



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκά Διαρθρωτικά
και Επενδυτικά Ταμεία



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ

ΕΠΑνεΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΕΡΓΟ Τ6ΥΒΠ - 00211

ΕΚΑΤΥ: Καινοτόμος απεικόνιση υπεδάφους αρχαιολογικών χώρων και εσωτερικού δομικών στοιχείων μνημείων

ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΑΞΗΣ

1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

- A. Το έργο στόχευε αφ' ενός στην ανάπτυξη συγκεκριμένων καινοτόμων μεθόδων, την εύρεση κατάλληλου πρωτοκόλλου αλλά και την κατασκευή προηγμένου οργάνου για την απεικόνιση του εσωτερικού τύμβων.
- B. Δεύτερο αντικείμενο ήταν η βελτίωση υπαρχόντων και η ανάπτυξη νέων μεθόδων μείξης εικόνας για τη συγκέντρωση και προβολή στην ίδια εικόνα όλης της χρήσιμης πληροφορίας που αποκομίζεται από την εφαρμογή των διαφόρων γεωφυσικών και τηλεπισκοπικών μεθόδων στην εξερεύνηση αρχαιολογικών χώρων. Μία από τις σχετικές επιστημονικές εργασίες που παρήχθησαν βραβεύτηκε ως η καλύτερη εργασία του συνεδρίου «ADVANCES IN ON- AND OFFSHORE ARCHAEOLOGICAL PROSPECTION», ICAP 2023, March 28 - April 1, 2023, Kiel, Germany.
- C. Τρίτον, στόχευε στην ανάπτυξη και τυποποίηση διαδικασίας παρακολούθησης της εξέλιξης των αστοχιών αλλά και της εισόδου υγρασίας σε δομικά στοιχεία αρχαίων κατασκευών. Προς τούτο, εγκαταστάθηκε πειραματική διάταξη στη Ροτόντα της Θεσσαλονίκης και λειτουργεί μέχρι σήμερα αδιάλειπτα για τέσσερα περίπου χρόνια.

A. Πολυμεθοδική τομογραφία με σκοπό την αναζήτηση ταφικών μνημείων σε τύμβους.

Σκοπός είναι η αναζήτηση γεωφυσικών και πυρηνικών μεθόδων απεικόνισης του εσωτερικού των τύμβων έτσι ώστε να εντοπιστούν οι επιχωμένοι τάφοι και άλλες κατασκευές και να επακολουθήσει στοχευμένη ανασκαφή, η οποία δε θα διαταράξει την ακεραιότητα του τύμβου, εφ' όσον και αυτός αποτελεί μνημείο της παρελθούσης ανθρώπινης δραστηριότητας. Η προσέγγιση του προβλήματος έγινε μέσω συνδυασμένης ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας καθώς και τομογραφίας μιονίων.

Επίσης, επιχειρήθηκε **βαρυτομετρική διασκόπηση**, επειδή η απεικόνιση της κατανομής της πυκνότητας στο εσωτερικό των τύμβων (αντιστροφή) είναι το τελικό αποτέλεσμα τόσο της τομογραφίας μιονίων όσο και της βαρυτομετρίας.

Το **Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής (ΕΕΓ-ΑΠΘ)** του ΑΠΘ έχει ήδη αναπτύξει καινοτόμες μεθόδους **ηλεκτρικής τομογραφίας (ΗΤ)** και σεισμικής διασκόπησης για το συγκεκριμένο σκοπό. Τα σχετικά αποτελέσματα έχουν δημοσιευθεί σε έγκυρα διεθνή περιοδικά και έχουν ανακοινωθεί και βραβευθεί σε διεθνή συνέδρια. Η αξιοποίηση τρισδιάστατων σεισμικών δεδομένων Ρ και S κυμάτων και κυρίως η συνδυαστική αντιστροφή τους (**Σεισμική Τομογραφία – ΣΤ**) δεν έχει δοκιμαστεί μέχρι σήμερα στο συγκεκριμένο πρόβλημα.

