

"Στατιστική ανάλυση δεικτών απόδοσης και χρόνων λειτουργίας πάγιου εξοπλισμού Ορυχείου Νοτίου Πεδίου"

Δήμητρα Κόνδυλα- Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός

Επιβλέπων: Φραγκίσκος Φ. Παυλουδάκης

Επίκουρος Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

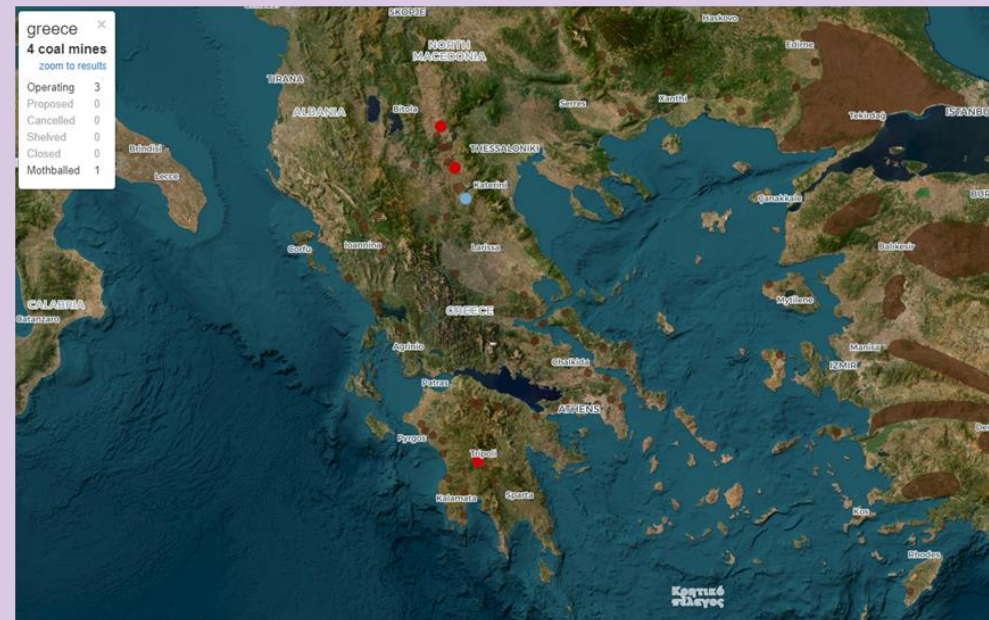


Αυτή τη στιγμή υπάρχουν παγκοσμίως 4300 ορυχεία γαιάνθρακα, από τα οποία:

- 3232 είναι ενεργά,
- 530 προτεινόμενα να ξεκινήσουν εργασίες,
- 60 έχουν ακυρωθεί (οι άδειες λειτουργίας),
- 137 είναι σε αναμονή,
- 79 έκλεισαν και
- 262 είναι σε αδράνεια.

(Global Energy Monitor, 2024)

Στην Ελλάδα υπάρχουν τέσσερα (4) ορυχεία λιγνίτη σε λειτουργία: Μεγαλόπολη, Φλώρινα, Πτολεμαΐδα και Προσήλιο.



Ποιοι είναι οι λόγοι που οδηγούν στην απολιγνιτοποίηση;

- Η εξάλειψη της χρήσης άνθρακα και λιγνίτη για ηλεκτροπαραγωγή αποτελεί προτεραιότητα της ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Σε αυτό το πλαίσιο, πολλές επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται σε χώρες της ΕΕ28 εφαρμόζουν προγράμματα για τη σταδιακή μείωση της χρήσης άνθρακα και λιγνίτη, στρέφοντας είτε στο φυσικό αέριο ως μεταβατικό καύσιμο είτε απευθείας σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Ο ανταγωνισμός που διαμορφώνεται κυρίως από την υψηλή τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα και το σταθερά μειωμένο κόστος των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επηρεάζουν άμεσα τη βιομηχανία εξόρυξης άνθρακα και λιγνίτη.
- Η Ελληνική Κυβέρνηση έχει δεσμευτεί για την απόσυρση των λιγνιτικών μονάδων έως το έτος 2028, με τρόπο συντεταγμένο και υπεύθυνο, με τη διασφάλιση των θέσεων εργασίας και την αξιοποίηση του υψηλής τεχνογνωσίας ανθρωπίνου δυναμικού των περιοχών αυτών να αποτελούν μέγιστη προτεραιότητα.
- Σε αυτό το πλαίσιο, η παραγωγή λιγνίτη στο Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας μειώθηκε από 43,2 εκατομμύρια τόνους το 2010 σε 10,3 εκατομμύρια τόνους το 2020 [Pavloudakis et al, 2022).

Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας

Το μεγαλύτερο Λιγνιτικό Κέντρο της Χώρας αναπτύχθηκε στην ευρύτερη περιοχή Κοζάνης – Πτολεμαΐδας – Φλώρινας με την ανάπτυξη επιφανειακών Ορυχείων.

Οι πρώτες συστηματικές έρευνες για τον εντοπισμό και αξιολόγηση των λιγνιτών στην περιοχή αυτή άρχισαν το 1938.

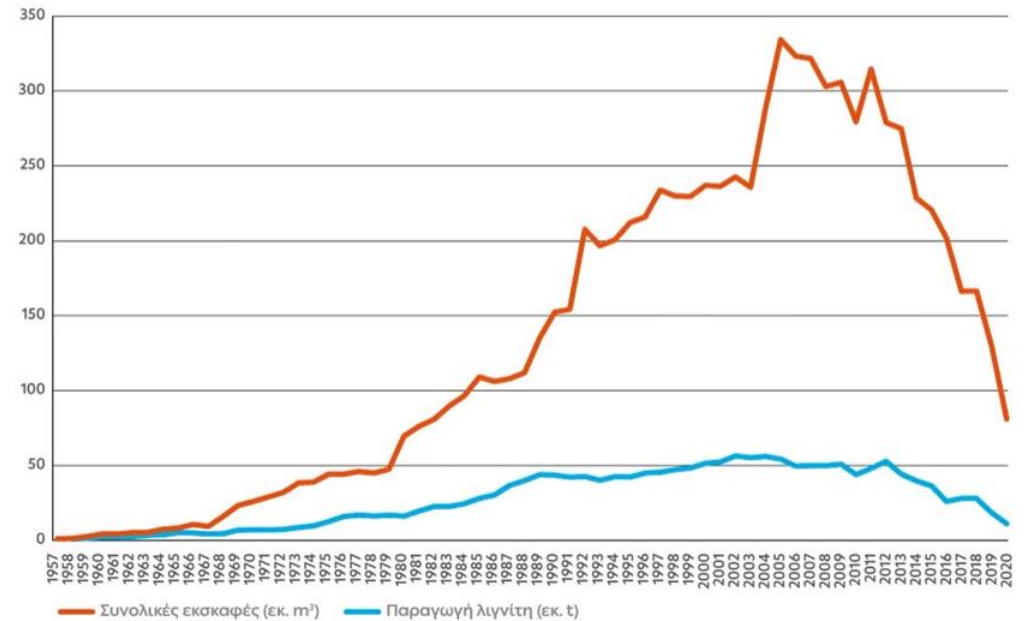
Το 1955 ιδρύθηκε η εταιρεία ΛΙΠΤΟΛ, με αντικείμενο την εκμετάλλευση του λιγνίτη και τη χρησιμοποίησή του για την παραγωγή μπρικετών, αζωτούχων λιπασμάτων, ημικώκ και ηλεκτρικής ενέργειας.

Το έτος 1959, το 90% των μετοχών της ΛΙΠΤΟΛ περιήλθαν στη ΔΕΗ, ενώ το έτος 1975 οι δύο εταιρείες συγχωνεύθηκαν.

