

ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΤΣΑΓΚΑΡΟΠΟΥΛΟΣ

Σύστημα Παρακολούθησης Κατανάλωσης Ενέργειας Μηχανημάτων Έργων

Τομέας: Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Κηρυττόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2023



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Ευχαριστίες

Σ' αυτό το σημείο ολοκληρώνεται μια ιδιαίτερα σημαντική περίοδος της ζωής μου, αυτή των σπουδών μου στη Σχολή των Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Δεν θα μπορούσα, λοιπόν, να μην εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους εκείνους, οι οποίοι με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των πέντε αυτών ετών.

Κατ' αρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Κηρυττόπουλο, αφενός για το γεγονός ότι μου έδωσε τη δυνατότητα εκπόνησης της παρούσας εργασίας υπό την καθοδήγησή του και αφετέρου για τις χρήσιμες συμβουλές τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τον κ. Θεόδωρο Καλογερόπουλο και τον κ. Χρήστο Κονίδα, οι οποίοι ήταν διαθέσιμοι κάθε στιγμή για να με συμβουλευθούν μέσα από την επαγγελματική τους εμπειρία σε οποιαδήποτε απορία προέκυπτε κατά την υλοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας. Επιπρόσθετα, στη ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, καθοριστική υπήρξε η συμβολή της κατασκευαστικής εταιρείας στην οποία πραγματοποιήθηκε η μελέτη περίπτωσης καθώς μου παρείχε όλα τα απαραίτητα δεδομένα.

Θα ήταν παράλειψη μου, να μην ευχαριστήσω την οικογένειά μου για όλη τη στήριξη που μου προσέφερε. Τόσο οι γονείς μου Αντώνιος και Παναγιώτα, όσο και τα αδέρφια μου Ανδρέας και Ευστράτιος – Ευάγγελος, συνέβαλαν σε μεγάλο βαθμό στην πορεία μου αυτά τα χρόνια και τους οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ.

Ακόμα, η βοήθεια και η υποστήριξη που έλαβα από τους φίλους μου, εντός και εκτός Πολυτεχνείου, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών, ήταν πραγματικά σπουδαία. Τους ευχαριστώ θερμά για όλη τη συμπαράστασή τους.

Τέλος, πάνω απ' όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Θεό, διότι χωρίς τη δική Του βοήθεια, δεν θα μπορούσα να έχω πετύχει κάτι.

*Σ' αυτούς που θέλουν
«τ' αύριο να πλάσουνε
καλύτερο απ' το χτες¹».*

¹ Γ. Βερίτης, Ποίημα «Χριστιανοί»

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Σπυρίδων Τσαγκαρόπουλος

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πίνακας περιεχομένων

Σύνοψη – Περίληψη	9
Abstract.....	10
Συντομεύσεις - Αρκτικόλεξα.....	11
1. Εισαγωγή.....	12
1.1 Πλαίσιο.....	12
1.2 Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι.....	13
1.3 Οριοθέτηση.....	13
1.4 Διάρθρωση της εργασίας.....	14
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	15
2.1 Οριακές Τιμές Κατανάλωσης Καυσίμου των Μηχανημάτων Έργου	15
2.2 Χρήση αισθητήρων και Διαδικτύου των Πραγμάτων για τη μέτρηση μεγεθών στα μηχανήματα έργου.....	20
2.3 Εφαρμογές παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμου – Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη.....	21
2.4 Ολοκλήρωση βιβλιογραφικής ανασκόπησης.....	24
3. Μεθοδολογία.....	25
3.1 Μέθοδοι έρευνας.....	25
3.2 Μελέτη Βιβλιογραφίας.....	26
3.3 Ευέλικτη Μεθοδολογία Ανάπτυξης Λογισμικού (Agile Development Methodology).....	26
3.4 Μελέτη Περίπτωσης (Case Study)	27
3.5 Θέματα ηθικής κατά τη μελέτη	27
4. Δημιουργία Συστήματος Παρακολούθησης Ενεργειακής Κατανάλωσης Μηχανημάτων Έργου.....	28
4.1 Μελέτη Περίπτωσης σε Κατασκευαστική Εταιρεία.....	28
4.2 Εφαρμογή παρακολούθησης ενεργειακής κατανάλωσης μηχανημάτων έργου	28
4.2.1 Γραφικό Περιβάλλον Εφαρμογής	29
4.2.2 Εισαγωγή στοιχείων μέσω αναπτυσσόμενων λιστών (drop – down lists) και κουμπί επικύρωσης <input checked="" type="checkbox"/>	32
4.2.3 Βοηθητικά κουμπιά της εφαρμογής.....	33
4.2.4 Έξοδοι (outputs) εφαρμογής και αποθήκευση διαγραμμάτων	35
4.2.5 Απαραίτητα αρχεία για τη λειτουργία της εφαρμογής.....	39
5. Χρήση του συστήματος παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης των μηχανημάτων έργου σε μεγάλη κατασκευαστική εταιρεία – Μελέτη Περίπτωσης	40
5.1 Λεπτομέρειες Μελέτης Περίπτωσης	40
5.2 Εκκαφείς.....	41
5.2.1 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ερπυστριόφορος Εκκαφέας HYUNDAI R450LC-7A.....	41

5.2.2	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A.....	43
5.2.3	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A.....	44
5.2.4	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A.....	46
5.2.5	Σχολιασμός διαγραμμάτων των εκσκαφών.....	48
5.3	Ισοπεδωτές Γαιών.....	48
5.3.1	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M.....	48
5.3.2	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M.....	50
5.3.3	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14H.....	51
5.3.4	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14H.....	52
5.3.5	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ισοπεδωτής Γαιών HBM-NOBAS SHM5NT-1.....	52
5.3.6	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ισοπεδωτής Γαιών HBM-NOBAS SHM5NT-1.....	53
5.3.7	Σχολιασμός διαγραμμάτων των ισοπεδωτών γαιών.....	54
5.4	Πρωθητήρες Γαιών.....	54
5.4.1	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Πρωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15.....	54
5.4.2	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Πρωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15.....	56
5.4.3	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Πρωθητήρας Γαιών CAT D6TXL.....	57
5.4.4	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Πρωθητήρας Γαιών CAT D6TXL.....	58
5.4.5	Σχολιασμός διαγραμμάτων των πρωθητήρων γαιών.....	59
5.5	Οδοστρωτήρες.....	60
5.5.1	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110.....	60
5.5.2	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110.....	61
5.5.3	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75.....	62
5.5.4	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75.....	64
5.5.5	Σχολιασμός διαγραμμάτων των οδοστρωτήρων.....	65

5.6	Φορτωτές	65
5.6.1	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H	65
5.6.2	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H	67
5.6.3	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K.....	68
5.6.4	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K.....	69
5.6.5	Σχολιασμός διαγραμμάτων των φορτωτών	70
5.7	Φορτηγά.....	71
5.7.1	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42	71
5.7.2	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42	73
5.7.3	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440	74
5.7.4	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440	76
5.7.5	Σχολιασμός διαγραμμάτων των φορτηγών	78
5.8	Διαστρωτήρες.....	78
5.8.1	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i.....	78
5.8.2	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i.....	80
5.8.3	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 2100-3i.....	81
5.8.4	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 2100-3i.....	82
5.8.5	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1300-i.....	82
5.8.6	Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1300-i.....	83
5.8.7	Σχολιασμός διαγραμμάτων των διαστρωτήρων	84
6.	Συμπεράσματα.....	85
	Κατάλογος Αναφορών	89
	Κατάλογος Πινάκων.....	91
	Κατάλογος Σχημάτων	92
	Κατάλογος Εικόνων	96

Σύνοψη – Περίληψη

Η κατανάλωση ενέργειας από τα μηχανήματα έργου έχει σημαντική επίδραση στα κατασκευαστικά έργα και αφορά το κόστος τους και τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Έτσι, η διαχείριση της κατανάλωσης καυσίμου των μηχανημάτων στα εργοτάξια αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα όσον αφορά τη μείωση του κόστους των έργων αλλά και τον περιορισμό των αρνητικών περιβαλλοντικών τους συνεπειών.

Η δημιουργία ενός συστήματος παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου, αποτελεί τον σκοπό της εργασίας. Προκειμένου να υλοποιηθεί ο σκοπός αυτός, έγινε συστηματική βιβλιογραφική μελέτη με στόχο τον εντοπισμό μεθόδων υπολογισμού των οριακών τιμών της κατανάλωσης καυσίμου εντός των οποίων πρέπει να βρίσκεται η κατανάλωση σε κάθε μηχανήμα έργου, τη διερεύνηση νέων τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και της αξίας χρήσης τους σε εργοτάξια αλλά και την πραγματοποίηση έρευνας γύρω από υπάρχοντα συστήματα παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης των μηχανημάτων. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε μελέτη περίπτωσης σε μεγάλη κατασκευαστική εταιρεία όπου δόθηκε η δυνατότητα χρήσης του συστήματος που δημιουργήθηκε.

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε εφαρμογή, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα διαγραμματικής απεικόνισης της κατανάλωσης καυσίμου σε συνάρτηση με τον χρόνο και σύγκρισής της με τις θεωρητικά αναμενόμενες τιμές. Η εφαρμογή σχεδιάστηκε ώστε να είναι όσο το δυνατόν απλούστερη και πιο εύχρηστη για τον χρήστη που τη χρησιμοποιεί αλλά και να παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής αξιόπιστων συμπερασμάτων σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου από τα μηχανήματα έργου, σχετικά με το εάν αυτά υπερβαίνουν ή όχι τα επιθυμητά όρια.

Η δημιουργία του συστήματος παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου, είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι αφενός αντιμετωπίζει την αναποτελεσματικότητα των υπάρχοντων συστημάτων και αφετέρου διευκολύνει τις κατασκευαστικές εταιρείες στην αποτύπωση της ενεργειακής κατανάλωσης των μηχανημάτων έργου τους.

Abstract

Energy consumption of construction machinery significantly affects the cost and the environmental impact of many construction projects. Thus, the fuel consumption management of machinery on construction sites is of paramount importance in terms of reducing the cost of projects and limiting their negative environmental consequences.

The purpose of this thesis is to create a system for monitoring energy consumption of construction machinery. To achieve this goal, a literature review it was conducted to identify methods for calculating the threshold values of fuel consumption for each machine type, investigate new technologies, such as Internet of Things, and their use in construction sites as well as to find out more about existing systems for monitoring energy consumption of machinery.

In this paper, it was developed an application for creating charts that depict the fuel consumption as a function of time. These charts allow users of application to compare real values obtained from construction sites with expected values based on bibliography. The application was designed to be as simple and user – friendly as possible, providing reliable results as output.

The creation of the system for monitoring energy consumption of construction machinery is important because on the one hand it addresses the inefficiency of existing systems and on the other it facilitates the visualisation of the energy consumption of construction machinery for construction companies.

Συνομεύσεις - Αρκτικόλεξα

CO₂: Διοξείδιο του άνθρακα

NO_x: Οξείδια του αζώτου

PM: Particulate Matter (αιωρούμενα σωματίδια)

Χ.Ε.: Χαμηλή Επιφόρτιση

Μ.Ε.: Μέση Επιφόρτιση

Υ.Ε.: Υψηλή Επιφόρτιση

fc: fuel consumption (κατανάλωση καυσίμου)

RFs: Rain Forests (αλγόριθμος των τυχαίων δασών)

ANNs: Artificial Neural Networks (τεχνητά νευρωνικά δίκτυα)

Δ.Σ.Κ.Κ.Β.: Διάγραμμα Σύγκρισης της Κατανάλωσης Καυσίμου με τις αναμενόμενες τιμές βάσει Βιβλιογραφίας

Δ.Σ.Κ.Κ.Τ.: Διάγραμμα Σύγκρισης της Κατανάλωσης Καυσίμου με τη μέση κατανάλωση συγκεκριμένου Τριμήνου

1. Εισαγωγή

1.1 Πλαίσιο

Οι χωματοουργικές εργασίες που πραγματοποιούνται, κατά την υλοποίηση ενός κατασκευαστικού έργου, από τα μηχανήματα έργου, αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία του. Ειδικότερα, όσον αφορά το κόστος του έργου, έχει υπολογιστεί ότι οι εργασίες αυτές, κατά τη διάρκεια των κατασκευαστικών έργων αντιστοιχούν, περίπου, στο 30% του συνολικού του κόστους (Shehadeh et al., 2022). Ωστόσο, η κατανάλωση καυσίμου δεν επηρεάζει μόνο την οικονομική πλευρά του έργου. Έχει σοβαρές επιπτώσεις και στο περιβάλλον εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων επιβλαβών αερίων που εκπέμπονται κατά τη λειτουργία των μηχανημάτων έργου (Shehadeh et al., 2022; Trani et al., 2016)

Είναι, λοιπόν, φανερό ότι η διαχείριση της κατανάλωσης καυσίμου (και κατ' επέκταση η διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας) των μηχανημάτων έργου σε εργοτάξια αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία. Έτσι, η αξιοποίηση των δεδομένων που προκύπτουν από την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου κατά τη λειτουργία τους σε εργοτάξια κρίνεται σημαντική.

Το πρόβλημα που καλείται να επιλύσει η εργασία είναι η αναποτελεσματικότητα των υπαρχόντων συστημάτων μέτρησης κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου και η απουσία αυτοματοποιημένου συστήματος, το οποίο θα οδηγεί σε συμπεράσματα σχετικά με τις καταναλώσεις ενέργειας στα εργοτάξια όπως και η έλλειψη στοιχείων σχετικά με την αξία εγκατάστασης νέων τεχνολογικών εργαλείων (αισθητήρες, Διαδίκτυο των Πραγμάτων – Industry 4.0).

Στην παρούσα εργασία δημιουργείται ένα σύστημα (εφαρμογή για υπολογιστή) ανάλυσης των τιμών της καταναλωθείσας ενέργειας από τα μηχανήματα έργου, το οποίο θα έχει εφαρμογή σε μεγάλη κατασκευαστική εταιρεία. Το σύστημα αυτό αξιοποιεί τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου των μηχανημάτων, όπως αυτά προκύπτουν από τις μετρήσεις στα εργοτάξια, και στη συνέχεια τις συγκρίνει με τις αναμενόμενες – βάσει βιβλιογραφίας – τιμές. Επιπλέον, διερευνώνται σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία που χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και βοηθούν στη μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας.

Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα εργοτάξια αφορούν τη μέση ωριαία κατανάλωση καυσίμου ανά μηχανήμα έργου. Ως ωριαία κατανάλωση καυσίμου ορίζεται ο όγκος καυσίμου (σε λίτρα, L) που καταναλώνεται ανά μονάδα του χρόνου λειτουργίας (ώρες, h). Οι τιμές της μέσης ωριαίας κατανάλωσης για κάθε μηχανήμα έργου, συγκρίνονται με τις τιμές κατανάλωσης που ενδείκνυνται ανά μηχανήμα έργου με βάση τη βιβλιογραφία.

Μέσω του συστήματος που δημιουργείται στην παρούσα εργασία διευκολύνεται η διαδικασία παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου για κάθε μηχανήμα έργου στα διάφορα

εργοτάξια μιας μεγάλης κατασκευαστικής εταιρείας. Έτσι, είναι εφικτός ο εντοπισμός πιθανών δυσλειτουργιών των μηχανημάτων έργου, ανάγκης συντήρησής τους ή και εσφαλμένης χρήσης τους.

1.2 Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι

Σκοπός της εργασίας είναι η αναβάθμιση της αξιοπιστίας των συστημάτων παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου.

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, τέθηκαν οι εξής στόχοι:

1. Καταγραφή των καταναλώσεων ενέργειας των μηχανημάτων έργου σε εργοτάξια.
2. Σύγκριση των τιμών κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου με βιβλιογραφικές τιμές.
3. Διερεύνηση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων και της ενδεχόμενης συμβολής της στη μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου.
4. Δημιουργία ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου.

1.3 Οριοθέτηση

Η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου στα μηχανήματα έργου καθορίζεται από πολλούς παράγοντες όπως: η θερμοκρασία, η υγρασία, το επίπεδο συντήρησης του εξοπλισμού, η ικανότητα των χειριστών των μηχανημάτων, η ισχύς των μηχανημάτων και η επιφόρτιση των μηχανημάτων (Trani et al., 2016). Στην παρούσα εργασία, ωστόσο, τα όρια των καταναλώσεων (ανάλογα με τον βαθμό φόρτισης) υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη μόνο την παράμετρο της ισχύος, η οποία αποτελεί και τον πιο σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την τιμή της κατανάλωσης του καυσίμου όπως φαίνεται και από την εξίσωση (Trani et al., 2016):

$$Fuel\ Consumption_i \left(\frac{l}{h} \right) = P_i \cdot SC_i \cdot LF_{ij} \cdot \frac{1}{\rho_{fuel}}$$

Όπου P_i είναι η ισχύς του μηχανήματος έργου σε KW, SC_i η ειδική κατανάλωση, LF_{ij} ο συντελεστής φόρτισης και ρ_{fuel} το ειδικό βάρος του καυσίμου.

1.4 Διάρθρωση της εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο, δίνεται το επιστημονικό πλαίσιο στο οποίο πραγματοποιείται η εργασία και περιγράφεται το αντικείμενο που μελετάται σ' αυτήν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τις οριακές τιμές των καταναλώσεων καυσίμου των μηχανημάτων έργου, διερευνώνται νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα εργοτάξια και μελετώνται υπάρχοντα συστήματα παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης των μηχανημάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο, επισημαίνονται οι επιστημονικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εργασίας καθώς και τα θέματα ηθικής που προέκυψαν κατά την πραγματοποίησή της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η εφαρμογή που αναπτύχθηκε προκειμένου να δημιουργηθεί το σύστημα παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται μελέτη περίπτωσης σε μηχανήματα έργου και εργοτάξια μεγάλης κατασκευαστικής εταιρείας.

Στο έκτο κεφάλαιο, καταγράφονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, γίνεται σύγκριση με αντίστοιχα συστήματα παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης, τονίζονται οι περιορισμοί της εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο μέλλον.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Τα έργα υποδομής συνιστούν μια βασική κατηγορία των έργων που υλοποιούνται στον κατασκευαστικό τομέα. Κατά την εκτέλεσή τους, είναι αναπόφευκτη η πραγματοποίηση χωματουργικών εργασιών (Jassim et al., 2019). Σύμφωνα με τους Shehadeh et al. (2022), οι χωματουργικές δραστηριότητες θεωρούνται ως ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία ενός κατασκευαστικού έργου. Αυτό συμβαίνει για δύο κυρίως λόγους:

Ο πρώτος, όπως εξηγούν οι ίδιοι ερευνητές, αφορά το κόστος του συνολικού έργου, το οποίο σ' ένα μεγάλο ποσοστό (ορισμένες φορές ξεπερνά και το 30%) οφείλεται αποκλειστικά στις χωματουργικές εργασίες. Αναλογιζόμενοι ότι η υλοποίηση των χωματουργικών δραστηριοτήτων επιτυγχάνεται με τη χρήση βαρέος μηχανολογικού εξοπλισμού, οι Pereira et al. (2021) εξηγούν ότι το αυξημένο κόστος των εργασιών αυτών αποδίδεται στην κατανάλωση καυσίμου από τα μηχανήματα έργου.

Ο δεύτερος λόγος έχει να κάνει με τις δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχουν τα μηχανήματα έργου (Jassim et al., 2019; Shehadeh et al., 2022; Trani et al., 2016). Συγκεκριμένα, κατά τη λειτουργία των μηχανημάτων έργου και λόγω του καυσίμου που αυτά καταναλώνουν, εκπέμπονται σημαντικές ποσότητες επιβλαβών – για το περιβάλλον – ουσιών όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), σκόνη, οξείδια του αζώτου (NO_x) και αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter, PM) (Hong et al., 2019; Jassim et al., 2019). Όλα τα παραπάνω καθιστούν επιτακτική ανάγκη, την παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης των μηχανημάτων έργου κατά τη λειτουργία τους στα εργοτάξια.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση που ακολουθεί έχει στόχο να θέσει τις βάσεις δημιουργίας ενός συστήματος παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου των μηχανημάτων έργου και σύγκρισης των πραγματικών τιμών της (στα εργοτάξια) με τις θεωρητικές οριακές τιμές που προτείνει η βιβλιογραφία. Κατ' αρχάς, θα δοθεί το υπόβαθρο με το οποίο προκύπτουν οι βιβλιογραφικές οριακές τιμές κατανάλωσης. Στη συνέχεια, διερευνώνται νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα εργοτάξια για τη βέλτιστη παρακολούθηση της κατανάλωσης καυσίμου των μηχανημάτων έργου. Τέλος, επισημαίνονται υπάρχοντα συστήματα (εφαρμογές) παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου και μελετάται το γραφικό τους περιβάλλον.

2.1 Οριακές Τιμές Κατανάλωσης Καυσίμου των Μηχανημάτων Έργου

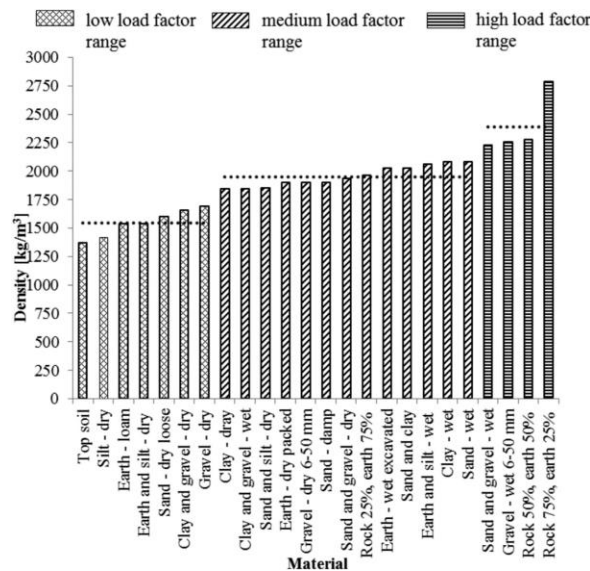
Η κατανάλωση καυσίμου από τα μηχανήματα έργου και ο υπολογισμός της, έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών. Σύμφωνα με τους Shehadeh et al. (2022), ο υπολογισμός και η καταμέτρηση της καταναλισκόμενης ποσότητας καυσίμου είναι πολύπλοκες διαδικασίες και βασίζονται στα εγχειρίδια που παρέχουν οι κατασκευαστικές εταιρείες των μηχανημάτων έργου. Τα εγχειρίδια αυτά περιλαμβάνουν τις αναμενόμενες τιμές κατανάλωσης καυσίμου για κάθε μηχανήμα έργου ανάλογα με το μέγεθος του μηχανήματος και τον συντελεστή φόρτισής του. Ο συντελεστής φόρτισης ενός μηχανήματος αναφέρεται στην ισχύ

που ουσιαστικά αυτό αποδίδει ανάλογα με τις συνθήκες στις οποίες λειτουργεί (Klanfar et al., 2016).

Παρατηρώντας τα εγχειρίδια ορισμένων γνωστών κατασκευαστών μηχανημάτων έργου (Caterpillar, Komatsu), διαπιστώνεται εύκολα ότι οι κατασκευαστικές εταιρείες προτείνουν τρεις κατηγορίες φόρτισης – συνθήκες λειτουργίας των μηχανημάτων (χαμηλή επιφόρτιση, μέση επιφόρτιση, υψηλή επιφόρτιση). Οι κατηγορίες αυτές έχουν να κάνουν με διάφορους παράγοντες λειτουργίας ενός μηχανήματος όπως: διάρκεια χρήσης του μηχανήματος (συνεχής ή διακοπτόμενη εργασία), λειτουργία (ή μη) στο ρελαντί, έδαφος (πυκνότητα, κλίση εδάφους) στο οποίο λειτουργεί το μηχάνημα, βάρος φορτίου (π.χ. χώμα) που “σηκώνει” το μηχάνημα κατά τη λειτουργία του.

Οι Trani et al. (2016) στη μελέτη τους επιχειρούν να δημιουργήσουν ένα σύστημα πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμου των μηχανημάτων έργου κατά την πραγματοποίηση χωματουργικών εργασιών. Η μέθοδος που χρησιμοποιούν ακολουθεί την εξής βηματική διαδικασία: Προσδιορισμός των χωματουργικών δραστηριοτήτων → Ανάλυση της κατανάλωσης καυσίμου κατά την πραγματοποίηση των χωματουργικών εργασιών στα εργοτάξια → Ανάλυση της κατανάλωσης καυσίμου λόγω μεταφορών → Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμου σε κατασκευαστικά έργα κατά τις χωματουργικές εργασίες.

Στο δεύτερο στάδιο της μεθόδου, οι ερευνητές δίνουν μεγάλη έμφαση στον υπολογισμό του συντελεστή φόρτισης των μηχανημάτων. Για τον λόγο αυτό συγκέντρωσαν και παρουσίασαν συνοπτικά (**Σχήμα 1, Πίνακας 1**) τις κατηγορίες του συντελεστή φόρτισης ανάλογα με το υλικό προς επεξεργασία και τον τύπο του εδάφους.



Σχήμα 1: Προσδιορισμός του συντελεστή φόρτισης ανάλογα με την πυκνότητα του υλικού

Πηγή: Trani et al. (2016)

Πίνακας 1: Προσδιορισμός του συντελεστή φόρτισης ανάλογα με τον τύπο του εδάφους

Identification of load factor values, depending on type of soil.

Type of soil	Material density in bank [kg/m ³]	Load factor range	Cluster mean	Load factor
Top soil	1370	L	1545.71	20%
Silt – dry	1420	L	1545.71	23%
Earth – loam	1540	L	1545.71	26%
Earth and silt – dry	1540	L	1545.71	29%
Sand – dry loose	1600	L	1545.71	31%
Clay and gravel – dry	1660	L	1545.71	34%
Gravel – dry	1690	L	1545.71	37%
Clay – dry	1840	M	1952.31	40%
Clay and gravel – wet	1840	M	1952.31	42%
Sand and silt – dry	1850	M	1952.31	43%
Earth – dry packed	1900	M	1952.31	45%
Gravel – dry 6–50 mm	1900	M	1952.31	47%
Sand – damp	1900	M	1952.31	48%
Sand and gravel – dry	1930	M	1952.31	50%
Rock 25%, earth 75%	1960	M	1952.31	52%
Earth – wet excavated	2020	M	1952.31	53%
Sand and clay	2020	M	1952.31	55%
Earth and silt – wet	2060	M	1952.31	57%
Clay – wet	2080	M	1952.31	58%
Sand – wet	2080	M	1952.31	60%
Sand and gravel – wet	2230	H	2390.00	65%
Gravel – wet 6–50 mm	2260	H	2390.00	70%
Rock 50%, earth 50%	2280	H	2390.00	75%
Rock 75%, earth 25%	2790	H	2390.00	80%

Πηγή: Trani et al. (2016)

Μια ακόμα ενδιαφέρουσα μελέτη σχετικά με τους συντελεστές φόρτισης των μηχανημάτων έργου και τις συνθήκες λειτουργίας στις οποίες αυτά χρησιμοποιούνται πραγματοποιήθηκε από τους Klanfar et al. (2016). Οι ερευνητές στοχεύουν στην ανάπτυξη μεθόδου εύρεσης των συντελεστών φόρτισης των μηχανημάτων έργου κατά την εξόρυξη πετρώδους υλικού και στην εκτίμηση των συντελεστών φόρτισης σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας των μηχανημάτων.

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο της μελέτης που πραγματοποιούν οι ερευνητές είναι η συγκέντρωση στοιχείων για τις συνθήκες λειτουργίας των μηχανημάτων έργου και ο χαρακτηρισμός της φόρτισης (χαμηλή, μέση, υψηλή). Οι Klanfar et al. (2016) ασχολούνται με συγκεκριμένα μηχανήματα έργου όπως: μπουλντόζες, εκσκαφείς, φορτηγά, τροχοφόρους φορτωτές και – χρησιμοποιώντας τα εγχειρίδια γνωστών κατασκευαστών (Caterpillar, Komatsu) – συνοψίζουν τις συνθήκες λειτουργίας των μηχανημάτων έργου ανάλογα με τη φόρτισή τους. Με τον τρόπο αυτό αναδεικνύουν τη σημασία γνώσης των συνθηκών λειτουργίας ενός μηχανήματος έργου ώστε να προκύψουν και οι συνθήκες φόρτισής του (χαμηλή, μέση, υψηλή).

Χρησιμοποιώντας τα προαναφερθέντα εγχειρίδια (Caterpillar, Komatsu) καταγράφονται στη συνέχεια (Πίνακας 2), οι τρεις συνθήκες λειτουργίας για συγκεκριμένα μηχανήματα έργου (τα πιο ενεργοβόρα σύμφωνα με την κατασκευαστική εταιρεία στην οποία εφαρμόστηκε το σύστημα παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου). Με βάση τις συνθήκες αυτές, προκύπτουν τα άνω και κάτω όρια κατανάλωσης ανά κατηγορία επιφόρτισης (τα εγχειρίδια των κατασκευαστών αναφέρουν τα αναμενόμενα εύρη καταναλώσεων ανά συνθήκη λειτουργίας).

Πίνακας 2: Συνθήκες λειτουργίας - φόρτισης των πιο ενεργοβόρων μηχανημάτων έργου²

<u>Εκσκαφείς</u>
<p>Υ.Ε.: Εφαρμογές σε σκληρό βραχώδες έδαφος. Εκσκαφή σε ποσοστό 90 – 95% του ημερήσιου προγράμματος</p> <p>Μ.Ε.: Εφαρμογές σε φυσικό αργιλώδες έδαφος. Εκσκαφή σε ποσοστό 60 – 85% του ημερήσιου προγράμματος. Φόρτωση κορμών δέντρων</p> <p>Χ.Ε.: Αστικές εφαρμογές σε αμμώδες χώμα. Εκσκαφή σε ποσοστό χαμηλότερο του 50% του ημερήσιου προγράμματος. Διαχείριση απορριμμάτων</p>
<u>Ισοπεδωτές Γαιών</u>
<p>Υ.Ε.: Διάστρωση υλικού βάσης, βαριά συντήρηση δρόμων</p> <p>Μ.Ε.: Μέση συντήρηση οδοστρώματος, εργασίες ανάμιξης οδοστρωμάτων</p> <p>Χ.Ε.: Ολοκλήρωση ισοπέδωσης, ήπια συντήρηση οδοστρώματος, οδικές μετακινήσεις</p>
<u>Πρωθητήρες Γαιών</u>
<p>Υ.Ε.: Λειτουργία του κινητήρα στη μέγιστη ισχύ. Ελάχιστο μέρος της λειτουργίας στο ρελαντί</p> <p>Μ.Ε.: Έντονες προωθήσεις υλικού. Μερική λειτουργία των μηχανημάτων στο ρελαντί και μετακινήσεις χωρίς φορτίο</p> <p>Χ.Ε.: Σημαντική λειτουργία του μηχανήματος στο ρελαντί. Μετακινήσεις χωρίς φορτίο</p>
<u>Οδοστρωτήρες (Δονητικοί)</u>
<p>Υ.Ε.: Δόνηση σε ποσοστό 80-100%, βαρύ συνεκτικό έδαφος, ανύψωση \geq των 305mm</p> <p>Μ.Ε.: Δόνηση σε ποσοστό 50-80%, κοκκώδες έδαφος, ανύψωση 100 mm έως 305 mm</p> <p>Χ.Ε.: Δόνηση σε ποσοστό 30-50%, έδαφος με μίγμα ασφάλτου, ανύψωση 51 mm έως 305 mm</p>
<u>Φορτωτές</u>
<p>Υ.Ε.: Φόρτωση πετρωμάτων</p> <p>Μ.Ε.: Συνεχής φόρτωση. Συχνές περιόδους λειτουργίας του μηχανήματος στο ρελαντί</p> <p>Χ.Ε.: Ελαφρές εργασίες. Σημαντική λειτουργία του μηχανήματος στο ρελαντί</p>
<u>Φορτηγά</u>
<p>Υ.Ε.: Μεγάλος χρόνος μεταφοράς σε δυσμενείς κλίσεις. Κακές συνθήκες οδοστρώματος με υψηλή αντίσταση κύλισης</p> <p>Μ.Ε.: Μεταβαλλόμενες συνθήκες φορτίου και οδοστρώματος. Ορισμένες φορές παρατηρούνται δυσμενείς κλίσεις ή υψηλή αντίσταση κύλισης</p> <p>Χ.Ε.: Σημαντική λειτουργία του μηχανήματος στο ρελαντί. Μικρές έως μεσαίες μεταφορές σε καλά συντηρημένο οδόστρωμα. Ελάχιστη αντίσταση κύλισης</p>
<u>Διαστρωτήρες</u>
<p>Υ.Ε.: Διάστρωση σε μεγάλο πλάτος και με βαθιά ανύψωση</p> <p>Μ.Ε.: Διάστρωση με πλάτος 3-4 m και ανύψωση 50-75 mm</p> <p>Χ.Ε.: Διάστρωση στενού πλάτους</p>

Πηγή: Caterpillar (1998 και 2016) και Komatsu (2009)

² Ως Χ.Ε. συμβολίζεται η Χαμηλή Επιφόρτιση, ως Μ.Ε. η Μέση Επιφόρτιση και ως Υ.Ε. η Υψηλή Επιφόρτιση.

Μια πρόσφατη μελέτη του Μετροτεχνικού Εργαστηρίου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ στην ενεργειακή αξιολόγηση των μηχανημάτων έργου (Κονίδας, 2022), ανέδειξε μαθηματικές εξισώσεις (**Πίνακας 3**) με τις οποίες υπολογίζονται, ανά κατηγορία μηχανήματος έργου, τα άνω και κάτω όρια της κατανάλωσης καυσίμου (fuel consumption, fc σε $\frac{l}{h}$) σε κάθε συνθήκη φόρτισής του και σε συνάρτηση με την ισχύ (Power, P σε kW) του μηχανήματος.

Πίνακας 3: Εξισώσεις συσχέτισης κατανάλωσης καυσίμου με την ισχύ

<u>Εκσκαφείς</u>	
Χ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.1100 \cdot P - 5.6066$	Χ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1371 \cdot P - 4.1353$
Μ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.1420 \cdot P - 4.2219$	Μ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1601 \cdot P - 1.6737$
Υ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.1657 \cdot P - 2.1064$	Υ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1972 \cdot P - 0.4920$
<u>Οδοστρωτήρες</u>	
Χ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.0990 \cdot P + 2.0389$	Χ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.0967 \cdot P + 3.9485$
Μ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.1030 \cdot P + 3.4022$	Μ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1091 \cdot P + 5.5304$
Υ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.1263 \cdot P + 3.6393$	Υ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1249 \cdot P + 7.2519$
<u>Ισοπεδωτές Γαιών</u>	
Χ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.0723 \cdot P + 0.7866$	Χ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.0928 \cdot P + 2.3541$
Μ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.0929 \cdot P + 2.2830$	Μ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1431 \cdot P + 1.8454$
Υ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.1434 \cdot P + 1.7643$	Υ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1907 \cdot P + 1.8562$
<u>Φορτωτές</u>	
Χ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.0867 \cdot P - 1.0272$	Χ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1117 \cdot P - 0.5521$
Μ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.1181 \cdot P - 0.6729$	Μ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1436 \cdot P - 0.2182$
Υ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.1523 \cdot P - 0.4850$	Υ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1863 \cdot P - 0.3142$
<u>Προωθητήρες Γαιών</u>	
Χ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.0927 \cdot P + 2.0881$	Χ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1215 \cdot P + 3.0255$
Μ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.1279 \cdot P + 2.9250$	Μ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1563 \cdot P + 4.3891$
Υ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.1630 \cdot P + 4.3169$	Υ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1916 \cdot P + 5.7394$
<u>Φορτηγά</u>	
Χ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.0575 \cdot P - 2.4505$	Χ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.0738 \cdot P + 0.4251$
Μ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.0756 \cdot P - 0.1010$	Μ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.0961 \cdot P + 3.1801$
Υ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.097 \cdot P + 2.7885$	Υ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1215 \cdot P + 6.5111$
<u>Διαστρωτήρες</u>	
Χ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.0538 \cdot P + 12.222$	Χ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.0555 \cdot P + 15.800$
Μ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.0760 \cdot P + 14.517$	Μ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.0747 \cdot P + 18.386$
Υ.Ε. (κάτω όριο): $fc = 0.0955 \cdot P + 19.399$	Υ.Ε. (άνω όριο): $fc = 0.1003 \cdot P + 22.436$

Πηγή: Κονίδας (2022)

Ειδικότερα, στη μελέτη αυτή (Κονίδας, 2022), επιβεβαιώθηκε μέσω των εγχειριδίων των κατασκευαστών, ότι η κατανάλωση καυσίμου των μηχανημάτων έργου επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από την ισχύ. Έτσι, δημιουργήθηκαν, μέσω γραμμικής παρεμβολής μεταξύ των τιμών κατανάλωσης καυσίμου που αναγράφονται στα εγχειρίδια, οι γραμμικές εξισώσεις που συσχετίζουν την κατανάλωση καυσίμου με την ισχύ και καταγράφηκαν προηγουμένως (Πίνακας 3).

