

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμες Γης και Περιβάλλον:
Ειδίκευση Ορυκτοί Πόροι - Πετρολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος

ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΘΝΙΚΟ ΔΡΥΜΟ ΣΟΥΝΙΟΥ-ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ντορίν Κιρόσκα

ΑΜ: 219004

Επιβλέπουσα: Αριάδνη Αργυράκη, Καθηγήτρια

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Αριάδνη Αργυράκη, Καθηγήτρια

Ευστράτιος Κελεπερτζής, Επίκουρος Καθηγητής

Εμμανουήλ Βασιλάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ 2023

MSc Program Earth Sciences and Environment
Specialization: Mineral Resources- Petrology and Environmental Management

Historical mining waste deposits in the Sounion Natural Reserve area- Correlation with surrounding vegetation

MSc Dissertation

Dorin Chiroška

RN: 219004

Supervisor: Prof. Ariadne Argyraki

Tri-member examination committee:

Prof. Ariadne Argyraki, NKUA

Dr. Efstratios Kelepertzis, NKUA

Dr. Emmanuil Vassilakis, NKUA

Athens 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έντονη μεταλλευτική δραστηριότητα τόσο κατά τους αρχαίους χρόνους όσο και κατά τη διάρκεια του 19ου και 20ου αιώνα στην περιοχή της Λαυρεωτικής είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία εκτεταμένων σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, η εξορυκτική και μεταλλουργική διαδικασία εκμετάλλευσης των συμπαγών θειούχων κοιτασμάτων Pb - Zn- Ag από αντικατάσταση μαρμάρων καθώς και οξειδωμένων τμημάτων τους (σιδηρομαγγανιούχους σχηματισμούς - gossan), προκάλεσαν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον της Λαυρεωτικής. Σε περιοχές έντονα ρυπασμένες με βαρέα μέταλλα, η βλάστηση είναι συνήθως αραιή, η σύνθεσή της αλλάζει, η ζωτικότητα των φυτών μειώνεται και σε ορισμένα φυτικά είδη είναι δυνατόν να παρατηρηθούν ακόμη και μορφολογικές διαφοροποιήσεις. Παρόλα αυτά με το πέρασμα δεκάδων ετών, πολλά αυτοφυή φυτικά είδη, καταφέρνουν να αναπτύξουν κατάλληλους μηχανισμούς αντοχής στη ρύπανση.

Σε αυτό το πλαίσιο οι στόχοι της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνουν την οπτική αποτύπωση με χρήση μη επανδρωμένου ιπτάμενου μέσου, συγκεκριμένων σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων εντός του Εθνικού Δρυμού Σουνίου και την οπτικοποίηση της σχέσης με την περιβάλλουσα βλάστηση, τη μελέτη των εποχικών μεταβολών των σχέσεων σωρών αποβλήτων και βλάστησης σε συνάρτηση με τη μεταβολή μετεωρολογικών παραμέτρων, και τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των οπτικοποιημένων παρατηρήσεων με τον χημισμό των σωρών αποβλήτων.

Πραγματοποιήθηκαν από αέρος οπτικές λήψεις (φωτογραφίες και βίντεο) επαναληπτικά σε έξι επισκέψεις στην περιοχή κατά το διάστημα Οκτώβριος 2020 έως Δεκέμβριος 2022 με στόχο να υπάρχουν λήψεις που θα αποτυπώνουν την εποχιακή μεταβολή της βλάστησης. Η επεξεργασία και αξιολόγηση του οπτικού υλικού πραγματοποιήθηκε με χρήση κατάλληλου λογισμικού ώστε να απεικονίσουμε τις περιοχές μελέτης σε τρεις διαστάσεις. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα συζητήθηκαν με βάση την περιγραφή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των σωρών όπως προκύπτουν από προηγούμενες μελέτες.

Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν την από αέρος λεπτομερή αποτύπωση των σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων και την παραγωγή βίντεο ώστε να γίνεται αντιληπτή η αλληλεπίδραση της φυτοκάλυψης εντός του Δρυμού με τα υπάρχοντα μεταλλευτικά απόβλητα στην διάρκεια του έτους. Συμπερασματικά η παρούσα εργασία συμβάλει στη λεπτομερέστερη καταγραφή και περιβαλλοντική αξιολόγηση των σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων στις περιοχές Καμάριζας και Σουνίου Λαυρεωτικής η οποία θα αποτελέσει μία αξιοποιήσιμη βάση δεδομένων για την διαχείριση και την προστασία του Εθνικού Δρυμού του Σουνίου και της ευρύτερης περιοχής του Γεωπάρκου της Λαυρεωτικής.

Λέξεις κλειδιά: Μεταλλευτικά απόβλητα, οπτική αποτύπωση, μη επανδρωμένα ιπτάμενα μέσα

ABSTRACT

Intense mining activity both during ancient times and during the 19th and 20th centuries in the area of Lavreotiki resulted in extensive piles of mining waste that remain exposed until today. Specifically, the mining and metallurgical processing of Pb-Zn-Ag sulfide ore from the replacement of marbles as well as their oxidized parts (iron-manganese formations - gossan), caused significant impacts on the environment of Lavreotiki Peninsula. In areas heavily contaminated by metals, the vegetation is usually sparse, its composition changes, plant vitality decreases, and morphological variations are observed in some plant species. Nevertheless, with time, many native plant species manage to develop suitable contamination resistance mechanisms.

In this context, the objectives of the present thesis include: i) the visual mapping, using an unmanned aerial vehicle, of specific mining waste piles within the Sounion National Forest and the visualization of the relationship with the surrounding vegetation, ii) the study of the seasonal changes on the boundary between waste piles and vegetation in relation to changing meteorological parameters, and iii) the investigation of the relationship between the visualized observations and the physicochemical characteristics of the waste piles.

Aerial visual images (photos and videos) were taken repeatedly in six visits to the area between October 2020 and December 2022 with the aim of having images that would capture the seasonal change of vegetation. The processing and evaluation of the visual material was carried out using appropriate software in order to visualize the study areas in 3D. Subsequently, the results were discussed based on the description of the physicochemical characteristics of the piles as derived from previous studies.

The results include the detailed aerial mapping of the mining waste piles and the production of video to better understand the interaction between vegetation and the mining waste over the course of the year. In conclusion, this work contributes to the more detailed recording and environmental assessment of the mining waste piles in the areas of Kamariza and Sounion in Lavreotiki, which will form a usable database for the management and protection of the Sounion National Forest and the wider area of Lavreotiki Geopark.

Keywords: Mining waste, optical imaging, unmanned aerial vehicles

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών Επιστήμες Γης και Περιβάλλον, του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Το θέμα της διπλωματικής επιλέχθηκε με την παρότρυνση της επιβλέπουσας καθηγήτριας κυρίας Αριάδνης Αργυράκη, η οποία γνώριζε πολύ καλά τα ενδιαφέροντα μου αλλά και τα περιβαλλοντικά προβλήματα της Λαυρεωτικής. Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, η οποία με εμπιστεύτηκε και με τη συνεχή και ουσιαστική καθοδήγησή της, με την ανεξάντλητη υπομονή της και την ανθρωπιά της, συνέβαλε ανεκτίμητα στην ολοκλήρωση αυτής της μελέτης. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστώ και την οικογένειά μου που μου συμπαραστάθηκε τόσο οικονομικά όσο και ενθαρρυντικά σε αυτή την επίπονη προσπάθεια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT.....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Σκοπιμότητα και στόχοι	8
1.2 Η περιοχή της Λαυρεωτικής	11
1.2.1 Γεωγραφική θέση	11
1.2.2 Ιστορικά στοιχεία	13
1.2.3 Γεωμορφολογία - Γεωλογία	16
1.2.4 Κοιτασματολογικά στοιχεία – Μεταλλοφορία.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	20
2.1 Μεταλλευτικά απόβλητα.....	20
2.2 Φυτική βλάστηση.....	24
2.3 Μετεωρολογικές παράμετροι.....	29
2.4 Ο ρόλος των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στη μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος.....	32
2.5 Προηγούμενες έρευνες με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών στο πεδίο της γεωμορφολογίας στον Ελλαδικό χώρο	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	36
3.1. Εργασία υπαίθρου	36
3.2 Από αέρος παρατήρηση με χρήση drone	37
3.3. Σύγκριση δεδομένων οπτικού υλικού και συσχέτιση με φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του αποβλήτου.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	40

4.1 Περιγραφή των υπό μελέτη σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων	40
4.1.1 Σωρός Μεγάλης Καμάριζας (Άγιος Κωνσταντίνος)	40
4.1.2 Σωρός Μικρής Καμάριζας (Άγιος Κωνσταντίνος).....	44
4.1.3 Σωροί περιοχής «Έλαφος»	49
4.1.4 Σωρός περιοχής «Αγ. Τριάδα»	52
4.1.5 Περιοχή «Αγ. Βαρβάρα»	58
4.1.6 Σωρός αποβλήτων Καβοδόκανου στο Λαύριο.....	62
4.2 Συζήτηση αποτελεσμάτων- σχέση αποβλήτων και περιβάλλουσας βλάστησης	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ	
ΕΡΕΥΝΑΣ	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Μετεωρολογικά δεδομένα των περιόδων υπαίθριας εργασίας (Πηγή	
δεδομένων meteo.gr).....	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπιμότητα και στόχοι

Σε περιοχές με υψηλό φορτίο μετάλλων στο έδαφος, η βλάστηση είναι συνήθως αραιή, αλλάζει η σύνθεση και η ζωτικότητα των φυτών, μειώνεται το πλήθος των φυτικών ειδών, ενώ είναι δυνατόν να παρατηρηθούν ακόμη και μορφολογικές διαφοροποιήσεις. Παρόλα αυτά με το πέρασμα δεκάδων ετών, πολλά αυτοφυή φυτικά είδη, καταφέρνουν να αναπτύξουν κατάλληλους μηχανισμούς αντοχής στη ρύπανση, είτε συσσωρεύοντας βαρέα μέταλλα στους ιστούς τους είτε περιορίζοντας τη μεταφορά αυτών προς το υπέργειο τμήμα τους και έτσι επιτυγχάνεται η επιβίωσή τους σε τέτοιες περιοχές (Καναβού, 2009).

Η έντονη μεταλλευτική δραστηριότητα σε αρχαίους χρόνους και κατά τη διάρκεια του 19ου και 20ου αιώνα στην περιοχή της Λαυρεωτικής είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία εκτεταμένων σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων. Συγκεκριμένα η εξορυκτική μεταλλευτική και μεταλλουργική διαδικασία επεξεργασίας θειούχων μεταλλευμάτων Pb, Zn, Ag από αντικατάσταση μαρμάρων καθώς και οξειδωμένων τμημάτων τους (σιδηρομαγνητιούχοι σχηματισμοί- gossan) προκάλεσαν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον της Λαυρεωτικής. Τα μεταλλευτικά απορρίμματα έχουν αποτεθεί πλησίον των μονάδων εξόρυξης και επεξεργασίας, και στη συνέχεια οι φυσικές διεργασίες της διάβρωσης των εξορυκτικών αποβλήτων από τη βροχή και τα ρέματα, η εναπόθεση τους στις πεδιάδες καθώς και η μεταφορά του λεπτόκοκκου υλικού από τον άνεμο, είχαν ως συνέπεια την ρύπανση του επιφανειακού εδάφους σε ολόκληρη σχεδόν την έκταση της Λαυρεωτικής Χερσονήσου (Δημητριάδης κ.α. 2004), η οποία εντάχθηκε πρόσφατα στο παγκόσμιο δίκτυο Γεωπάρκων της UNESCO (2023).

Ο Εθνικός Δρυμός Σουνίου ιδρύθηκε το 1971. Ο πυρήνας του Δρυμού καλύπτει έκταση εμβαδού 7.500 στρεμμάτων, ενώ η Περιφερειακή του ζώνη καλύπτει 27.500 στρέμματα. Η Καναβού (2009) έχει πραγματοποιήσει εκτεταμένη έρευνα με στόχο τη διερεύνηση της επιβάρυνσης του εδάφους και της αυτοφυούς βλάστησης σε δυνητικά τοξικά μέταλλα π.χ. μόλυβδο (Pb), της σύνθεσης της βλάστησης και της φυτοκάλυψης της περιοχής σε σχέση με την επιβάρυνση του εδάφους με Pb και με τις ιδιαίτερες μικροκλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτή. Διαπιστώθηκε ότι το

93% του εδάφους και το 99% των φυτικών ειδών είναι εξαιρετικά επιβαρυνμένα με Pb λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων διαθέσιμου Pb στα εδάφη, παρόλο που οι εδαφικές συνθήκες δεν ευνοούν την πρόσληψή του (το 96% των εδαφών είναι αλκαλικά και το 73,6% ασβεστώδη). Επίσης, το επίπεδο ρύπανσης του εδάφους με Pb επηρεάζει σημαντικά τη συνολική του πληθοκάλυψη, η οποία μειώνεται, καθώς αυξάνεται η συγκέντρωσή του στο έδαφος, ενώ οι διαφορετικές θερμοκρασιακές συνθήκες που διαμορφώθηκαν σε κάθε περιοχή δεν επηρέασαν σημαντικά το ποσοστό της συνολικής πληθοκάλυψης των δειγματοληπτικών επιφανειών.

Αξιοσημείωτα επίσης είναι τα αποτελέσματα της Αργυροπούλου (2014) σχετικά με την πρόσληψη ή απόρριψη των βαρέων μετάλλων από το άγριο εδώδιμο φυτικό είδος *Centaurea raphanina*, (κοινή ονομασία αλιβάρβαρο) της Λαυρεωτικής. Συγκεκριμένα, οι συγκεντρώσεις μετάλλων που μετρήθηκαν στο υπέργειο αλλά και υπόγειο τμήμα του φυτού επιβεβαιώνουν ότι αν και αρκετά φυτά διαθέτουν τους κατάλληλους αμυντικούς μηχανισμούς, μέσω των οποίων αποκλείουν τα βαρέα μέταλλα, περιορίζοντας σημαντικά τα ποσά συγκέντρωσης τους στο φυτό, σε ιδιαίτερα επιβαρυνμένα περιβάλλοντα, όπως αυτό της περιοχής της Αγίας Τριάδας στην Λαυρεωτική. Οι μηχανισμοί αυτοί ακυρώνονται, καθιστώντας το αναγκαστικά τοξικό. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η σχέση της βλάστησης με την παρουσία των μεταλλευτικών αποβλήτων στη Λαυρεωτική και μάλιστα εντός της προστατευόμενης περιοχής του Εθνικού Δρυμού αποτελεί θέμα συνεχούς ενδιαφέροντος και άξιο περεταίρω διερεύνησης με χρήση αναδυόμενων τεχνολογιών παρατήρησης.

Η τεχνολογία μη επανδρωμένων ιπτάμενων μέσων αξιοποιείται ολοένα και συχνότερα στην διαχείριση του περιβάλλοντος καθώς παρέχει ευκαιρίες για:

- δημιουργία τρισδιάστατων βάσεων δεδομένων υψηλής ποιότητας
- παρακολούθηση απειλούμενων ειδών
- παρακολούθηση αποδόσεων μέτρων προστασίας του περιβάλλοντος
- συμμετοχή πολιτών στη συλλογή δεδομένων
- εντοπισμό περιοχών αυξημένης επικινδυνότητας (π.χ. πυρκαγιάς, καθιζήσεων κλπ.) (Mishra and Rai, 2020).

Η παρούσα έρευνα εστίασε χωρικά σε σωρούς αποβλήτων που βρίσκονται στην περιοχή της πόλης του Λαυρίου (Καβοδόκανος), του οικισμού της Καμάριζας και

στις περιοχές Ελάφου, Αγ. Τριάδας και Αγ. Βαρβάρας. Οι συγκεκριμένοι σωροί έχουν χαρακτηριστεί ως προς τον χημισμό την ορυκτολογία και τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά σε προηγούμενη διπλωματική εργασία ΠΜΣ του Τμήματος από τον Φωτεινό Μυλωνά (2013). Τα αποτελέσματα της προηγούμενης έρευνας αξιοποιήθηκαν σε συνδυασμό με συλλογή οπτικού υλικού με χρήση μη επανδρωμένου ιπτάμενου μέσου (drone) ώστε να εξεταστεί η εξής ερευνητική υπόθεση: Το είδος των μεταλλευτικών αποβλήτων (κοκκομετρία, χημισμός) επιδρά σημαντικά στην ανάπτυξη της περιβάλλουσας βλάστησης στις περιοχές μελέτης. Η εξέταση της σχέσης μεταξύ των σωρών και της βλάστησης που τους περιβάλλουν, έγινε εποχιακά με από αέρος οπτικές λήψεις (φωτογραφίες και βίντεο).

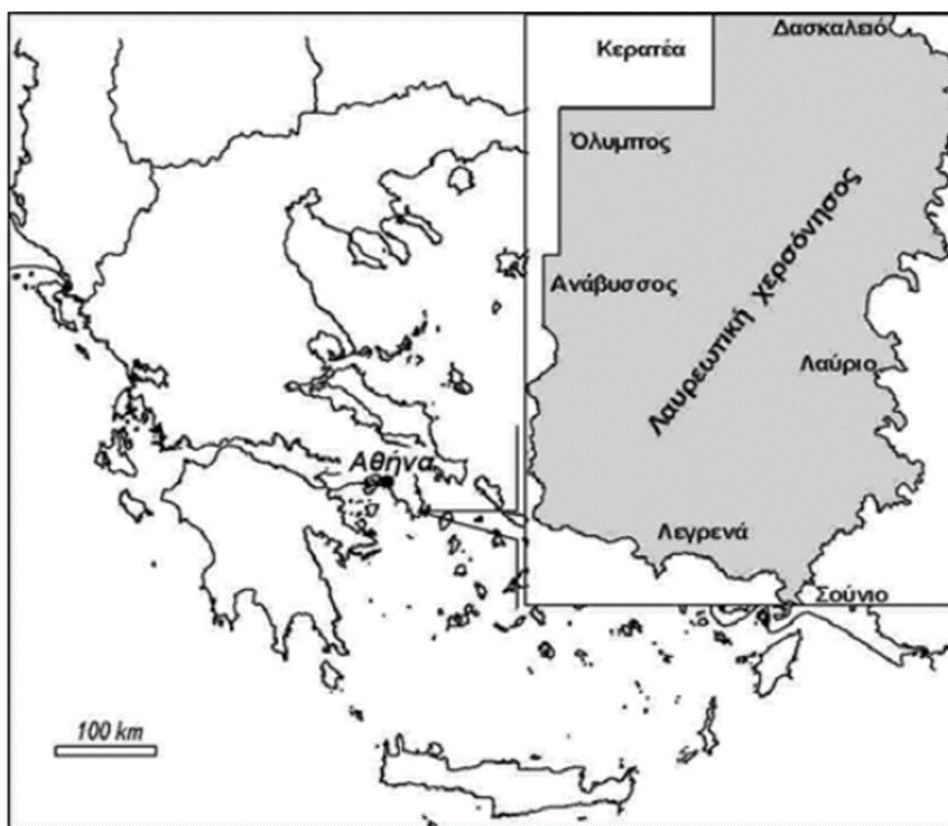
Σε αυτό το πλαίσιο οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Την οπτική καταγραφή με drone συγκεκριμένων σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων εντός του Εθνικού Δρυμού Σουνίου και οπτικοποίηση της σχέσης τους με την περιβάλλουσα βλάστηση
- Την μελέτη των εποχικών μεταβολών των σχέσεων σωρών αποβλήτων και βλάστησης σε συνάρτηση με την μεταβολή μετεωρολογικών παραμέτρων
- Τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των οπτικοποιημένων παρατηρήσεων με τον χημισμό και άλλα χαρακτηριστικά των σωρών αποβλήτων

1.2 Η περιοχή της Λαυρεωτικής

1.2.1 Γεωγραφική θέση

Ως Λαυρεωτική ονομάζεται από την αρχαιότητα το νοτιοανατολικό άκρο της Αττικής χερσονήσου. Στα νεότερα χρόνια η συγκεκριμένη ονομασία αναφέρεται στην ίδια περιοχή που καταλάμβανε ο Δήμος Λαυρίου (1835-1890) και στην οποία βρίσκονται σήμερα οι Δήμοι Λαυρεωτικής και Σαρωνικού. Η περιοχή ανήκει στην Περιφέρεια Αττικής και περιλαμβάνει την πόλη του Λαυρίου και τους οικισμούς Άνω Θορικό, Θορικό, Κάτω Σούνιο, Κάτω Ποσειδωνία και Λεγρενά. Απέχει 55 χλμ. από την Αθήνα και καταλαμβάνει έκταση 200 km² περίπου. Ανατολικά και Νότια του Δήμου Λαυρίου βρίσκεται η θάλασσα του Ν. Ευβοϊκού και ο Σαρωνικός Κόλπος, ενώ η βόρεια πλευρά του συνορεύει με το Δήμο Κερατέας και η δυτική με την κοινότητα του Αγ. Κωνσταντίνου (Εικόνα 1.0.1, 1.0.2).



Εικόνα 1. 0.1 Χάρτης Ελλάδας και θέση Λαυρεωτικής χερσονήσου (Πηγή: Δημητριάδης κ.ά., 2004)

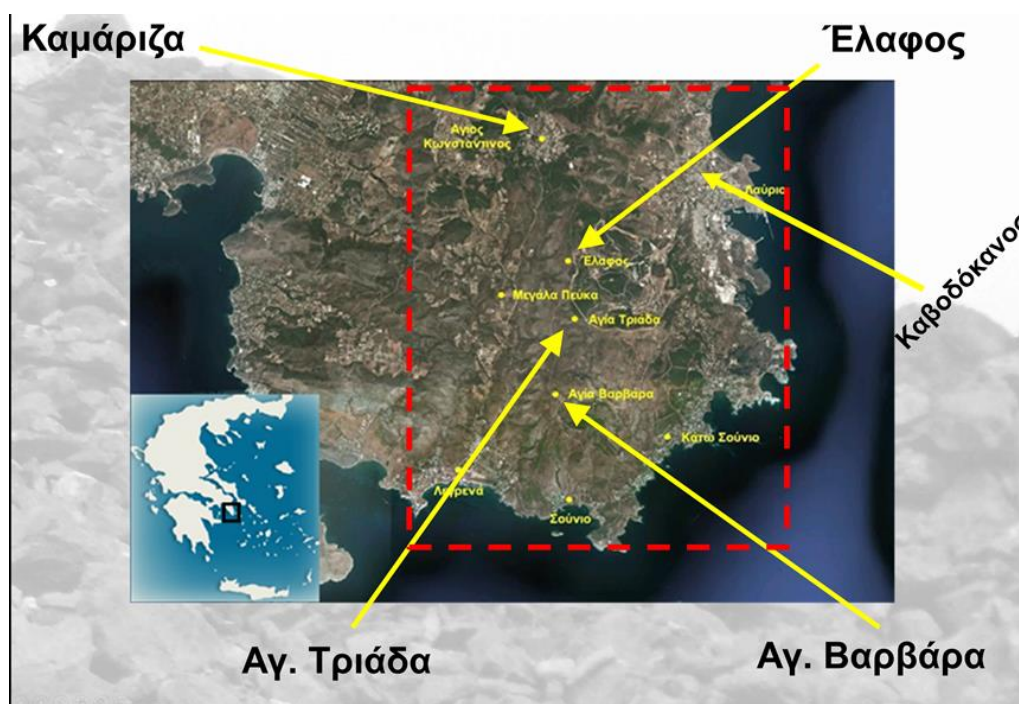


Εικόνα 1.0.2 Θέση Δήμου Λαυρεωτικής στο Νομό Αττικής (Πηγή: mylavrio.gr)

Στην ενδοχώρα της Λαυρεωτικής συναντάμε τον Εθνικό Δρυμό Σουνίου, ο οποίος ιδρύθηκε το 1971 (Ν.Δ. 99/1971) και οριοθετήθηκε το 1974 (ΠΔ 182/1974). Ο πυρήνας του Δρυμού καλύπτει έκταση εμβαδού 7.500 στρεμμάτων, ενώ η Περιφερειακή του ζώνη καλύπτει 27.500 στρέμματα. Στην περιοχή αυτή οριοθετείται και η περιοχή της παρούσας μελέτης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.0.3.

Στη Δολίνη «Χάος» βόρεια του Αγ. Κωνσταντίνου ή Καμάριζας έχουν εντοπιστεί απολιθώματα βοτανικών ειδών που δεν υπάρχουν σήμερα στην περιοχή, όπως το πυξάρι, η αγριοφουντουκιά, ο φράξος, η παραθαλάσσια πεύκη κ.ά. Ολόκληρη η έκταση των οροσειρών του Εθνικού Δρυμού Σουνίου αποτελείται από μάρμαρα και σχιστόλιθους με διεισδύσεις γρανιτικού μάγματος. Στις επαφές των στρωμάτων μαρμάρου και σχιστόλιθου συναντάται η μεταλλοφορία των μεικτών συμπαγών θειούχων μεταλλευμάτων της Λαυριωτικής (γαληνίτης, σφαλερίτης και σιδηροπυρίτης). Από την αρχαία εποχή μέχρι σήμερα λειτούργησαν κατά καιρούς μεταλλεία αργύρου, ψευδαργύρου, σιδήρου μολύβδου κ.ά, ενώ από τα αρχαία λατομεία μαρμάρου προέρχεται το μάρμαρο με το οποίο κατασκευάστηκε ο Ναός του

Ποσειδώνα και το ιερό της Σουνιάδας Αθηνάς στο ακρωτήριο Σούνιο (Παιδαγωγική Ομάδα του ΚΠΕ Λαυρίου, 2008).



Εικόνα 1.0.3 Περιοχή μελέτης.

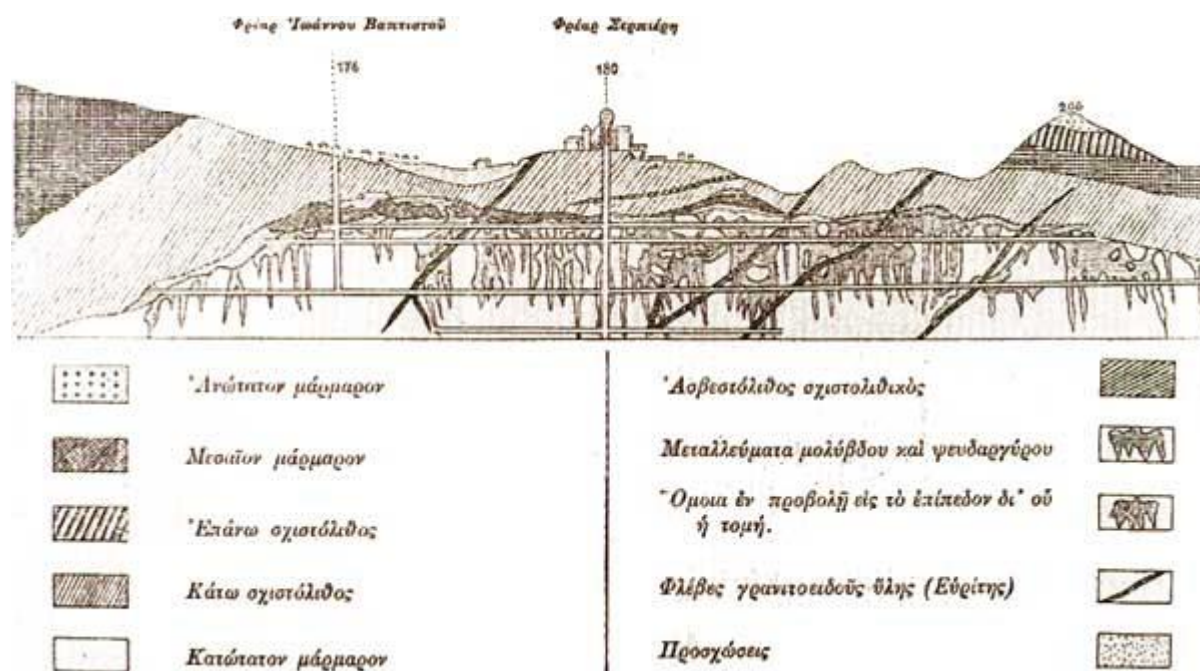
Ως προς τη φυτική βλάστηση της περιοχής, το μεγαλύτερο τμήμα του Εθνικού Δρυμού καλύπτεται από δάση χαλεπίου πεύκης, θάμνους φρύγανα και διάσπαρτα κυπαρισσόκεδρα. Αναφορικά με την πανίδα της περιοχής μπορεί να ειπωθεί ότι δεν συναντάται μεγάλη ποικιλία ειδών, ενώ, το μόνο μεγάλο θηλαστικό είναι η αλεπού. Η ορνιθοπανίδα αντιπροσωπεύεται από κοινά είδη (κουκουβάγιες, σπίνους κ.ά.), και η περιοχή αποτελεί επίσης πέρασμα μεταναστευτικών πουλιών (Παιδαγωγική Ομάδα του ΚΠΕ Λαυρίου, 2008).

