE021	1/17/2014	54	1868
HSIE021	1/17/2014	60	2042
HSIE022	1/2/2014	50	2349
HSIE022	1/2/2014	56	2440
HSIE022	1/3/2014	52	2618
HSIE022	1/3/2014	60	2365
HSIE024	1/8/2014	56	2314
HSIE024	1/9/2014	52	2377
HSIE024	1/9/2014	60	2522
HSIE024	1/10/2014	58	2276
HSIE024	1/11/2014	50	2140
HSIE024	1/11/2014	56	2266
HSIE024	1/12/2014	54	2324
HSIE024	1/13/2014	54	2153
HSIE024	1/16/2014	52	2376
HSIE024	1/16/2014	60	2030
HSIE024	1/17/2014	58	2240

HSIE024	1/18/2014	53	2867
HSIE024	1/18/2014	59	2145
HSIE024	1/19/2014	55	2478
HSIE024	1/19/2014	61	2186
HSIE024	1/20/2014	51	2795

HSIE024	1/18/2014	50	2230
HSIE024	1/18/2014	56	2523
HSIE024	1/19/2014	52	2127
HSIE024	1/19/2014	60	2327
HSIE024	1/20/2014	58	1910

## 2014

	Κατερχόμενα	Ανερχόμενα
Ιανουάριος	62	62
Φεβρουάριος	52	50
Μάρτιος	61	57
Απρίλιος	51	50
Μάιος	5	0
Ιούνιος	0	0
Ιούλιος	0	0
Αύγουστος	0	0
Σεπτέμβριος	0	0
Οκτώβριος	0	0
Νοέμβριος	0	0
Δεκέμβριος	0	0

ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΑ Θεσσαλονίκη - Δομοκός			
ΜΗΧΑΝΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟ	KW
HSIE019	1/1/2014	61	2258
HSIE019	1/2/2014	51	2549
HSIE019	1/3/2014	53	2331
HSIE019	1/3/2014	59	2399
HSIE019	1/4/2014	55	2544
HSIE019	1/4/2014	61	2399
HSIE020	1/2/2014	57	3199

ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΑ Δομοκός - Θεσσαλονίκη			
ΜΗΧΑΝΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟ	KW
HSIE019	1/1/2014	60	2318
HSIE019	1/2/2014	58	1777
HSIE019	1/3/2014	50	1883
HSIE019	1/3/2014	56	2274
HSIE019	1/4/2014	52	1881
HSIE019	1/4/2014	60	2328
HSIE020	1/2/2014	54	2030

HSIE020	1/3/2014	57	2413
HSIE020	1/5/2014	51	2109
HSIE020	1/6/2014	53	2648
HSIE020	1/6/2014	59	2721
HSIE020	1/7/2014	55	2286
HSIE020	1/7/2014	61	2655
HSIE020	1/8/2014	51	2309
HSIE020	1/12/2014	53	2520
HSIE020	1/12/2014	59	2686
HSIE020	1/13/2014	55	2401
HSIE020	1/13/2014	61	2444
HSIE020	1/14/2014	51	2385
HSIE020	1/15/2014	53	2478
HSIE020	1/15/2014	59	2384
HSIE021	1/4/2014	57	3059
HSIE021	1/5/2014	57	3258
HSIE021	1/7/2014	57	2704
HSIE021	1/8/2014	57	2686
HSIE021	1/9/2014	57	3127
HSIE021	1/10/2014	61	2232
HSIE021	1/11/2014	51	2660
HSIE021	1/13/2014	53	3215
HSIE021	1/13/2014	59	2943
HSIE021	1/14/2014	55	2776
HSIE021	1/14/2014	61	2622
HSIE021	1/15/2014	51	2530
HSIE021	1/16/2014	53	2612
HSIE021	1/17/2014	57	2373
HSIE021	1/17/2014	61	2320
HSIE021	1/18/2014	51	2616
HSIE022	1/2/2014	53	2575
HSIE022	1/2/2014	59	2821