Η **τομογραφία μιονίων** χρησιμοποιεί τα μόνια της κοσμικής ακτινοβολίας για τη δημιουργία τρισδιάστατης απεικόνισης αντικειμένων, αξιοποιώντας πληροφορίες που εμπεριέχονται στην αλληλεπίδραση των μιονίων με την ύλη και ειδικότερα στη σκέδαση Coulomb. Η μέθοδος αυτή στοχεύει στην εντόπιση μέρους του απεικονιζόμενου υλικού που έχει διαφορετική πυκνότητα από το υπόλοιπο. Στην τομογραφία σκέδασης μιονίων, ανακατασκευάζονται τόσο οι εισερχόμενες όσο και οι εξερχόμενες τροχιές για κάθε μόνιο. Η γωνιακή κατανομή των εξερχόμενων τροχιών είναι αποτέλεσμα πολλαπλών σκεδάσεων των μιονίων μέσα στα υλικά και παρέχει την δυνατότητα λήψης ακτινογραφικών πληροφοριών με δέσμες φορτισμένων σωματιδίων.

Στόχος της δράσης είναι η ανάπτυξη διάταξης ανιχνευτών μιονίων για την εφαρμογή της τεχνικής της τομογραφίας μιονίων στην απεικόνιση του εσωτερικού τύμβων. Στόχος είναι επίσης αυτό να συνδυαστεί με ανάπτυξη καινοτόμων μεθόδων ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας αλλά και με απεικόνιση προερχόμενη από βαρυτομετρική διασκόπηση.

Β. Μείξη δορυφορικών εικόνων και αποτελεσμάτων γεωφυσικών δεδομένων. Σκοπός της προτεινόμενης έρευνας είναι αρχικά η βελτίωση των αλγορίθμων μείξης δορυφορικών εικόνων που αναπτύχθηκαν στο ΕΕΓ και στη συνέχεια η ανάπτυξη αλγορίθμων και λογισμικού, καθώς και η πιλοτική εφαρμογή, τεχνικών κατηγοριοποίησης που θα επιτρέπουν την χρησιμοποίηση των περισσότερων από τα παραπάνω διαθέσιμα δεδομένα για τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση αρχαιολογικών χώρων. Στα πλαίσια αυτά, η συγκεκριμένη έρευνα προτίθεται να αξιοποιήσει πρόσφατες εξελίξεις στα πεδία της επεξεργασίας εικόνων, καθώς επίσης και μεγάλου όγκου δεδομένων με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

Η ανάπτυξη και αξιοποίηση κανόνων επιλογής με βάση την στατιστική σύγκριση ευρύτερων περιοχών των εικόνων, αντί μεμονωμένων εικονοστοιχείων, θα επιφέρει σημαντικές μετρήσιμες βελτιώσεις στην συγχώνευση εικόνων, καθώς οι τελευταίοι έχουν αποδειχθεί σαφώς ανώτεροι σε συνθήκες θορύβου και αντίθεσης παρόμοιες με τα γεωφυσικά δεδομένα.

Οι αλγόριθμοι συγχώνευσης πληροφορίας από διαφορετικές πηγές θα αξιοποιούν τη Μπαεσιανή στατιστική, βάση της οποίας η α-priori πληροφορία σε συνδυασμό με επικαλυπτόμενα τηλεπισκοπικά, γεωφυσικά και GIS δεδομένα και παράγωγα αυτών, θα συντεθούν ώστε να παραχθούν χάρτες πιθανότητας ύπαρξης αρχαίων λειψάνων. Για την εξερεύνηση των διαφορετικών τύπων δεδομένων και την εξαγωγή συσχετίσεων μεταξύ τους θα αξιοποιηθούν τεχνικές πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης.

Οι νέες τεχνικές δοκιμάστηκαν σε αρχαιολογικούς χώρους της Β. Ελλάδας. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα στους χώρους αυτούς, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες, με διάφορες μεθόδους. Θα προηγηθεί ανάλυση των δορυφορικών και εναέριων εικόνων και στη συνέχεια η πειραματική εφαρμογή των νέων μεθόδων μείξης.