1.2.2 Ιστορικά στοιχεία

Η Λαυρεωτική χαρακτηρίζεται από το πλούσιο σε μεταλλεύματα αργυρούχου μόλυβδου υπέδαφος της, το οποίο είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη έντονης μεταλλευτικής και μεταλλουργικής δραστηριότητας από την αρχαιότητα (3500 π.Χ. με κορύφωση τον 5ο και 4ο π.Χ. αι.). Χάρη στα αργυρωρυχεία της Λαυρεωτικής αναδείχθηκε η πόλη – κράτος των Αθηνών σε ηγεμονεύουσα δύναμη κατά την Κλασική περίοδο (5ος και 4ος αι. π.Χ.), γνωρίζοντας σημαντική οικονομική και πολιτιστική ανάπτυξη (Ανδρικού, 2012).

Ιστορικά, η μεταλλευτική δραστηριότητα του Λαυρίου ξεκίνησε στο Θορικό, την αρχαία πόλη που εκτείνεται από τα ριζά του λόφου Βελατούρι προς την πεδιάδα και ανατολικά προς τη θάλασσα. Θεωρείται το μοναδικό -σε παγκόσμιο επίπεδο- αρχαίο μεταλλευτικό κέντρο, που συνδύαζε την οικονομική, θρησκευτική και καλλιτεχνική έκφραση της ζωής, όπως ήταν ο κανόνας στην αρχαία εποχή. Το 483 π.Χ. εντοπίστηκαν επίσης πλούσια κοιτάσματα στη σημερινή Καμάριζα που οδήγησαν στη διάνοιξη στοών εξόρυξης έως βάθους 120 μ. και θεωρούνται τα βαθύτερα κοιτάσματα στην επαφή μαρμάρου και σχιστόλιθου. Την περίοδο εκείνη τα έσοδα από την εξαγωγή αργύρου ήταν τόσο πολλά, ώστε ο Θεμιστοκλής πρότεινε τη διάθεσή τους για τη ναυπήγηση στόλου. Από τον Πελοποννησιακό πόλεμο αρχίζει η παρακμή του Λαυρίου, κυρίως λόγω της ανακάλυψης πλούσιων κοιτασμάτων αργύρου και χρυσού στη Θράκη και Μακεδονία, ενώ στα τέλη του 2ου π.Χ. αιώνα τα περισσότερα μεταλλεία έκλεισαν (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2016).

Περνώντας στα νεότερα χρόνια η αναγέννηση της μεταλλευτικής δραστηριότητας της Λαυρεωτικής ξεκινάει 19 αιώνες μετά, όταν το 1860 ο ορυκτολόγος Ανδρέας Κορδέλλας, είδε στα αρχαία μεταλλευτικά συγκροτήματα την προοπτική της αξιοποίησης των αρχαίων σκουριών και εκβολάδων. Ένα χρόνο μετά, ο Ιταλός Σερπιέρη ίδρυσε τη μεταλλουργική εταιρεία Roux Serpieri Fressynet C.A. ξεκινώντας την παραγωγή αργυρούχου μολύβδου και δημιουργώντας την πρώτη μεταλλουργική βιομηχανία με καμίνους τύπου καστιλλάνου, μικρά πλυντήρια και μηχανουργία (Δημητριάδης κ.α., 2000). Το 1870 ο Κορδέλλας, ανακάλυψε στο φρέαρ Serpieri (Εικόνα 1.0.4) την καλαμίνα (ανθρακικός ψευδάργυρος ή σμιθσονίτης) που έδωσε ώθηση στις εργασίες της Εταιρείας (EraNET, 1998).



Εικόνα 1.0.4 Τομή εδάφους διερχόμενη από τα μεταλλευτικά φρέατα Serpieri και Jean Baptista (Πηγή: EraNET, 1998)

Στην Καμάριζα, η οποία και αποτελούσε το κέντρο των μεταλλευτικών εργασιών, κατασκευάστηκε το 1869 η πρώτη υπόγεια σήραγγα για να περάσει η πρώτη σιδηροδρομική γραμμή της Ελλάδας, που μετέφερε τα μεταλλεύματα στο λιμάνι του Λαυρίου (Δημητριάδης, κ.α. 2000).

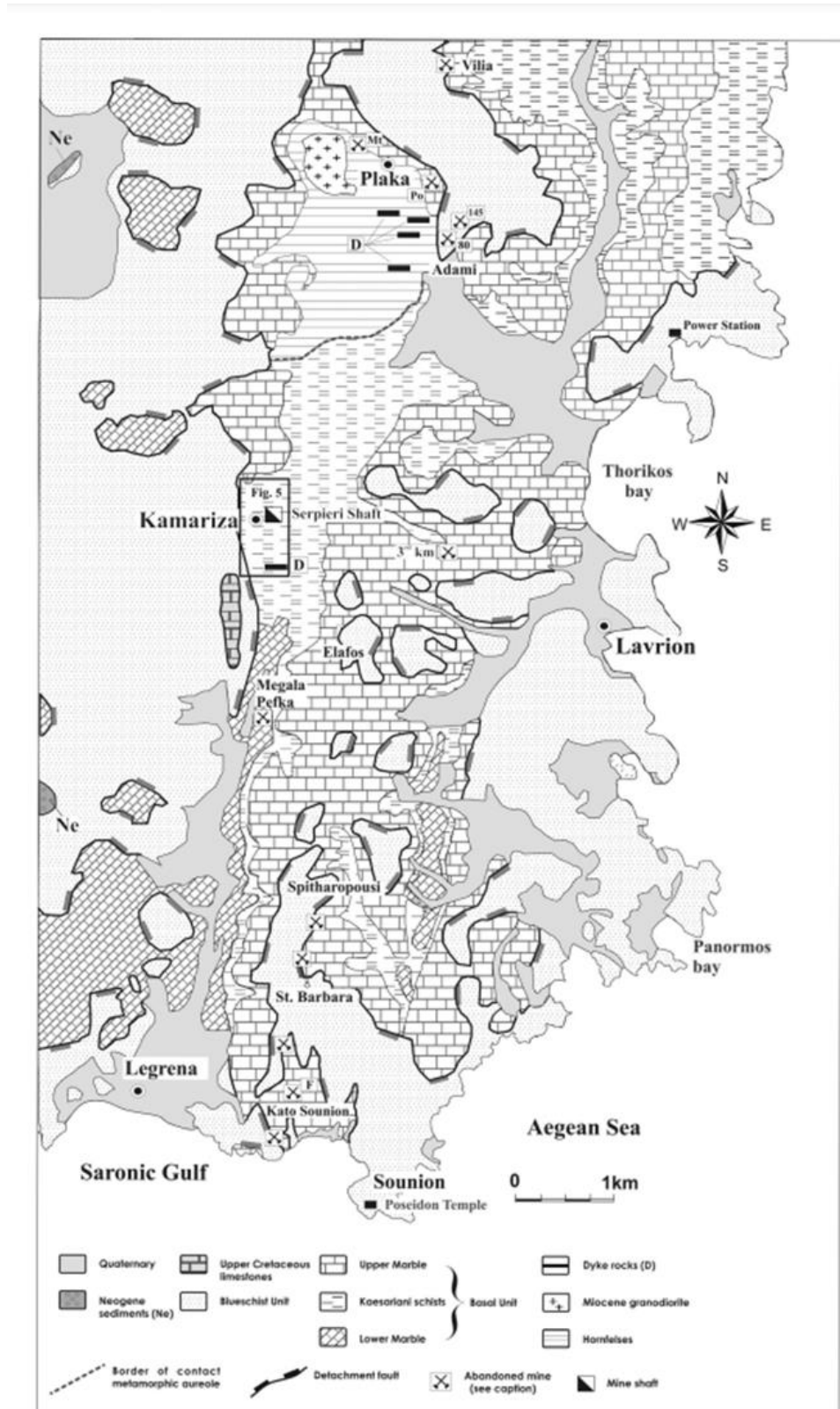
Την περίοδο 1869-1875 δημιουργήθηκε το λεγόμενο «Λαυρεωτικό ζήτημα», το οποίο αφορούσε την εκμετάλλευση των εκβολάδων του Λαυρίου από την ξένων συμφερόντων μεταλλευτική εταιρεία «Roux – Serpieri – Fressynet C.E.» (Lanriaki.gr, 2011). Το συγκεκριμένο ζήτημα λύθηκε με την παραχώρηση των δικαιωμάτων της ξένης εταιρείας επί των σκωριών και των εκβολάδων στην Τράπεζα της Κωνσταντινουπόλεως. Παράλληλα, το 1873 δημιουργείται η Ελληνική Εταιρεία Μεταλλουργείων Λαυρίου, για την εκμετάλλευση των αρχαίων μεταλλευτικών απορριμμάτων. Τα δικαιώματα εκμετάλλευσης των μεταλλείων εκχωρούνται σε νέα εταιρεία που ιδρύει ο Σερπιέρη το 1875, την Compagnie Française (κύρια κέντρα εξόρυξης Καμάριζας, Σούριζας και Πλάκας). Την περίοδο αυτή το Λαύριο γίνεται ένα από τα σπουδαιότερα μεταλλευτικά-μεταλλουργικά κέντρα σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η Compagnie Française λειτούργησε ως το 1982, ενώ το 1992 οι εγκαταστάσεις της αγοράστηκαν από το κράτος, για να δημιουργηθεί από το ΕΜΠ

Τεχνολογικό-Πολιτιστικό Πάρκο (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2016).

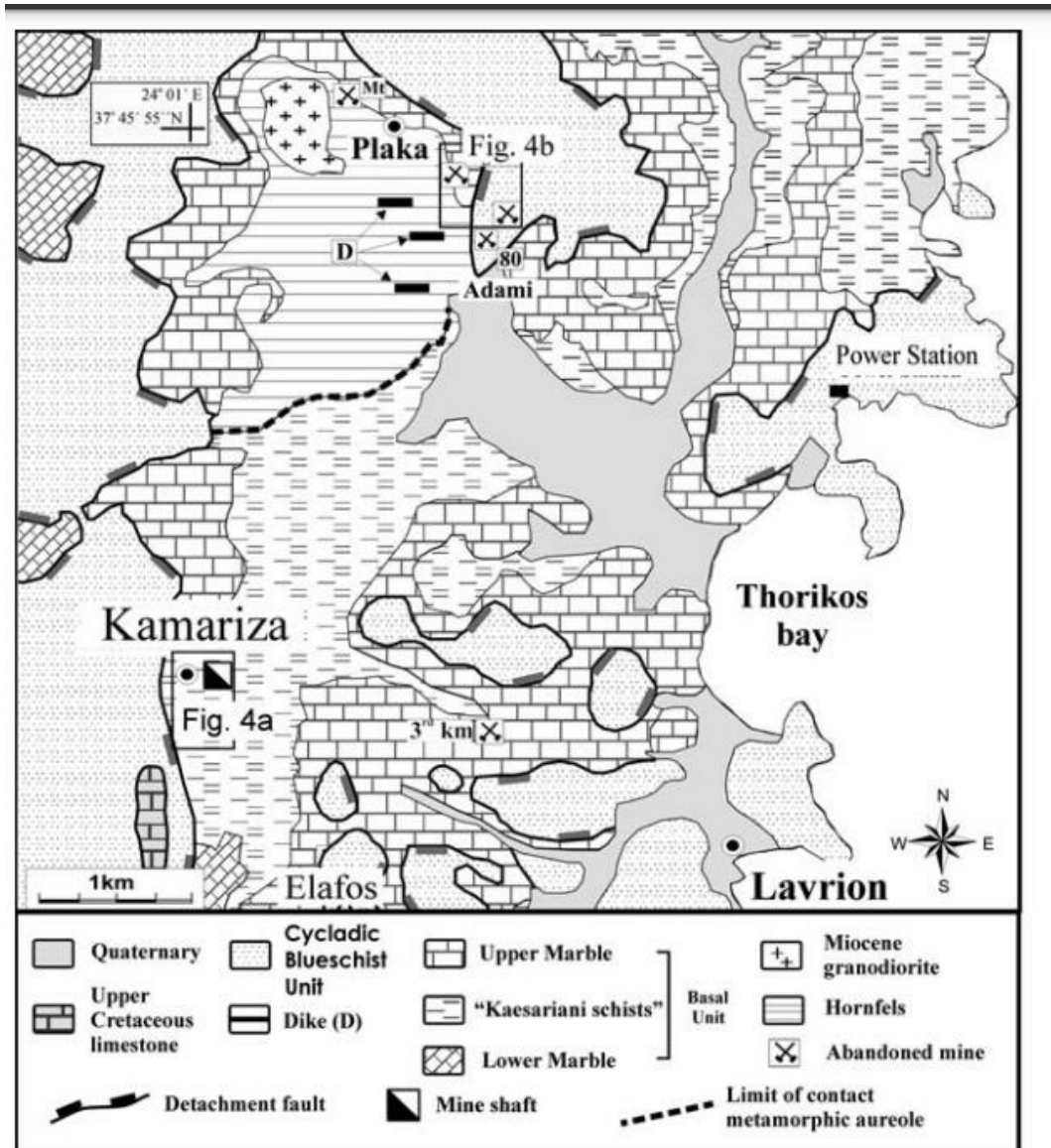
1.2.3 Γεωμορφολογία - Γεωλογία

Η Λαυρεωτική αποτελεί τμήμα του Αττικοκυκλαδικού Μεταμορφωμένου Συμπλέγματος και ανήκει στην Ενδιάμεση Μεταμορφική Ζώνη των Ελληνίδων. Ένας γενικός γεωλογικός χάρτης της Λαυρεωτικής παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.0.5, και της περιοχής Πλάκας-Καμάριζας στην Εικόνα 1.0.6. Η γεωλογία της Λαυρεωτικής δομείται από τρεις κύριες τεκτονικές ενότητες αλπικής ηλικίας (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2016, σελ. 6-7):

- *Κατώτερη Τεκτονική Ενότητα: Θεωρείται αυτόχθονη. Χαρακτηρίζεται από μεταμορφικές διαδικασίες πρασινοσχιστολιθικής και αμφιβολιτικής φάσης. Ηλικία τριαδική-κάτω ιουρασική. Αποτελείται από τους εξής σχηματισμούς: Κατώτερο Μάρμαρο Καμάριζας, Σχιστόλιθος Καμάριζας, Ανώτερο Μάρμαρο Καμάριζας και Επικλυσιγενής Ασβεστόλιθος (ή Κατώτερος Ασβεστόλιθος Πλάκας).*
- *Ενδιάμεση Τεκτονική Ενότητα (Σειρά Πλάκας): Είναι αλλόχθονη και βρίσκεται επωθημένη στους σχηματισμούς της αυτόχθονης Ενότητας Καμάριζας. Αποτελεί το Φυλλιτικό ή Νεοελληνικό κάλυμμα στην περιοχή της Λαυρεωτικής. Χαρακτηρίζεται από μεταμορφικές συνθήκες υψηλών πιέσεων / χαμηλών θερμοκρασιών (γλαυκοφανιτική φάση) ηωκαινικής ηλικίας και από ανάδρομη μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης μειοκαινικής ηλικίας. Διαχωρίζεται σε σχιστόλιθους, πρασινίτες (μεταοφιολιθικά εκρηξιγενή πετρώματα) και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους.*
- *Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα (ασβεστολιθικά ράκη): Σε περιορισμένη έκταση της Κεντρικής Λαυρεωτικής αναπτύσσεται ένας ανθρακικός μη μεταμορφωμένος σχηματισμός. Πρόκειται για ασβεστολίθους μικριτικού τύπου, λεπτο-παχυπλακώδεις, οι οποίοι κατά κανόνα είναι αγκεριτωμένοι και συνοδεύονται συχνά από τεκτονικό πέγμα σερπεντινιτών ή και ερυθρών ραδιολαριτών. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί χαρακτηρίζονται ασβεστολιθικά ράκη και, σύμφωνα με νεότερες έρευνες, θεωρείται ότι αποτελούν μέρος της μη μεταμορφωμένης Ανώτερης Τεκτονικής Ενότητας του Αττικοκυκλαδικού Συμπλέγματος. Πάχος 0-80 μ. και ηλικία μέση-ανώτερη κρητιδική.*



Εικόνα 1.0.5 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Λαυρίου (Πηγή: Skarpelis, 2007).



Εικόνα 1.0.6 Γεωλογικός χάρτης περιοχής Πλάκας – Καμάριζας Λαυρίου (Πηγή: Skarpelis, 2007)

1.2.4 Κοιτασματολογικά στοιχεία – Μεταλλοφορία

Η γένεση των κοιτασμάτων του Λαυρίου σχετίζεται με την τεκτονική εξέλιξη της περιοχής κατά το Μειόκαινο ως αποτέλεσμα της επεκτατικής τεκτονικής. Η στενή χωρική σχέση στην ευρύτερη περιοχή της Λαυρεωτικής μεταξύ των μεταλλευμάτων τύπου αντικατάστασης μαρμάρου με το ρήγμα αποκόλλησης και της διατμητικής επαφής μεταξύ του μαρμάρου και των «σχιστόλιθων της Καισαριανής», υποδηλώνει ότι ο σημαντικότερος δομικός έλεγχος της μεταλλοφορίας του Λαυρίου σχετίζεται με

την μεγάλης κλίμακας επεκτατική τεκτονική στο Αιγαίο (Skarpelis & Argyraki, 2009).

Στο υπέδαφος της Λαυρεωτικής εντοπίζονται δύο κυρίως τύποι μεταλλοφορίας: μία συμπαγών θειούχων μεταλλευμάτων βασικών μετάλλων, όπως μολύβδου (Pb), ψευδαργύρου (Zn), σιδήρου (Fe) και χαλκού (Cu) και -σε μικρότερο βαθμό- μία σιδηρομαγγανιούχων μεταλλευμάτων (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2016). Ως η σημαντικότερη μεταλλοφορία θεωρείται η τύπου αντικατάστασης στο μάρμαρο (carbonate replacement – manto type) από θειούχα ορυκτά που σχηματίστηκαν υπό τη μορφή κοιτών αντικατάστασης, εντός του μαρμάρου ή και στις επαφές μαρμάρου – σχιστολίθων. Διακρίνονται τρεις μεταλλοφόρες επαφές: α) Μεταξύ ανώτερου μαρμάρου – σχιστολίθων (Upper Unit), β) Μεταξύ ανώτερου μαρμάρου και σχιστολίθων Καισαριανής και γ) Μεταξύ κατώτερου μαρμάρου και σχιστολίθων Καισαριανής (Skarpelis, 2007).

Η θειούχος μεταλλοφορία φιλοξενείται κυρίως εντός των ανθρακικών σχηματισμών της «σχετικά αυτόχθονης» σειράς της Λαυρεωτικής ή «σειράς Καμάριζας», ενώ ως προς τη μορφή των μεταλλοφόρων συγκεντρώσεων, επικρατούν η φλεβοειδής, η φακοειδής και η στρωματόμορφη. Η μεταλλογένεση της θειούχου μεταλλοφορίας, θεωρείται επιγενετική, σχετίζεται άμεσα με την ανωμειοκαινική μαγματική δραστηριότητα (υδροθερμική προέλευση) και κατατάσσεται στα συμπαγή θειούχα μεταλλεύματα βασικών μετάλλων (Pb-Zn-Ag) από αντικατάσταση, εντός ανθρακικών σχηματισμών. Επίσης, σαν αποτέλεσμα έντονων φαινομένων οξείδωσης και στη συνέχεια κινητοποίησης των συστατικών της πρωτογενούς μεταλλοφορίας, έχουν δημιουργηθεί δευτερογενή ορυκτά, όπως ο ανθρακικός ψευδάργυρος ή σμιθσονίτης ($ZnCO_3$) και ο αργυρούχος κερουσσίτης ($PbCO_3$). Τέλος, στην περιοχή Πλάκα Κερατέας εντοπίζεται σημαντικό κοίτασμα σιδηρούχου μεταλλεύματος (μαγνητίτης, μαγνητοπυρίτης) μετασωματικού τύπου (skarn) (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Μεταλλευτικά απόβλητα

Η πλούσια σε μεταλλεύματα περιοχή της Λαυρεωτικής σε συνδυασμό με τις μεταλλευτικές-μεταλλουργικές δραστηριότητες που αναπτύχθηκαν για μεγάλη χρονική διάρκεια θεωρούνται οι κύριες φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσής της. Ως εκ τούτου, δεν γίνεται να μην αναφερθεί ότι παρά την οικονομική ανάπτυξη που επέφερε η μεταλλευτική δραστηριότητα στη Λαυρεωτική, οδήγησε επίσης σε καταστροφικές για το περιβάλλον συνέπειες, ιδιαίτερα κατά την περίοδο της νεότερης εκμετάλλευσης, που διήρκησε από το 1865 έως το 1989 (Δημητριάδης, κ.α. 2004).

Όπως επισημαίνουν οι Δημητριάδης, κ.α. (2000), τα μεταλλευτικά και μεταλλουργικά απορρίμματα καλύπτουν ένα μεγάλο τμήμα της Λαυρεωτικής χερσονήσου και της αστικής περιοχής του Λαυρίου, η διάβρωση και εναπόθεση των οποίων, σε συνδυασμό με τη μεταφορά τους από φυσικές ή/και ανθρώπινες δραστηριότητες, έχουν ως συνέπεια τη ρύπανση του αλλουβιακού και υπολειμματικού εδάφους, καθώς και την πρόσληψη τοξικών χημικών στοιχείων από τα φυτά. Το ίδιο υποστηρίζουν αντίστοιχα και οι Δημητριάδης, κ.α. (2004), σύμφωνα με τους οποίους η εξόρυξη και η εκκαμίνευση των μετάλλων δημιούργησε μεγάλες ποσότητες απορριμμάτων μεταλλευτικού και μεταλλουργικού χαρακτήρα. Όπως περιγράφουν:

Η διάβρωση: (α) των πετρωμάτων, που φιλοξενούν τη μεταλλοφορία και τα οποία περιέχουν από μόνα τους σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων, όπως μόλυβδος, αρσενικό, αντιμόνιο, κάδμιο κ.ά., (β) του εδάφους και (γ) των σωρών των μεταλλευτικών και μεταλλουργικών απορριμμάτων, είχε ως συνέπεια τη μεταφορά και εναπόθεση των ρυπασμένων υλικών στα πεδινά τμήματα της Λαυρεωτικής και στο θαλάσσιο περιβάλλον (Δημητριάδης, κ.α 2004, σελ. 149).

Τα μεταλλουργικά απορρίμματα θεωρούνται σήμερα η βασική πηγή ρύπανσης της περιοχής της Λαυρεωτικής, καθώς καλύπτουν περίπου το 25% του Λαυρίου (Bonsall et al. 2011). Σύμφωνα με την Καναβού (2009), εντοπίζονται τρεις κύριες κατηγορίες μεταλλουργικών απορριμμάτων: α) τα απορρίμματα επίπλευσης (ή εμπλουτισμού) του μεταλλεύματος, β) οι σιδηροπυρίτες ή πυρίτες που είναι τα απορρίμματα εμπλουτισμού του μεταλλεύματος και γ) οι σκωρίες ή κοινώς σκουριές που είναι τα απορρίμματα από τη τήξη του μεταλλεύματος για την εξαγωγή του αργυρούχου

μολύβδου. Στην Εικόνα 2.0.1 παρουσιάζονται οι στατιστικές παράμετροι των συγκεντρώσεων των στοιχείων στα δείγματα των μεταλλουργικών απορριμμάτων, πετρώματος και εδαφικού καλύμματος του Λαυρίου, όπως επεξεργάστηκαν από τους Δημητριάδης κ.α.(2000).

Χημικό στοιχείο		Όλα τα δείγματα των μεταλλουργικών απορριμμάτων (n=62) (τιμές σε χιλιοστόγραμμα μετάλλου ανά κιλό εδάφους, mg/kg)						Πέτρωμα (n=140)*	Έδαφος (n=224)**
		Ελάχιστη τιμή.	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Συντελεστής διακύμανσης (%)	Διάμεση τιμή	Διάμεση τιμή (mg/kg)	Διάμεση τιμή (mg/kg)
Άργυρος	Ag	3,2	96,0	33,8	28,2	83,5	18,9	0,5	12,1
Αρσενικό	As	283,0	26.063,0	4.593,0	5.383,0	117,2	2.492,0	15,6	1.290,0
Βόριο	B	<5,0	667,1	61,8	102,8	166,4	43,0	0,3	136,0
Βάριο	Ba	27,7	2.059,0	368,2	419,0	113,8	243,0	210,0	479,0
Βηρύλλιο	Be	<1,0	1,3	0,6	0,3	40,6	0,5	-	1,0
Βισμούθιο	Bi	<5,0	56,9	6,8	10,8	158,3	2,5	-	11,0
Κάδμιο	Cd	116,6	580,8	74,8	116,6	155,9	20,6	0,5	38,0
Κοβάλτιο	Co	3,0	84,0	26,4	16,0	60,6	23,8	20,5	16,0
Χρόμιο	Cr	8,1	299,2	83,5	60,0	71,9	73,2	20,0	183,0
Χαλκός	Cu	184,0	8.700,0	1.172,9	1.362,6	116,2	630,5	25,0	186,0
Σίδηρος	Fe	35.000,0	380.000,0	217.081,0	89.238,0	41,1	234.500,0	19.515,0	44.771,0
Υδράργυρος	Hg	<1,0	10,2	2,6	1,7	67,1	2,4	0,5	0,1
Λανθάνιο	La	<2,0	47,3	25,1	11,6	46,3	27,3	8,9	22,7
Λίθιο	Li	<1,0	25,8	12,2	7,2	58,9	14,5	5,0	17,4
Μαγγάνιο	Mn	182,0	35.354,0	11.913,0	9.925,0	83,3	9.398,0	1.200,0	2.189,0
Μολυβδαίνιο	Mo	<1,0	111,1	9,3	19,0	205,5	3,6	0,5	4,9
Νικέλιο	Ni	5,5	205,2	51,4	40,4	78,6	38,5	54,5	127,0
Μόλυβδος	Pb	3.800,0	85.200,0	24.451,0	18.085,4	74,0	20.750,0	22,0	7.305,0
Θείο	S	1.972,1	341.731,7	48.394,6	73.380,1	151,6	20.581,2	1.200,0	12.690,0
Αντιμόνιο	Sb	183,3	851,0	229,5	183,3	79,9	189,0	2,5	121,0
Κασσίτερος	Sn	5,7	332,3	37,5	43,7	116,4	27,7	-	18,5
Τιτάνιο	Ti	<10,0	2.031,0	799,8	682,5	85,3	737,7	300,0	2.162,0
Ουράνιο	U	<5,0	12,5	3,2	1,9	57,6	2,5	2,5	3,0
Βανάδιο	V	<2,0	104,2	44,4	23,8	53,7	46,3	9,0	75,0
Ψευδάργυρος	Zn	1.500,0	98.000,0	41.194,0	25.332,0	61,5	39.800,0	57,0	6.668,0

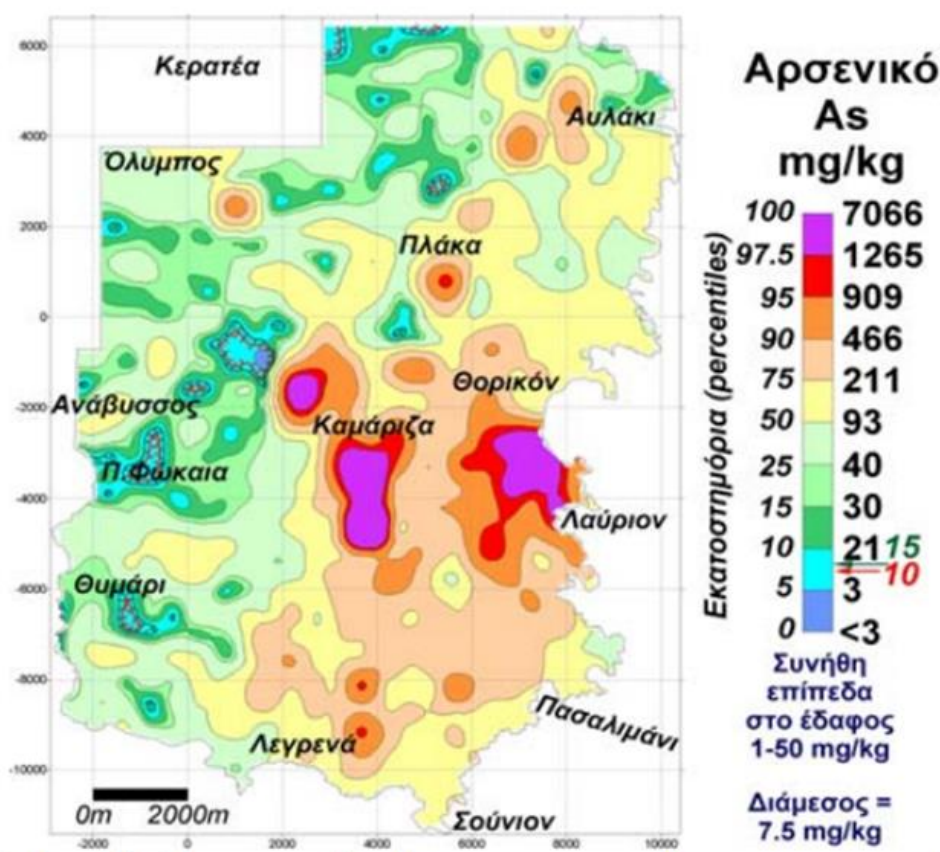
*Πέτρωμα: Ag, Mo (n=155). B, Be, Bi, Hg, La, S, Sb, Sn, U (n=48)

**Έδαφος: B, Bi, Hg, S, Sn, U (n=50). Sb (n=90)

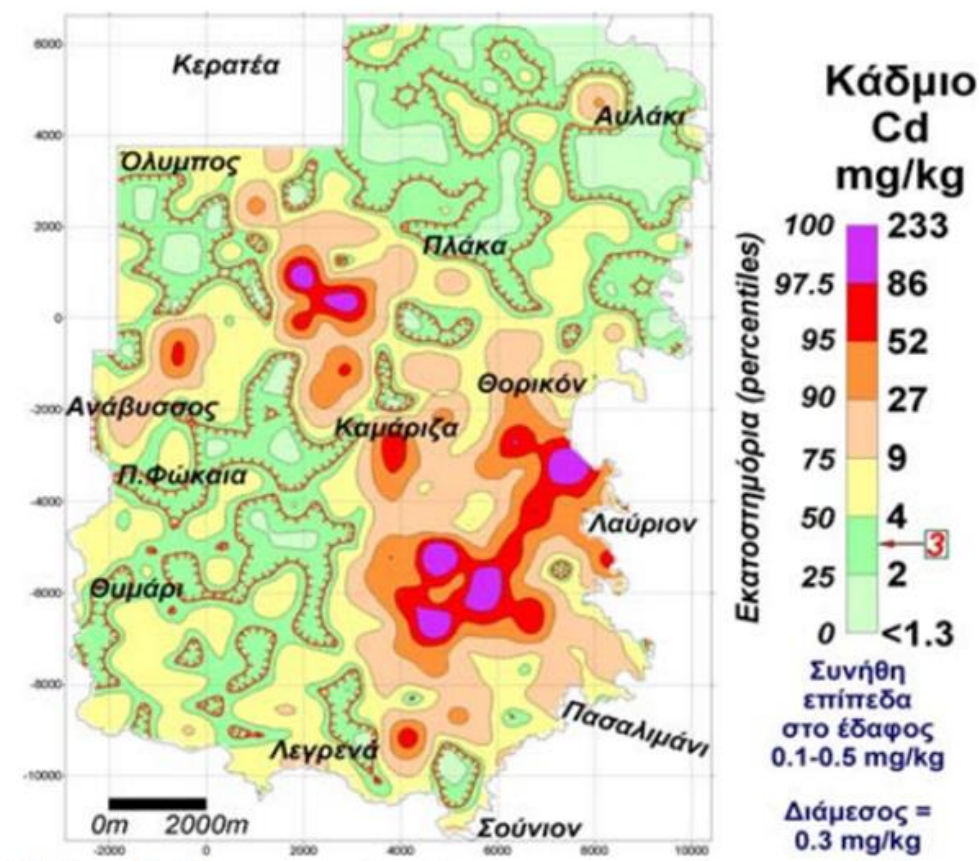
Εικόνα 2.0.1 Στοιχεία στα δείγματα των μεταλλουργικών απορριμμάτων (Πηγή: Δημητριάδης κ.α. 2000)

Με βάση τα αποτελέσματα της περιβαλλοντικής μελέτης στη Λαυρεωτική Χερσόνησο που διεξήχθη από τους Δημητριάδη, κ.α. (2004) με τις μεθόδους της

τηλεπισκόπησης και της εδαφογεωχημείας, εντοπίζονται πολλά και σε μεγάλη έκταση μεταλλευτικά και μεταλλουργικά απορρίμματα. Τα αποτελέσματα της γεωχημικής έρευνας κατέδειξαν επίσης υψηλές συγκεντρώσεις σε τοξικά χημικά στοιχεία, όπως μόλυβδο, αρσενικό, αντιμόνιο, κάδμιο κ.ά., που υπερβαίνουν τόσο τα φυτοτοξικά επίπεδα, όσο και τα νομοθετημένα όρια για οικιστικές περιοχές. Στις Εικόνες 2.0.2, 2.0.3 δίνονται δύο ενδεικτικά παραδείγματα της κατανομής του αρσενικού και του καδμίου στο επιφανειακό έδαφος.