2.2 Χρήση αισθητήρων και Διαδικτύου των Πραγμάτων για τη μέτρηση μεγεθών στα μηχανήματα έργου

Η εξέλιξη της τεχνολογίας δεν θα μπορούσε να αφήσει ανεπηρέαστο τον κατασκευαστικό κλάδο. Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί εστιάζοντας στη χρήση αισθητήρων για τη μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου (ή άλλων μεγεθών) στα μηχανήματα έργου, μέσω της αξιοποίησης του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things).

Οι Hong et al. (2019) αναγνωρίζοντας την αρνητική επίδραση της αυξημένης ενεργειακής κατανάλωσης που παρατηρείται στα εργοτάξια αλλά και των μεγάλων ποσοτήτων σκόνης που εκπέμπονται σ' αυτά, επιβαρύνοντας έτσι το περιβάλλον, περιγράφουν στη μελέτη τους τη δημιουργία ενός πλαισίου μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης και της αναδυσόμενης σκόνης. Το προτεινόμενο πλαίσιο χρησιμοποιεί συσκευές παρακολούθησης των δύο μεγεθών (κατανάλωση ενέργειας, σκόνη) σε πραγματικό χρόνο μέσω ενός δικτύου αισθητήρων. Οι ερευνητές προτείνουν την ακόλουθη διαδικασία εφαρμογής του πλαισίου:

1. Προσδιορισμός των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας και την εκπομπή σκόνης στα εργοτάξια
2. Ανάπτυξη συσκευών παρακολούθησης της αναδυσόμενης σκόνης και της καταναλωθείσας ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες θα χρησιμοποιούν δίκτυο αισθητήρων
3. Ανάπτυξη μεθόδων αξιολόγησης των μετρούμενων μεγεθών σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες θα χρησιμοποιούν Μεγάλα Δεδομένα (Big Data)
4. Διαμόρφωση διορθωτικών λύσεων σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες θα χρησιμοποιούν Μηχανική Μάθηση
5. Συστηματοποίηση των βημάτων 2, 3 και 4
6. Ανάπτυξη “έξυπνου” συστήματος για την αυτοματοποιημένη διαχείριση των ποσοτήτων αναδυσόμενης σκόνης και καταναλωθείσας ενέργειας στα εργοτάξια

Μια εφαρμογή του παραπάνω πλαισίου επιδιώκουν να κάνουν οι Pereira et al. (2021). Στη μελέτη τους, θέτουν ως στόχο τη δημιουργία ενός προβλεπτικού μοντέλου που θα εκτιμά την κατανάλωση καυσίμου μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Οι αλγόριθμοι αυτοί

αξιοποιούν δεδομένα από το πεδίο (εργοτάξιο) που παραλαμβάνονται μέσω αισθητήρων, οι οποίοι λειτουργούν βάσει του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things).

Οι ερευνητές αρχικά κάνουν επιλογή των παραμέτρων που εκτιμούν ότι σχετίζονται με την κατανάλωση καυσίμου (π.χ. συντεταγμένες οχήματος, βάρος φορτίου, επιτάχυνση οχήματος). Στη συνέχεια, αναγνωρίζοντας την ανάγκη ύπαρξης μεγάλου όγκου δεδομένων προκειμένου να είναι αποτελεσματικά τα προβλεπτικά μοντέλα, επισημαίνουν ότι είναι απαραίτητη η συλλογή δεδομένων για μήνες. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται μέσω διαδικτύου από τους αισθητήρες και αποθηκεύονται στο νέφος (Cloud) ενώ τις στιγμές που δεν είναι εφικτή η σύνδεση στο διαδίκτυο αποθηκεύονται τοπικά σε κάποια συσκευή αποθήκευσης (Ενιαίο Σειριακό Δίαυλο/Universal Serial Bus, δηλαδή USB) και όταν υπάρξει δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο αποθηκεύονται στο νέφος. Με την αποστολή και την αποθήκευση των δεδομένων στο νέφος δημιουργείται μία βάση δεδομένων, η οποία πλέον μπορεί να τροφοδοτήσει διάφορους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης όπως: ο αλγόριθμος των τυχαίων δασών (Random Forests, RFs) και τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks, ANNs).

Οι ερευνητές καταλήγουν ότι το προβλεπτικό μοντέλο που δημιούργησαν για την πρόγνωση της κατανάλωσης καυσίμου, αν και παρουσιάζει σφάλματα σε σχέση με τις πραγματικές τιμές της κατανάλωσης, είναι υποσχόμενο με βάση τα αποτελέσματά του, υποστηρίζοντας ότι αποτελεί το πρώτο βήμα για την εφαρμογή μεθόδων μηχανικής μάθησης στο πλαίσιο του Διαδικτύου των Πραγμάτων, στον κατασκευαστικό τομέα. Επιπλέον, επισημαίνουν ότι η τροφοδότηση του μοντέλου με μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων, θα ευνοούσε την εξαγωγή πιο έμπιστων και γενικεύσιμων αποτελεσμάτων.

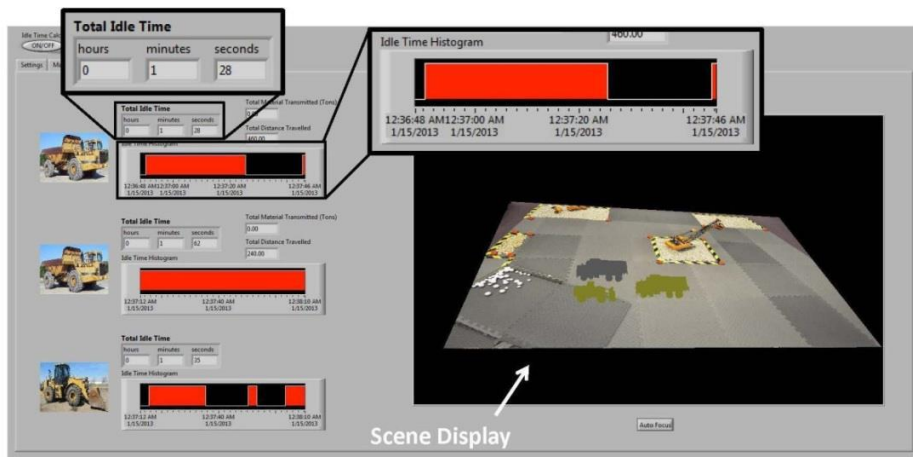
Μια άλλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Akhavian και Behzadan (2013), επιχειρεί να αξιολογήσει, μέσω της χρήσης αισθητήρων, τον χρόνο που τα μηχανήματα έργου λειτουργούν στο ρελαντί. Οι ερευνητές αναγνωρίζοντας την επίδραση που έχει στην κατανάλωση καυσίμου, η λειτουργία των μηχανημάτων στο ρελαντί, προτείνουν την παρακολούθηση των χρόνων αδράνειας μέσω ενός κατανεμημένου δικτύου αισθητήρων, το οποίο συλλέγει δεδομένα από τον εξοπλισμό και τα αποστέλλει σε μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Κατόπιν της επεξεργασίας των δεδομένων και εφόσον το μηχανήμα ξεπερνά έναν ορισμένο αποδεκτό χρόνο αδράνειας, τότε αποστέλλονται ειδοποιήσεις στο αρμόδιο προσωπικό προκειμένου να επιλυθεί το πρόβλημα. Η χρήση του συστήματος που περιγράφεται, συμβάλλει, όχι μόνο στη διόρθωση των προβλημάτων που παρατηρούνται σε πραγματικό χρόνο στα εργοτάξια, αλλά και στη δυνατότητα πραγματοποίησης ανάλυσης ως προς το γιατί και πότε ο εξοπλισμός αδρανοποιήθηκε.

2.3 Εφαρμογές παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμου – Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη

Η παρακολούθηση της κατανάλωσης καυσίμου μέσω εφαρμογών υπολογιστή έχει αποτελέσει αντικείμενο εργασίας για διάφορους ερευνητές. Οι εφαρμογές αυτές δεν έχουν άλλο στόχο,

από το να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στον κατασκευαστικό τομέα (Akhavian και Behzadan, 2013). Την ανάγκη δημιουργίας εφαρμογών με εύχρηστο γραφικό περιβάλλον για την καλύτερη παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας στον κατασκευαστικό τομέα, τονίζουν και οι Hong et al. (2019). Επιπλέον, οι Pereira et al. (2021) επισημαίνουν ότι μια πιθανή εφαρμογή της μελέτης τους (όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 2.2) είναι η ανάπτυξη εφαρμογής που θα δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να εισάγει ορισμένες παραμέτρους (π.χ. συντεταγμένες οχήματος, βάρος φορτίου) και στη συνέχεια θα δίνει ως αποτέλεσμα την πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμου.

Οι Akhavian και Behzadan (2013) στην προσπάθειά τους να αξιολογήσουν τη χρονική διάρκεια που τα μηχανήματα έργου παραμένουν αδρανή (όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 2.2), ανέπτυξαν εφαρμογή που διευκολύνει την παρακολούθηση των διαστημάτων αδράνειας. Όπως επισημαίνουν, το γραφικό περιβάλλον χρήστη (Graphical User Interface) της εφαρμογής τους, έχει κύριο στόχο την επικοινωνία με τον χρήστη και την ενημέρωσή του για την κατάσταση του εξοπλισμού (αδρανής ή σε χρήση). Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 1**, το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής που σχεδιάστηκε, εμφανίζει στο αριστερό τμήμα της οθόνης αριθμητικά δεδομένα για το χρονικό διάστημα που διάφορα μηχανήματα του εξοπλισμού βρίσκονται σε αδράνεια. Στο δεξιό τμήμα της οθόνης υπάρχει εικονική αναπαράσταση του εργοταξίου, στην οποία αποδίδεται με διαφορετικό χρώμα η κατάσταση κάθε μηχανήματος (γκρι όταν βρίσκεται σε χρήση, κίτρινο που αναβοσβήνει όταν είναι αδρανές εκείνη τη στιγμή, κίτρινο και κόκκινο που αναβοσβήνει όταν έχει ξεπεράσει το αποδεκτό χρονικό όριο αδράνειας).

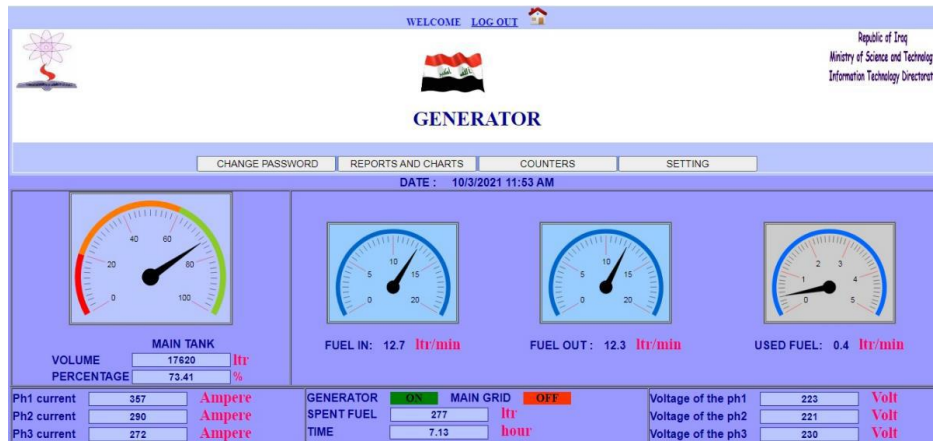


Εικόνα 1: Γραφικό περιβάλλον χρήστη (GUI) εφαρμογής για την ανάλυση του χρονικού διαστήματος που τα μηχανήματα λειτουργούν στο ρελαντί

Πηγή: (Akhavian και Behzadan, 2013)

Οι Al-Chalabi et al. (2021) στη μελέτη τους περιγράφουν τη δημιουργία ενός συστήματος για την παρακολούθηση και μέτρηση της καταναλωθείσας ποσότητας καυσίμου με

αυτοματοποιημένο τρόπο. Για την ανάπτυξη του συστήματος αυτού, πρότειναν την υλοποίηση εφαρμογής που διευκολύνει την επίτευξη του στόχου τους. Έτσι, κατέληξαν στο γραφικό περιβάλλον που φαίνεται στην **Εικόνα 2** και στην **Εικόνα 3**. Ο χρήστης της εφαρμογής έχει τη δυνατότητα να βλέπει στοιχεία για την ποσότητα καυσίμου που έχει εισαχθεί σε κάποιο όχημα, την ποσότητα καυσίμου που έχει καταναλωθεί, να λαμβάνει διαγράμματα που αποτυπώνουν την κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο αλλά και να εξάγει αναφορές (reports) για την κατανάλωση καυσίμου.



Εικόνα 2: Κυρίως γραφικό περιβάλλον εφαρμογής παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου

Πηγή: (Al-Chalabi et al. 2021)



Εικόνα 3: Απεικόνιση της κατανάλωσης καυσίμου σε συνάρτηση με τον χρόνο

Πηγή: Al-Chalabi et al. (2021)

2.4 Ολοκλήρωση βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Όλα όσα αναφέρονται στις Ενότητες **2.1**, **2.2** και **2.3**, θέτουν τις βάσεις δημιουργίας ενός συστήματος παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου των μηχανημάτων έργου, που αποτελεί και τον τελικό στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το σύστημα αυτό, καλείται να συμβάλει στην παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης, μέσω μιας εφαρμογής, η οποία θα παρέχει ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον και θα δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης των πραγματικών τιμών των καταναλώσεων με τις αναμενόμενες τιμές βάσει βιβλιογραφίας.

Στο σημείο αυτό εντοπίζεται το κενό της βιβλιογραφίας, το οποίο καλείται να καλύψει η παρούσα εργασία. Αν και υπάρχουν συστήματα παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου ή άλλων μεγεθών των μηχανημάτων έργου, εντούτοις δεν υπάρχει ένα σύστημα, το οποίο να δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης των μεγεθών αυτών με τις αναμενόμενες τιμές που προτείνει η βιβλιογραφία.

Οι αναμενόμενες τιμές της κατανάλωσης καυσίμου (βάσει βιβλιογραφίας) στην παρούσα εργασία προκύπτουν από τις εξισώσεις που περιλαμβάνει ο **Πίνακας 3**. Έτσι, η εφαρμογή, ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος που μελετάται, επιλέγει την κατάλληλη εξίσωση για τον υπολογισμό των άνω και κάτω ορίων κατανάλωσης (ανά συνθήκη φόρτισης) για το συγκεκριμένο μηχανήμα.

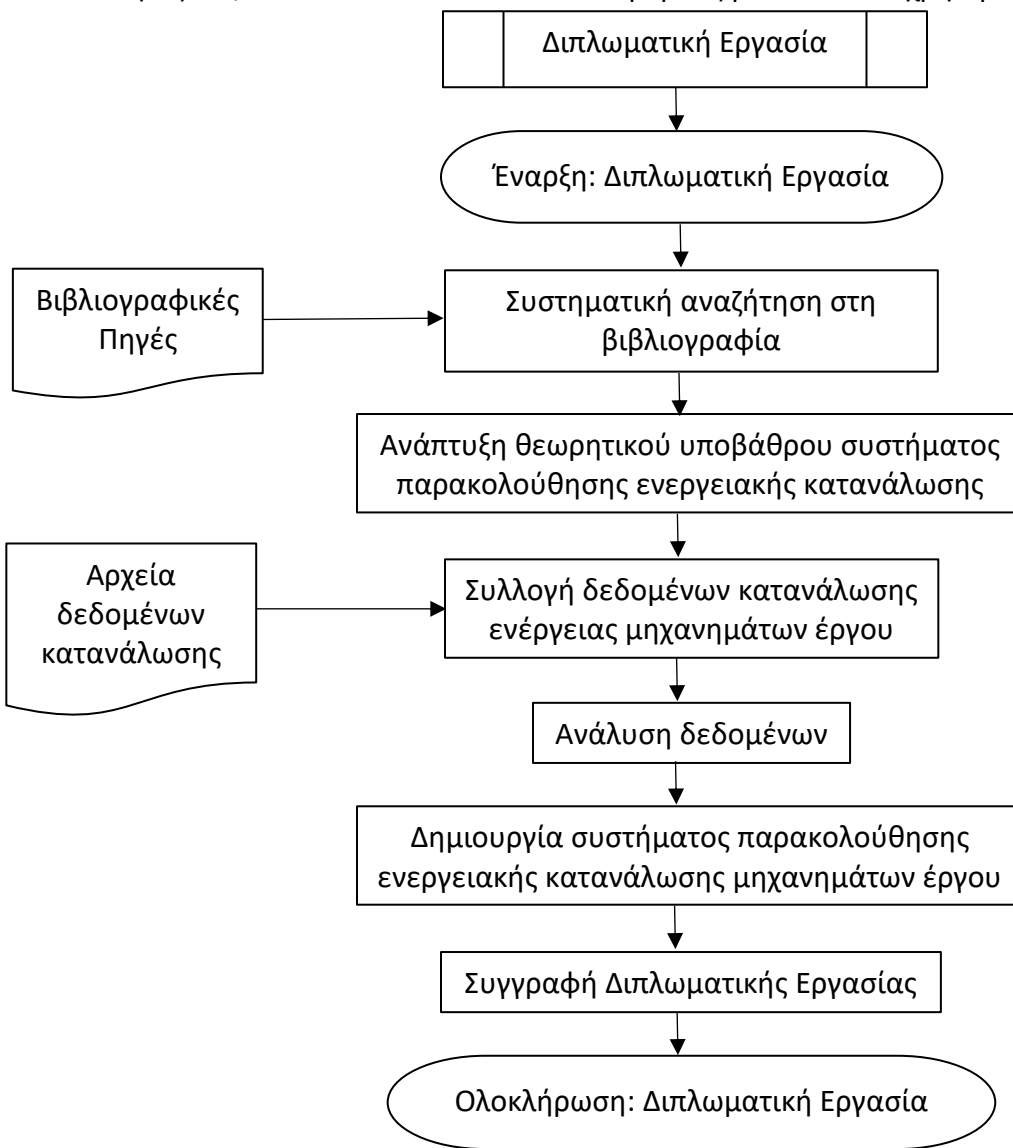
Επιπλέον, κατά τον σχεδιασμό της εφαρμογής που αναπτύχθηκε, δόθηκε έμφαση στο γραφικό περιβάλλον του χρήστη λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά παρόμοιων συστημάτων παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας που δημιουργήθηκαν από άλλους ερευνητές (Ενότητα **2.3**).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και επισημαίνεται αναλυτικότερα στην Ενότητα **4.1**, η εφαρμογή που αναπτύχθηκε, σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί σε έργα μεγάλης κατασκευαστικής εταιρείας. Κατόπιν απόφασης της εταιρείας, το σύστημα παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης που δημιουργήθηκε δεν χρησιμοποιεί δίκτυο αισθητήρων εγκατεστημένο στα μηχανήματα έργου και οι μετρήσεις των μεγεθών πραγματοποιούνται χειροκίνητα σε αντίθεση με όσα αναφέρονται στην Ενότητα **2.2**.

3. Μεθοδολογία

3.1 Μέθοδοι έρευνας

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, έγινε επιλογή συγκεκριμένων μεθόδων προκειμένου να υλοποιηθεί το σύστημα παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης μηχανημάτων έργου. Ειδικότερα, έγινε μελέτη της βιβλιογραφίας για να θεμελιωθεί θεωρητικά το σύστημα που δημιουργείται, ακολουθήθηκε η ευέλικτη μεθοδολογία ανάπτυξης λογισμικού (agile development methodology) για τον σχεδιασμό της εφαρμογής και πραγματοποιήθηκε μελέτη περίπτωσης σε μεγάλη κατασκευαστική εταιρεία. Ακολουθεί ένα διάγραμμα ροής (Σχήμα 2) στο οποίο περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν στην εργασία ενώ στις Ενότητες 3.2, 3.3 και 3.4 αναλύονται οι επιμέρους μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 2: Διάγραμμα Ροής Διπλωματικής Εργασίας

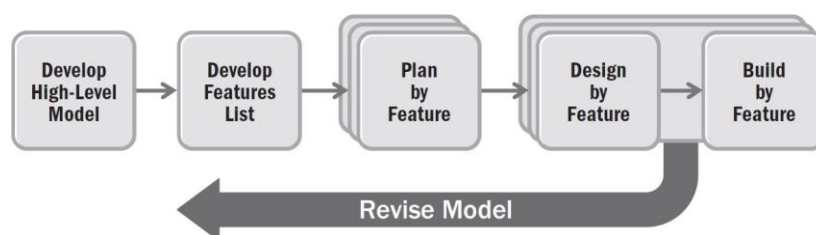
3.2 Μελέτη Βιβλιογραφίας

Η μελέτη της βιβλιογραφίας επιλέχθηκε ως επιστημονική μέθοδος κατά την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας με στόχο, αφενός τη συγκέντρωση επιστημονικών δεδομένων σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση των μηχανημάτων έργου στα εργοτάξια και αφετέρου τη δημιουργία μιας θεωρητικής βάσης στην οποία θα αναπτυχθεί το σύστημα παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου των μηχανημάτων αυτών.

Για την εύρεση των βιβλιογραφικών πηγών πραγματοποιήθηκε αναζήτηση σε γνωστές βιβλιογραφικές βάσεις δεδομένων και συγκεκριμένα στο Scopus και στο Google Scholar. Οι πλατφόρμες αυτές δίνουν τη δυνατότητα αναζήτησης επιστημονικών κειμένων μέσω λέξεων – κλειδιά. Στην παρούσα εργασία αναζητήθηκαν επιστημονικά άρθρα που περιείχαν τους όρους: “energy consumption”, “fuel consumption”, “construction machinery”, “earthmoving”, “earthworking”, “graphical user interface”, “monitoring system”, “internet of things”, “industry 4.0”, “sensors”. Στη συνέχεια, έγινε επιλογή στα επιστημονικά κείμενα που χρησιμοποιήθηκαν στη διπλωματική εργασία με βάση τη συνάφειά τους με το προς εξέταση αντικείμενο της εργασίας. Έτσι, πραγματοποιήθηκε η βιβλιογραφική ανασκόπηση της Ενότητας 2.

3.3 Ευέλικτη Μεθοδολογία Ανάπτυξης Λογισμικού (Agile Development Methodology)

Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε εφαρμογή, η οποία δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου των μηχανημάτων έργου μεγάλης κατασκευαστικής εταιρείας. Η ανάπτυξη της εφαρμογής βασίστηκε στην ευέλικτη μεθοδολογία ανάπτυξης λογισμικού (agile development methodology). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή (Project Management Institute, 2017), η δημιουργία λογισμικού βασίζεται στην ανάπτυξη μοντέλου υψηλού επιπέδου, τον καταρτισμό της λίστας δυνατοτήτων της εφαρμογής και τον προγραμματισμό, τον σχεδιασμό και την υλοποίηση της κάθε δυνατότητας μέσα από τη διαρκή αναθεώρηση του μοντέλου. Σχηματικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4):



Εικόνα 4: Ευέλικτη μεθοδολογία ανάπτυξης λογισμικού

Πηγή: Project Management Institute (2017)

3.4 Μελέτη Περίπτωσης (Case Study)

Η μελέτη περίπτωσης (case study) αποτελεί την τρίτη μέθοδο που επιλέχθηκε στη διπλωματική εργασία. Σύμφωνα με τον Zainal (2007), η μελέτη περίπτωσης συνιστά μια ισχυρή επιστημονική μέθοδο, ιδιαίτερα όταν απαιτείται εις βάθος και ολιστική έρευνα. Ο ίδιος ερευνητής επισημαίνει ότι οι μελέτες περίπτωσης συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση των φαινομένων σε σχέση με τη διενέργεια, αποκλειστικά, θεωρητικής έρευνας. Επιπλέον, η μελέτη περίπτωσης που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία έδωσε τη δυνατότητα έμπρακτης εφαρμογής των θεωρητικών γνώσεων που αποκτήθηκαν κατά τη βιβλιογραφική μελέτη.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι έντονα εφαρμοσμένη καθώς το σύστημα παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης που δημιουργείται, πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην πράξη από μεγάλη κατασκευαστική εταιρεία. Επομένως, η διενέργεια μελέτης περίπτωσης ήταν απολύτως αναγκαία.

Λεπτομέρειες σχετικά με την εταιρεία στην οποία πραγματοποιήθηκε η μελέτη περίπτωσης αναφέρονται στην Ενότητα **4.1**.

3.5 Θέματα ηθικής κατά τη μελέτη

Η διαδικασία υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας οφείλει να μην παρεκκλίνει από τους κανόνες ηθικής που διέπουν την επιστημονική έρευνα. Έτσι, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας αποδόθηκαν όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (αποφυγή λογοκλοπής). Επιπλέον, κατόπιν επιθυμίας της κατασκευαστικής εταιρείας στην οποία πραγματοποιήθηκε η μελέτη περίπτωσης, τηρήθηκε ανωνυμία τόσο στο όνομα της εταιρείας όσο και στις τοποθεσίες των εργοταξίων που αναφέρονται εντός της εργασίας.

4. Δημιουργία Συστήματος Παρακολούθησης Ενεργειακής Κατανάλωσης Μηχανημάτων Έργου

4.1 Μελέτη Περίπτωσης σε Κατασκευαστική Εταιρεία

Όπως έχει αναφερθεί το σύστημα παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης μηχανημάτων έργου που δημιουργείται στην παρούσα εργασία, σχεδιάζεται για να χρησιμοποιηθεί σε γνωστή κατασκευαστική εταιρεία. Παρακάτω δίνονται ορισμένα στοιχεία της εταιρείας (το όνομα της οποίας δεν γίνεται γνωστό, κατόπιν επιθυμίας της).

Η εν λόγω εταιρεία αποτελεί μια από τις ισχυρότερες εταιρείες στον κατασκευαστικό κλάδο της χώρας. Δραστηριοποιείται για δεκαετίες στην Ελλάδα, εκτελώντας τόσο Δημόσια όσο και Ιδιωτικά έργα, που αφορούν τους τομείς των υποδομών, της ενέργειας, του περιβάλλοντος και των παραχωρήσεων. Τα έργα αυτά είναι χαρακτηριστικά για τις πολύπλοκες απαιτήσεις τους σε τεχνολογία και για τον υψηλό τους προϋπολογισμό. Επισημαίνεται τέλος ότι η συγκεκριμένη εταιρεία αναλαμβάνει αρκετά από τα μεγαλύτερα έργα που κατασκευάζονται στον Ελληνικό χώρο ενώ οι δραστηριότητές της επεκτείνονται και σε χώρες του εξωτερικού.

4.2 Εφαρμογή παρακολούθησης ενεργειακής κατανάλωσης μηχανημάτων έργου

Η κατασκευαστική εταιρεία στην οποία πραγματοποιήθηκε η μελέτη περίπτωσης, αναγνωρίζοντας την απουσία ενός συστήματος παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου των μηχανημάτων έργου της, έθεσε ως στόχο τη δημιουργία μιας εφαρμογής που θα λειτουργεί στο λογισμικό του Excel. Η εφαρμογή αυτή, μέσα από ένα φιλικό για τον χρήστη γραφικό περιβάλλον, καλείται να δημιουργεί διαγραμματικές απεικονίσεις της κατανάλωσης καυσίμου σε συνάρτηση με τον χρόνο, και σύγκρισής της με τα αναμενόμενα όρια καταναλώσεων ανάλογα με τις συνθήκες φόρτισης των μηχανημάτων. Οι διαγραμματικές αυτές απεικονίσεις αφορούν το **Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία** ή **Διάγραμμα Σύγκρισης της Κατανάλωσης Καυσίμου με τις αναμενόμενες τιμές βάσει Βιβλιογραφίας** (Δ.Σ.Κ.Κ.Β.).

Επιπλέον, η εφαρμογή έχει ως στόχο να παρέχει τη δυνατότητα σύγκρισης της κατανάλωσης καυσίμου με κάποιο (οριζόμενο από τον χρήστη) συγκεκριμένο τρίμηνο λειτουργίας του μηχανήματος, δημιουργώντας το **Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο** ή **Διάγραμμα Σύγκρισης της Κατανάλωσης Καυσίμου με τη μέση κατανάλωση ενός συγκεκριμένου Τριμήνου** (Δ.Σ.Κ.Κ.Τ.).

Στις ενότητες που ακολουθούν (4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 και 4.2.5), περιγράφονται οι δυνατότητες της εφαρμογής που δημιουργήθηκε καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτή υλοποιήθηκε. Στην Ενότητα 5, φαίνεται η λειτουργία της εφαρμογής στην πράξη.

4.2.1 Γραφικό Περιβάλλον Εφαρμογής

Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής που δημιουργήθηκε διαθέτει 3 κύριες και 2 βοηθητικές οθόνες, μέσα από τις οποίες επιτυγχάνεται η διεπαφή με τον χρήστη. Οι οθόνες αυτές φαίνονται στις παρακάτω εικόνες (**Εικόνα 5, Εικόνα 6, Εικόνα 7, Εικόνα 8, Εικόνα 9**) ενώ παράλληλα εξηγείται και η χρήση τους.

1^η κύρια οθόνη (αρχική οθόνη) εφαρμογής

Μεγάλη Κατασκευαστική Εταιρεία

Παρακολούθηση Κατανάλωσης Καυσίμου των Μηχανημάτων Έργου

Καλωσήρθατε στο χώρο της παρούσας εφαρμογής, η οποία δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου για τα μηχανήματα έργου της Μεγάλης Κατασκευαστικής Εταιρείας!

Η εφαρμογή έχει τη δυνατότητα δημιουργίας δύο διαφορετικών διαγραμμάτων, όπως εξηγείται στα δεξιά της οθόνης.

Έξοδος από την εφαρμογή

Διάγραμμα στο οποίο συγκρίνεται η μέση κατανάλωση καυσίμου για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και για ένα συγκεκριμένο μηχάνημα έργου με τα όρια κατανάλωσης καυσίμου που υποδεικνύει η βιβλιογραφία (Διάγραμμα Σύγκρισης Κατανάλωσης Καυσίμου με τα όρια κατανάλωσης που θέτει η Βιβλιογραφία, Δ.Σ.Κ.Κ.Β).

Έτσι, προκύπτουν συμπεράσματα για το εάν οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου ξεπερνούν ή όχι τις οριακές τιμές κατανάλωσης που αναφέρονται στη βιβλιογραφία ανάλογα με τη φόρτιση των μηχανημάτων.

Για τη δημιουργία του Δ.Σ.Κ.Κ.Β. πιέστε στο διπλανό κουμπί: **Σύγκριση με Βιβλιογραφία**

Διάγραμμα στο οποίο συγκρίνεται η μέση κατανάλωση καυσίμου για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και για ένα συγκεκριμένο μηχάνημα έργου με τη μέση κατανάλωση ενός συγκεκριμένου τριμήνου του ίδιου μηχανήματος στο ίδιο εργοστάσιο (Διάγραμμα Σύγκρισης Κατανάλωσης Καυσίμου με την κατανάλωση συγκεκριμένου Τριμήνου, Δ.Σ.Κ.Κ.Τ).

Έτσι, προκύπτουν συμπεράσματα για το εάν οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου ξεπερνούν ή όχι τη μέση κατανάλωση του μηχανήματος για ένα συγκεκριμένο τρίμηνο (το τρίμηνο αποτελεί τη βάση σύγκρισης).

Για τη δημιουργία του Δ.Σ.Κ.Κ.Τ. πιέστε στο διπλανό κουμπί: **Σύγκριση με Τρίμηνο**

Εικόνα 5: Αρχική οθόνη εφαρμογής παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμου

Στην αρχική οθόνη της εφαρμογής, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει μία από τις παρακάτω ενέργειες:

- Εκκίνηση διαδικασίας για τη δημιουργία διαγράμματος σύγκρισης της κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές βάσει βιβλιογραφίας (κουμπί *Σύγκριση με Βιβλιογραφία*), οπότε ο χρήστης μεταφέρεται στη 2^η κύρια οθόνη της εφαρμογής
- Εκκίνηση διαδικασίας για τη δημιουργία διαγράμματος σύγκρισης της κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τη μέση κατανάλωση ενός συγκεκριμένου τριμήνου (Κουμπί *Σύγκριση με Τρίμηνο*), οπότε ο χρήστης μεταφέρεται στην 3^η κύρια οθόνη της εφαρμογής
- Έξοδο από την εφαρμογή (Κουμπί *Έξοδος από την Εφαρμογή*)

2^η κύρια οθόνη εφαρμογής (δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης της Κατανάλωσης Καυσίμου με τις αναμενόμενες τιμές βάσει Βιβλιογραφίας, Δ.Σ.Κ.Κ.Β.)

Εικόνα 6: 2^η κύρια οθόνη εφαρμογής παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμου

3^η κύρια οθόνη εφαρμογής (δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης της Κατανάλωσης Καυσίμου με τη μέση κατανάλωση συγκεκριμένου Τριμήνου, Δ.Σ.Κ.Κ.Τ.)

Εικόνα 7: 3^η κύρια οθόνη εφαρμογής παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμου

Η 2^η και 3^η κύρια οθόνη της εφαρμογής δίνουν τη δυνατότητα εισαγωγής των απαραίτητων στοιχείων για τη δημιουργία του Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία και του Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο, όπως αναλυτικότερα περιγράφεται στην Ενότητα 4.2.2. Οι δυνατότητες που προσφέρονται (μέσω των σχετικών κουμπιών) στην αριστερά πλευρά και των δύο οθονών, αναλύονται στην Ενότητα 4.2.3.

1^η βοηθητική οθόνη εφαρμογής

Εικόνα 8: 1^η βοηθητική οθόνη εφαρμογής παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου

2^η βοηθητική οθόνη εφαρμογής

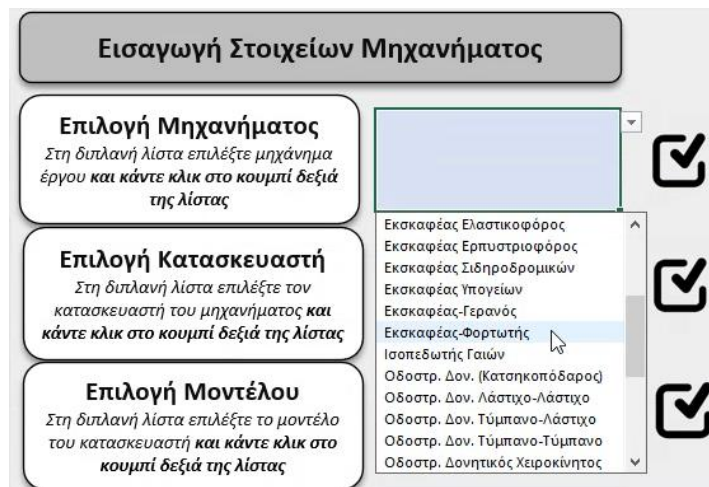
Εικόνα 9: 2^η βοηθητική οθόνη εφαρμογής παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου

Η 1^η και 2^η βοηθητική οθόνη εμφανίζονται μετά τη συμπλήρωση των πεδίων της 2^{ης} και 3^{ης} κύριας οθόνης, αντίστοιχα. Ο χρήστης (εφόσον έχει συμπληρώσει τα στοιχεία της 2^{ης} ή 3^{ης} κύριας οθόνης) λαμβάνει συνοπτική παρουσίαση των στοιχείων του μηχανήματος για το οποίο έχει ζητήσει την εξαγωγή διαγράμματος καθώς και προεπισκόπηση του διαγράμματος (στη δεξιά πλευρά της οθόνης). Κατόπιν, εφόσον το επιθυμεί, μπορεί να αποθηκεύσει το διάγραμμα (Κουμπί Αποθήκευση Δ.Σ.Κ.Κ.Β. ή Αποθήκευση Δ.Σ.Κ.Κ.Τ. αντίστοιχα).

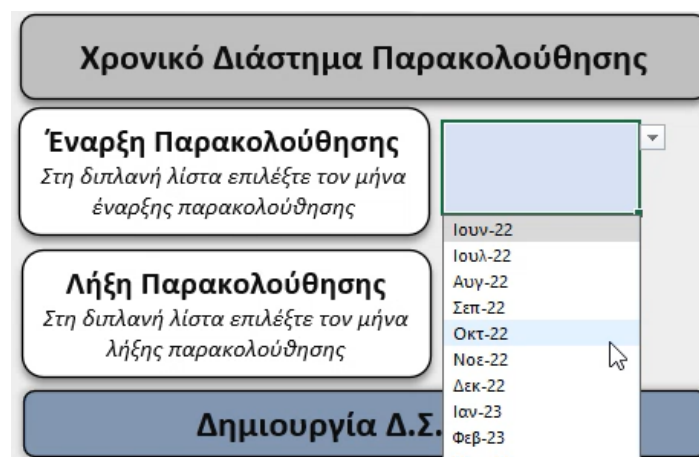
4.2.2 Εισαγωγή στοιχείων μέσω αναπτυσσόμενων λιστών (drop – down lists) και κουμπι επικύρωσης

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο χρήστης της εφαρμογής, για να εξάγει το επιθυμητό κάθε φορά διάγραμμα (Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία ή Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο), καλείται να εισάγει ορισμένα βασικά στοιχεία που σχετίζονται με το μηχάνημα (τύπος, κατασκευαστής και μοντέλο μηχανήματος), το εργοτάξιο (τοποθεσία εργοταξίου) αλλά και το χρονικό διάστημα παρακολούθησης (μήνας έναρξης και λήξης παρακολούθησης).