Γ. Διαχρονική ηλεκτρική τομογραφία και διασκόπηση με ραντάρ υπεδάφους (GPR) σε δομικά στοιχεία μνημείων με σκοπό την παρακολούθηση της εξέλιξης αστοχιών και ανόδου υγρασίας. Τα ιστορικά μνημεία αντιμετωπίζουν δομικά προβλήματα, καθώς και προβλήματα υγρασίας. Τις περισσότερες φορές αυτά δεν είναι ορατά, για αυτόν ακριβώς τον λόγο είναι αναγκαία η διερεύνηση της εσωτερικής δομής σε συνδυασμό με την μελέτη και κατανόηση της έκτασης των ζημιών η οποία θα οδηγήσει τελικώς στην ανάπτυξη του καλύτερου δυνατού σχεδίου αποκατάστασης. Οι γεωφυσικές μέθοδοι οποίες μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στο να

απεικονίσουν την εσωτερική δομή του μέσου στο οποίο εφαρμόζονται και μάλιστα με μη καταστρεπτικό τρόπο.

Η χρήση γεωφυσικών μεθόδων σε αρχαιολογικά μνημεία γίνεται με τα χρόνια όλο και πιο διαδεδομένη. Με τις γεωφυσικές μεθόδους διασκόπησης, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν με μη καταστρεπτικό τρόπο, ο αρχαιολόγος και ο συντηρητής έχει στα χέρια του ένα πολύτιμο εργαλείο το οποίο μπορεί να τον βοηθήσει να επιτελέσει το έργο του αποτελεσματικότερα. Στην παρούσα πρόταση θα αναπτυχθεί μεθοδολογία ώστε να εφαρμοστούν μη καταστρεπτικές γεωφυσικές μέθοδοι σε τμήματα μνημείων ώστε να διαπιστωθούν οι συνθήκες στο εσωτερικό τους.

2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

A. Πολυμεθοδική τομογραφία

Η τομογραφία μιονίων συνίσταται στην απεικόνιση ενός αντικειμένου ή μιας δομής με τη χρήση των μιονίων που παράγονται στην ατμόσφαιρα από σωματίδια της κοσμικής ακτινοβολίας μεγάλης ενέργειας.

Η τομογραφία μιονίων έδειξε να είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνική εδώ και 50 χρόνια (Frllez aet al. 2000), αλλά στην πράξη η ροή του μιονίων η οποία δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη απαιτεί δύο εν μέρει ανταγωνιστικούς παράγοντες:

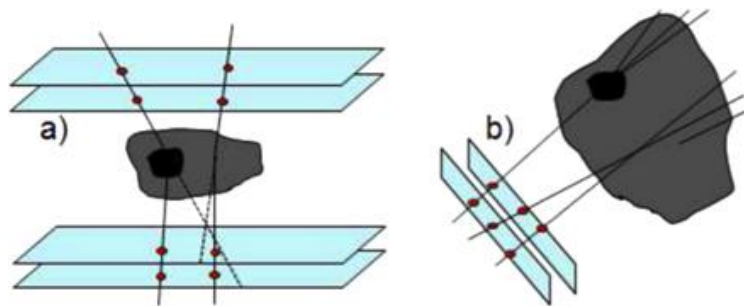
Μεγάλης έκτασης ανιχνευτές

Πολύ καλή χωρική διακριτική ικανότητα για την εξαγωγή χρήσιμης πληροφορίας από κάθε τροχιά μιονίου.

Τα υπάρχοντα συστήματα γι' αυτές τις εφαρμογές συνήθως επιλέγουν ένα από τα δύο κριτήρια με αποτέλεσμα είτε να έχουν τεράστιους χρόνους σάρωσης (μικροί ανιχνευτές) είτε να έχουν φτωχή ποιότητα εικόνας (μεγάλοι ανιχνευτές αλλά με μικρή διακριτική ικανότητα).

Ανάλογα με το μέγεθος και τη διάταξη της δομής που είναι υπό μελέτη η τομογραφία μιονίων μπορεί να υλοποιηθεί είτε με βάση την αρχή σκέδασης ή την αρχή απορρόφησης ακτινοβολίας.