Εικόνα 2.0.2 Γεωχημικός χάρτης κατανομής του αρσενικού (As) στο επιφανειακό έδαφος (0-10 cm) της Λαυρεωτικής χερσονήσου (Πηγή: Δημητριάδης, κ.α. 2004)



Εικόνα 2.0.3 Γεωχημικός χάρτης κατανομής του καδμίου στο επιφανειακό έδαφος (0-10 cm) της Λαυρεωτικής χερσονήσου (Πηγή: Δημητριάδης, κ.α. 2004)

Ως προς τους σωρούς μεταλλευτικών αποβλήτων στις περιοχές Καμάριζα, Αγία Τριάδα, Έλαφος και Αγία Βαρβάρα η μελέτη του Μυλωνά (2013) έδειξε θειούχες φάσεις, ανθρακικές φάσεις, θειικά ορυκτά, οξειδία και υδροξειδία του Fe, θειοάλατα και αρσενικά ορυκτά. Επιπλέον, με βάση τη χημική ανάλυση δειγμάτων των μεταλλευτικών αποβλήτων έδειξε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις για τα στοιχεία As, Cd, Cu, Pb, Zn και Sb.

Αναλυτικότερα, στην περιοχή Καμάριζας τα αποτελέσματα ορυκτολογίας έδειξαν την παρουσία των ακόλουθων: σιδηροπυρίτης, αρσενοπυρίτης, χαλκοπυρίτης, σφαλερίτης, γαληνίτης, ασβεστίτης, ανκερίτης, σμιθσονίτης, δολομίτης, σιδηρίτης, γύψος, γιαροσίτης, αιματίτης, γκαιτίτης, υπολειμματικός τετραεδρίτης, σκοροδίτης, ιλίτης, αλουμινίτης, απατίτης, κοβελλίνης και κοπιαπίτης. Επιπλέον, αναγνωρίστηκαν κάποιες μικτές φάσεις όπως ένυδρη αρσενική - ανθρακική φάση

του Pb μέσα σε γύψο (Μικτή φάση Pb - As), ανθρακική φάση των Zn - Fe και αρσενικική φάση του Pb (Μυλωνάς, 2013).

Αντίστοιχα, στην περιοχή Ελάφου τα ορυκτά που αναγνωρίστηκαν στους σωρούς μεταλλευτικών αποβλήτων ήταν: ασβεστίτης, δολομίτης, ανκερίτης, σμιθσονίτης, κερουσίτης, σφαλερίτης, γαληνίτης, σιδηρίτης υδροθερμικής προέλευσης, αλουνίτης, γιαιοσίτης, σιδηροπυρίτης, μαρκασίτης, χαλκοπυρίτης και γκαιτίτης. Τα ορυκτά που αναγνωρίστηκαν στους σωρούς μεταλλευτικών αποβλήτων της περιοχής Αγ. Τριάδας ήταν γαληνίτης, σμιθσονίτης, γκαιτίτης, αιματίτης, δολομίτης, ανγκλεσίτης, ιλλίτης, πλουμπογιαροσίτης, ασβεστίτης και κερουσίτης. Τέλος, στην περιοχή της Αγ. Βαρβάρας, όπου και διαπιστώθηκαν συνθήκες προχωρημένης οξείδωσης, αναγνωρίστηκαν τα ακόλουθα ορυκτά: κοπιαπίτης, σιδηροπυρίτης, (πλουμπο)γιαροσίτης, ασβεστίτης, γύψος, σμιθσονίτης, αιματίτης, δολομίτης, σιδηρίτης, γκαιτίτης, χαλαζίας, κερουσίτης, ανκερίτης, φθορίτης και μικτή φάση Pb-Fe-P-S (Μυλωνάς, 2013).

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της μελέτης, σύμφωνα με τις ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις οι πληροφορίες που αντλήθηκαν σχετικά με τον χαρακτήρα των αποβλήτων ήταν οι ακόλουθες (Μυλωνάς, 2013):

Ορυκτολογικά, σε κάθε σωρό μεταλλευτικών αποβλήτων φαίνεται η διαδικασία της οξείδωσης και της αποσάθρωσης μέσα από τα ορυκτά που αναγνωρίστηκαν. Από τα αρχικά μεταλλικά ορυκτά μέχρι τα υπεργενετικά ορυκτά. Κάποια από αυτά είναι φορείς τοξικών μετάλλων, άλλα είναι ευδιάλυτα, άλλα δυσδιάλυτα, άλλα έχουν την τάση να παράγουν οξύτητα και άλλα να την καταναλώνουν. Οι δύο κατηγορίες ορυκτών που δημιουργούνται σε τέτοια είδη αποβλήτων είναι αυτά που παράγουν οξύτητα (acid generating) και αυτά που καταναλώνουν οξύτητα (acid consuming).

2.2 Φυτική βλάστηση

Οι κύριες κατηγορίες των οικοσυστημάτων που εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή της Λαυρεωτικής είναι οι ακόλουθες (Lavreotiki Geopark, 2022):

- Δασικά οικοσυστήματα: είναι περιορισμένα και αφορούν κυρίως πευκοδάση

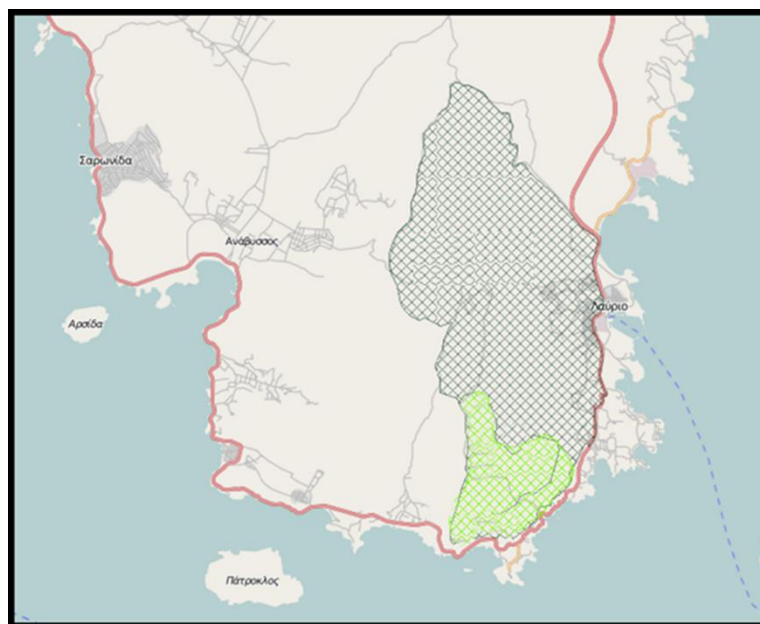
- Θαμνώδη οικοσυστήματα: περιλαμβάνουν φρυγανική και μακκία βλάστηση, και αποτελούν την κύρια κατηγορία της περιοχής
- Υγροτοπικά οικοσυστήματα: εμφανίζονται μόνο παραρεμάτια οικοσυστήματα στην περιοχή του γεωπάρκου
- Αγροοικοσυστήματα: αφορούν κυρίως ελαιοκαλλιέργειες και αμπέλια.

Η Λαυρεωτική ταξινομείται στις περιοχές με βλάστηση αείφυλλων — πλατύφυλλων, ενώ περιλαμβάνεται στον μεσογειακό όροφο όπου δεσπόζουν βελονόφυλλα δάση με πλατειά κόμη καθώς και σκληρόφυλλοι θάμνοι (Ζερλέντης, 1980, Καναβού, 2009). Η δασική βλάστηση αποτελείται κυρίως από *Olea europea var.sylvestris*, *Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscu* και *Quercus coccifera*. Παρατηρούνται επίσης στην περιοχή 33 διαφορετικές οικογένειες φρυγανωδών φυτών, τα κυριότερα εκ των οποίων είναι τα: *Anthyllis hermaniae*, *Calycotome villosa*, *Genista acanthoclada*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus salviaefolius*, *Globulana alypum*, *Thymus capitata* (Σφήκας, 1995).

Παράλληλα, το μεγαλύτερο τμήμα του Εθνικού Δρυμού (Εικόνα 2.0.4) καλύπτεται από δάση χαλεπίου πεύκης, θάμνους (πουρνάρι, κουμαριά, σχίνο) και φρύγανα (θυμάρι, αφάνες κ.ά.), ενώ υπάρχουν και διάσπαρτα κυπαρισσόκεδρα (βένια). Η βλάστηση της περιοχής είναι περιορισμένη ποσοτικά και ποιοτικά και πολλές θέσεις εμφανίζονται απογυμνωμένες, ενώ στο παρελθόν τις πλαγιές της κάλυπταν πευκοδάση και θάμνοι (Σφήκας, 1995). Τα κυριότερα από τα φρύγανα, τα οποία επικρατούν στα πιο γυμνά μέρη είναι τα ακόλουθα: *Anthyllis hermaniae*, *Calycotome villosa*, *Genista acanthoclada*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus salviaefolius*, *Globulana alypum*, *Thymus capitata*. Σημαντικό είναι να επισημανθεί ότι, μεγάλο μέρος του δάσους κάηκε πριν από μερικά χρόνια και τώρα βρίσκεται στη φάση της φυσικής αναγέννησης. Την ποώδη βλάστηση αντιπροσωπεύουν πολλά χειλανθή και ψυχανθή (τριφύλλια κ.λπ.), αγροστώδη και σύνθετα, μεταξύ των οποίων και η *Centaurea laurotica* (Κενταύρια η λαυρεωτική) που είναι φυτό ενδημικό αποκλειστικά της Λαυρεωτικής. Συνολικά έχουν καταμετρηθεί 401 είδη και υποείδη (Παιδαγωγική Ομάδα του ΚΠΕ Λαυρίου, 2008).

Επιπροσθέτως, σημαντική είναι η παρουσία στο δρυμό ειδών και υποειδών ενδημικών της Ελλάδας (*Vicia villosa* subsp. *Microphylla*, *Campanula drabifolia*, *Centaurea raphanina* subsp. *mixta* - κοινώς αλιβάρβαρο *Erysimum graecum*,

Anchusella variegata) ή ενδημικών της ηπειρωτικής Ελλάδας και του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου (*Carlina graeca*) Ορισμένα από αυτά είναι ενδημικά της Αττικής (*Centaurea attica* subsp. *asperula*). Ένα άλλο φυτό του δρυμού, το *Muscari comosum*, κοινώς βολβός, περιλαμβάνεται στο Προεδρικό Διάταγμα 67/1981 «Περί προστασίας της αυτοφυούς χλωρίδας και πανίδας» (Παιδαγωγική Ομάδα του ΚΠΕ Λαυρίου, 2008).



Εικόνα 2.0.4. Χάρτης του Εθνικού Δρυμού Σουνίου στη Λαυρεωτική. Με πράσινη διαγράμμιση ο πυρήνας και με μπλε η περιφερειακή ζώνη του Δρυμού (Πηγή: Μυλωνάς, 2013)

Αναλυτικότερα, τα σπανιότερα είδη φυτών που εντοπίζονται στην περιοχή είναι τα ακόλουθα (Σφήκας, 1995):

- *Anchusa sartorii*: Σπάνιο ενδημικό φυτό της Αττικής το οποίο έχει βρεθεί μόνο στον Αγ. Κωνσταντίνο (Καμάριζα).
- *Centaurea lavreotica*: Τοπικό ενδημικό φυτό με σποραδική εξάπλωση στα γύρω υψώματα που απαντάται σε σχετική αφθονία.
- *Centaurea raphanina* var. *Mixta*: Ενδημικό φυτό της Νότιας και Ανατολικής Ελλάδας.
- *Centaurea spunen*: Ενδημικό φυτό της Αττικής, που έχει εξαφανιστεί από πολλές τοποθεσίες λόγω ανθρωπογενών παραγόντων.

- *Dianthus serratifolius* var. *Serratifolius*: Ενδημικό φυτό της Αττικής, που απαντάται σε μικρούς πληθυσμούς στα βουνά Πατέρας, Πεντέλη, Πάρνηθα, Υμηττός και στα υψώματα Λαυρίου — Σουνίου.
- *Malcolmia graeca* var. *Graeca*: Ενδημικό φυτό της Αττικής Μεγαρίδος, πολύ κοινό σε πετρώδεις τοποθεσίες.

Στη συνέχεια παρατίθενται συνοπτικά βιβλιογραφικά στοιχεία που αφορούν την επίδραση των δυνητικά τοξικών στοιχείων και συγκεκριμένα των βαρέων μετάλλων του εδάφους στη βλάστηση. Ο Rowell (1994) δηλώνει ότι η κινητικότητα των βαρέων μετάλλων στα εδάφη εξαρτάται από ένα αριθμό εδαφικών ιδιοτήτων όπως είναι η συγκέντρωση του μετάλλου, το pH, η οργανική ουσία, η αλατότητα, η θερμοκρασία του εδάφους. Με αποτέλεσμα όσο μεγαλύτερη είναι η κινητικότητα του μετάλλου στο εδαφικό διάλυμα, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος τοξικότητας που διατρέχουν τα φυτά (Antoniadis and McKinley, 2003). Σύμφωνα με τον Alloway (1995) οι παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση των μετάλλων από τα φυτά είναι: 1) οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στο εδαφικό διάλυμα, 2) η μεταφορά των μετάλλων από το μητρικό υλικό στην επιφάνεια των ριζών, 3) η μεταφορά των μετάλλων από την επιφάνεια των ριζών μέσα στο ριζικό σύστημα, 4) η μετατόπιση των μετάλλων από το ριζικό σύστημα προς το βλαστό.

Όσον αφορά τη χλωρίδα μιας περιοχής κατά τους (Lincoln et al., 1998) εξαρτάται από γεωλογικούς, κλιματικούς, οικολογικούς και εποχιακούς παράγοντες οι οποίοι διαμορφώνονται από αλλαγές που προκύπτουν φυσικά στο περιβάλλον και από διαταραχές των οικοσυστημάτων που προκαλούνται από φυσικές διεργασίες ή από ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα φυτά τα οποία αναπτύσσονται σε θέσεις ρυπασμένες με βαρέα μέταλλα, δε μπορούν να παρεμποδίσουν την πρόσληψη του μετάλλου, με αποτέλεσμα είτε περιορίζουν την πρόσληψη μετάλλου είτε συσσωρεύουν μέταλλα στους ιστούς τους. Συνεπώς αυτά τα φυτά θεωρούνται ανθεκτικά στα μέταλλα. Τα φυτά ανταποκρίνονται στις αυξημένες συγκεντρώσεις μετάλλου στο έδαφος με τρεις διαφορετικούς τρόπους, Α: Συσσωρευτές, Β: Δείκτες Γ: Παρεμποδιστές (Baker, 1981). Συσσωρευτές είναι φυτά που συσσωρεύουν μέταλλα στο υπέργειο τμήμα τους από εδάφη με υψηλές ή χαμηλές συγκεντρώσεις μετάλλου. Τα μέταλλα συνήθως αποθηκεύονται σε όργανα ή μεταβολίζονται σε χημικές μορφές που τα καθιστούν

ακίνδυνα. Δείκτες, είναι φυτά που συσσωρεύουν μέταλλα σε συγκεντρώσεις που αντανακλούν τις συγκεντρώσεις των μετάλλων στο έδαφος. Παρεμποδιστές είναι φυτά που έχουν την ικανότητα να περιορίζουν τη μεταφορά μετάλλων προς το υπέργειο τμήμα τους, διατηρώντας ένα χαμηλό και σταθερό επίπεδο μετάλλων στους βλαστούς, σε μια ευρεία κλίμακα συγκεντρώσεων στο έδαφος. Όταν οι συγκεντρώσεις στο έδαφος φτάνουν μια κρίσιμη τιμή, τότε ο παραπάνω μηχανισμός καταρρέει και λαμβάνει χώρα ανεμπόδιστη μεταφορά. Οι παρεμποδιστές ίσως περιέχουν μεγάλα ποσά μετάλλων στις ρίζες τους, αλλά είναι φυτά ικανά να παρεμποδίζουν τη μετατόπιση των μετάλλων από τις ρίζες στους βλαστούς, σε μια ευρεία κλίμακα συγκεντρώσεων μετάλλων στο έδαφος.

Η φυσιολογική και η κρίσιμη ποσότητα των ολικών συγκεντρώσεων των μετάλλων που βρίσκονται στα εδάφη δίνονται στον Πίν. 2.1. Οι κρίσιμες ολικές συγκεντρώσεις μετάλλων στα εδάφη είναι η κλίμακα των τιμών πάνω από τις οποίες θεωρείται πιθανή η τοξικότητα (Kabata and Pendias, 1992).

Πίνακας 2.1. Φυσιολογική και κρίσιμη διακύμανση των συγκεντρώσεων των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στα εδάφη από Kabata and Pendias (1992). Πηγή πίνακα: Καναβού (2009).

Στοιχείο	Συγκέντρωση (mg/kg)		Στοιχείο	Συγκέντρωση (mg/kg)	
	Φυσιολογική τιμή	Κρίσιμη τιμή		Φυσιολογική τιμή	Κρίσιμη τιμή
Ag	0,01-8	2	Ni	2-750	100
As	0,1-40	20-50	Pb	2-300	100-400
Au	0,001-0,02	-	Sb	0,2-10	5-10
Cd	0,01-2,0	3-8	Se	0,1-5	5-10
Co	0,5-65	25-50	Sn	0,1-200	50
Cr	5-1500	75-100	Tl	0,1-0,8	1
Cu	2-250	60-125	U	0,7-9	-
Hg	0,01-0,5	0,3-5	V	3-500	50-100
Mn	20-10000	1500-3000	W	0,5-83	-
Mo	0,1-40	2-10	Zn	1-900	70-400

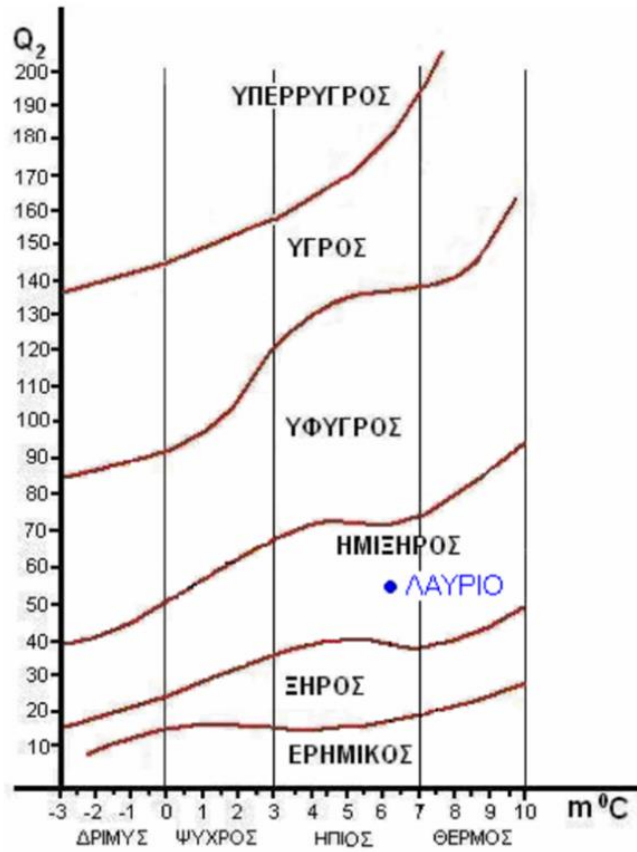
Η βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων στα φυτά ελέγχεται από πολλούς παράγοντες που συνδέονται εκτός από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες και με το γονότυπο του φυτού και τις καλλιεργητικές συνθήκες. Επίσης σημαντικός είναι ο ρόλος των διαδικασιών ενεργής/παθητικής μεταφοράς των μετάλλων, η απομόνωση και η διαφοροποίησή τους, καθώς και η κατάσταση οξειδοαναγωγής τους. Τέλος, η βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων στα φυτά ελέγχεται και από τον τύπο του ριζικού τους συστήματος καθώς και από την αντίδρασή τους στα μέταλλα σε σχέση με τα στάδια ανάπτυξης (Kabata Pendias and Pendias, 1992).

2.3 Μετεωρολογικές παράμετροι

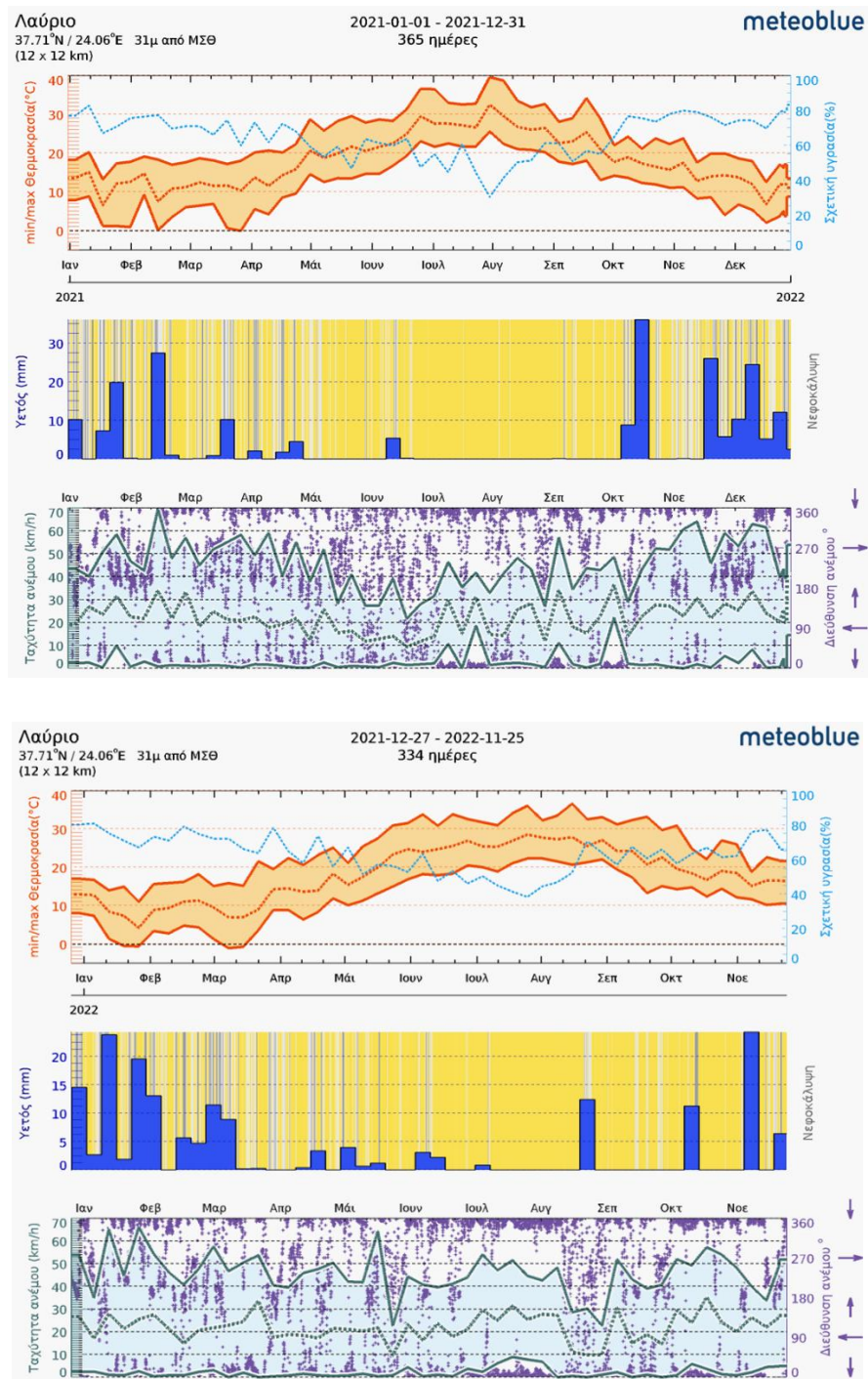
Όπως έχει ήδη αναφερθεί το Λαύριο βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο του νομού Αττικής, η οποία κλιματικά ανήκει στις υποτροπικές ζώνες και χωρίζεται συνήθως σε δυο εποχές: α) την ψυχρή (που διαρκεί από μέσα Οκτωβρίου ως μέσα Απριλίου και β) τη θερμή που διαρκεί το υπόλοιπο χρονικό διάστημα. Το κλίμα της Αττικής είναι μεσογειακό με κύριο χαρακτηριστικό το ξηρό και θερμό καλοκαίρι και τον ήπιο και βροχερό χειμώνα (Καναβού, 2009).

Το κλίμα της Λαυρεωτικής συγκεκριμένα, θεωρείται θερμο-μεσογειακό με κύρια χαρακτηριστικά του τις χαμηλές βροχοπτώσεις, τη μεγάλη εξάτμιση και υγρασία, τους ισχυρούς Β-ΒΑ ανέμους και τη μικρή πιθανότητα παγετού (Καναβού, 2009). Με βάση το κλιματόγραμμα του Emberger-Sauvage, το Λαύριο εντάσσεται στον ημίξηρο βιοκλιματικό όροφο με χειμώνα ήπιο (Εικόνα 2.0.5) (Μουμουλίδης, Καμπιτάκης & Νάκου, 2008).