Προκειμένου να διευκολυνθεί ο χρήστης, η εφαρμογή σχεδιάστηκε ώστε η εισαγωγή των απαραίτητων στοιχείων του διαγράμματος να γίνεται μέσα από αναπτυσσόμενες λίστες (drop – down lists), όπως φαίνεται στην **Εικόνα 10** και στην **Εικόνα 11**.



Εικόνα 10: Αναπτυσσόμενη λίστα για την επιλογή του τύπου του μηχανήματος έργου

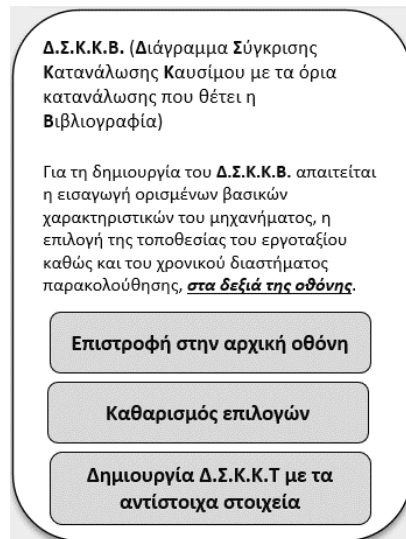


Εικόνα 11: Αναπτυσσόμενη λίστα για την επιλογή του μήνα έναρξης παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου

Κατά την εισαγωγή των στοιχείων του μηχανήματος έργου, ο χρήστης καλείται να επικυρώσει τις επιλογές του μέσω του σχετικού κουμπιού επικύρωσης . Με αυτόν τον τρόπο, οι αναπτυσσόμενες λίστες που εμφανίζονται στον χρήστη, προσαρμόζονται με βάση τις επιλογές του. Για παράδειγμα, όταν ο χρήστης επιλέγει ως τύπο μηχανήματος έναν *ερπυστριοφόρο εκσκαφέα* και στη συνέχεια επικυρώνει την επιλογή του μέσω του κουμπιού επικύρωσης, η επόμενη αναπτυσσόμενη λίστα που εμφανίζεται (και αφορά τον κατασκευαστή του μηχανήματος) περιλαμβάνει μόνο τους κατασκευαστές ερπυστριοφόρων εκσκαφών (και όχι όλων των μηχανημάτων έργου που διαθέτει η κατασκευαστική εταιρεία).

4.2.3 Βοηθητικά κουμπιά της εφαρμογής

Στην αριστερή πλευρά της 2^{ης} και 3^{ης} κύριας οθόνης, όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν ορισμένα βοηθητικά κουμπιά που διευκολύνουν τον χρήστη κατά τη λειτουργία της εφαρμογής, τα οποία φαίνονται στην **Εικόνα 12**.



Εικόνα 12: Βοηθητικά κουμπιά στη 2^η κύρια οθόνη

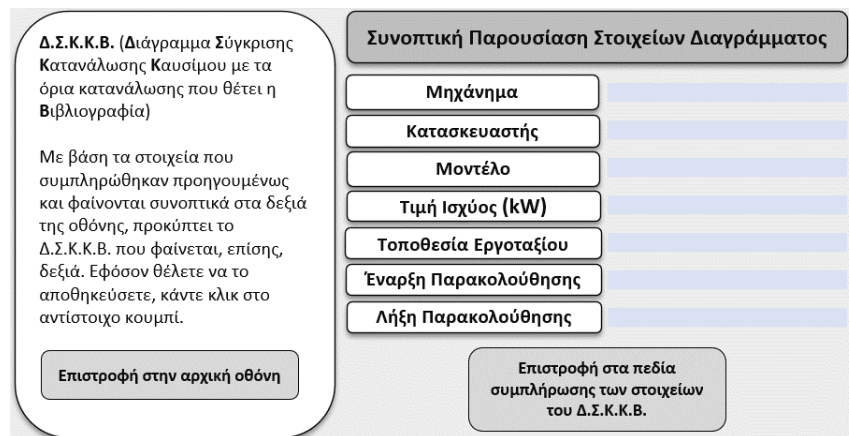
Ο χρήστης μέσα από τα παραπάνω βοηθητικά κουμπιά μπορεί να εκτελέσει τις εξής ενέργειες:

- Επιστροφή στην αρχική οθόνη της εφαρμογής (κουμπί *Επιστροφή στην αρχική οθόνη*)
- Απαλοιφή του περιεχομένου των πεδίων στα οποία έγινε εισαγωγή στοιχείων για την εξαγωγή του διαγράμματος (κουμπί *Καθαρισμός Επιλογών*)
- Αντιγραφή των στοιχείων που εισήγαγε για την εξαγωγή του Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία στα αντίστοιχα πεδία της 3^{ης} κύριας οθόνης και μετάβαση στην 3^η

κύρια οθόνη (κουμπί *Δημιουργία Δ.Σ.Κ.Κ.Τ. με τα αντίστοιχα στοιχεία*). Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει τον 2^ο τύπο διαγράμματος που προσφέρει η εφαρμογή (Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο), χωρίς να χρειάζεται να εισάγει ξανά τα στοιχεία του μηχανήματος, του εργοταξίου και του χρονικού διαστήματος παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου

Επισημαίνεται ότι τα αντίστοιχα βοηθητικά κουμπιά που υπάρχουν στην 3^η κύρια οθόνη λειτουργούν με τον ακριβώς αντίστοιχο τρόπο.

Στην 1^η και 2^η βοηθητική οθόνη της εφαρμογής (κάτω αριστερά της οθόνης και χαμηλά στο μέσον της οθόνης), υπάρχουν ορισμένα ακόμη βοηθητικά κουμπιά (**Εικόνα 13**). Η λειτουργία τους περιγράφεται στη συνέχεια.



Εικόνα 13: Βοηθητικά κουμπιά στην 1^η βοηθητική οθόνη

Ο χρήστης μέσα από τα παραπάνω βοηθητικά κουμπιά μπορεί να εκτελέσει τις εξής ενέργειες:

- Επιστροφή στην αρχική οθόνη της εφαρμογής (κουμπί *Επιστροφή στην αρχική οθόνη*)
- Μετάβαση στη 2^η κύρια οθόνη της εφαρμογής στην οποία βρίσκονται τα πεδία συμπλήρωσης των στοιχείων του μηχανήματος, της τοποθεσίας του εργοταξίου και του χρονικού διαστήματος παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου (κουμπί *Επιστροφή στα πεδία συμπλήρωσης των στοιχείων του Δ.Σ.Κ.Κ.Β.*). Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να αλλάξει ή/και να διορθώσει κάποια στοιχεία (π.χ. να αλλάξει την τοποθεσία του εργοταξίου) ώστε να λάβει νέα μορφή του διαγράμματος

4.2.4 Έξοδοι (outputs) εφαρμογής και αποθήκευση διαγραμμάτων

Στις ενότητες 4.2.1, 4.2.2 και 4.2.3 έγινε περιγραφή του συστήματος παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης των μηχανημάτων έργου της κατασκευαστικής εταιρείας, στην οποία πραγματοποιήθηκε η μελέτη περίπτωσης, και δόθηκε στον αναγνώστη η ευκαιρία να αντιληφθεί τις δυνατότητες της εφαρμογής που αναπτύχθηκε.

Οι έξοδοι της εφαρμογής (output) αφορούν, όπως έχει ήδη επισημανθεί, δύο τύπους διαγραμμάτων. Το πρώτο διάγραμμα (Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία) απεικονίζει την κατανάλωση καυσίμου ενός μηχανήματος έργου που λειτουργεί σε ορισμένη τοποθεσία για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και τη συγκρίνει με τις αναμενόμενες τιμές της κατανάλωσης (για τις διάφορες συνθήκες επιφόρτισης του μηχανήματος) βάσει βιβλιογραφίας. Το δεύτερο διάγραμμα (Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο) απεικονίζει την κατανάλωση καυσίμου ενός μηχανήματος έργου που λειτουργεί σε ορισμένη τοποθεσία για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και τη συγκρίνει με τη μέση τιμή της κατανάλωσης του ίδιου μηχανήματος σ' ένα ορισμένο τρίμηνο. Παρακάτω φαίνονται οι έξοδοι της εφαρμογής (με βάση τα στοιχεία που συμπληρώνονται στα πεδία, όπως αναφέρεται στη συνέχεια).

Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία

Συμπλήρωση πεδίων για την εξαγωγή του Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία



**Μεγάλη
Κατασκευαστική
Εταιρεία**

Παρακολούθηση Κατανάλωσης Καυσίμου των Μηχανημάτων Έργου

Δ.Σ.Κ.Κ.Β. (Διάγραμμα Σύγκρισης Κατανάλωσης Καυσίμου με τα όρια κατανάλωσης που θέτει η Βιβλιογραφία)

Για τη δημιουργία του **Δ.Σ.Κ.Κ.Β.** απαιτείται η εισαγωγή ορισμένων βασικών χαρακτηριστικών του μηχανήματος, η επιλογή της τοποθεσίας του εργοταξίου καθώς και του χρονικού διαστήματος παρακολούθησης, **στα δεξιά της οθόνης.**

Επιστροφή στην αρχική οθόνη


Καθαρισμός επιλογών

Δημιουργία Δ.Σ.Κ.Κ.Τ με τα αντίστοιχα στοιχεία

Εισαγωγή Στοιχείων Μηχανήματος		Επιλογή Εργοταξίου		
Επιλογή Μηχανήματος <small>Στη διπλανή λίστα επιλέξτε μηχανήμα έργου και κάντε κλικ στο κουμπί δεξιά της λίστας</small>	Εκκαφέας Ερπυστιοφόρος	<input checked="" type="checkbox"/>	Τοποθεσία Εργοταξίου <small>Στη διπλανή λίστα επιλέξτε την τοποθεσία εργοταξίου</small>	Εργοτάξιο Α
Επιλογή Κατασκευαστή <small>Στη διπλανή λίστα επιλέξτε τον κατασκευαστή του μηχανήματος και κάντε κλικ στο κουμπί δεξιά της λίστας</small>	CAT	<input checked="" type="checkbox"/>	Χρονικό Διάστημα Παρακολούθησης	
Επιλογή Μοντέλου <small>Στη διπλανή λίστα επιλέξτε το μοντέλο του κατασκευαστή και κάντε κλικ στο κουμπί δεξιά της λίστας</small>	349E L	<input checked="" type="checkbox"/>	Έναρξη Παρακολούθησης <small>Στη διπλανή λίστα επιλέξτε τον μήνα έναρξης παρακολούθησης</small>	Αυγ-22
Τιμή Ισχύος <small>Ισχύς σε kW</small>	313		Λήξη Παρακολούθησης <small>Στη διπλανή λίστα επιλέξτε τον μήνα λήξης παρακολούθησης</small>	Μαρ-23
Δημιουργία Δ.Σ.Κ.Κ.Β.				

Εικόνα 14: Συμπλήρωση πεδίων για την εξαγωγή του Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία

Συνοπτική παρουσίαση στοιχείων και προεπισκόπηση Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία



**Μεγάλη
Κατασκευαστική
Εταιρεία**

Παρακολούθηση Κατανάλωσης Καυσίμου των Μηχανημάτων Έργου

Δ.Σ.Κ.Κ.Β. (Διάγραμμα Σύγκρισης Κατανάλωσης Καυσίμου με τα όρια κατανάλωσης που θέτει η Βιβλιογραφία)

Με βάση τα στοιχεία που συμπληρώθηκαν προηγουμένως και φαίνονται συνοπτικά στα δεξιά της οθόνης, προκύπτει το Δ.Σ.Κ.Κ.Β. που φαίνεται, επίσης, δεξιά. Εφόσον θέλετε να το αποθηκεύσετε, κάντε κλικ στο αντίστοιχο κουμπί.

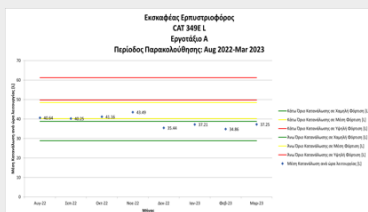
Επιστροφή στην αρχική οθόνη

Συνοπτική Παρουσίαση Στοιχείων Διαγράμματος

Μηχάνημα	Εκκαφέας Ερπυστριοφόρος
Κατασκευαστής	CAT
Μοντέλο	349E L
Τιμή Ισχύος (kW)	313
Τοποθεσία Εργοταξίου	Κρήτη Καστέλι
Έναρξη Παρακολούθησης	Aug 2022
Λήξη Παρακολούθησης	Mar 2023

Επιστροφή στα πεδία συμπλήρωσης των στοιχείων του Δ.Σ.Κ.Κ.Β.

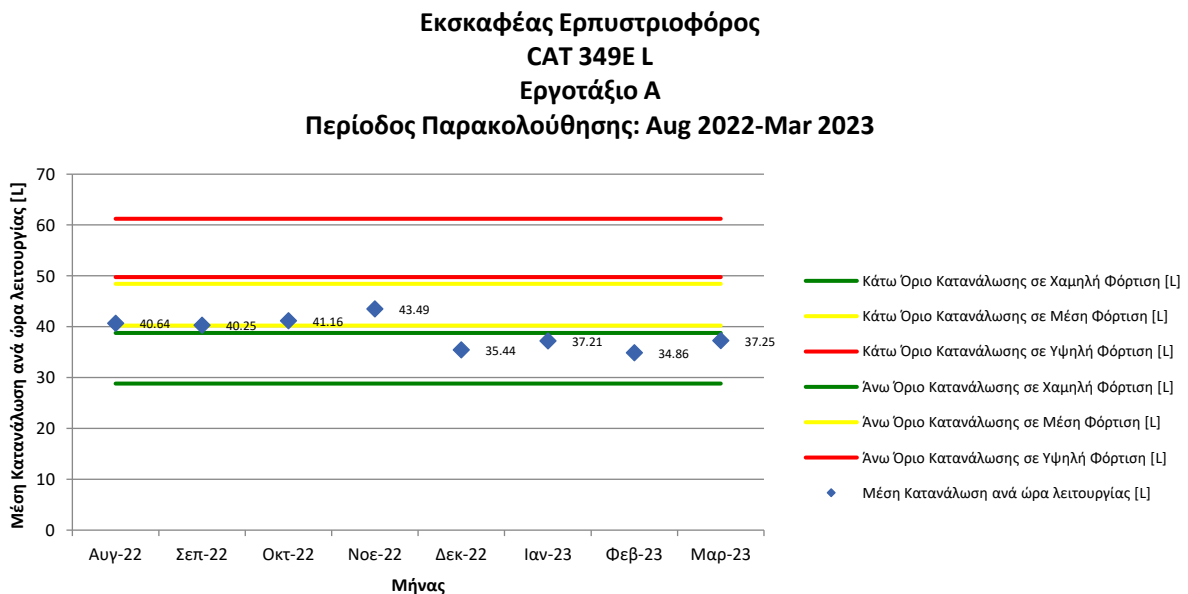
Δ.Σ.Κ.Κ.Β.



Αποθήκευση Δ.Σ.Κ.Κ.Β.
Κάντε κλικ εδώ για να αποθηκεύσετε το παραπάνω διάγραμμα

Εικόνα 15: Συνοπτική παρουσίαση στοιχείων και προεπισκόπηση Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία


Τελικό Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία



Σχήμα 3: Έξοδος (output) εφαρμογής - Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία

Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο

Συμπλήρωση πεδίων για την εξαγωγή του Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο



Μεγάλη Κατασκευαστική Εταιρεία

Παρακολούθηση Κατανάλωσης Καυσίμου των Μηχανημάτων Έργου

Δ.Σ.Κ.Κ.Τ. (Διάγραμμα Σύγκρισης Κατανάλωσης Καυσίμου με την κατανάλωση συγκεκριμένου Τριμήνου)

Για τη δημιουργία του Δ.Σ.Κ.Κ.Τ. απαιτείται η εισαγωγή ορισμένων βασικών χαρακτηριστικών του μηχανήματος, η επιλογή του πρώτου μήνα του τριμήνου σύγκρισης, της τοποθεσίας του εργοταξίου καθώς και του χρονικού διαστήματος παρακολούθησης, **στα δεξιά της οθόνης**.

Επιστροφή στην αρχική οθόνη
Καθαρισμός επιλογών
Δημιουργία Δ.Σ.Κ.Κ.Β με τα αντίστοιχα στοιχεία

Εισαγωγή Στοιχείων Μηχανήματος

Επιλογή Μηχανήματος
Στη διπλανή λίστα επιλέξτε μηχανήμα έργου και κάντε κλικ στο κουμπί δεξιά της λίστας

Εκκαφέας Ερπυστιοφόρος

Επιλογή Κατασκευαστή
Στη διπλανή λίστα επιλέξτε τον κατασκευαστή του μηχανήματος και κάντε κλικ στο κουμπί δεξιά της λίστας

CAT

Επιλογή Μοντέλου
Στη διπλανή λίστα επιλέξτε το μοντέλο του κατασκευαστή

349E L

Επιλογή Εργοταξίου

Τοποθεσία Εργοταξίου
Στη διπλανή λίστα επιλέξτε την τοποθεσία εργοταξίου

Εργοτάξιο Α

Χρονικό Διάστημα Παρακολούθησης

Έναρξη Παρακολούθησης
Στη διπλανή λίστα επιλέξτε τον μήνα έναρξης παρακολούθησης

Αυγ-22

Λήξη Παρακολούθησης
Στη διπλανή λίστα επιλέξτε τον μήνα λήξης παρακολούθησης

Μαρ-23

Δημιουργία Δ.Σ.Κ.Κ.Τ.


Τρίμηνο - Βάση Σύγκρισης

Στη διπλανή λίστα επιλέξτε τον ΠΡΩΤΟ μήνα του τριμήνου που θέλετε να αποτελέσει τη βάση σύγκρισης

ΟΚΤ-22

Εικόνα 16: Συμπλήρωση πεδίων για την εξαγωγή του Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο

Συνοπτική παρουσίαση στοιχείων και προεπισκόπηση Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο



Μεγάλη Κατασκευαστική Εταιρεία

Παρακολούθηση Κατανάλωσης Καυσίμου των Μηχανημάτων Έργου

Δ.Σ.Κ.Κ.Τ. (Διάγραμμα Σύγκρισης Κατανάλωσης Καυσίμου με την κατανάλωση συγκεκριμένου τριμήνου)

Με βάση τα στοιχεία που συμπληρώθηκαν προηγουμένως και φαίνονται συνοπτικά στα δεξιά της οθόνης, προκύπτει το Δ.Σ.Κ.Κ.Τ. που φαίνεται, επίσης, δεξιά. Εφόσον θέλετε να το αποθηκεύσετε, κάντε κλικ στο αντίστοιχο κουμπί.

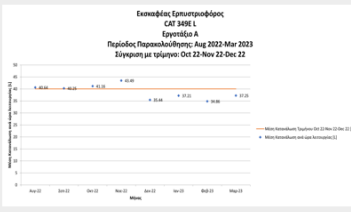
Επιστροφή στην αρχική οθόνη
Επιστροφή στα πεδία συμπλήρωσης των στοιχείων του Δ.Σ.Κ.Κ.Τ.

Συνοπτική Παρουσίαση Στοιχείων Διαγράμματος

Μηχάνημα	Εκκαφέας Ερπυστιοφόρος
Κατασκευαστής	CAT
Μοντέλο	349E L
Τρίμηνο (Βάση Σύγκρισης)	Oct 22-Nov 22-Dec 22
Τοποθεσία Εργοταξίου	Κρήτη Καστέλι
Έναρξη Παρακολούθησης	Aug 2022
Λήξη Παρακολούθησης	Mar 2023

Δ.Σ.Κ.Κ.Τ.

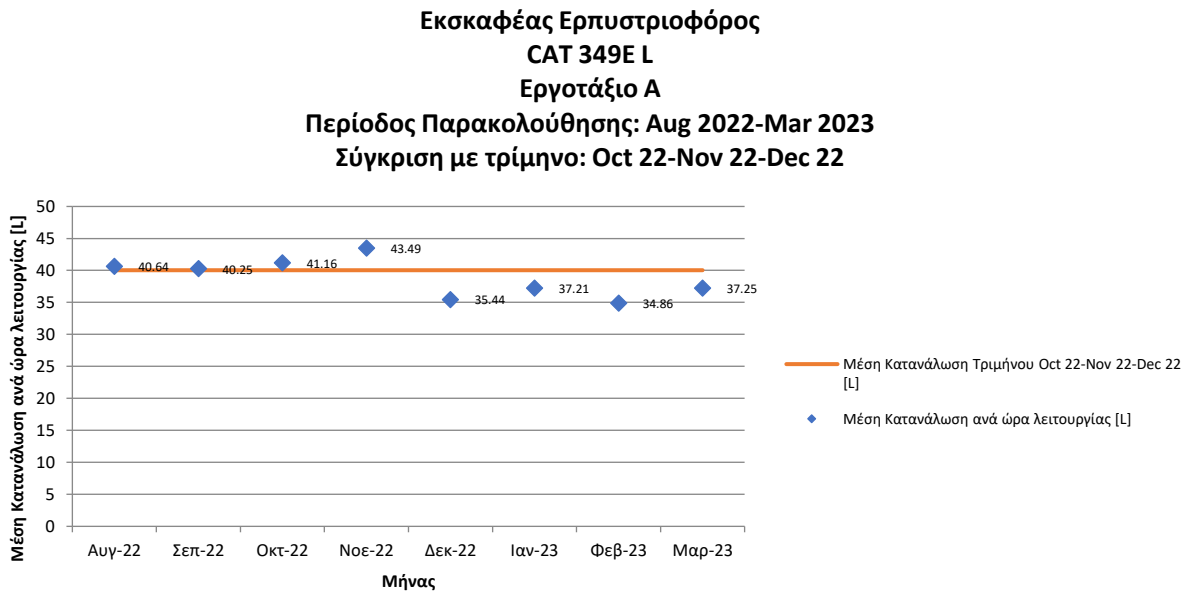
Εκκαφέας Ερπυστιοφόρος
CAT 349E L
Εργοτάξιο Α
Περίοδος Παρακολούθησης: Aug 2022-Mar 2023
Σύγκριση με τρίμηνο: Oct 22-Nov 22-Dec 22



Αποθήκευση Δ.Σ.Κ.Κ.Τ.
Κάντε κλικ εδώ για να αποθηκεύσετε το παραπάνω διάγραμμα

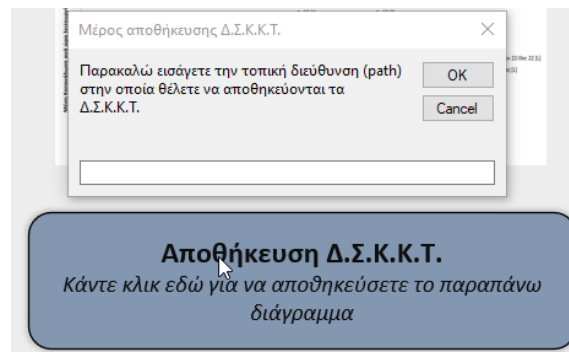
Εικόνα 17: Συνοπτική παρουσίαση στοιχείων και προεπισκόπηση Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο

Τελικό Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο



Σχήμα 4: Έξοδος (output) εφαρμογής - Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο

Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η εφαρμογή που αναπτύχθηκε, έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης των εξαγόμενων διαγραμμάτων τοπικά στον υπολογιστή μέσω της χρήσης των σχετικών κουμπιών (Αποθήκευση Δ.Σ.Κ.Κ.Β. → 1^η βοηθητική οθόνη εφαρμογής, Αποθήκευση Δ.Σ.Κ.Κ.Τ. → 2^η βοηθητική οθόνη εφαρμογής). Παράλληλα, η εφαρμογή δίνει κάθε φορά, αυτόματα, μοναδικό όνομα στο αρχείο που αποθηκεύεται. Τονίζεται, επιπρόσθετα, ότι την πρώτη φορά που ο χρήστης αποθηκεύει τοπικά στον υπολογιστή κάποιο διάγραμμα, η εφαρμογή ζητά μέσω ενός παραθύρου διαλόγου (dialog box), τη διεύθυνση του φακέλου (path) στην οποία θα αποθηκεύονται τα διαγράμματα (**Εικόνα 18**).



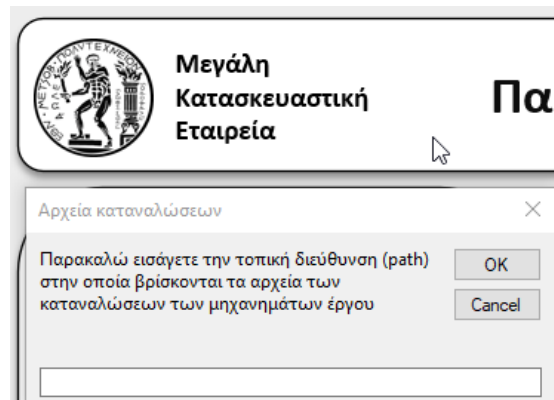
Εικόνα 18: Παράθυρο διαλόγου στο οποίο ο χρήστης καλείται να εισάγει τη διεύθυνση (path) αποθήκευσης των διαγραμμάτων

4.2.5 Απαραίτητα αρχεία για τη λειτουργία της εφαρμογής

Είναι φανερό ότι η λειτουργία της εφαρμογής στηρίζεται στην ύπαρξη υποστηρικτικών αρχείων που περιέχουν πληροφορίες, από τις οποίες αντλεί δεδομένα το σύστημα παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης των μηχανημάτων έργου. Τα αρχεία αυτά δεν αφορούν τους απλούς χρήστες της εφαρμογής αλλά μόνο όσους ασχολούνται με την εγκατάσταση και την υποστήριξη του συστήματος.

Κατ' αρχάς, η εφαρμογή κατά τη λειτουργία της χρησιμοποιεί αρχεία, που τηρεί η κατασκευαστική εταιρεία και τα οποία περιλαμβάνουν αναλυτικά δεδομένα για όλα τα μηχανήματα έργου (π.χ. τοποθεσία εργοταξίου, κατανάλωση καυσίμου, χρονική διάρκεια χρήσης, κατασκευαστής και μοντέλο μηχανήματος). Επιπλέον, αξιοποιεί αρχεία που συσχετίζουν τα μηχανήματα έργου με τους κατασκευαστές και τα μοντέλα των μηχανημάτων.

Επισημαίνεται ότι η εφαρμογή είναι ρυθμισμένη ώστε την πρώτη φορά που χρησιμοποιείται, να ζητά (μέσω παραθύρων διαλόγων – dialog boxes) από τον χρήστη της (ή ακόμα καλύτερα από το άτομο που την εγκαθιστά) τις διευθύνσεις των φακέλων (paths) στους οποίους βρίσκονται τοποθετημένα τα υποστηρικτικά αρχεία (**Εικόνα 19**).



Εικόνα 19: Παράθυρο διαλόγου στο οποίο ο χρήστης καλείται να εισάγει τη διεύθυνση (path) που βρίσκονται τα αρχεία των καταναλώσεων

5. Χρήση του συστήματος παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης των μηχανημάτων έργου σε μεγάλη κατασκευαστική εταιρεία – Μελέτη Περίπτωσης

5.1 Λεπτομέρειες Μελέτης Περίπτωσης

Σε αυτό το σημείο της διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιείται στην πράξη το σύστημα παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου για την κατασκευαστική εταιρεία στην οποία πραγματοποιήθηκε η μελέτη περίπτωσης. Συγκεκριμένα, μελετώνται, για έναν διαφορετικό αριθμό εργοταξίων, μηχανήματα που ανήκουν στις πιο ενεργόβρες κατηγορίες (όπως αυτές επισημάνθηκαν στη βιβλιογραφική ανασκόπηση). Παρακάτω (Πίνακας 4) παρουσιάζονται οι κατηγορίες και ο αριθμός των μηχανημάτων έργου που μελετώνται και ο αριθμός των εργοταξίων στα οποία πραγματοποιούνται μετρήσεις.

Πίνακας 4: Λεπτομέρειες μελέτης περίπτωσης σε κατασκευαστική εταιρεία

Τύπος μηχανήματος	Αριθμός μηχανημάτων	Αριθμός εργοταξίων
Εκσκαφείς	2	3
Ισοπεδωτές Γαιών	3	3
Προωθητήρες Γαιών	2	2
Οδοστρωτήρες	2	2
Φορτωτές	2	2
Φορτηγά	2	3
Διαστρωτήρες	3	2

Στη συνέχεια (ενότητες 5.2 – 5.7, δημιουργούνται τα Διαγράμματα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία και Τρίμηνο για κάθε περίπτωση (μηχάνημα – εργοτάξιο) και γίνεται σχολιασμός τους.

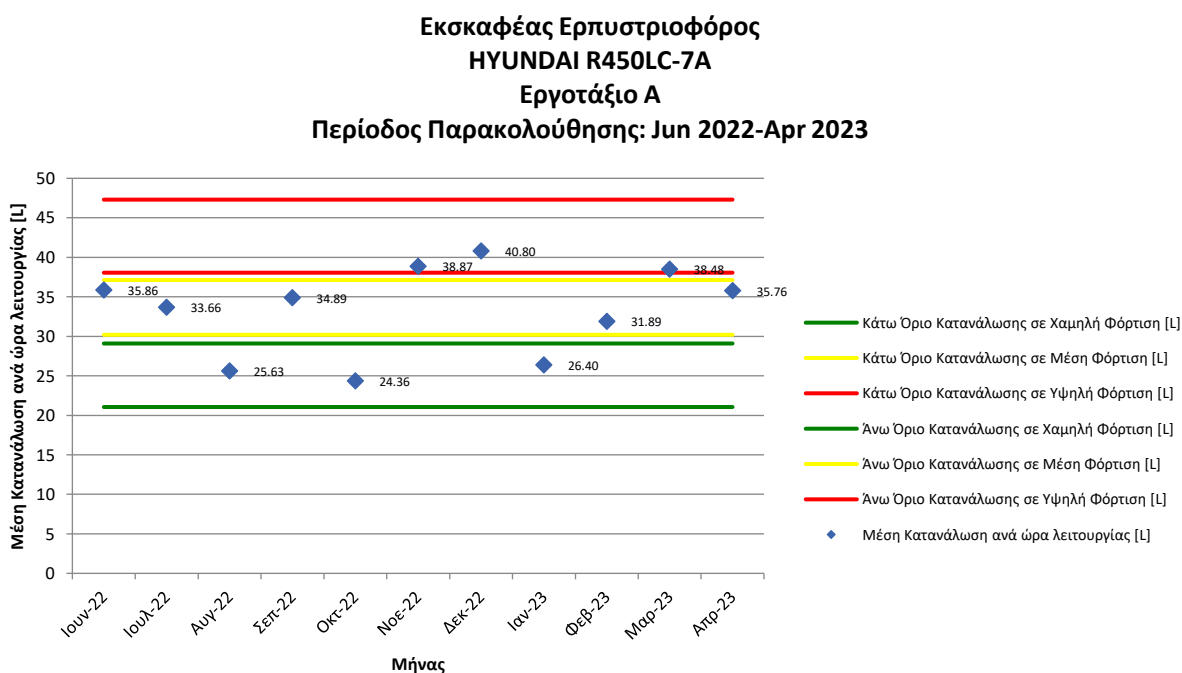
5.2 Εκσκαφείς

5.2.1 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A

Το πρώτο μηχάνημα που μελετάται ανήκει στους εκσκαφείς και έχει τα εξής στοιχεία:

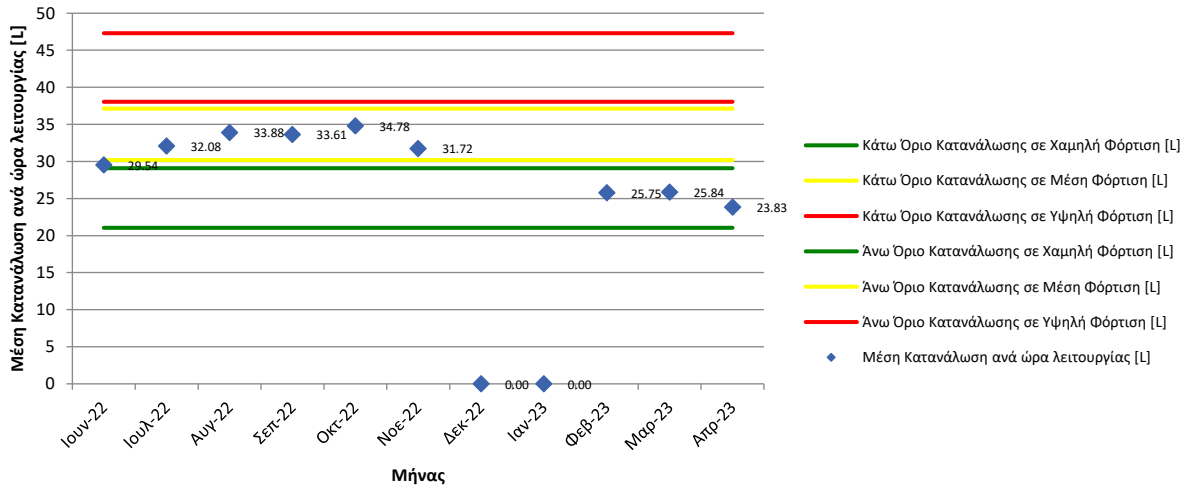
Πίνακας 5: Στοιχεία ερπυστριοφόρου εκσκαφέα

Τύπος μηχανήματος έργου	Εκσκαφέας ερπυστριοφόρος
Κατασκευαστής	HYUNDAI
Μοντέλο μηχανήματος	R450LC-7A
Ισχύς (kW)	242
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023



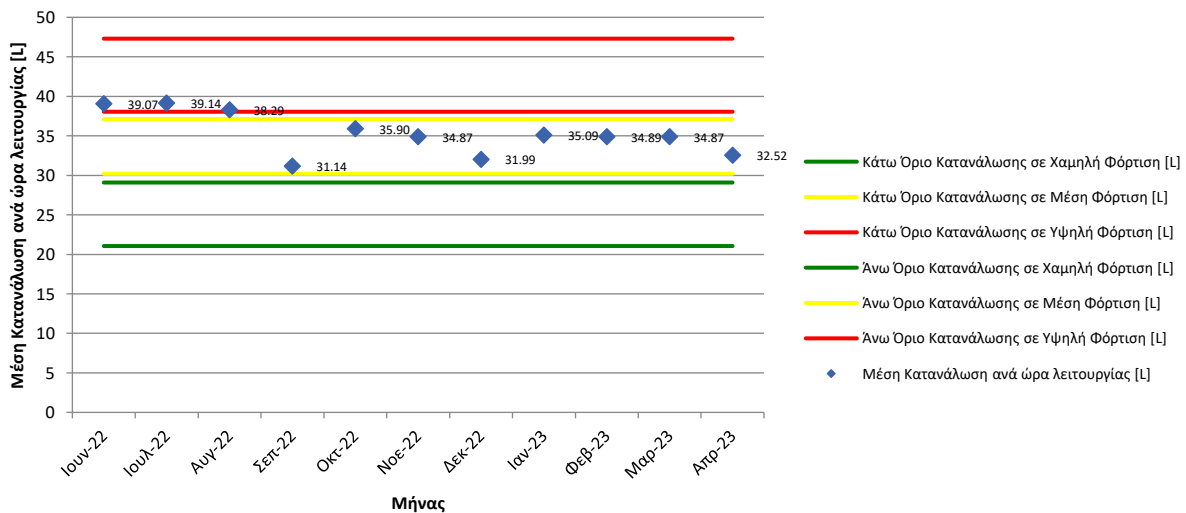
Σχήμα 5: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Α