HSIE020	1/3/2014	54	1813
HSIE020	1/5/2014	60	1933
HSIE020	1/6/2014	50	1968
HSIE020	1/6/2014	56	2111
HSIE020	1/7/2014	52	2209
HSIE020	1/7/2014	60	2034
HSIE020	1/11/2014	58	1833
HSIE020	1/12/2014	50	2188
HSIE020	1/12/2014	56	2180
HSIE020	1/13/2014	52	2366
HSIE020	1/13/2014	60	2066
HSIE020	1/14/2014	58	1974
HSIE020	1/15/2014	50	2114
HSIE020	1/15/2014	56	2367
HSIE021	1/4/2014	54	2696
HSIE021	1/5/2014	54	2048
HSIE021	1/7/2014	56	1872
HSIE021	1/8/2014	56	2343
HSIE021	1/9/2014	56	2469
HSIE021	1/10/2014	60	2289
HSIE021	1/12/2014	58	2024
HSIE021	1/13/2014	50	2140
HSIE021	1/13/2014	56	2323
HSIE021	1/14/2014	52	2390
HSIE021	1/14/2014	60	2153
HSIE021	1/15/2014	58	2238
HSIE021	1/16/2014	50	2030
HSIE021	1/16/2014	60	2497
HSIE021	1/17/2014	54	1868
HSIE021	1/17/2014	60	2042
HSIE022	1/2/2014	50	2349
HSIE022	1/2/2014	56	2440

HSIE022	1/3/2014	55	2386
HSIE022	1/3/2014	61	2713
HSIE022	1/4/2014	51	2806
HSIE024	1/8/2014	59	2542
HSIE024	1/9/2014	55	2564
HSIE024	1/9/2014	61	2582
HSIE024	1/10/2014	51	2311
HSIE024	1/11/2014	53	2510
HSIE024	1/11/2014	59	2151
HSIE024	1/12/2014	57	2523
HSIE024	1/13/2014	57	2686
HSIE024	1/16/2014	55	2314
HSIE024	1/16/2014	61	2126
HSIE024	1/17/2014	51	2430
HSIE024	1/18/2014	53	2867
HSIE024	1/18/2014	59	2145
HSIE024	1/19/2014	55	2478
HSIE024	1/19/2014	61	2186
HSIE024	1/20/2014	51	2795
HSIE008	1/27/2014	51	3159
HSIE008	1/28/2014	61	2511
HSIE008	1/30/2014	53	2624
HSIE008	1/30/2014	59	2436
HSIE008	2/1/2014	51	2738
HSIE008	2/4/2014	57	2563
HSIE010	2/4/2014	55	2310
HSIE010	2/4/2014	61	2430
HSIE010	2/5/2014	51	2408
HSIE010	2/9/2014	57	2713
HSIE010	2/10/2014	57	2830
HSIE010	2/17/2014	57	2525

HSIE022	1/3/2014	52	2618
HSIE022	1/3/2014	60	2365
HSIE024	1/8/2014	56	2314
HSIE024	1/9/2014	52	2377
HSIE024	1/9/2014	60	2522
HSIE024	1/10/2014	58	2276
HSIE024	1/11/2014	50	2140
HSIE024	1/11/2014	56	2266
HSIE024	1/12/2014	54	2324
HSIE024	1/13/2014	54	2153
HSIE024	1/16/2014	52	2376
HSIE024	1/16/2014	60	2030
HSIE024	1/17/2014	58	2240
HSIE024	1/18/2014	50	2230
HSIE024	1/18/2014	56	2523
HSIE024	1/19/2014	52	2127
HSIE024	1/19/2014	60	2327
HSIE024	1/20/2014	58	1910
HSIE008	1/27/2014	56	2831
HSIE008	1/28/2014	60	2533
HSIE008	1/29/2014	58	2168
HSIE008	1/30/2014	50	1824
HSIE008	1/30/2014	56	2462
HSIE008	2/2/2014	56	1994
HSIE008	2/4/2014	54	2333
HSIE010	2/4/2014	52	2524
HSIE010	2/4/2014	60	2384
HSIE010	2/5/2014	58	1896
HSIE010	2/9/2014	54	1815
HSIE010	2/10/2014	54	1935
HSIE010	2/17/2014	56	1890
HSIE010	2/22/2014	58	2034