Εξετάζοντας τα δεδομένα για τη θερμοκρασία, την υγρασία και τον υετό στο Λαύριο τα έτη 2021 και 2022 (Εικόνα 2.0.6) παρατηρούμε ότι οι πιο ψηλές θερμοκρασίες εντοπίζονται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, περίοδο κατά την οποία παρατηρείται και η χαμηλότερη υγρασία. Από την άλλη πλευρά, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται την περίοδο Δεκέμβριος-Μάρτιος και η υψηλότερη υγρασία τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο.



Εικόνα 2.0.5 Το κλιματόγραμμα Emberger-Sauvage (Πηγή: Μουμουλίδης, κ.α. 2008)



Εικόνα 2.0.6. Μετεωρολογικά δεδομένα Λαυρίου τα έτη 2021 και 2022. (Πηγή meteoblue.com).

2.4 Ο ρόλος των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στη μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος

Τα μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα (Unmanned Aerial Systems UAS) κοινώς γνωστά ως drones (Εικόνα 2.0.7) άρχισαν να αναπτύσσονται από το 1950 με κύριες εφαρμογές την αναγνώριση και επιτήρηση στο στρατιωτικό πεδίο. Την τελευταία δεκαετία, drones διαφορετικών μεγεθών, σχημάτων και δυνατοτήτων χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα εφαρμογών και πεδίων.



Εικόνα 2.0.7 Διαφορετικοί τύποι drone (Πηγή: Hassanalian & Abdelkefi, 2017).

Σύμφωνα με τους Hassanalian και Abdelkefi (2017), η πιο κοινή ταξινόμηση των drones γίνεται σύμφωνα με τον τύπο απογείωσης και προσγείωσης: α) απογείωση και προσγείωση οριζόντια, τυπική για drones σταθερών πτερυγίων και β) απογείωση και προσγείωση κάθετα, τυπική για drones με περιστροφικά φτερά (ελικόπτερα, τετρακόπτερα, εξακόπτερα κ.λπ.). Η σταθερότητα των drones και η περιοχή που καλύπτεται ανά πτήση είναι βασικά στοιχεία στις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης. Η πρώτη κατηγορία drones έχει το πλεονέκτημα των περιοχών υψηλότερης κάλυψης

ανά πτήση και η δεύτερη κατηγορία έχει το πλεονέκτημα της καλύτερης σταθερότητας που δίνει υψηλότερη χωρική ανάλυση, αλλά με μειωμένες περιοχές που μπορούν να καλυφθούν ανά πτήση.

Μια άλλη κοινώς χρησιμοποιούμενη ταξινόμηση των drones βασίζεται στην τροφοδοσία τους και επηρεάζει άμεσα τον μέγιστο χρόνο πτήσης. Στο πλαίσιο αυτό, τα drones μπορούν να χωριστούν σε δύο διαφορετικούς τύπους: ηλεκτρικά και εσωτερικής καύσης. Τα drones με ηλεκτρική τροφοδοσία συνιστώνται για εφαρμογές τηλεπισκόπησης σε σύγκριση με αυτά με εσωτερική καύση που δεν είναι τόσο οικονομικά και έχουν υψηλότερους κραδασμούς (Hassanalilian & Abdelkefi, 2017).

Τα drones έχουν αποκτήσει σημαντική δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια και έχουν αναγνωριστεί ως μια μορφή τεχνολογίας που μπορεί να αποκτήσει δεδομένα τηλεπισκόπησης υψηλής ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο (Mishra & Rai, 2020). Σήμερα χρησιμοποιούνται σε ποικίλα περιβάλλοντα και ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως έρευνα και διάσωση, επιτήρηση, πυρόσβεση, τοπογραφία, πολεοδομικό σχεδιασμό και διαχείριση, παρακολούθηση αστικής κυκλοφορίας, οικολογική και περιβαλλοντική παρακολούθηση, μοντελοποίηση κατανομής ειδών και πολλά άλλα. Αξιοποιούνται επιπροσθέτως και από διάφορες βιομηχανίες, όπως η γεωργία, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, οι κατασκευές, η προστασία του περιβάλλοντος, η εξόρυξη κ.λπ. (Shahmoradi, et al., 2020).

Συμπληρωματικά με τις παραπάνω εφαρμογές τους, τα drones έχουν αναδειχθεί ως πολύτιμα εργαλεία για τη διαχείριση φυσικών πόρων, την επιστήμη και τις γεωχωρικές εφαρμογές. Στο πλαίσιο της τηλεπισκόπησης για τη διαχείριση των φυσικών πόρων, η χρήση των drones δίνει μεγαλύτερες και περισσότερες δυνατότητες για περιβαλλοντική παρακολούθηση με χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τους συμβατικούς δορυφόρους. Η υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση των συμβατικών δορυφόρων τους καθιστά ανεπαρκείς για ένα μεγάλο εύρος πραγματικών χρονικών εφαρμογών χαρτογράφησης και παρακολούθησης των φυσικών πόρων. Από την άλλη πλευρά, η ανάπτυξη και εξέλιξη της τεχνολογίας UAS προσφέρει μια πιο ευέλικτη, ασφαλή, εύκολη στην ανάπτυξη και οικονομικά αποδοτική μορφή τηλεπισκόπησης (Mishra & Rai, 2020).

Συγκριτικά με τα επανδρωμένα αεροσκάφη, τα drones έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι οικονομικά, αποδοτικά, δεν απαιτούν μεγάλη κατανάλωση καυσίμου και έχουν την ικανότητα να ακολουθούν με συνέπεια ακριβείς, προκαθορισμένες διαδρομές πτήσης. Επιπλέον, το μικρό τους μέγεθος και η απουσία πιλότου και παρατηρητή επί του σκάφους, επιτρέπουν στα UAS να πετούν σε χαμηλά υψόμετρα ακόμα και πάνω από επικίνδυνες και αφιλόξενες περιοχές (Christie et al. 2016).

Επειδή τα drones δίνουν τη δυνατότητα παρατήρησης και μέτρησης των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος, αποτελούν πλέον σημαντικά εργαλεία στη διαχείριση φυσικών πόρων και στη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων. Τα drones προσθέτουν αξία ή ακόμη και υποκαθιστούν τα δεδομένα που συλλέγονται επί τόπου (όπως με μετρητές ροής και σε δείγματα πεδίου), παρέχουν δεδομένα σχεδόν σε πραγματικό χρόνο και συχνά μπορούν να επιτρέψουν την πρόσβαση σε απομακρυσμένες ή ακραίες τοποθεσίες. Επιπλέον, είναι χαμηλού κόστους. Σύμφωνα με ορισμένες εκτιμήσεις, τα φορητά συστήματα κυμαίνονται από μερικές χιλιάδες δολάρια έως και 300 δολάρια και συχνά μπορούν να ελεγχθούν από ένα έξυπνο τηλέφωνο (Macauley & Brennan, 2016).

2.5 Προηγούμενες έρευνες με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών στο πεδίο της γεωμορφολογίας στον Ελλαδικό χώρο

Μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα (UAV) έχουν χρησιμοποιηθεί σε αρκετές έρευνες γεωμορφολογικού περιεχομένου στην Ελλάδα. Για παράδειγμα έχουν χρησιμοποιηθεί στη μελέτη Κατολισθητικών φαινομένων τα οποία θεωρούνται σημαντικός παράγοντας για τη δυναμική του τοπίου και αποτελούν άμεσο κίνδυνο σε πολλές περιοχές. Τα (UAV) έχουν αξιολογηθεί για ποικίλες εφαρμογές όπως για παράδειγμα για καταγραφή σε 3D ανάλυση εδάφους την ευστάθεια της κλίσης, την πρόβλεψη μαζικών εδαφικών μετακινήσεων αλλά και την αντιμετώπιση και διαχείριση κινδύνου σε παραλιακή ακτογραμμή της Ζακύνθου. (Karantanellis et al 2020).

Τα μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα (UAV) έχουν χρησιμοποιηθεί και σε Μεταπλημμυριακές έρευνες διότι έχουν την δυνατότητα συλλογής πληροφοριών εντός σύντομου χρονικού πλαισίου. Οι μεταπλημμυρικές έρευνες είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, καθώς παρέχουν την ευκαιρία να παρατηρηθούν πτυχές της υδρολογικής

συμπεριφοράς των λεκανών απορροής υπό σπάνιες συνθήκες απορροής αξιοποιώντας τα στοιχεία του πεδίου. Μελετήθηκε η γεωμετρία των καναλιών τα εμπόδια και άλλα χαρακτηριστικά όπως και η μέτρηση επιφανειών διατομής στην περιοχή Μάνδρα της Αττικής. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι ο συνδυασμός εναέριας και από εδάφους παρατήρησης είναι προτιμότερος. (Andreadakis et al., 2019).

Τα (UAV) έχουν χρησιμοποιηθεί σε μελέτες για την αποκατάσταση της βλάστησης μετά από πυρκαγιά σε περιοχές της Πελοποννήσου οι οποίες είχαν καεί την καλοκαιρινή περίοδο 2007. Όπως για παράδειγμα η καταγραφή της βλάστησης, δυναμική διαχείρισης και αποκατάστασης καμένων εκτάσεων, χαρτογράφηση της καμένης περιοχής αλλά και την ανάδειξη των περιοχών οι οποίες βρίσκονται σε υψηλό κίνδυνο διάβρωσης, όπως επίσης και λήψη αποφάσεων για την σωστή διαχείριση μετά την πυρκαγιά. (Chrysafis et al. 2018, & Vassilakis et al 2017.). Τα UAV έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της παράκτιας ζώνης, συγκρίνοντας τις εποχιακές αλλαγές της ακτογραμμής. (Lazogiannis et al., 2019)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1. Εργασία υπαίθρου

Στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε έρευνα υπαίθρου σε 6 περιοχές της Λαυρεωτικής όπου και εντοπίζονται οι κύριοι σωροί των μεταλλευτικών αποβλήτων. Οι σωροί αποβλήτων βρίσκονται στην περιοχή του Λαυρίου (Καβοδόκανος), του οικισμού της Καμάριζας και στις περιοχές Ελάφου, Αγ. Τριάδας και Αγ. Βαρβάρας. Οι συγκεκριμένοι σωροί αποτέθηκαν χρονικά κατά τη νεότερη περίοδο εκμετάλλευσης των μεταλλείων κατά την χρονική περίοδο 1864 έως 1977. Οι σωροί έχουν αναλυθεί ως προς το χημισμό την ορυκτολογία και την φυσικοχημεία τους, χαρακτηριστικά σε προηγούμενες διπλωματικές εργασίες των Φωτεινού Μυλωνά (2013) και Khaled Ibrahim (2021), τα αποτελέσματα των οποίων αξιοποιήθηκαν σε συνδυασμό με συλλογή οπτικού υλικού με χρήση τετραελικοφόρου Drone τύπου manvic pro M1P της DJI (Εικόνα 3.0.1).



Εικόνα 3.0.1. Το Drone DJI-Mavic Pro M1P που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Το τετρακόπετρο της DJi manvic pro διαθέτει ενσωματωμένη κάμερα με σταθεροποιητή εικόνας για καλύτερη καταγραφή. Με την βοήθεια των δορυφόρων και GPS δίνεται η ακριβή τοποθεσία συντεταγμένων σε στίγμα μέσω τηλεχειριστηρίου. Οι προδιαγραφές της DJi αναφέρουν ότι η ακρίβεια τοποθέτησης είναι $\approx 2,5m$. Συλλέχθηκαν φυσικές έγχρωμες εικόνες και των 6 περιοχών σε 6

διαφορετικές χρονικές περιόδους. Οι ώρες καταγραφής ήταν μεσημεριανές αποφεύγοντας την πολλή συννεφιά και η ταχύτητα του ανέμου δεν ξεπερνούσε τα 10m/s.

Η πρώτη φάση αναγνωριστικής εργασίας υπαίθρου έλαβε χώρα κατά τον Οκτώβριο του 2020 στις περιοχές Λαύριο- Καβοδόκανος, Άγιος Κωνσταντίνος (Καμάριζα), Αγία Τριάδα, Έλαφος και Αγία Βαρβάρα. Στη συνέχεια συγκεντρώθηκαν δεδομένα από εναέριες οπτικές λήψεις (φωτογραφίες και βίντεο) πέντε ακόμη επισκέψεων στην περιοχή σε διάστημα δύο ετών, εποχιακά, εφόσον το επέτρεπαν οι συνθήκες λόγω της πανδημίας αλλά και των καιρικών συνθηκών. Οι πτήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ύψος 200 ft και οι λήψεις φωτογραφιών και βίντεο αποτυπώθηκαν με κάμερα 24 megapixel. Σε κάθε επίσκεψη πραγματοποιήθηκε μία πτήση ανά θέση, εκτός από τη θέση Αγ. Βαρβάρας όπου πραγματοποιήθηκαν 2 πτήσεις κάθε φορά. Συνολικά σε κάθε πτήση ελήφθησαν περίπου 134 εικόνες. Η επεξεργασία και αξιολόγηση του οπτικού υλικού πραγματοποιήθηκε με χρήση κατάλληλου λογισμικού Drone Deploy Mapping, ώστε να απεικονίσουμε τις περιοχές μελέτης και σε 3D.

3.2 Από αέρος παρατήρηση με χρήση drone

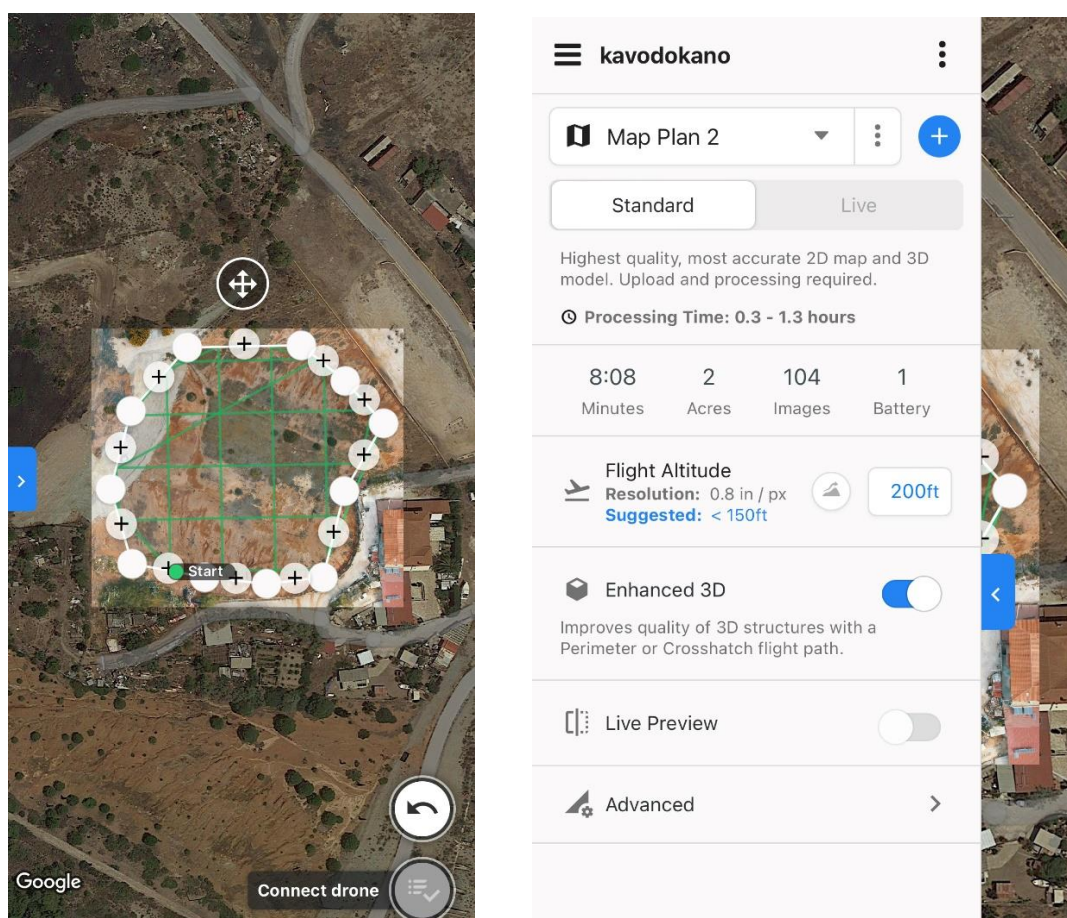
Τον Οκτώβριο του 2020 έγινε στην περιοχή μελέτης η πρώτη δοκιμαστική πτήση με απλή χρήση του drone, συλλέγοντας φωτογραφικό υλικό και των έξι περιοχών. Η επόμενη συλλογή φωτογραφικού υλικού πραγματοποιήθηκε τέσσερις μήνες αργότερα, με την χρήση λογισμικού (DroneDeploy Flight). Με την χρήση του λογισμικού δόθηκε η δυνατότητα να επιλεχθούν σημεία στο χάρτη με συντεταγμένες, μαρκάροντας την κάθε μια περιοχή ξεχωριστά (Εικόνα 3.0.2). Λόγω του ότι η κάθε περιοχή έχει και διαφορετική επιφάνεια και γεωμορφολογική μορφή, τα πλέγματα και των έξι περιοχών είχαν οριστεί διαφορετικά. Και οι έξι σωροί διέφεραν αρκετά μεταξύ τους, ορισμένοι εξείχαν από την επιφάνεια του εδάφους, άλλοι είχαν αποτεθεί σε επικλινή τοπογραφία και δύο σε χαράδρες κάτω από την επιφάνειά του οδικού δικτύου. Η κάθε δειγματοληψία διέφερε στο σύνολο των φωτογραφιών ανά περιοχή αλλά και το ύψος από την επιφάνεια απογείωσης του drone.

Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I παρατίθενται τα μετεωρολογικά στοιχεία από τον Σταθμό του Λαυρίου για τις ημερομηνίες που προηγήθηκαν των ημερών πραγματοποίησης πτήσεων συλλογής οπτικού υλικού. Τα δεδομένα αυτά, ειδικότερα τα δεδομένα ύψους βροχής, χρησιμοποιήθηκαν στον σχολιασμό των δεδομένων δεδομένου ότι το

φαινόμενο της όξινης απορροής συνδέεται άμεσα με κατάσταση αυξημένης υγρασίας. Επίσης, η ποώδης βλάστηση είναι αναμενόμενο να παρουσιάζει εξάρσεις μετά από βροχοπτώσεις στην περιοχή.

Η διαδικασία συγκέντρωσης δεδομένων σε κάθε μία από τις θέσεις μελέτης έχει ως εξής:

Σε αρχικό στάδιο συνδέομαι στο πρόγραμμα drone deploy, στη συνέχεια επιλέγω την περιοχή με συντεταγμένες στον χάρτη που χρησιμοποιεί σαν υπόβαθρο χάρτες google earth τελευταίας γενιάς. Αφού έχω μαρκάρει την περιοχή δημιουργώντας ένα πλέγμα με απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους να είναι 200ft = 60,96m, παράλληλα το πρόγραμμα ενημερώνει ότι για να καλύψει την συγκεκριμένη επιφάνεια με φωτογραφικό υλικό τύπου 3D θα χρειαστεί συγκεκριμένο χρόνο πτήσης, αριθμό φωτογραφιών και ποσοστό μπαταρίας (Εικόνα 3.0.2).



Εικόνα 3.0.2 Σχεδίαση πλέγματος με επιλογή σημείων για εναέριες λήψεις μέσω Drone deploy για την περιοχή του Καβοδόκανου στο Λαύριο.

Φυσικά μπορούμε να μετατρέψουμε τα ζητούμενα και να αυξομειώσουμε τον αριθμό των φωτογραφιών, αλλά σίγουρο είναι ότι όσο περισσότερες φωτογραφίες τόσο καλύτερη θα είναι η ανάλυση των εικόνων 3D. Σε αυτό το σημείο καλό θα ήταν να αναφερθεί ότι για το drone mavic pro της dji που χρησιμοποιήθηκε η διάρκεια μιας μπαταρίας σε πτήση υπολογίζεται σε 20 λεπτά.

Σε επόμενη φάση έχω κατεβάσει την εφαρμογή στο κινητό εισάγοντας τα δεδομένα τα οποία είχα δημιουργήσει στον σταθερό υπολογιστή, ενεργοποιώντας το (UAV) και επιλέγοντας έναρξη καταγραφής. Το (UAV) ξεκινάει αυτομάτως την πτήση και λαμβάνει το φωτογραφικό υλικό για την κάθε περιοχή ξεχωριστά. Το φωτογραφικό υλικό αποθηκεύεται στην εσωτερική κάρτα μνήμης. Έπειτα περνάω το φωτογραφικό υλικό στον υπολογιστή και τα ανεβάζω στο πρόγραμμα drone deploy για την κάθε περιοχή αποθηκεύοντας και την τρέχουσα ημερομηνία. Τέλος, γίνεται η επεξεργασία των φωτογραφικών δεδομένων εστιάζοντας- μεγεθύνοντας μέσω προγράμματος την κάθε περιοχή.

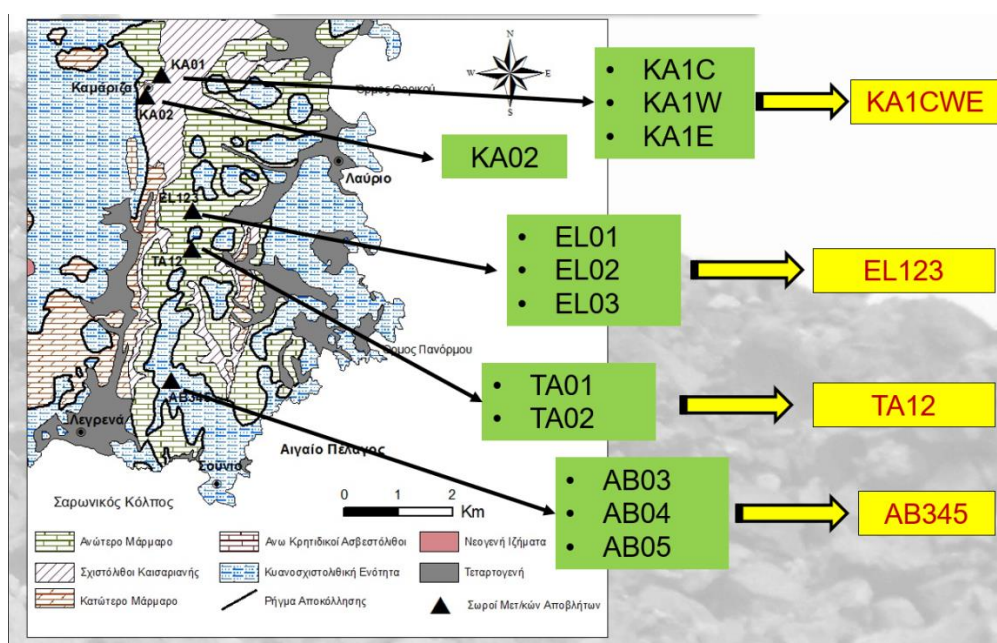
3.3. Σύγκριση δεδομένων οπτικού υλικού και συσχέτιση με φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του αποβλήτου

Το οπτικό υλικό συγκεντρώθηκε και ταξινομήθηκε ανά ημερομηνία πτήσης έτσι ώστε να είναι φανερές στις εικόνες οι διαφορές στην βλάστηση λόγω εποχής του έτους. Στη συνέχεια έγινε σχολιασμός και συζήτηση των εικόνων ανά περιοχή με αναφορά στη διαφοροποίηση των σωρών αποβλήτων ως προς τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν είναι η κοκκομετρία των αποβλήτων, το pH, το δυναμικό παραγωγής οξύτητας μέσω της στατική δοκιμής Acid Base Accounting (ABA), το καθαρό δυναμικό εξουδετέρωσης Net Neutralization Potential (NNP), τον λόγο δυναμικού εξουδετέρωσης Neutralization Potential Ratio (NPR), το περιεχόμενο σε θείο (S) και οι συγκεντρώσεις δυνητικά τοξικών στοιχείων (As, Cd, Cu, Pb, Sb, Zn), σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Φωτεινού Μυλωνά (2013). Επίσης στη συζήτηση ελήφθη υπόψη και η ορυκτολογία κάθε σωρού. Στην περίπτωση του σωρού αποβλήτων του Καβοδόκανου ο σχολιασμός έγινε με βάση τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, τον χημισμό και την ορυκτολογία, όπως αυτά περιγράφονται στην διπλωματική εργασία του Khaled Ibrahim (2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Περιγραφή των υπό μελέτη σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων

Παρατίθενται στη συνέχεια οι περιγραφές των σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων που μελετήθηκαν αντλώντας στοιχεία κυρίως από τη Διπλωματική Εργασία Ειδίκευσης του Φωτεινού Μυλωνά (2013). Στην Εικόνα 4.0.1. απεικονίζονται εποπτικά οι υπό μελέτη σωροί και η κωδικοποίησή τους κατά Μυλωνά (2013).



Εικόνα 4.0.1 Χάρτης απεικόνισης θέσεων και κωδικοποίησης των σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων στη Λαυρεωτική που μελετήθηκαν από Μυλωνά (2013).

4.1.1 Σωρός Μεγάλης Καμάριζας (Άγιος Κωνσταντίνος)

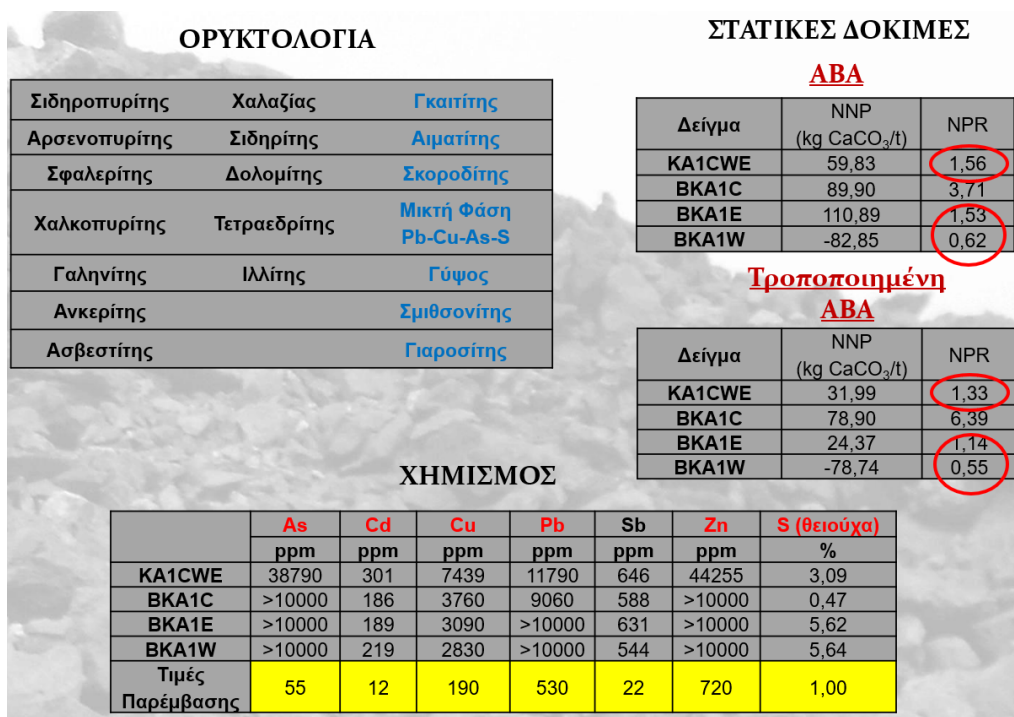
Ο σωρός περιγράφεται από τον Μυλωνά (2013) με τον κωδικό ΚΑ01ή ΚΑCWE και εντοπίζεται στην ΑΒΑ πλευρά του οικισμού, η περιμετρική του έκταση είναι 570 m ενώ ο συνολικός του όγκος εκτιμάται περί τα 130000 m³. Η Δυτική ενότητα είναι λευκότεφρου χρώματος με χαρακτηριστική την παρουσία τεμαχών ανθρακικών πετρωμάτων. Η Κεντρική ενότητα είναι καστανέρυθρου χρώματος αποτελούμενη κυρίως από οξειδωμένο υλικό. Ενώ η Ανατολική ενότητα έχει μια μικτή απόχρωση μεταξύ των δύο προηγούμενων ενοτήτων. Η κοκκομετρία ξεκινά από πολύ αδρόκοκκα Χαλίκια 32mm έως κροκάλες 128mm. Τα συγκεκριμένα μεταλλευτικά απόβλητα που προέρχονται από εξόρυξη μεταλλεύματος και στείρων έχουν σαν

πιθανή πηγή τα τμήματα του κοιτάσματος όπου η εξόρυξη γινόταν σε διάφορα επίπεδα και η μεταφορά τους μέσω των φρεάτων που βρίσκονται κοντά στο σημείο απόθεσης.



Εικόνα 4.0.2 Μεγάλη Καμάριζα (Άγιος Κωνσταντίνος). Άνω: περιγραφή του σωρού από Μυλωνά (2013) και κάτω: αεροφωτογραφία (drone) τον Οκτώβριο 2020. Στη φωτογραφία του 2020 διακρίνεται η καμένη λοφώδης έκταση στο βάθος.