**Εκκαφέας Ερπυστριόφορος
HYUNDAI R450LC-7A
Εργοτάξιο Β
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



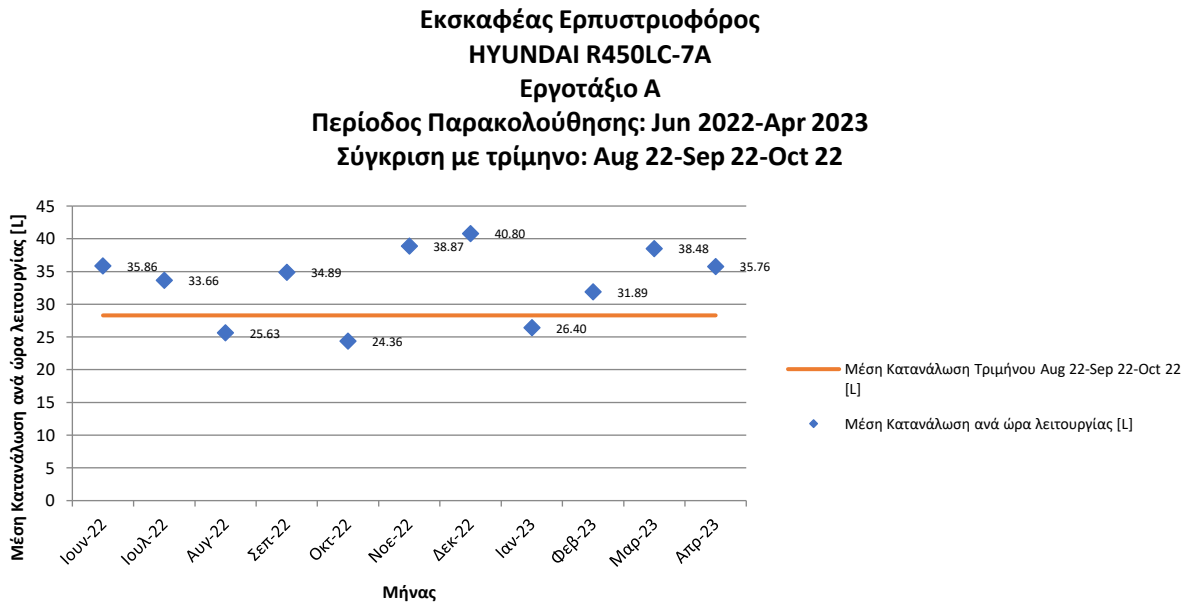
Σχήμα 6: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ερπυστριόφορος Εκκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Β

**Εκκαφέας Ερπυστριόφορος
HYUNDAI R450LC-7A
Εργοτάξιο Γ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**

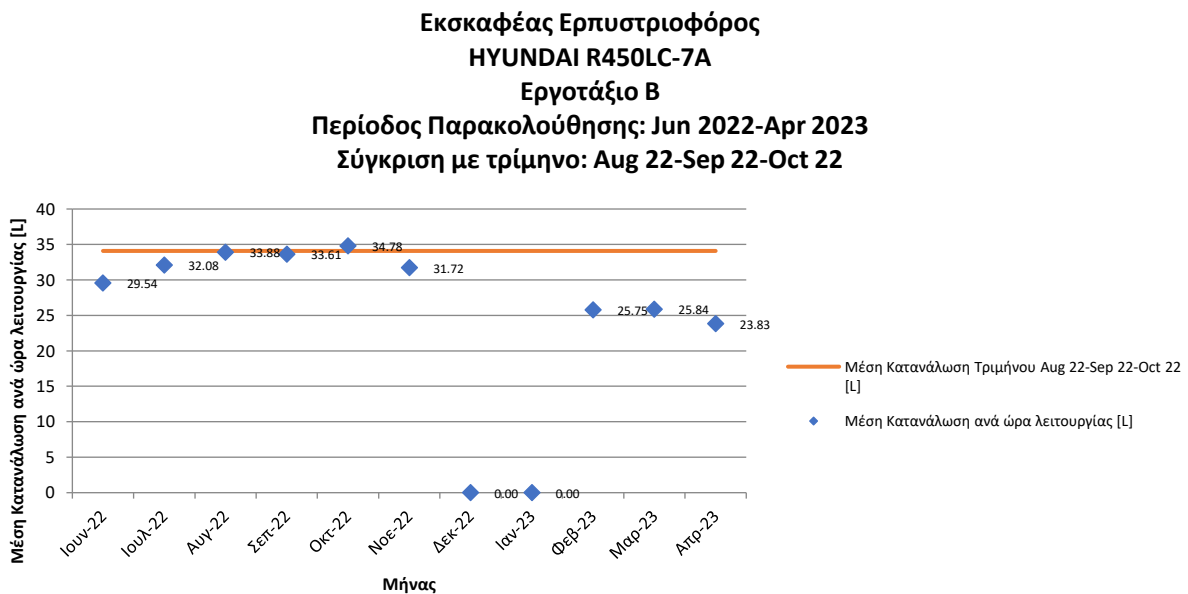


Σχήμα 7: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ερπυστριόφορος Εκκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Γ

5.2.2 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A

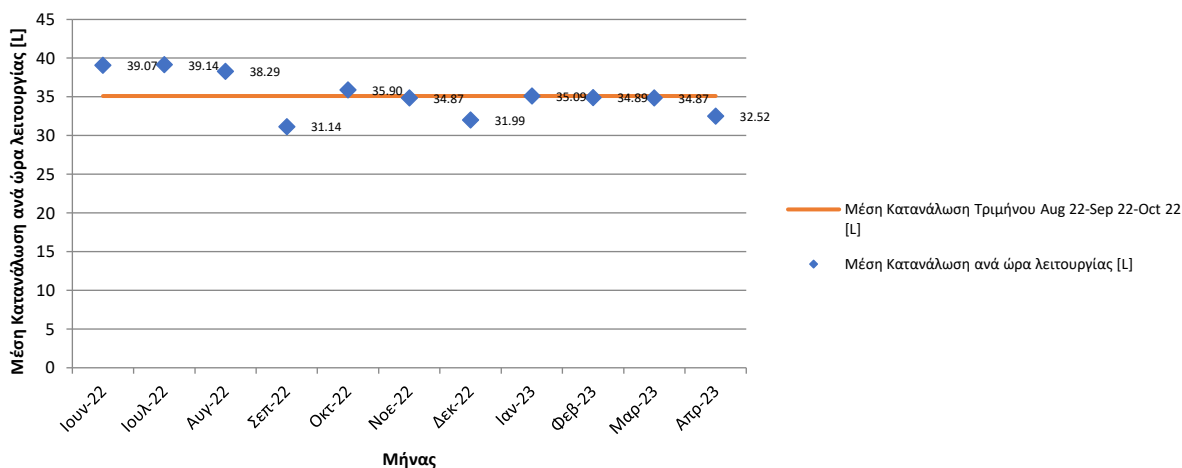


Σχήμα 8: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Α



Σχήμα 9: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Β

**Εκσκαφέας Ερπυστριοφόρος
HYUNDAI R450LC-7A
Εργοτάξιο Γ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023
Σύγκριση με τρίμηνο: Aug 22-Sep 22-Oct 22**



Σχήμα 10: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Γ

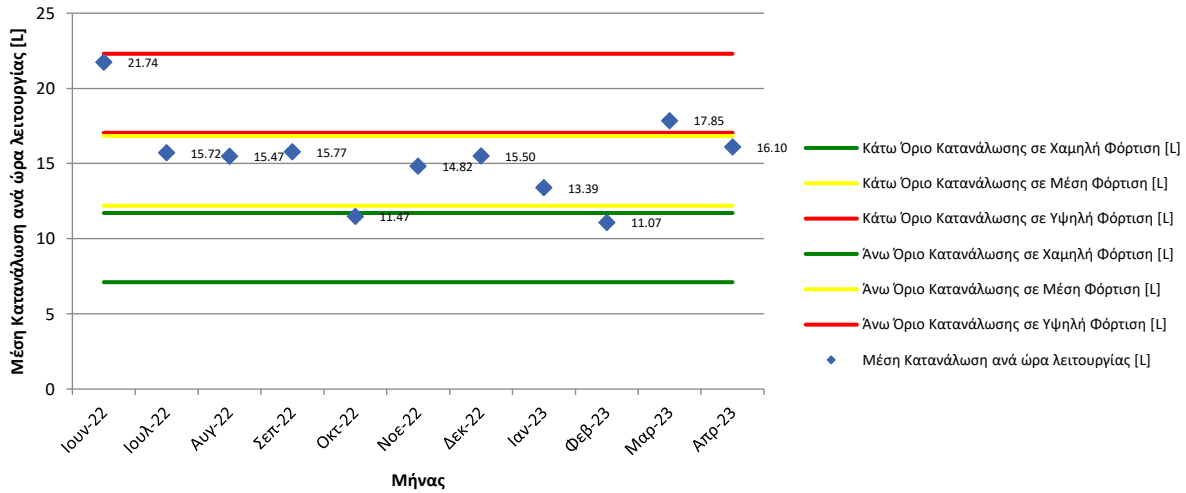
5.2.3 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A

Το δεύτερο μηχάνημα που μελετάται ανήκει και αυτό στην κατηγορία των εκσκαφών. Τα στοιχεία του μηχανήματος βρίσκονται παρακάτω:

Πίνακας 6: Στοιχεία ελαστικοφόρου εκσκαφέα

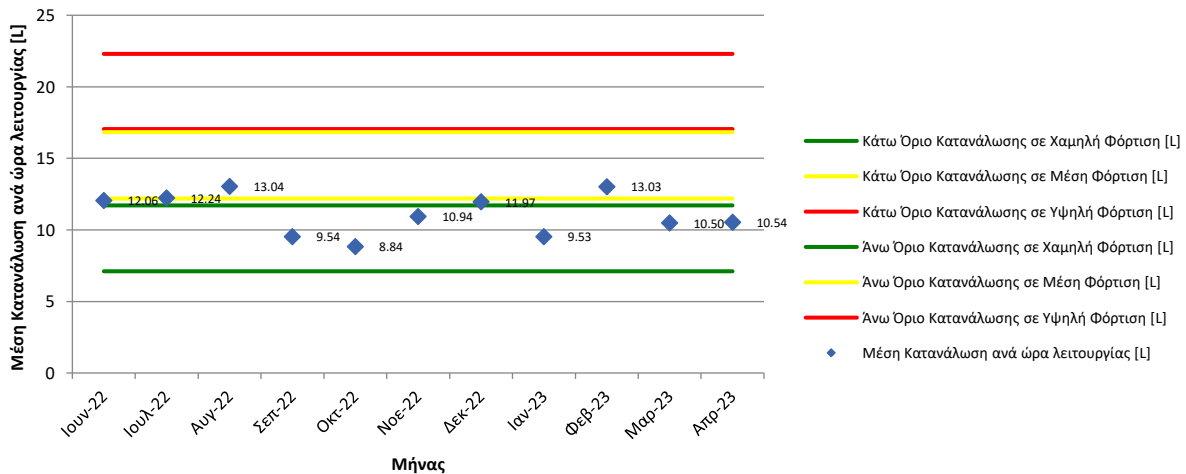
Τύπος μηχανήματος έργου	Εκσκαφέας ελαστικοφόρος
Κατασκευαστής	HYUNDAI
Μοντέλο μηχανήματος	R200W-7A
Ισχύς (kW)	116
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023

**Εκσκαφέας Ελαστικοφόρος
HYUNDAI R200W-7A
Εργοτάξιο A
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



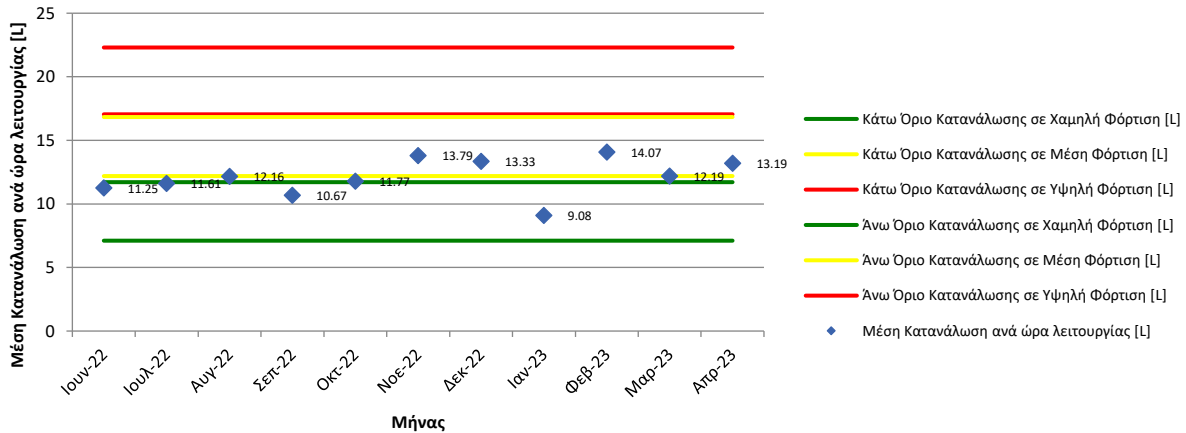
Σχήμα 11: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο A

**Εκσκαφέας Ελαστικοφόρος
HYUNDAI R200W-7A
Εργοτάξιο B
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



Σχήμα 12: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο B

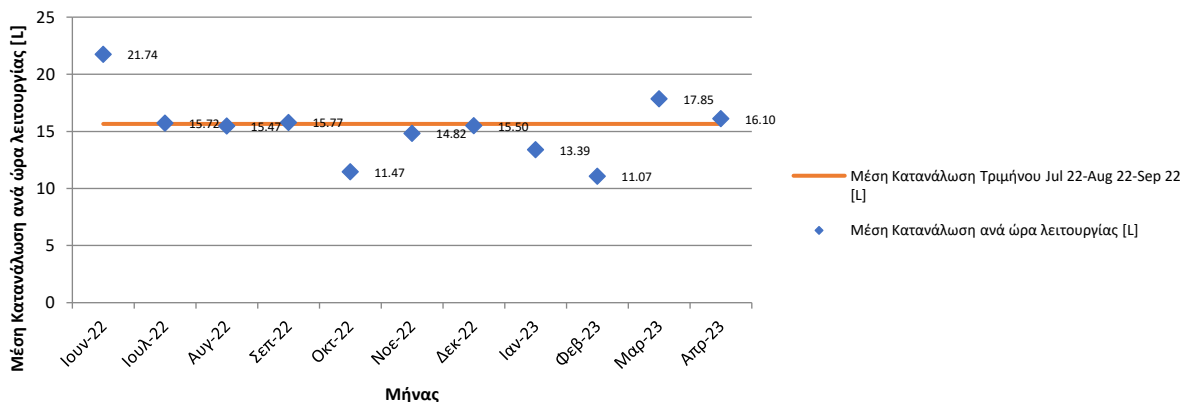
**Εκσκαφέας Ελαστικοφόρος
HYUNDAI R200W-7A
Εργοτάξιο Γ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



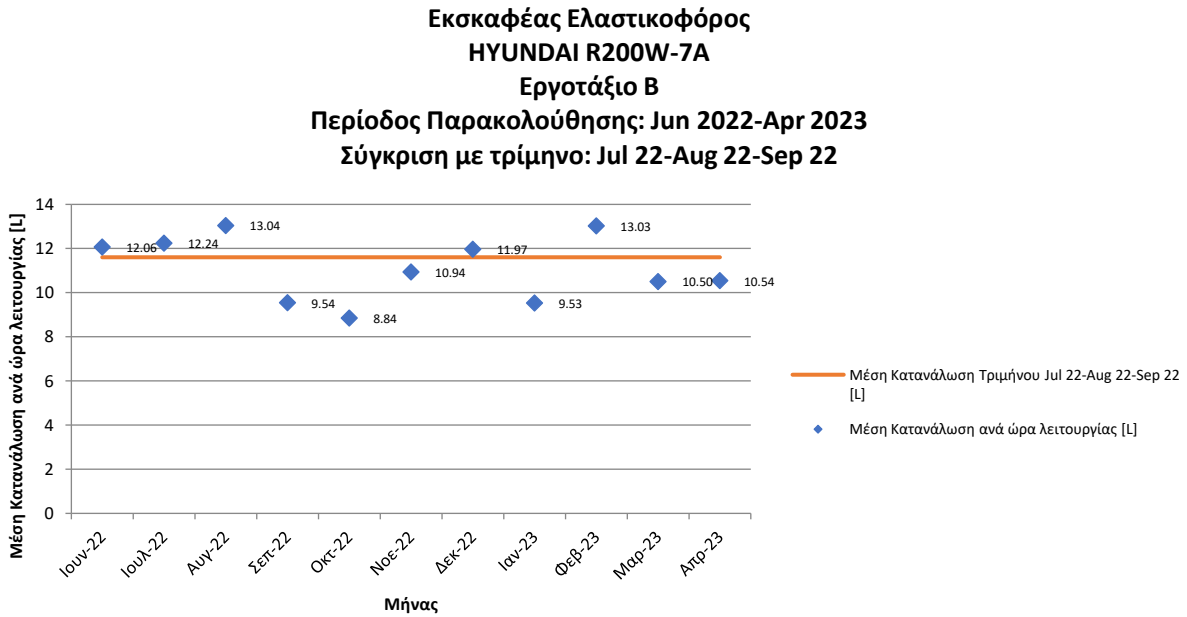
Σχήμα 13: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο Γ

5.2.4 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A

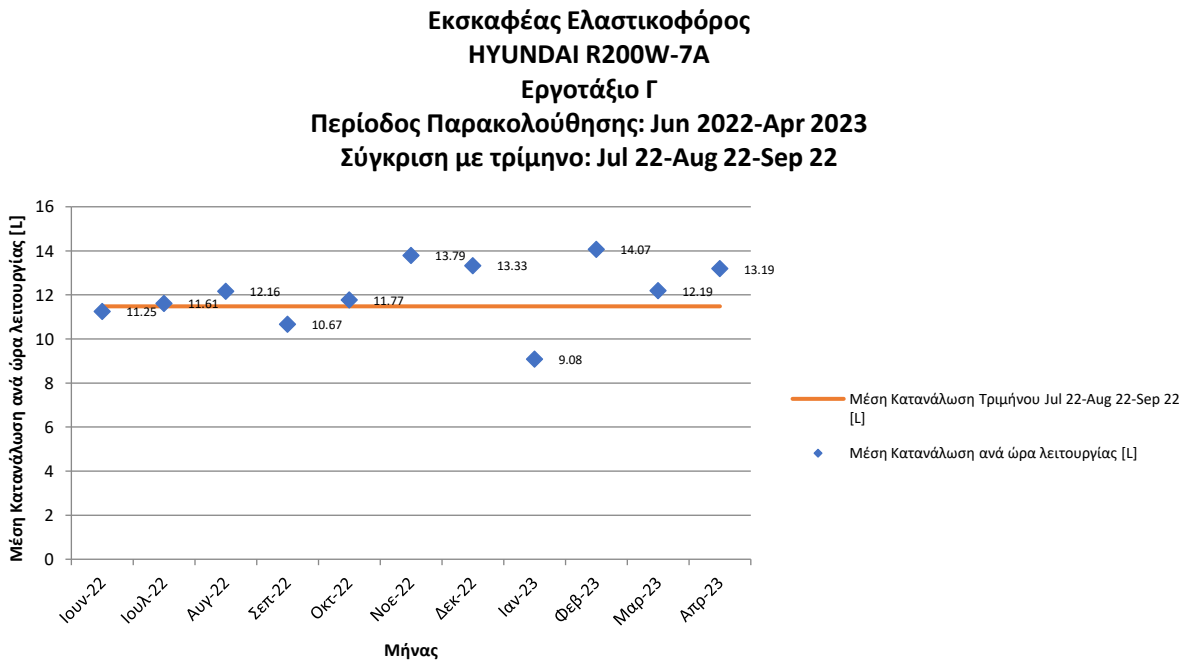
**Εκσκαφέας Ελαστικοφόρος
HYUNDAI R200W-7A
Εργοτάξιο Α
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023
Σύγκριση με τρίμηνο: Jul 22-Aug 22-Sep 22**



Σχήμα 14: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο Α



Σχήμα 15: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ελαστικοφόρος Εκκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο Β



Σχήμα 16: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ελαστικοφόρος Εκκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο Γ

5.2.5 Σχολιασμός διαγραμμάτων των εκσκαφών

Ο ερπυστριοφόρος εκσκαφέας (HYUNDAI R450LC-7A), παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά ανάλογα με τα εργοτάξια στα οποία μελετάται. Συγκεκριμένα, στο Εργοτάξιο Α, οι τιμές της κατανάλωσης παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση ανά μήνα (επιβεβαιώνεται και από το αντίστοιχο Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο στο **Σχήμα 8**), η οποία πιθανώς οφείλεται στις διαφορετικές εργασίες (άρα διαφορετικές συνθήκες φόρτισης) που εκτελεί το μηχάνημα κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος παρακολούθησης. Στο Εργοτάξιο Β, όλες οι τιμές της κατανάλωσης είναι κάτω από το άνω όριο κατανάλωσης που αντιστοιχεί στη μέση φόρτιση, ενώ στο Εργοτάξιο Γ ξεπερνούν το άνω όριο κατανάλωσης σε συνθήκες μέσης φόρτισης.

Ο ελαστικοφόρος εκσκαφέας (HYUNDAI R200W-7A), εμφανίζει όμοια συμπεριφορά με τον ερπυστριοφόρο εκσκαφέα. Ειδικότερα, στο Εργοτάξιο Α παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές στην τιμή της μέσης κατανάλωσης καυσίμου ανά μήνα (επιβεβαιώνεται και από το αντίστοιχο Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο στο **Σχήμα 11**), γεγονός που υποδηλώνει ότι ορισμένους μήνες οι εργασίες που εκτελούνταν από το μηχάνημα απαιτούσαν μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου σε σχέση με άλλους (λόγω της αυξημένης επιφόρτισης). Στο Εργοτάξιο Β και στο Εργοτάξιο Γ, η κατανάλωση καυσίμου βρίσκεται εντός (ή λίγο πάνω) από την περιοχή που αντιστοιχεί στη χαμηλή φόρτιση.

Εφόσον οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στα Εργοτάξια Α, Β και Γ δικαιολογούν (βάσει της επιφόρτισης) τις καταναλώσεις που παρατηρούνται στα διαγράμματα, τότε η λειτουργία των μηχανημάτων κρίνεται ικανοποιητική.

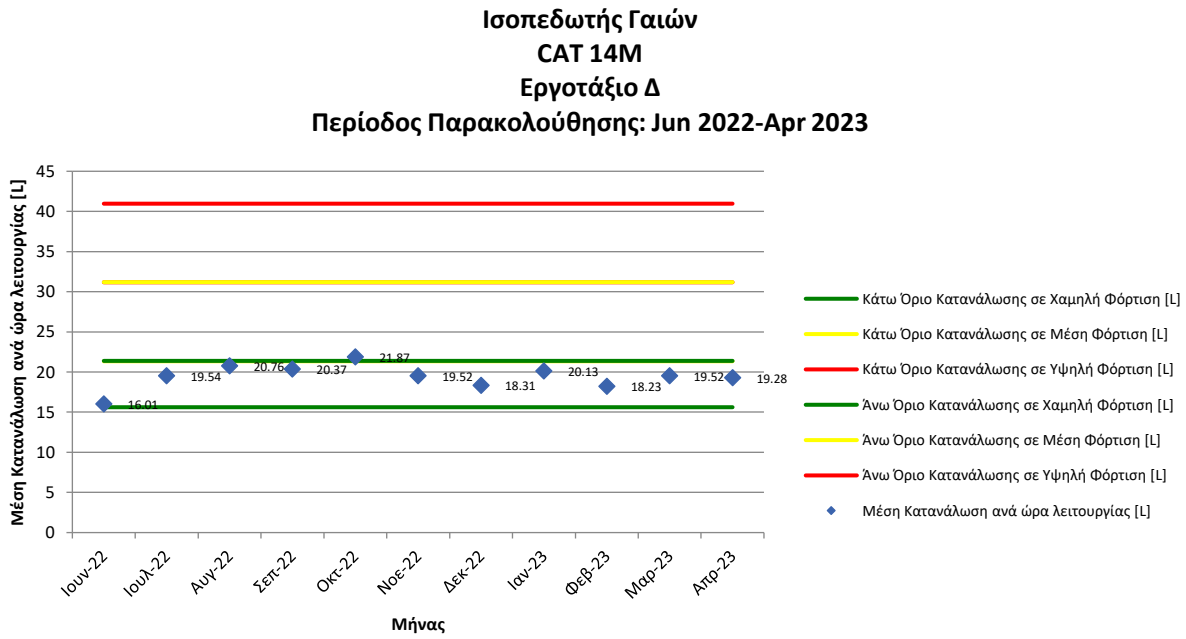
5.3 Ισοπεδωτές Γαιών

5.3.1 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M

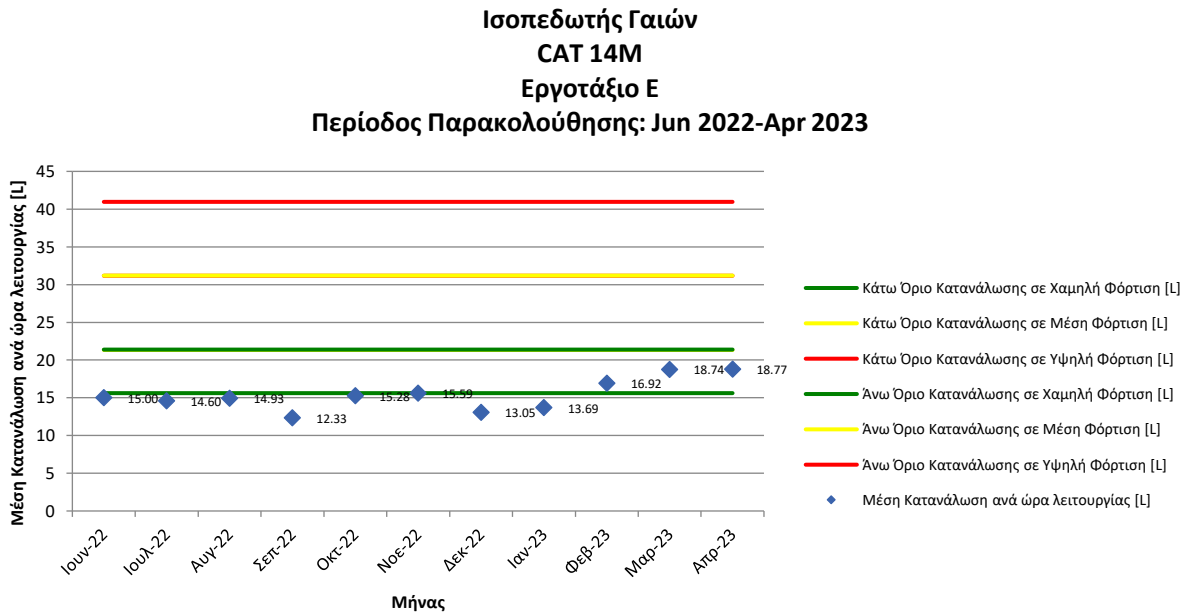
Το τρίτο μηχάνημα ανήκει στην κατηγορία των ισοπεδωτών γαιών. Τα στοιχεία του μηχανήματος βρίσκονται παρακάτω:

Πίνακας 7: Στοιχεία ισοπεδωτή γαιών (α)

Τύπος μηχανήματος έργου	Ισοπεδωτής γαιών
Κατασκευαστής	CATERPILLAR
Μοντέλο μηχανήματος	14M
Ισχύς (kW)	205
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023

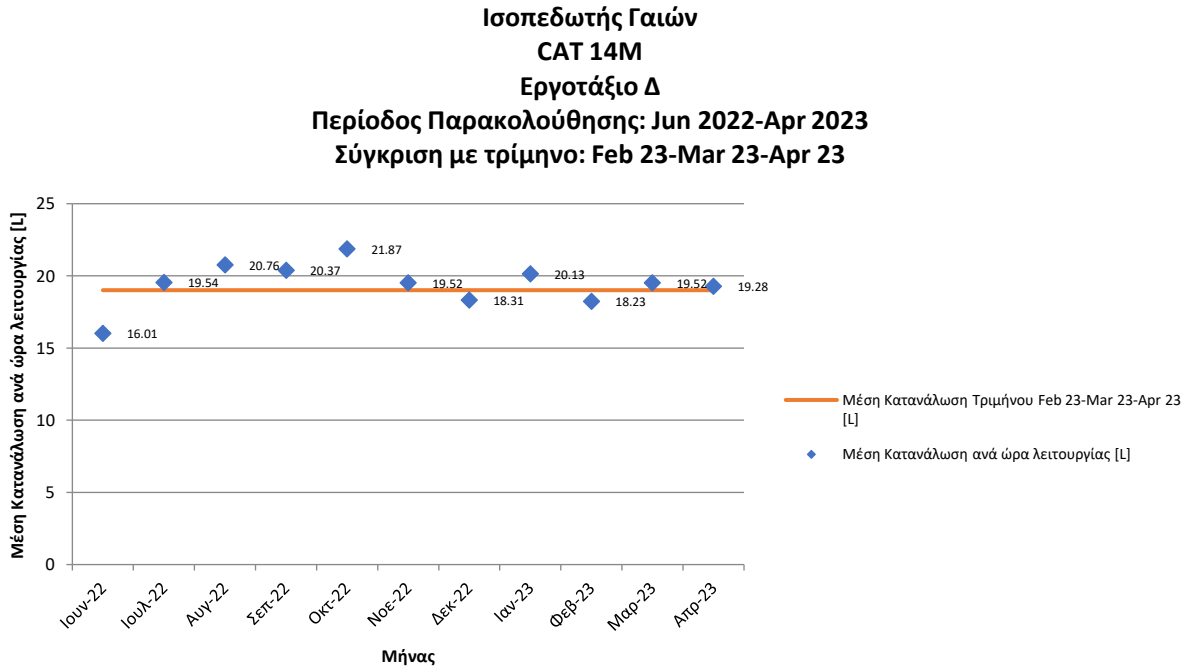


Σχήμα 17: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Δ

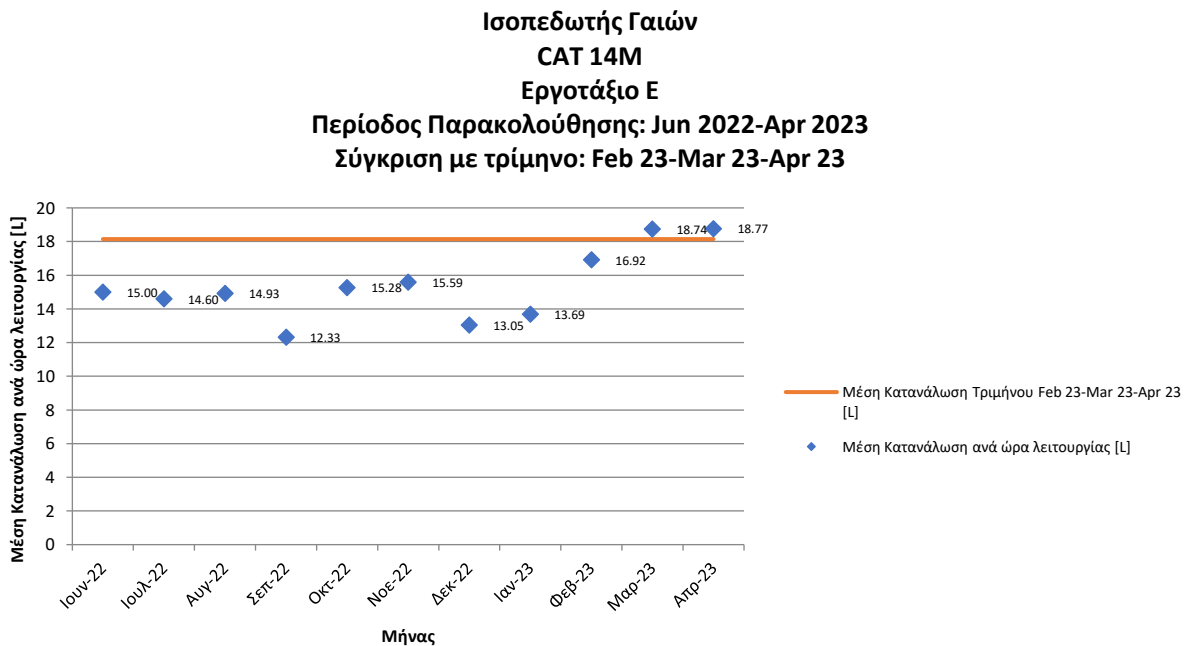


Σχήμα 18: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Ε

5.3.2 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M



Σχήμα 19: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Δ



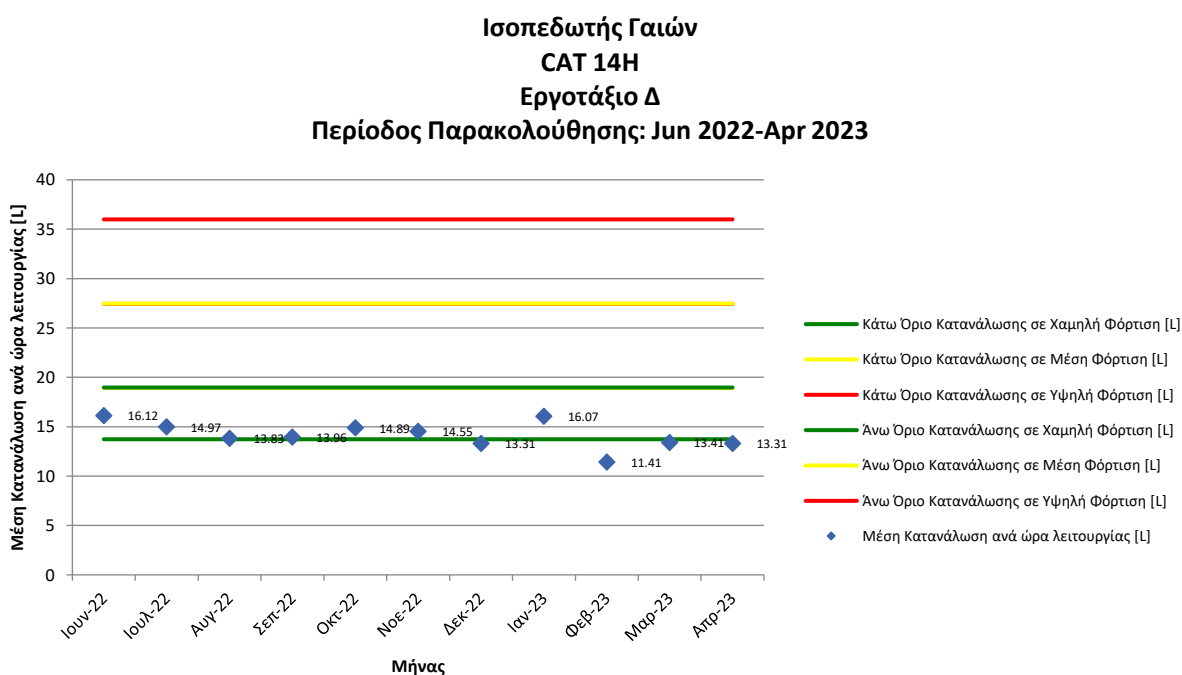
Σχήμα 20: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Ε

5.3.3 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14H

Το επόμενο μηχάνημα που μελετάται ανήκει και αυτό στην κατηγορία των ισοπεδωτών γαιών. Τα στοιχεία του μηχανήματος βρίσκονται παρακάτω:

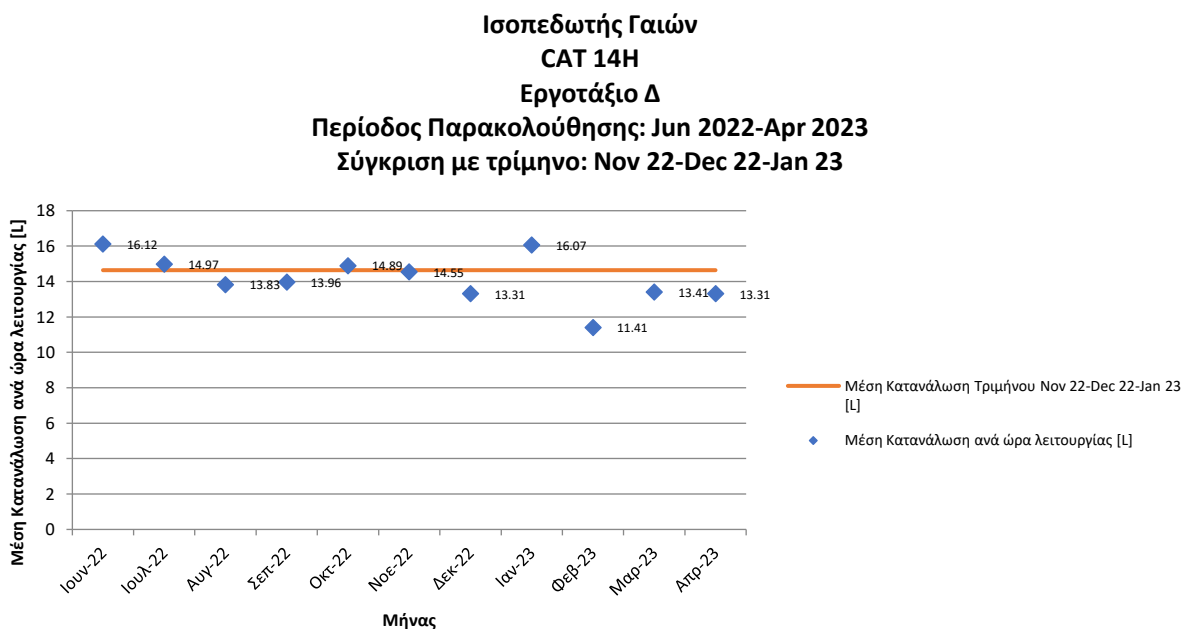
Πίνακας 8: Στοιχεία ισοπεδωτή γαιών (β)