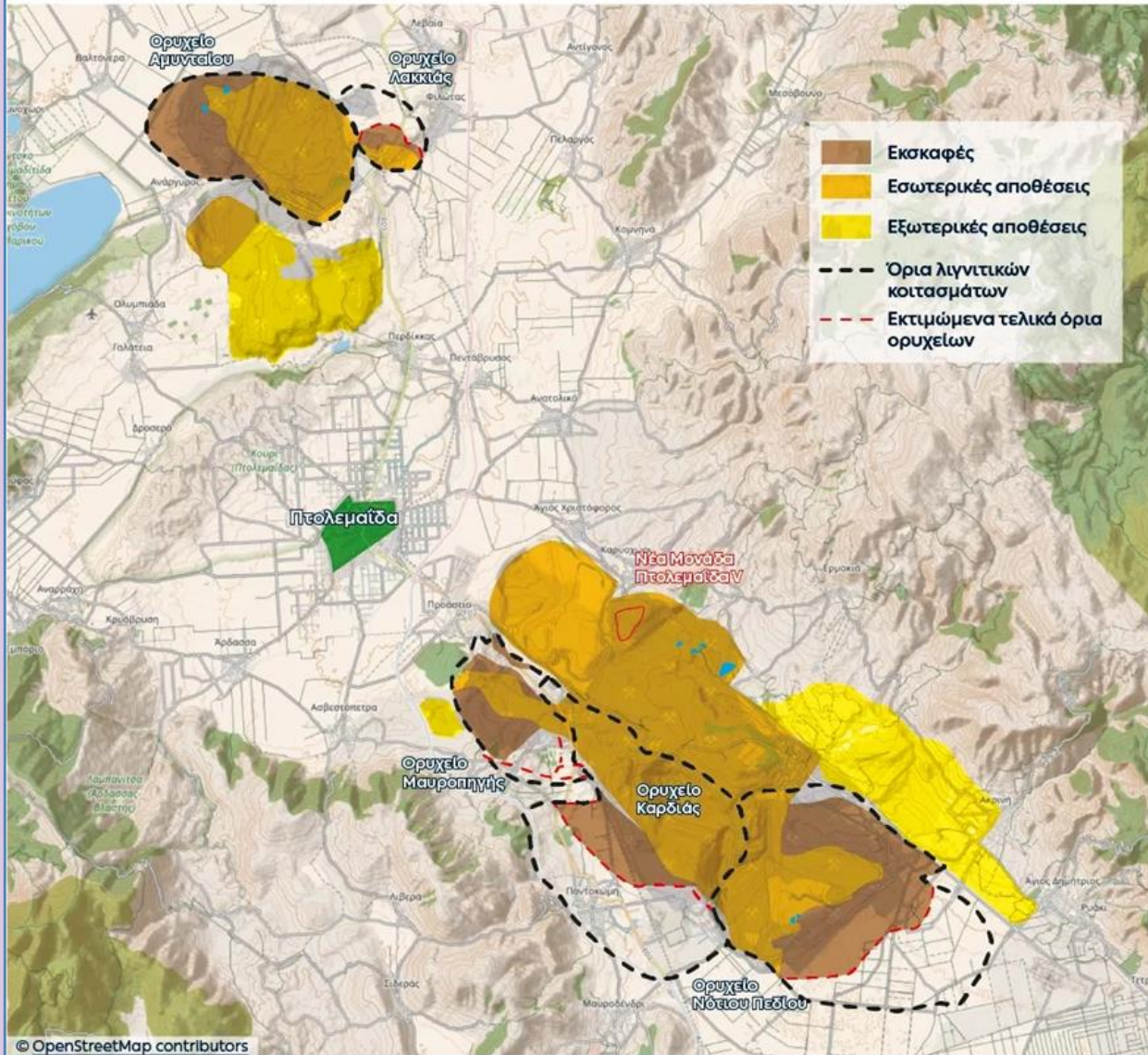
Από την έναρξη της λειτουργίας των Ορυχείων το έτος 1957, η παραγωγή λιγνίτη παρουσίασε σημαντική αύξηση: από 1,4 εκ. τόνους (1960), ανήλθε σε 11,7 εκ. τόνους το έτος 1975, 27,3 εκ. τόνους το έτος 1985, και σε 55,8 εκ. τόνους το έτος 2002 (μέγιστη παραγωγή).

Η παραγωγή διατηρήθηκε στα 50 εκ. τόνους ετησίως έως το 2012, οπότε ξεκίνησε η σταδιακή πτώση της.

Διαχρονική εξέλιξη παραγωγής λιγνίτη και συνολικών εκσκαφών στα Ορυχεία Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου-Φλώρινας της ΔΕΗ (1958-2020)



Όρια κοιτασμάτων και τελικά όρια Ορυχείων στην περιοχή Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου



Η ΔΕΗ έχει ήδη εκπονήσει ολοκληρωμένο σχεδιασμό ταχείας απολιγνιτοποίησης. Στο πλαίσιο αυτό, έχει σχεδιασθεί η περάτωση της λειτουργίας των Ορυχείων και η λειτουργική βελτιστοποίηση της λιγνιτικής παραγωγής, σε συνδυασμό με τη βέλτιστη περιβαλλοντική αποκατάσταση και την αξιοποίηση των αντίστοιχων περιοχών, με εφαρμογή αρχών κυκλικής οικονομίας.

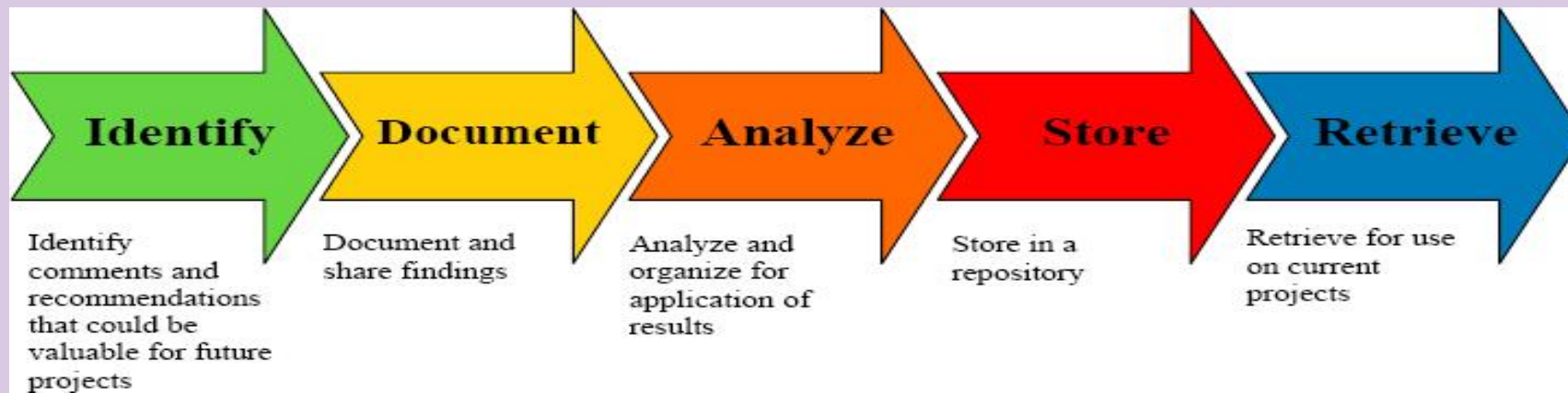
Λειτουργία, ασφάλεια και περιβαλλοντική διαχείριση υπαίθριων ορυχείων: ανάπτυξη και εφαρμογή μεθοδολογίας για την ‘παραγωγή γνώσης μέσω της εμπειρίας’ από τα εξήντα (60) χρόνια εκμετάλλευσης των λιγνιτωρυχείων Πτολεμαΐδας’

- Η εξορυκτική βιομηχανία βρίσκεται σε διαρκή αναζήτηση μέτρων για τη βελτίωση της διαδικασίας εξόρυξης και την μείωση των δαπανών για μισθούς και εξοπλισμό.
- Στα 60 χρόνια λειτουργίας των λιγνιτωρυχείων Πτολεμαΐδας πληθώρα μεθόδων και συστημάτων παρακολούθησης έχουν χρησιμοποιηθεί για την ασφαλή λειτουργία, την αύξηση της παραγωγικότητας και την ορθή περιβαλλοντική διαχείριση.
- Η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση του τεχνικού εξοπλισμού, η σωστή διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού και η αξιολόγηση του επιπέδου κινδύνου για την επίτευξη των στόχων παραγωγής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός ορυχείου. Σε αυτή τη φάση, εξετάζονται εναλλακτικές μέθοδοι παραγωγής, καθορίζεται το χρονοδιάγραμμα των εργασιών και προσδιορίζεται το είδος του εξοπλισμού για τις προγραμματισμένες εκσκαφές. Η μοναδικότητα των συνθηκών εξόρυξης στα υπαίθρια ορυχεία απαιτεί, στη διαδικασία σχεδιασμού, **αξιοποίηση της εμπειρίας και της γνώσης** που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια προηγούμενων εξορυκτικών εργασιών.

Μεθοδολογία “Lessons Learned Process”

Σύμφωνα με τον Οδηγό PMBOK® (Έβδομη έκδοση), τα διδάγματα που αντλήθηκαν είναι:

- *«η γνώση που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια ενός έργου, η οποία δείχνει πώς αντιμετωπίστηκαν ή πρέπει να αντιμετωπιστούν τα γεγονότα του έργου στο μέλλον, με σκοπό τη βελτίωση της μελλοντικής απόδοσης».*
- Η συλλογή διδαγμάτων (τα συμπεράσματα από τις θετικές και αρνητικές εμπειρίες) βοηθάει στη βελτίωση των πρωτοκόλλων και των αρχών ενός έργου. Ο στόχος είναι να επαναλάβουμε και να αξιοποιήσουμε τα θετικά και να αποφύγουμε τα αρνητικά.
- Βασικές αρχές της μεθόδου:



Ανάλυση δεδομένων

- Λειτουργία και παραγωγικότητα εξοπλισμού συνεχούς εκσκαφής μεταφοράς και απόθεσης υλικών (στην παρούσα εργασία)
- Ασφάλεια της εργασίας (σε επόμενη εργασία)
- Διαχείριση και αποκατάσταση εδαφών (σε επόμενη εργασία)

Περιγραφική στατιστική

- ❖ Η περιγραφική στατιστική μας βοηθά να ανακαλύψουμε τα μοτίβα ή τις τάσεις που κρύβουν τα δεδομένα μας. Περιλαμβάνει την ανάπτυξη μεθόδων για τη συνοπτική και την αποτελεσματική παρουσίαση των δεδομένων.