Η σύνοψη των αποτελεσμάτων του χαρακτηρισμού του σωρού από Μυλωνά (2013) παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.0.3



Εικόνα 4.0.3. Σύνοψη ορυκτολογικών και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του σωρού «Μεγάλη Καμάριζα» από Μυλωνά (2013).

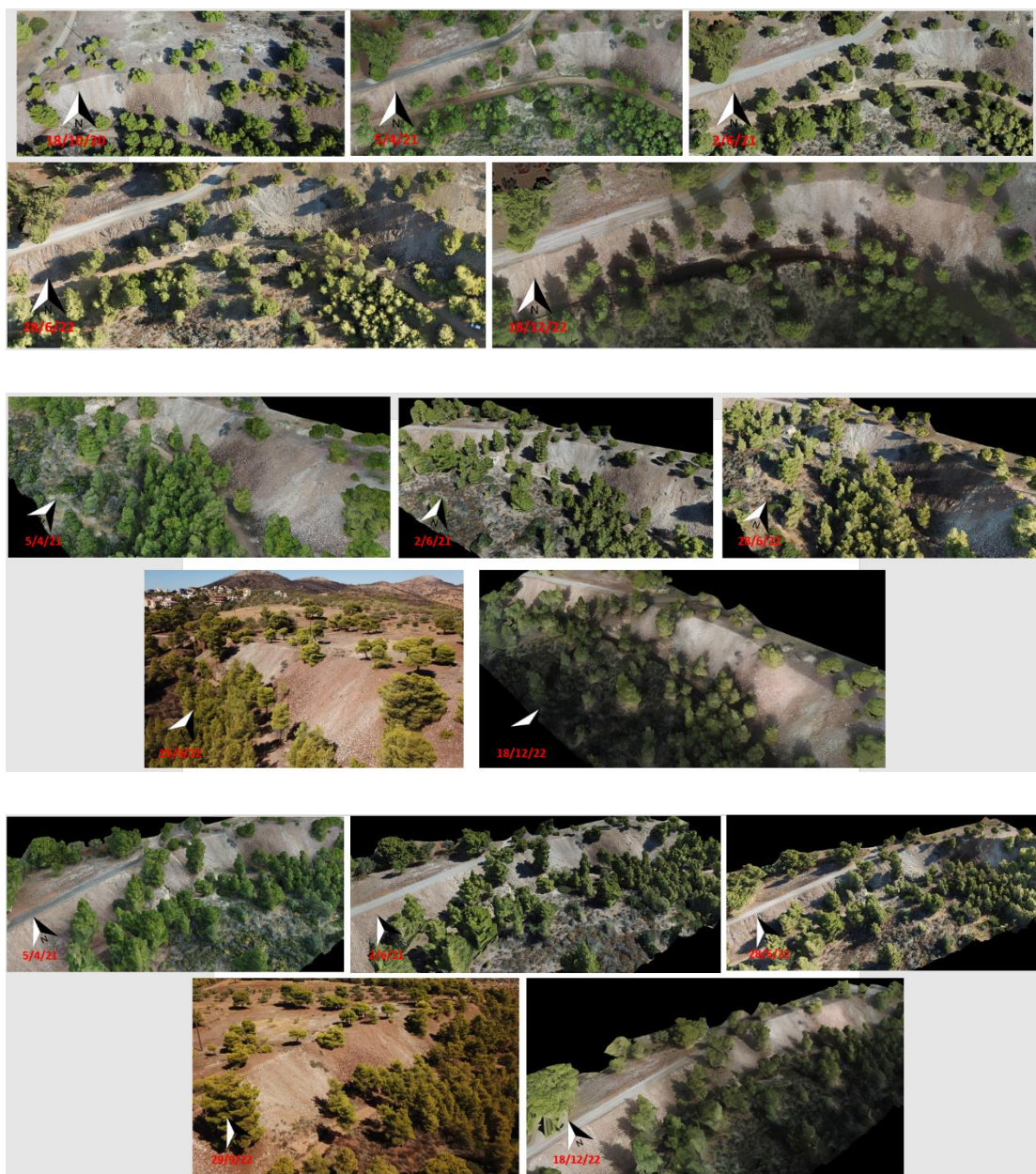
Σύμφωνα με αυτά τα αποτελέσματα, η ορυκτολογία του σωρού χαρακτηρίζεται από θειούχες φάσεις, ανθρακικές φάσεις, υδροξείδια, θειοάλατα καθώς και ορυκτά του αρσενικού (αρσеноπυρίτης, σκοροδίτης). Στις χημικές αναλύσεις ο σωρός της Μεγάλης Καμάριζας φαίνεται να εμφανίζει τις υψηλότερες συγκεντρώσεις αρσενικού (As) και οι τιμές να αγγίζουν ακόμη και τα 38790 ppm. Η υψηλή περιεκτικότητα του αρσενικού στους σωρούς των αποβλήτων της Λαυρεωτικής χερσονήσου οφείλεται στη συμμετοχή του στη μεταλλοφορία, κυρίως στον αρσеноπυρίτη, το σιδηροπυρίτη και τα συνοδά θειοάλατα καθώς και στα αρσενικά ορυκτά του gossan και των υπεργενετικών μεταλλοφόρων σωμάτων.

Εκτός από As παρατηρούνται εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις όλων των υπό μελέτη μετάλλων οι οποίες υπερβαίνουν κατά πολύ τις τιμές παρέμβασης όπως αυτές ορίζονται από τα Ολλανδικά πρότυπα για τα εδάφη, αλλά είναι αναμενόμενες με κριτήριο τη μεταλλευτική ιστορία της περιοχής. Το Cd παρουσιάζει συγκεντρώσεις οι οποίες αγγίζουν το 301 ppm. Σχεδόν όλο το Cd στη θειούχο μεταλλοφορία εμφανίζεται ως υποκαταστάτης άλλων στοιχείων στα θειούχα ορυκτά. Η υψηλή περιεκτικότητα του καδμίου οφείλεται στη συμμετοχή του στο σμιθσονίτη και το σφαλερίτη. Ο Cu στο υλικό του σωρού εμφανίζει και εκεί μεγάλες συγκεντρώσεις

αγγίζοντας ακόμη και τα 7440ppm. Ο Cu συναντάται με τις μορφές των χαλκοπυρίτη και υπεργενετικά του κοβελλίτη και πλήθος υπεργενετικών ορυκτών, καθώς και με την πιθανή συμμετοχή του σε ένυδρες θεικές φάσεις. Τέλος υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζονται ακόμη και στον Ψευδάργυρο (Zn) αγγίζοντας το 44255ppm. Το στοιχείο εμφανίζεται με δύο μορφές. Αυτή του σφαλερίτη, ως κύριο συστατικό της πρωτογενούς μεταλλοφορίας και αυτή του σμιθσονίτη, ως φάση υπεργενετικής αλλοίωσης. Η μεγάλη κινητικότητα του στοιχείου εξηγεί και τον εμπλουτισμό του στο σωρό. Τα απόβλητα αυτά χαρακτηρίζονται από μεγάλη πιθανότητα παραγωγής οξύτητας (NPR < 3 για τα περισσότερα δείγματα) και αποτελούν δυνητική απειλή για το περιβάλλον.

Με βάση το οπτικό υλικό που συλλέχθηκε (Εικόνα 4.0.4), η διεργασία που υπέστη το υλικό από την οξείδωση του δίνει ένα χαρακτηριστικό τεφροκίτρινο χρώμα. Κατά την διάρκεια των εποχιακών μεταβολών και με την βοήθεια του οπτικού υλικού στο παραγόμενο βίντεο φαίνονται διαφορές στην απόχρωση της ποώδους βλάστησης από κιτρινωπό σε σκούρο πράσινο χρώμα, όπως επίσης και τα επιφανειακά τμήματα του σωρού από σκούρο καφέ σε ανοιχτό τεφρό. Σημειώνεται επίσης ότι στις 8 Σεπτεμβρίου 2020 είχε ξεσπάσει φωτιά στην περιοχή της Καμάριζας καίγοντας αρκετά μεγάλη λοφώδη δασική έκταση η οποία διακρίνεται στην Εικόνα 4.0.2.

Αδιαμφισβήτητη η οπτικοποίηση από αέρος της περιοχής σε όλες τις εποχές έκανε φανερή την επικράτηση της χαλεπίου πεύκης (*P. halepensis*) ως είδος βλάστησης που έχει την ικανότητα να φύτεται ακόμη και επί του σωρού των αποβλήτων παρά τις εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις δυνητικά τοξικών για τη βλάστηση στοιχείων. Πρόσφατα δημοσιευμένα δεδομένα καταδεικνύουν ότι το συγκεκριμένο φυτικό είδος συμπεριφέρεται ως «παρεμποδιστής» με ιδιαίτερη ανθεκτικότητα σε υψηλές συγκεντρώσεις Zn, Pb, Cd (Kharazian et al. 2022, Kharazian et al., 2023). Προτείνεται μάλιστα από τους παραπάνω συγγραφείς ως κατάλληλο είδος φυτοσταθεροποίησης της ρύπανσης και επανεγκατάστασης της βλάστησης σε περιοχές εγκαταλελειμμένων μεταλλευτικών αποβλήτων. Σημειώνεται ωστόσο ότι παρά την ανθεκτικότητα του είδους αυτού, η δυτική πλευρά του σωρού όπου έχει μετρηθεί το υψηλότερο δυναμικό παραγωγής οξύτητας παραμένει εντελώς απογυμνωμένο από βλάστηση.



Εικόνα 4.0.4 Οπτικό υλικό που συλλέχθηκε ως εναέριες λήψεις με χρήση drone τύπου manic pro της dji και drone deploy κατά το διάστημα Οκτωβρίου 2020- Δεκεμβρίου 2022 στην περιοχή σωρού «Μεγάλη Καμάριζα».

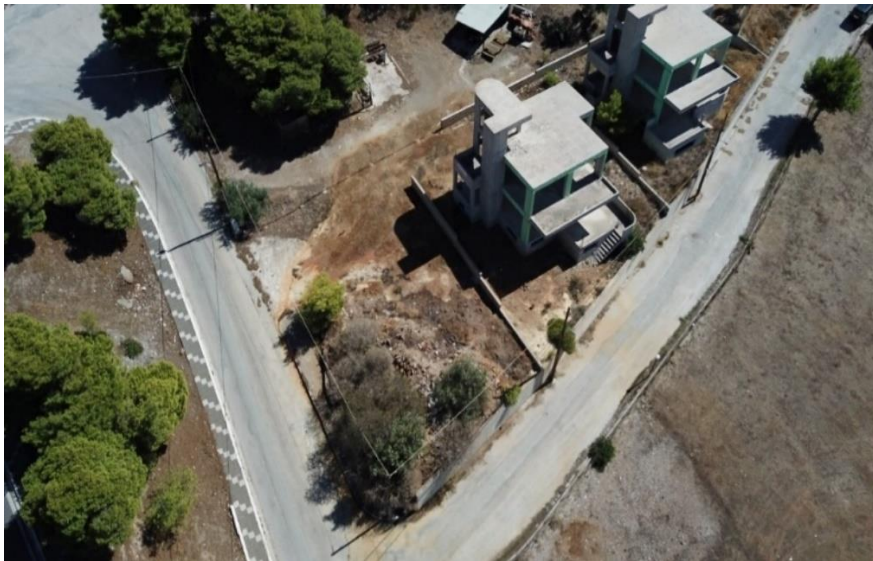
4.1.2 Σωρός Μικρής Καμάριζας (Άγιος Κωνσταντίνος)

Ο σωρός βρίσκεται στη βάση μιας δομημένης περιοχής εντός του οικισμού και εντοπίζεται Ν του φρέατος Σερπιέρη. Η περιμετρική του έκταση είναι 144 m ενώ ο συνολικός του όγκος εκτιμάται περί τα 3300 m³ (Εικόνα 4.0.5). Η παρουσία όξινης απορροής με χαρακτηριστική ωχρή- τεφρή χρώση του εδάφους καταδεικνύει ότι τα απόβλητα είναι ενεργά.

- Τεμάχια θειούχων $FeS_2 - FeAsS$
- Μικρή συμμετοχή Pb-Zn
- Παρουσία όξινης απορροής
- Δόμηση επάνω στο σωρό
- Πιο λεπτόκοκκο υλικό σε σχέση με τους υπόλοιπους σωρούς

Καμάριζα Σωρός ΚΑ02

Κοκκομετρία	Περίμετρος (m)	Όγκος (m ³)
Αδρόκοκκη άμμος έως κροκάλες	145	-3300



Εικόνα 4.0.5 Μικρή Καμάριζα (Άγιος Κωνσταντίνος). Άνω: περιγραφή του σωρού από Μυλωνά (2013) και κάτω: αεροφωτογραφία (drone) τον Οκτώβριο 2020.

Η σύνοψη των αποτελεσμάτων του χαρακτηρισμού του σωρού από Μυλωνά (2013) παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.0.6

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ			ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ				
Σιδηροπυρίτης	Απατίτης	Γιαροσίτης	ABA				
Αρσеноπυρίτης	Φθορίτης	Κοπιαπίτης	Δείγμα	NNP (kg CaCO ₃ /t)	NPR		
Σφαλερίτης		Κοβελλίτης	ΚΑ02	-482,20	0,08		
Χαλκοπυρίτης		Γύψος	Τροποποιημένη ABA				
Γαληνίτης	Γκαπίτης	Μικτή Φάση Pb-As-Fe-S	Δείγμα	NNP (kg CaCO ₃ /t)	NPR		
Ασβεστίτης	Αιματίτης	Μικτή Φάση Zn-Fe	ΚΑ02	-309,42	0,08		
Χαλαζίας	Σκοροδίτης	Μικτή Φάση Pb-As					
ΧΗΜΙΣΜΟΣ							
	As	Cd	Cu	Pb	Sb	Zn	S (θειούχα)
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
ΚΑ02	24130	75	1818	18739	1226	8024	10,78
Τιμές Παρέμβασης	55	12	190	530	22	720	1,00

Εικόνα 4.0.6 Σύνοψη ορυκτολογικών και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του σωρού «Μικρή Καμάριζα» από Μυλωνά (2013).

Σαν πηγή τα μεταλλευτικά απόβλητα σε αυτό το σωρό έχουν τα φρέατα εξόρυξης γύρω από το μεταλλευτικό συγκρότημα της Καμάριζας, Συνίστανται κυρίως από τεμάχια θειούχου μεταλλεύματος με μικρή συμμετοχή Pb και Zn και πρόκειται πιθανότατα για απόβλητα σιδηροπυρίτη – αρσеноπυρίτη, μέταλλευμα το οποίο ως γνωστόν δεν είχε οικονομικό ενδιαφέρον τότε. Η κοκκομετρία ξεκινά από Αδρόκοκκη Άμμος 0.5mm έως Κροκάλες (128mm).

Η θέση «Μικρή Καμάριζα» εντός της οικιστικής ανάπτυξης του Αγίου Κωνσταντίνου είναι μία δομημένη περιοχή έναντι του Μεταλλευτικού Μουσείου Καμάριζας και του ιστορικού Μεταλλευτικού Φρέατος Σερπιέρι. Μπορεί εύκολα να διακρίνει κάποιος τη γέφυρα η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του μεταλλεύματος και για την μεταφορά του προσωπικού στα υπόγεια μεταλλεία εξόρυξης, καθώς και τμήματα των υπαίθριων αποθηκών όπου γινόταν η επιλογή του μεταλλεύματος. Σήμερα, η περιοχή ζει στους ήσυχους ρυθμούς της ως περιφερειακός οικισμός της Λαυρεωτικής. Μέσω τού φωτογραφικού υλικού παρατηρείται πώς επάνω στο σωρό έχουν χτιστεί δυο οικοδομές. Η βλάστηση στην συγκεκριμένη περιοχή είναι ελάχιστη, ωστόσο η ελάχιστη βλάστηση μπορεί να χαρακτηριστεί ως ποώδης ακόμη και φρυγανώδης.

Η ορυκτολογία του σωρού αποτελείται κυρίως από θειούχες φάσεις, θεικές φάσεις, σύνδρομα ορυκτά και οξειδωμένο αρσеноπυρίτη (Μυλωνάς, 2013). Όσον αφορά τα αποτελέσματα χημισμού, ο σωρός της μικρής Καμάριζας εμφανίζει τις υψηλότερες

συγκεντρώσεις Αντιμονίου (Sb), αγγίζοντας 1226 ppm. Εξαιτίας των μεγάλων φορτίων των οξειδωτικών καταστάσεων (III) και (V) και την ακαριαία υδρόλυση αυτών στα ένυδρα διαλύματα, το στοιχείο δημιουργεί ευκίνητες ενώσεις κυρίως με το οξυγόνο και το θείο στις περισσότερες φυσικές διεργασίες (Boyle and Jonasson, 1984). Έτσι εξηγείται και η μεγάλη συγκέντρωση του στοιχείου στο σωρό λόγω του φαινομένου της όξινης απορροής που παρατηρείται.

Οι διαφοροποιήσεις οι οποίες διακρίνονται από το οπτικό υλικό είναι έκδηλες κατά τον μήνα Ιούνιο και των δυο ετών καθώς είναι πιο κιτρινωπή σε σύγκριση με τον Δεκέμβριο του 2022 και τον Απρίλιο του 2021 (Εικόνα 4.0.7, 4.0.8). Έντονη φαίνεται να είναι η όξινη απορροή καθ' όλη τη διάρκεια των εποχών από την είσοδο της στάθμευσης στις οικοδομές, αλλά και πολύ περισσότερο τον ημερομηνία 5/4/21 όπου ο μετεωρολογικός σταθμός της Λαυρεωτικής κατέγραψε πάνω από 0,6 mm βροχής τις τελευταίες δυο ημέρες (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι) με αποτέλεσμα να διακρίνεται έντονη κιτρινέρυθη χρώση τόσο στα τοιχώματα όσο και στην άσφαλτο δυτικά της οικοδομής.



Εικόνα 4.0.7 Τρισδιάστατη όψη αριστερά 5/4/21 & δεξιά 18/12/22.



Εικόνα 4.0.8 Οπτικό υλικό που συλλέχθηκε ως εναέριες λήψεις με χρήση drone τύπου manic pro της dji και drone deploy κατά το διάστημα Οκτωβρίου 2020- Δεκεμβρίου 2022 στην περιοχή σωρού «Μικρή Καμάριζα».



Εικόνα 4.0.8 (συνέχεια)

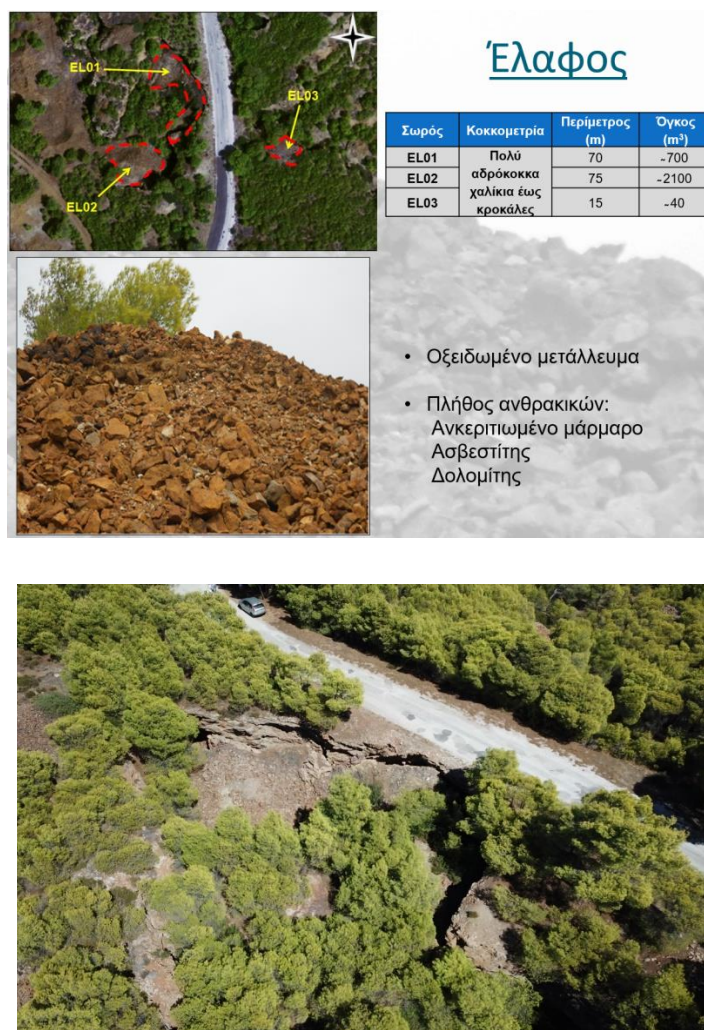
4.1.3 Σωροί περιοχής «Έλαφος»

Οι σωροί βρίσκονται ακριβώς δίπλα στον κεντρικό δρόμο Καμάριζας – Σουνίου, υψομετρικά χαμηλότερα από το οδόστρωμα, σε χαράδρα. Περιμετρικά στην περιοχή υπάρχουν φρέατα καθώς και μικρές ανοιχτές εκσκαφές και πιθανώς να είναι οι πηγές προέλευσης των μεταλλευτικών αποβλήτων. Οι σωροί χαρακτηρίζονται από πλήθος οξειδωμένων ορυκτών αλλά και από πολλές δευτερογενείς φάσεις. Η περιμετρική τους έκταση είναι 145 m και ο συνολικός του όγκος εκτιμάται τα 2800 m³. Η κοκκομετρία ξεκινά από Πολύ Αδρόκοκκα Χαλίκια 32mm έως Κροκάλες 128mm.

Στην Έλαφο ο κύριος σωρός έχει δημιουργηθεί από το πλησίον φρέαρ Σούρεζα όπως επίσης και από μικρές ανοιχτές εκσκαφές οι οποίες είναι πιθανές πηγές προέλευσης των μεταλλευτικών αποβλήτων. Ο τύπος βλάστησης είναι κυρίως πευκόδης αλλά διακρίνονται και ελάχιστα φρυγανώδη φυτά. Με την βοήθεια του φωτογραφικού υλικού παρατηρούνται, όπως και στις προηγούμενες δυο περιπτώσεις οι εποχιακές μεταβολές στο χρωματισμό του φυλλώματος των δέντρων από σκούρο πράσινο σε ανοιχτό πράσινο. Μεγάλη εντύπωση έχει προκαλέσει η επικινδυνότητα του οδικού δικτύου λόγω υποσκαφών, οι οποίες διακρίνονται εύκολα στο οπτικό υλικό ΜηΕΑ

Όσον αφορά τα ορυκτολογικά αποτελέσματα του σωρού, αποτελείται από ανθρακικά ορυκτά και οξειδωμένα θειούχα ορυκτά (Εικόνα 4.0.9).

Η οξείδωση των θειούχων ορυκτών όπως του σιδηροπυρίτη, του μαρκασίτη και του χαλκοπυρίτη προκαλεί τον σχηματισμό οξειδίων και υδροξειδίων του Fe (Εικόνα 4.10) (Μυλωνάς, 2013). Στο σημείο αυτό, δίπλα στο δρόμο έχει παρατηρηθεί στις λήψεις κατά τον μήνα Δεκέμβριο 2022 μια έντονη πράσινη αποχώρηση η οποία παραπέμπει σε ποώδη βλάστηση (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.0.9 Περιοχή «Ελαφος». Άνω: περιγραφή του σωρού από Μυλωνά (2013) και κάτω: αεροφωτογραφία (drone) τον Οκτώβριο 2020 στην οποία διακρίνεται η υποσκαφή πλάι στο δρόμο.

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ			ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ				
Σιδηροπυρίτης	Ανκερίτης	Αιματίτης	ABA				
Μαρκασίτης	Σιδηρίτης	Γιαροσίτης	Δείγμα	NNP (kg CaCO ₃ /t)	NPR		
Σφαλερίτης	Δολομίτης	Κερουσίτης	EL123	392,29	17,09		
Χαλκοπυρίτης		Κοβελλίτης	Τροποποιημένη ABA				
Γαληνίτης		Γύψος	Δείγμα	NNP (kg CaCO ₃ /t)	NPR		
Ασβεσίτης		Σμιθσονίτης	EL123	294,05	20,20		
Χαλαζίας	Γκαπίτης	Αλουνίτης					
ΧΗΜΙΣΜΟΣ							
	As	Cd	Cu	Pb	Sb	Zn	S (θειούχα)
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
EL123	388	51	544	>20000	83	7527	0,49
Τιμές Παρέμβασης	55	12	190	530	22	720	1,00

Εικόνα 4.10 Σύνοψη ορυκτολογικών και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του σωρού «Ελαφος» από Μυλωνά (2013).

Στα αποτελέσματα χημισμού παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις Μολύβδου (Pb) ξεπερνώντας τις 20000 ppm. Ο Pb, εκτός από τη θειούχο ένωση του γαληνίτη, συμμετέχει σε πλήθος άλλων δευτερογενών φάσεων. Δευτερογενή ορυκτά που φιλοξενούν τον Pb στα μεταλλευτικά απόβλητα είναι ο ανγκλεσίτης και ο κερουσίτης, καθώς επίσης ο πλουμπογιαροσίτης και κάποιες θειϊκές φάσεις, ενδεικτικές όξινων και οξειδωτικών συνθηκών. Η διαλυτότητα του Pb είναι περιορισμένη στα ορυκτά που αναγνωρίστηκαν στους εξεταζόμενους σωρούς αποβλήτων. Σε αντίθεση το Αρσενικό (As) φαίνεται να έχει σχετικά την πιο χαμηλή τιμή σε σχέση με τους υπόλοιπους σωρούς, αγγίζοντας 388ppm σε σύγκριση με το σωρό της μεγάλης Καμάριας η οποία αγγίζει τα 38790 ppm.



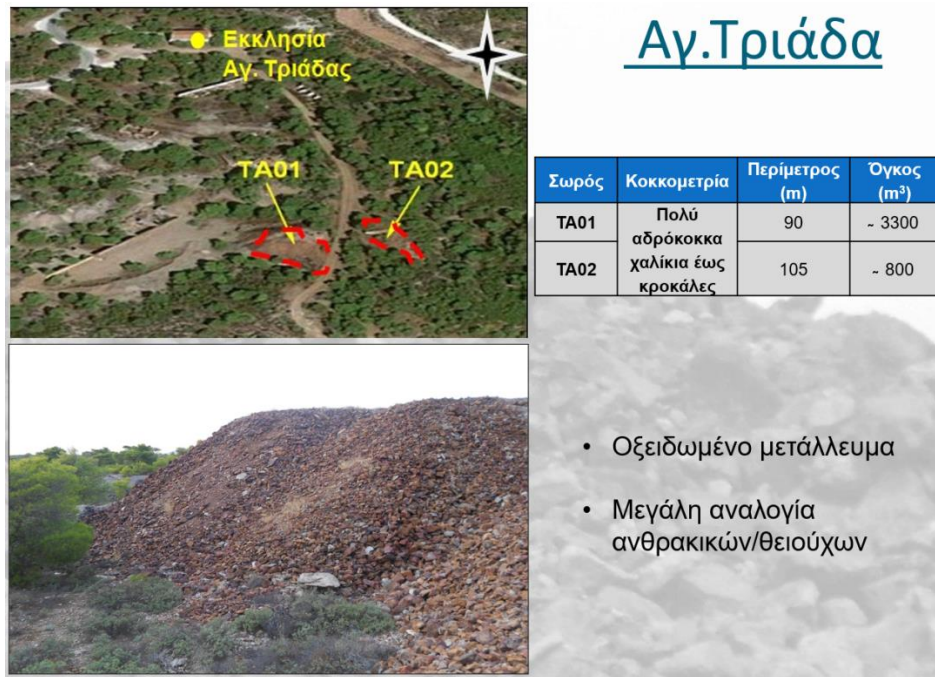
Εικόνα 4.11 Οπτικό υλικό που συλλέχθηκε ως εναέριες λήψεις με χρήση drone τύπου mavic pro της dji και drone deploy κατά το διάστημα Οκτωβρίου 2020- Δεκεμβρίου 2022 στην περιοχή σωρού «Ελαφος».

4.1.4 Σωρός περιοχής «Αγ. Τριάδα»

Η περιοχή Αγία Τριάδα βρίσκεται δίπλα στο αρχαίο συγκρότημα πλυντηρίων και δεξαμενών ύδατος, και εκτείνεται και από τις δύο πλευρές του χωματόδρομου που ξεκινά από το παρεκκλήσι της Αγίας Τριάδας. Στην περιοχή εντοπίζονται δύο σωροί μεταλλευτικών αποβλήτων. Ο πρώτος σωρός βρίσκεται στην ανατολική πλευρά του χωματόδρομου όπου υπάρχει περίφραξη για αρχαιολογικούς λόγους. Η περιμετρική του έκταση είναι 90 m ενώ ο συνολικός του όγκος εκτιμάται περί τα 3300 m³.