Τύπος μηχανήματος έργου	Ισοπεδωτής γαιών
Κατασκευαστής	CATERPILLAR
Μοντέλο μηχανήματος	14H
Ισχύς (kW)	179
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023



Σχήμα 21: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Δ

5.3.4 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14H



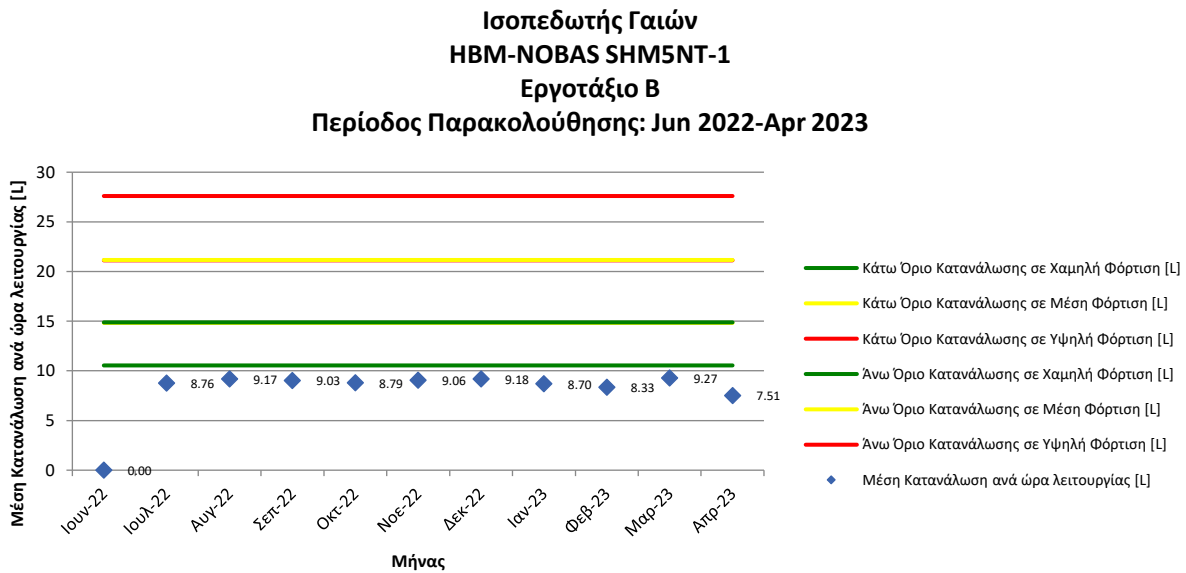
Σχήμα 22: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Δ

5.3.5 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ισοπεδωτής Γαιών HBM-NOBAS SHM5NT-1

Το τελευταίο μηχάνημα που ανήκει στην κατηγορία των ισοπεδωτών γαιών και μελετάται στην παρούσα εργασία έχει τα ακόλουθα στοιχεία:

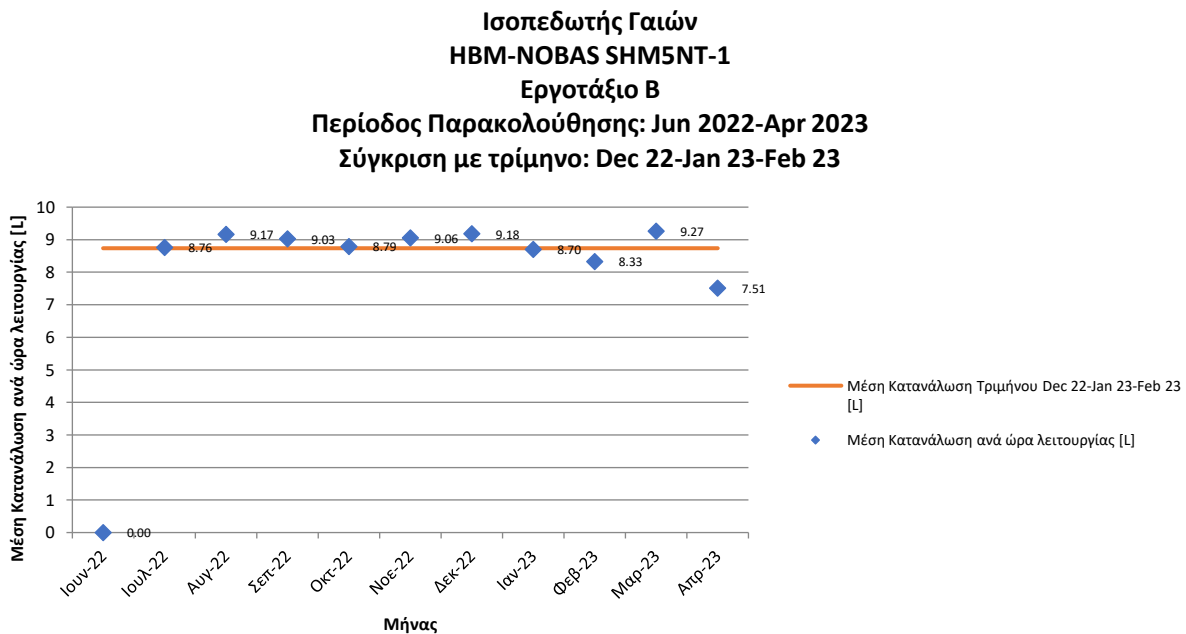
Πίνακας 9: Στοιχεία ισοπεδωτή γαιών (γ)

Τύπος μηχανήματος έργου	Ισοπεδωτής γαιών
Κατασκευαστής	HBM-NOBAS
Μοντέλο μηχανήματος	SHM5NT-1
Ισχύς (kW)	135
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023



Σχήμα 23: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ισοπεδωτής Γαιών HBM-NOBAS SHM5NT-1 - Εργοτάξιο Β

5.3.6 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ισοπεδωτής Γαιών HBM-NOBAS SHM5NT-1



Σχήμα 24: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ισοπεδωτής Γαιών HBM-NOBAS SHM5NT-1 - Εργοτάξιο Β

5.3.7 Σχολιασμός διαγραμμάτων των ισοπεδωτών γαιών

Ο πρώτος ισοπεδωτής γαιών (CAT 14M), παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά και στα δύο εργοτάξια που μελετάται. Συγκεκριμένα, στο Εργοτάξιο Δ, όλες οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου είναι μεταξύ των ορίων που αντιστοιχούν στη χαμηλή φόρτιση (εκτός από τον μήνα Οκτώβριο 2022 που η κατανάλωση υπερβαίνει κατά λίγο το άνω όριο κατανάλωσης). Στο Εργοτάξιο Ε, αρκετές τιμές της κατανάλωσης είναι μεταξύ των ορίων που αντιστοιχούν στη χαμηλή επιφόρτιση των μηχανημάτων. Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι ορισμένους μήνες η κατανάλωση είναι χαμηλότερη από το χαμηλότερο (αναμενόμενο) όριο κατανάλωσης.

Ο δεύτερος ισοπεδωτής γαιών (CAT 14H), εμφανίζει αντίστοιχη συμπεριφορά. Ειδικότερα, σχεδόν όλες οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου βρίσκονται μεταξύ των ορίων που αντιστοιχούν στη χαμηλή επιφόρτιση. Τον Φεβρουάριο του 2023, η κατανάλωση είναι και εδώ χαμηλότερη από τη χαμηλότερη αναμενόμενη (βάσει βιβλιογραφίας) τιμή. Ο τελευταίος ισοπεδωτής γαιών (HBM-NOBAS SHM5NT-1) παρουσιάζει καταναλώσεις χαμηλότερες από το κάτω όριο κατανάλωσης που αντιστοιχεί στη χαμηλή φόρτιση των μηχανημάτων.

Το ότι η κατανάλωση είναι χαμηλότερη από το κάτω όριο της χαμηλής φόρτισης ενδέχεται να οφείλεται είτε σε σφάλμα του μοντέλου προσέγγισης των ορίων καταναλώσεων που υιοθετήθηκε (με τις εξισώσεις συσχέτισης της κατανάλωσης καυσίμου με την ισχύ, **Πίνακας 3**) είτε σε υποκαταγραφή των καταναλώσεων καυσίμου στα εργοτάξια.

5.4 Προωθητήρες Γαιών

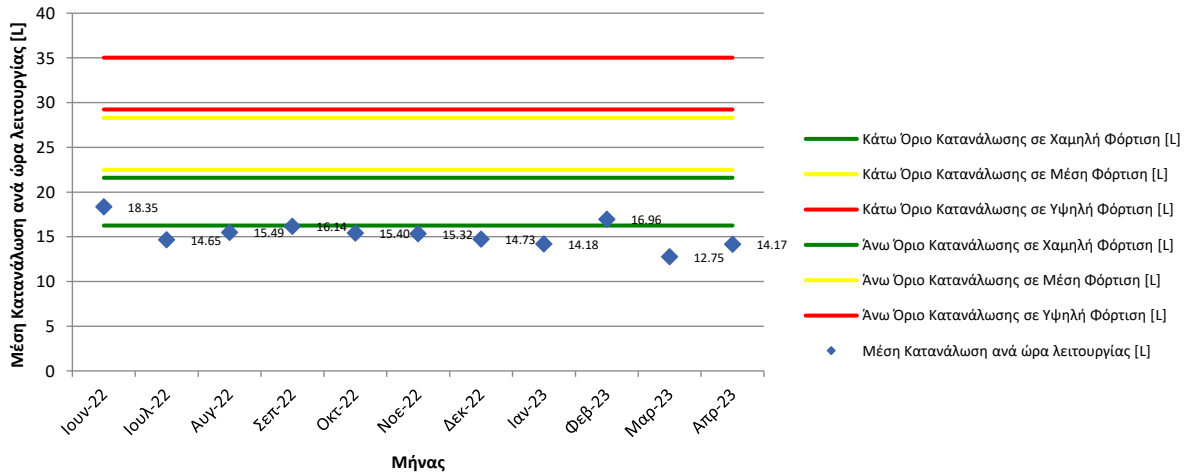
5.4.1 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Προωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15

Το πρώτο μηχάνημα που ανήκει στην κατηγορία των προωθητήρων γαιών και μελετάται έχει τα ακόλουθα στοιχεία:

Πίνακας 10: Στοιχεία προωθητήρα γαιών (α)

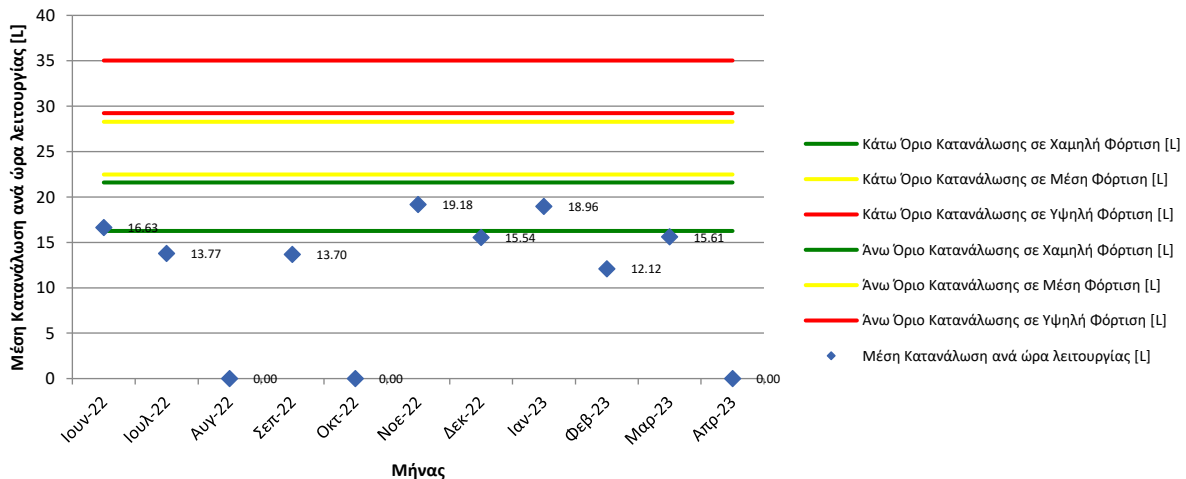
Τύπος μηχανήματος έργου	Προωθητήρας γαιών
Κατασκευαστής	KOMATSU
Μοντέλο μηχανήματος	D65EX-15
Ισχύς (kW)	153
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023

**Πρωθητήρας Γαιών
KOMATSU D65EX-15
Εργοτάξιο Γ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



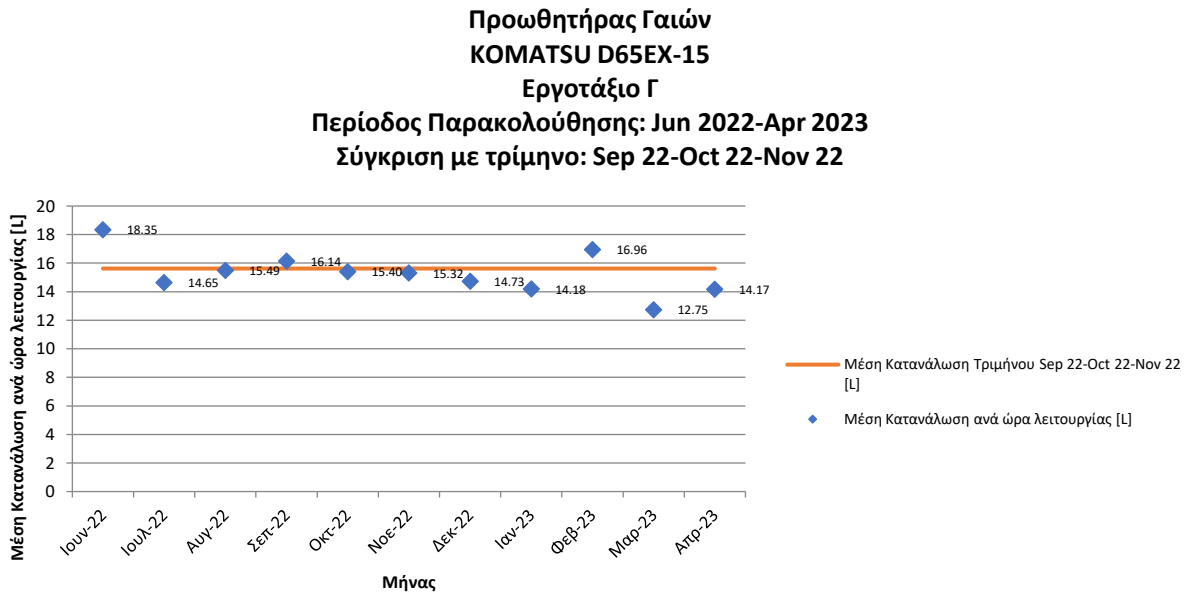
Σχήμα 25: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Πρωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15 - Εργοτάξιο Γ

**Πρωθητήρας Γαιών
KOMATSU D65EX-15
Εργοτάξιο ΣΤ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**

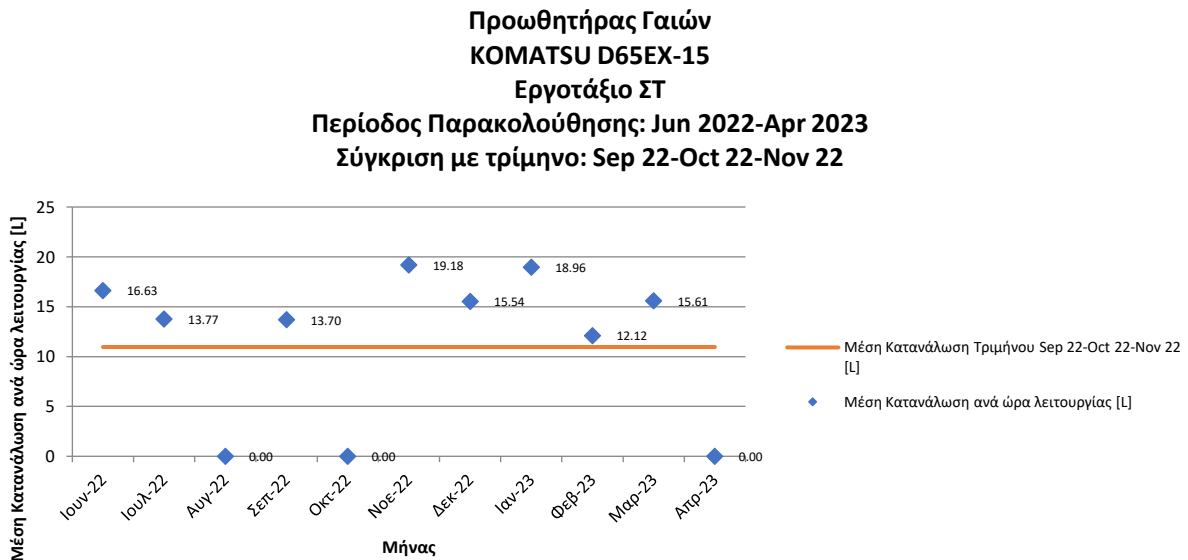


Σχήμα 26: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Πρωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15 - Εργοτάξιο ΣΤ

5.4.2 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Πρωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15



Σχήμα 27: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Πρωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15 - Εργοτάξιο Γ



Σχήμα 28: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Πρωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15 - Εργοτάξιο ΣΤ

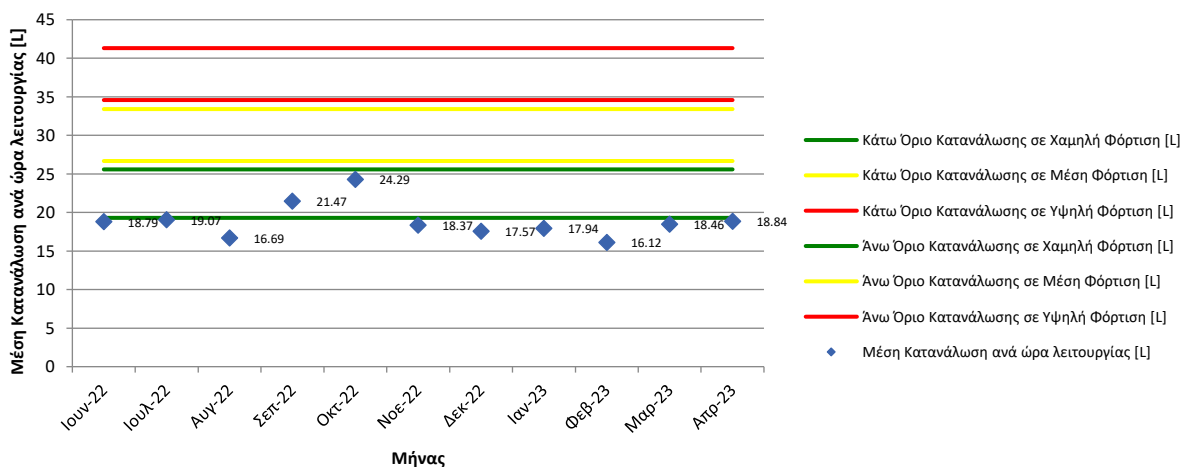
5.4.3 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Προωθητήρας Γαιών CAT D6TXL

Ο δεύτερος προωθητήρας γαιών που μελετάται έχει τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 11: Στοιχεία προωθητήρα γαιών (β)

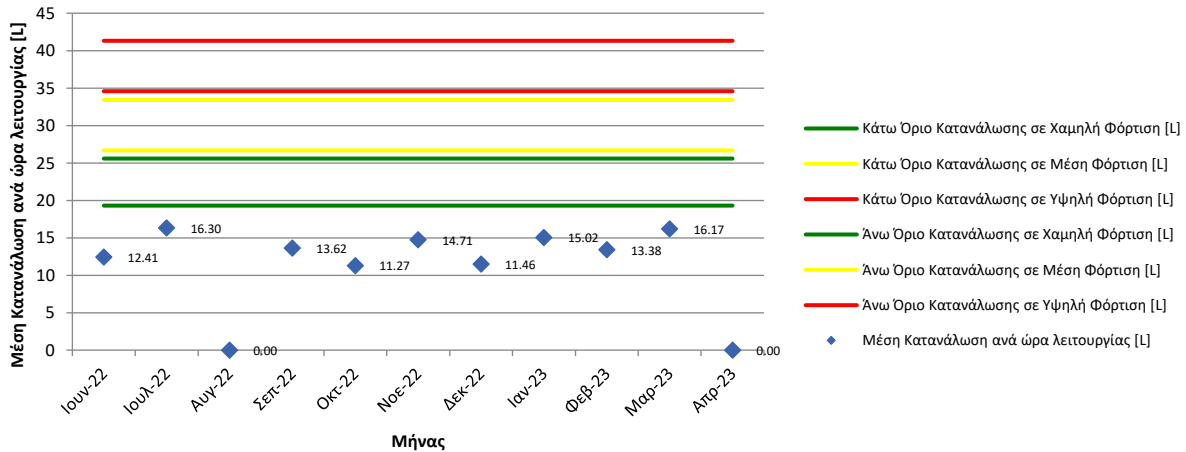
Τύπος μηχανήματος έργου	Προωθητήρας γαιών
Κατασκευαστής	CATERPILLAR
Μοντέλο μηχανήματος	D6TXL
Ισχύς (kW)	186
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023

**Προωθητήρας Γαιών
CAT D6TXL
Εργοτάξιο Γ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



Σχήμα 29: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Προωθητήρας Γαιών CAT D6TXL - Εργοτάξιο Γ

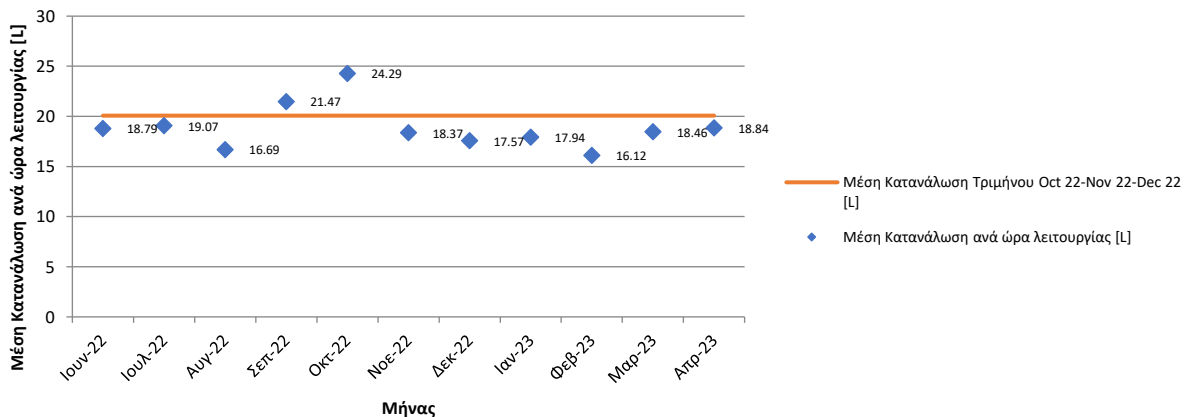
**Πρωθητήρας Γαιών
CAT D6TXL
Εργοτάξιο ΣΤ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



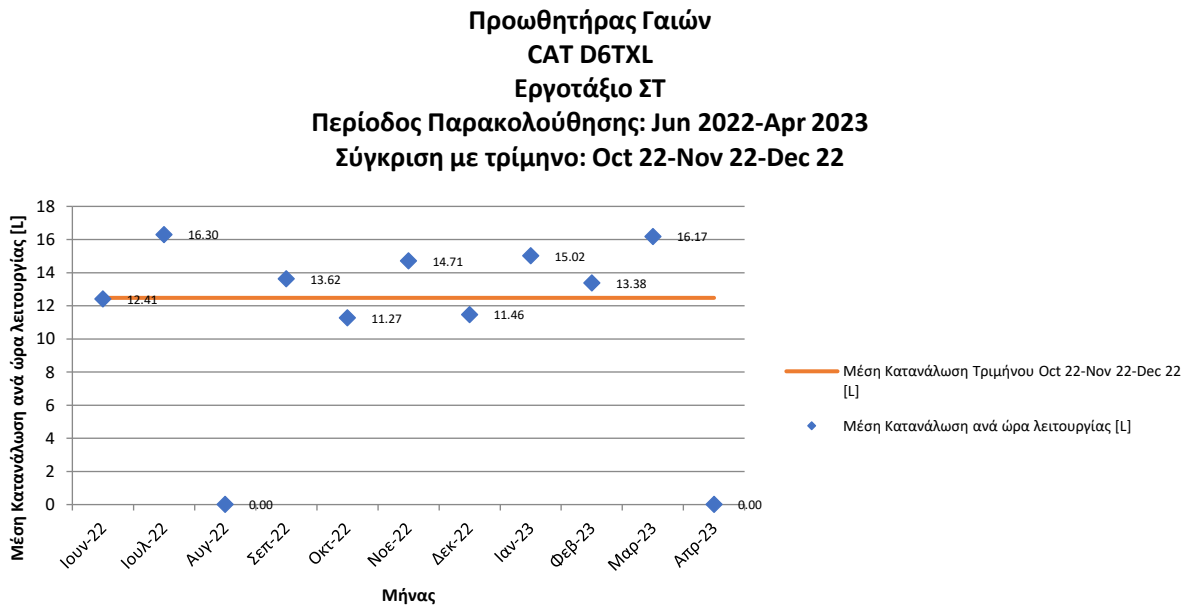
Σχήμα 30: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Πρωθητήρας Γαιών CAT D6TXL - Εργοτάξιο ΣΤ

5.4.4 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Πρωθητήρας Γαιών CAT D6TXL

**Πρωθητήρας Γαιών
CAT D6TXL
Εργοτάξιο Γ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023
Σύγκριση με τρίμηνο: Oct 22-Nov 22-Dec 22**



Σχήμα 31: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Πρωθητήρας Γαιών CAT D6TXL - Εργοτάξιο Γ



Σχήμα 32: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Πρωθητήρας Γαιών CAT D6TXL - Εργοτάξιο ΣΤ

5.4.5 Σχολιασμός διαγραμμάτων των πρωθητήρων γαιών

Και σε αυτή την κατηγορία μηχανημάτων προκύπτουν συμπεράσματα αντίστοιχα με τους ισοπεδωτές γαιών. Όσον αφορά τον πρώτο πρωθητήρα γαιών που μελετάται (KOMATSU D65EX-15) οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου βρίσκονται κάτω από το άνω όριο που αντιστοιχεί στη χαμηλή φόρτιση των μηχανημάτων. Ωστόσο, παρατηρείται ότι αρκετές φορές η κατανάλωση καυσίμου είναι χαμηλότερη από το κάτω (αναμενόμενο) όριο της χαμηλής φόρτισης. Οι παρατηρήσεις είναι κοινές και για τα δύο εργοτάξια που μελετήθηκε το συγκεκριμένο μηχάνημα.

Ο δεύτερος πρωθητήρας γαιών (CAT D6TXL) εμφανίζει ανάλογη συμπεριφορά με τον KOMATSU D65EX-15. Ειδικότερα, στο Εργοτάξιο Γ, σχεδόν όλες οι τιμές της κατανάλωσης είναι χαμηλότερες από το κάτω όριο κατανάλωσης που αντιστοιχεί στη χαμηλή φόρτιση. Στο Εργοτάξιο ΣΤ, επίσης, όλες οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου βρίσκονται κάτω από τη χαμηλότερη αναμενόμενη (βάσει βιβλιογραφίας) τιμή της κατανάλωσης.

Όσον αφορά τα Διαγράμματα Σύγκρισης με Τρίμηνο και στα δύο μηχανήματα φαίνεται ότι η κατανάλωση είναι κοντά στη μέση κατανάλωση τριμήνου (με εξαίρεση το **Σχήμα 27**), που αποτελεί τη βάση σύγκρισης.

Το ότι η κατανάλωση είναι χαμηλότερη από το κάτω όριο της χαμηλής φόρτισης ενδέχεται να οφείλεται είτε σε σφάλμα του μοντέλου προσέγγισης των ορίων καταναλώσεων που υιοθετήθηκε (**Πίνακας 3**) είτε σε υποκαταγραφή των καταναλώσεων καυσίμου στα εργοτάξια.

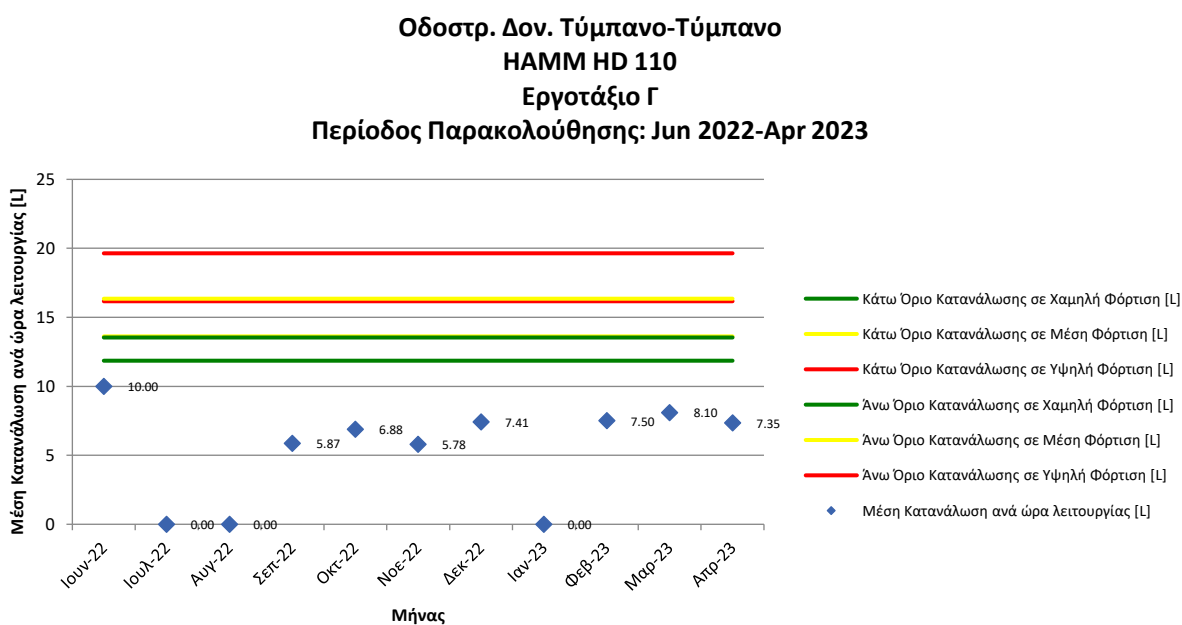
5.5 Οδοστρωτήρες

5.5.1 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110

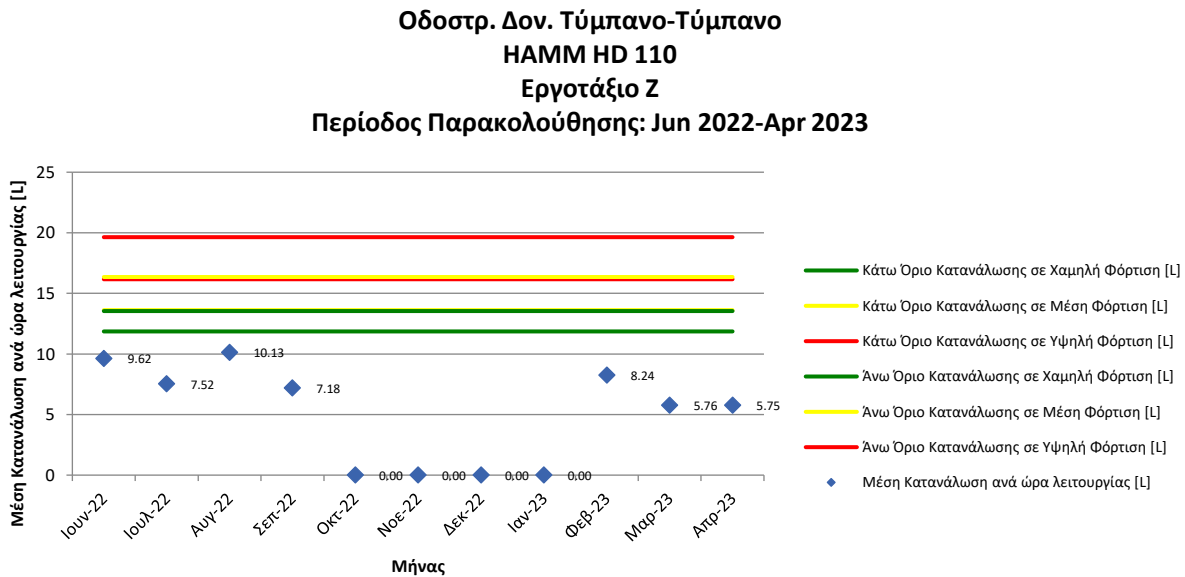
Από την κατηγορία των οδοστρωτήρων μελετάται η υποκατηγορία των δονητικών οδοστρωτήρων (τύμπανο – τύμπανο). Το πρώτο μηχάνημα έχει τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 12: Στοιχεία Οδοστρωτήρα (α)

Τύπος μηχανήματος έργου	Οδοστρωτήρας Δον. (τύμπανο – τύμπανο)
Κατασκευαστής	HAMM
Μοντέλο μηχανήματος	HD 110
Ισχύς (kW)	99
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023

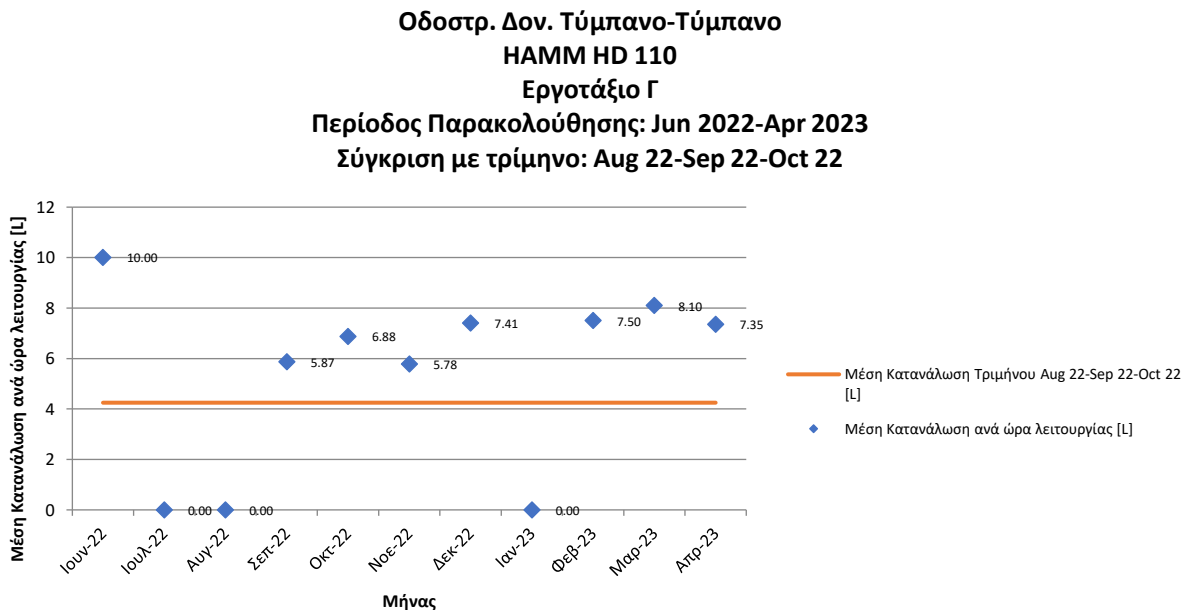


Σχήμα 33: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110 - Εργοτάξιο Γ

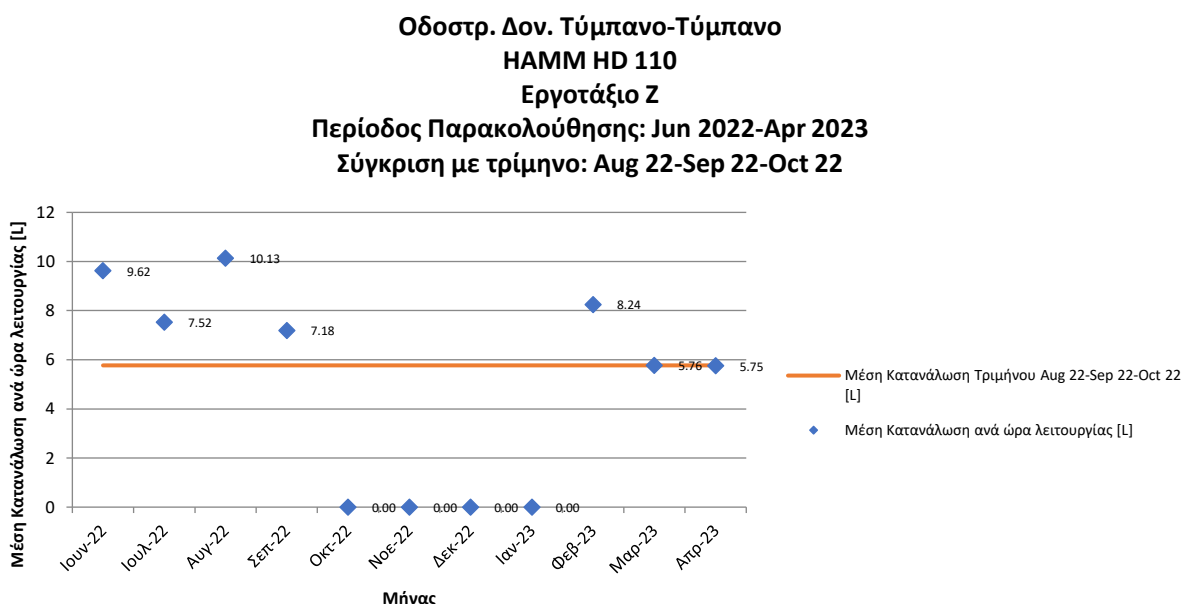


Σχήμα 34: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110 - Εργοτάξιο Ζ

5.5.2 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110



Σχήμα 35: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110 - Εργοτάξιο Γ



Σχήμα 36: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110 - Εργοτάξιο Z

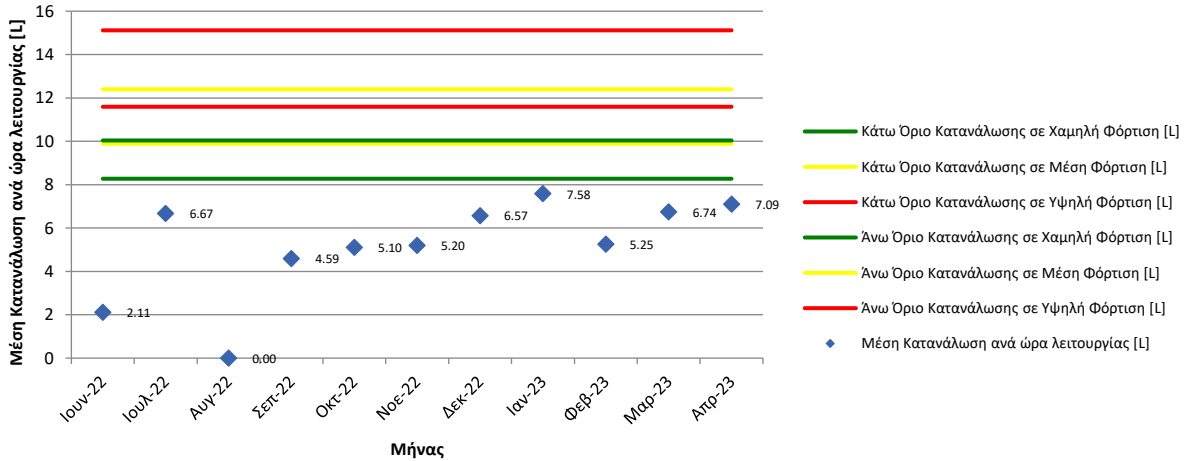
5.5.3 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75