Αν το αντικείμενο είναι αρκετά μικρό μπορεί να τοποθετηθεί ανάμεσα σε δύο ανιχνευτές και η ανακατασκευή των εισερχόμενων και εξερχόμενων τροχιών μπορεί να δώσει μια τρισδιάστατη απεικόνιση της πυκνότητας του αντικειμένου μέσω της απόκλισης των τροχιών λόγω πολλαπλών σκεδάσεων. Αν το αντικείμενο είναι πολύ εκτεταμένο για να συμπεριληφθεί ανάμεσα σε δύο ανιχνευτές (π.χ. ηφαιστειο ή τύμβος) οι μετρήσεις λαμβάνονται από τη μία πλευρά και το η μεταβολή της ροής των μιονίων (λόγω της απορρόφησης τους) σε σχέση με την αναμενόμενη, προσδιορίζει την ολοκληρωμένη πυκνότητα στην κατεύθυνση της παρατήρησης. Η δεύτερη περίπτωση απαιτεί μεγαλύτερους χρόνους λήψης δεδομένων λόγω της μη επαρκούς διαθέσιμης πληροφορίας και της μικρής απορρόφησης των μιονίων της κοσμικής (σχήμα 1).



Σχήμα 1: Οι δύο λειτουργίες της τομογραφίας μιονίων: σκέδασης (a) και απορρόφησης (b).

Οι ανιχνευτές Micromegas οι οποίοι αναπτύχθηκαν το 1996 (Giomataris et al 1996, 2006) για τις πειραματικές ανάγκες της πυρηνικής και της σωματιδιακής φυσικής παρέχουν εξαιρετική χωρική διακριτική ικανότητα χάρη στη υψηλή τους «διαμέριση» (granularity). Από τότε έχουν εξελιχθεί στον τρόπο κατασκευής π.χ. με την εισαγωγή της τεχνολογίας bulk και των resistive strips (Alexopoulos 2011), έχοντας ως αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση της απόδοσης ενώ παράλληλα είναι στιβαροί και σχετικά χαμηλού κόστους ανιχνευτές.

Οι εξαιρετικές ιδιότητες των ανιχνευτών Micromegas και οι ικανότητες να λειτουργήσουν σε περιβάλλον υψηλής ροής σωματιδίων, οδήγησαν το πείραμα ATLAS στο CERN, να επιλέξει την τεχνολογία Micromegas για την αναβάθμιση του μιονικού φασματομέτρου στην εμπρόσθια περιοχή (New Small Wheel, NSW). Οι ανιχνευτές Micromegas που κατασκευάζονται για το πείραμα ATLAS είναι διαστάσεων μερικών τετραγωνικών μέτρων. Είναι η πρώτη φορά που θα χρησιμοποιηθούν σε πείραμα συγκρουομένων δεσμών ανιχνευτές αερίου μεγάλων διαστάσεων.

Σεισμική τομογραφία (ΣΤ): Η σεισμική μέθοδος γεωφυσικής διασκόπησης μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό μακεδονικών τάφων στο εσωτερικό τύμβων για πρώτη φορά το 1994 (Tsokas et al. 1995) από το ΕΕΓ-ΑΠΘ. Παρήχθησαν σεισμικά κύματα στην κορυφή του τύμβου και έγινε καταγραφή τους σε φωρατές διατεταγμένους στην περιφέρεια της περίπου κυκλικής κάτοψης του. Έτσι μπορούσαν να καταγραφούν διαταραχές στην πορεία των κυμάτων κατά την ακτινική κατεύθυνση. Η όλη υπόθεση στηριζόταν βέβαια στην ύπαρξη ενός συγκεκριμένου τρόπου κατασκευής του ταφικού συνόλου, το οποίο όμως ισχύει μάλλον για τους αποκαλούμενους «μακεδονικούς τύμβους» (Tsokas 2012).

Από τα πρώτα πειράματα και τις προσομοιώσεις για την παραγωγή συνθετικών δεδομένων παρατηρήθηκαν οι αναφερθείσες καθυστερήσεις. Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για τον εντοπισμό της θέσης του ταφικού μνημείου μέσα σε τύμβο στο Μεσσιανό του Νομού Πέλλας (Χρυσοστόμου 1997). Στη συνέχεια το ΕΕΓ-ΑΠΘ ασχολήθηκε με τη σεισμική τομογραφία (Βογιατζής 2013), πράγμα που θα αποτελέσει τη βάση της ανάπτυξης του αλγορίθμου που θα αναπτυχθεί στο πλαίσιο αυτού του προγράμματος.