Μακροσκοπικά εμφανίζεται καστανέρυθρο χρώμα οξειδωμένου υλικού ενώ εμφανής είναι και η παρουσία ανθρακικών πετρωμάτων. Ο δεύτερος σωρός βρίσκεται σε απόσταση μόλις μερικών μέτρων από τον πρώτο στην δυτική πλευρά του χωματόδρομου. Η τελευταία περιμετρικά και κατά προσέγγιση είναι 105 m ενώ ο συνολικός του όγκος εκτιμάται περί τα 800 m³. Τα μακροσκοπικά του χαρακτηριστικά είναι όμοια προς τον πρώτο σωρό (Εικόνα 4.12). Οι σωροί μεταλλευτικών αποβλήτων στη συγκεκριμένη περιοχή προέρχονται από τα φρέατα Σούρεζα 94 και από στοές που βρίσκονται πολύ κοντά στο σημείο απόθεσης. Πιθανότατα αποτελούν στείρα εξόρυξης από τα δύο ανώτερα επίπεδα. (Κονοφάγος, 1980). Η κοκκομετρία ξεκινά από Πολύ Αδρόκοκκα Χαλίκια 32mm έως Κροκάλες 128mm (Μυλωνάς, 2013).

Από ορυκτολογικής άποψης το υλικό αποτελείται από αρχικές φάσεις, θειούχων ορυκτών (Μυλωνάς, 2013). Τα αποτελέσματα χημισμού εμφανίζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Μόλυβδο (Pb) ξεπερνώντας τις 20000 ppm (Εικόνα 4.13). Παρόλα αυτά η διαλυτότητά του Pb στα ορυκτά είναι περιορισμένη. Έτσι μάλλον ερμηνεύεται και η γεωχημική διασπορά που παρατηρείται στον ανώτερο ορίζοντα των εδαφών της Λαυρεωτικής και ο ακόλουθος εμπλουτισμός τους με εμφανίσεις πολύ ανώμαλων τιμών. Σε υψηλές συγκεντρώσεις φαίνεται να είναι ακόμη και ο Ψευδάργυρος (Zn) αγγίζοντας τα 31601 ppm. Το στοιχείο εμφανίζεται με δύο μορφές. Αυτή του σφαλερίτη, ως κύριο συστατικό της πρωτογενούς μεταλλοφορίας και αυτή του σμιθσονίτη, ως φάση υπεργενετικής αλλοίωσης. Η μεγάλη κινητικότητα του στοιχείου εξηγεί και τον εμπλουτισμό του στα εδάφη της Λαυρεωτικής.



Εικόνα 4.12 Περιοχή «Αγ. Τριάδα». Άνω: περιγραφή του σωρού από Μυλωνά (2013) και κάτω: αεροφωτογραφία (drone) τον Οκτώβριο 2020.

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ		ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ					
Γαληνίτης	Γκαπίτης	ΑΒΑ					
Ασβεστίτης	Αιματίτης	Δείγμα	NNP (kg CaCO ₃ /t)	NPR			
Δολομίτης	Πλουμπογιοαρσίτης	TA12	520,36	26,23			
Ιλλίτης	Κερουσίτης	Τροποποιημένη ΑΒΑ					
Χαλαζίας	Ανγκλεσίτης	Δείγμα	NNP (kg CaCO ₃ /t)	NPR			
	Σμιθσονίτης	TA12	503,29	33,21			
ΧΗΜΙΣΜΟΣ							
	As	Cd	Cu	Pb	Sb	Zn	S (θειούχα)
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
TA12	913	123	528	>20000	83	31601	0,5
Τιμές Παρέμβασης	55	12	190	530	22	720	1,0

Εικόνα 4.13 Σύνοψη ορυκτολογικών και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του σωρού «Αγ. Τριάδα» από Μυλωνά (2013).

Κοντά στην περιοχή βρίσκεται στρατιωτική εγκατάσταση της Ελληνικής Βιομηχανίας Όπλων (ΕΒΟ). Στις 27 Ιουνίου 2019 είχε ξεσπάσει φωτιά στην ευρύτερη περιοχή φτάνοντας ακόμη και την ΕΒΟ αλλά και την εξεταζόμενη περιοχή της Αγίας Τριάδας. Μετά σχεδόν από ένα χρόνο η εικόνα της καμένης έκτασής δεν έχει αλλάξει. Ωστόσο δύο χρόνια μετά την πυρκαγιά φαίνεται να έχουν απομακρυνθεί αρκετοί καμένοι κορμοί δένδρων. Η βλάστηση στην περιοχή είναι πευκώδης και με την χρονική μεταβολή διακρίνεται ο χρωματισμός των βελονιών από έντονο πράσινο σε κιτρινωπό πράσινο.

Στο φωτογραφικό υλικό το οποίο συλλέχθηκε στις 5 Απριλίου του 2021 διακρίνεται αισθητά η όξινη απορροή στα πορτοκαλί και λευκά σημεία της Εικόνας 4.14. Στην φωτογραφία της επόμενης δειγματοληψίας, η οποία πραγματοποιήθηκε στις 28 Ιουνίου το 2022, διακρίνεται η υλοποίηση της Α' Φάσης του έργου για την διαμόρφωση αρχαιολογικών διαδρομών από την Εφορεία Αρχαιοτήτων Ανατολικής Αττικής (Εικόνα 4.14). Οι διαδρομές περιλαμβάνουν ήπιες επεμβάσεις (περιστοιχίσεις, παγκάκια, στέγαστρα), οι οποίες έχουν τοποθετηθεί με τρόπο που διευκολύνουν την περιήγηση, καθώς και μνημεία (π.χ. αρχαία πλυντήρια και δεξαμενές) κάποια από τα οποία έχουν αποκατασταθεί με τρόπο που κάνουν κατανοητό έναν «δύσκολο» και με διαχρονικές χρήσεις χώρο. Επιπλέον, η περιοχή έχει καθαριστεί από τη βλάστηση, γεγονός που επιτρέπει στους επισκέπτες να

απολαύσουν σημεία που πριν δεν μπορούσαν. Κάθε λίγα μέτρα ενημερωτικές πινακίδες πληροφορούν για τις νεότερες και, κυρίως, τις αρχαίες εγκαταστάσεις, οι οποίες αποκαλύφθηκαν με ανασκαφικούς καθαρισμούς και αποκαταστάθηκαν επιλεκτικά.



Εικόνα 4.14. Άνω, εικόνα τον Απρίλιο 2021 όπου διακρίνεται η όξινη απορροή και κάτω εικόνα τον Ιούνιο 2022 όπου διακρίνονται τα έργα διαμόρφωσης του χώρου από την Εφορία Αρχαιοτήτων στην περιοχή σωρού Αγ. Τριάδα. Όψη προς Βορά.

Στην φωτογραφία της Εικόνας 4.15 με ημερομηνία 28 Ιουνίου 2022 παρατηρούνται βλαστάρια νέων πεύκων που αρχίζουν να αναπτύσσονται άναρχα σε όλη την επικράτεια. Στην επόμενη δειγματοληψία η οποία πραγματοποιήθηκε στις 29 Σεπτεμβρίου του 2022 φαίνονται τα μικρά πεύκα ακόμη και από της εναέριες φωτογραφίες. Σε σημεία τα οποία φαίνεται να έχει συσσωρευτεί βρόχινο νερό έχει

δημιουργηθεί περισσότερη φυτό κάλυψη. Σίγουρα μεγάλο μερίδιο της επιτυχίας έχει προσφέρει η βροχή η οποία η ποσότητα της ήταν πολύ παραπάνω το 2022 από ότι το 2021.

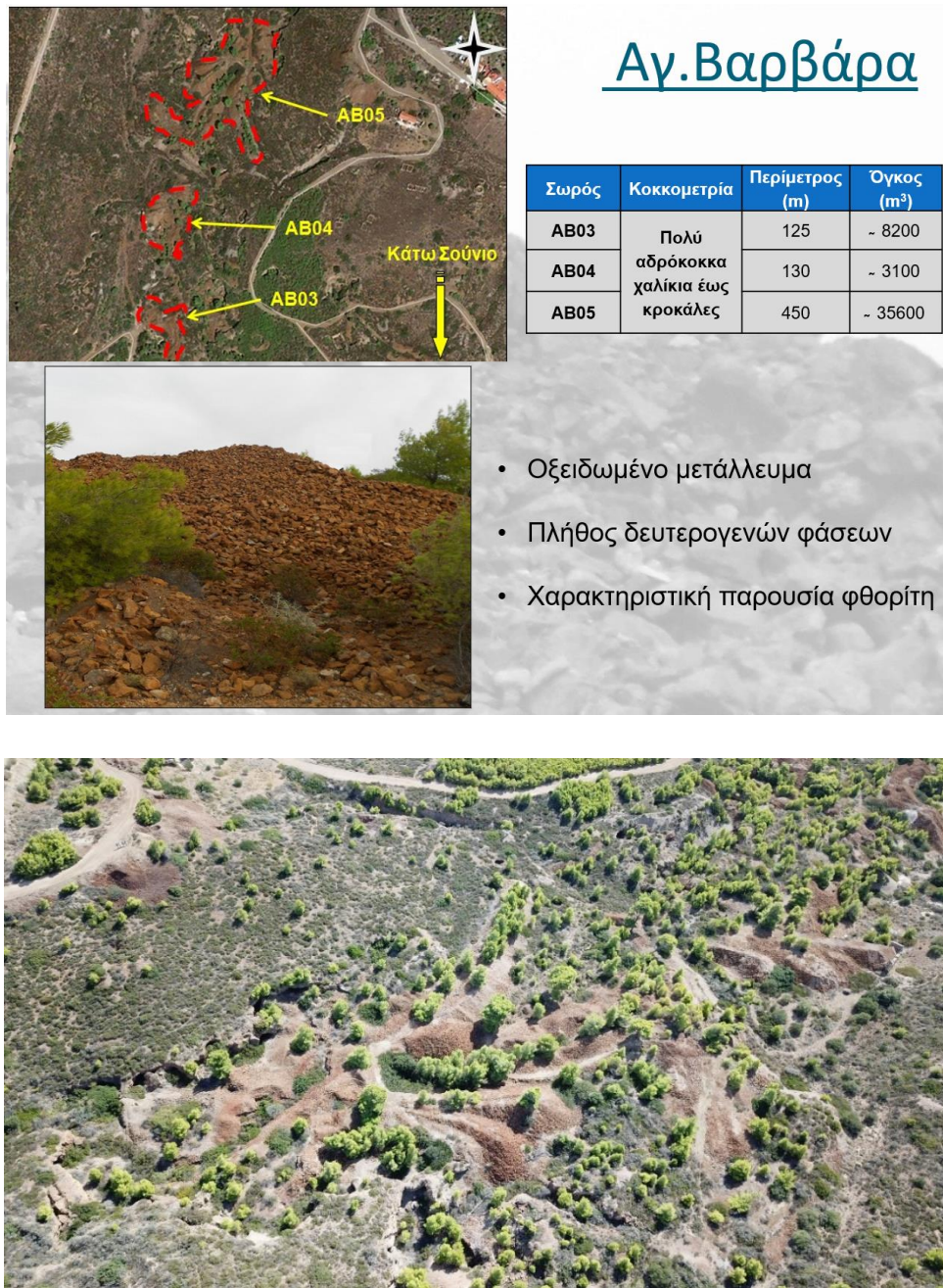


Εικόνα 4.15. Εγκατάσταση βλάστησης νεαρών πεύκων στην καμένη περιοχή. Αριστερά είναι το (ΜηΕΑ) δίπλα σε νεοσύστατα πεύκα σε ημερομηνία 28/6/22 και η δεξιά φωτογραφία πλέον τρεις μήνες αργότερα στις 29/9/22 όπου φαίνονται από αεροφωτογραφία στο αριστερό πάνω μέρος.

4.1.5 Περιοχή «Αγ. Βαρβάρα»

Η περιοχή της Αγίας Βαρβάρας βρίσκεται νότια της Λαυρεωτικής κοντά στο Σούνιο. Τα μεταλλευτικά απόβλητα της περιοχής καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση φτάνοντας τα 46900 m³ σε όγκο. Στη περιοχή της Αγίας Βαρβάρας καταγράφονται τρεις σωροί οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε μία ανοιχτή κοιλάδα. Οι περιμετρικές τους εκτάσεις είναι 125 m, 130 m και 450 m ενώ ο συνολικός του όγκος εκτιμάται περί τα 8200 m³, 3100 m³ και 35600 m³ κατ' αντιστοιχία. Οι σωροί χαρακτηρίζονται από καστανέρυθρο χρώμα με πολυορυκτολογική σύσταση. Η πιθανή πηγή προέλευσης των μεταλλευτικών αποβλήτων όπως ερμηνεύεται από μεταλλευτικούς χάρτες (Κονοφάγος, 1980), είναι τα φρέατα Christophoro, Portier και Monin που χρησιμοποιήθηκαν για την εξόρυξη μεταλλεύματος από τα δύο ανώτερα επίπεδα. Η κοκκομετρία ξεκινά από Πολύ Αδρόκοκκα Χαλίκια 32mm έως Κροκάλες 128mm και στην ορυκτολογική σύσταση επικρατούν οξειδωμένες φάσεις μεταλλεύματος με πλήθος δευτερογενών φάσεων και χαρακτηριστική παρουσία φθορίτη (Μυλωνάς 2013) (Εικόνα 4.16).

Λόγω του σημείου και της μεγάλης έκτασης προέκυψαν αρκετά προβλήματα κατά τις πτήσεις του ΜηΕΑ. Συγκεκριμένα ήταν απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν πάνω από δυο μπαταρίες ώστε να γίνει πλήρης απεικόνιση, δημιουργώντας συνολικά 134 εναέριες φωτογραφίες ώστε να σχηματιστεί η τρισδιάστατη εικόνα των σωρών. Πολλές φορές ήταν αδύνατη η απογείωση του ΜηΕΑ λόγω ανέμων, διότι πάνω από 4 μποφόρ η πτήση είναι αδύνατη. Η βλάστηση είναι πευκώδης αλλά και φρυγανώδεις. Από το οπτικό υλικό διακρίνονται οι κατανεμημένες σειρές των πεύκων, να βρίσκονται στα κατώτερα σημεία περιμετρικά των σωρών και όχι τόσο στις κορυφές. Γίνονται αισθητές οι μεταβολές στον χρωματισμό του φυλλώματος των πεύκων από σκούρο πράσινο τους χειμερινούς μήνες σε κιτρινωπό πράσινο τους ανοιξιάτικους μήνες. Όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις έτσι και σε αυτήν φαίνεται ότι τα πεύκα δεν επηρεάζονται καθόλου αρνητικά από την χημική και ορυκτολογική σύσταση του εδάφους, η οποία αποτελείται από συνθήκες προχωρημένης οξείδωσης και πολύ υψηλές τιμές συγκέντρωσης Pb και Zn (Εικόνα 4.17).

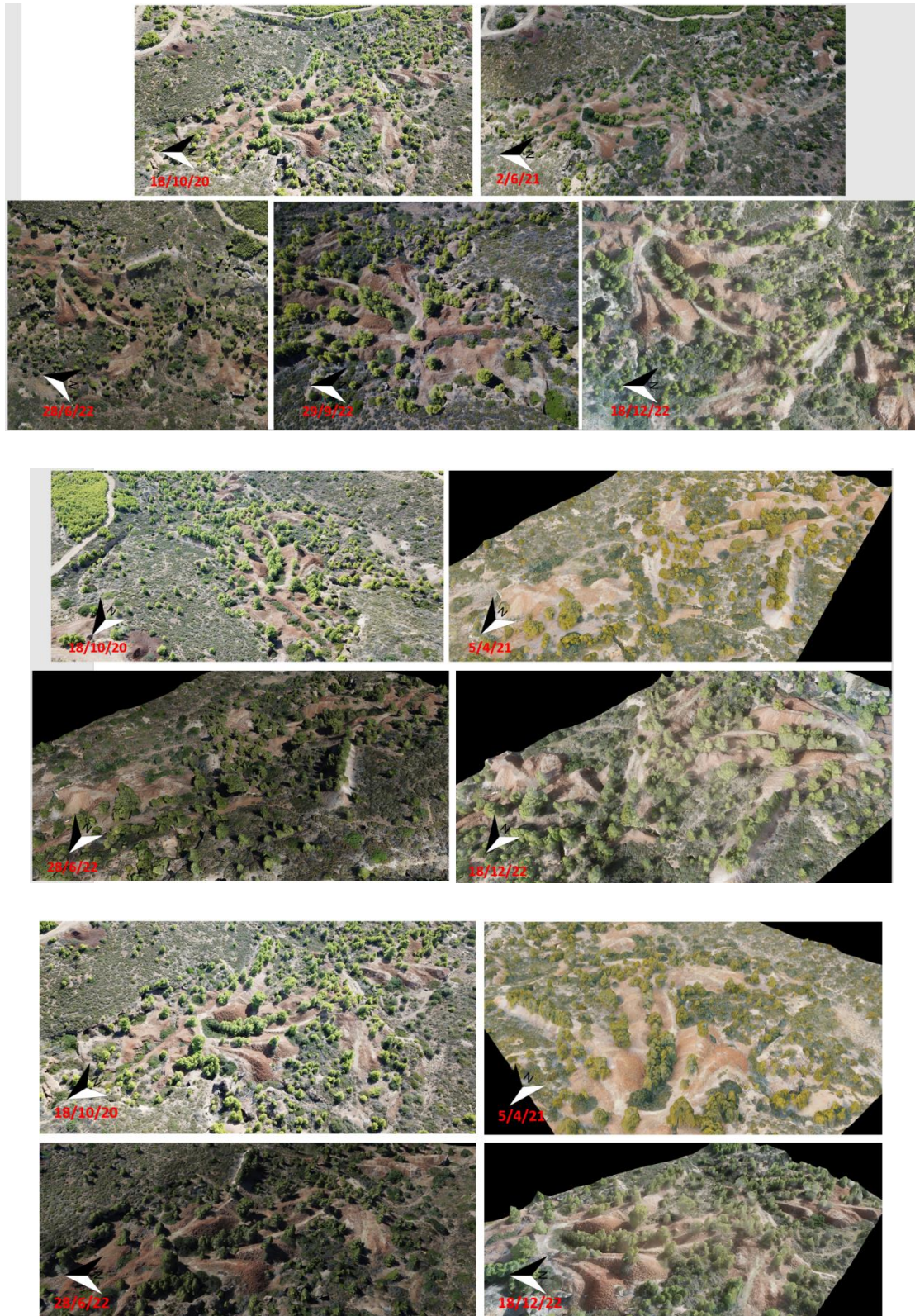


Εικόνα 4.16 Περιοχή «Αγ. Βαρβάρα». Άνω: περιγραφή του σωρού από Μυλωνά (2013) και κάτω: αεροφωτογραφία (drone) τον Οκτώβριο 2020.

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ			ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ				
Σιδηροπυρίτης	Γκαϊπίτης	Πλουμιογιοροσίτης	ΑΒΑ				
Ασβεστίτης	Αιματίτης	Μικτή Φάση Pb-Fe-P-S	Δείγμα	NNP (κα CaCO ₃ /t)	NPR		
Χαλαζίας	Σμιθσονίτης		AB345	49,35	1,42		
Δολομίτης	Κερουσίτης		Τροποποιημένη ΑΒΑ				
Σιδηρίτης	Γύψος		Δείγμα	NNP (κα CaCO ₃ /t)	NPR		
Ανκερίτης	Κοπιαπίτης		AB345	62,61	2,03		
Φθορίτης	Γιαροσίτης						
ΧΗΜΙΣΜΟΣ							
	As	Cd	Cu	Pb	Sb	Zn	S (θειούχα)
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
AB345	1116	185	4730	18552	142	28634	1,95
Τιμές Παρέμβασης	55	12	190	530	22	720	1,00

Εικόνα 4.17. Σύνοψη ορυκτολογικών και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών σωρών «Αγ. Βαρβάρας» από Μυλωνά (2013).

Από τα αποτελέσματα χημισμού προκύπτει ότι και σε αυτή την περίπτωση (As) βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις αγγίζοντας τα 1116 ppm. Υψηλές τιμές παρατηρούνται και στον (Pb) 18552 ppm όπως επίσης στον (Zn) 28634 ppm αλλά και στο (Mn) 3420 ppm. Τα καιρικά φαινόμενα φαίνεται να μην επηρεάζουν τόσο την περιοχή λόγω της έκτασης και της κλίσης (Εικόνα 4.18).

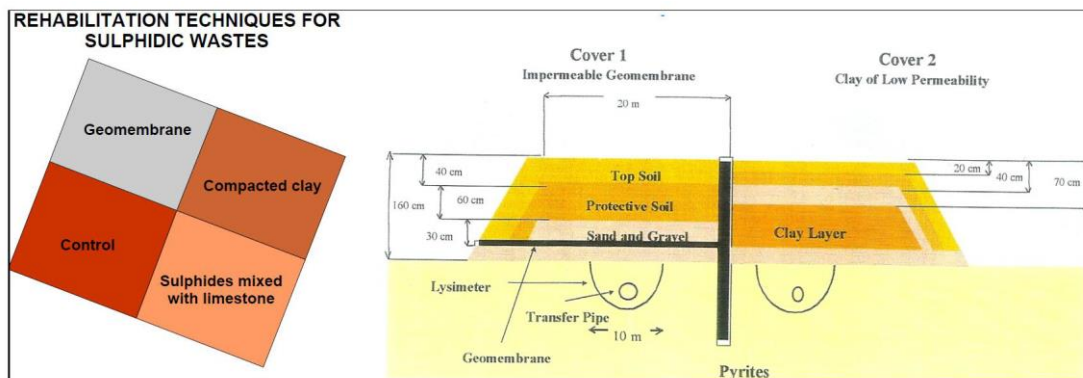


Εικόνα 4.18. Οπτικό υλικό που συλλέχθηκε ως εναέριες λήψεις με χρήση drone τύπου manivc pro της dji και drone deploy κατά το διάστημα Οκτωβρίου 2020- Δεκεμβρίου 2022 στην περιοχή «Αγ. Βαρβάρα».

4.1.6 Σωρός αποβλήτων Καβοδόκανου στο Λαύριο

Ο σωρός πυριτών του Καβοδόκανου καταλαμβάνει μία έκταση 40.000 m², και περιέχει περίπου 600.000 t απορριμμάτων κοκκομετρίας χαλίκων- άμμου με υψηλή περιεκτικότητα σε S (Εικόνα 4.19). Ο σωρός μελετήθηκε εκτενώς στο πλαίσιο του έργου LIFE που πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα 1994-1999 από το ΙΓΜΕ και το ΕΜΠ. Το έργο αυτό πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με διάφορους ερευνητικούς φορείς του εξωτερικού αλλά και τη συνδρομή του Δήμου Λαυρίου καθώς και άλλων κρατικών φορέων και αποτέλεσε μία φιλόδοξη προσπάθεια για το χαρακτηρισμό της ρυπασμένης γης στο Λαύριο και την εξέταση διαφόρων τεχνολογιών σταθεροποίησης-αποκατάστασης.

Η μελέτη επικινδυνότητας των θειούχων απορριμμάτων έδειξε ότι το σχήμα αποκατάστασης θα πρέπει να εξασφαλίζει την καταστολή της όξινης απορροής και τον περιορισμό της αέριας μεταφοράς των λεπτομερών σωματιδίων των απορριμμάτων. Τρεις τεχνικές εφαρμόστηκαν σε επιδεικτική κλίμακα στους πυρίτες Καβοδόκανου. Οι πιλοτικές αυτές τεχνικές περιλαμβάνουν δύο ξηρά καλύμματα (γεωμεμβράνη και άργιλο) και ένα με προσθήκη αλκαλικότητας που αποσκοπούσε σε αδρανοποίηση των θειούχων απορριμμάτων με προσθήκη ασβεστολιθικής άμμου. Οι τρεις διαφορετικές τεχνικές αποκατάστασης εφαρμόστηκαν σε μία έκταση 2.500 m², η οποία χωρίστηκε σε 4 ισομερή τμήματα (Εικόνα 4.19). Το ένα τμήμα διατηρήθηκε ως περιοχή ελέγχου (Control) και καλύφθηκε μόνο με έδαφος, ενώ στα υπόλοιπα τρία τμήματα εφαρμόστηκαν οι εναλλακτικές τεχνικές αποκατάστασης. Συγκεκριμένα: 1) Το πρώτο τμήμα καλύφθηκε με Συνθετική Γεωμεμβράνη (HDPE), η οποία λειτουργεί ως φράγμα στην διείσδυση νερού και οξυγόνου. 2) Το δεύτερο κάλυμμα περιλάμβανε τη χρήση ενός στρώματος συμπιεσμένης αργίλου (compacted clay) και 3) Η τρίτη λύση περιελάμβανε την προσθήκη ασβεστόλιθου σε ποσοστό 20% της στοιχειομετρικά απαιτούμενης ποσότητας για την εξουδετέρωση του αποβλήτου (Limestone mixing).



Εικόνα 4.19 Άνω: Καβοδόκανος αεροφωτογραφία (drone) ημερομηνία λήψης 28/-6/22

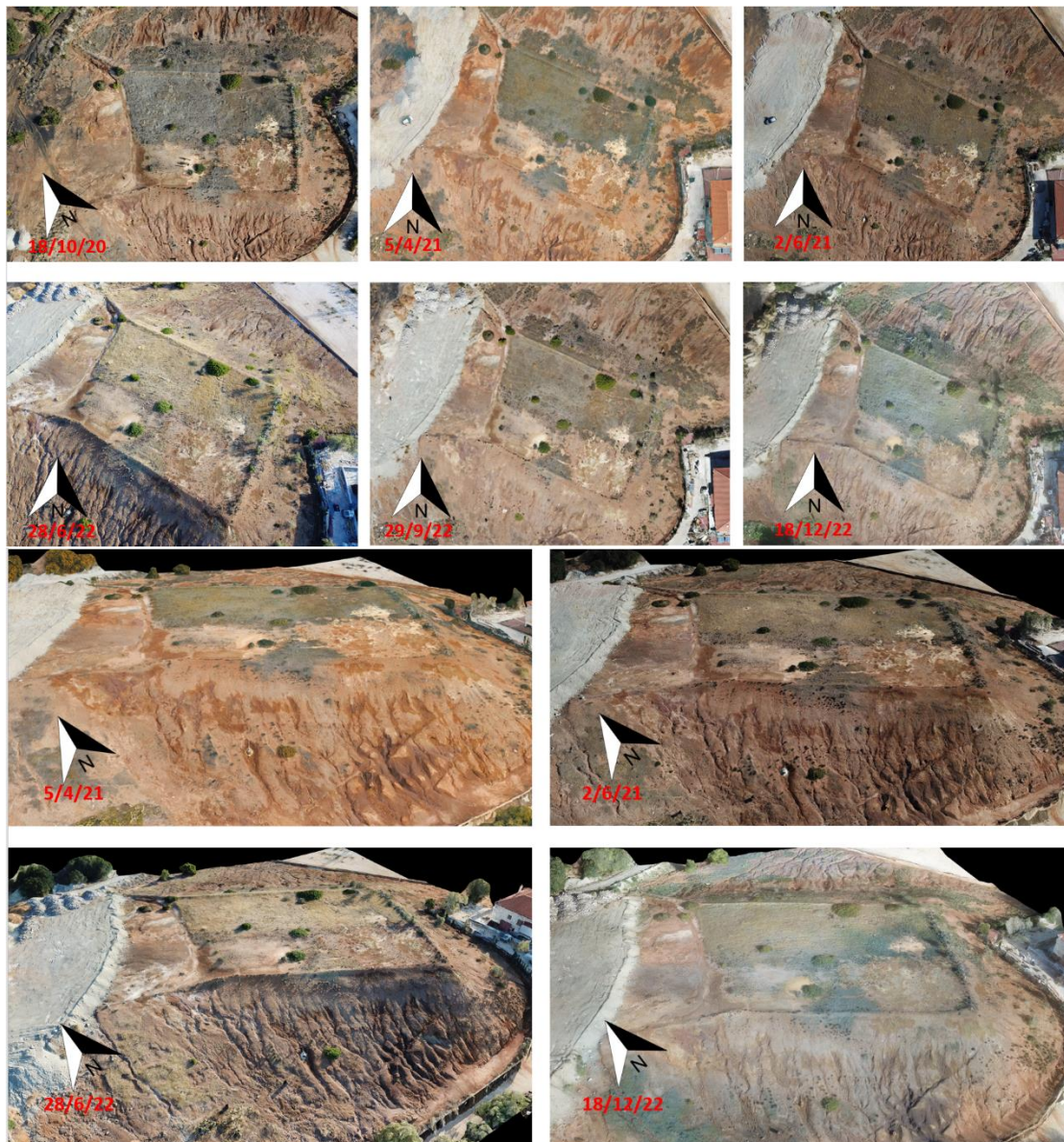
Κάτω: Σχεδιασμός αποκατάστασης θειούχων αποβλήτων στο σωρό (Life project 1990)

Ο στόχος αυτής της τεχνικής ήταν να προωθήσει τις αντιδράσεις οξείδωσης - εξουδετέρωσης γύρω από τα σωματίδια του σιδηροπυρίτη, ούτως ώστε να σχηματισθεί ένα αδιαπέρατο στρώμα ("hard pan") από δευτερογενή προϊόντα εξουδετέρωσης. Ακολούθως όλα τα τμήματα καλύφθηκαν με καθαρό έδαφος. Κάτω από τα 4 τμήματα κατασκευάστηκαν ειδικά λυσίμετρα για την μέτρηση της ποσότητας των νερών κατείσδυσης και τον έλεγχο της ποιότητας.