Το δεύτερο μηχάνημα που μελετάται από την υποκατηγορία των δονητικών οδοστρωτήρων (τύμπανο – τύμπανο) έχει τα παρακάτω στοιχεία:

Πίνακας 13: Στοιχεία Οδοστρωτήρα (β)

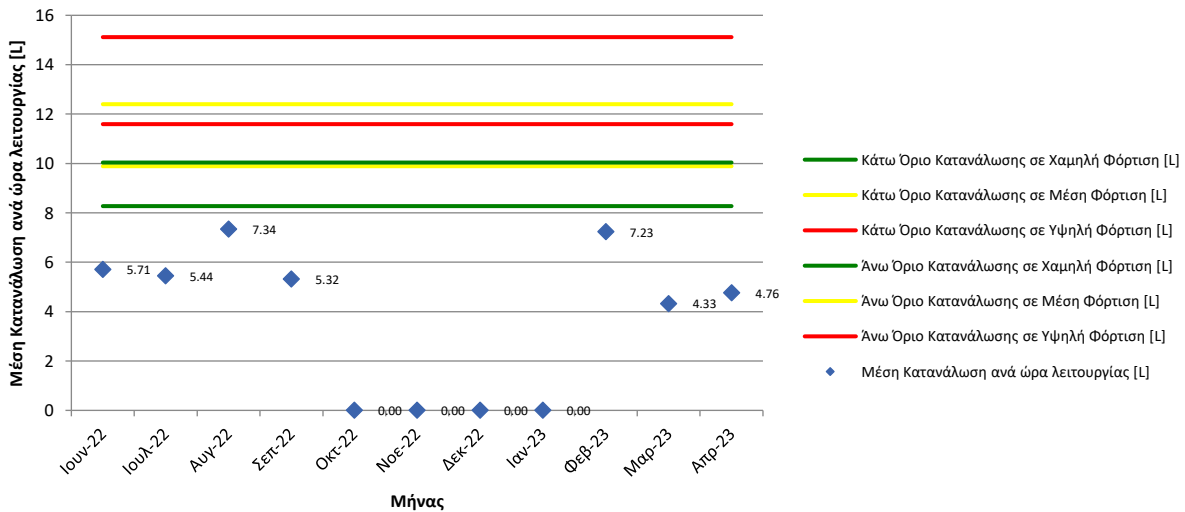
Τύπος μηχανήματος έργου	Οδοστρωτήρας Δον. (τύμπανο – τύμπανο)
Κατασκευαστής	HAMM
Μοντέλο μηχανήματος	HD 75
Ισχύς (kW)	63
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023

**Οδοστρ. Δον. Τύμπανο-Τύμπανο
HAMM HD 75
Εργοτάξιο Γ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



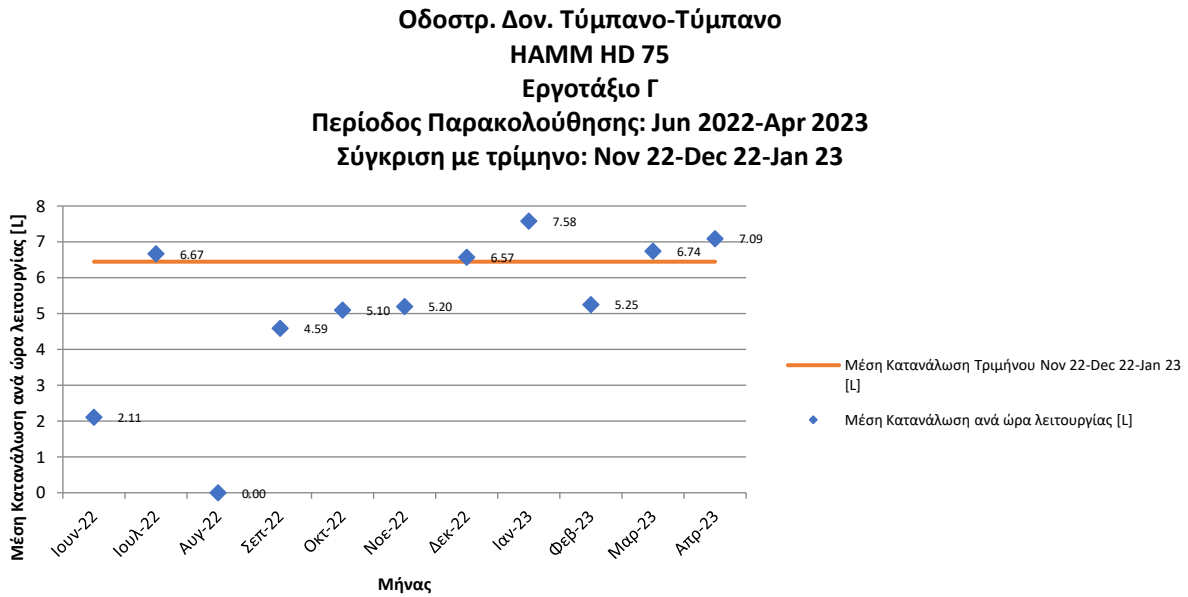
Σχήμα 37: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75 - Εργοτάξιο Γ

**Οδοστρ. Δον. Τύμπανο-Τύμπανο
HAMM HD 75
Εργοτάξιο Z
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**

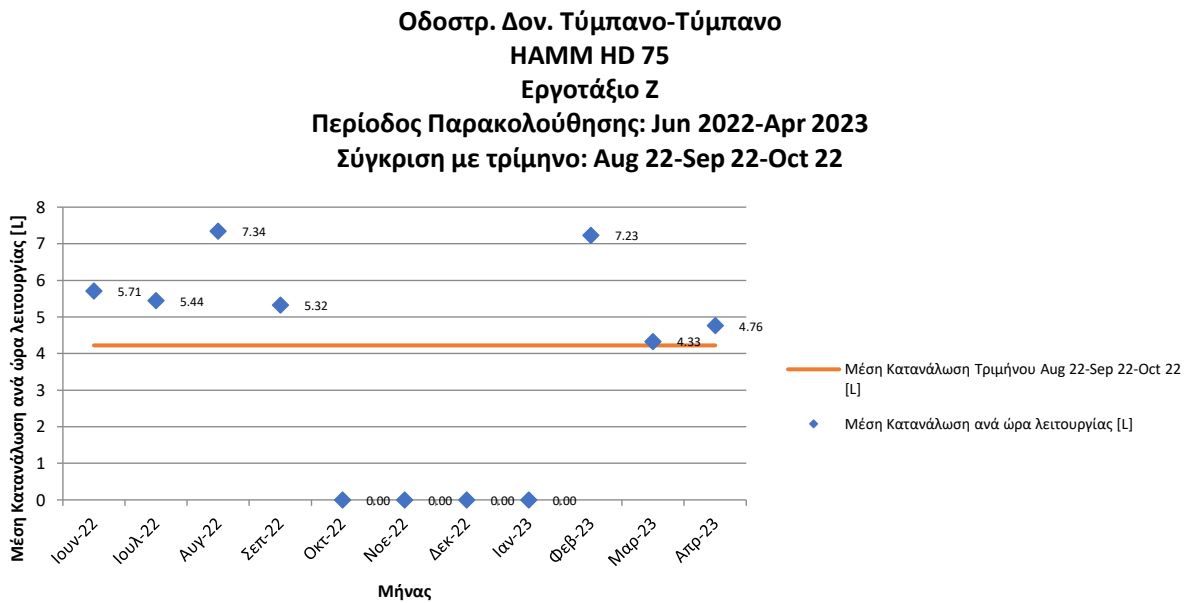


Σχήμα 38: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75 - Εργοτάξιο Z

5.5.4 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75



Σχήμα 39: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75 - Εργοτάξιο Γ



Σχήμα 40: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75 - Εργοτάξιο Z

5.5.5 Σχολιασμός διαγραμμάτων των οδοστρωτήρων

Στους δύο οδοστρωτήρες που μελετώνται, η κατανάλωση καυσίμου είναι σε όλα τα εργοτάξια, χαμηλότερη από το κάτω όριο κατανάλωσης που αντιστοιχεί στη χαμηλή φόρτιση. Συγκεκριμένα, στον HAMM HD 110 τόσο στο Εργοτάξιο Γ όσο και στο Εργοτάξιο Ζ, η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου είναι αισθητά χαμηλότερη από το κάτω όριο κατανάλωσης. Αντίστοιχα, στον HAMM HD 75 οι καταναλώσεις είναι και σ' αυτή την περίπτωση αρκετά χαμηλότερες από το κάτω όριο κατανάλωσης.

Επιπλέον, στα διαγράμματα που απεικονίζουν την ενεργειακή κατανάλωση των δονητικών οδοστρωτήρων στο Εργοτάξιο Ζ, παρατηρείται ότι το τετράμηνο Οκτώβριος 2022 – Ιανουάριος 2023, η κατανάλωση και των δύο μηχανημάτων είναι μηδενική, κάτι που πιθανώς οφείλεται σε διακοπή των εργασιών που πραγματοποιούνταν από τους οδοστρωτήρες (για λόγους συντήρησης ή βάσει του σχεδιασμού του έργου).

Το ότι η κατανάλωση είναι χαμηλότερη από το κάτω όριο της χαμηλής φόρτισης ενδέχεται να οφείλεται είτε σε σφάλμα του μοντέλου προσέγγισης των ορίων καταναλώσεων που υιοθετήθηκε (Πίνακας 3) είτε σε υποκαταγραφή των καταναλώσεων καυσίμου στα εργοτάξια.

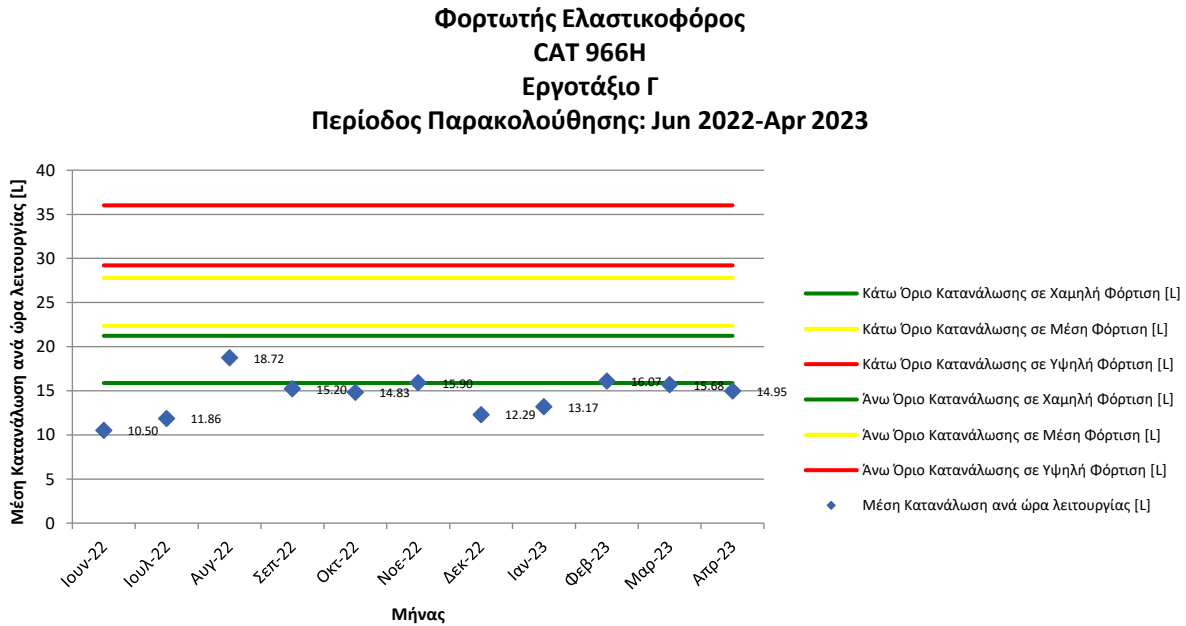
5.6 Φορτωτές

5.6.1 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H

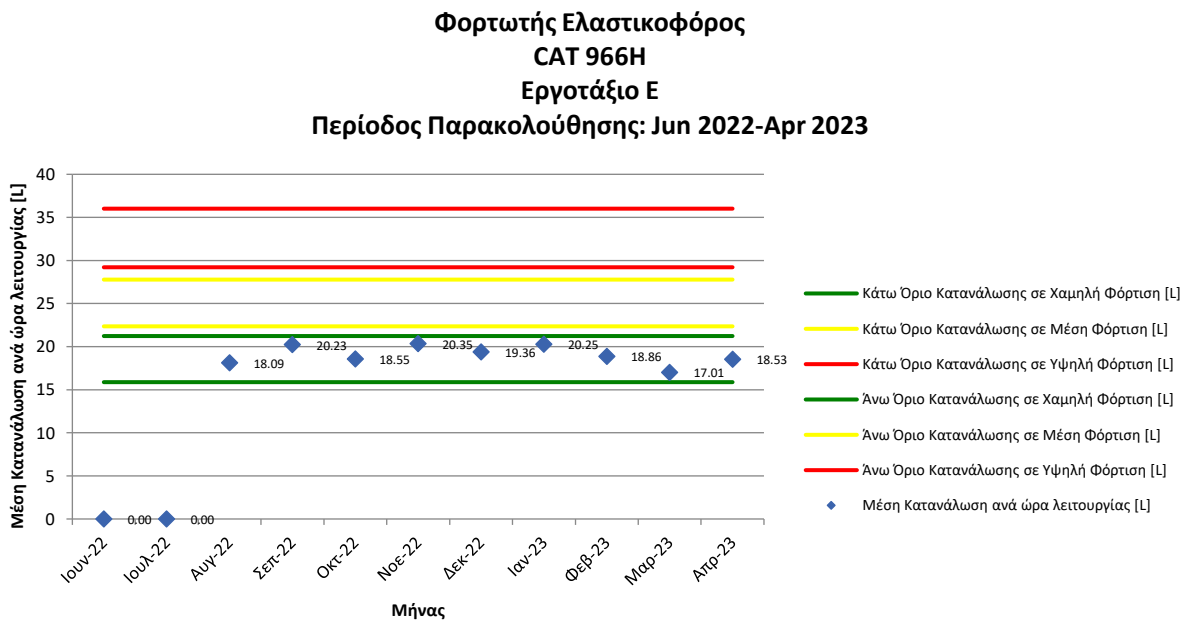
Στην κατηγορία των φορτωτών μελετώνται δύο ελαστικοφόροι φορτωτές. Το πρώτο μηχάνημα της κατηγορίας έχει τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 14: Στοιχεία Ελαστικοφόρου Φορτωτή (α)

Τύπος μηχανήματος έργου	Φορτωτής ελαστικοφόρος
Κατασκευαστής	CAT
Μοντέλο μηχανήματος	966H
Ισχύς (kW)	195
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023

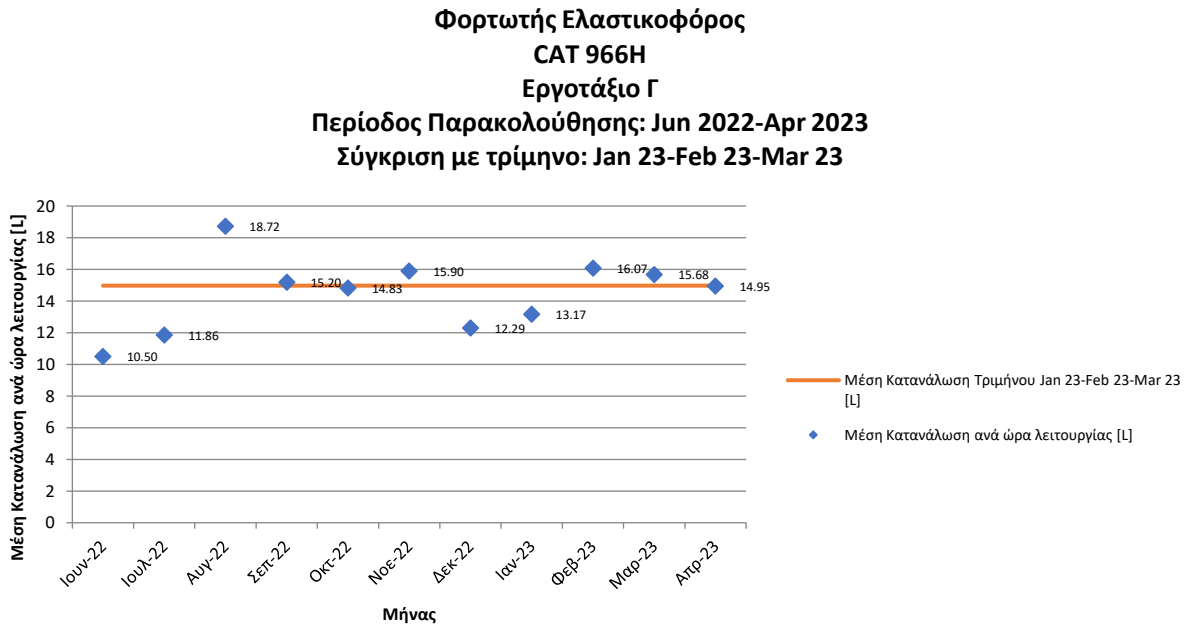


Σχήμα 41: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H - Εργοτάξιο Γ

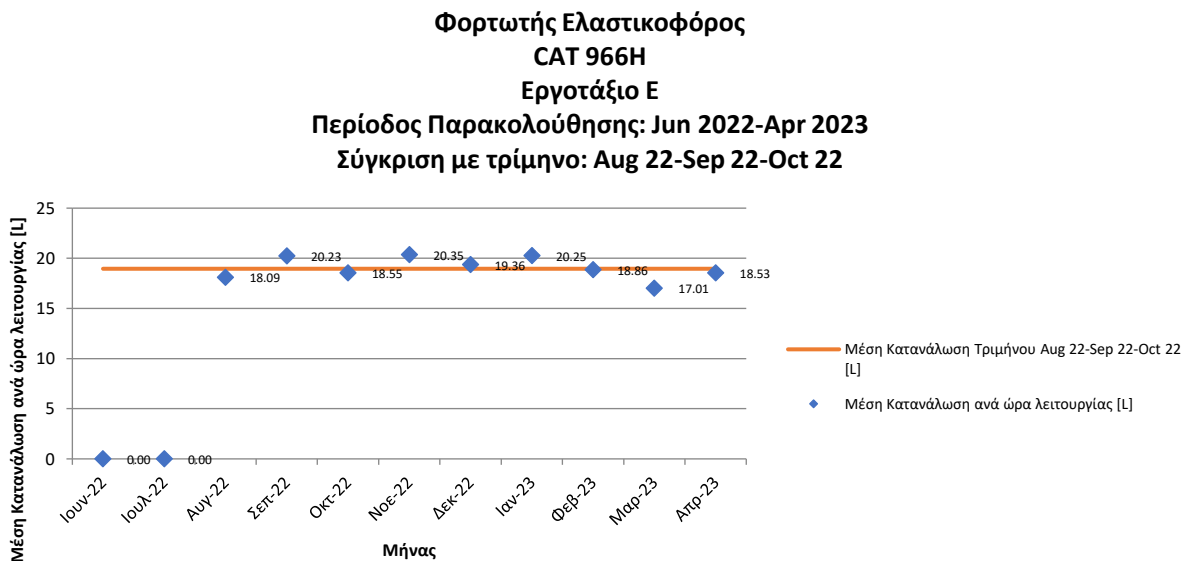


Σχήμα 42: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H - Εργοτάξιο Ε

5.6.2 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H



Σχήμα 43: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H - Εργοτάξιο Γ



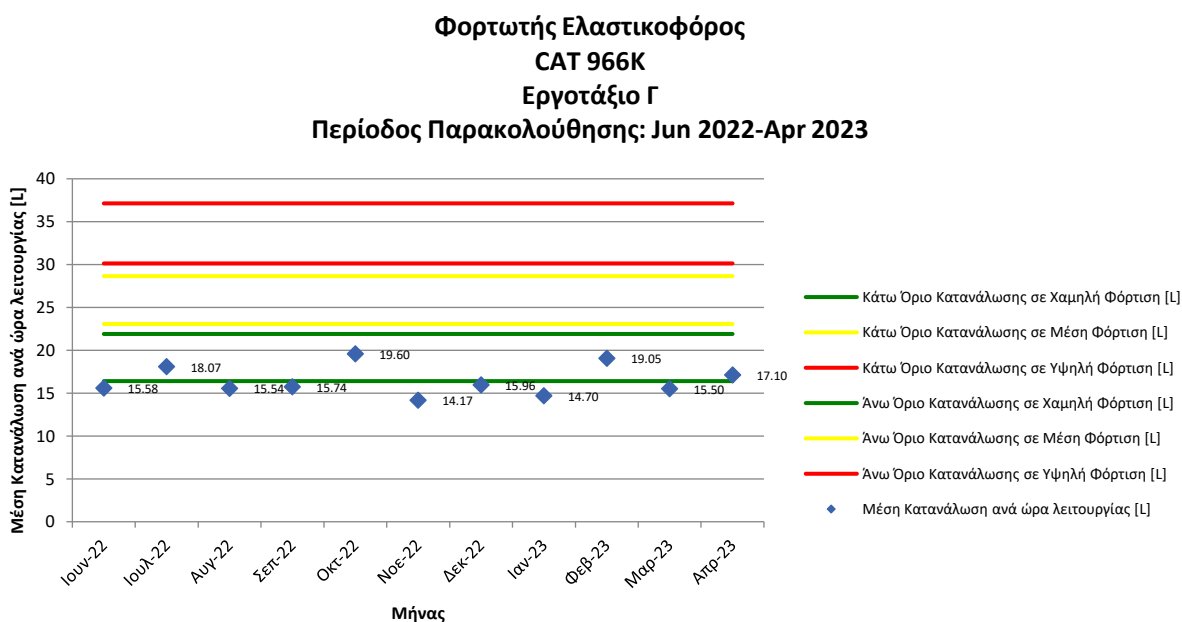
Σχήμα 44: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H - Εργοτάξιο Ε

5.6.3 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K

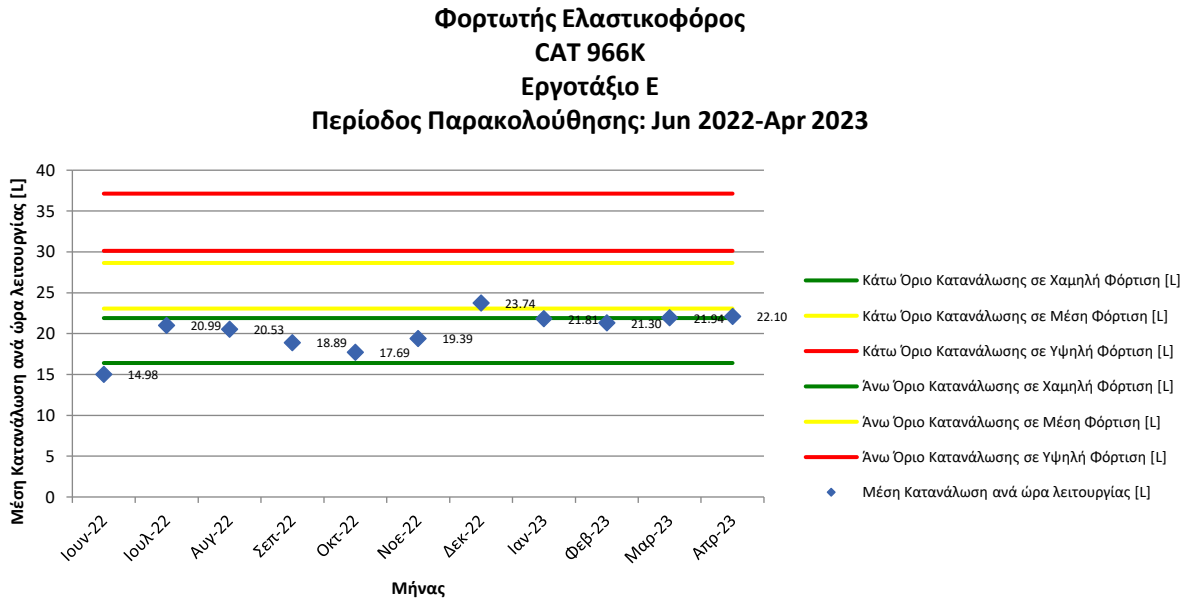
Ο δεύτερος ελαστικοφόρος φορτωτής που μελετάται έχει τα παρακάτω στοιχεία:

Πίνακας 15: Στοιχεία Ελαστικοφόρου Φορτωτή (β)

Τύπος μηχανήματος έργου	Φορτωτής ελαστικοφόρος
Κατασκευαστής	CAT
Μοντέλο μηχανήματος	966K
Ισχύς (kW)	201
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023

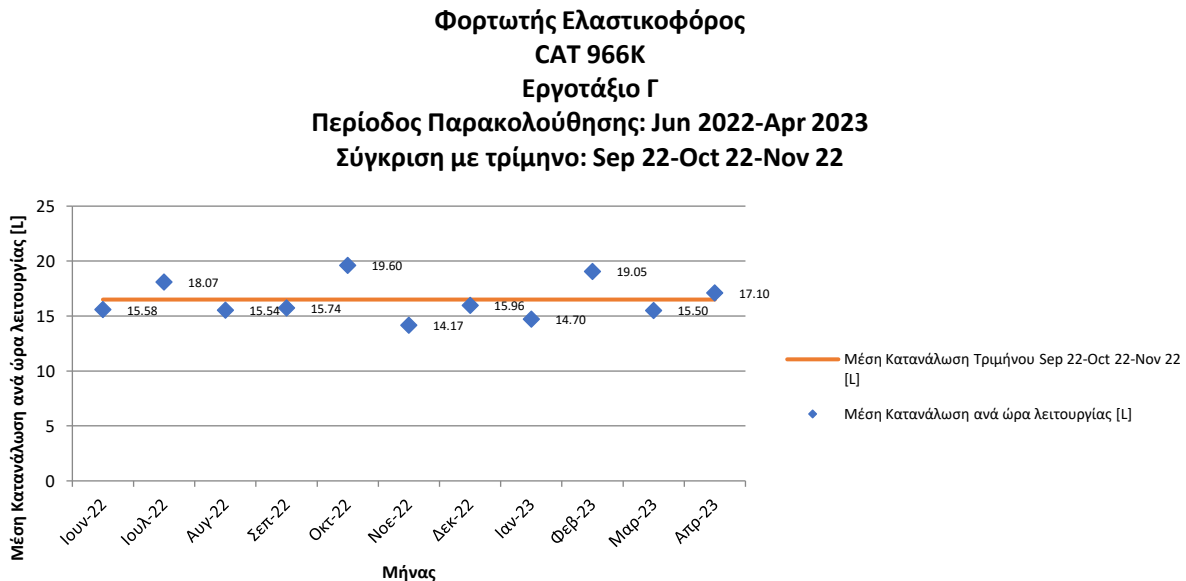


Σχήμα 45: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K - Εργοτάξιο Γ

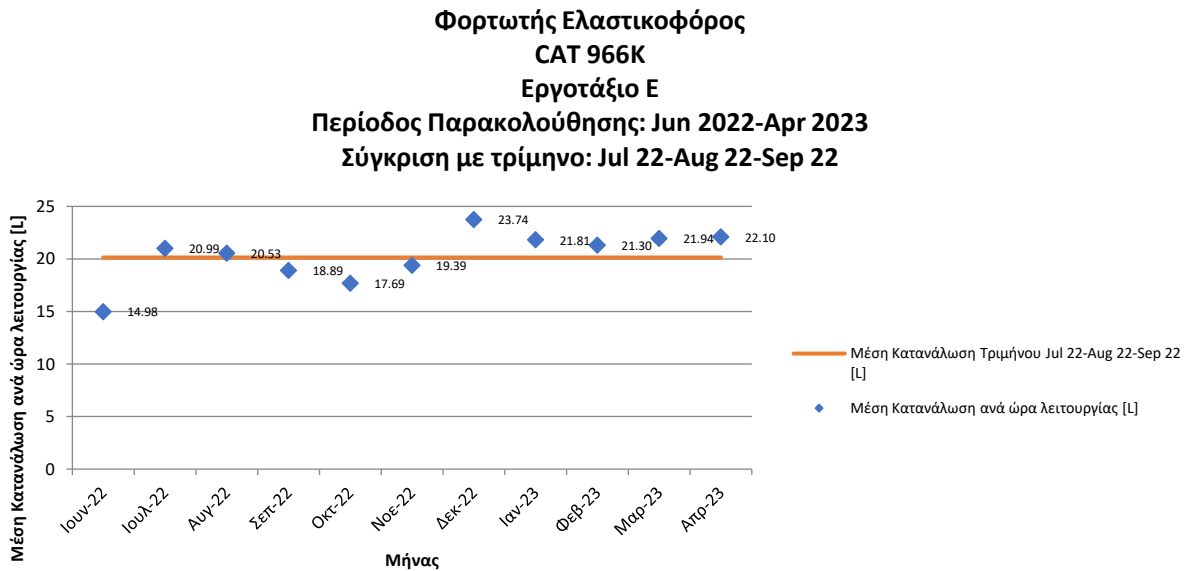


Σχήμα 46: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K - Εργοτάξιο Ε

5.6.4 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K



Σχήμα 47: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K - Εργοτάξιο Γ



Σχήμα 48: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K - Εργοτάξιο E

5.6.5 Σχολιασμός διαγραμμάτων των φορτωτών

Ο πρώτος φορτωτής (ελαστικοφόρος) που μελετάται (CAT 966H) εμφανίζει καταναλώσεις καυσίμου που βρίσκονται είτε στο εύρος της χαμηλής φόρτισης είτε κάτω απ’ αυτό. Συγκεκριμένα, στο Εργοτάξιο Γ, οι καταναλώσεις του CAT 966H κυμαίνονται κοντά στο κάτω όριο κατανάλωσης (στη χαμηλή φόρτιση). Στο Εργοτάξιο E, εκτός από τους δύο πρώτους μήνες (Ιούνιος και Ιούλιος 2022) κατά τους οποίους το μηχάνημα δεν λειτούργησε, η κατανάλωση του φορτωτή είναι μεταξύ του κάτω και άνω ορίου κατανάλωσης που αντιστοιχεί στη χαμηλή φόρτιση .

Όσον αφορά τον δεύτερο ελαστικοφόρο φορτωτή (CAT 966K) προκύπτουν περίπου αντίστοιχα συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, στο Εργοτάξιο Γ, ορισμένες τιμές της κατανάλωσης είναι χαμηλότερες από το κάτω όριο που αντιστοιχεί στη χαμηλή φόρτιση, ενώ οι υπόλοιπες είναι μεταξύ των ορίων της χαμηλής φόρτισης. Στο Εργοτάξιο E, όλες οι τιμές της κατανάλωσης είναι εντός της περιοχής που δημιουργούν τα άνω και κάτω όρια στη χαμηλή φόρτιση, με μοναδική εξαίρεση τον Ιούνιο του 2022 (που η κατανάλωση είναι χαμηλότερη από το κάτω όριο) και τον Δεκέμβριο του 2022 (που η κατανάλωση υπερβαίνει το άνω όριο της χαμηλής φόρτισης).

Επιπρόσθετα, η κατανάλωση καυσίμου ανά μήνα και στα δύο μηχανήματα, κυμαίνεται πολύ κοντά στη μέση τιμή του τριμήνου που επιλέχθηκε να αποτελεί τη βάση σύγκρισης. Με βάση τα παραπάνω, η λειτουργία και των δύο μηχανημάτων κρίνεται ικανοποιητική.