Ηλεκτρική τομογραφία (ΗΤ): Η έρευνα του ΕΕΓ-ΑΠΘ για την εύρεση κατάλληλης διαδικασίας εντοπισμού ταφικών μνημείων σε τύμβους ακολούθησε και άλλες κατευθύνσεις, κυρίως με τη χρήση ηλεκτρικών μεθόδων τόσο χαρτογράφησης όσο και βυθοσκόπησης (Tsokas and Rocca 1987). Η εισαγωγή όμως της ηλεκτρικής τομογραφίας (Electrical Resistivity Tomography ERT) στην πρακτική των γεωφυσικών διασκοπήσεων, στην εξέλιξη της οποίας συνέβαλε πολύ το ΕΕΓ-ΑΠΘ, προσέφερε μια υπερβατική τεχνολογία σε σχέση με τις προηγούμενες για την απεικόνιση του εσωτερικού των τύμβων. Έγιναν προσπάθειες σε πολλά μέρη του κόσμου χρησιμοποιώντας κυρίως δισδιάστατες ηλεκτρικές τομογραφίες. Το ΕΕΓ-ΑΠΘ εφήρμοσε τόσο δισδιάστατες όσο και τρισδιάστατες τομογραφίες για την επίλυση του προβλήματος (Papadopoulos et al. 2010, Tsourlos et al. 2014) επιτυγχάνοντας εντοπισμούς και απεικονίσεις σημαντικών μνημείων στο Αυλάκι Στυλίδας (Τσόκας και άλλοι 2015), στον Έβρο (Πετρωτό, κτήμα Εβροθήραμα, Σπήλαιο, Ιτέα), (Τσόκας και άλλοι 2010), και σε διάφορα άλλα μέρη στην Ελλάδα .

Βαρυτική διασκόπηση –τομογραφία πυκνότητας: Η βαρυτική διασκόπηση είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη πρακτική για την εύρεση της κατανομής της πυκνότητας στο υπέδαφος. Εν προκειμένω, τα δεδομένα θα αντιστραφούν έτσι ώστε να προκύψει τομογραφική απεικόνιση των υπεδάφινων πυκνοτήτων και αυτό να συνδυαστεί με την απεικόνιση των πυκνοτήτων που θα προκύψει από την τομογραφία των μιονίων. Θα γίνει προσπάθεια κοινής αντιστροφής των δεδομένων των δύο αυτών μεθόδων με ανάπτυξη του σχετικού μαθηματικού αλγορίθμου.

B. Μείξη Δεδομένων

Η εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων καθώς και η χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων αποδείχθηκαν ως οι πλέον αποτελεσματικές και αποδοτικές, μη καταστρεπτικές μέθοδοι για την επιτάχυνση της αρχαιολογικής έρευνας, τον εντοπισμό και τη ακριβή χαρτογράφηση αρχαιολογικών στόχων πριν, κατά την διάρκεια και μετά από την εκσκαφή τους (π.χ., Rowlands and Sarris 2007). Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια, δεδομένα τηλεπισκόπησης, ενεργού και παθητικού αισθητήρα, με υψηλή χωρική και φασματική ανάλυση, παρέχουν εικόνες μεγάλης λεπτομέρειας, καθιστώντας δυνατή την ανίχνευση και την αναγνώριση των αρχαιολογικών στόχων. Διαφορετικοί αισθητήρες είναι αποτελεσματικοί σε διαφορετικές περιβαλλοντικές και φυσικές συνθήκες και ευαίσθητοι σε διαφορετικές φυσικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα να παρέχουν συμπληρωματικές πληροφορίες για τις περιοχές έρευνας. Συμπληρωματικά επίσης δρουν εικόνες από τον ίδιο αισθητήρα που λήφθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και διαφορετικές συνθήκες. Επιπλέον, ενώ οι εικόνες τηλεπισκόπησης χαρτογραφούν κατά κανόνα την επιφάνεια της γης, οι γεωφυσικές μέθοδοι εξερευνούν στην

υπεδάφια δομή, αξιοποιώντας την αντίθεση μίας ή περισσότερων φυσικών ιδιοτήτων του στόχου (π.χ., ειδική ηλεκτρική αντίσταση, μαγνητική επιδεκτικότητα, διηλεκτρική σταθερά, ελαστικές και ανελαστικές ιδιότητες) σε σχέση με το γύρω περιβάλλον. Ομοίως με τα τηλεπισκοπικά δεδομένα, διαφορετικές γεωφυσικές μέθοδοι παρέχουν συμπληρωματικές πληροφορίες που αφορούν υποσύνολα των φυσικών ιδιοτήτων του στόχου.