Μετά από διετή περίοδο παρακολούθησης προέκυψε ότι τα δύο καλύμματα, με τη χρήση γεωμεμβράνης και στρώματος συμπιεσμένης αργίλου, αποδείχτηκαν αποτελεσματικές τεχνικές καθότι σε όλο το χρόνο της παρακολούθησης του έργου η αποστράγγιση νερών και στις δύο περιοχές ήταν ουσιαστικά μηδενική, παρέχοντας αποτελεσματικό φραγμό στη διείσδυση του νερού της βροχής, εμποδίζοντας έτσι την παραγωγή των όξινων υδάτων και την μετανάστευση των ρύπων. Το κάλυμμα γεωμεμβράνης λειτούργησε αποτελεσματικά ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία αποστράγγιση νερών στην συγκεκριμένη περιοχή.

Στο τμήμα όπου κατασκευάστηκε το στρώμα της συμπιεσμένης αργίλου παρατηρήθηκε κατά την έναρξη της δεύτερης υγρής περιόδου αποστράγγιση νερών, η οποία αντιστοιχεί στο 5% περίπου του συνολικού όγκου κατακρημνισμάτων που κατεισδύουν στην περιοχή ελέγχου. Η αποστράγγιση αυτή αποδόθηκε στην αφυδάτωση του αργιλικού στρώματος κατά την ξηρή θερινή περίοδο. Η συνεκτικότητα του αργιλικού στρώματος αποκαταστάθηκε μετά από τις πρώτες βροχοπτώσεις του φθινοπώρου. Τέλος, η προσθήκη ασβεστόλιθου είχε ως αρχικό αποτέλεσμα την αύξηση της διαπερατότητας του υλικού και του όγκου των υδάτων που κατείσδυσαν τα πρώτα δύο χρόνια. Ως προς τα οικονομικά στοιχεία εφαρμογής των μεθόδων η εφαρμογή καλύμματος γεωμεμβράνης αποτελεί την πιο δαπανηρή τεχνική, ενώ η χρήση φράγματος αργίλου την πιο οικονομική.

Η ορυκτολογία και ο χημισμός του επιφανειακού καλύμματος του σωρού μελετήθηκαν πρόσφατα στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας ΠΜΣ (Ibrahim, 2021). Βρέθηκε ότι η ορυκτολογία σήμερα, μετά περίπου από 25 χρόνια από το αρχικό δοκιμαστικό έργο αποκατάστασης αποτελείται κυρίως από μαζικά πεπλατυσμένα αργιλοπυριτικά ορυκτά που επικαλύπτονται από κοινά λεπτά ιζήματα οξειδίων σιδήρου, υδροξειδίων, οξυϋδροθεικών αλάτων και θεικών αλάτων μετάλλων με μορφή επανθιμάτων (Ibrahim, 2021). Όσον αφορά τα αποτελέσματα του χημισμού, οι συγκεντρώσεις των τοξικών στοιχείων στο επιφανειακό κάλυμμα διαφέρουν από το ένα τεταρτημόριο στο άλλο. Οι μέγιστες τιμές των Pb, Cd, Zn, Cu και As που μετρήθηκαν μετά από διαλυτοποίηση με βασιλικό ύδωρ είναι >10000, 12, 4930, 542, 4010 mg/kg αντίστοιχα.



Εικόνα 4.20. Οπτικό υλικό που συλλέχθηκε ως εναέριες λήψεις με χρήση drone τύπου mavic pro της dji και drone deploy κατά το διάστημα Οκτωβρίου 2020- Δεκεμβρίου 2022 στην περιοχή «Καβοδόκανος».

Ο σωρός απορριμμάτων Καβοδόκανου χαρακτηρίζεται από απουσία δένδρων. Ο μόνος τύπος βλάστησης που παρατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια των 2 ετών είναι ελάχιστοι θάμνοι (σχοίνος) και χαμηλή ποώδης βλάστηση που εκτείνεται μόνο στην επιφάνεια των δύο τύπων καλύμματος του αποβλήτου, αυτό της γεωμεμβράνης και της συμπαγοποιημένης αργίλου.

Οι εποχιακές μεταβολές σε συνδυασμό με το χημισμό του σωρού φαίνεται να επιδρά τόσο στο έδαφος όσο και στα φυτά. Αρχικά το χρώμα του εδάφους διαφέρει εποχιακά από πορτοκαλί σε σκούρο καφέ όπως επίσης και το φύλλωμα της ποώδους βλάστησης από πράσινο σε κίτρινο. Παρατηρώντας το φωτογραφικό υλικό και των 6 ημερομηνιών παρατηρούνται διαφορές από ανθρώπινη παρέμβαση επιχώσεων, χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα στη φωτογραφία με ημερομηνία 18/10/20 σε σύγκριση με της υπόλοιπες ημερομηνίες. Λόγω του χημισμού του σωρού παρατηρείται επιφανειακά καθίζηση αλάτων κατά τον μήνα Ιούνιο και στα δυο έτη, δημιουργώντας λευκές επιφάνειες και λωρίδες διάβρωσης λόγω της απορροής του βρόχινου νερού της (Εικόνα 4.20).

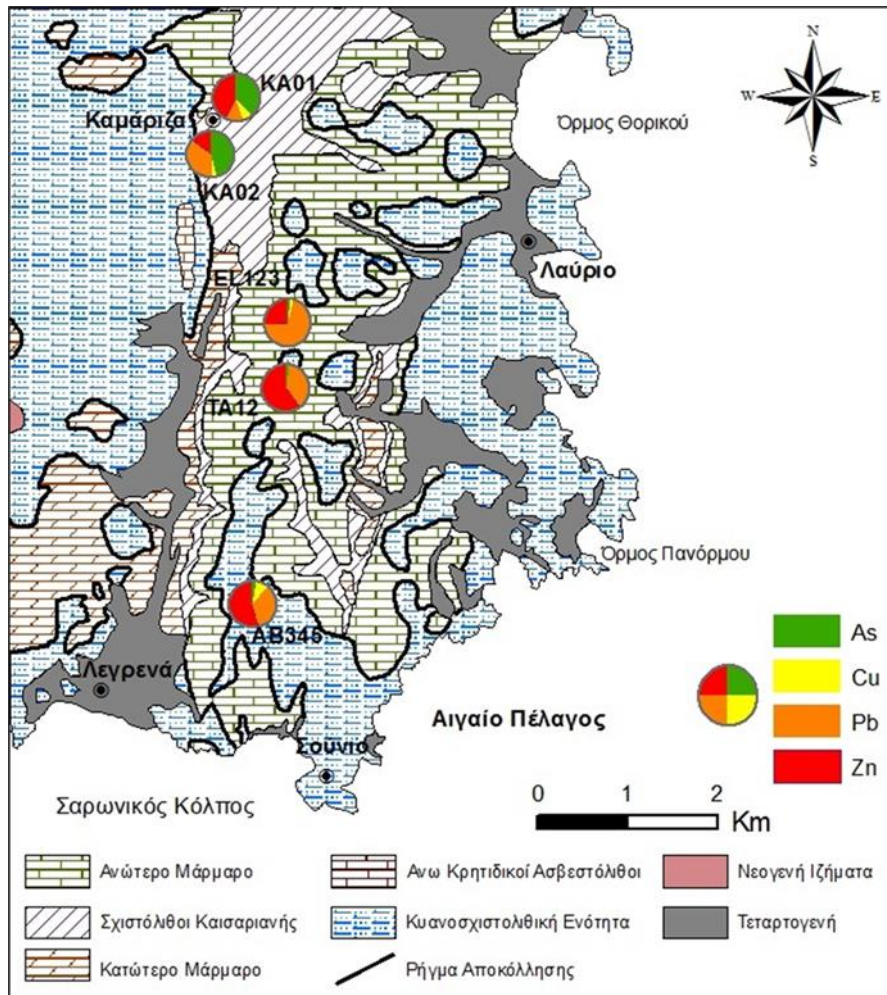
Ο μετεωρολογικός σταθμός τις Λαυρεωτικής έχει καταγράψει για την ημερομηνία 5/4/21 μέση θερμοκρασία 15,3 °C και βροχόπτωση 0,4mm και για την προηγούμενη ημέρα 4/4/21 μέση θερμοκρασία 17,5 °C και βροχόπτωση 0,2mm, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. Όσον αφορά την ημερομηνία 28/6/22 έχει καταγραφεί μηδενικό ύψος βροχής καθ' όλη τη διάρκεια του μήνα Ιουνίου εκτός από της 11/6/22 με ποσότητα 15,4mm. Και η μέση θερμοκρασία για 28/6/22 ήταν 27,3°C.

4.2 Συζήτηση αποτελεσμάτων- σχέση αποβλήτων και περιβάλλουσας βλάστησης

Η οπτικοποίηση των σωρών εποχιακά από αέρος έδωσε μία καλή εικόνα της παρούσας κατάστασης και έκτασής τους. Η Λαυρεωτική είναι γενικά μία ημίξηρη περιοχή ωστόσο έχει πλούσια χλωρίδα με είδη όπως η μαύρη πεύκη και τα φρύγανα που είναι χαρακτηριστικά των Μεσογειακών περιοχών. Η βλάστηση γύρω από τους σωρούς μεταλλευτικών αποβλήτων κατά τη διάρκεια του έτους δεν φαίνεται να μεταβάλλει τα όριά της.

Στην περίπτωση των πευκόφυτων περιοχών, εντός του Δρυμού δεν φαίνεται να υπάρχουν διαφορές ανάλογα με τον χημισμό των αποβλήτων. Στην Εικόνα 4.21 παρατηρούμε ότι το περιεχόμενο δυνητικά τοξικών στοιχείων, τα οποία όπως παρουσιάστηκε στις προηγούμενες παραγράφους έχουν εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις, μεταβάλλεται ως προς την αναλογία στοιχείων. Έτσι το As στην περιοχή της Καμάριζας επικρατεί αναλογικά. Στην Έλαφο επικρατεί ο Pb, ενώ στην Αγ. Τριάδα και την Αγ. Βαρβάρα επικρατεί ο Zn. Παρά τις διαφορές αυτές, η πυκνότητα της βλάστησης σε όλες τις περιοχές δεν διαφέρει αισθητά. Από αυτές τις

παρατηρήσεις συνάγεται ότι η μαύρη πεύκη είναι ένα ιδιαίτερα ανθεκτικό είδος σε υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στο έδαφος, γι' αυτό το λόγο μάλιστα χρησιμοποιείται ευρέως σε περιοχές αποκατάστασης παλαιών εκμεταλλεύσεων ανά τον κόσμο (Kharazian et al. 2022, Kharatian et al. 2023).



Εικόνα 4.21. Μεταβολή της αναλογίας των δυνητικά τοξικών στοιχείων στους υπό μελέτη σωρούς αποβλήτων της Λαυρεωτικής, από Μυλωνά (2013).

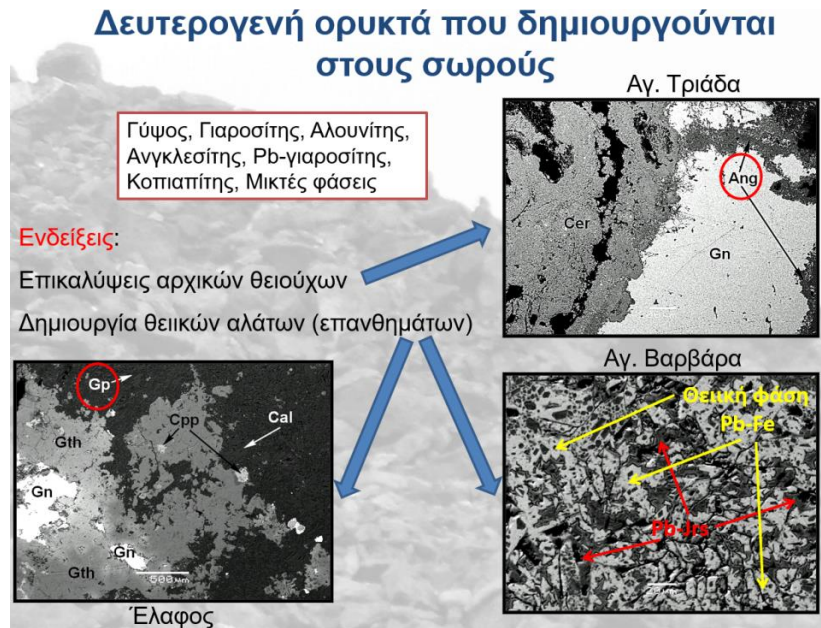
Αντίθετα στην περιοχή του Καβοδόκανου δεν παρατηρήθηκε φυτοκάλυψη πεύκων. Μία χαρακτηριστική διαφορά στην περιοχή αυτή είναι ο τύπος του αποβλήτου. Στον Καβοδόκανο δεν έχουμε σωρό στείρου υλικού εξόρυξης αλλά λεπτόκοκκο τέλμα από τον εμπλουτισμό του μεταλλεύματος πλούσιο σε σιδηροπυρίτη και αρσενοπυρίτη. Η ελάττωση της κοκκομετρίας οδηγεί σε αύξηση της ειδικής επιφάνειας και συνεπώς σε ευνοϊκότερες συνθήκες για την εξέλιξη των αντιδράσεων της όξινης απορροής που κινητοποιούν τα δυνητικά τοξικά στοιχεία κάνοντάς τα πιθανά πιο βιοδιαθέσιμα.

Παρ' όλο που γενικά δεν παρατηρούνται διαφορές στην δενδροκάλυψη, εντοπίζονται κάποιες διαφορές στην ποώδη βλάστηση, όπου αυτή διακρίνεται. Στον Πίνακα 3.1 σημειώνονται οι ημερομηνίες των πτήσεων που πραγματοποιήθηκαν και τα αντίστοιχα ύψη βροχής των βροχοπτώσεων κατά το προηγούμενο διάστημα. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να ερμηνεύσουν τις από αέρος παρατηρήσεις, καθώς παρατηρείται κίτρινο ή πράσινο χρώμα ανάλογα με την εποχή και το πόσο πρόσφατα έχει βρέξει.

Πίνακας 3.1. Ημερομηνίες πτήσης και ύψος βροχής τις ημέρες που προηγήθηκαν.

Ημερομηνία πτήσης	Τελευταία βροχόπτωση	Ύψος βροχής
18/10/20	13/10/20	0,2mm
05/04/21	01&04 /04/21	0,4mm & 0,2mm
02/06/21	24/04/21 & 05/21	15,6mm & 0mm
28/06/22	11/06/22	15,4mm
29/09/22	22/09/22	1,0mm
18/12/22	11/12/22	13,6mm

Η βροχόπτωση έχει επίσης άμεση σχέση με τη δημιουργία δευτερογενών ορυκτών που δημιουργούνται μέσω της αλληλεπίδρασης των αποβλήτων με το βρόχινο νερό. Τα ορυκτά αυτά, όπως έχουν περιγραφεί και στις δύο προηγούμενες διπλωματικές εργασίες (Μυλωνάς 2013 και Imbrahim 2021), μπορεί να είναι πιο σταθερές φάσεις θειϊκών ορυκτών όπως π.χ. ανγκλεσίτης ($PbSO_4$) ή οξυδροξειδία του σιδήρου όπως ο γκαιτίτης ($FeOOH$), είτε πιο ευδιάλυτα ένυδρα θειϊκά άλατα σε μορφή επανθημάτων (π.χ. κοπιαπίτης, μελαντερίτης) (Εικόνα 4.21). Στην περιοχή του Καβοδόκανου τα επανθήματα έχουν έντονο λευκό χρώμα, δημιουργούνται τις πιο ξηρές περιόδους λόγω εξάτμισης και δημιουργούν τις έντονες λευκές χρώσεις στις από αέρος εικόνες. Η μακροσκοπική και μικροσκοπική τους δομή και σύσταση όπως έχουν αποδοθεί από τον Imbrahim (2021) παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.23.



Εικόνα 4.22 Μικροφωτογραφίες ηλεκτρονικής μικροσκοπίας από Μυλωνά (2013) που απεικονίζουν τη δημιουργία δευτερογενών θειικών κυρίως φάσεων σε άμεση σχέση με τα πρωτογενή σουλφίδια της μεταλλοφορίας στην περιοχή του Εθνικού Δρυμού Σουνίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή μελέτης διαθέτει ιδιαίτερα φυσικά, αισθητικά και ιστορικά χαρακτηριστικά και παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες ανάπτυξης σε διάφορους τομείς αλλά παράλληλα είναι μία περιοχή που έχει δεχθεί έντονες πιέσεις από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και συγκεκριμένα από τη μακρόχρονη μεταλλευτική εκμετάλλευση.

Στόχοι της παρούσας διπλωματικής ήταν η οπτική καταγραφή με drone συγκεκριμένων σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων εντός του Εθνικού Δρυμού Σουνίου και η οπτικοποίηση της σχέσης με την περιβάλλουσα βλάστηση. Επίσης, η μελέτη των εποχικών μεταβολών των σχέσεων των σωρών αποβλήτων και βλάστησης σε συνάρτηση με την μεταβολή μετεωρολογικών παραμέτρων και η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των οπτικοποιημένων παρατηρήσεων με τον χημισμό των σωρών αποβλήτων.

Στα πλαίσια εκπόνησής της εργασίας, έγινε ένας προκαταρτικός έλεγχος με καταγραφή drone και πράγματι φαίνεται ότι δίνει αποτελέσματα. Είναι μια εύχρηστη μεθοδολογία, την οποία σίγουρα κάποιος μπορεί να την χρησιμοποιήσει ή να την ακολουθήσει και να αποκτήσει πληροφορίες από αυτή την τεχνική. Να μελετήσει τις εποχιακές μεταβολές των σχέσεων σωρών και της βλάστησης και παράλληλα να παρατηρεί τις μετεωρολογικές παραμέτρους και να διακρίνει την ξηρή και την υγρή περίοδο.

Σίγουρα για να θεωρηθεί πλήρης η μελέτη χρειάζεται να γίνει σε μακροχρόνια διάρκεια και η αποκομιδή των αποτελεσμάτων να γίνεται σε μηνιαία βάση με πιο πυκνή παρατήρηση χρονικά, στην οποία αναμένεται να φανούν μεγαλύτερες διαφορές. Στην παρούσα εργασία λόγω της πανδημίας (covid-19) και της απαγόρευσης της κυκλοφορίας κατέστη δύσκολη και σχεδόν αδύνατη η συλλογή των αποτελεσμάτων.

Επίσης είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας δεν έχουν αξιοποιηθεί με ποσοτικό τρόπο. Για την επίτευξη αυτού το στόχου απαιτείται η σύνταξη συγκριτικών χαρτών με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Τα ήδη υπάρχοντα αποτελέσματα μπορούν να

αξιοποιηθούν με την χρήση του λογισμικού προγράμματος ArcGis έτσι ώστε να γίνει η σύγκριση με περισσότερη ακρίβεια δημιουργώντας χάρτες για την εκτίμηση εποχικών μεταβολών. Όπως επίσης και το λογισμικό Agi Soft της Metashape για την δημιουργία 3D εικόνων δημιουργώντας ένα πλέγμα από σημεία. Τέλος τα πολυχρόνια σύνολα δεδομένων μπορούν να αναλυθούν και μέσω λογισμικού (GEOBIA) για την διαφοροποίηση των ειδών βλάστησης.

Η σύγκριση των διαφορετικών χρονικών περιόδων απαιτεί μεγάλους χρόνους επεξεργασίας καθώς και πακέτα λογισμικών γεωγραφικών πληροφοριών για να ποσοτικοποιηθεί η θέση και το μέγεθος της παραμόρφωσης. (Vassilakis et al., 2019)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη Βιβλιογραφία

- Alloway B.J., (1995). Heavy metals in Soils. Second Edition. Blackie Academic and Professional, London.
- Andreadakis E, Diakakis M, Nikolopoulos E, Vassilakis E, Spyrou N-I. Estimation of flash flood peak discharge using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-derived imagery. The case of the 2017, Mandra flood in Greece. EGU General Assembly
- Antoniadis V. and McKinley J.D., (2003). Measuring heavy metal migration rates in a low-permeability soil, Environmental Chemistry, 1(1), pp. 103-106.
- Baker A.J.M. (1981). Accumulators and excluders, strategies in the response of plants to heavy metals. Journal of plant Nutrition, 3 (1-4), pp. 643- 654.
- Bonsall, T. A., Spry, P. G., Voudouris, P. C., Tombros, S., Seymour, K. S., & Melfos, V. (2011). The Geochemistry of Carbonate-Replacement Pb-Zn-Ag Mineralization in the Lavrion District, Attica, Greece: Fluid Inclusion, Stable Isotope, and Rare Earth Element Studies. Economic Geology, 106(4), 619–651. doi:10.2113/econgeo.106.4.619
- Boyle R.W. and Jonasson I.R. (1984). The Geochemistry of Antimony and its Use as an Indicator Element in Geochemical Prospecting, Journal of Geochemical Exploration, 20, 223-302.
- Christie, K. S., Gilbert, S. L., Brown, C. L., Hatfield, M., & Hanson, L. (2016). Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology. Frontiers in Ecology and the Environment, 14(5), 241–251. doi:10.1002/fee.1281
- Chrysafis I, Christopoulou A, Kazanis D, Farangitakis G-P, Mallinis G, Mitsopoulos I, Arianoutsou M, Vassilakis E, Antoniou V, Theofanous N, et al. Post-fire vegetation recovery mapping using multi-temporal Sentinel-2A imagery in Chios island, Greece. EGU 2018-7452 [Internet]. 2018.
- Demetriades, A. (Editor), (1999). LIFE Program Contract No: 93/GR/A14/GR/4576, Soil rehabilitation in the Municipality of Lavrion. Geochemical atlas of the Lavrion urban area for environmental protection and planning. Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens.
- Demetriades, A. (Editor), 1999: LIFE Program Contract No: 93/GR/A14/GR/4576, Soil reha-bilitation in the Municipality of Lavrion. Geochemical atlas of the Lavrion urban area for environmental protection and planning. Institute of Geology and Mineral Explora-tion, Athens.
- Hassanalian, M., & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: A Review. Progress in Aerospace Sciences, 91, 99-131. doi:10.1016/j.paerosci.2017.04.003
- Ibrahim, K. (2021). Long term effectiveness of in-situ trace metal stabilization in the “Kavodokanos” waste pile, Lavrion Greece. Διπλωματική εργασία ΠΜΣ Επιστήμες Γης και Περιβάλλον, ΕΚΠΑ, Αθήνα.

- Kabata-Pendias A. and Pendias H., (1992). Trace elements in Soils and Plants. 2nd edition. CRC Press Inc., Boca Raton, Ann Arbor, London.
- Karantanellis E, Marinos V, Vassilakis E, Christaras B. Object-Based Analysis Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Site-Specific Landslide Assessment. Remote Sensing [Internet]. 2020;12:1711. <https://doi.org/10.3390/rs12111711>
- Karantanellis E, Marinos V, Vassilakis E, Hölbling D. Evaluation of Machine Learning Algorithms for Object-Based Mapping of Landslide Zones Using UAV Data. Geosciences [Internet]. 2021;11(8):305. <https://doi.org/10.3390/geosciences11080305>
- Kharazian, P., Bacchetta, G., Cappai, G., Piredda, M., De Giudici, G. (2023). An integrated geochemical and mineralogical investigation on soil-plant system of *Pinus halepensis* pioneer tree growing on heavy metal polluted mine tailing, Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 157:2, 272-285, DOI: 10.1080/11263504.2022.2100502
- Kharazian, P., Fernández-Ondoño, E., Jiménez, M.N., Sierra Aragón, M., Aguirre-Arcos, A., Bacchetta, G., Cappai, G., De Giudici, G. (2022). *Pinus halepensis* in Contaminated Mining Sites: Study of the Transfer of Metals in the Plant–Soil System Using the BCR Procedure. Toxics, 10, 728. <https://doi.org/10.3390/toxics10120728>
- Lazogiannis K, Vassilakis E, Poulos S, Kotsopoulos S, Alexopoulos J, Alamanis N, Papageorgiou G. UAS-SfM as a Cost-Effective Tool for Coastal Monitoring and Management. 1st International Scientific Conference on Design and Management of Port Coastal and Offshore Works [Internet]. 2019;1:135-139.
- Lincoln R., Boxshall G., Clark P., (1998). A dictionary of Ecology. Evolution and Systematics, Second ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 361.
- Macauley, M. & Brennan, T. (2016). Data from Drones: A New Way to See the Natural World. Ανακτήθηκε από <https://www.resources.org/archives/data-from-drones-a-new-way-to-see-the-natural-world/>
- Mishra, P. K., & Rai, A. (2020). Role of unmanned aerial systems for Natural Resource Management. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 49(3), 671-679. doi:10.1007/s12524-020-01230-4
- NTUA. (1999). Soil Rehabilitation in The Municipality of Lavion. LIFE Program Contract No: 93/GR/A14/GR/4576. Vol. 3., Athens.
- NTUA. (1999). Soil Rehabilitation in The Municipality of Lavion. LIFE Program Contract No: 93/GR/A14/GR/4576. Vol. 3., Athens.
- Rowell D.L., 1994. Soil Science: Methods and Applications. Harlow: Longman Scientific & Technical.
- Shahmoradi, J., Talebi, E., Roghanchi, P., & Hassanalain, M. (2020). A comprehensive review of applications of drone technology in the mining industry. Drones, 4(3), 34. doi:10.3390/drones4030034
- Skarpelis, N. & Argyraki, A. (2009). Geology and origin of supergene ore at the lavrion pb-ag-zn deposit, Attica, Greece. Resource Geology, 59(1), 1–14. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2008.00076.x>.

- Skarpelis, N. (2007). The Lavrion deposit: Geology, mineralogy and minor elements chemistry. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen* 183(3), 227-249. DOI:10.1127/0077-7757/2007/0067
- Vassilakis E, Foumelis M, Erkeki A, Kotsi E, Parcharidis I, Lekkas E. Multitemporal Surface Deformation Analysis of Amyntaio Slide (Greece) using Remotely Piloted Airborne System and Structure-from-Motion photogrammetry. 4th Joint International Symposium on Deformation Monitoring [Internet]. 2019

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αργυροπούλου, Ε. (2014). Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε ποώδη φυτά της Λαυρεωτικής. Πτυχιακή Εργασία Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ, Αθήνα.
- Δημητριάδης, Α., Βέργου, Α. & Βλαχογιάννης, Ν. (2000). Η ρύπανση της Λαυρεωτικής Χερσονήσου και του αστικού περιβάλλοντος του Λαυρίου από τα μεταλλευτικά – μεταλλουργικά απορρίμματα και οι επιπτώσεις στην υγεία του τοπικού πληθυσμού. Πρακτικά της 9ης Επιστημονικής Συνάντησης Νοτιοανατολικής Αττικής, Λαύριον. Εταιρεία Μελετών Λαυρεωτικής, Καλύβια Θορικού Αττικής.
- Δημητριάδης, Α. Βέργου, Αικ., Τσόμπος, Π. και Στεφούλη, Μ., (2004). Η χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων της ρύπανσης της Λαυρεωτικής Χερσονήσου στο σχεδιασμό χρήσεων γης. «Πρακτικά της 1^{ης} Επιστημονικής Συνάντησης ΝΑ Αττικής» Καλύβια Θορικού (28 Νοεμβρίου - 1 Δεκεμβρίου 2002). Εταιρεία Μελετών Νοτιοανατολικής Αττικής, Καλύβια Θορικού Αττικής, σελ. 149-177.
- Ζερλέντης Κ., (1980). Συστηματική Βοτανική, ΑΓΣΑ, Αθήνα.
- Κονοφάγος Κ. (1980). Το Αρχαίο Λαύριο και η Ελληνική Τεχνική Παραγωγής του Αργύρου, Εκδοτική Ελλάδος, Αθήνα, 458 σ.
- Μουμουλίδης, Ν., Καμπιτάκης, Μ. & Νάκου, Γ. (2008). Διασύνδεση Κυκλάδων – Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Τερματικών Εγκαταστάσεων 400/150kV ΚΥΤ Λαυρίου. Αθήνα: ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΝΕΩΝ ΕΡΓΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.
- Παιδαγωγική Ομάδα του ΚΠΕ Λαυρίου (2008). Το δάσος έχει τη δική του ιστορία. Ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα περιβαλλοντικής εκπαίδευσης για τον Εθνικό Δρυμό Σουνίου. Λαύριο: Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Λαυρίου.
- Σφήκας Γ. (1995). Δέντρα και θάμνοι της Ελλάδας. Αθήνα: Εκδ. Παπασωτηρίου.