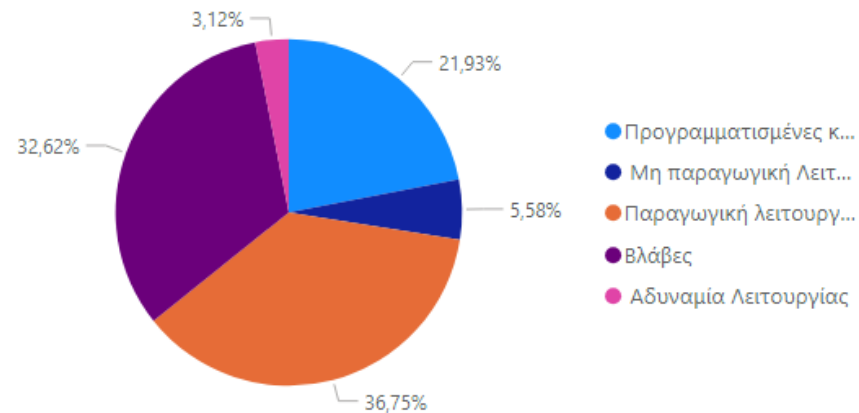
Είδη περιγραφικής στατιστικής:

- Κατανομή Συχνοτήτων
- Μέτρα Κεντρικής Τάσης
- Μέτρα Μεταβλητότητας

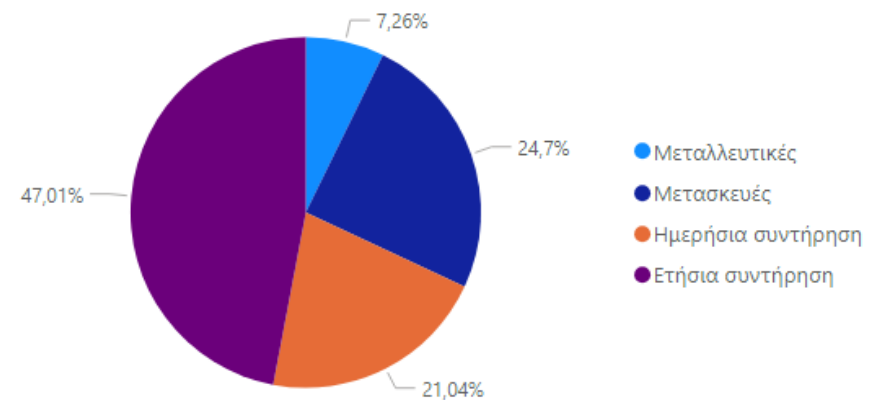
Τα δεδομένα που χρησιμοποιούμε είναι από τις Εκθέσεις Δραστηριότητας του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου για τα έτη 2010-2020.

Για την επεξεργασία χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Power BI.

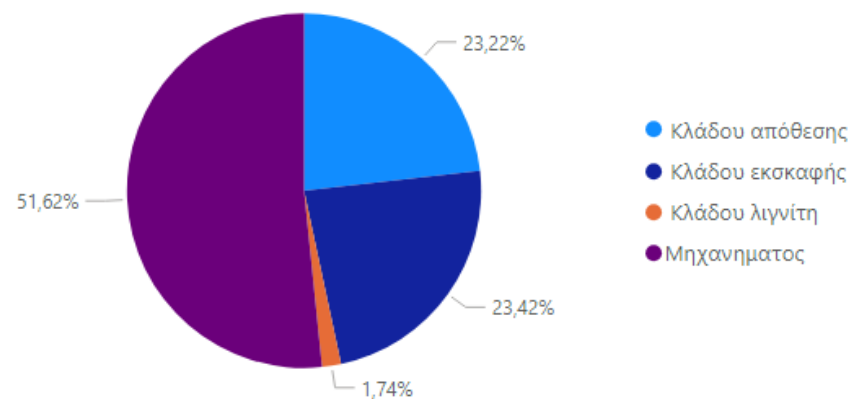
Ανάλυση χρόνων λειτουργίας Εκσκαφών



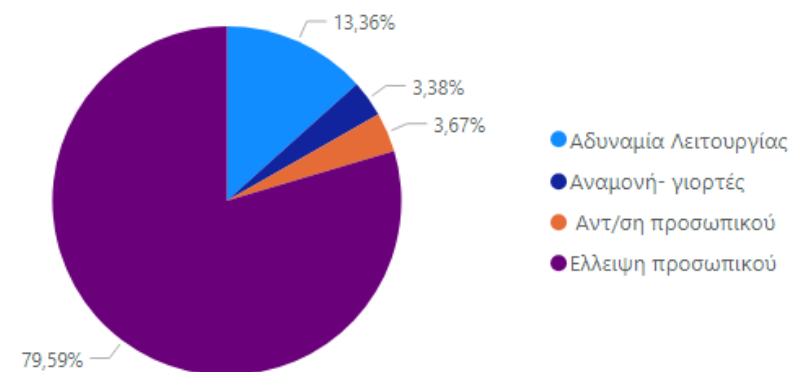
Προγραμματισμένες κρατήσεις



Βλάβες

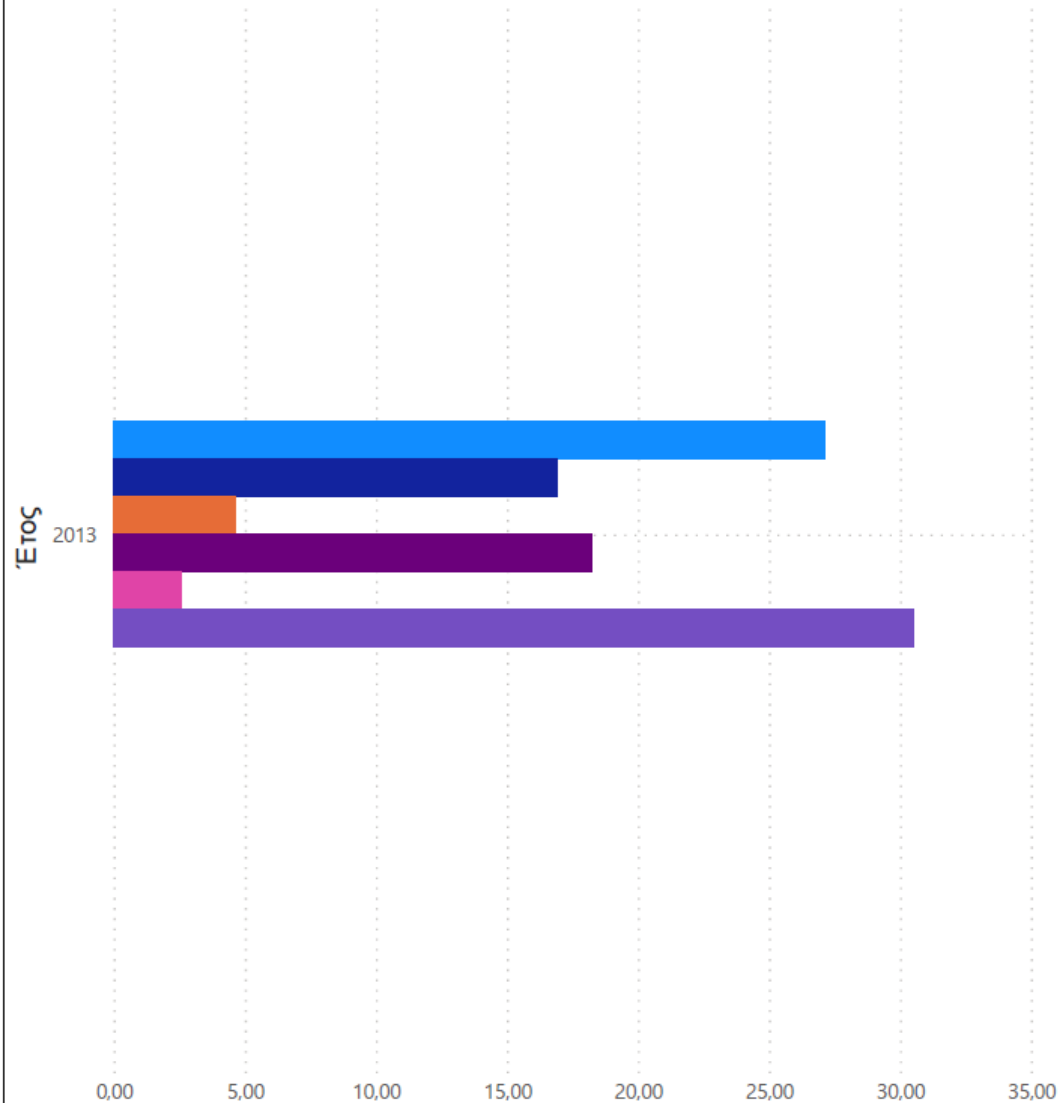


Μη εργάσιμος χρόνος

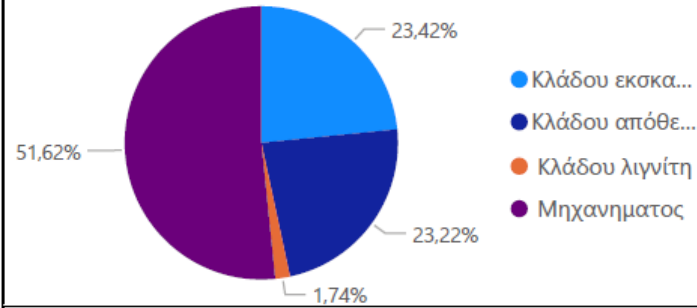


Κρατήσεις ανά έτος

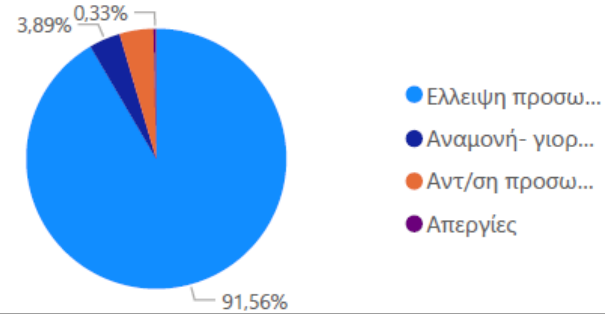
● Βλάβες ● Μη εργάσιμος ... ● Μη παραγωγι... ● Προγραμματι... ● Αδυναμία ... ● Μέσος όρο...