Επομένως ο συνδυασμός δεδομένων από ποικιλία αισθητήρων και μεθόδων συντελεί θεωρητικά στην βελτίωση των δυνατοτήτων εντοπισμού και ακριβούς χαρτογράφησης στόχων αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Ο συνδυασμός δεδομένων από διαφορετικές πηγές δεν είναι τετριμμένη διαδικασία και πραγματοποιείται κυρίως με κατά αντιπαράθεση εξέταση, υπέρθεση και υπολογισμό δεικτών που προκύπτουν από διάφορους συνδυασμούς καναλιών αισθητήρων, οι οποίοι επισημαίνουν την πιθανότητα ύπαρξης στόχων (Parcak 2009) με βάση την αναμενόμενη φασματική τους υπογραφή (π.χ., δείκτης βλάστησης), καταταμίζοντας αντίστοιχα τις εικόνες.

Πιο πρόσφατα η Karamitrou (2013) και οι Karamitrou et al. (2011) χρησιμοποίησαν τον καμπυλοειδή μετασχηματισμό (curvelet transform) προκειμένου να συνδυαστούν γεωφυσικά δεδομένα από διάφορες μεθόδους διασκόπησης καθώς και δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης, λαμβάνοντας υπόψη την διάχυση της πληροφορίας σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες και προσανατολισμούς.

Παρόλα αυτά, στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων δεδομένων (π.χ. εικόνες τηλεπισκόπησης, γεωφυσικές μέθοδοι) ανά έρευνα παραμένει εξαιρετικά περιορισμένος (π.χ. 1-3). Αντίθετα, ο όγκος και η ποικιλία των διαθέσιμων δεδομένων, ειδικά τηλεπισκόπησης αυξάνεται ραγδαία. Η παρούσα έρευνα θα χρησιμοποιήσει ως πεδία δοκιμών υπό διερεύνηση αρχαιολογικούς χώρους της Μακεδονίας – Θράκης. Για την περιοχή αυτή διατίθενται δωρεάν τουλάχιστον 200 εικόνες των δορυφόρων Landsat 7 και 8, κατά τη διάρκεια της ημέρας, με νεφοκάλυψη μικρότερη του 10%. Αντίστοιχη, είναι η διαθεσιμότητα δεδομένων και άλλων δορυφορικών συστημάτων (π.χ. ASTER, EO-1, κ.α.) ενώ επίσης θα ληφθούν δεδομένα γεωφυσικών διασκοπήσεων στο πλαίσιο του παρόντος προγράμματος

Θα χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για την κατηγοριοποίηση αντικειμένων. Αυτοί χρησιμοποιούν υπολογιστικές μεθόδους πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης για την ενδελεχή εξερεύνηση των διασυσχετίσεων μεταξύ των δεδομένων και την εκμείωση πληροφορίας, χωρίς την ανάγκη υιοθέτησης εκ των προτέρων υποθέσεων και μοντέλων (Abrams and Comer 2013). Η αποτελεσματικότητά τους βελτιώνεται με το πλήθος των δεδομένων μέσω μίας διαδικασίας που προσομοιάζει την ανθρώπινη εμπειρική μάθηση. Η τελευταία περιλαμβάνει το στάδιο της εκπαίδευσης με τη χρήση ήδη αναγνωρισμένων στόχων, χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό παραμέτρων εισόδου (π.χ., φασματικά δεδομένα από διάφορους αισθητήρες, γεωφυσικές μετρήσεις, γεωμετρία αντικειμένων, συντελεστής κυματιδίων κλπ.), το στάδιο της αυτόματης αξιολόγησης των διαφορετικών παραμέτρων εισόδου (π.χ. με χρήση πινάκων σύγχυσης, καμπυλών ROC κ.α.) και της αποτίμησης του μοντέλου κατηγοριοποίησης. Ακολουθεί βελτίωση του μοντέλου και επανάληψη των προηγούμενων βημάτων πριν γίνει η εφαρμογή του σε άγνωστα δεδομένα. Τα βασικά στάδια της προτεινόμενης έρευνας είναι:

1. Θα γίνει βιβλιογραφική αναζήτηση ώστε να καταγραφούν όλοι οι πιθανοί δείκτες τηλεπισκόπησης, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς για τον εντοπισμό αρχαιολογικών στόχων. Επίσης θα αναζητηθούν όλες οι πηγές ανοικτής πρόσβασης δορυφορικών εικόνων και θα αποκτηθούν γεωφυσικά δεδομένα για τις περιοχές δοκιμών.