Ιστοσελίδες

- EraNET (1998). Το φρέαρ Serpieri. Ανακτήθηκε από <http://www.eranet.gr/lavrio/html/gfserp.html>
- Lavreotiki Geopark (2022). Οικοσυστήματα & Προστατευόμενες περιοχές. Ανακτήθηκε από <https://geoparklavreotiki.gr/xlorida-lavreotiki/>

- Lavriaki.gr (2011). Τα Λαυρεωτικά. Ανακτήθηκε από <https://www.lavriaki.gr/2011/07/23/ta-layreotika/>
- UNESCO (2023). International Geoscience and Geoparks Programme <https://www.unesco.org/en/iggp/geoparks/about>
- Ανδρίκου, Ε. (2012). Σούριζα (Δρυμός) στη Λαυρεωτική. Ανακτήθηκε από http://odysseus.culture.gr/h/3/gh351.jsp?obj_id=21005
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, (2016). ΛΑΥΡΙΟ και ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ. Ανακτήθηκε από https://www.oryktosploutos.net/wp-content/uploads/2016/03/02_LAV_1.pdf

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Μετεωρολογικά δεδομένα των περιόδων υπαίθριας εργασίας
(Πηγή δεδομένων meteo.gr)**

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for OCT. 2020

NAME: lavrio CITY: STATE:
ELEV: 3 m LAT: 37° 42' 00" N LONG: 24° 06' 00" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN		TIME	LOW	TIME	HEAT	COOL	RAIN	AVG		TIME	DOM DIR
	TEMP	HIGH				DEG	DEG		WIND	HIGH		
1	21.9	26.8	13:50	17.8	7:30	0.1	3.7	0.0	6.3	35.4	16:40	S
2	22.1	25.9	14:20	17.8	5:20	0.1	3.8	0.0	6.0	27.4	13:30	W
3	23.6	27.8	15:50	20.6	5:50	0.0	5.3	0.0	5.0	24.1	16:20	SW
4	23.9	26.8	15:00	21.3	7:30	0.0	5.6	0.0	6.0	27.4	13:00	SE
5	24.3	28.4	12:20	20.9	5:40	0.0	6.0	0.0	4.0	22.5	12:00	SW
6	24.2	27.8	15:20	21.0	6:20	0.0	5.9	0.0	4.5	22.5	14:20	NNE
7	26.1	33.1	12:30	22.3	6:10	0.0	7.8	0.0	7.6	37.0	18:30	SSE
8	24.8	28.0	16:40	21.6	00:00	0.0	6.4	0.2	10.9	35.4	11:10	WSW
9	21.3	24.4	15:20	18.1	6:40	0.0	2.9	0.0	5.8	24.1	2:30	WNW
10	20.9	25.2	15:30	16.5	7:30	0.4	2.9	0.0	4.3	22.5	15:10	WNW
11	21.7	25.2	17:00	17.4	7:50	0.1	3.4	0.0	5.5	29.0	16:30	WSW
12	22.5	26.5	13:40	17.9	7:00	0.1	4.2	0.0	10.8	41.8	20:40	SSE
13	23.8	25.9	13:00	20.9	23:10	0.0	5.4	0.2	16.6	51.5	7:10	S
14	22.1	26.3	15:50	18.0	6:10	0.0	3.7	0.0	6.8	30.6	11:30	S
15	21.4	25.7	14:10	16.3	7:40	0.2	3.4	0.0	6.4	30.6	14:50	WSW
16	22.4	25.5	15:20	18.5	4:40	0.0	4.1	0.0	8.2	35.4	14:20	SSE
17	24.2	27.0	15:40	20.7	23:20	0.0	5.9	0.0	5.5	27.4	5:20	S
18	21.5	24.4	14:00	17.5	7:20	0.1	3.2	0.0	6.3	25.7	12:40	WSW
19	20.1	21.8	10:50	18.9	00:00	0.0	1.8	0.0	15.9	48.3	19:30	NNW
20	19.5	21.4	14:00	17.7	00:00	0.0	1.2	0.0	21.7	51.5	22:20	N
21	19.2	21.4	15:00	17.2	2:00	0.2	0.9	0.0	19.3	59.5	9:30	NW
22	20.6	22.5	14:30	18.8	7:10	0.0	2.2	0.0	16.3	45.1	14:50	NW
23	21.0	24.6	14:30	17.9	00:00	0.0	2.7	0.0	9.5	32.2	1:20	NW
24	19.9	25.7	17:40	14.4	7:00	0.9	2.6	0.0	4.0	22.5	15:10	WSW
25	21.3	26.4	14:30	17.3	5:30	0.2	3.2	0.0	5.3	22.5	13:20	WSW
26	19.2	23.2	14:30	15.3	5:40	0.8	1.6	0.0	4.0	20.9	11:00	WSW
27	18.7	23.8	12:50	14.9	7:10	1.2	1.6	0.0	5.0	25.7	13:20	WSW
28	18.1	21.1	14:10	15.0	1:40	0.9	0.6	13.4	11.9	54.7	7:50	SSE
29	19.1	21.7	14:20	16.9	00:00	0.3	1.1	9.2	9.5	38.6	13:00	NW
30	18.8	22.4	13:40	14.8	3:50	0.9	1.4	0.0	5.1	29.0	18:40	NNE
31	18.4	21.2	13:10	14.6	23:20	0.7	0.8	0.0	9.0	30.6	11:00	NW
	21.5	33.1	7	14.4	24	7.0	105.4	23.0	8.5	59.5	21	SSE

Max >= 32.0: 1

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 0

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 13.41 ON 28/10/20

Days of Rain: 4 (> .2 mm) 2 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for APR. 2021

NAME: Iavrio CITY: STATE:
 ELEV: 3 m LAT: 37° 42' 00" N LONG: 24° 06' 00" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN		TIME	LOW	TIME	HEAT	COOL	RAIN	AVG		TIME	DOM DIR
	TEMP	HIGH				DEG	DEG		WIND	SPEED		
1	11.4	13.4	11:30	9.2	00:00	6.9	0.0	0.4	16.6	61.2	2:10	N
2	13.2	19.4	14:00	5.8	7:20	5.2	0.1	0.0	6.4	30.6	14:50	S
3	17.2	23.1	13:20	12.4	0:30	1.6	0.5	0.0	11.4	38.6	21:50	WSW
4	17.5	20.8	15:30	15.1	6:10	1.2	0.4	0.2	15.0	45.1	15:00	SSE
5	15.3	18.5	0:10	13.2	22:40	3.1	0.0	0.4	10.3	33.8	13:20	N
6	16.0	19.9	18:10	13.0	5:30	2.4	0.2	0.2	10.8	32.2	11:40	N
7	17.1	21.1	14:30	13.2	5:00	1.7	0.5	0.0	11.6	38.6	15:00	S
8	13.9	19.6	12:20	9.2	23:40	4.4	0.0	0.0	16.7	62.8	18:10	N
9	10.7	13.3	13:20	8.3	8:10	7.6	0.0	0.0	17.2	41.8	2:30	N
10	11.7	15.1	13:30	8.5	6:10	6.7	0.0	0.0	8.5	27.4	12:50	W
11	11.9	17.1	15:20	6.1	6:50	6.4	0.0	0.0	5.5	20.9	14:10	ENE
12	13.6	18.2	13:50	7.5	7:10	4.8	0.0	0.0	6.8	25.7	14:50	W
13	15.4	19.4	13:00	11.2	6:20	2.9	0.1	0.0	7.4	32.2	14:20	SE
14	16.2	21.4	11:50	11.7	6:40	2.4	0.3	0.0	7.2	37.0	15:40	SSE
15	15.8	19.2	13:50	11.8	7:00	2.6	0.0	0.0	8.4	27.4	16:30	ENE
16	15.8	18.6	13:50	14.1	00:00	2.6	0.0	0.0	13.0	35.4	12:10	N
17	15.7	18.3	14:40	13.9	2:50	2.7	0.0	0.0	16.9	43.5	13:10	N
18	15.7	17.2	15:50	14.1	6:10	2.7	0.0	0.0	6.0	20.9	0:20	NNW
19	16.6	20.7	17:50	13.5	6:10	2.1	0.3	0.0	8.5	38.6	16:00	WSW
20	16.1	21.0	15:10	11.9	5:20	2.7	0.4	0.0	8.9	35.4	14:30	WSW
21	16.7	21.1	14:00	13.5	6:30	2.1	0.5	0.0	11.7	35.4	15:40	WSW
22	17.4	21.4	12:20	13.9	0:30	1.6	0.7	0.0	8.2	29.0	3:00	SE
23	17.7	22.1	16:30	13.3	5:40	1.5	0.8	0.0	7.9	29.0	12:40	SE
24	15.1	17.4	0:10	14.1	18:20	3.3	0.0	15.6	16.1	46.7	12:20	NNW
25	15.3	17.7	14:50	14.1	7:50	3.0	0.0	0.2	22.5	57.9	8:50	NNW
26	15.8	19.2	16:00	13.1	4:30	2.6	0.1	0.0	11.7	40.2	11:40	NW
27	16.6	20.2	14:50	13.3	0:10	2.0	0.3	0.0	9.5	41.8	17:20	SSE
28	18.9	22.1	14:40	15.1	6:40	0.8	1.4	0.2	9.5	45.1	20:10	SSE
29	18.9	21.7	14:30	15.4	5:30	0.6	1.1	0.0	5.3	22.5	11:50	N
30	20.5	26.3	14:20	15.8	5:50	0.5	2.7	0.0	6.4	32.2	16:10	SE

	15.6	26.3	30	5.8	2	90.6	10.1	17.2	10.7	62.8	8	N

Max >= 32.0: 0
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0

Max Rain: 15.60 ON 24/04/21

Days of Rain: 7 (> .2 mm) 1 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for MAY. 2021

NAME: lavrio CITY: STATE:
ELEV: 0 m LAT: LONG:

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN		HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND		DOM DIR
	TEMP	TEMP								SPEED	HIGH	
1	20.0	24.1	18:30	16.1	6:30	0.5	2.2	0.0	3.2	22.5	12:50	SSE
2	20.9	24.6	16:10	16.9	6:10	0.2	2.7	0.0	5.1	24.1	17:50	SE
3	23.9	29.1	10:40	18.0	4:50	0.0	5.6	0.0	5.1	19.3	2:20	N
4	22.2	26.1	13:20	19.6	21:50	0.0	3.8	0.0	10.9	41.8	11:30	N
5	20.4	28.6	13:50	15.3	6:40	0.6	2.7	0.0	7.2	35.4	14:00	SSE
6	22.2	26.6	15:20	18.3	00:00	0.0	3.8	0.0	7.7	30.6	5:40	WSW
7	21.3	26.7	18:00	15.8	6:10	0.3	3.4	0.0	7.2	29.0	12:00	SSE
8	21.9	26.1	12:00	19.4	3:00	0.0	3.6	0.0	9.7	32.2	23:40	NNE
9	19.2	21.0	13:00	17.4	6:30	0.2	1.0	0.0	24.9	57.9	10:30	N
10	18.4	20.6	16:20	16.3	5:50	0.6	0.6	0.0	28.3	67.6	10:40	N
11	19.3	22.6	13:10	16.6	6:40	0.3	1.2	0.0	18.2	53.1	17:00	N
12	19.9	23.3	13:20	17.2	4:00	0.2	1.7	0.0	9.2	29.0	13:40	SE
13	21.0	26.8	13:10	16.6	2:30	0.2	2.8	0.0	11.4	38.6	6:00	WSW
14	21.0	26.6	15:00	16.4	0:50	0.1	2.7	0.0	11.6	45.1	10:20	WSW
15	18.7	22.7	13:50	15.3	6:30	0.7	1.1	0.0	7.1	24.1	12:40	SE
16	19.8	25.6	14:30	16.1	6:30	0.4	1.8	0.0	8.9	35.4	16:10	S
17	22.0	26.9	12:40	18.8	6:40	0.0	3.7	0.0	12.6	43.5	2:20	W
18	24.0	30.1	15:30	19.1	5:00	0.0	5.7	0.0	10.1	37.0	8:40	W
19	21.1	25.7	13:20	17.6	4:10	0.1	2.8	0.0	8.2	33.8	15:20	SSE
20	22.6	26.9	14:40	18.6	1:40	0.0	4.3	0.0	13.0	48.3	11:30	W
21	19.6	22.4	12:30	17.2	6:20	0.1	1.4	0.0	13.7	46.7	11:50	W
22	19.4	23.5	15:20	15.1	5:40	0.7	1.8	0.0	7.9	33.8	13:50	SSE
23	20.9	25.2	15:30	15.8	6:10	0.3	2.9	0.0	5.1	22.5	12:30	E
24	22.1	27.2	16:10	16.9	6:00	0.2	3.9	0.0	7.1	30.6	11:30	NE
25	25.1	29.7	15:20	21.4	2:30	0.0	6.8	0.0	10.1	35.4	10:00	N
26	24.8	30.2	15:20	20.9	5:30	0.0	6.4	0.0	7.4	32.2	10:10	NNW
27	22.9	26.2	10:50	19.7	2:50	0.0	4.6	0.0	7.9	30.6	10:50	NNE
28	22.6	26.1	17:30	19.0	2:00	0.0	4.2	0.0	8.9	32.2	16:50	S
29	21.8	24.4	14:00	19.6	6:20	0.0	3.4	0.0	8.0	24.1	9:30	E
30	21.1	24.7	16:00	18.3	5:00	0.0	2.8	0.0	5.5	24.1	14:50	E
31	21.1	24.2	12:50	18.0	4:20	0.0	2.8	0.0	7.2	30.6	14:40	E

	21.3	30.2	26	15.1	22	5.6	98.2	0.0	10.0	67.6	10	N

Max >= 32.0:	0											
Max <= 0.0:	0											
Min <= 0.0:	0											
Min <= -18.0:	0											
Max Rain:	0.00 ON 01/05/21											
Days of Rain:	0 (> .2 mm) 0 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)											
Heat Base:	18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration											

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JUN. 2021

NAME: Iavrio CITY: STATE:
 ELEV: 3 m LAT: 37° 42' 00" N LONG: 24° 06' 00" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN		TIME	LOW	TIME	HEAT	COOL	RAIN	AVG		TIME	DOM DIR
	TEMP	HIGH				DEG	DEG		WIND	SPEED		
1	20.2	22.9	15:00	16.4	22:50	0.2	2.1	0.0	12.4	48.3	22:10	NNW
2	19.2	22.4	14:50	14.8	5:40	0.7	1.5	0.0	9.0	33.8	11:00	NE
3	20.3	24.7	15:10	15.3	6:10	0.6	2.5	0.0	5.5	24.1	15:40	W
4	21.4	24.1	12:00	17.6	4:40	0.1	3.1	0.0	11.6	37.0	12:50	NNE
5	21.8	24.9	12:50	19.2	5:40	0.0	3.5	0.0	9.3	29.0	17:30	N
6	22.4	26.3	14:40	17.0	6:30	0.1	4.1	0.0	8.7	32.2	15:40	SSE
7	24.4	28.4	17:50	20.0	2:30	0.0	6.1	0.0	7.7	30.6	15:50	S
8	23.2	25.9	15:40	20.8	4:50	0.0	4.8	0.0	9.7	25.7	13:40	NNE
9	23.2	26.2	13:10	20.7	23:20	0.0	4.9	0.0	13.7	40.2	12:40	NNW
10	23.9	27.4	12:20	20.6	1:30	0.0	5.6	0.0	9.5	33.8	11:10	W
11	23.7	27.1	14:30	19.4	6:20	0.0	5.4	0.0	6.9	29.0	10:20	NE
12	22.8	25.9	11:50	19.6	6:30	0.0	4.4	0.0	5.6	29.0	10:10	NE
13	22.9	26.7	14:50	18.2	5:00	0.0	4.6	0.0	7.6	27.4	16:20	SSE
14	20.9	23.0	17:50	16.5	7:50	0.1	2.7	9.0	8.5	43.5	6:40	N
15	19.6	22.7	15:50	16.1	6:10	0.6	1.8	2.2	11.1	35.4	14:10	W
16	22.9	28.7	15:10	18.4	0:50	0.0	4.6	0.0	8.9	37.0	17:10	W
17	23.4	28.1	14:00	18.5	5:10	0.0	5.1	0.0	8.0	32.2	17:00	SSE
18	23.7	28.3	14:40	18.8	6:10	0.0	5.4	0.0	7.6	33.8	16:20	SSE
19	25.2	29.2	13:20	21.2	6:30	0.0	6.9	0.0	6.0	24.1	15:10	E
20	25.3	29.1	13:20	21.7	5:50	0.0	6.9	0.0	5.6	25.7	13:30	E
21	25.2	29.1	14:30	21.7	5:40	0.0	6.8	0.0	7.2	30.6	18:00	SSE
22	26.7	30.8	17:10	22.9	6:10	0.0	8.4	0.0	9.0	29.0	11:20	SSE
23	27.1	31.3	16:10	23.7	6:10	0.0	8.8	0.0	5.6	27.4	11:00	NNE
24	28.2	31.1	12:50	25.6	5:50	0.0	9.9	0.0	5.6	30.6	11:10	E
25	29.6	34.3	15:20	24.8	6:00	0.0	11.2	0.0	5.6	22.5	15:00	ENE
26	29.8	36.6	15:20	25.5	6:10	0.0	11.5	0.0	6.1	33.8	18:20	E
27	29.0	33.3	12:20	26.5	3:40	0.0	10.7	0.0	8.0	33.8	12:50	NNE
28	29.4	33.2	13:40	25.7	4:10	0.0	11.1	0.0	10.3	35.4	10:20	NNE
29	29.8	33.7	14:30	25.3	5:10	0.0	11.5	0.0	7.7	27.4	11:30	NE
30	29.9	34.6	14:40	24.7	5:20	0.0	11.6	0.0	8.9	33.8	9:20	N

	24.5	36.6	26	14.8	2	2.2	187.4	11.2	8.2	48.3	1	NNE

Max >= 32.0: 6

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 0

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 8.99 ON 14/06/21

Days of Rain: 2 (> .2 mm) 2 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JUN. 2022

NAME: Iavrio CITY: STATE:
 ELEV: 3 m LAT: 37° 42' 40" N LONG: 24° 03' 21" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN		HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT	COOL	AVG		DOM	
	TEMP	TEMP					DEG	DEG	WIND	RAIN		SPEED
1	26.0	30.1	16:50	21.1	6:00	0.0	7.7	0.0	8.5	33.8	12:30	NNW
2	27.1	29.2	13:50	24.4	0:20	0.0	8.8	0.0	16.6	51.5	11:50	N
3	27.9	29.9	16:20	26.0	6:10	0.0	9.6	0.0	23.0	74.0	10:10	NNW
4	27.9	31.3	17:10	24.2	23:50	0.0	9.6	0.0	20.1	56.3	10:00	NNW
5	28.3	31.1	12:30	24.5	0:10	0.0	9.9	0.0	13.7	48.3	10:20	N
6	26.8	32.4	17:10	23.1	6:30	0.0	8.5	0.2	7.4	46.7	21:20	E
7	23.9	26.4	12:20	22.5	22:40	0.0	5.6	0.0	14.5	41.8	9:50	N
8	23.4	26.3	12:20	19.7	6:20	0.0	5.1	0.0	7.2	29.0	13:50	SSE
9	23.6	27.7	13:10	20.7	6:20	0.0	5.2	0.0	9.7	38.6	15:20	SSE
10	23.7	27.3	13:30	22.3	6:50	0.0	5.3	0.0	16.9	59.5	13:50	S
11	22.1	25.8	12:20	18.8	13:40	0.0	3.8	15.4	7.4	38.6	13:30	NNW
12	23.2	26.3	13:10	20.3	6:30	0.0	4.9	0.8	7.2	30.6	19:10	N
13	25.1	28.5	15:50	22.4	0:30	0.0	6.8	0.0	13.4	46.7	11:00	N
14	27.2	29.7	17:10	23.8	00:00	0.0	8.9	0.0	12.6	43.5	12:50	NNW
15	25.7	28.4	14:50	23.0	6:10	0.0	7.4	0.0	15.0	48.3	11:40	N
16	25.6	27.8	16:10	24.2	4:20	0.0	7.2	0.0	17.9	51.5	14:00	N
17	25.4	27.8	13:30	23.3	6:10	0.0	7.1	0.0	13.7	41.8	10:10	N
18	25.6	29.1	14:30	23.2	0:40	0.0	7.3	0.0	18.2	57.9	20:10	NNW
19	24.2	25.8	14:40	22.1	5:50	0.0	5.8	0.0	23.3	56.3	8:20	N
20	24.8	27.7	14:40	22.3	6:10	0.0	6.5	0.0	11.3	37.0	13:10	NNW
21	26.2	31.7	16:00	21.3	3:50	0.0	7.8	0.0	9.0	35.4	15:40	W
22	27.3	34.2	15:20	22.3	5:30	0.0	8.9	0.0	6.3	25.7	14:40	E
23	28.6	33.7	15:40	23.9	6:40	0.0	10.3	0.0	8.0	32.2	17:30	SSE
24	26.5	29.3	12:50	24.4	00:00	0.0	8.2	0.0	14.5	41.8	18:40	N
25	25.5	30.2	10:50	20.6	6:20	0.0	7.2	0.0	9.2	30.6	13:50	SSE
26	25.9	28.3	16:10	23.3	4:10	0.0	7.6	0.0	9.7	32.2	13:20	NE
27	26.1	28.8	15:50	22.7	3:10	0.0	7.7	0.0	10.5	32.2	10:30	N
28	27.3	31.4	13:50	23.8	2:00	0.0	8.9	0.0	12.7	43.5	17:10	N
29	27.3	29.2	16:40	25.0	6:30	0.0	8.9	0.0	15.0	45.1	15:10	N
30	28.1	31.2	14:00	24.9	6:30	0.0	9.8	0.0	12.4	45.1	15:40	N

	25.9	34.2	22	18.8	11	0.0	226.2	16.4	12.8	74.0	3	N

Max >= 32.0: 3
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 15.39 ON 11/06/22
 Days of Rain: 3 (> .2 mm) 1 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for SEP. 2022

NAME: lavrio CITY: STATE:
 ELEV: 3 m LAT: 37° 42' 40" N LONG: 24° 03' 21" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	26.8	30.1	15:40	22.9	7:10	0.0	8.5	0.0	6.1	25.7	10:30	NE
2	26.8	30.6	15:30	23.8	6:00	0.0	8.4	0.0	7.6	29.0	12:20	SE
3	26.8	29.9	16:00	24.4	3:00	0.0	8.4	0.0	7.7	27.4	10:50	ENE
4	27.0	29.9	12:50	24.6	5:00	0.0	8.7	0.0	11.3	35.4	11:50	NNE
5	25.2	26.8	12:40	24.1	21:20	0.0	6.8	0.0	22.2	61.2	23:00	N
6	24.0	25.5	15:20	22.6	7:00	0.0	5.7	0.0	27.2	64.4	0:20	N
7	24.2	26.3	14:00	22.9	6:40	0.0	5.9	0.0	24.9	66.0	9:10	N
8	24.9	27.4	15:00	23.1	4:00	0.0	6.6	0.0	20.3	56.3	11:10	N
9	26.0	30.2	12:20	21.8	6:10	0.0	7.7	0.0	8.5	27.4	14:20	NNW
10	27.1	34.1	14:40	22.9	2:20	0.0	8.8	0.0	5.6	32.2	15:00	S
11	27.6	31.7	13:10	23.6	7:20	0.0	9.2	0.0	5.6	25.7	15:10	E
12	25.8	28.2	12:20	23.7	2:10	0.0	7.4	0.0	13.7	45.1	10:40	N
13	24.5	27.4	12:20	22.0	5:00	0.0	6.2	0.0	11.1	35.4	13:00	N
14	24.1	27.3	14:40	20.0	6:20	0.0	5.8	0.0	7.4	27.4	15:50	E
15	24.1	29.7	14:10	18.3	7:20	0.0	5.7	0.0	7.2	32.2	13:20	SSE
16	25.1	28.3	15:00	22.0	6:30	0.0	6.8	0.0	8.5	30.6	11:40	SSE
17	25.7	28.8	12:00	22.8	7:20	0.0	7.4	0.0	8.0	30.6	11:00	SSE
18	28.1	33.1	14:00	24.2	4:10	0.0	9.7	0.0	9.5	33.8	10:00	W
19	24.3	26.3	16:10	21.5	00:00	0.0	5.9	0.0	13.4	41.8	5:50	N
20	22.9	26.1	14:20	19.7	5:10	0.0	4.6	0.0	7.9	25.7	9:20	NE
21	22.4	25.2	14:50	19.1	00:00	0.0	4.1	0.0	12.7	41.8	23:00	N
22	19.3	21.4	13:50	17.2	3:50	0.1	1.1	1.0	17.7	46.7	14:20	N
23	20.3	22.9	14:50	17.9	5:50	0.0	2.0	0.0	12.2	32.2	16:50	N
24	20.2	23.4	15:20	16.8	7:20	0.3	2.2	0.0	7.7	30.6	11:10	WNW
25	19.7	24.6	15:00	14.3	7:10	1.0	2.3	0.0	6.0	25.7	12:40	WNW
26	21.6	25.8	14:40	16.4	7:30	0.2	3.5	0.0	9.2	32.2	17:00	S
27	23.9	26.4	11:30	21.4	6:30	0.0	5.6	0.0	12.4	49.9	17:20	S
28	25.8	29.4	13:00	23.2	00:00	0.0	7.4	0.0	11.7	37.0	19:00	SW
29	25.1	28.7	15:20	21.6	6:00	0.0	6.7	0.0	10.1	32.2	18:40	SSE
30	24.7	29.3	15:00	21.1	7:50	0.0	6.4	0.0	5.3	22.5	14:10	W

	24.5	34.1	10	14.3	25	1.7	185.6	1.0	11.3	66.0	7	N

Max >= 32.0: 2

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 0

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 0.99 ON 22/09/22

Days of Rain: 1 (> .2 mm) 0 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for DEC. 2022

NAME: Iavrio CITY: STATE:
 ELEV: 3 m LAT: 37° 42' 40" N LONG: 24° 03' 21" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	16.8	19.0	12:00	13.4	4:50	1.6	0.1	5.8	12.1	38.6	13:40	S
2	14.7	17.0	14:00	10.7	7:30	3.6	0.0	0.0	4.7	20.9	0:40	NE
3	15.0	17.1	13:00	12.9	0:50	3.3	0.0	0.0	11.1	35.4	20:40	N
4	14.6	16.8	13:40	12.9	4:30	3.8	0.0	0.0	12.2	33.8	12:40	N
5	14.7	16.4	13:20	13.1	00:00	3.7	0.0	0.0	12.1	32.2	2:40	N
6	13.7	16.2	12:30	11.1	7:40	4.6	0.0	0.0	4.8	22.5	9:10	WNW
7	14.7	17.3	12:20	11.0	6:20	3.6	0.0	0.0	6.1	27.4	13:10	SE
8	16.0	19.2	14:00	12.9	7:50	2.4	0.1	0.4	4.0	25.7	13:40	WNW
9	16.9	19.7	13:00	13.8	1:30	1.7	0.2	0.2	7.6	30.6	13:10	SSE
10	18.2	18.9	12:30	17.4	0:10	0.2	0.1	0.0	15.9	45.1	14:40	S
11	18.0	20.1	6:20	13.9	8:20	0.8	0.4	13.6	17.9	53.1	6:40	S
12	17.3	18.8	14:10	16.2	6:20	1.0	0.0	0.0	8.7	43.5	4:30	SW
13	16.4	18.2	11:20	14.0	23:20	1.9	0.0	2.2	8.0	38.6	0:10	N
14	14.4	16.4	23:50	13.1	1:30	3.9	0.0	0.0	7.1	24.1	11:10	N
15	18.6	21.1	14:30	16.3	0:10	0.4	0.7	0.0	12.2	40.2	8:10	S
16	17.6	20.3	14:50	15.6	2:20	1.1	0.3	0.4	6.0	32.2	14:40	S
17	17.9	19.9	14:00	15.7	1:30	0.7	0.3	0.4	7.4	30.6	11:00	S
18	17.2	20.3	13:10	14.1	8:00	1.3	0.2	0.0	7.7	30.6	17:40	N
19	13.5	16.4	0:10	10.9	00:00	4.8	0.0	0.2	29.8	77.2	18:20	N
20	10.1	11.4	21:30	9.0	7:00	8.3	0.0	0.0	30.1	80.5	6:40	N
21	11.2	12.9	13:10	8.7	00:00	7.2	0.0	0.0	18.0	56.3	2:50	NNW
22	9.8	13.6	13:40	6.7	8:00	8.6	0.0	0.0	2.9	17.7	13:40	WNW
23	11.2	14.4	15:10	7.7	0:10	7.2	0.0	0.0	2.4	16.1	11:00	WNW
24	11.1	16.3	16:00	6.1	7:50	7.2	0.0	0.0	3.4	19.3	14:40	WNW
25	13.2	17.3	14:40	9.1	23:00	5.1	0.0	0.0	6.3	33.8	13:40	WNW
26	12.4	16.9	12:10	8.3	7:50	5.9	0.0	0.0	2.9	17.7	15:10	WNW
27	13.9	18.1	11:30	9.9	6:00	4.4	0.0	0.0	3.1	19.3	10:30	WSW
28	13.7	16.9	14:40	9.8	5:20	4.7	0.0	0.2	4.5	20.9	13:10	WNW
29	13.3	16.6	12:50	9.7	00:00	5.1	0.0	0.0	5.1	22.5	14:00	WNW
30	12.5	16.6	13:10	8.2	6:40	5.8	0.0	0.0	4.5	22.5	12:40	WNW
31	13.2	16.3	12:00	8.8	7:50	5.2	0.0	0.0	5.0	22.5	12:40	WNW

	14.6	21.1	15	6.1	24	118.9	2.3	23.4	9.1	80.5	20	N

Max >= 32.0: 0
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 13.59 ON 11/12/22
 Days of Rain: 9 (> .2 mm) 3 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