HSIE010	2/23/2014	53	2497
HSIE010	2/23/2014	59	2579
HSIE010	2/24/2014	55	2502
HSIE010	2/24/2014	61	2335
HSIE012	2/10/2014	51	2802
HSIE012	2/15/2014	53	2582
HSIE012	2/15/2014	59	2553
HSIE012	2/16/2014	59	2636
HSIE012	2/23/2014	55	2391
HSIE012	2/23/2014	61	2627
HSIE012	2/24/2014	51	2750
HSIE012	2/25/2014	53	2551
HSIE012	2/25/2014	59	2422
HSIE012	2/26/2014	55	2173
HSIE012	2/26/2014	61	2141
HSIE012	2/27/2014	51	2169
HSIE012	2/28/2014	53	2397
HSIE012	2/28/2014	59	2582
HSIE012	3/1/2014	55	2470
HSIE012	3/2/2014	53	2570
HSIE012	3/2/2014	59	2547
HSIE012	3/3/2014	55	2392
HSIE012	3/23/2014	59	2604
HSIE012	3/24/2014	55	2397
HSIE012	3/24/2014	61	2378
HSIE012	3/25/2014	51	2400
HSIE012	3/26/2014	53	2372
HSIE012	3/26/2014	59	2780
HSIE012	3/27/2014	55	2054
HSIE012	3/27/2014	61	2548
HSIE012	3/28/2014	51	2394
HSIE012	3/28/2014	59	2536
HSIE012	3/29/2014	55	2461

HSIE010	2/23/2014	50	2489
HSIE010	2/23/2014	56	2477
HSIE010	2/24/2014	52	2315
HSIE012	2/15/2014	50	2212
HSIE012	2/15/2014	56	2468
HSIE012	2/23/2014	52	2302
HSIE012	2/23/2014	60	2491
HSIE012	2/24/2014	58	2012
HSIE012	2/25/2014	50	2058
HSIE012	2/25/2014	56	2420
HSIE012	2/26/2014	52	2050
HSIE012	2/26/2014	60	1996
HSIE012	2/27/2014	58	2187
HSIE012	2/28/2014	50	2044
HSIE012	2/28/2014	56	2996
HSIE012	3/1/2014	58	1846
HSIE012	3/2/2014	50	2167
HSIE012	3/2/2014	56	2668
HSIE012	3/23/2014	56	2195
HSIE012	3/24/2014	52	2256
HSIE012	3/24/2014	60	2273
HSIE012	3/25/2014	60	2292
HSIE012	3/26/2014	50	2345
HSIE012	3/26/2014	56	2428
HSIE012	3/27/2014	52	2073
HSIE012	3/27/2014	60	2371
HSIE012	3/28/2014	50	2076
HSIE012	3/28/2014	56	2618
HSIE012	3/29/2014	52	2417

HSIE012	3/29/2014	61	2074
HSIE012	3/30/2014	51	2614
HSIE012	3/31/2014	53	2591
HSIE012	3/31/2014	59	2413
HSIE012	4/1/2014	55	2473
HSIE012	4/1/2014	61	2336
HSIE012	4/2/2014	51	2572
HSIE015	4/25/2014	55	2468
HSIE015	4/25/2014	61	2227
HSIE015	4/26/2014	51	3219
HSIE015	4/27/2014	51	2420
HSIE015	4/28/2014	53	2715
HSIE015	4/28/2014	59	2840
HSIE015	4/29/2014	55	2419
HSIE015	4/29/2014	61	2684
HSIE015	4/30/2014	51	2636
HSIE015	5/2/2014	53	2243
HSIE016	3/21/2014	55	2652
HSIE016	3/21/2014	61	3096
HSIE016	3/22/2014	51	2525
HSIE016	3/27/2014	59	2201
HSIE016	3/28/2014	55	2387
HSIE016	3/28/2014	61	2590
HSIE016	3/29/2014	51	2573
HSIE016	3/30/2014	53	2717
HSIE016	3/30/2014	59	3174
HSIE016	3/31/2014	55	2369
HSIE016	3/31/2014	61	2573
HSIE016	4/1/2014	51	2340
HSIE016	4/2/2014	57	2485
HSIE016	4/3/2014	53	2335
HSIE016	4/3/2014	59	2851
HSIE016	4/4/2014	55	2690

HSIE012	3/29/2014	60	2681
HSIE012	3/30/2014	58	2105
HSIE012	3/31/2014	50	1953
HSIE012	3/31/2014	56	2451
HSIE012	4/1/2014	52	2281
HSIE012	4/1/2014	60	2140
HSIE012	4/2/2014	54	2158
HSIE015	4/25/2014	52	2673
HSIE015	4/25/2014	60	2146
HSIE015	4/26/2014	60	2388
HSIE015	4/27/2014	58	2325
HSIE015	4/28/2014	50	2086
HSIE015	4/28/2014	56	2583
HSIE015	4/29/2014	52	2722
HSIE015	4/29/2014	60	2141
HSIE015	4/30/2014	58	1752
HSIE015	5/2/2014	50	2544
HSIE016	3/21/2014	52	2468
HSIE016	3/21/2014	60	1680
HSIE016	3/27/2014	50	2096
HSIE016	3/27/2014	56	2723
HSIE016	3/28/2014	52	2250
HSIE016	3/28/2014	60	2673
HSIE016	3/29/2014	58	1770
HSIE016	3/30/2014	50	2321
HSIE016	3/30/2014	56	2657
HSIE016	3/31/2014	52	2213
HSIE016	3/31/2014	60	2565
HSIE016	4/2/2014	58	2496
HSIE016	4/3/2014	50	2564
HSIE016	4/3/2014	56	2033
HSIE016	4/4/2014	52	2325