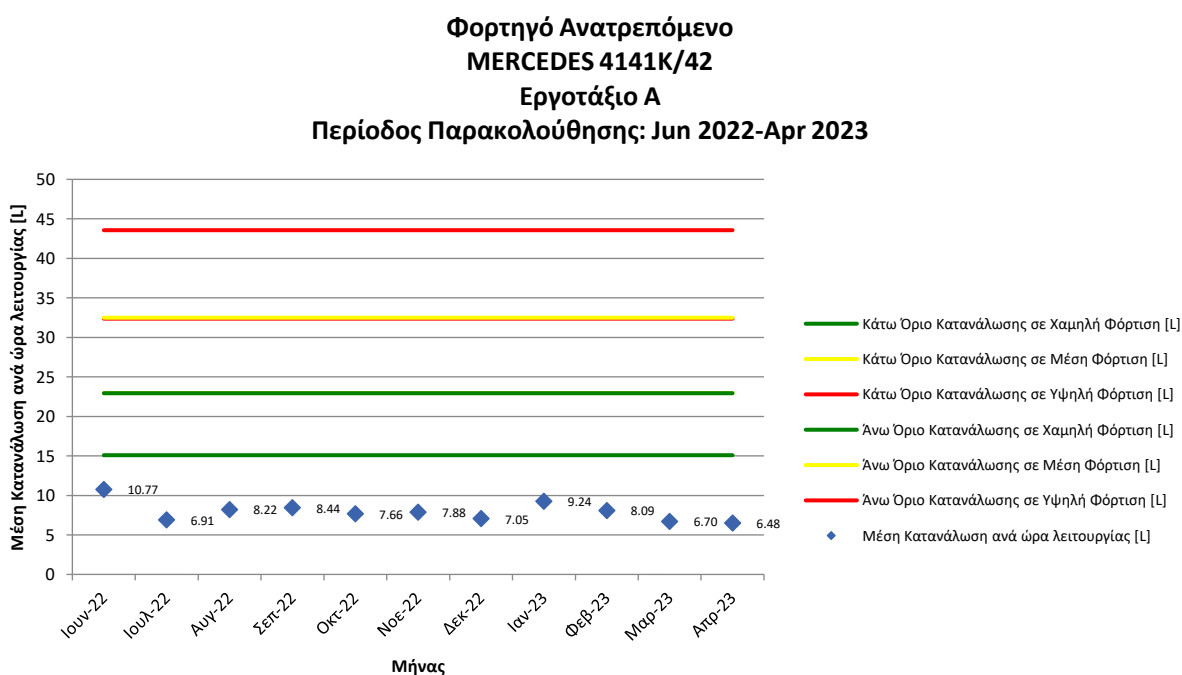
5.7 Φορτηγά

5.7.1 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42

Στην κατηγορία των φορτηγών μελετώνται δύο μηχανήματα που ανήκουν στην υποκατηγορία των ανατρεπόμενων φορτηγών. Τα στοιχεία του πρώτου μηχανήματος φαίνονται στη συνέχεια:

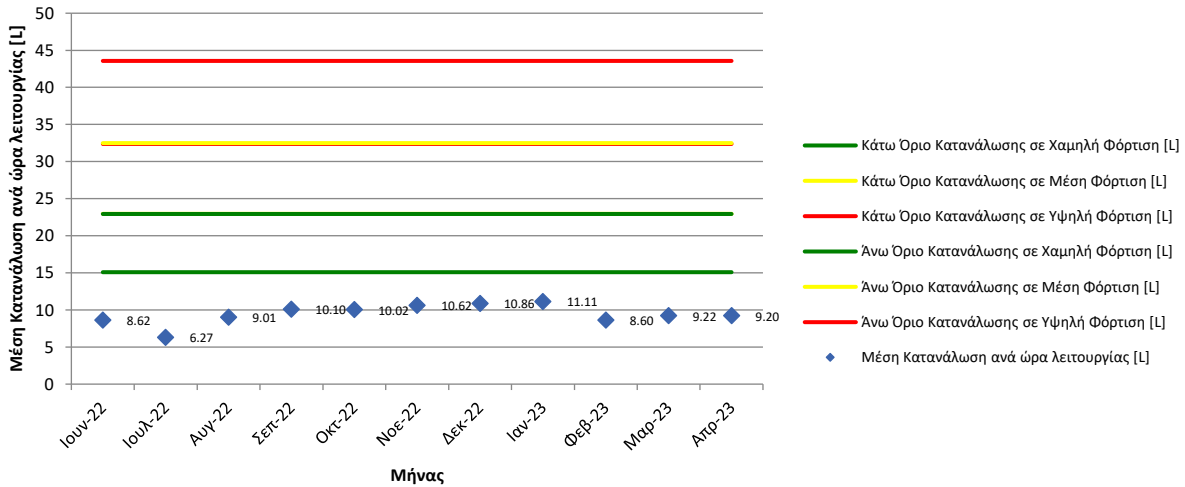
Πίνακας 16: Στοιχεία Φορτηγού ανατρεπόμενου (α)

Τύπος μηχανήματος έργου	Φορτηγό ανατρεπόμενο
Κατασκευαστής	MERCEDES
Μοντέλο μηχανήματος	4141K/42
Ισχύς (kW)	305
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023



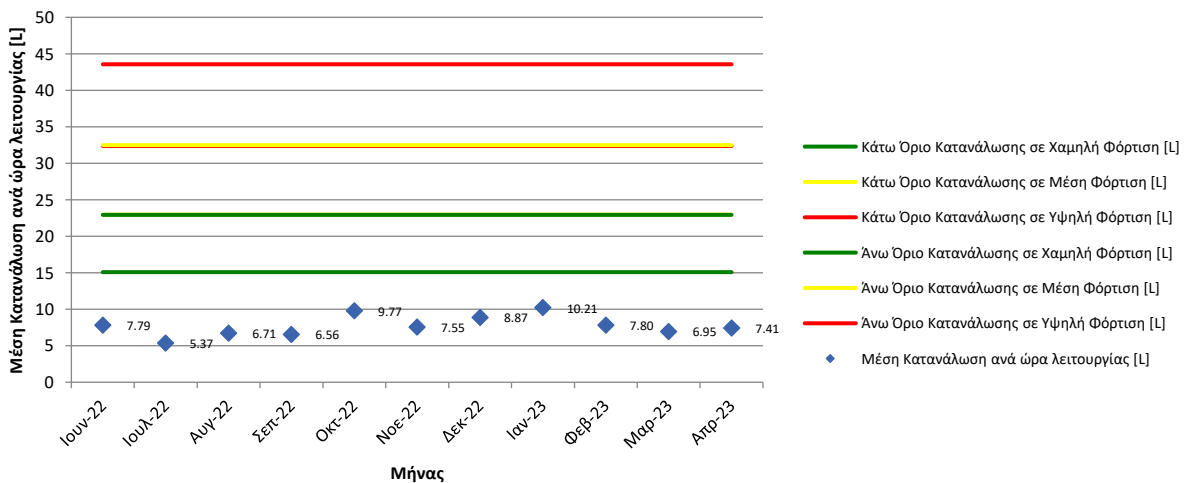
Σχήμα 49: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Α

**Φορτηγό Ανατρεπόμενο
MERCEDES 4141K/42
Εργοτάξιο Γ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



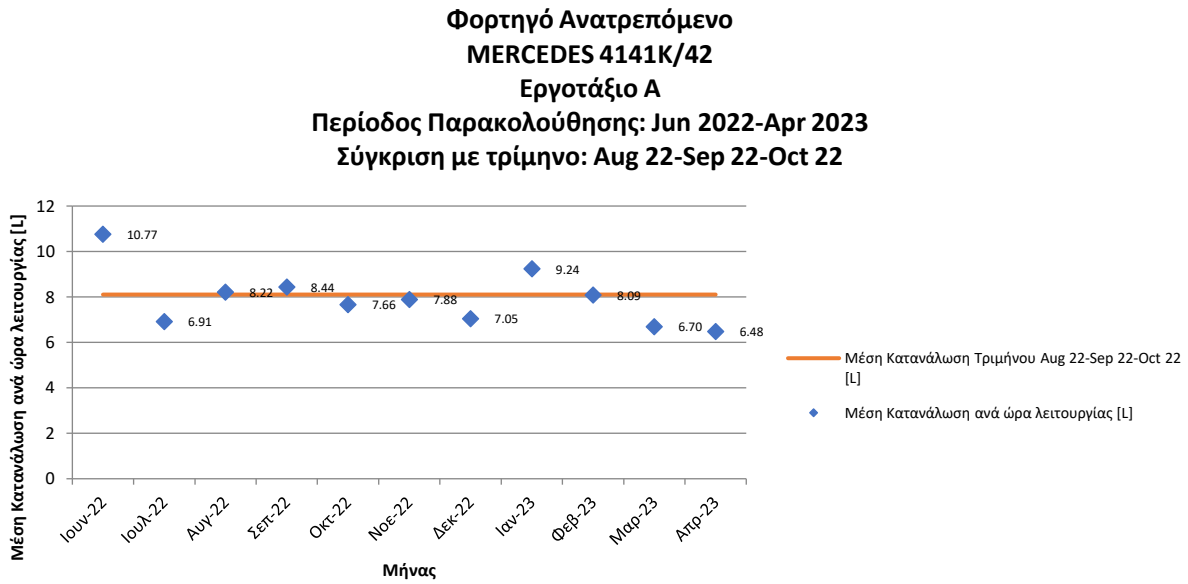
Σχήμα 50: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Γ

**Φορτηγό Ανατρεπόμενο
MERCEDES 4141K/42
Εργοτάξιο Δ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**

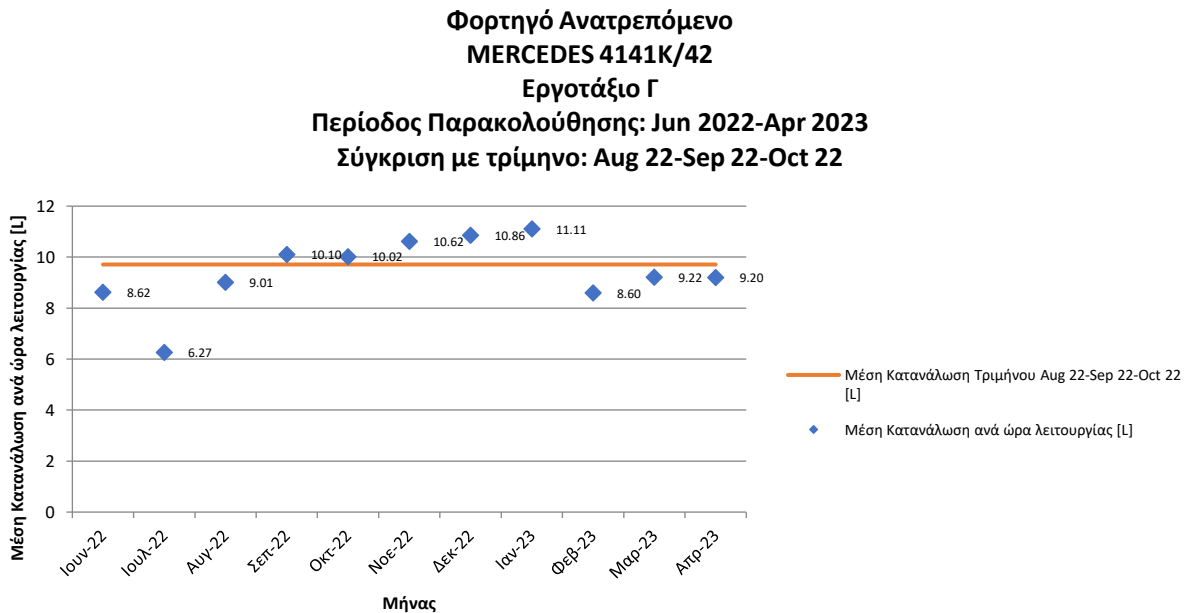


Σχήμα 51: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Δ

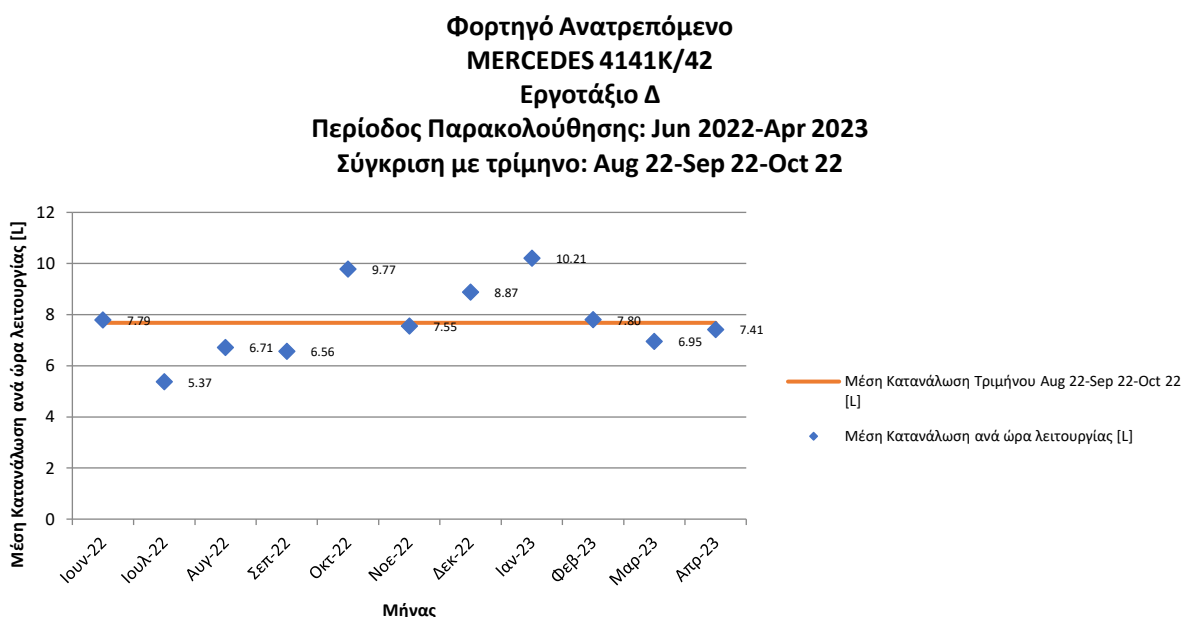
5.7.2 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42



Σχήμα 52: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Α



Σχήμα 53: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Γ



Σχήμα 54: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Δ

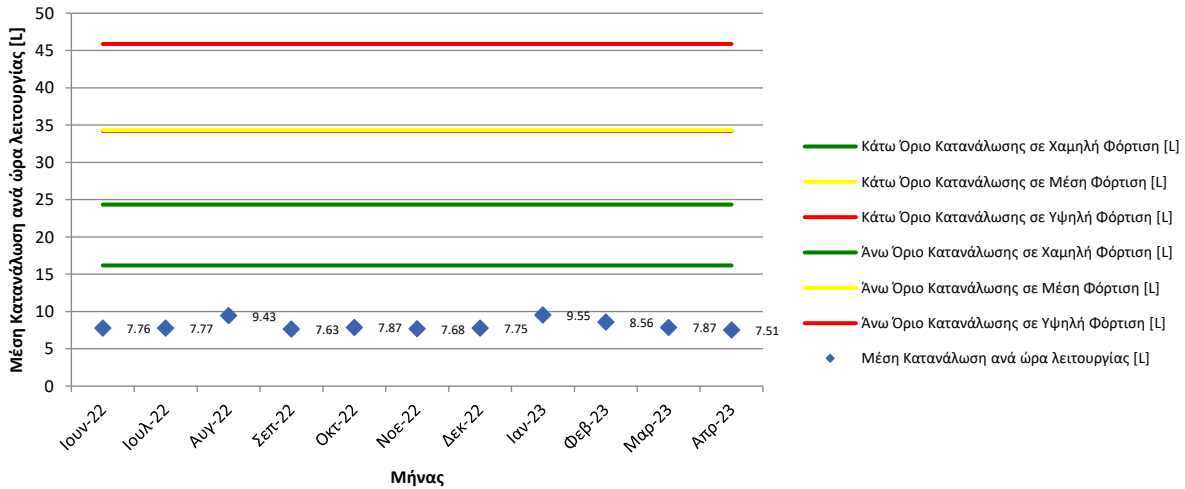
5.7.3 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440

Στην κατηγορία των φορηγών μελετώνται δύο μηχανήματα που ανήκουν στην υποκατηγορία των ανατρεπόμενων φορηγών. Τα στοιχεία του πρώτου μηχανήματος φαίνονται στη συνέχεια:

Πίνακας 17: Στοιχεία Φορηγού ανατρεπόμενου (β)

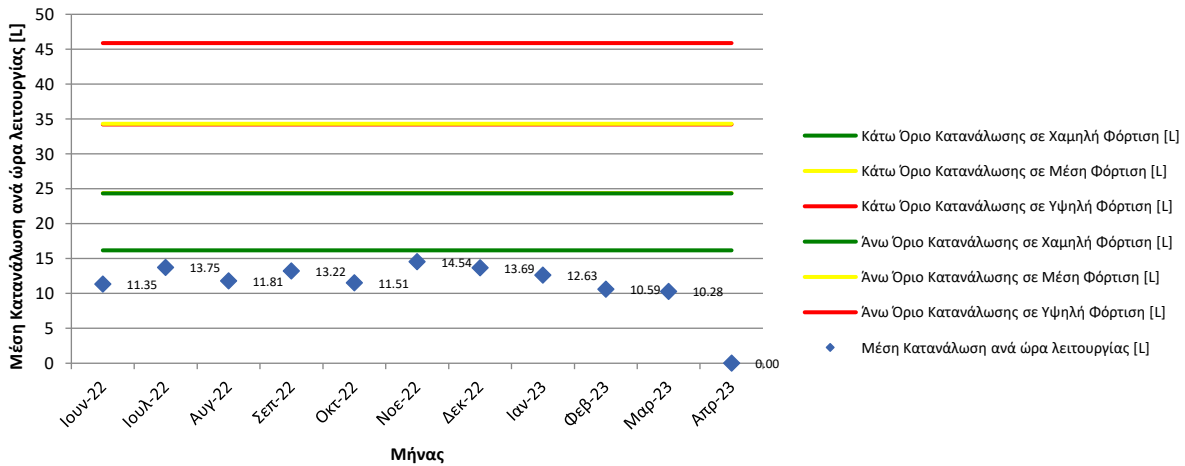
Τύπος μηχανήματος έργου	Φορηγό ανατρεπόμενο
Κατασκευαστής	MAN
Μοντέλο μηχανήματος	TGS 41.440
Ισχύς (kW)	324
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023

**Φορηγό Ανατρεπόμενο
MAN TGS 41.440
Εργοτάξιο Α
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



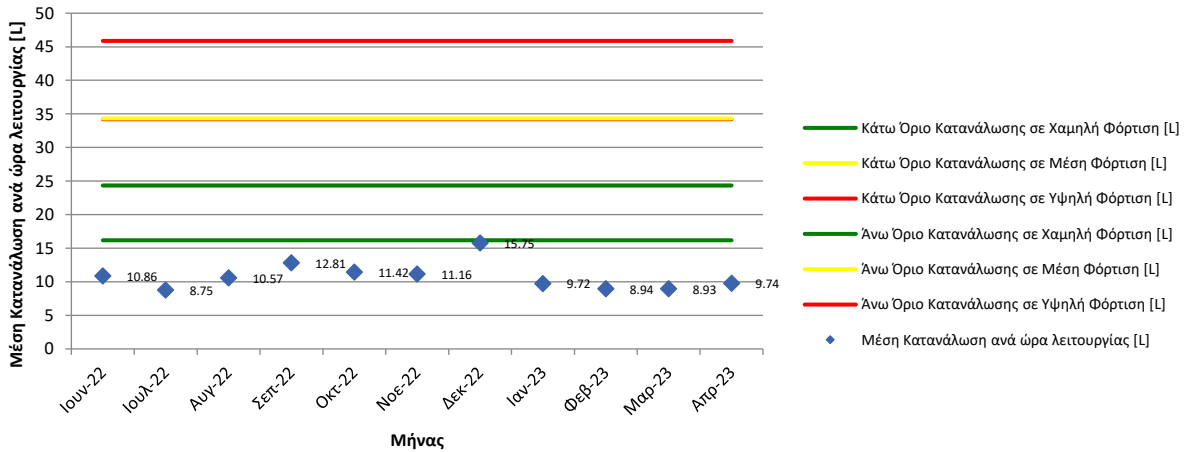
Σχήμα 55: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Α

**Φορηγό Ανατρεπόμενο
MAN TGS 41.440
Εργοτάξιο Γ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



Σχήμα 56: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Γ

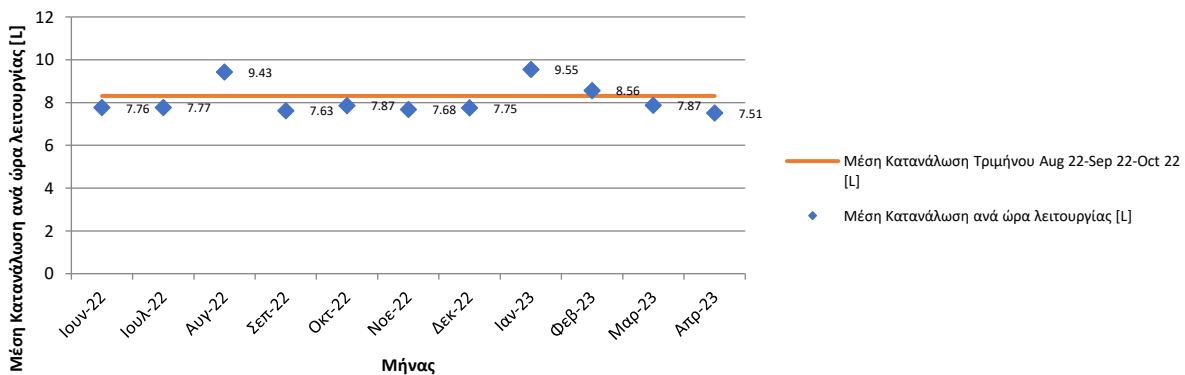
**Φορτηγό Ανατρεπόμενο
MAN TGS 41.440
Εργοτάξιο Δ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



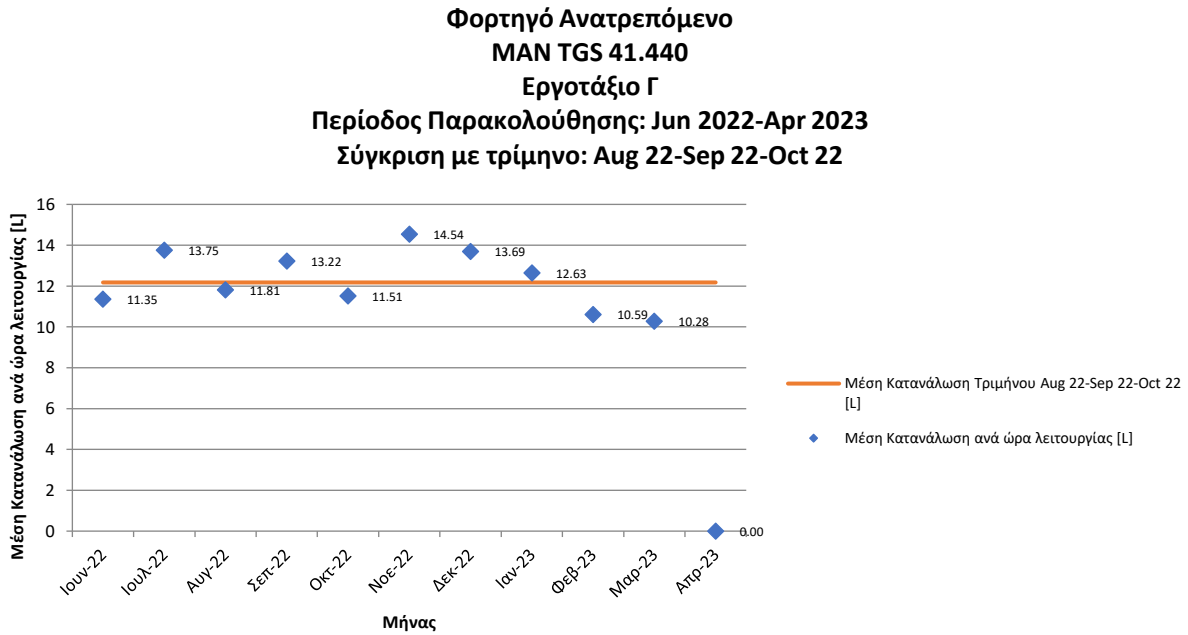
Σχήμα 57: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Δ

5.7.4 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440

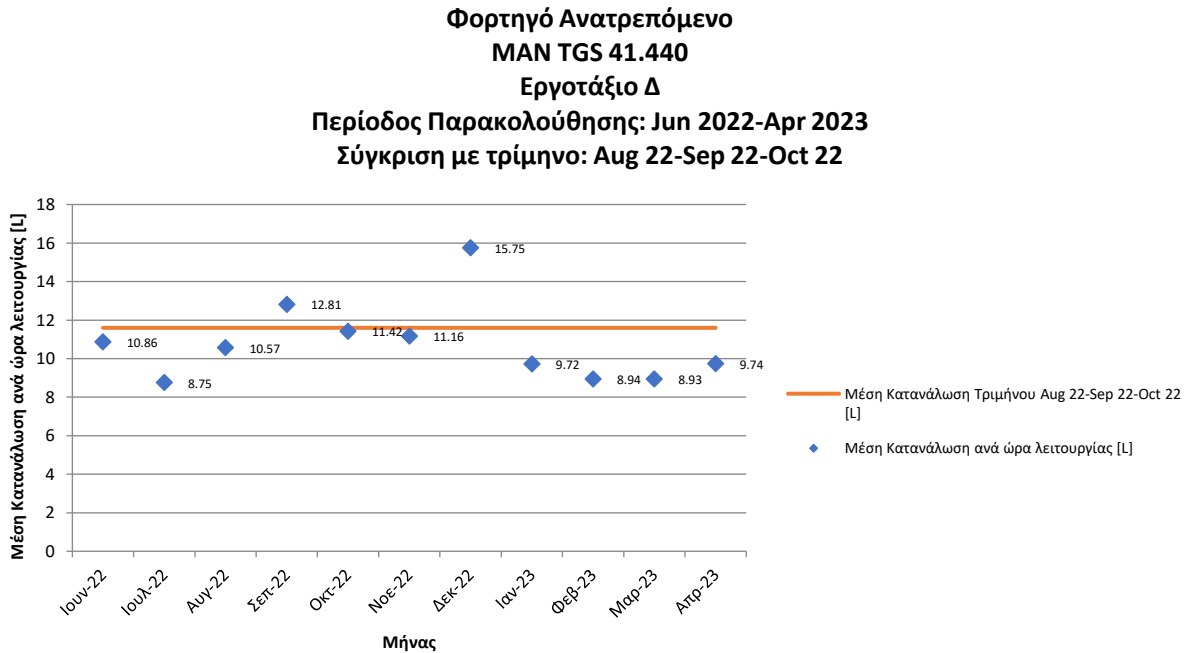
**Φορτηγό Ανατρεπόμενο
MAN TGS 41.440
Εργοτάξιο Α
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023
Σύγκριση με τρίμηνο: Aug 22-Sep 22-Oct 22**



Σχήμα 58: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Α



Σχήμα 59: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Γ



Σχήμα 60: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Δ

5.7.5 Σχολιασμός διαγραμμάτων των φορτηγών

Το πρώτο φορτηγό που μελετάται είναι το MERCEDES 4141K/42. Και στα τρία εργοτάξια που απεικονίστηκε η κατανάλωση καυσίμου σε συνάρτηση με την πάροδο του χρόνου για το συγκεκριμένο μηχάνημα έργου, παρατηρείται ότι η τιμή της κατανάλωσης είναι χαμηλότερη από το κάτω όριο της αναμενόμενης (βάσει βιβλιογραφίας) κατανάλωσης.

Όμοια συμπεράσματα προκύπτουν και από το δεύτερο ανατρεπόμενο φορτηγό της μελέτης περίπτωσης (MAN TGS 41.440).

Και για τα δύο μηχανήματα είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι οι καταναλώσεις κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος παρακολούθησης είναι πολύ κοντά στη μέση τιμή του τριμήνου που επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί ως βάση σύγκρισης.

Το ότι η κατανάλωση είναι χαμηλότερη από το κάτω όριο της χαμηλής φόρτισης ενδέχεται να οφείλεται είτε σε σφάλμα του μοντέλου προσέγγισης των ορίων καταναλώσεων που υιοθετήθηκε (**Πίνακας 3**) είτε σε υποκαταγραφή των καταναλώσεων καυσίμου στα εργοτάξια.

5.8 Διαστρωτήρες

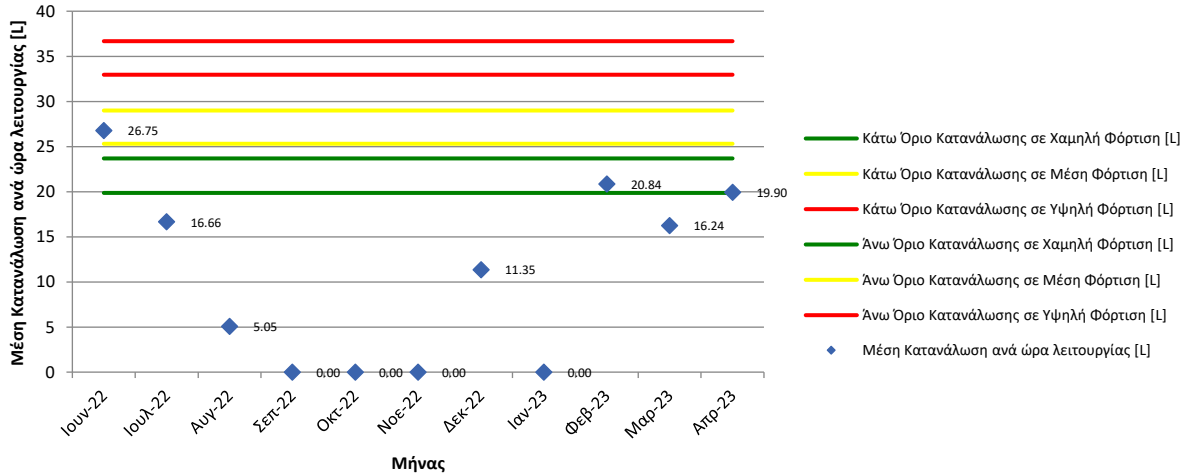
5.8.1 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i

Από την κατηγορία των διαστρωτήρων μελετάται η υποκατηγορία των διαστρωτήρων ασφάλτου. Το πρώτο μηχάνημα της κατηγορίας έχει τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 18: Στοιχεία Διαστρωτήρα (α)

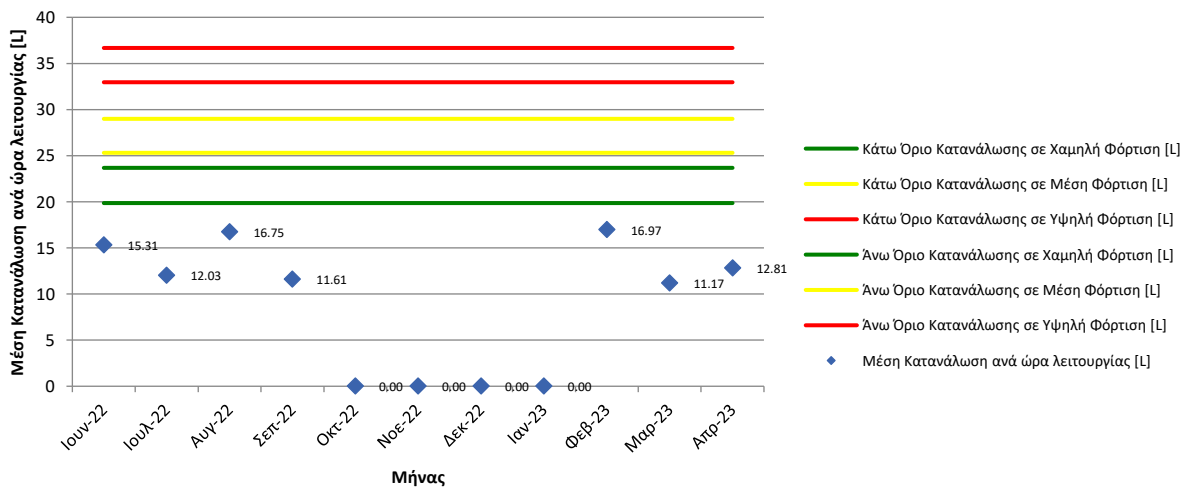
Τύπος μηχανήματος έργου	Διαστρωτήρας Ασφάλτου
Κατασκευαστής	VOGELE
Μοντέλο μηχανήματος	S 1900-3i
Ισχύς (kW)	142
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023

**Διαστρωτήρας Ασφάλτου 3Α
VOGELE S 1900-3i
Εργοτάξιο Δ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



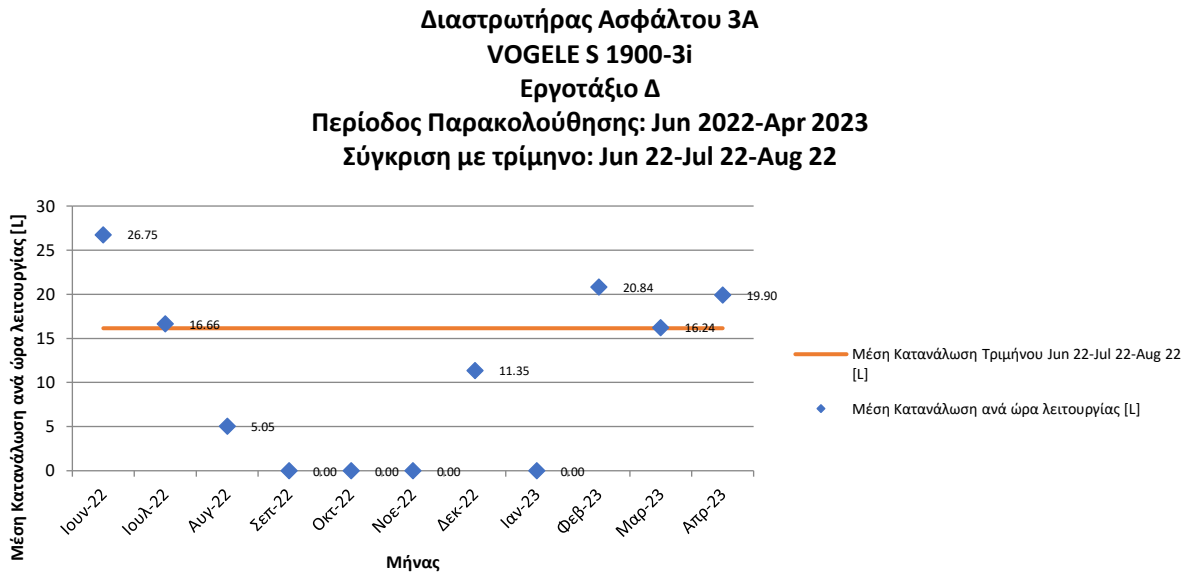
Σχήμα 61: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i - Εργοτάξιο Δ

**Διαστρωτήρας Ασφάλτου 3Α
VOGELE S 1900-3i
Εργοτάξιο Ζ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**

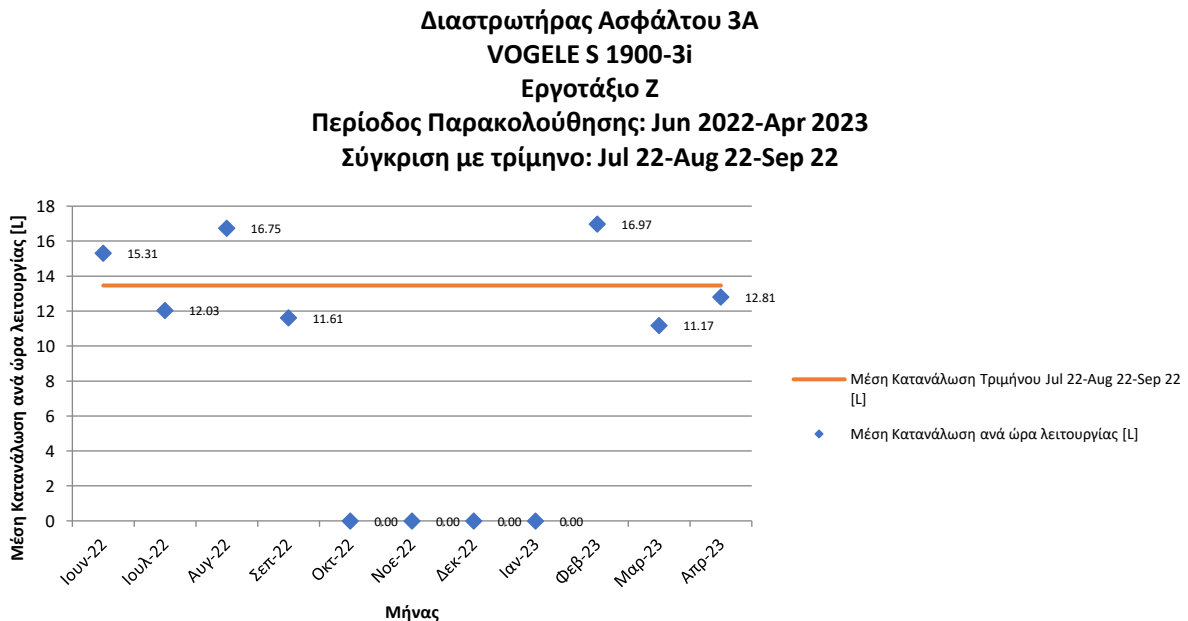


Σχήμα 62: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i - Εργοτάξιο Ζ

5.8.2 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i



Σχήμα 63: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i - Εργοτάξιο Δ



Σχήμα 64: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i - Εργοτάξιο Z

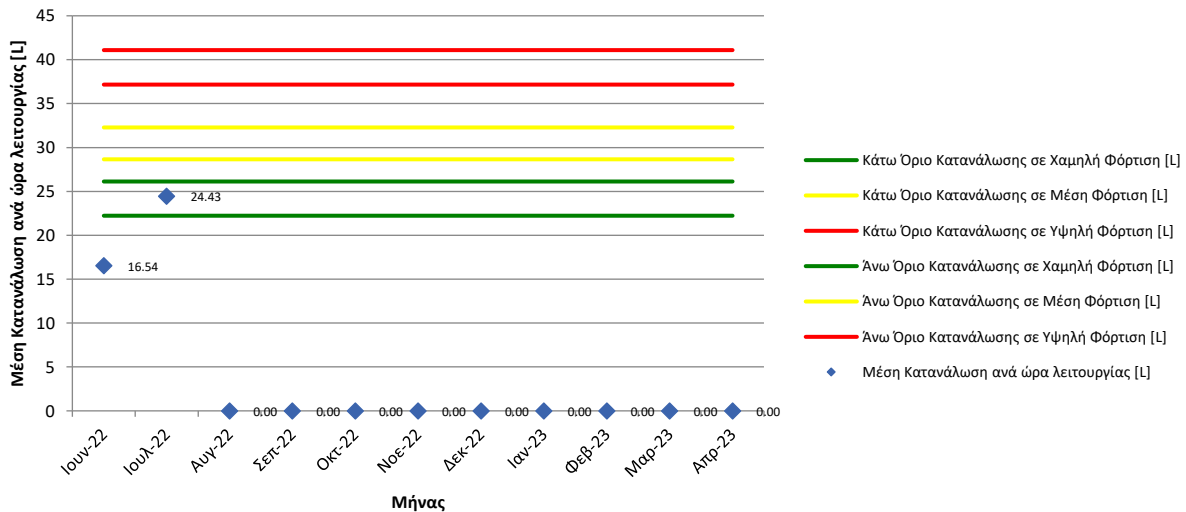
5.8.3 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 2100-3i

Από την κατηγορία των διαστρωτήρων μελετάται η υποκατηγορία των διαστρωτήρων ασφάλτου. Το πρώτο μηχάνημα της κατηγορίας έχει τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 19: Στοιχεία Διαστρωτήρα (β)

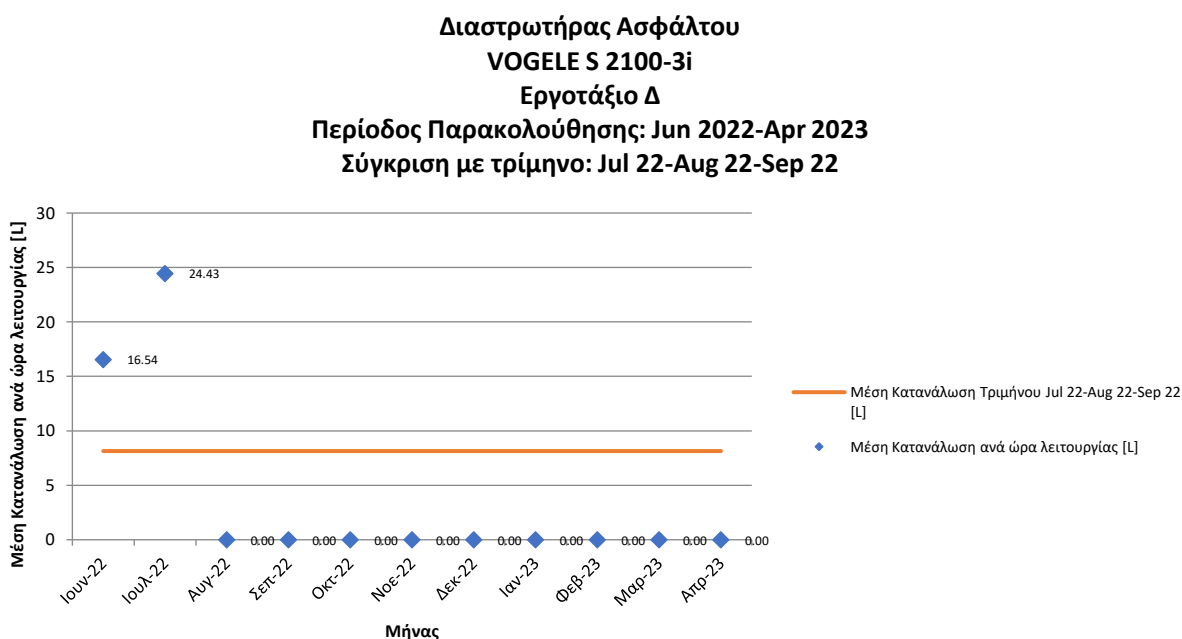
Τύπος μηχανήματος έργου	Διαστρωτήρας Ασφάλτου
Κατασκευαστής	VOGELE
Μοντέλο μηχανήματος	S 2100-3i
Ισχύς (kW)	186
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023

**Διαστρωτήρας Ασφάλτου
VOGELE S 2100-3i
Εργοτάξιο Δ
Περίοδος Παρακολούθησης: Jun 2022-Apr 2023**



Σχήμα 65: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 2100-3i - Εργοτάξιο Δ

5.8.4 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 2100-3i



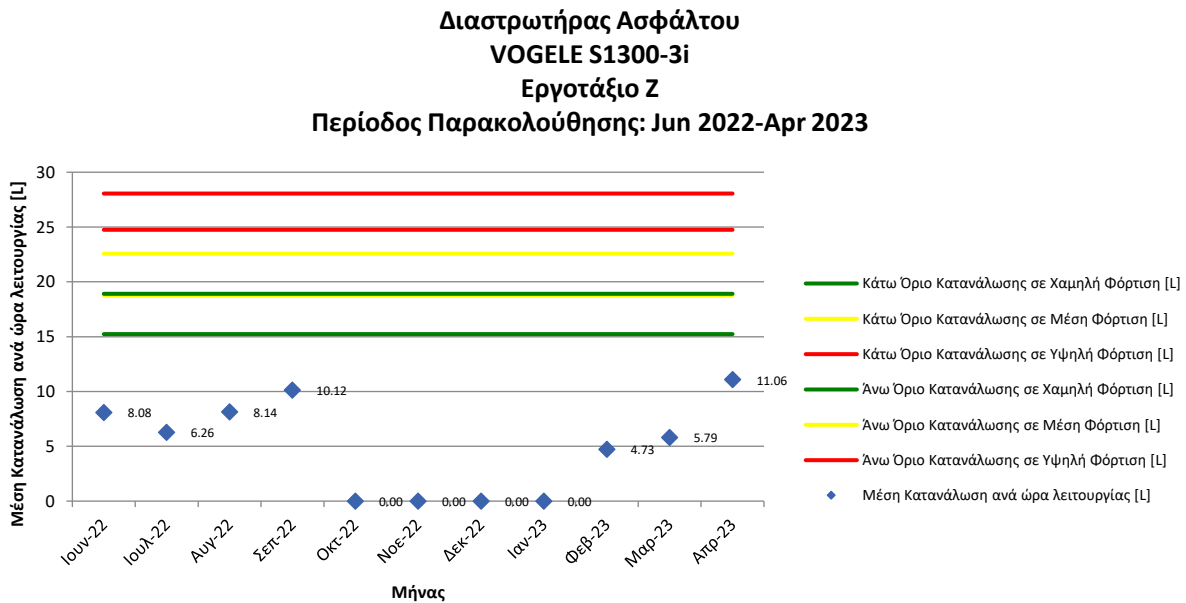
Σχήμα 66: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 2100-3i - Εργοτάξιο Δ

5.8.5 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1300-i

Από την κατηγορία των διαστρωτήρων μελετάται η υποκατηγορία των διαστρωτήρων ασφάλτου. Το πρώτο μηχάνημα της κατηγορίας έχει τα εξής στοιχεία:

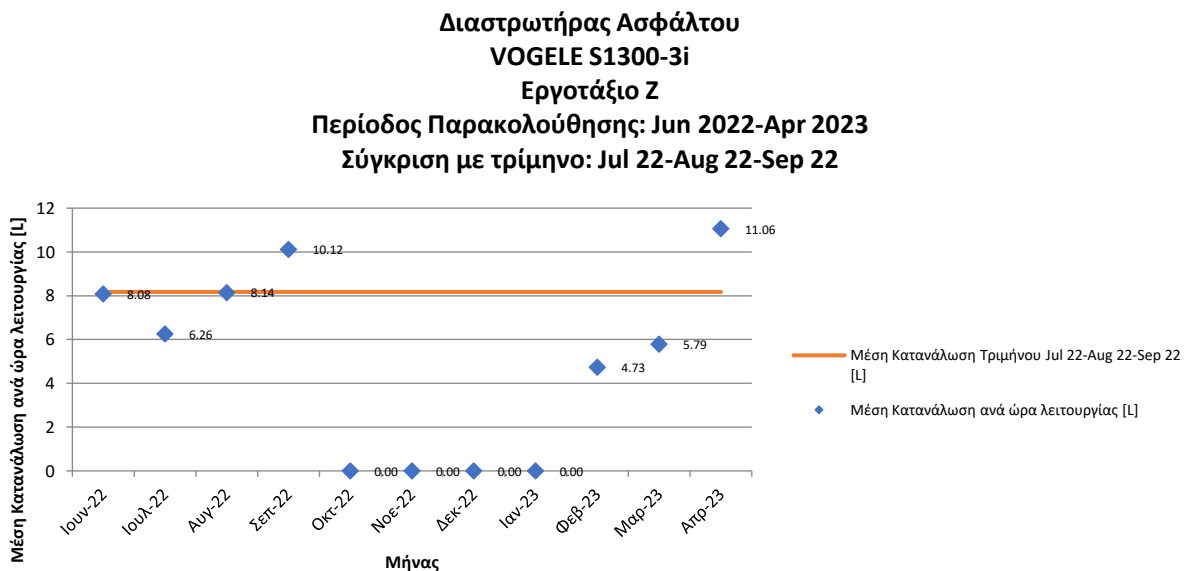
Πίνακας 20: Στοιχεία Διαστρωτήρα (γ)

Τύπος μηχανήματος έργου	Διαστρωτήρας Ασφάλτου
Κατασκευαστής	VOGELE
Μοντέλο μηχανήματος	S 1300-3i
Ισχύς (kW)	74
Έναρξη παρακολούθησης	Ιούνιος 2022
Λήξη παρακολούθησης	Απρίλιος 2023



Σχήμα 67: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1300-3i - Εργοτάξιο Z

5.8.6 Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1300-i



Σχήμα 68: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 2100-3i - Εργοτάξιο Z

5.8.7 Σχολιασμός διαγραμμάτων των διαστρωτήρων

Ο πρώτος διαστρωτήρας που μελετάται είναι ο VOGELE S 1900-3i. Ο συγκεκριμένος διαστρωτήρας ασφάλτου παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση στη μέση κατανάλωση ανά μήνα (στο Εργοτάξιο Δ), γεγονός που πιθανώς να υποδηλώνει ότι κατά το χρονικό διάστημα παρακολούθησής του, εκτελούσε διαφορετικά είδη εργασιών (με διαφορετικό συντελεστή φόρτισης του μηχανήματος). Στο Εργοτάξιο Ζ, η τιμή της κατανάλωσης είναι χαμηλότερη από το κάτω όριο που αντιστοιχεί στη χαμηλή φόρτιση.

Ο δεύτερος διαστρωτήρας (VOGELE S 2100-3i) δεν παρέχει πολλά στοιχεία για τη λειτουργία του καθώς από τον Αύγουστο του 2022 έως τον Απρίλιο του 2023 παρέμεινε ανενεργός (μηδενική κατανάλωση καυσίμου).

Τέλος, ο τρίτος διαστρωτήρας (VOGELE S1300-3i) που λειτουργεί στο Εργοτάξιο Ζ, έχει καταναλώσεις καυσίμου χαμηλότερες από το κάτω όριο που αντιστοιχεί στη χαμηλή επιφόρτιση.

6. Συμπεράσματα

Η κατανάλωση καυσίμου από τα μηχανήματα έργου διαδραματίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στον κατασκευαστικό τομέα. Αυτό οφείλεται τόσο στο οικονομικό κόστος που έχουν τα καύσιμα, όσο και στον περιβαλλοντικό αντίκτυπο που συνεπάγεται η χρήση τους (Shehadeh et al. 2022). Όπως διαπιστώθηκε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, πολλοί επιστήμονες, στην προσπάθειά τους να περιορίσουν το οικονομικό κόστος των κατασκευαστικών έργων αλλά και την αρνητική περιβαλλοντική επίδραση των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται σ' αυτά, έχουν προτείνει τη δημιουργία συστημάτων παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας στα εργοτάξια. Έτσι, η παρούσα εργασία, προκειμένου να ανταποκριθεί στην παραπάνω πρόταση, έθεσε τους εξής στόχους:

1. Καταγραφή των καταναλώσεων ενέργειας των μηχανημάτων έργου σε εργοτάξια.
2. Σύγκριση των τιμών κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου με βιβλιογραφικές τιμές.
3. Διερεύνηση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων και της ενδεχόμενης συμβολής της στη μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου.
4. Δημιουργία ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου.

Για την επίτευξη του πρώτου στόχου υπήρξε συνεργασία με μεγάλη κατασκευαστική εταιρεία, η οποία κατέγραψε πλήθος μετρήσεων σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου των μηχανημάτων έργου. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε μεγάλο αριθμό εργοταξίων και για σημαντικό αριθμό μηχανημάτων, με σκοπό τα αποτελέσματα της συνολικής μελέτης να είναι όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα και αντικειμενικά.

Η υλοποίηση του δεύτερου στόχου επιτεύχθηκε μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Ειδικότερα, εντοπίστηκαν έρευνες που είχαν ως αντικείμενο τη μελέτη της ενεργειακής κατανάλωσης των μηχανημάτων έργου και μελετήθηκαν εγχειρίδια κατασκευαστών των μηχανημάτων. Ύστερα από την ανασκόπηση των βιβλιογραφικών πηγών προέκυψε το συμπέρασμα ότι η ισχύς των μηχανημάτων και οι συνθήκες λειτουργίας τους (συνθήκες επιφόρτισης) επηρεάζουν σημαντικά τις τιμές της κατανάλωσης καυσίμου. Παράλληλα, αντλήθηκαν δεδομένα από τους κατασκευαστές των μηχανημάτων, οι οποίοι παρουσιάζουν σε πίνακες τις αναμενόμενες τιμές κατανάλωσης καυσίμου κάθε μηχανήματος ανάλογα με τις συνθήκες φόρτισης του. Αξιοποιώντας τα παραπάνω και έχοντας ως βάση μια ολιστική μελέτη σχετικά με την ενεργειακή αξιολόγηση των μηχανημάτων έργου (Κονίδας, 2022), χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, ορισμένες γραμμικές εξισώσεις που συσχετίζουν τις οριακές (άνω και κάτω όρια) καταναλώσεις (ανά συνθήκη φόρτισης) με την ισχύ του μηχανήματος. Έτσι, προέκυψαν οι βιβλιογραφικές τιμές της κατανάλωσης καυσίμου βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκε η σύγκριση με τις πραγματικές τιμές της κατανάλωσης.

Ο τρίτος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιτεύχθηκε και αυτός μέσω της συστηματικής μελέτης της βιβλιογραφίας. Πολλοί επιστήμονες έχουν επικεντρώσει την προσοχή τους στην αξία της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων, όσον αφορά την καταγραφή και την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας στα μηχανήματα έργου. Μάλιστα, έχουν διατυπώσει και προτάσεις σχετικά με την εγκατάσταση αισθητήρων στα μηχανήματα, οι οποίοι μπορούν να καταγράψουν διάφορα χρήσιμα μεγέθη και δεδομένα, τα οποία στη συνέχεια αποστέλλονται μέσω διαδικτύου σε κεντρικούς υπολογιστές, όπου ακολουθεί η επεξεργασία τους. Πέρα από μια απλή ανάλυση των δεδομένων, οι επιστήμονες προτείνουν τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (που τροφοδοτούνται από τα συλλεχθέντα δεδομένα) με σκοπό τη δημιουργία προβλεπτικών μοντέλων της κατανάλωσης καυσίμου. Τέλος, υποστηρίζουν ότι μέσω της χρήσης αισθητήρων και του Διαδικτύου των Πραγμάτων, είναι δυνατόν να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από τα μηχανήματα έργου (οικονομικό όφελος) και μετριασμός των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων, αναδεικνύοντας έτσι τη σημαντική συμβολή των νέων τεχνολογιών σε θέματα σχετικά με τα μηχανήματα έργου.

Ο τελευταίος στόχος επιτεύχθηκε μέσα από την ανάπτυξη εφαρμογής που σχεδιάστηκε για γνωστή κατασκευαστική εταιρεία. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε εφαρμογή στον υπολογιστή, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα διαγραμματικής απεικόνισης της κατανάλωσης καυσίμου ενός μηχανήματος έργου και σύγκρισής της με τις αναμενόμενες (βάσει βιβλιογραφίας) τιμές ή με τη μέση κατανάλωση ενός συγκεκριμένου τριμήνου. Κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής, δόθηκε έμφαση, στη δημιουργία ενός απλού και εύχρηστου γραφικού περιβάλλοντος, στο οποίο ο χρήστης μπορεί εύκολα να περιηγηθεί και να εξάγει το επιθυμητό κάθε φορά διάγραμμα. Μέσω του συστήματος που δημιουργήθηκε, είναι εφικτή η παρακολούθηση της κατανάλωσης καυσίμου για οποιοδήποτε μηχάνημα έργου, σε οποιοδήποτε εργοτάξιο της κατασκευαστικής εταιρείας. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να διαπιστωθεί αν κάποιο μηχάνημα λειτουργεί εντός των ορίων (κατανάλωσης) που προτείνει η βιβλιογραφία ή όχι.

Μετά την ανάπτυξη της εφαρμογής, ακολούθησε διενέργεια μελέτης περίπτωσης στην κατασκευαστική εταιρεία. Ειδικότερα, επιλέχθηκαν μηχανήματα που ανήκουν στις πιο ενεργοβόρες κατηγορίες μηχανημάτων έργου και έγινε εξαγωγή διαγραμμάτων προκειμένου να διαπιστωθεί αν οι τιμές της κατανάλωσης καυσίμου είναι εντός των ορίων που προτείνει η βιβλιογραφία. Η πρώτη κατηγορία μηχανημάτων που ελέγχθηκε ήταν αυτή των εκσκαφών. Στα δύο από τα τρία εργοτάξια που πραγματοποιήθηκε έλεγχος, διαπιστώθηκε ότι τα μηχανήματα έργου λειτουργούσαν γενικώς εντός ορίων. Ωστόσο, στο ένα εργοτάξιο παρατηρήθηκε σημαντική διακύμανση των τιμών της κατανάλωσης ενέργειας, γεγονός που οδήγησε στο συμπέρασμα ότι πιθανώς τα μηχανήματα αυτά να λειτουργούσαν σε διαφορετικές συνθήκες φόρτισης κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης.

Τέσσερις ακόμα κατηγορίες μηχανημάτων που επιλέχθηκαν στη μελέτη περίπτωσης ήταν οι ισοπεδωτές γαιών, οι προωθητήρες γαιών, οι οδοστρωτήρες και τα φορτηγά. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν κοινά και για τις τέσσερις κατηγορίες. Η κατανάλωση

καυσίμου των μηχανημάτων που μελετήθηκαν ήταν είτε εντός των ορίων που αντιστοιχούν στη χαμηλή επιφόρτιση είτε χαμηλότερη και από το κάτω όριο της κατανάλωσης (στη χαμηλή φόρτιση). Το γεγονός αυτό (τιμή της κατανάλωσης χαμηλότερη από το κατώτατο όριο), ενδεχομένως οφείλεται είτε σε σφάλμα του μοντέλου που χρησιμοποιείται για την εύρεση των οριακών τιμών της κατανάλωσης είτε σε υποκαταγραφή της κατανάλωσης στα εργοτάξια.

Η έκτη κατηγορία που μελετήθηκε ήταν οι φορτωτές. Με βάση τα εξαχθέντα διαγράμματα προκύπτει το συμπέρασμα ότι η κατανάλωση ήταν εντός των ορίων που αντιστοιχούν στη χαμηλή επιφόρτιση, με ορισμένες εξαιρέσεις (η κατανάλωση να υπερβαίνει το άνω όριο ή να είναι χαμηλότερη το κάτω όριο). Η τελευταία κατηγορία που ελέγχθηκε ήταν οι διαστρωτήρες. Τα συμπεράσματα που εξάγονται δεν μπορεί να είναι ξεκάθαρα καθώς ο αριθμός των δεδομένων ήταν περιορισμένος για αρκετά από τα μηχανήματα που μελετήθηκαν. Στα περισσότερα μηχανήματα η κατανάλωση είναι είτε εντός των ορίων που αντιστοιχούν στη χαμηλή φόρτιση είτε κάτω από το κάτω όριο (της χαμηλής φόρτισης) ενώ σε έναν διαστρωτήρα παρατηρείται σημαντική διακύμανση των τιμών, που υποδηλώνει ότι ενδεχομένως να λειτουργεί σε μεταβλητές συνθήκες φόρτισης.

Το σύστημα που αναπτύχθηκε είναι πολύ εύκολο να χρησιμοποιηθεί στην πράξη και να εφαρμοστεί για την παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης σε οποιαδήποτε τεχνική εταιρεία. Ακόμη, ένα σημαντικό στοιχείο που το χαρακτηρίζει είναι η δυνατότητα επέκτασής του και για μεγαλύτερο αριθμό μηχανημάτων ή εργοταξίων με μικρές αλλαγές στη δομή του προγράμματος (κώδικα).

Σε σχέση με άλλα συστήματα παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου που έχουν αναπτυχθεί (Akhavian R. και Behzadan A., 2013; Al-Chalabi et al. 2021), το σύστημα που δημιουργήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, πλεονεκτεί ως προς την απλότητα και ευκολία χρήσης του. Επιπλέον, παρέχει με συνοπτικό και εύληπτο τρόπο τις πληροφορίες που επιθυμεί να λάβει ο χρήστης (αν η κατανάλωση καυσίμου είναι εντός ή εκτός ορίων), μέσω των διαγραμμάτων που δημιουργεί η εφαρμογή. Ένα μειονέκτημα του συστήματος που δημιουργήθηκε σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα, αφορά τη μη χρήση αισθητήρων και τεχνολογίας του διαδικτύου των πραγμάτων για την καταμέτρηση μεγεθών και τη συλλογή δεδομένων στα εργοτάξια. Έτσι, είναι πιθανό να συμβαίνουν λάθη στην καταμέτρηση της ποσότητας καυσίμου που καταναλώνεται, με συνέπεια τα εξαγόμενα διαγράμματα να είναι ανακριβή.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να επισημανθούν οι περιορισμοί της μελέτης που πραγματοποιήθηκε. Κατ' αρχάς, είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι η κατανάλωση καυσίμου επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες πλην της ισχύος του μηχανήματος έργου και των συνθηκών φόρτισής τους (που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς ως οι σημαντικότεροι). Ειδικότερα, μεταβλητές όπως η θερμοκρασία, το επίπεδο συντήρησης των μηχανημάτων ή η ικανότητα χειρισμού των μηχανημάτων έργου από τον χειριστή, διαμορφώνουν και αυτές την τελική τιμή της κατανάλωσης καυσίμου. Επιπρόσθετα, κατά τη συλλογή των δεδομένων στα εργοτάξια, δεν ήταν εφικτή η καταγραφή των συνθηκών φόρτισης στις οποίες λειτουργούν τα

μηχανήματα με αποτέλεσμα να μην μπορεί να προκύψει άμεσα το συμπέρασμα για το αν η κατανάλωση καυσίμου είναι εντός ή εκτός ορίων (αφού δεν είναι γνωστή η συνθήκη φόρτισης).

Η παρούσα εργασία δημιούργησε ένα απλό και εύχρηστο σύστημα παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας των μηχανημάτων έργου, με τους περιορισμούς και τα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Αναμφίβολα, η διεξαγωγή περαιτέρω έρευνας στο αντικείμενο που μελετήθηκε, κρίνεται απαραίτητη για την πληρέστερη και ουσιαστικότερη εμβάθυνση στην κατανάλωση καυσίμου από τα μηχανήματα έργου. Ειδικότερα, θα ήταν ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα η προσπάθεια εισαγωγής νέων παραμέτρων (πέραν της ισχύος) στις εξισώσεις υπολογισμού των ορίων των καταναλώσεων, ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο αντικειμενικά. Για παράδειγμα, η δημιουργία εξισώσεων που θα λαμβάνει υπόψη τη θερμοκρασία ή την ικανότητα του χειριστή, θα είχε αδιαμφισβήτητα θετικές συνέπειες στον ακριβέστερο υπολογισμό των ορίων της κατανάλωσης.

Επιπρόσθετα, θα ήταν χρήσιμη η καταγραφή των συνθηκών λειτουργίας των μηχανημάτων έργου στα εργοτάξια. Με αυτόν τον τρόπο, θα ήταν πολύ εύκολο να προκύπτει άμεσα από τα εξαγόμενα διαγράμματα της εφαρμογής που αναπτύχθηκε, το συμπέρασμα για το αν η κατανάλωση ξεπερνά ή όχι τα προβλεπόμενα όρια. Επιπλέον, θα ήταν σημαντικό να πραγματοποιηθεί, δοκιμαστικά, εγκατάσταση δικτύου αισθητήρων στα μηχανήματα έργου ενός εργοταξίου, προκειμένου να καταμετρώνται διάφορα μεγέθη που είναι χρήσιμα για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας και στη συνέχεια να υπολογιστεί αν είχε αξία η επένδυση αυτή. Τέλος, θα ήταν ιδιαίτερα βολική η μεταφορά της εφαρμογής σε κάποιο νέο λογισμικό (διαφορετικό του Excel), το οποίο θα μπορούσε να ανταποκριθεί με μεγαλύτερη ευκολία στα πολλά δεδομένα που καλείται η εφαρμογή να διαχειριστεί.

Κατάλογος Αναφορών

- Akhavian, R. and Behzadan, A. H., 2013. 'Simulation-based evaluation of fuel consumption in heavy construction projects by monitoring equipment idle times,' *Winter Simulations Conference (WSC)*, Washington, DC, USA, pp. 3098-3108, Available at: <https://doi.org/10.1109/WSC.2013.6721677>
- Al-Chalabi, S.M.M., Al-Dhahiri, K.A., Al-Chalabi, A.M.M., 2021. 'Embedded System Improvement for Monitoring and Measuring Fuel Consumption System Automatically over Public IP', *Journal of Physics: Conference Series*, 1963. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1963/1/012020>
- Caterpillar, 1998. *Caterpillar Performance Handbook*. Edition 29 Ill.: Caterpillar Inc..
- Caterpillar, 2016. *Caterpillar Performance Handbook*. Edition 46 Ill.: Caterpillar Inc..
- Hong, J., Hong, T., Kang, H., Lee, M., 2019. 'A framework for reducing dust emissions and energy consumption on construction sites', *Energy Procedia. Elsevier Ltd*, 158, pp. 5092–5096. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.637>
- Jassim, H.S.H., Lu, W., Olofsson, T., 2019. 'Determining the environmental impact of material hauling with wheel loaders during earthmoving operations', *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(10), pp. 1195-1214. Available at: <https://doi.org/10.1080/10962247.2019.1640805>
- Klanfar, M., Korman, T., Kujundžić, T., 2016. 'FUEL CONSUMPTION AND ENGINE LOAD FACTORS OF EQUIPMENT IN QUARRYING OF CRUSHED STONE', *Tehnicki Vjesnik*, 23, pp. 163–169. Available at: <https://doi.org/10.17559/TV-20141027115647>
- Komatsu, 2009. *Specifications and Application Handbook, 30th ed., Komatsu, Japan*
- Pereira, G., Parente, M., Moutinho, J., Sampaio, M., 2021. 'Fuel consumption prediction for construction trucks: A noninvasive approach using dedicated sensors and machine learning', *Infrastructures*, 6(11). Available at: <https://doi.org/10.3390/infrastructures6110157>
- Project Management Institute, 2017. *Agile practice guide*. Newton Square, PA: Project Management Institute
- Shehadeh, A., Alshboul, O., Tatari, O., Alzubaidi, M.A., Hamed El-Sayed Salama, A., 2022. 'Selection of heavy machinery for earthwork activities: A multi-objective optimization approach using a genetic algorithm', *Alexandria Engineering Journal*, 61, pp. 7555–7569. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.01.010>

Trani, M.L., Bossi, B., Gangoellis, M., Casals, M., 2016. 'Predicting fuel energy consumption during earthworks', *Journal of Cleaner Production*, 112, pp. 3798–3809. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.027>

Zainal, Z., 2017. 'Case Study As a Research Method', *Jurnal Kemanusiaan*, 5(1). Available at: <https://jurnalkemanusiaan.utm.my/index.php/kemanusiaan/article/view/165>

Κονίδας, Χ., 2022. 'ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΕΡΓΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΩΝ', *Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ*

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Προσδιορισμός του συντελεστή φόρτισης ανάλογα με τον τύπο του εδάφους	17
Πίνακας 2: Συνθήκες λειτουργίας - φόρτισης των πιο ενεργοβόρων μηχανημάτων έργου	18
Πίνακας 3: Εξισώσεις συσχέτισης κατανάλωσης καυσίμου με την ισχύ	19
Πίνακας 4: Λεπτομέρειες μελέτης περίπτωσης σε κατασκευαστική εταιρεία	40
Πίνακας 5: Στοιχεία ερπυστριοφόρου εκσκαφέα	41
Πίνακας 6: Στοιχεία ελαστικοφόρου εκσκαφέα	44
Πίνακας 7: Στοιχεία ισοπεδωτή γαιών (α)	48
Πίνακας 8: Στοιχεία ισοπεδωτή γαιών (β)	51
Πίνακας 9: Στοιχεία ισοπεδωτή γαιών (γ)	52
Πίνακας 10: Στοιχεία προωθητήρα γαιών (α)	54
Πίνακας 11: Στοιχεία προωθητήρα γαιών (β)	57
Πίνακας 12: Στοιχεία Οδοστρωτήρα (α)	60
Πίνακας 13: Στοιχεία Οδοστρωτήρα (β)	62
Πίνακας 14: Στοιχεία Ελαστικοφόρου Φορτωτή (α)	65
Πίνακας 15: Στοιχεία Ελαστικοφόρου Φορτωτή (β)	68
Πίνακας 16: Στοιχεία Φορτηγού ανατρεπόμενου (α)	71
Πίνακας 17: Στοιχεία Φορτηγού ανατρεπόμενου (β)	74
Πίνακας 18: Στοιχεία Διαστρωτήρα (α)	78
Πίνακας 19: Στοιχεία Διαστρωτήρα (β)	81
Πίνακας 20: Στοιχεία Διαστρωτήρα (γ)	82

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Προσδιορισμός του συντελεστή φόρτισης ανάλογα με την πυκνότητα του υλικού .	16
Σχήμα 2: Διάγραμμα Ροής Διπλωματικής Εργασίας	25
Σχήμα 3: Έξοδος (output) εφαρμογής - Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία	36
Σχήμα 4: Έξοδος (output) εφαρμογής - Δημιουργία Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο.....	38
Σχήμα 5: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Α	41
Σχήμα 6: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Β	42
Σχήμα 7: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Γ.....	42
Σχήμα 8: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Α.....	43
Σχήμα 9: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Β.....	43
Σχήμα 10: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ερπυστριοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R450LC-7A - Εργοτάξιο Γ	44
Σχήμα 11: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο Α	45
Σχήμα 12: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο Β.....	45
Σχήμα 13: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο Γ	46
Σχήμα 14: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο Α.....	46
Σχήμα 15: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο Β.....	47
Σχήμα 16: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ελαστικοφόρος Εκσκαφέας HYUNDAI R200W-7A - Εργοτάξιο Γ	47
Σχήμα 17: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Δ	49
Σχήμα 18: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Ε	49
Σχήμα 19: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Δ	50
Σχήμα 20: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Ε	50
Σχήμα 21: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Δ	51
Σχήμα 22: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ισοπεδωτής Γαιών CAT 14M - Εργοτάξιο Δ	52

Σχήμα 23: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Ισοπεδωτής Γαιών HBM-NOBAS SHM5NT-1 - Εργοτάξιο Β	53
Σχήμα 24: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Ισοπεδωτής Γαιών HBM-NOBAS SHM5NT-1 - Εργοτάξιο Β	53
Σχήμα 25: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Προωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15 - Εργοτάξιο Γ.....	55
Σχήμα 26: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Προωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15 - Εργοτάξιο ΣΤ	55
Σχήμα 27: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Προωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15 - Εργοτάξιο Γ.....	56
Σχήμα 28: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Προωθητήρας Γαιών KOMATSU D65EX-15 - Εργοτάξιο ΣΤ	56
Σχήμα 29: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Προωθητήρας Γαιών CAT D6TXL - Εργοτάξιο Γ.....	57
Σχήμα 30: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία - Προωθητήρας Γαιών CAT D6TXL - Εργοτάξιο ΣΤ.....	58
Σχήμα 31: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Προωθητήρας Γαιών CAT D6TXL - Εργοτάξιο Γ.....	58
Σχήμα 32: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο - Προωθητήρας Γαιών CAT D6TXL - Εργοτάξιο ΣΤ	59
Σχήμα 33: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110 - Εργοτάξιο Γ.....	60
Σχήμα 34: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110 - Εργοτάξιο Ζ	61
Σχήμα 35: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110 - Εργοτάξιο Γ.....	61
Σχήμα 36: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 110 - Εργοτάξιο Ζ.....	62
Σχήμα 37: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75 - Εργοτάξιο Γ.....	63
Σχήμα 38: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75 - Εργοτάξιο Ζ	63
Σχήμα 39: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75 - Εργοτάξιο Γ	64
Σχήμα 40: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Οδοστρωτήρας Δον. HAMM HD 75 - Εργοτάξιο Ζ	64
Σχήμα 41: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H - Εργοτάξιο Γ.....	66
Σχήμα 42: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H - Εργοτάξιο Ε	66
Σχήμα 43: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H - Εργοτάξιο Γ.....	67

Σχήμα 44: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966H - Εργοτάξιο Ε.....	67
Σχήμα 45: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K - Εργοτάξιο Γ.....	68
Σχήμα 46: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K - Εργοτάξιο Ε.....	69
Σχήμα 47: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K - Εργοτάξιο Γ.....	69
Σχήμα 48: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Ελαστικοφόρος Φορτωτής CAT 966K - Εργοτάξιο Ε.....	70
Σχήμα 49: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Α.....	71
Σχήμα 50: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Γ.....	72
Σχήμα 51: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Δ.....	72
Σχήμα 52: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Α.....	73
Σχήμα 53: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Γ.....	73
Σχήμα 54: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MERCEDES 4141K/42 - Εργοτάξιο Δ.....	74
Σχήμα 55: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Α.....	75
Σχήμα 56: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Γ.....	75
Σχήμα 57: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Φορτηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Δ.....	76
Σχήμα 58: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Α.....	76
Σχήμα 59: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Γ.....	77
Σχήμα 60: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Φορτηγό ανατρεπόμενο MAN TGS 41.440 - Εργοτάξιο Δ.....	77
Σχήμα 61: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i - Εργοτάξιο Δ.....	79
Σχήμα 62: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i - Εργοτάξιο Ζ.....	79
Σχήμα 63: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i - Εργοτάξιο Δ.....	80

Σχήμα 64: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1900-3i - Εργοτάξιο Ζ	80
Σχήμα 65: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 2100-3i - Εργοτάξιο Δ	81
Σχήμα 66: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 2100-3i - Εργοτάξιο Δ	82
Σχήμα 67: Διάγραμμα Σύγκρισης με Βιβλιογραφία – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 1300-3i - Εργοτάξιο Ζ	83
Σχήμα 68: Διάγραμμα Σύγκρισης με Τρίμηνο – Διαστρωτήρας Ασφάλτου VOGELE S 2100-3i - Εργοτάξιο Ζ	83

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Γραφικό περιβάλλον χρήστη (GUI) εφαρμογής για την ανάλυση του χρονικού διαστήματος που τα μηχανήματα λειτουργούν στο ρελαντί	22
Εικόνα 2: Κυρίως γραφικό περιβάλλον εφαρμογής παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου.....	23
Εικόνα 3: Απεικόνιση της κατανάλωσης καυσίμου σε συνάρτηση με τον χρόνο	23
Εικόνα 4: Ευέλικτη μεθοδολογία ανάπτυξης λογισμικού	26
Εικόνα 5: Αρχική οθόνη εφαρμογής παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμου.....	29
Εικόνα 6: 2 ^η κύρια οθόνη εφαρμογής παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμου	30
Εικόνα 7: 3 ^η κύρια οθόνη εφαρμογής παρακολούθησης κατανάλωσης καυσίμου	30
Εικόνα 8: 1 ^η βοηθητική οθόνη εφαρμογής παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου	31
Εικόνα 9: 2 ^η βοηθητική οθόνη εφαρμογής παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου	31
Εικόνα 10: Αναπτυσσόμενη λίστα για την επιλογή του τύπου του μηχανήματος έργου	32
Εικόνα 11: Αναπτυσσόμενη λίστα για την επιλογή του μήνα έναρξης παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου	32
Εικόνα 12: Βοηθητικά κουμπιά στη 2 ^η κύρια οθόνη.....	33
Εικόνα 13: Βοηθητικά κουμπιά στην 1 ^η βοηθητική οθόνη	34
Εικόνα 14: Συμπλήρωση πεδίων για την εξαγωγή του Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία	35
Εικόνα 15: Συνοπτική παρουσίαση στοιχείων και προεπισκόπηση Διαγράμματος Σύγκρισης με Βιβλιογραφία	36
Εικόνα 16: Συμπλήρωση πεδίων για την εξαγωγή του Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο ...	37
Εικόνα 17: Συνοπτική παρουσίαση στοιχείων και προεπισκόπηση Διαγράμματος Σύγκρισης με Τρίμηνο	37
Εικόνα 18: Παράθυρο διαλόγου στο οποίο ο χρήστης καλείται να εισάγει τη διεύθυνση (path) αποθήκευσης των διαγραμμάτων.....	38
Εικόνα 19: Παράθυρο διαλόγου στο οποίο ο χρήστης καλείται να εισάγει τη διεύθυνση (path) που βρίσκονται τα αρχεία των καταναλώσεων	39