2. Θα βελτιωθούν οι υπάρχοντες αλγόριθμοι μείξης εικόνων και εξαγωγής χαρακτηριστικών, εξερευνώντας τη χρησιμότητα και αποτελεσματικότητα στην αρχαιολογική έρευνα, πρόσφατων μεθόδων που βασίζονται στην ανάλυση περιοχών, αντί μεμονωμένων εικονοστοιχείων (π.χ. Kim et al. 2016) καθώς επίσης και στην αυτόματη επιλογή της βάσης αναπαράστασης από την ανάλυση των δεδομένων αντί της εκ των προτέρων επιλογής της (π.χ. καμπυλοειδής μετασχηματισμός, Candes and Donoho 2000). Οι μέθοδοι αυτές υπερτερούν ως προς τη δυνατότητα επιλογής χαρακτηριστικών με βάση τον προσανατολισμό τους καθώς και στην αποτύπωση ταυτόχρονα αμυδρών και έντονων χαρακτηριστικών σε εικόνες με υψηλά επίπεδα θορύβου, όπως αυτές που συναντώνται στην αρχαιολογική έρευνα.

3. Αξιοποιώντας τα προηγούμενα αποτελέσματα, θα γίνει διερεύνηση και εφαρμογή αλγορίθμων κατηγοριοποίησης και ταξινόμησης για την αναγνώριση αρχαιολογικών στόχων με την χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης και πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης όπως περιγράφηκε παραπάνω. Εκτός τυπικών δεικτών που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν σε αντίστοιχες περιπτώσεις (π.χ., Menze and Ur 2014) πρόθεσή μας είναι να διερευνήσουμε νέους, προερχόμενους από την αναπαράσταση των δεδομένων σε πιο αποδοτικές αραιές βάσεις, όπως αυτές αναπτύχθηκαν κατά το προηγούμενο στάδιο. Τελικός στόχος είναι ο συνδυασμός μεγάλου όγκου δεδομένων διαφορετικού τύπου (γεωφυσικά, τηλεπισκοπικά, GIS, κ.α.), καθώς και της διαθέσιμης άμεσης πληροφορίας για τα πιθανά χαρακτηριστικά των στόχων (προσανατολισμός, βάθος ταφής, σχήμα, διαστάσεις, υλικό κατασκευής, χαρακτηριστικά γειτνίασης κ.α.), προκειμένου να εξαχθούν ολιστικοί χάρτες πυκνότητας πιθανότητας ύπαρξης στόχων αξιοποιώντας την Μπαεσιανή στατιστική μέθοδο (Tarantola 2005).

Γ. Διαχρονική παρακολούθηση της εξέλιξης αστοιχιών και ανόδου υγρασίας.

Θα χρησιμοποιηθεί αρχικά η μέθοδος του ραντάρ υπεδάφους (ground Penetrating Radara GPR). Αυτή βασίζεται στην ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ασυνέχειες μέσω διαφορετικών ηλεκτρικών και μαγνητικών ιδιοτήτων. Η μέθοδος είναι πλήρως μη-καταστρεπτική (Linford 2006) και πολύ γρήγορη στην εφαρμογή της. Μπορεί να εκτιμήσει με σχετική ακρίβεια τόσο τα εσωτερικά δομικά προβλήματα, καθώς και τα επίπεδα υγρασίας σε στοιχεία και συχνά χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση μνημείων, είτε αυτόνομα είτε σε συνδυασμό με άλλες γεωφυσικές μεθόδους (Ferrara and Barone 2011, Tsokas et al. 2013, Kadioglu et al. 2015, Angelis et al. 2017).