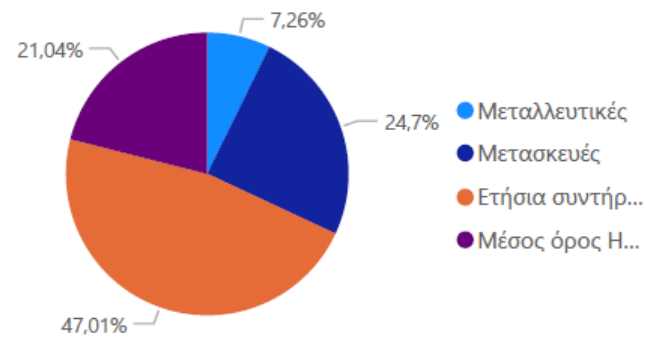
Βλάβες



Μη εργάσιμος χρόνος



Προγραμματισμένες κρατήσεις



Μπορούμε εύκολα να ελέγξουμε τα δεδομένα χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα γραφήματα και εφαρμόζοντας πολλαπλά φίλτρα

Επαγωγική στατιστική

Η επαγωγική στατιστική ή στατιστική συμπερασματολογία ασχολείται με τη μελέτη των χαρακτηριστικών και την **ανάλυση των δεδομένων ενός δείγματος**, με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων για τον πληθυσμό της έρευνας. Θεωρείται το πιο περίπλοκο κομμάτι της επιστήμης της στατιστικής καθώς δεν ασχολείται μόνο με την παρουσίαση δεδομένων, όπως η περιγραφική στατιστική. Αποτελείται από δύο κύριες μεθόδους οι οποίες είναι οι στατιστικές εκτιμήσεις και ο έλεγχος υποθέσεων.

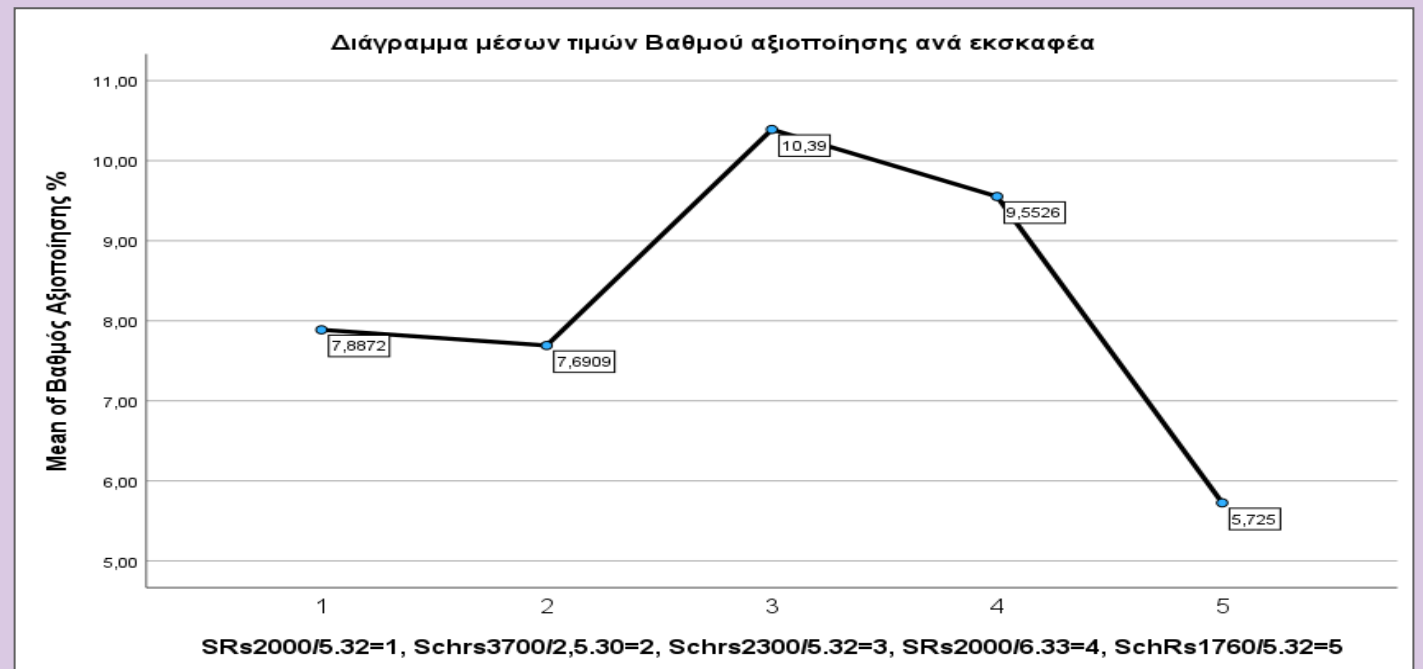
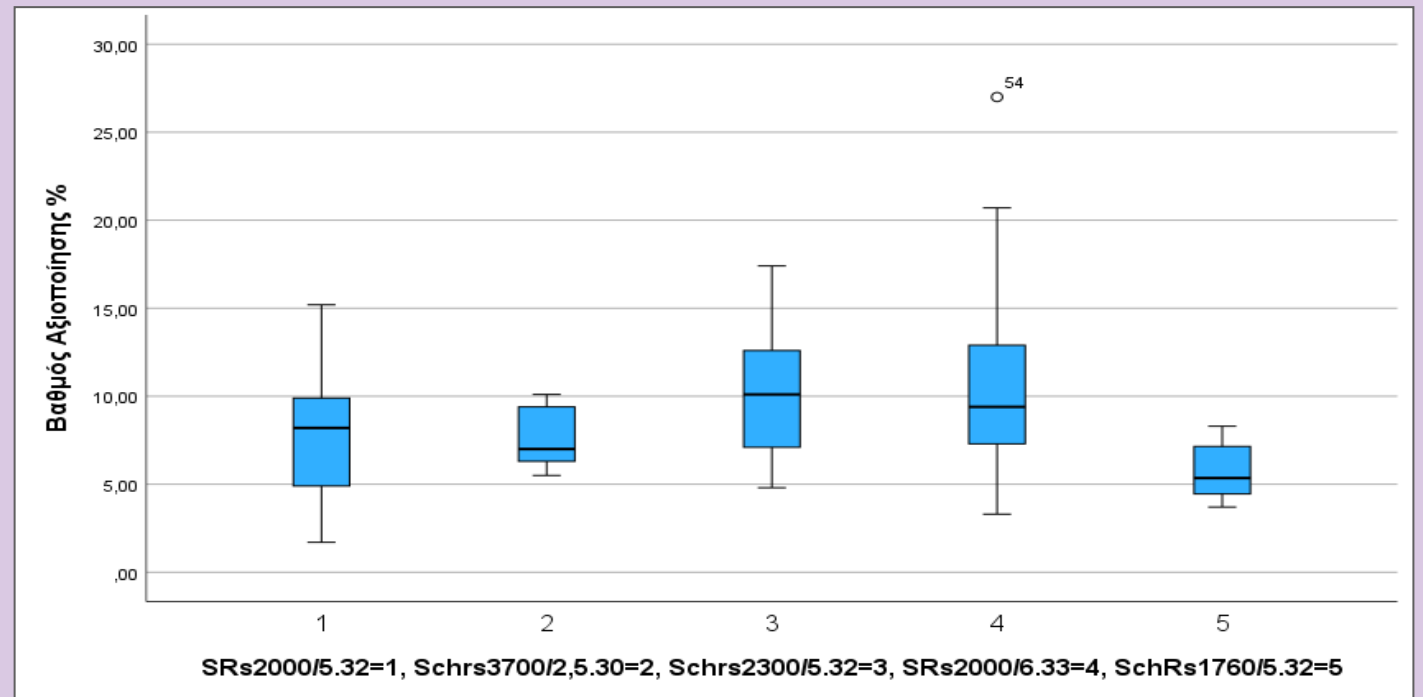
- Οι στατιστικές εκτιμήσεις δίνουν τη δυνατότητα προσδιορισμού κατά προσέγγιση των χαρακτηριστικών ενός πληθυσμού από τα ανάλογα χαρακτηριστικά δεδομένα ενός δείγματος.
- Ο έλεγχος υποθέσεων δίνει τη δυνατότητα ελέγχου αν μια υπόθεση είναι σωστή ή εσφαλμένη. Ο έλεγχος υποθέσεων διεξάγεται με στατιστικά κριτήρια που χωρίζονται σε παραμετρικά ή μη παραμετρικά.

- Για τον έλεγχο υποθέσεων χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα SPSS.
- Ακολουθούν παραδείγματα ελέγχων

Ανάλυση βαθμού αξιοποίησης

Υλοποιήθηκε μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (One Way ANOVA) και χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό των Brown-Forsythe και Welch, επειδή απορρίφθηκε η υπόθεση της ισότητας των πληθυσμιακών διακυμάνσεων (Levene' test $p=0.039 < 0.05$). Βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των εκσκαφών ως προς τον βαθμό αξιοποίησης ($F p < 0,05$).

Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι η μέση τιμή του βαθμού αξιοποίησης του Krupp Schrs 1760/5.32 είχε στατιστικά σημαντική διαφορά (αρνητική) με τις αντίστοιχες των Takraf SRs2000/5.32 και Takraf SRs2000/6.33.