HSIE016	4/4/2014	61	2344
HSIE016	4/5/2014	51	2265
HSIE016	4/6/2014	53	2405
HSIE016	4/6/2014	59	3243
HSIE016	4/7/2014	55	2263
HSIE016	4/11/2014	57	2630
HSIE016	4/12/2014	57	2691
HSIE016	4/13/2014	57	4113
HSIE016	4/15/2014	53	3006
HSIE016	4/15/2014	59	2365
HSIE016	4/16/2014	55	2735
HSIE016	4/16/2014	61	2552
HSIE016	4/17/2014	51	3071
HSIE016	4/26/2014	59	2686
HSIE016	4/27/2014	55	2160
HSIE016	4/27/2014	61	2325
HSIE016	4/28/2014	51	2681
HSIE016	4/29/2014	53	2733
HSIE016	5/3/2014	51	2337
HSIE016	5/4/2014	53	2501
HSIE016	5/4/2014	59	2620
HSIE016	5/5/2014	55	2262
HSIE017	2/1/2014	55	3047
HSIE017	2/1/2014	61	2333
HSIE017	2/2/2014	51	2558
HSIE017	2/3/2014	53	2845
HSIE017	2/3/2014	59	2631
HSIE017	3/3/2014	61	2902
HSIE017	3/4/2014	51	2567
HSIE019	2/26/2014	57	2638
HSIE019	2/27/2014	57	2581
HSIE019	2/28/2014	57	2868

HSIE016	4/4/2014	60	2502
HSIE016	4/5/2014	58	2300
HSIE016	4/6/2014	50	2023
HSIE016	4/6/2014	56	3018
HSIE016	4/11/2014	54	2030
HSIE016	4/12/2014	54	2423
HSIE016	4/13/2014	54	2288
HSIE016	4/14/2014	58	2106
HSIE016	4/15/2014	50	2069
HSIE016	4/15/2014	56	2552
HSIE016	4/16/2014	52	2591
HSIE016	4/16/2014	60	2328
HSIE016	4/26/2014	56	2881
HSIE016	4/27/2014	52	2467
HSIE016	4/27/2014	60	2339
HSIE016	4/28/2014	58	2084
HSIE016	4/29/2014	50	2382
HSIE016	5/3/2014	58	1706
HSIE016	5/4/2014	50	2284
HSIE016	5/4/2014	56	2598
HSIE016	5/5/2014	52	2349
HSIE017	2/1/2014	52	2622
HSIE017	2/1/2014	60	2331
HSIE017	2/2/2014	58	2448
HSIE017	2/3/2014	50	2494
HSIE017	2/3/2014	56	2129
HSIE017	2/3/2014	60	1893
HSIE019	2/26/2014	54	1843
HSIE019	2/27/2014	54	1919
HSIE019	2/28/2014	54	2031

HSIE019	3/1/2014	57	2770
HSIE019	3/5/2014	55	2240
HSIE019	3/6/2014	53	2657
HSIE019	3/6/2014	59	2544
HSIE019	3/7/2014	51	2263
HSIE019	3/8/2014	53	2688
HSIE019	3/10/2014	53	2993
HSIE019	3/10/2014	59	2545
HSIE019	3/11/2014	55	2579
HSIE019	3/11/2014	61	2473
HSIE019	3/12/2014	51	2605
HSIE019	3/13/2014	53	2367
HSIE019	3/13/2014	59	2437
HSIE019	3/14/2014	55	2376
HSIE019	3/14/2014	61	2577
HSIE019	3/15/2014	51	2952
HSIE019	3/17/2014	55	2396
HSIE019	3/17/2014	61	2473
HSIE019	3/18/2014	51	2505
HSIE019	3/19/2014	53	2797
HSIE019	3/19/2014	61	2509
HSIE019	3/20/2014	51	2180
HSIE019	3/21/2014	53	2537
HSIE019	3/21/2014	59	2980
HSIE019	3/24/2014	53	2430
HSIE019	3/25/2014	53	2635
HSIE019	3/25/2014	59	3087
HSIE019	3/26/2014	55	2312
HSIE019	3/26/2014	61	2266
HSIE020	4/3/2014	57	3242
HSIE020	4/4/2014	57	3290