Ένα επιπλέον γεωφυσικό εργαλείο, που μόνο σχετικά πρόσφατα έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται σε διασκόπηση μνημείων είναι η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας (HT), στην εξέλιξη της οποίας το ΕΕΓ-ΑΠΘ είχε σημαντική συνεισφορά. Παρά την εκτεταμένη χρήση σε γεωλογικές, γεωτεχνικές και περιβαλλοντικές μελέτες, η τεχνική δεν ήταν πολύ δημοφιλής για την έρευνα σε μνημεία λόγω της καταστροφικής φύσεως δεδομένου ότι τις περισσότερες φορές ηλεκτρόδια πρέπει να καρφωθούν ώστε να υπάρχει εισαγωγή ρεύματος στο στόχο. Σήμερα, η HT με τη χρήση των κατάλληλων ηλεκτροδίων επαφής (Athanasiou et al. 2008) έχει μετατραπεί σε μια μη καταστρεπτική τεχνική, κατάλληλη για τις έρευνες σε μνημεία. Η μέθοδος χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της υγρασίας σε αρχαία τείχη (Mol and Preston 2010, Tsourlos and Tsokas 2011), μαζί δε με το GPR μπορεί να παράσχει σημαντικές πληροφορίες.

Η γεωφυσική διαχρονική παρατήρηση έχει στόχο τη διαρκή παρακολούθηση ενός τόπου ή ενός δομικού στοιχείου με τη λήψη μετρήσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να είναι δυνατή η εύρεση αλλαγών στη διάρκεια του χρόνου και η εξαγωγή συμπερασμάτων. Πολύ συχνά δε αυτό γίνεται με HT. Στη μέθοδο της διαχρονικής HT γίνεται συλλογή δεδομένων για όσο διάστημα διαρκεί η παρακολούθηση. Η συλλογή των δεδομένων γίνεται όπως και σε μια τυπική τομογραφική μέτρηση με τη διαφορά ότι η λήψη των δεδομένων επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται στην επεξεργασία των διαχρονικών δεδομένων αποτελούν τροποποιημένη εξέλιξη των τυπικών μεθόδων ερμηνείας (αντιστροφή) των HT. Η μεγάλη διαφορά εντοπίζεται στο ότι με τις τεχνικές των διαχρονικών μεταβολών αναζητείται επιπρόσθετα η αλλαγή των γεωηλεκτρικών ιδιοτήτων στο χρόνο.

Η διαχρονική αντιστροφή είναι πλέον αναγκαιότητα με ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Με χρήση μόνιμων ηλεκτροδίων είναι δυνατή η παρακολούθηση μιας περιοχής ενδιαφέροντος σε πραγματικό χρόνο. Η αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας διαχρονικής καταγραφής με τη μέθοδο της HT εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα της επεξεργασίας των παραγόμενων δεδομένων. Η συμβατική προσέγγιση της ανεξάρτητης επεξεργασίας των δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικά χρονικά παράθυρα και η απλή αφαίρεση τους, ώστε να καταγραφούν οι αλλαγές, έχει σημαντικά προβλήματα θορύβου. Εναλλακτικά έχουν προταθεί τεχνικές που βασίζονται στην επεξεργασία των διαφορών των διαχρονικών δεδομένων. Επίσης έχουν προταθεί, πρόσφατα, αλγόριθμοι που αναφέρονται είτε στη συνολική αντιστροφή όλων των διαχρονικών δεδομένων είτε στην αντιστροφή τους με την εισαγωγή του χρόνου ως μεταβλητή (Loke 1999; LaBrecque and Yang 2002, Kim 2005).

Με δεδομένη τη χρησιμότητα της διαχρονικής παρακολούθησης με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας και την ιδιαίτερη σημασία του λογισμικού επεξεργασίας στην παραπάνω διαδικασία είναι απαραίτητη μια συστηματική μελέτη όλων το υπαρχόντων αλγορίθμων επεξεργασίας διαχρονικών τομογραφικών δεδομένων, αλλά και η ανάπτυξη νέων, ώστε να καταλήξουμε σε βέλτιστη στρατηγική επεξεργασίας των δεδομένων που προκύπτουν από την παρακολούθηση των διαχρονικών αλλαγών στο εσωτερικό μνημείων .