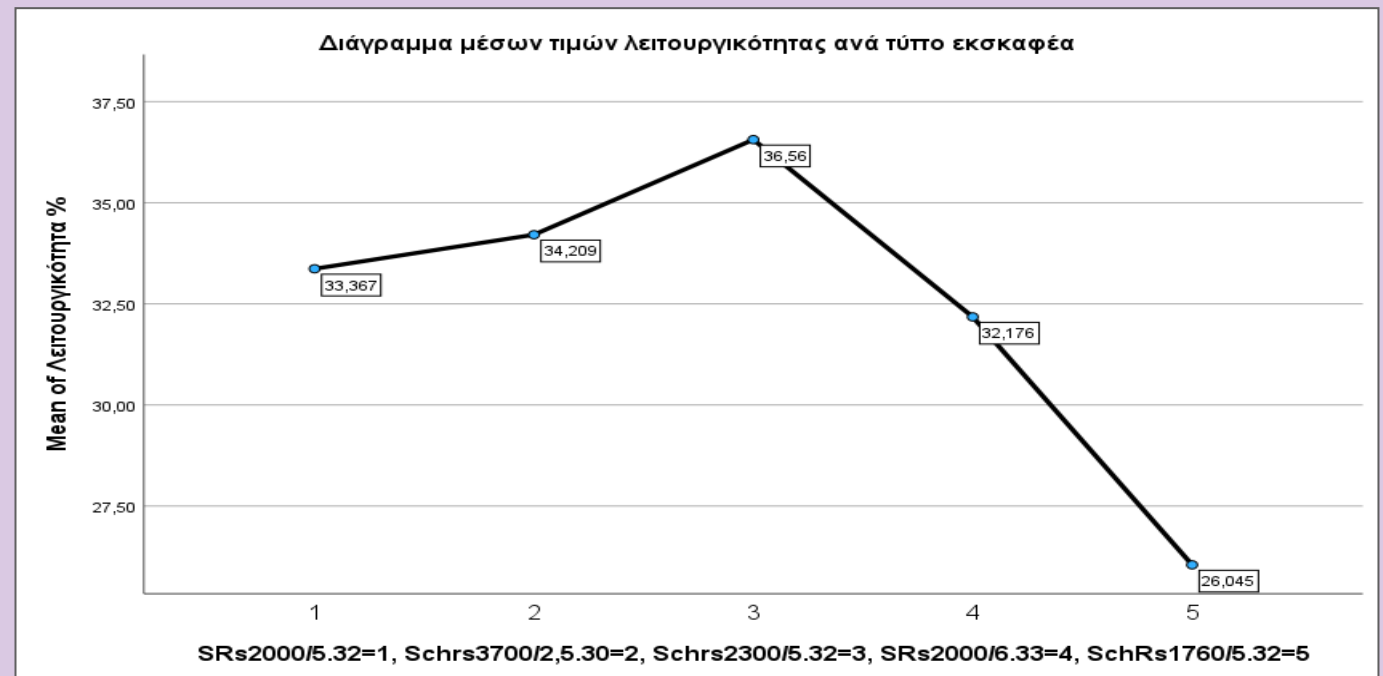
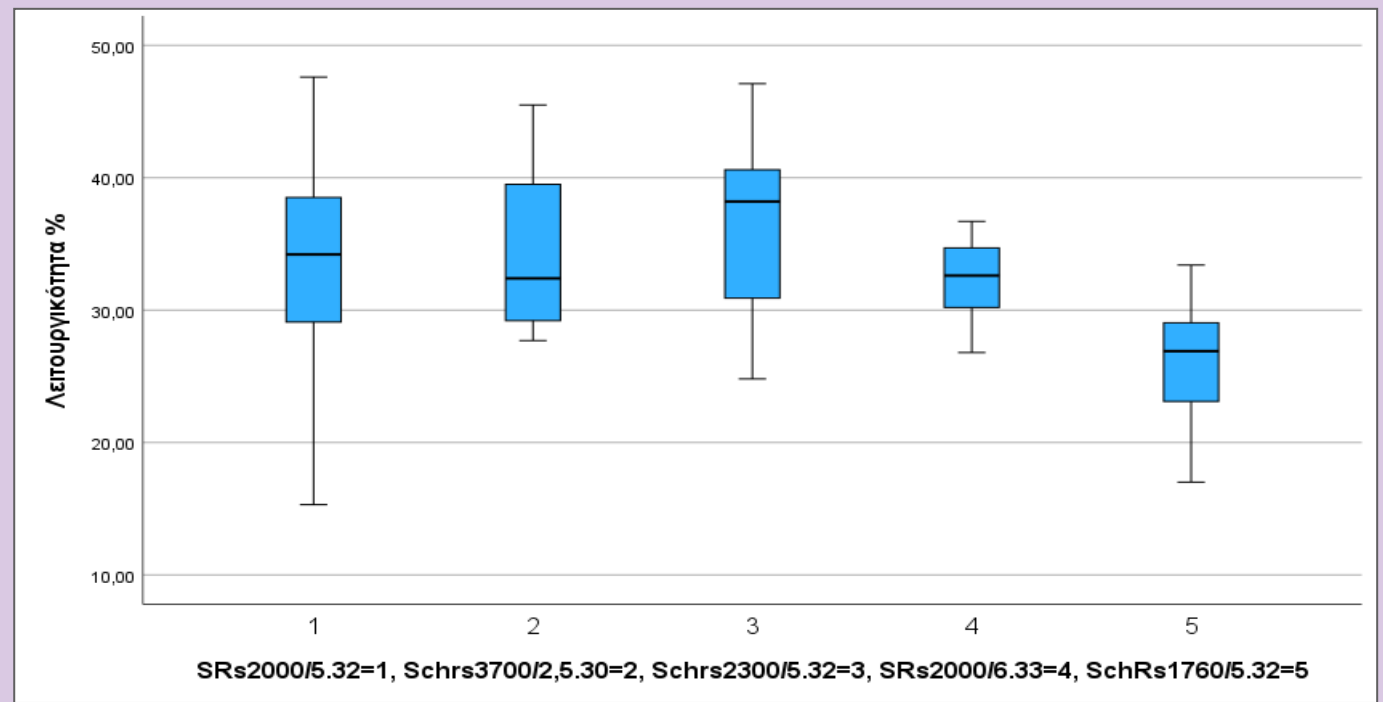


Ανάλυση λειτουργικότητας

Υλοποιήθηκε μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (One Way ANOVA) και χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό των Brown-Forsythe και Welch, επειδή απορρίφθηκε η υπόθεση της ισότητας των πληθυσμιακών διακυμάνσεων (Levene' test $p=0.031 < 0.05$).

Βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των εκσκαφών ως προς τις εκσκαφές
($p=0,02 < 0,05$).

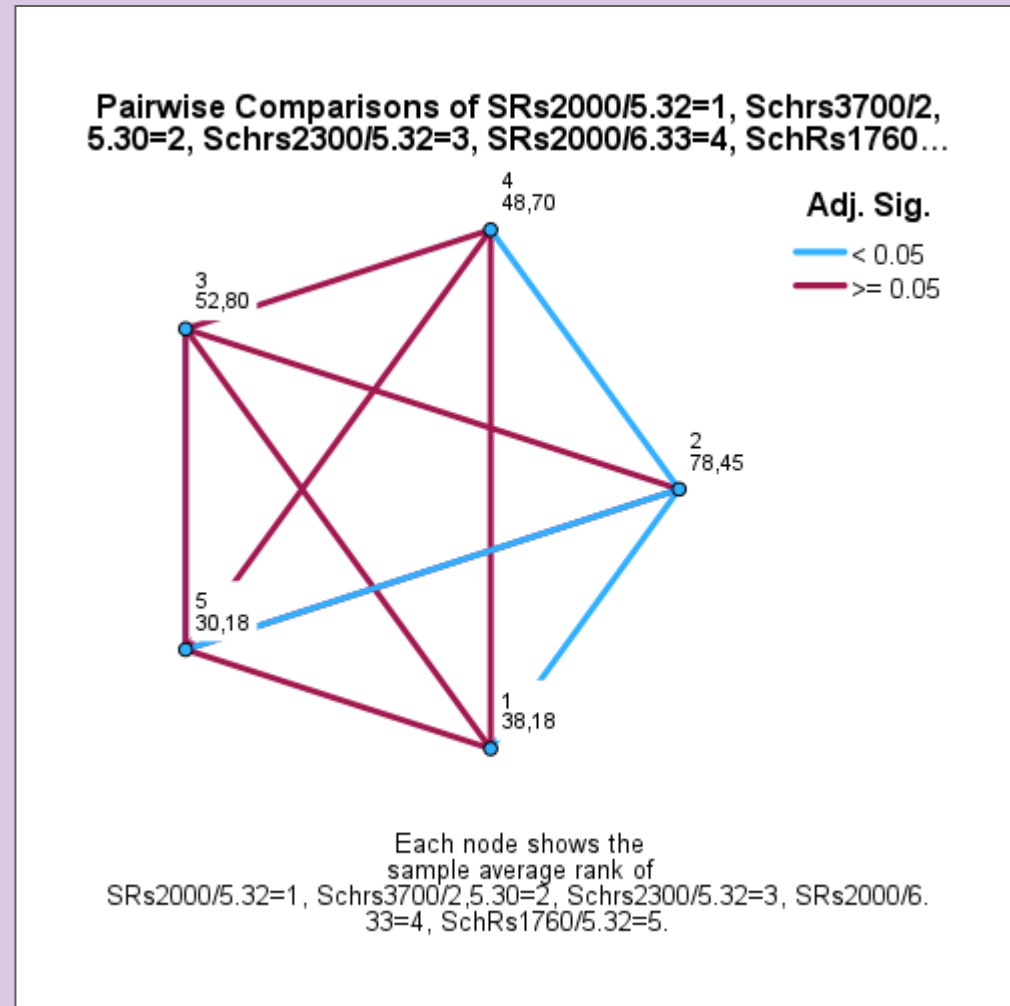
Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι η μέση τιμή της λειτουργικότητας του Krupp Schrs 1760/5.32 είχε στατιστικά σημαντική διαφορά (αρνητική) με τις μέσες τιμές των Takraf SRs2000/5.32, Krupp Schrs3700/2,5.30 και Takraf SRs2000/6.33.