HSIE019	3/1/2014	54	2156
HSIE019	3/5/2014	58	2135
HSIE019	3/6/2014	50	2230
HSIE019	3/6/2014	56	1783
HSIE019	3/7/2014	58	2246
HSIE019	3/9/2014	58	2281
HSIE019	3/10/2014	50	2094
HSIE019	3/10/2014	56	3183
HSIE019	3/11/2014	52	2093
HSIE019	3/11/2014	60	1870
HSIE019	3/12/2014	58	1966
HSIE019	3/13/2014	50	2315
HSIE019	3/13/2014	56	2488
HSIE019	3/14/2014	52	2077
HSIE019	3/14/2014	60	2103
HSIE019	3/17/2014	52	2446
HSIE019	3/17/2014	60	2081
HSIE019	3/18/2014	58	1703
HSIE019	3/19/2014	52	2018
HSIE019	3/19/2014	60	2449
HSIE019	3/20/2014	58	2175
HSIE019	3/21/2014	50	2378
HSIE019	3/21/2014	56	2842
HSIE019	3/23/2014	58	1915
HSIE019	3/24/2014	58	1669
HSIE019	3/25/2014	50	2248
HSIE019	3/25/2014	56	2420
HSIE019	3/26/2014	52	2012
HSIE020	4/3/2014	56	2186
HSIE020	4/4/2014	54	2785
HSIE020	4/7/2014	52	2273

HSIE023	4/2/2014	53	2350
HSIE023	4/2/2014	59	2698
HSIE023	4/3/2014	55	2144
HSIE023	4/3/2014	61	2147
HSIE023	4/4/2014	51	2540
HSIE023	4/5/2014	53	2155
HSIE023	4/5/2014	59	2114
HSIE023	4/6/2014	55	2196
HSIE024	2/11/2014	59	2743
HSIE024	2/12/2014	55	2360
HSIE024	2/12/2014	61	2962
HSIE024	2/15/2014	61	2400
HSIE024	2/16/2014	53	2475
HSIE024	2/21/2014	57	2786
HSIE024	2/25/2014	51	2429
HSIE024	2/26/2014	53	2513
HSIE024	2/26/2014	59	2196
HSIE027	4/7/2014	59	2586
HSIE027	4/8/2014	51	2424
HSIE027	4/10/2014	53	2702
HSIE027	4/10/2014	59	2438
HSIE027	4/11/2014	55	2673
HSIE027	4/11/2014	61	2785
HSIE029	2/8/2014	57	3025
HSIE029	2/11/2014	57	2638
HSIE029	2/12/2014	57	2695
HSIE029	2/15/2014	57	2407
HSIE029	2/16/2014	57	2985
HSIE029	2/21/2014	59	2610
HSIE029	2/22/2014	55	2807
HSIE029	2/22/2014	61	2412
HSIE029	2/23/2014	51	2747

HSIE023	4/2/2014	50	1950
HSIE023	4/2/2014	56	2579
HSIE023	4/3/2014	54	2538
HSIE023	4/3/2014	60	2211
HSIE023	4/4/2014	58	1956
HSIE023	4/5/2014	50	1956
HSIE023	4/5/2014	56	2685
HSIE023	4/6/2014	52	2232
HSIE024	2/11/2014	56	2647
HSIE024	2/12/2014	52	2365
HSIE024	2/15/2014	52	2594
HSIE024	2/15/2014	60	2072
HSIE024	2/21/2014	54	1839
HSIE024	2/25/2014	58	2239
HSIE024	2/26/2014	50	1917
HSIE024	2/26/2014	56	2478
HSIE027	4/7/2014	56	2436
HSIE027	4/8/2014	58	2351
HSIE027	4/10/2014	50	2126
HSIE027	4/10/2014	56	2323
HSIE027	4/11/2014	52	2280
HSIE027	4/11/2014	60	1987
HSIE029	2/8/2014	54	2294
HSIE029	2/11/2014	54	1927
HSIE029	2/12/2014	54	2389
HSIE029	2/15/2014	54	2118
HSIE029	2/16/2014	54	2244
HSIE029	2/21/2014	56	2276
HSIE029	2/22/2014	52	2194
HSIE029	2/22/2014	60	2094
HSIE029	2/23/2014	58	2109