Ανάλυση Μ.Ω.Α.

Λόγω του ότι δεν τηρείται η προϋπόθεση της κανονικότητας των κατανομών υλοποιήθηκε μη παραμετρικός έλεγχος Kruskal-Wallis. Βρέθηκε ότι δεν υπάρχει ομοιογένεια ως προς την Μ.Ω.Α. ανάμεσα στους πέντε τύπους ($p < 0.01$).

Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι η Μ.Ω.Α. του Krupp Schrs 3700/2,5.30 είχε στατιστικά σημαντική διαφορά με την αντίστοιχη των υπολοίπων.



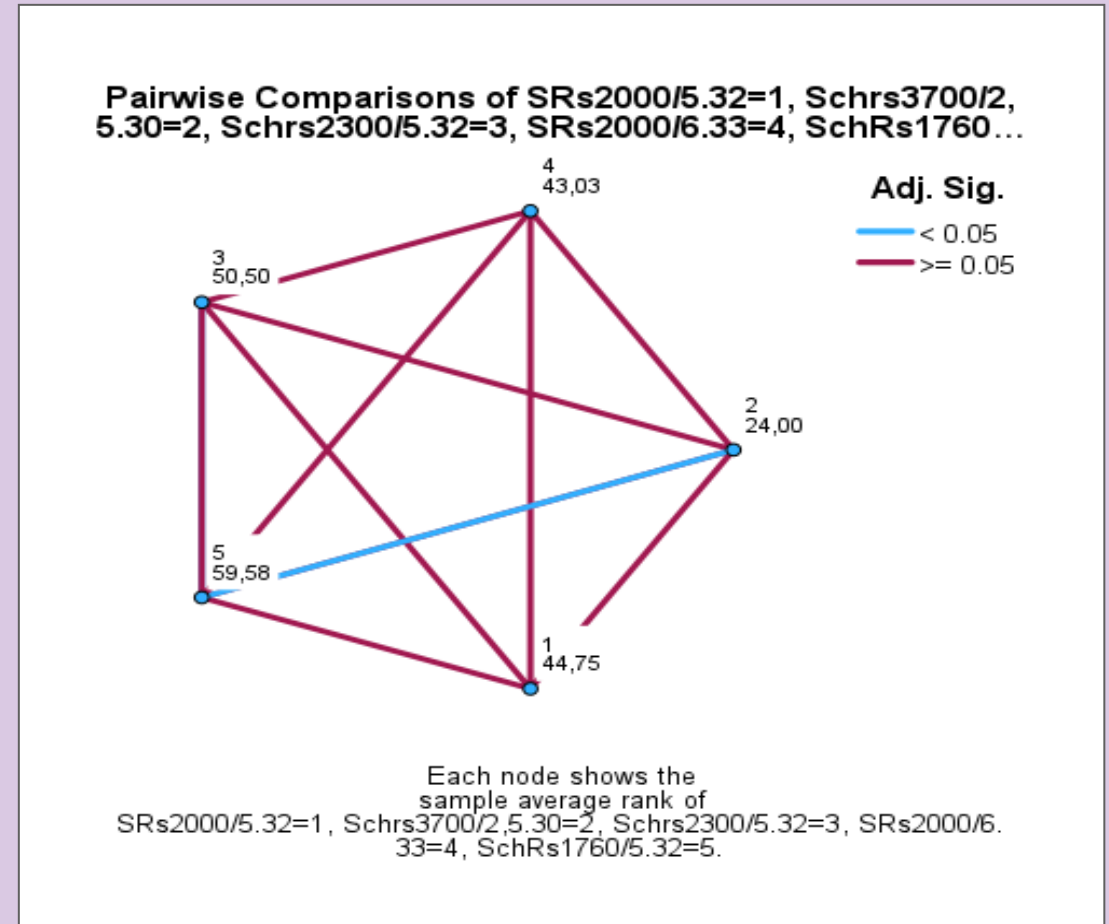
Ανάλυση κρατήσεων

Ανάλυση μη εργάσιμου χρόνου

Λόγω του ότι δεν τηρείται η προϋπόθεση της κανονικότητας των κατανομών υλοποιήθηκε μη παραμετρικός έλεγχος Kruskal-Wallis

Βρέθηκε ότι **δεν υπάρχει ομοιογένεια ως προς τον μη εργάσιμο χρόνο ανάμεσα στους πέντε τύπους** ($p < 0.05$).

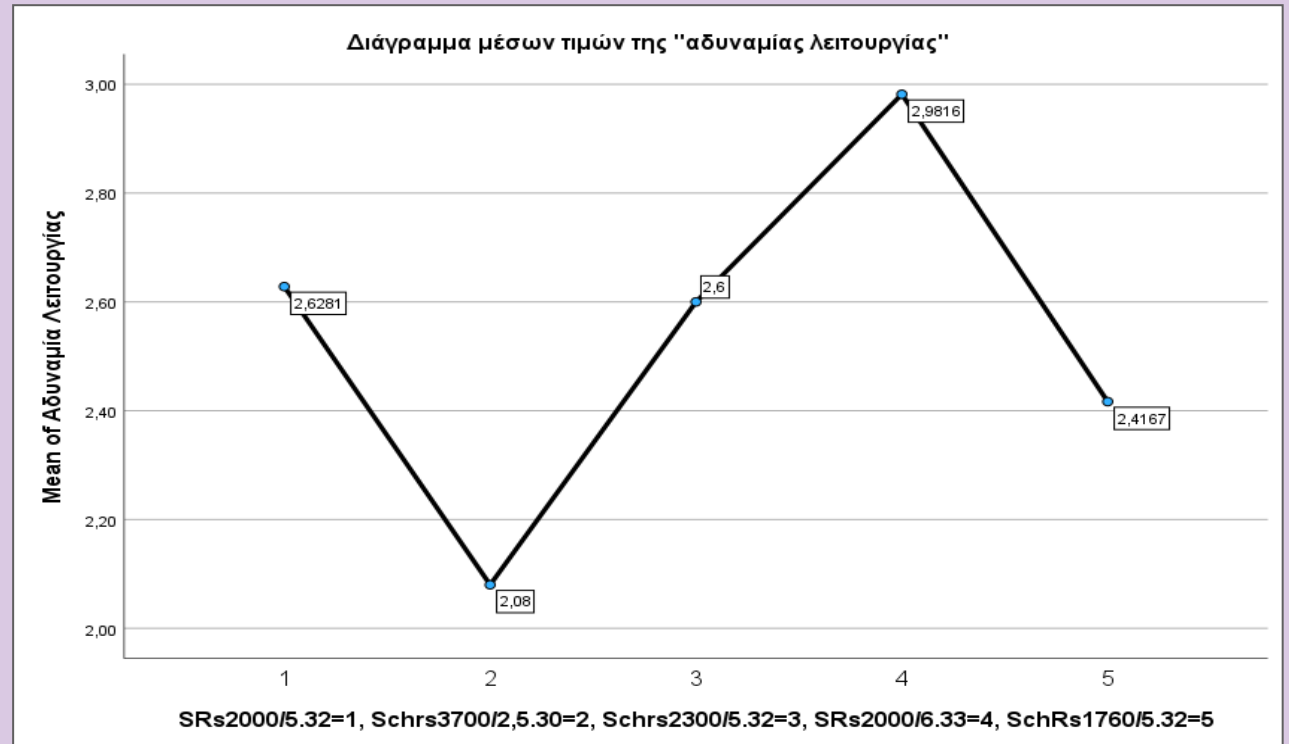
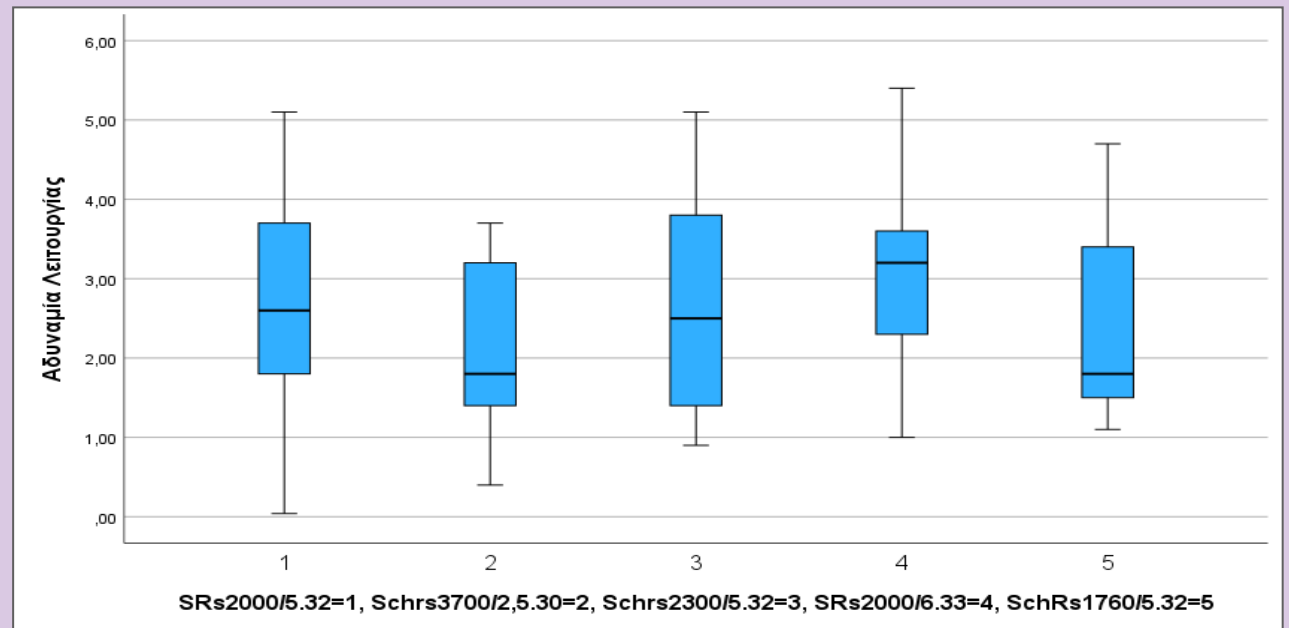
Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι ο Krupp Schrs 3700/2,5.30 είχε στατιστικά σημαντική διαφορά με τον Krupp Schrs 1760/5.32.



Ανάλυση αδυναμίας λειτουργίας

Υλοποιήθηκε μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (One Way ANOVA) και δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του τύπου των εκσκαφών ως προς την «αδυναμία λειτουργίας»
($F(4,83)=1,014$, $p=0,405>0,05$)

Η κράτηση «αδυναμία λειτουργίας» είναι ανεξάρτητη του τύπου των εκσκαφών.



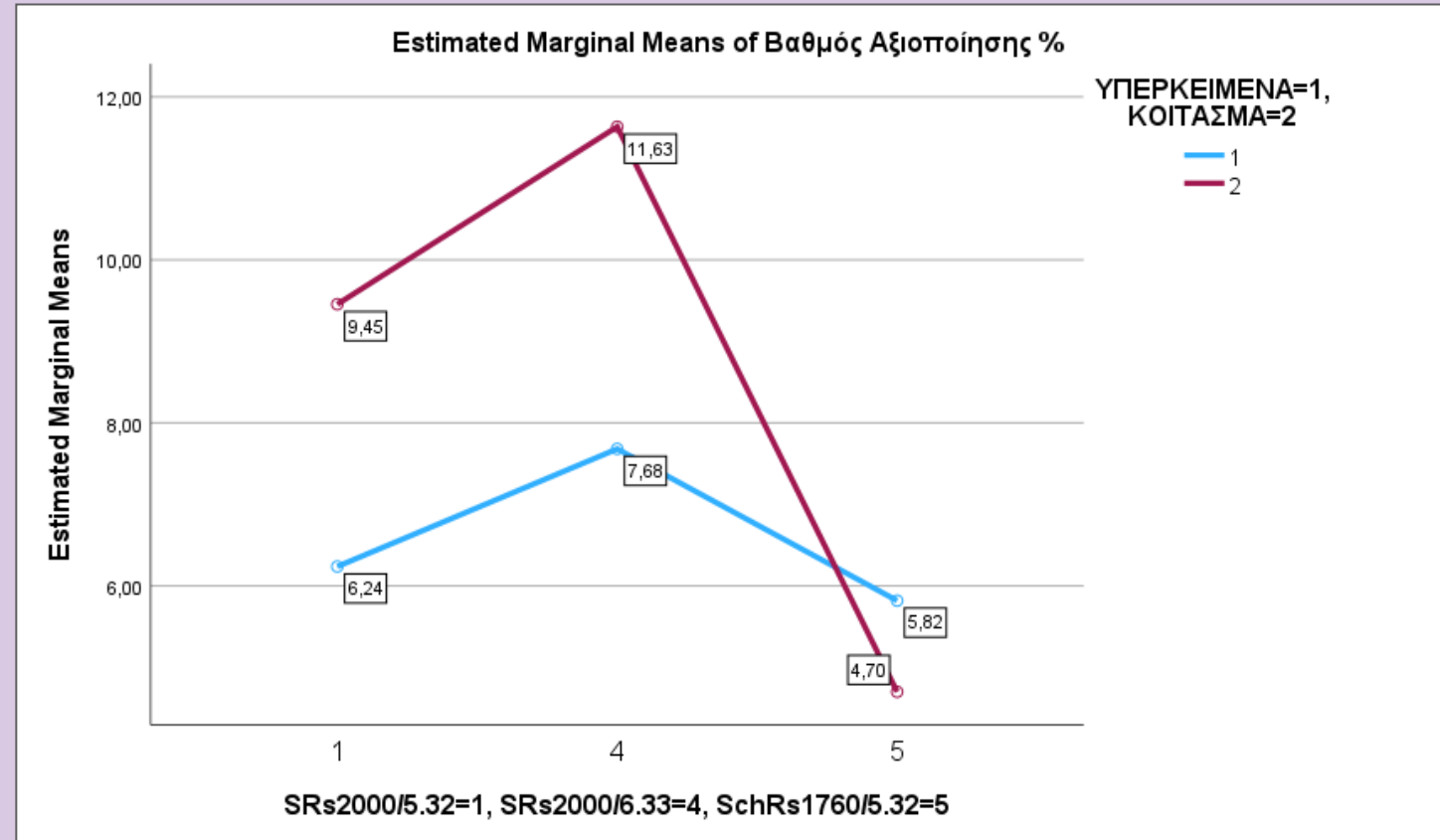
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΔΥΟ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ

Βαθμός αξιολόγησης

Υλοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (Two Way ANOVA) και βρέθηκε **στατιστικά σημαντική επίδραση του τύπου του εκσκαφέα και του τύπου της τομής στον βαθμό αξιολόγησης** ($p=0,02$).

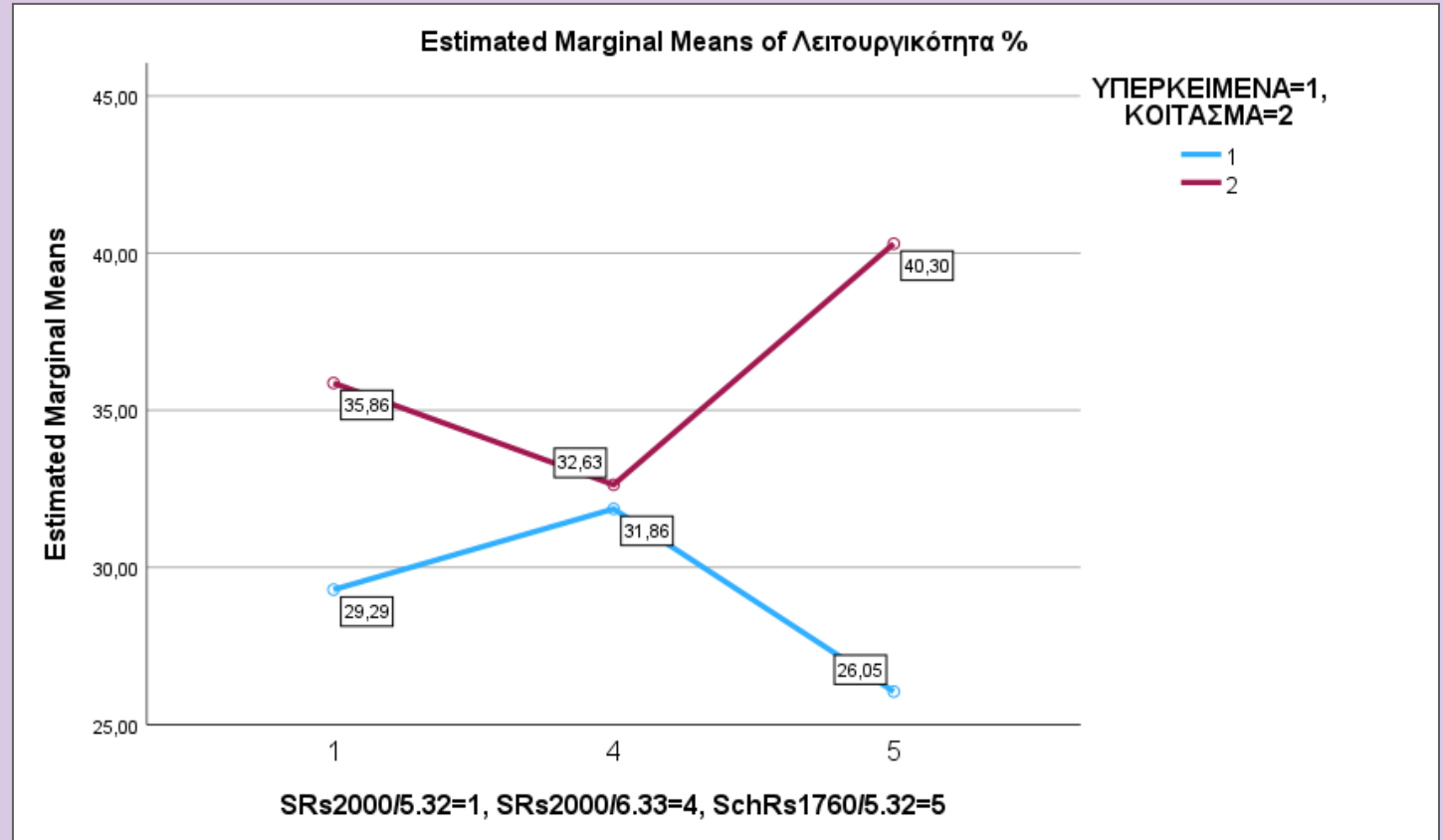
Παρόλα αυτά δεν βρέθηκε σταθερή συσχέτιση γιατί ενώ οι 1 και 4 είχε υψηλότερο βαθμό αξιολόγησης στο κοίτασμα, ο 5 είχε ψηλότερο στα υπερκείμενα.

Επίσης βρέθηκε ότι ο **βαθμός αξιολόγησης δεν είναι ανεξάρτητος του τύπου του εκσκαφέα.**

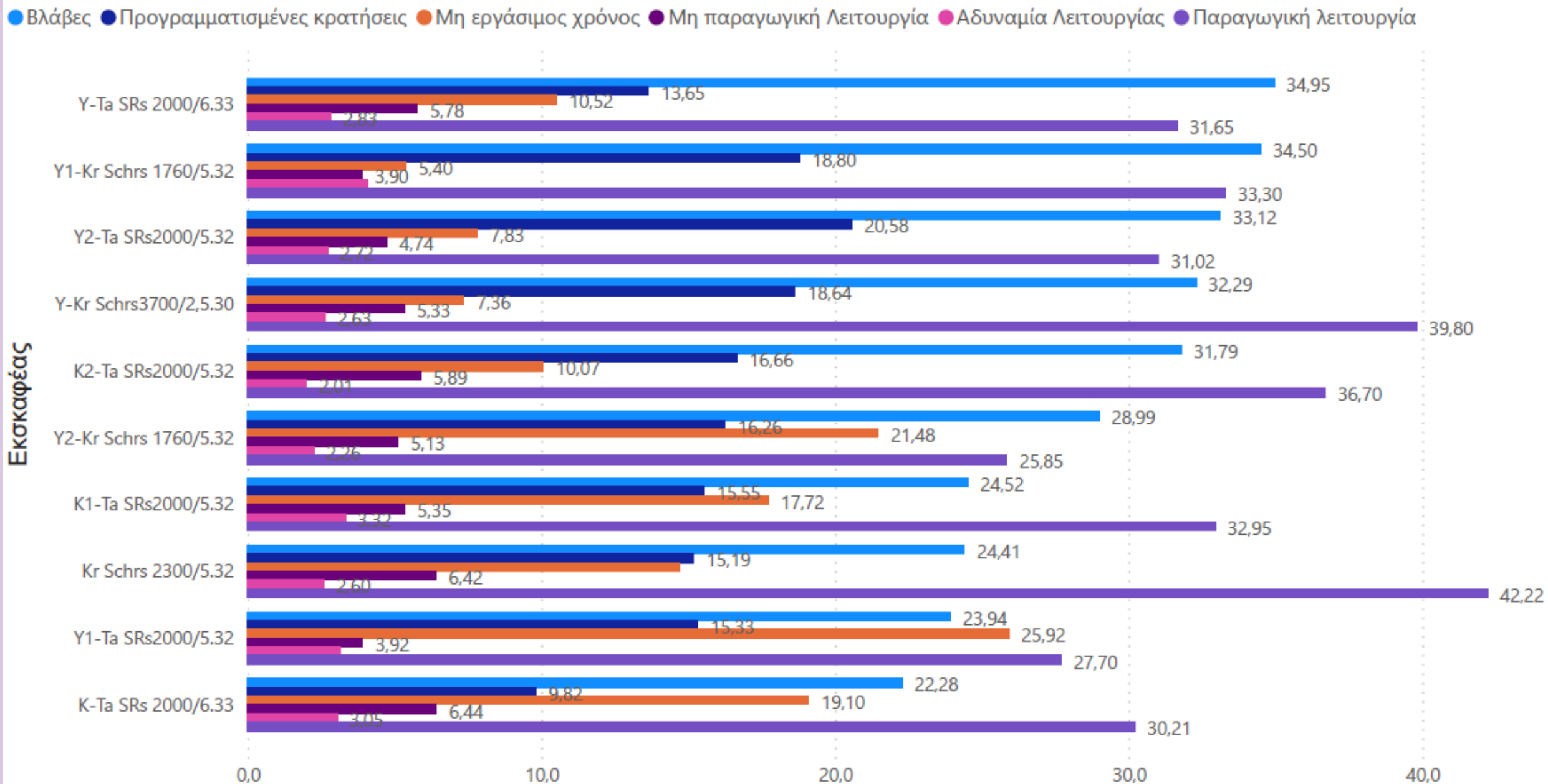


Ανάλυση λειτουργικότητας

Υλοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (Two Way ANOVA) και βρέθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του τύπου του εκσκαφέα και του τύπου της τομής στην λειτουργικότητα ($p=0,006$). Βρέθηκε ότι η λειτουργικότητα είναι υψηλότερη όταν οι εκσκαφείς λειτουργούν σε κοίτασμα και όχι σε υπερκείμενα, δηλαδή επηρεάζεται από τον τύπο της εκσκαφής.



Ανάλυση χρόνων λειτουργίας ανά εκσκαφέα



Συμπεράσματα: Ανάλυση δεικτών απόδοσης

Ανάλυση δεικτών απόδοσης

➤ **Λειτουργικότητα:** Η μέση τιμή της λειτουργικότητας κατά την περίοδο μελέτης ήταν 33,26% με μέγιστη τιμή το 2016 (36,64 %) και ελάχιστη το 2020 (27,87%). Οι εκσκαφείς που λειτουργούν σε κοίτασμα εμφανίζουν μεγαλύτερα ποσοστά Λειτουργικότητας.

➤ **Βαθμός Αξιοποίησης:** Η μέση τιμή του βαθμού αξιοποίησης κατά την περίοδο μελέτης ήταν 8,17% με μέγιστη τιμή το 2010 (10,60 %) και ελάχιστη το 2020 (4,11%). Οι εκσκαφείς που λειτουργούν σε κοίτασμα εμφανίζουν μεγαλύτερο βαθμό αξιοποίησης.

➤ **Ωριαία απόδοση των εκσκαφών:** Η μέση τιμή της Μ.Ω.Α. ήταν **1648** fm³/h με μέγιστη τιμή το 2012 (1965 fm³/h) και ελάχιστη το 2020 (1084 fm³/h). Υψηλότερη τιμή εμφανίζει ο Krupp Schrs 3700/2,5.30 (**2458** fm³/h) ο οποίος λειτουργούσε σε υπερκείμενα αλλά η θεωρητική του απόδοση είναι σχεδόν διπλάσια από τους υπόλοιπους. Στην αμέσως επόμενη θέση είναι ο Takraf SRs 2000/6.33 (**2038** fm³/h) που λειτουργούσε σε κοίτασμα και στην τελευταία ο ίδιος τύπος εκσκαφέα αλλά με λειτουργία σε υπερκείμενα (**1182** fm³/h), μετά το 2014 με αρκετά σκληρά πετρώματα.

Η γενική πορεία των δεικτών ακολουθεί και αυτή των εκσκαφών με μία σταδιακή μείωση μέχρι το 2014, μικρή άνοδο το 2016 και πτωτική πορεία από εκεί και μετά, γεγονός που εξηγείται από την μείωση της παραγωγής λόγω του σχεδίου απολιγνιτοποίησης.

Συμπεράσματα: Ανάλυση χρόνων λειτουργίας

- Η Παραγωγική Λειτουργία κυμάνθηκε από 40,85% (2016) έως 40,63% (2012).
- Οι Βλάβες εμφάνισαν μέγιστη τιμή το 2011 (33,27%) και ελάχιστη τιμή το 2020 (23,03%).
- Ο Μη Εργάσιμος Χρόνος διακυμάνθηκε από 7,83% (2012) έως 23,03% (2020).
- Υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ των Βλαβών και του Μη Εργάσιμου Χρόνου.
- Η Αδυναμία Λειτουργίας διακυμάνθηκε από 1,54 % (2020) μέχρι 4,54 (2010).
- Στις Βλάβες υπερисχύουν σε ποσοστό συνόλου αυτές του μηχανήματος (52,61%), στις Προγραμματισμένες Κρατήσεις η Ετήσια Συντήρηση (55,78%) και στο Μη Εργάσιμο Χρόνο η Έλλειψη προσωπικού (70,61%).

Ως αναφορά τους εκσκαφείς:

- υψηλότερο ποσοστό βλαβών εμφανίζει ο Takraf SRs 2000/6.33 (34,95%) με λειτουργία σε υπερκείμενα και ήταν κατά 56,85% υψηλότερο από του Takraf SRs 2000/6.33 με λειτουργία σε κοίτασμα (22,80%).
- Αντίθετα χαμηλότερο ποσοστό Προγραμματισμένων Κρατήσεων εμφανίζει ο Takraf SRs 2000/6.33 (9,82%) με λειτουργία σε κοίτασμα, σε αντίθεση με τον Takraf SRs 2000/6.33 με λειτουργία σε υπερκείμενα (20,58%).
- Οι βλάβες και οι προγραμματισμένες κρατήσεις συσχετίζονται θετικά μεταξύ τους.

Βιβλιογραφία

- PMI, 2010 . A Guide to the Project Management Body of Knowledge(PMBOK Guide). 4th Edn, Project Management Institute, Newton Square, PA., ISBN: 1933890665
- F. Pavloudakis et al, The Effects of Surface Lignite Mines Closure on the Particulates Concentrations in the Vicinity of Large-Scale Extraction Activities (2022)
- <https://globalenergymonitor.org/>
- <https://www.sdam.gr>
- <https://www.ppcgroup.com/el/perivallon/apolignitopoiisi/>
- <https://www.ppcgroup.com/el/omilos-dei/tomeis-drastiriotitas/symvatiki-paragogi/>

ΤΕΛΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας