



**ΥΠΟΕΡΓΟ 1 «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ,
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ – ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ»**

Πακέτο Εργασίας	Π.Ε.1.6 – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΑΠΤΩΞΕΩΝ – ΔΡΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΠΗΛΑΙΩΝ		
Συντάκτης Φορέας	Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών		
Κωδικός Παραδοτέου	Π.1.9.2 – Έκθεση εγκατάστασης και λειτουργίας συστημάτων παρακολούθησης σπηλαίων		
Αριθμός Έκδοσης	1	Διαθεσιμότητα	Ολοκληρωμένο
Μήνας Έναρξης	M1	Μήνα Λήξης	M20
Τύπος	Έκθεση		
Ομάδα Σύνταξης	ΔΡ. ΛΕΚΚΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ, ΔΡ. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΔΡ. ΣΚΟΥΡΤΣΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΔΡ. ΔΙΑΚΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, MSc ΜΑΥΡΟΥΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, MSc ΚΩΤΣΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ, MSc ΛΑΖΟΓΙΑΝΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΔΡ. ΒΟΥΛΓΑΡΗΣ ΣΤ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΔΡ. ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ		

Η σελίδα έχει μείνει σκόπιμα κενή



ΛΑΕΡΤΗΣ

Καινοτόμο επιχειρησιακό σύστημα
διαχείρισης φυσικών κινδύνων
στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων



**ΥΠΟΕΡΓΟ 1 «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ,
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ – ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ»**

Πακέτο Εργασίας	Π.Ε.1.6 – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΑΠΤΩΞΕΩΝ – ΔΡΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΠΗΛΑΙΩΝ		
Συντάκτης Φορέας	Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών		
Κωδικός Παραδοτέου	Π.1.9.2 – Έκθεση εγκατάστασης και λειτουργίας συστημάτων παρακολούθησης σπηλαίων		
Αριθμός Έκδοσης	1	Διαθεσιμότητα	Ολοκληρωμένο
Μήνας Έναρξης	M1	Μήνα Λήξης	M20
Τύπος	Έκθεση		
Ομάδα Σύνταξης	ΔΡ. ΛΕΚΚΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ, ΔΡ. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΔΡ. ΣΚΟΥΡΤΣΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΔΡ. ΔΙΑΚΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, MSc ΜΑΥΡΟΥΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, MSc ΚΩΤΣΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ, MSc ΛΑΖΟΓΙΑΝΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΔΡ. ΒΟΥΛΓΑΡΗΣ ΣΤ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΔΡ. ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ		

Η σελίδα έχει μείνει σκόπιμα κενή

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ	4
2.1 Γενικά	4
2.2 Ραντάρ.....	4
2.3. Μόνιμοι σταθμοί αναφοράς	7
2.4 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.....	9
3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΣΕ ΤΑΚΤΑ ΧΡΟΝΙΚΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ.....	12
3.1. Γενικά	12
3.2. Με χρήση επίγειου σαρωτή	12
3.2. Μη μόνιμοι σταθμοί αναφοράς.....	17
3.3. UAS - Συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών	18
4. ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	21
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	23

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν παραδοτέο εκπονείται στο πλαίσιο του πακέτου εργασίας (Π.Ε. 1.5) “Εκτίμηση Κινδύνου Κατολισθητικών Φαινομένων στις Παραλίες» - Καινοτόμο Επιχειρησιακό Σύστημα Διαχείρισης Φυσικών Κινδύνων στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων.

Το παραδοτέο **Π1.9.2. Έκθεση Εγκατάστασης και Λειτουργίας Συστημάτων Παρακολούθησης των Σπηλαίων** έχει ως στόχο την έρευνα και ανάλυση συστημάτων παρακολούθησης των σπηλαίων καθώς και την παρουσίαση της μεθοδολογίας και της διάταξής τους και περιλαμβάνει αντικείμενα που είναι απαραίτητα και για το σύνολο των εργασιών του πακέτου εργασίας **Π.Ε.1.6 “Εκτίμηση Κινδύνου Καταπτώσεων Δράσεις Προστασίας & Ανάδειξης Σπηλαίων”**. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει την περιγραφή διατάξεων και τεχνολογικού εξοπλισμού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των σπηλαίων. Οι δύο βασικές κατηγορίες που βασίζονται σε μετρήσεις και παρακολούθηση διακρίνονται είτε i) σε πραγματικό χρόνο είτε ii) σε μη πραγματικό χρόνο, ανάλογα με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Το παραδοτέο συμπληρώνεται από τη βιβλιογραφία στην οποία βασίστηκε η συγγραφή του.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν και ένα σημαντικό ποσοστό καταστροφικών φαινομένων είναι κλιματικού χαρακτήρα ή έχουν να κάνουν με ακραία καιρικά φαινόμενα, τα περισσότερα από αυτά οφείλονται σε φυσικές διεργασίες γεωδυναμικού χαρακτήρα. Πρόκειται δηλαδή για ταχέως εξελισσόμενα έντονα γεωλογικά φαινόμενα επιφανείας και βάθους, που συνδέονται με τη διαρκή κινητικότητα της λιθόσφαιρας (Παπανικολάου, Δ., Σίδερης, Χ., 2005). Συνεπώς, στόχο αποτελεί η όσο το δυνατόν βαθύτερη γνώση αυτών των φυσικών φαινομένων και της εξέλιξής τους, η οποία επιτρέπεται πλέον με τη χρησιμοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας που μπορεί να συμβάλει με κάθε τρόπο στην μελέτη και ανάλυσή τους. Οι ενεργές διαρρήξεις, οι οποίες παράγουν μία δυναμική και συνεχώς εξελισσόμενη μορφολογία κατά μήκος απόκρημνων ακτών αλλά και της ευρύτερης περιοχής όπου τις συναντάμε, αποτελούν τέτοιο παράδειγμα φαινομένου γεωδυναμικού χαρακτήρα, αφού η εμφάνισή τους οφείλεται στην εκτόνωση συσσωρευμένων τάσεων. Η δράση των τεκτονικών αυτών δυνάμεων έχει ως αποτέλεσμα τις σχετικές μετατοπίσεις όλης της επιφάνειας ενός ρήγματος, οι οποίες δημιουργούν με τη σειρά τους μορφολογικές ασυνέχειες παράγοντας μικρότερες δομές επιδεδεικτικές στη διάβρωση, που είτε κατολισθαίνουν σταδιακά, είτε αποκολλώνται από το αρχικό υλικό στην περίπτωση που συναντούμε βραχώδη εδάφη προκαλώντας καταπτώσεις.

Σύμφωνα με τους [Ονο *et al.*, 2000], το πιο σημαντικό για τις μετρήσεις τοπογραφίας τη στιγμή ενός καταστροφικού γεγονότος είναι να αποκτηθούν τα αποτελέσματα όσο το δυνατόν γρηγορότερα και να υπάρχει μία επαρκής ακρίβεια ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις απαραίτητες κινήσεις-αποφάσεις. Τα στοιχεία που θεωρούνται απαραίτητα την στιγμή μιας καταστροφής είναι:

1. Δυνατότητα μετρήσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα
2. Επαρκή ακρίβεια των μετρήσεων, με βάση την οποία μπορούν να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις
3. Δυνατότητα απόκτησης και εξαγωγής δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, έτσι ώστε να μπορούν άμεσα να χρησιμοποιηθούν
4. Δυνατότητα μετρήσεων με ανεξαρτησία φωτισμού (κατά τη διάρκεια της νύχτας)
5. Δυνατότητα απόκτησης δεδομένων έξω από την πληγείσα περιοχή-θέση συμβάντος
6. Δυνατότητα μετρήσεων ανεξαρτήτου καιρικών συνθηκών

Για την αποτύπωση, τη χαρτογράφηση και το χαρακτηρισμό τέτοιων περιοχών με σκοπό την χωροχρονική παρακολούθηση της εξέλιξης του φαινομένου, δεδομένου πως η κατάσταση μεταβάλλεται συνεχώς και μπορεί να επιδεινωθεί οποιαδήποτε στιγμή λόγω άμεσης εξάρτησης από τις καιρικές συνθήκες, επιτακτική γίνεται η ανάγκη συλλογής χωρικών δεδομένων μεγάλης ανάλυσης σε ορισμένες χρονικές περιόδους ή ακόμα καλύτερα σε πραγματικό χρόνο. Τα προβλήματα που προκύπτουν σχετικά με την απόκτηση της απαιτούμενης πληροφορίας σε τέτοιες δυναμικές περιοχές είναι η δυσκολία προσβασιμότητας στις απότομες επιφάνειες, η ασφάλεια κατά την διάρκεια των μετρήσεων, η απαίτηση πολύωρης εργασίας στο πεδίο, η ακρίβεια των μεθόδων συλλογής δεδομένων και η έλλειψη παλαιότερων δεδομένων λόγω όλων αυτών των δυσκολιών.

2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ

2.1 Γενικά

Η αστοχία των παράκτιων κρημνών/πρανών αποτελεί σημαντική πηγή φυσικού κινδύνου και περιοριστικό παράγοντα για τις ανθρώπινες δραστηριότητες και την ασφαλή χρήση σε κρημνώδεις παράκτιες περιοχές (Moore and Griggs 2002). Η εκτίμηση και η προληπτική αντιμετώπιση αυτών των φαινομένων είναι απαραίτητες για την αποφυγή επικείμενων καταστροφών.

Στα πλαίσια της πρόληψης προτείνονται διάφορα συστήματα παρακολούθησης κατολισθητικών φαινομένων σε πραγματικό χρόνο, που μπορούν να βοηθήσουν στη μελέτη και κατανόηση των διεργασιών στο παράκτιο περιβάλλον, την αξιολόγηση της επικινδυνότητας και την αξιόπιστη εφαρμογή των απαραίτητων μέτρων μείωσής της.

Η χρήση της σωστής τεχνικής για την παρακολούθηση κατολισθητικών φαινομένων εξαρτάται από τον τύπο και το μέγεθος της κατολίσθησης καθώς επίσης και από το βαθμό επικινδυνότητας της κατολίσθησης (Macek et. al, 2014). Οι παράμετροι που επηρεάζουν την συμπεριφορά μιας κατολίσθησης είναι το βάθος και η ταχύτητα, το μέγεθος του κόκκου και η δύναμη κρούσης. Ιδιαίτερα σε ότι αφορά στις βραχώδεις καταπτώσεις οι οποίες συναντώνται πολύ συχνά σε όλα τα Ιόνια νησιά σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι ασυνέχειες και συγκεκριμένα η πυκνότητά τους, ο προσανατολισμός τους αλλά και το είδος τους. Επίσης υψηλή σημαντικότητα διαδραματίζουν και μετεωρολογικοί παράγοντες όπως οι ένταση της βροχόπτωσης και η συσσώρευση κατακρημνισμάτων σε μικρό χρονικό διάστημα.

Τα τυπικά συστήματα παρακολούθησης κατολίσθησεων σε πραγματικό χρόνο περιλαμβάνουν διατάξεις και αισθητήρες για τον υπολογισμό των δυνητικών επιφανειών ολίσθησης, την ποσοτικοποίηση και εντοπισμό των μικρομετακινήσεων, τον υπολογισμό και τη διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας του πετρώματος, σε συνδυασμό με την υγρασία καθώς και άλλους τοπικούς μετεωρολογικούς παράγοντες.

2.2 Ραντάρ

Η χρήση των ραντάρ και συγκεκριμένα της διαφορικής συμβολομετρίας ραντάρ είναι μια αξιόπιστη μέθοδος παρακολούθησης κατολισθητικών φαινομένων όπου βασικός σκοπός είναι η ίδρυση ενός δικτύου κατάλληλα επιλεγμένων σημείων για τη μέτρηση των ρυθμών μεταβολής των μετακινήσεων (Leva et. al, 2003).

Οι σύγχρονες μέθοδοι ραντάρ καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο το σημείο ενδιαφέροντος με αισθητήρες υψηλής ευκρίνειας και ταυτόχρονα πραγματοποιείται καταγραφή εικόνας με ενσωματωμένη κάμερα παρακολούθησης στη συσκευή ραντάρ τα οποία μπορεί να είναι είτε σταθερά είτε μετακινούμενα.

Και στις δύο περιπτώσεις η συσκευή τοποθετείται απέναντι από το επικίνδυνο πρανές σε απόσταση ανάλογα με τις προδιαγραφές του εξοπλισμού. Σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα εκπέμπονται μικροκύματα τα οποία ανακλώνται από το υπό εξέταση πρανές, επιστρέφουν στη συσκευή και έτσι καταγράφεται η θέση των επιλεγμένων σημείων. Σε περίπτωση μεταβολής

της θέσης αυτών των σημείων και κατά συνέπεια των βραχωδών σφηνών στις οποίες ανήκουν δημιουργείται συμβάν.

Το ραντάρ καταγράφει οποιαδήποτε μικρομετακίνηση σε ακρίβεια εκατοστού. Ταυτόχρονα υπάρχει ενσωματωμένο σύστημα προειδοποίησης σε περίπτωση επικείμενης κατολισθησης/κατάπτωσης (Σχήμα 2-1). Η διαβίβαση των δεδομένων γίνεται μέσω του διαδικτύου σε ένα κέντρο επιχειρήσεων ή λήψης αποφάσεων στο οποίο ο χειριστής ενημερώνεται για κάθε αλλαγή θέσης οποιουδήποτε σημείου αναφοράς το οποίο είναι δυνατόν να σχετίζεται με κάποια βραχώδη σφήνα της οποίας η αποκόλληση έχει ξεκινήσει. Στη συνέχεια η επεξεργασία και η στατιστική ανάλυση γίνεται με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών και ο εκάστοτε χειριστής εκτιμάει τον βαθμό επικινδυνότητας της κατάστασης και ανάλογα με τα πρωτόκολλα της υπηρεσίας προβαίνει στις αναγκαίες αποφάσεις.

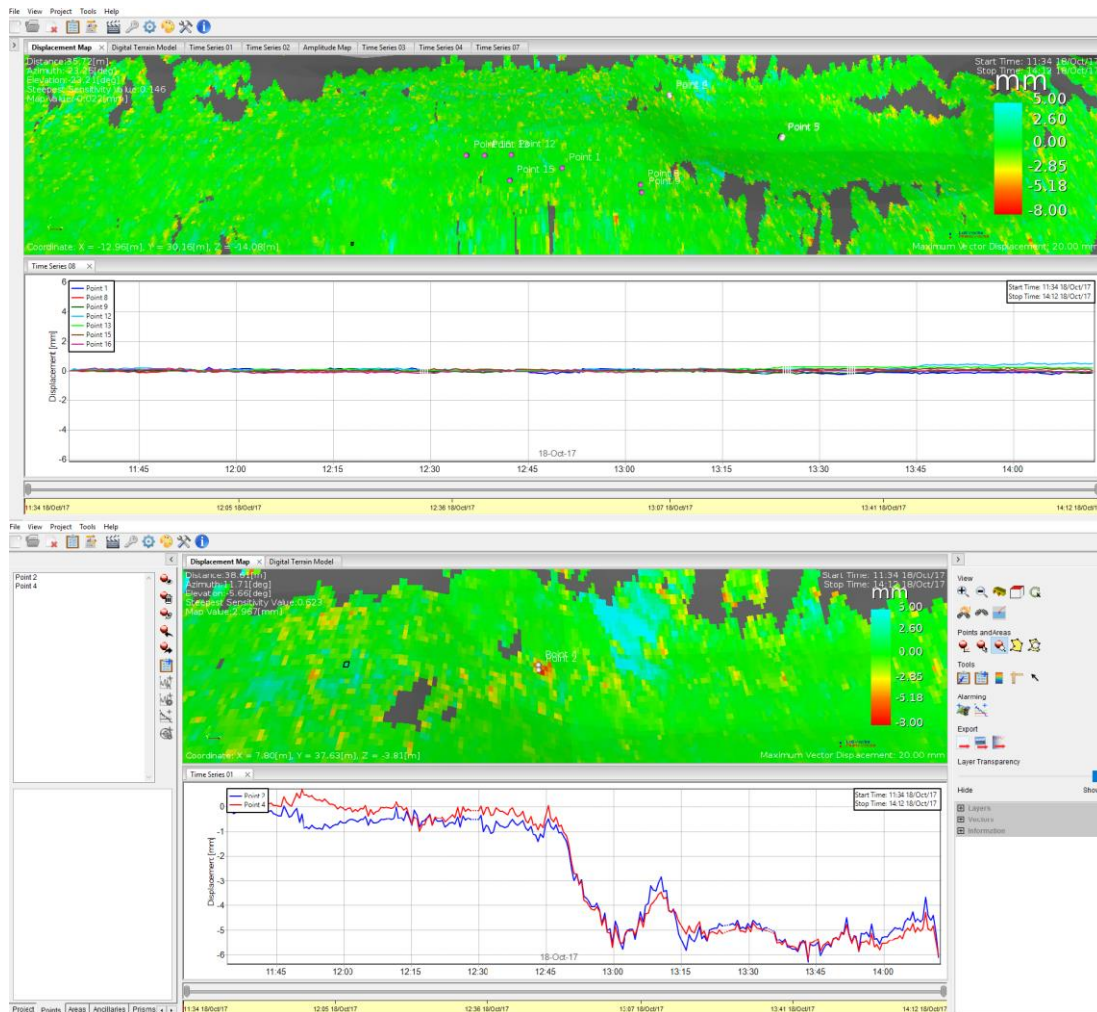
Το σύνολο των δεδομένων δημιουργεί χρονοσειρές οι οποίες συλλέγονται σε έναν κεντρικό server εξασφαλίζοντας έτσι την συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων με ασφαλή τρόπο.

Στην περίπτωση εγκατάστασης σταθερής συσκευής ραντάρ η τελευταία μπορεί να τοποθετηθεί σε αρκετά μεγάλη απόσταση απέναντι από το υπό εξέταση κρημνώδες πρηνές που μπορεί να φτάσει και τα 4,5 χιλιόμετρα. Ο ρυθμός επαναλαμβανόμενης καταγραφής είναι της τάξης των 2 λεπτών ενώ η χωρική ανάλυση είναι της τάξης των 4 μέτρων. Είναι δυνατή η κάλυψη πρηνούς με έκταση της τάξης των 2 τετραγωνικών χιλιομέτρων, ανάλογα με την απόσταση της εγκατάστασης από το πρηνές ενώ μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 5 τετραγωνικά χιλιόμετρα αν η γραμμική απόσταση μεταξύ τους είναι μικρότερη από τα 2 χιλιόμετρα.



Σχήμα 2-1: Σταθερές (επάνω) και μετακινούμενες (κάτω) συσκευές ραντάρ για την παρακολούθηση κατολισθητικών φαινομένων.

Η συνεχής καταγραφή των μετακινήσεων με ακρίβεια χιλιοστού πραγματοποιείται σε συνδεδεμένο σύστημα προειδοποίησης για την έγκυρη αντιμετώπιση και την αποφυγή μιας επικείμενης καταστροφής (Σχήμα 2-2). Οι καταγραφές είναι ανεπηρέαστες από τις καιρικές συνθήκες λόγω του σχετικά μεγάλου μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Ακόμη και αν γίνει μετεγκατάσταση του εξοπλισμού λόγω ιδιαίτερων συνθηκών οι νέες καταγραφές είναι συγκρίσιμες με τις προηγούμενες διατηρώντας τις επί τόπου μετρήσεις για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.



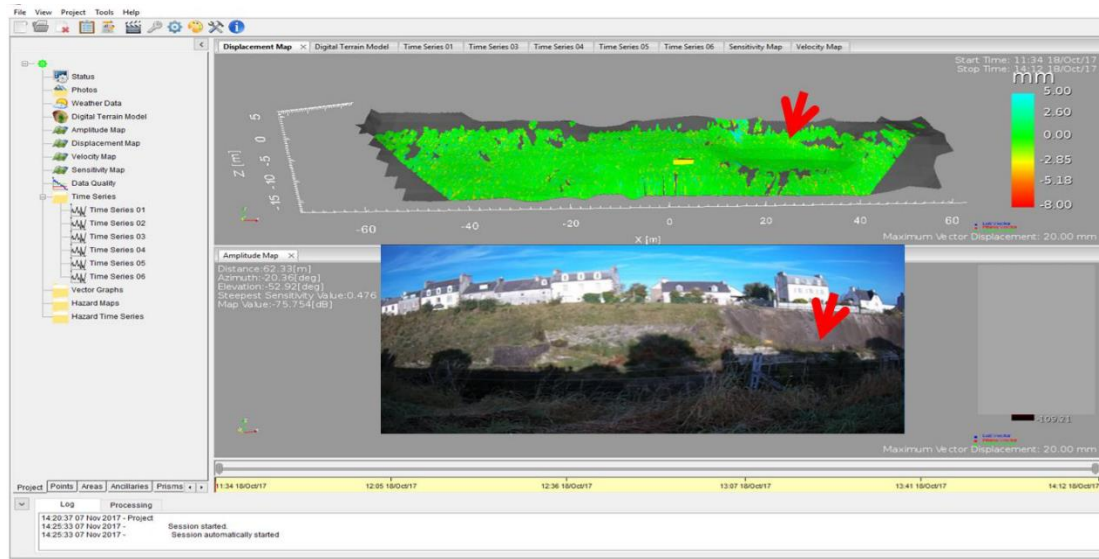
Σχήμα 2-2: Παράδειγμα καταγραφής ραντάρ πριν (πάνω) και μετά (κάτω) ενός συμβάντος μετακίνησης μάζας (γαλάζιο)

Ο χειρισμός μετά την εγκατάσταση, αν και εφόσον χρειαστεί, γίνεται με συνήθη ασύρματα πρωτόκολλα. Η τροφοδοσία αντίστοιχων εξοπλισμών γίνεται μέσω επαναφορτιζόμενων συστοιχιών μπαταριών οι οποίες μπορούν να φορτίζονται από ηλιακά πάνελ.

Στην περίπτωση εγκατάστασης μετακινούμενης συσκευής ραντάρ, η τελευταία μπορεί να τοποθετηθεί απέναντι από τα υπό εξέταση πρανή ή/και κρημνώδεις ακτές όταν υπάρχει περιορισμός ως προς το πλάτος ή το μήκος της παραλίας. Η τοποθέτηση δεν μπορεί να ξεπερνάει τα 800 μέτρα με ακρίβεια μέτρησης καλύτερη από 0,1 mm. Ο ρυθμός επαναλαμβανόμενης καταγραφής είναι της τάξης των 30 δευτερολέπτων.

Ο συγκεκριμένος εξοπλισμός θα μπορούσε να διαθέτει ενσωματωμένη οπτική ή υπέρυθρη κάμερα παρέχει απομακρυσμένη παρακολούθηση του υπό εξέταση κρημνώδους πρανούς σε πραγματικό χρόνο με αποτέλεσμα την καταγραφή εικόνας η οποία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου με πραγματικό χρώμα (Σχήμα 2-3).

Η παραπάνω λειτουργία γίνεται μέσω λογισμικών τα οποία συνδυάζουν τις συνεχόμενες μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο και την ανάλυσή τους με στόχο τον εντοπισμό μικρομετακινήσεων και την τάση παραμόρφωσης στα πρανή.



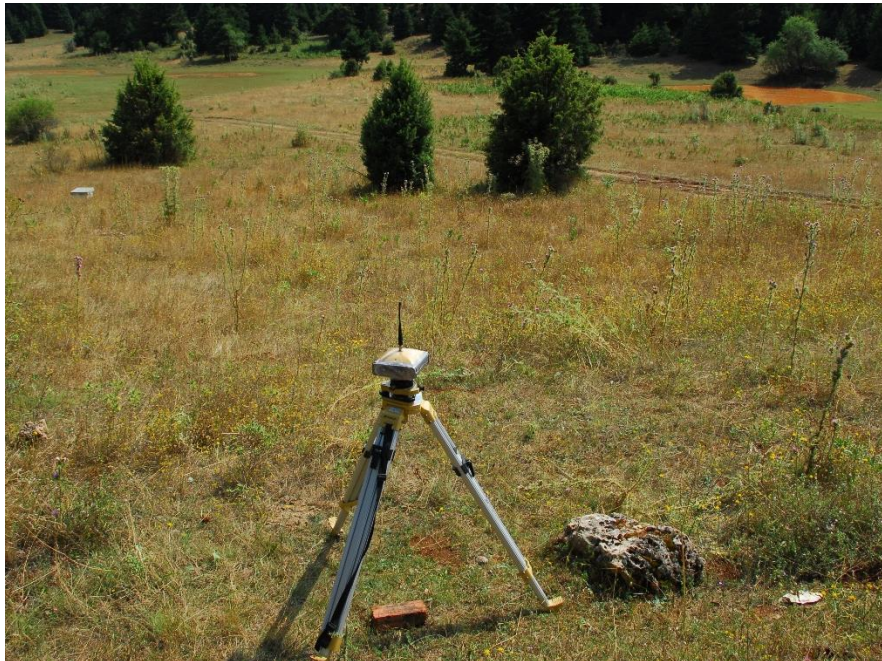
Σχήμα 2-3: Παράδειγμα παρακολούθησης με ραντάρ και καταγραφή εικόνας σε πραγματικό χρόνο

2.3. Μόνιμοι σταθμοί αναφοράς

Οι μόνιμοι σταθμοί αναφοράς αποτελούνται από δέκτες GNSS (Σχήμα 2-4) που τοποθετούνται σε σταθμούς ελέγχου και πραγματοποιούν γεωδαιτικές μετρήσεις ανά χρονικό βήμα κάποιων δεκάδων δευτερολέπτων και αποθηκεύουν τις χρονοσειρές σε πραγματικό χρόνο σε βάση δεδομένων που βρίσκεται σε κεντρικό διακομιστή. Σκοπός των μόνιμων σταθμών αναφοράς είναι η συνεχής καταγραφή (σε χρονοσειρές) της μεταβολής ή όχι των συντεταγμένων των σταθμών ελέγχου και στις τρεις διαστάσεις (3D), οι οποίοι βρίσκονται διάσπαρτοι στην υπό μελέτη περιοχή που απειλείται από κατολισθητικά φαινόμενα.

Οι μόνιμοι σταθμοί αναφοράς είναι η μέθοδος που επιλέγεται κυρίως για εκτεταμένες περιοχές μελέτης και για έργα μεγάλης κλίμακας. Επίσης, ο δέκτης του οποίου υπολογίζεται η θέση θα πρέπει να συγχρονιστεί με τουλάχιστον 4 δορυφόρους για την αξιοπιστία των μετρήσεων

(Savnaidis, 2003), γεγονός που σημαίνει ότι ο προσανατολισμός της θέσης εγκατάστασής του θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε όσο το δυνατόν να μην επηρεάζεται η επικοινωνία με τις τροχιές των δορυφόρων σε 24ωρη βάση. Το σημαντικό πλεονέκτημα των σταθμών αυτών είναι η υψηλή χρονική διακριτική ικανότητά τους (Davis et al., 2003) και έτσι τους κατατάσσει σε μέθοδο μεγάλης αξιοπιστίας. Από την άλλη μεριά, η μέθοδος χρήσης μόνιμων σταθμών GNSS έχει υψηλότερο κόστος εγκατάστασης.

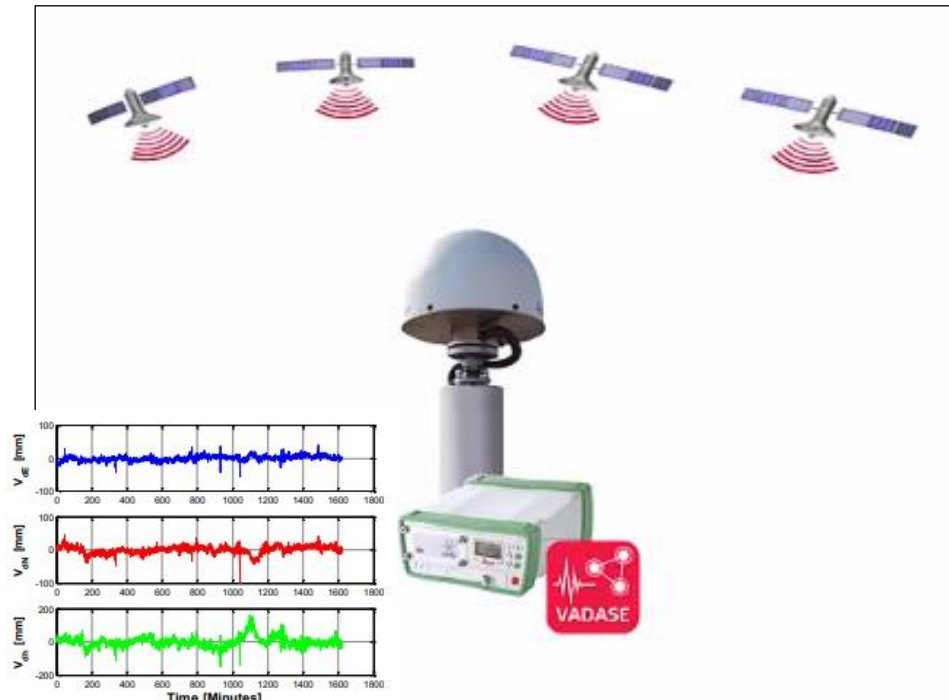


Σχήμα 2-4: Παράδειγμα μόνιμου σταθμού αναφοράς (δέκτης GNSS σήματος)

Η πιο σύγχρονη μέθοδος δικτύωσης μόνιμων σταθμών αναφοράς είναι με το σύστημα Vadase (Σχήμα 2-5) όπου η λειτουργία του συστήματος μετάδοσης γίνεται αυτόματα μέσω της εφαρμογής μιας σειράς αλγορίθμων, παρέχοντας υψηλής ταχύτητας πληροφορίες με τη χρήση ενός μόνο δέκτη GNSS (Tawk et.al, 2016). Η λειτουργία του συστήματος γίνεται σε πραγματικό χρόνο (real-time), σχεδόν ανεξάρτητα από κλιματικούς παράγοντες ανεξαρτήτως μέρας ή νύχτας και με τη δυνατότητα αποστολής ειδοποιήσεων.

Ουσιαστικά πρόκειται για μια διάταξη η οποία λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο και σε απόλυτο πλαίσιο αναφοράς χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους της ταχύτητας και της μετατόπισης ενός δέκτη GNSS με μεγάλη ακρίβεια. Βασίζεται σε «βαρυμετρική» προσέγγιση στο πλαίσιο της οποίας είναι απαραίτητες οι βοηθητικές πληροφορίες που συνοδεύουν τις μετρήσεις που καταγράφονται από τον δέκτη, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως μέρος των γεωδαιτικών πληροφοριών. Χρησιμοποιούνται υψηλής συχνότητας δεδομένα GNSS για να εντοπιστούν ταχύτητες της τάξης των μερικών εκατοστών ανά δευτερόλεπτο και μετακινήσεις της τάξης των εκατοστών χωρίς να είναι απαραίτητη οποιαδήποτε διόρθωση ή επίλυση.

Η όλη διάταξη εφαρμόζεται κυρίως σε μεγάλες περιοχές όπου οι καταπτώσεις και οι κατολισθήσεις αποτελούν δευτερογενή/συνοδά γεωδυναμικά φαινόμενα τα οποία έπονται σημαντικών σεισμικών κινήσεων από γειτονικό χώρο.



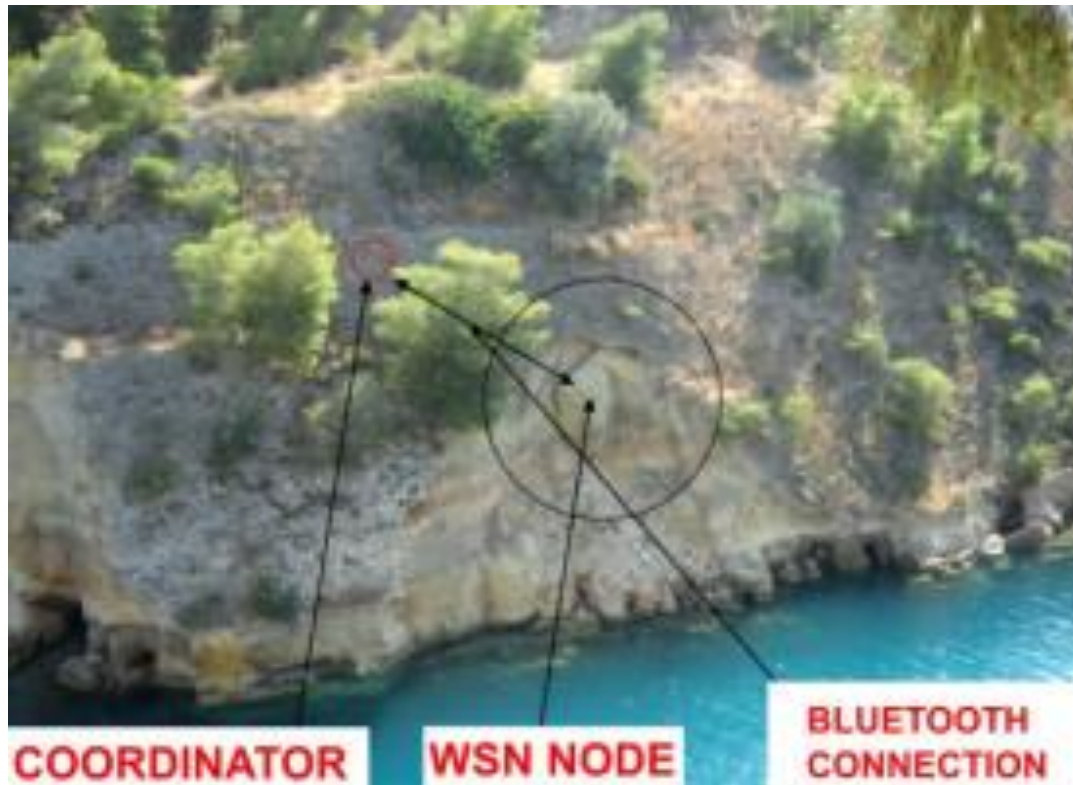
Σχήμα 2-5: Σταθμοί αναφοράς με σύστημα Vadase για real-time καταγραφή μετατόπισης σε τρεις διαστάσεις.

2.4 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Ένας άλλος τρόπος παρακολούθησης και ανάλυσης των μικρομετακινήσεων και των καταπτώσεων που μπορεί να προκύψουν σε ένα πρνανές είναι με ένα δίκτυο αισθητήρων. Χρησιμοποιώντας Μικρο-Ηλεκτρομηχανικά Συστήματα (MEMS) (γυροσκόπιο, επιταχυνσιόμετρο, κλισίμετρο, μαγνητόμετρο) σε συνδυασμό με μια συσκευή ραδιομετάδοσης και ένα μικροεπεξεργαστή, δημιουργείται ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων WSN (wireless sensor network). Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από ενεργειακά αυτόνομους κόμβους οι οποίοι «αισθάνονται», δηλαδή παρατηρούν φυσικά μεγέθη (θερμοκρασία, υγρασία, πίεση, κίνηση, εικόνα, ήχο, κτλ.) και μεταδίδουν τις επεξεργασμένες (ή και όχι) μετρήσεις τους, με τελικό προορισμό ένα σταθμό βάσης ο οποίος είναι εγκατεστημένος σε έναν διακομιστή (server). Η επικοινωνία των κόμβων με το σταθμό βάσης είναι αμφίδρομη ενώ είναι δυνατή και η σύνδεσή τους με ένα σύστημα διαβαθμισμένης προειδοποίησης.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων ανταποκρίνονται με μεγάλη ταχύτητα στις αλλαγές των δεδομένων (καταπτώσεις) αλλά και στην αποστολή των δεδομένων αυτών στο σταθμό βάσης. Ένα κύκλωμα ελέγχου τοποθετείται κοντά στο δίκτυο των αισθητήρων και εντός της εμβέλειας

σύνδεσης Bluetooth (Σχήμα 2-6), για να λαμβάνει το σύνολο των πληροφοριών και κατ' επέκταση να ελέγχει συνεχώς τα όρια των μικρομετακινήσεων, ώστε να στέλνεται προειδοποίηση σε προκαθορισμένους χρήστες μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας όταν αυτά ξεπεραστούν (Hloupris et al, 2016).

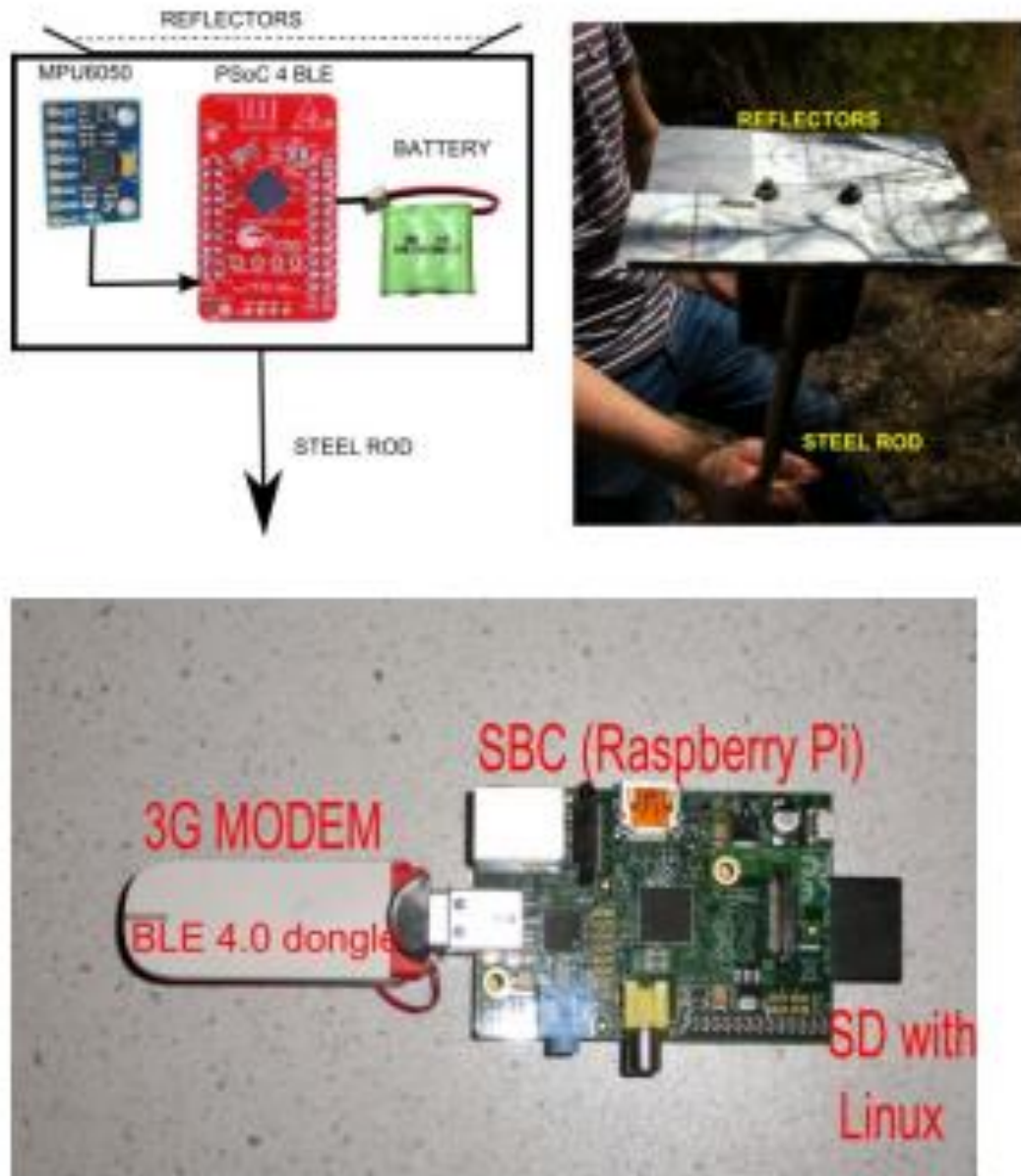


Σχήμα 2-6: Παράδειγμα τοποθέτησης ενός κόμβου του δικτύου αισθητήρων. Ο κόκκινος κύκλος δείχνει τη θέση του κυκλώματος ελέγχου ενώ ο μαύρος κύκλος τη θέση του ασύρματου δικτύου αισθητήρων (Hloupris et al, 2016).

Επιπλέον, είναι κατασκευασμένα με τρόπο τέτοιο ώστε να έχουν μειωμένο φυσικό μέγεθος, όγκο, βάρος και φυσικά κόστος. Η τοποθέτηση των αισθητήρων μπορεί να γίνει σε δυσπρόσιτες περιοχές ενώ η συντήρηση που απαιτούν είναι ελάχιστη (Σχήμα 2-7).

Παρόλα αυτά υπάρχουν περιορισμοί ως προς την αυτονομία και την ισχύ των μπαταριών καθώς και ως προς την διαθεσιμότητα μνήμης. Εκτός των ανωτέρω στην πλειονότητα των περιπτώσεων η τοποθέτησή τους γίνεται από τεχνικούς με ιδιαίτερες δεξιότητες (πχ. αναρριχητές) και σε συνθήκες απόλυτης ασφάλειας.

Τα συστήματα αυτά σχεδιάζονται για την άμεση προειδοποίηση και λειτουργία σε πραγματικό χρόνο και έχουν πολλές εφαρμογές (κατολισθήσεις, πυρκαγιές, ηφαίστεια, κ.α). Μπορούν να τοποθετηθούν και να καλύψουν περιοχές μεγάλης εμβέλειας και εμπίπτουν στις μεθόδους μεγάλης ακρίβειας.



Σχήμα 2-7: Σχεδιάγραμμα (επάνω) ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Τα δεδομένα του δικτύου αισθητήρων αποστέλλονται σε ένα κύκλωμα ελέγχου (κάτω) (Ηλιούρης et al, 2016).

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΣΕ ΤΑΚΤΑ ΧΡΟΝΙΚΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ

3.1. Γενικά

Πολλές φορές δεν υπάρχει δυνατότητα καταγραφής μετρήσεων και επεξεργασίας τους σε πραγματικό χρόνο για πολλούς και διάφορους λόγους (έλλειψη δικτύου, έλλειψη εγκαταστάσεων κλπ.) και καταφεύγουμε στη δημιουργία μιας χρονοσειράς μετρήσεων με αντικειμενικό στόχο τον εντοπισμό μεταβολών. Όσο πυκνές και να είναι οι χρονοσειρές δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να συγκριθούν με τις μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο όμως πολλές φορές είναι αρκετό να ξέρουμε αυτές τις μεταβολές σε βάθος χρόνου.

Η εκτέλεση των μετρήσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα και η καταγραφή του μεγέθους της μεταβολής κάποιας φυσικής παραμέτρου, καθορίζει την πυκνότητα των επόμενων μετρήσεων και κατά συνέπεια η αναγκαιότητα ή όχι νέας μέτρησης σε σύντομο χρονικό διάστημα, αυξάνει ή μειώνει το κόστος της παρακολούθησης. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που εντοπιστεί απόκλιση από τις συνηθισμένες μετρήσεις αυξάνεται η πυκνότητα των καταγραφών και ενδεχομένως το κόστος της παρακολούθησης. Σε αντίθετη περίπτωση, η πυκνότητα των μετρήσεων μπορεί να αραιώσει και το συνολικό κόστος βγαίνει μειούμενο.

3.2. Με χρήση επίγειου σαρωτή

Με τη χρήση επίγειου σαρωτή (terrestrial laser scanner) είναι δυνατή η τρισδιάστατη τοπογραφική αποτύπωση των παράκτιων κρημνών/πρανών των παραλιών και η παρακολούθηση των κατολισθητικών φαινομένων. Πρόκειται για συστήματα τα οποία συλλέγουν και καταγράφουν πολλά εκατομμύρια σημεία αποδίδοντάς τους σε πραγματικό χρόνο συντεταγμένες και απόλυτο υψόμετρο με πολλή μεγάλη ακρίβεια (Σχήμα 3-1).

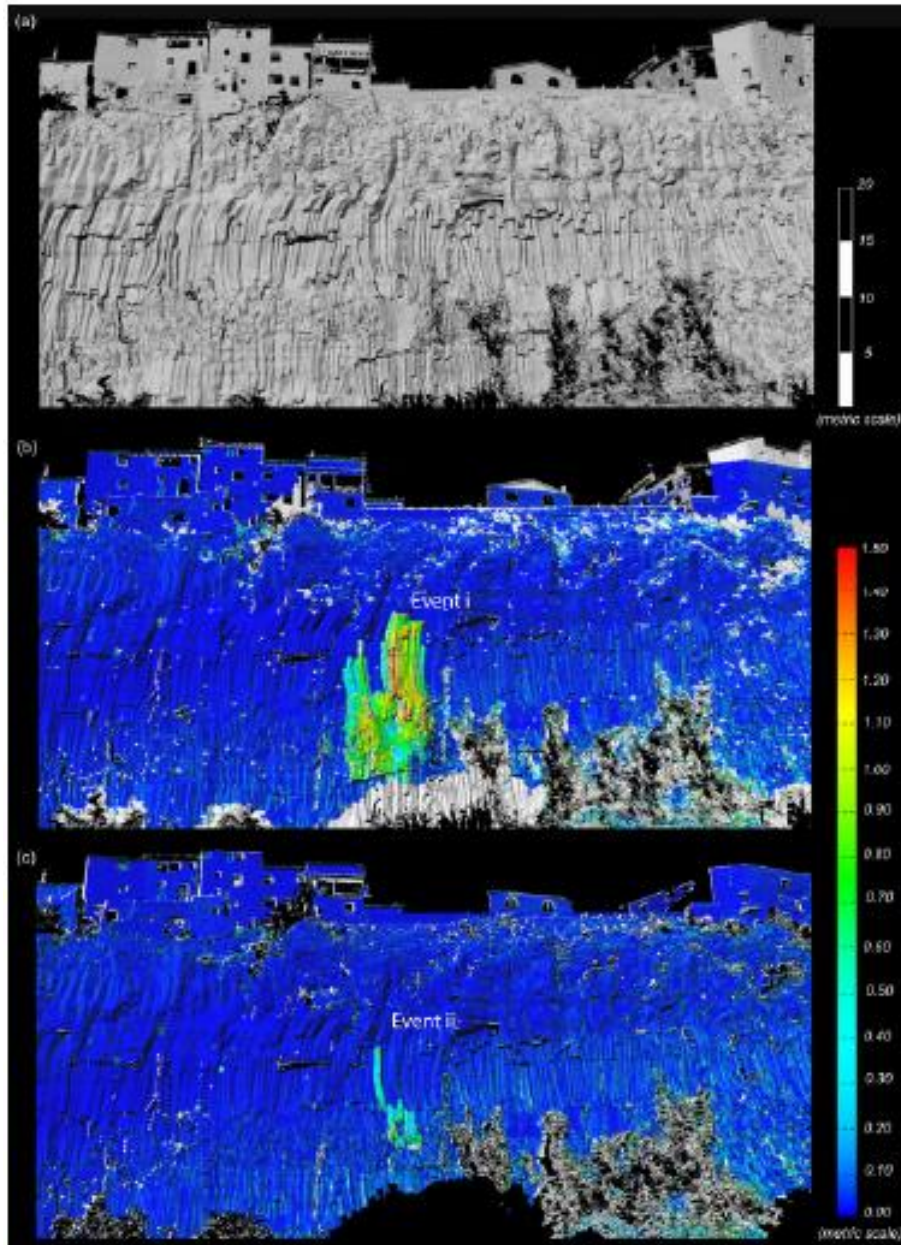
Η απόδοση της τρισδιάστατης γεωμετρίας με «νέφος σημείων» (point cloud) και όχι με μεμονωμένα σημεία όπως γίνεται στις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης, αποδίδει όλες τις λεπτομέρειες της επιφάνειας που σαρώνεται, χωρίς κενά και ανακρίβειες σε πολύ σύντομο χρόνο. Το «νέφος σημείων» ενός πρανούς που έχει σαρωθεί αποτελεί δεδομένο έτοιμο για μετρήσεις από σημείο σε σημείο (αποστάσεις - γωνίες), τρισδιάστατη αναπαράσταση, μοντελοποίηση, παραγωγή ισοϋψών, δισδιάστατων σχεδίων αλλά και για εφαρμογές σε σχεδιαστικά προγράμματα CAD.



Σχήμα 3-1: Επίγειος σαρωτής αναγλύφου με εμβέλεια μέτρησης μέχρι 1000 μέτρα.

Η μέθοδος χρήσης επίγειου σαρωτή υπερέρχει έναντι των άλλων μεθόδων όσον αφορά το πολύ πυκνό νέφος σημείων πολύ υψηλής ακρίβειας και χωρικής ανάλυσης της τάξης του 0,5 cm (Abellan et. al, 2010)

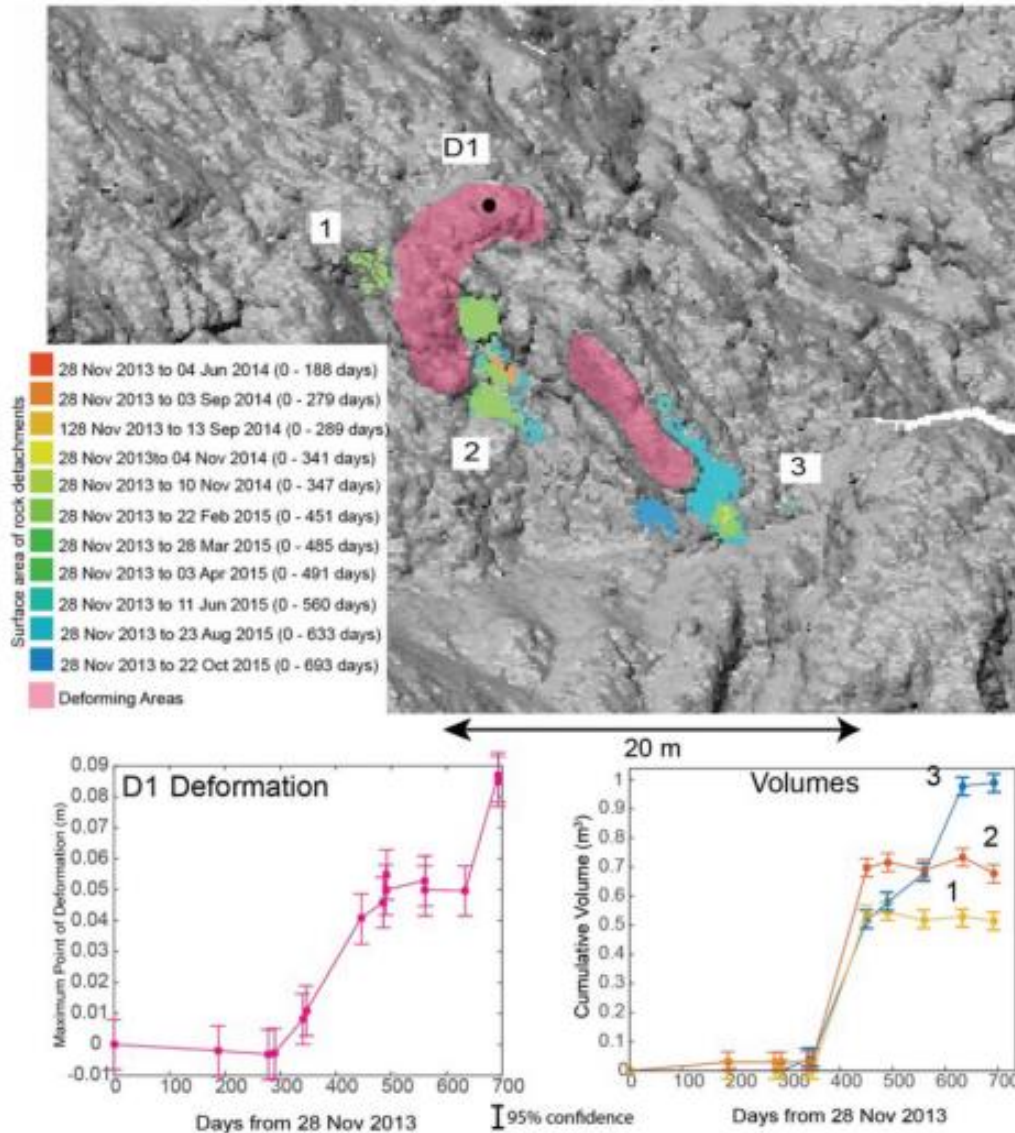
Η χρήση της τρισδιάστατης σάρωσης αποτελεί μια εναλλακτική μεθοδολογία λεπτομερούς χαρτογράφησης (Σχήμα 3-2) και ένα σημαντικό εργαλείο στις αποτυπώσεις απρόσιτων περιοχών, αφού δίνει την δυνατότητα παραγωγής τρισδιάστατων ψηφιακών συντεταγμένων παρέχοντας υψηλή ακρίβεια, ταχύτητα, ασφάλεια κατά την διαδικασία συλλογής της πληροφορίας, ευκολία στην επεξεργασία και δυνατότητα μοντελοποίησης των δεδομένων, καθώς και μείωση του κόστους παραγωγής συγκριτικά με τις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης.



Σχήμα 3-2: Παράδειγμα μελέτης υπολογισμού όγκου κατολίθησης. Ο χρωματισμός επιδεικνύει τις μεταβολές που προέκυψαν από την σύγκριση των διαφόρων περιόδων συλλογής δεδομένων (Abellan et al, 2011).

Παράλληλα, γίνεται καταγραφή της χρωματικής πληροφορίας της επιφάνειας που σαρώνεται με τη βοήθεια ενσωματωμένης κάμερας, απευθείας από τον σαρωτή, η οποία φωτογραφίζει ότι υπάρχει στο οπτικό πεδίο που ο χρήστης έχει επιλέξει. Έτσι, μπορεί να γίνει συσχέτιση των ψηφιακών αυτών εικόνων με το «νέφος σημείων» που συλλέγονται από την ίδια λήψη και να παραχθεί πληροφορία για τις δομές, την τραχύτητα, τη σχιστότητα και τις ασυνέχειες/διακλάσεις που εμφανίζονται κατά μήκος τέτοιων επιφανειών και δημιουργούν αστοχίες.

Η σύγκριση και ανάλυση καθώς και η μέτρηση του ρυθμού μεταβολής των μετακινήσεων, η ποσοτική ανάλυση των δεδομένων (Kromer et. al, 2017), όπως ο υπολογισμός του όγκου των καταπτώσεων (Rabatel et. al, 2008) και ο βαθμός διάβρωσης (erosion rate) (Lim et. al, 2010), μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για το μέγεθος του κινδύνου κατολισθήσεων σε μια περιοχή (Σχήμα 3-3).



Σχήμα 3-3: Ποσοτική ανάλυση καταπτώσεων μιας περιοχής (Kromer et.al, 2017)

Η επίγεια τρισδιάστατη σάρωση εφαρμόζεται είτε με την χρήση ειδικού τρίποδα, όπου τοποθετείται ο σαρωτής, στερεωμένος στο έδαφος (Static Scanning), είτε με την τοποθέτησή του σε ειδική κινητή πλατφόρμα σε αυτοκινούμενο όχημα (Mobile Scanning), ενώ στην εναέρια σάρωση (Airborne Scanning) οι μετρήσεις πραγματοποιούνται από αεροπλάνα ή ελικόπτερα στα οποία προσαρμόζεται ειδική βάση με όλο το σύστημα του σαρωτή.

Η ακρίβεια των μετρήσεων αυτής της μεθοδολογίας είναι άμεσα συσχετισμένη με την απόσταση μεταξύ σαρωτή και αντικειμένου, την ανακλαστικότητα των επιφανειών που σαρώνονται, αλλά και το μέγεθος της κουκίδας της δέσμης laser. Οι ακρίβειες που είναι δυνατόν να επιτευχθούν στην αποτύπωση με σάρωση είναι αρκετά υψηλές και πιο συγκεκριμένα, ο προσδιορισμός της τρισδιάστατης θέσης μεμονωμένων σημείων γίνεται με ακρίβεια της τάξης των $\pm 1-6\text{mm}$ για συνήθεις αποστάσεις των 50m του αντικειμένου από τον σαρωτή. Όμως, η ακρίβεια βελτιώνεται σημαντικά όταν ακολουθήσει επεξεργασία των δεδομένων (νέφη σημείων) και γίνει μοντελοποίηση επιφάνειας με τιμές που ανέρχονται στα $\pm 2\text{mm}$, ενώ η ακρίβεια μέτρησης των γωνιών κυμαίνεται στα $\pm 60 \mu\text{rad}$. Γενικότερα, οι ακρίβειες διαφοροποιούνται αναλόγως τον κατασκευαστή και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε οργάνου.

Οι σαρωτές τύπου Ranging, είναι σε θέση να αποτυπώνουν σημεία που απέχουν από 1 έως και 1000 μέτρα από το σημείο λήψης, αλλά όπως προαναφέρθηκε όσο αυξάνεται η απόσταση, τόσο μειώνεται η ακρίβεια. Οι διαστάσεις της κουκίδας (spot) της δέσμης είναι 4.5mm στα 50m, ενώ αυτή μεγαλώνει ανάλογα με την απόσταση. Ενδεικτικά στα 200 μέτρα η κουκίδα έχει διάσταση 2.9 cm.

Μία τοπογραφική αποτύπωση με τη μέθοδο της επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης LiDaR μπορεί να παρέχει γρήγορα και λεπτομερή δεδομένα, για τη δημιουργία τοπογραφικών χαρτών ή ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου (DEM) κατά τη διάρκεια ενός καταστροφικού φαινομένου, όταν η άμεση παρέμβαση κρίνεται απαραίτητη. Είναι πολύ σημαντικό να δημιουργηθούν χάρτες άμεσα για την αποκατάσταση ενός καταστροφικού γεγονότος, αλλά και την πρόληψη από την εκδήλωση ενός δεύτερου (Prokop and Panholzer, 2009).

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της μεθοδολογίας είναι ότι η συλλογή των δεδομένων γίνεται ενεργά, άμεσα σε ψηφιακή μορφή και σε πραγματικό χρόνο και έτσι τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα για τη χρήση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Η μορφολογία μπορεί εύκολα να παρουσιαστεί λόγω της αφθονίας σημείων και μπορεί να συλλεχθεί πληροφορία σε μέρη που είναι δύσκολο να αποτυπωθούν με άλλες μεθόδους την στιγμή του συμβάντος.

Στην περίπτωση της μελέτης απόκρημνων ακτών οι οποίες φιλοξενούν παραθεριστές και λουόμενους, η σάρωση προγραμματίζεται να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα και η επεξεργασία των διαχρονικών δεδομένων με τη μορφή νεφών σημείων (point cloud) γίνεται με τη χρήση εξιδεικευμένων λογισμικών όπου εντοπίζονται:

A) Θέσεις όπου παρατηρούνται συστηματικά τοπικές μετατοπίσεις σημείων οι οποίες ενδεχομένως συνδέονται με μερική αποκόλληση βράχων υπό μορφή σφήνας και

B) Ασυνέχειες, των οποίων η πυκνότητα και ο προσανατολισμός μετρείται με μεγάλη ακρίβεια ώστε να σημειώνονται και να οριοθετούνται επικίνδυνες θέσεις.

3.2. Μη μόνιμοι σταθμοί αναφοράς

Σε ένα δίκτυο μη μόνιμων σταθμών αναφοράς ιδρύονται τοπογραφικές βάσεις των οποίων οι συντεταγμένες καθίστανται γνωστές σε τρεις διαστάσεις. Στους μη μόνιμους σταθμούς αναφοράς πραγματοποιούνται γεωδαιτικές μετρήσεις υψηλής ακρίβειας σε τακτά χρονικά διαστήματα, με τη χρήση συστημάτων GNSS, παρακολουθώντας συστηματικά τις μεταβολές των συντεταγμένων (σε τρεις διαστάσεις) που υπόκεινται τα σημεία ενδιαφέροντος (Σχήμα 3-4). Η τοποθέτηση των σταθμών γίνεται κυρίως στην άμεσα πληττόμενη περιοχή μελέτης για τον εντοπισμό των θέσεων που έχουν υποστεί μετατοπίσεις. Παρόλα αυτά η τοποθέτηση μπορεί να γίνει και σε σημεία ανεξάρτητα της στενής περιοχής μελέτης για την κατανόηση της ευρύτερης παραμόρφωσης της περιοχής και ουσιαστικά για την οριοθέτηση της ζώνης επιρροής. Η ανάλυση των χρονοσειρών των συντεταγμένων των σταθμών μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για τις καταπτώσεις, το ρυθμό μετακινήσεων αλλά και την ευρύτερη γεωδυναμική κατάσταση μιας περιοχής (Σακκάς, 2012). Οι μη μόνιμοι σταθμοί αναφοράς, σε αντίθεση με τους μόνιμους, είναι μέθοδος που επιλέγεται κυρίως για μικρής κλίμακας κατολισθητικά φαινόμενα.



Σχήμα 3-4: Παράδειγμα μη μόνιμου σταθμού αναφοράς (GNSS δέκτης)

Το πλεονέκτημα της χρήσης των συστημάτων GNSS είναι η δυνατότητα ανίχνευσης μετατοπίσεων και στις τρεις διαστάσεις με υψηλότερη ακρίβεια ($\pm 5\text{mm}$) (Hassan et al, 2018). Όμως η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει μειονεκτήματα που αφορούν στην πυκνότητα των μετρήσεων η οποία δεν κρίνεται ικανοποιητική ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που παρατηρούνται μεγάλες ταχύτητες μετατοπίσεων αλλά και λόγω της μη ικανοποιητικής ποσότητας και ποιότητας των θέσεων των μετρήσεων. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι δυσκολότερο να εξαχθούν στατιστικά αξιόπιστες μορφές κίνησης λόγω περιορισμένων μετρήσεων σημείων σε σχέση με τις συνεχείς καταγραφές όπου υπάρχει πλεόνασμα μετρήσεων.

3.3. UAS - Συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Ο αριθμός των δημοσιευμένων μελετών που περιγράφουν πιθανές εφαρμογές των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (UAS) για τη διαχείριση των συνεπειών των φυσικών κινδύνων και καταστροφών, αλλά και την ταυτοποίηση ή ποσοτικοποίηση των εμφανιζόμενων ζημιών αυξήθηκε έντονα την τελευταία δεκαετία (Giordan et al., 2018).

Η χρήση των mini και micro UASs είναι πρακτική για μικρές περιοχές και βέλτιστη για κατολισθήσεις που συχνά καλύπτουν μια περιοχή που κυμαίνεται από λιγότερο από ένα τετραγωνικό χιλιόμετρο έως μερικά τετραγωνικά χιλιόμετρα (Σχήμα 3-5). Εικόνες υψηλής ανάλυσης που αποκτήθηκαν από UASs μπορούν να υποστηρίξουν τον καθορισμό όχι μόνο των ορίων μιας κατολίσθησης αλλά και της αναγνώρισης και χαρτογράφησης των κύριων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών που συνδέονται με αυτή (Fiorucci et al., 2018). Μάλιστα, τελευταία τάση στην επιστημονική κοινότητα είναι η αυτοματοποιημένη αναγνώριση αυτών των χαρακτηριστικών, χρησιμοποιώντας επεξεργασμένα δεδομένα προερχόμενα από UAS (Karantanellis et al., 2019).

Η χρήση των μη επανδρωμένων εναέριων πλατφορμών αποτελεί ένα από τους πιο γρήγορους και οικονομικούς τρόπους συλλογής δεδομένων για την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους, μωσαϊκών, ορθοφωτογραφιών και διανυσματικών σχεδίων που είναι απαραίτητα σε όλα τα τεχνικά έργα. Τα ΣμηΕΑ έχουν επίσης χαμηλό κόστος κτήσης και συντήρησης και σε κάποιες εφαρμογές αποτελούν μια οικονομική εναλλακτική. Αξίζει να σημειωθεί όμως, ότι εκτός από την ταχύτητα και την οικονομία που προσφέρουν τα συστήματα αυτά, προσφέρουν και ικανοποιητική ακρίβεια (της τάξης μέχρι και κοντά στο ένα εκατοστό) στα παράγωγα τους, χάρη στις χαμηλού κόστους και υψηλής ανάλυσης ψηφιακές μηχανές και στις κάρτες μνήμης υψηλής χωρητικότητας. Αποτελούν δηλαδή, πιο προσβάσιμες, οικονομικά προσιτές και αποτελεσματικές τεχνικές που χαρακτηρίζονται από απλότητα και αξιοπιστία. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των ΣμηΕΑ σε σχέση με τα επανδρωμένα συστήματα αεροσκαφών είναι η δυνατότητα χρησιμοποίησής τους σε περιπτώσεις υψηλής επικινδυνότητας αλλά και σε δυσπρόσιτες περιοχές χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ανθρώπινη ζωή. Τέτοιες περιπτώσεις είναι, για παράδειγμα, περιοχές που έχουν υποστεί κάποια φυσική καταστροφή, όπως πλημμύρες, σεισμοί αλλά και σε δυσπρόσιτες περιοχές που είναι απαραίτητη η ορθή αποτύπωση του εδάφους (Vassilakis et. al, 2019).

Από το σύνολο των φωτογραφικών δεδομένων που συλλέγονται με τη χρήση ΣμηΕΑ μπορούν να προκύψουν σύγχρονα φωτογραμμετρικά προϊόντα, τόσο διανυσματικά όσο και κανάβου, μέσω εφαρμογής κατάλληλων μεθοδολογιών και αλγορίθμων. Σ' αυτά, συμπεριλαμβάνονται πυκνά νέφη τρισδιάστατων σημείων, τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων, εδάφους, και γενικότερων επιφανειών, "αληθείς" ορθοφωτογραφίες και ορθοφωτομωσαϊκά (RGB και υπερφασματικά), καθώς και τρισδιάστατες αποδόσεις (σχέδια) μέσω αυτοματοποιημένων στερεοσκοπικών μετρήσεων. Οι παραπάνω διαδικασίες επεξεργασίας, κατά κύριο λόγο αυτοματοποιημένες, συνεχίζουν να εξελίσσονται και να βελτιώνονται ως προς την ταχύτητα εφαρμογής τους και την τελική μετρητική ακρίβεια των αποτελεσμάτων, έτσι ώστε να ικανοποιούν διάφορες ανάγκες ανάλογα με τον τελικό χρήστη.

Συγκεκριμένα, με την χρήση τεχνικών φωτογραμμετρίας γίνεται περαιτέρω επεξεργασία των αεροφωτογραφιών για την συνένωσή τους σε ένα ενιαίο ορθο-φωτο-μωσαϊκό υψηλής

ανάλυσης αλλά και για την παραγωγή ενός ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (Vasuki et al., 2014). Η χρήση εναλλακτικών συστημάτων αεροφωτογράφισης έχει βρει εφαρμογή σε πλήθος φωτογραμμετρικών εργασιών, τα τελευταία χρόνια, παρέχοντας ευελιξία, ταχύτητα και οικονομία κατά τη συλλογή των δεδομένων σταθερής αλλά και κινούμενης εικόνας. Ειδικότερα, η εμφάνιση των αυτόματων/ημιαυτόματων Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) σε συνδυασμό με την έλευση σύγχρονων αισθητήρων χαμηλού βάρους, έχει προσεγγίσει τόσο το ερευνητικό όσο και το πρακτικό ενδιαφέρον διαφορετικών επιστημών, μεταξύ των οποίων και της Φωτογραμμετρίας με ποικίλες εφαρμογές. Το τελικό αποτέλεσμα διαμέσου της χρήσης αυτών των συστημάτων είναι η κατασκευή τρισδιάστατων (3D) ψηφιακών μοντέλων στις οποίες υπάρχει η τοποθεσία, η λεπτομερής επιφανειακή γεωμετρία καθώς και ο προσανατολισμός.



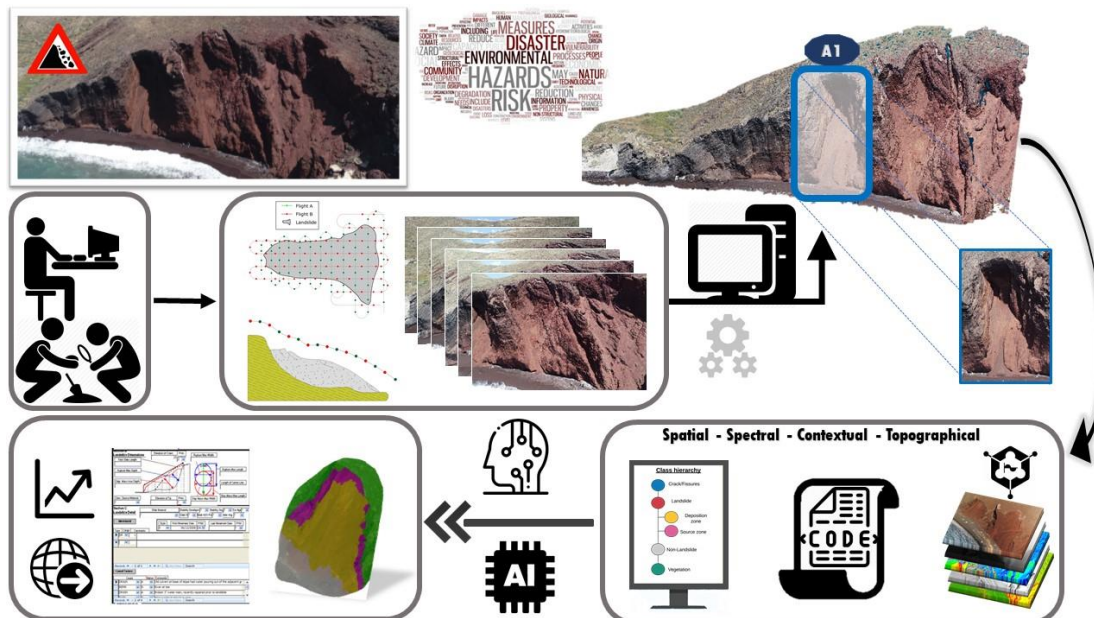
Σχήμα 3-5: Παράδειγμα μη επανδρωμένου αεροσκάφους με 8 έλικες

Τα μη επανδρωμένα συστήματα παρέχουν δεδομένα με μεγάλη ανάλυση (π.χ. $\leq 2\text{cm}$) που παλαιότερα δεν ήταν διαθέσιμη, επιτρέποντας έτσι λεπτομερειακές αναλύσεις. Η φορητότητα και η ευελιξία που προσφέρουν μαζί με τον ελαφρύ μηχανισμό λήψης και αποθήκευσης άφθονων εικόνων καλής ποιότητας είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά τους. Μετά την προσγείωση, οι εικόνες διορθώνονται γεωμετρικά, με ορισμένο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς και ενώνονται σε ορθομωσαϊκά. Τονίζεται ότι μέσω της εξέλιξης της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι πλέον δυνατή λήψη μεγάλων ποσοτήτων ψηφιακών δεδομένων ακρίβειας εκατοστού, σε χρονικό διάστημα μερικών μόλις ωρών.

Επίσης, όταν απαιτείται η αεροφωτογράφιση να γίνει σε χαμηλό υψόμετρο ή κοντά σε κάποιο αντικείμενο, δεν μπορούν να πετάξουν στελεχωμένα αεροσκάφη και είναι πιο ασφαλές να πραγματοποιηθεί πτήση με ΣμηΕΑ. Ενδείκνυνται, επομένως, για αποτυπώσεις αλλά και μεγάλης κλίμακας με απαιτήσεις μεγάλης ακρίβειας, όπως στις αποτυπώσεις κατασκευών,

αρχαιολογικών χώρων και μνημείων. Τα τελευταία συστήματα που κυκλοφορούν διαθέτουν και GPS/INS δέκτες με τους οποίους είναι δυνατός ο προσδιορισμός του σημείου λήψης των εικόνων άρα και τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων αμέσως μετά την πτήση. Μια άλλη χρησιμότητα αυτών των συστημάτων είναι ότι γνωρίζοντας την ακριβή τους θέση, εξασφαλίζεται ότι τα αερομοντέλα διανύουν την τροχιά που καθορίστηκε κατά τον προγραμματισμό της πτήσης και συνεπώς τηρούνται όλοι παράμετροι για την ορθή λήψη των αεροφωτογραφιών σύμφωνα με τους κανόνες της φωτογραμμετρίας. Με τα συστήματα αυτά ενισχύεται η αυτονομία των ΣμηΕΑ, αφού δεν είναι απαραίτητη η παρουσία ναυτίλου-φωτογράφου και με τον προγραμματισμό της πτήσης εξασφαλίζεται και η πλήρης κάλυψη της περιοχής μελέτης, με πολλές λήψεις των ίδιων σημείων/θέσεων πράγμα το οποίο επιβάλλεται για την ποιοτική επεξεργασία των δεδομένων. Ενδείκνυται, επίσης, σε περιπτώσεις που η περιοχή μελέτης είναι επικίνδυνη και δυσπρόσιτη. Σε περίπτωση απώλειας σήματος, τα σύγχρονα ΣμηΕΑ επιστρέφουν αυτόματα στη θέση απογείωσης. Ενισχύεται επίσης, η σταθερότητα στις λήψεις, αφού πραγματοποιούνται μικρές στροφές του άξονα λήψης, εξασφαλίζονται οι επικαλύψεις των εικόνων και το υψόμετρο πτήσης διατηρείται σταθερό.

Αντικειμενικός στόχος της περιγραφόμενης μεθοδολογίας είναι η φωτογράφιση του απόκρημνου πρανούς από διαφορετικές γωνίες, με υψηλό ποσοστό επικάλυψης ώστε μετά από τη φωτογραμμετρική επεξεργασία να προκύψει πυκνό νέφος σημείων. Μάλιστα, στη περίπτωση που το ΣμηΕΑ διαθέτει: (i) κεραία RTK, (ii) συνδεδεμένο σταθμό βάσης GNSS, (iii) σύνδεση με δίκτυο επίγειων σταθμών GNSS, είναι δυνατή η επίτευξη ιδιαίτερα υψηλής ακρίβειας στη χωροθέτηση του νέφους σημείων. Με τη μεθοδολογία αυτή είναι εφικτή η σύγκριση διαχρονικών νεφών σημείων, επεξεργασία μέσω της οποίας αναδεικνύονται σημεία που εντοπίζονται μεταβολές στις συντεταγμένες τους και κατά συνέπεια αποτελούν θέσεις από τις οποίες δυνητικά να προέλθουν καταπτώσεις (Σχήμα 3-6).



Σχήμα 3-6: Σχηματικό διάγραμμα διαδικασιών επεξεργασίας για την ποσοτικοποίηση υλικών προερχόμενων από καταπτώσεις με μεθόδους αντικειμενοστραφούς ανάλυσης (Karantanelis et al, 2020)

4. ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα έκθεση παρουσιάστηκαν σύγχρονα και καινοτόμα συστήματα προς εγκατάσταση και λειτουργία για την παρακολούθηση φαινομένων καταπτώσεων και γενικότερα κατολισθήσεων σε παραλίες που σχηματίζονται στον πόδα επικίνδυνων πρανών. Είναι προφανές ότι κάθε περίπτωση απόκρημνης ακτής έχει τις ιδιαιτερότητές της και είναι πιθανό η ιδανική λύση να είναι είτε διαφορετική από κάποια άλλη είτε να πρέπει να προτιμηθεί συνδυασμός των συστημάτων που περιεγράφηκαν παραπάνω.

Φυσικά, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός συστήματος παρακολούθησης αποτελεί σημαντικό παράγοντα και οι αρμόδιες αρχές οφείλουν να το συνυπολογίσουν στις τελικές αποφάσεις τους. Η μεγάλη διαφορά εντοπίζεται στην παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο όπου το κόστος ανεβαίνει κατά πολύ σε σχέση με την παρακολούθηση σε τακτά χρονικά διαστήματα όχι μόνο ως προς τον εξοπλισμό αλλά και ως προς το κόστος του προσωπικού το οποίο πρέπει να είναι εξειδικευμένο ή να εξειδικευτεί μετά από ανάλογη εκπαίδευση.

Το μεγαλύτερο κόστος σε σύγκριση με άλλες τεχνικές παρακολούθησης, (π.χ. δέκτες GNSS, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων) είναι τα συστήματα επίγειων ραντάρ τα οποία συνδυάζουν όλα τα υπόλοιπα πλεονεκτήματα αφού επιτρέπουν την παρακολούθηση ενός επικίνδυνου πρανούς από απόσταση, ανεξάρτητα από την ύπαρξη ηλιακού φωτός και σχεδόν ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Το αποτέλεσμα είναι ένας ακριβής δυναμικός χάρτης μετακινήσεων για ολόκληρη την καλυπτόμενη περιοχή. Επιπρόσθετα, ο εξοπλισμός μπορεί να συνδεθεί ασύρματα για απομακρυσμένη επεξεργασία και επίβλεψη ενώ η μικρομετακινήσεις μπορούν να καταγραφούν και να εντοπιστούν σε πραγματικό χρόνο.

Στην καλύτερη σχέση απόδοσης – τιμής τοποθετείται η συνδυασμένη χρήση ΣμηΕΑ (drone) και επίγειου σαρωτή (terrestrial laser scanner) αφού είναι δυνατή και απολύτως σωστή επιστημονικά η συνδυασμένη χρήση νεφών σημείων που προκύπτουν από τη σάρωση ενός πρανούς με επίγειο σαρωτή με αυτά που προκύπτουν από τη φωτογραμμετρική επεξεργασία αεροφωτογραφιών από ΣμηΕΑ. Μάλιστα, η αυτοματοποίηση (i) της εισαγωγής των νέων δεδομένων σε εξειδικευμένα λογισμικά, και (ii) της επεξεργασίας τους για τον εντοπισμό των τυχόν μετακινήσεων, ιδιαίτερα σε περιόδους κρίσεων (πχ. έξαρση σεισμικότητας, έντονα καιρικά φαινόμενα) μπορεί, με ταυτόχρονη πύκνωση των μετρήσεων, να δίνει αποτελέσματα σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και κατά συνέπεια να εφοδιάσει με εργαλεία τους υπεύθυνους για τη διαχείριση φυσικών κινδύνων.

Στην κατηγορία του μικρότερου κόστους μπορεί να ενταχθεί η τοποθέτηση ασύρματων αισθητήρων χαμηλού κόστους σε δεκάδες ή και εκατοντάδες θέσεις υψηλής επικινδυνότητας, όπως αυτές μπορεί να έχουν υποδειχθεί από επιστημονικά κλιμάκια, όμως η ολοκλήρωση

αυτής της καινοτόμου τεχνολογίας είναι υπό διερεύνηση και κατ' επέκταση η επιχειρησιακή της λειτουργία αποτελεί αντικείμενο έρευνας.

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος



Δρ. Ευθύμης Λέκκας

Καθηγητής
Δυναμικής, Τεκτονικής, Εφαρμοσμένης
Γεωλογίας και
Φυσικών Καταστροφών

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βασίλειος Σακκάς, 2012 - Διαφορικές Μετρήσεις GPS και Συμβολομετρία Σταθερών Ανακλαστήρων στην Μελέτη Εδαφικής Παραμόρφωσης Κεφαλληνίας και Ζακύνθου, 1η Ημερίδα Τεκτονικής Γεωδαισίας, ΟΑΣΠ

Παπανικολάου, Δ. & Σίδερης, Χ., 2005 - *Γεωλογία, η επιστήμη της γης*, εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα.

Abellán A., Calvet J., Vilaplana J.M. and Blanchard J., 2010. Detection and spatial prediction of rockfalls by means of terrestrial laser scanner monitoring. *Geomorphology*, 119 (3-4): 162-171.

Abellán A., Vilaplana J., Calvet J., García-Sellés D. and Asensio E., 2011. Rockfall monitoring by Terrestrial Laser Scanning-Case study of the basaltic rock face at Castellfollit de la Roca (Catalonia, Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11 (3): 829.

Arbanas S.M. and Arbanas Ž., 2015. Landslide mapping and monitoring: Review of conventional and advanced techniques. In. 4th Symposium of Macedonian Association for Geotechnics

Davis, J. L., Bennett, R. A., and Wernicke, B. P. 2003. Assessment of GPS velocity accuracy for the Basin and Range Geodetic Network (BARGEN), *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1411..

Giordan, D., Hayakawa, Y., Nex, F., Remondino, F., and Tarolli, P. 2018. Review article: the use of remotely piloted aircraft systems (RPASs) for natural hazards monitoring and management, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, pp. 1079-1096.

Fiorucci, F., Giordan, D., Santangelo, M., Dutto, F., Rossi, M., and Guzzetti, F. 2018. Criteria for the optimal selection of remote sensing optical images to map event landslides, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, pp. 405–417.

Hassan A., Xu J., Zhang L., Liu G., Schmitt A., Xing C., Xu Y., Ouyang C. and Schwieger V. 2018. Towards Integration of GNSS and GB-SAR Measurements: Exemplary Monitoring of a Rock Fall at the Yangtze River in China.

Hloupis, G., Leoussis, C., Pagounis, V., Tsakiri, M., Vassilakis, Emm. & Zacharis, V., 2016. Development of a Wireless Sensor Network System as basis for Early Warning in Slope Monitoring of the Corinth Canal. In: Proc. of 3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM), Vienna.

Karantanellis, E., Marinou, V., and Vassilakis, E., 2019. 3D Hazard Analysis and Object-Based Characterization of Landslide Motion Mechanism Using UAV Imagery. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XLII-2/W13*, 425-430.

Karantanellis, E., Marinou, V., Vassilakis, E. and Christaras, B., 2020. An Integrated Object-Based Analysis with UAV Imagery and Machine Learning for site-specific Mass Movement Assessment. 3rd European Regional Conference of IAEG (EUROENGEO), Athens.

Kromer R., Lato M., Hutchinson D.J., Gauthier D. and Edwards T., 2017. Managing rockfall risk through baseline monitoring of precursors using a terrestrial laser scanner. *Canadian geotechnical journal*, 54 (7): 953-967.

Leva D., Nico G., Tarchi D., Fortuny-Guasch J. and Sieber A.J., 2003. Temporal analysis of a landslide by means of a ground-based SAR Interferometer. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41 (4): 745-752.

Lim M., Rosser N.J., Allison R.J. and Petley D.N., 2010. Erosional processes in the hard rock coastal cliffs at Staithes, North Yorkshire. *Geomorphology*, 114 (1): 12-21.

Mačec M., Ana P., Majes B. and Matjaž M., 2014. *Landslide Monitoring Techniques Database*.

Moore L.J. and Griggs G.B., 2002. Long-term cliff retreat and erosion hotspots along the central shores of the Monterey Bay National Marine Sanctuary. *Marine Geology*, 181 (1): 265-283.

Ono, N., N. Tonoko, and K. Sato, 2000. A case study on the landslide by the 3D laser mirror scanner, paper presented at ISPRS, Amsterdam.

Prokop, A., and H. Panholzer, 2009. Assessing the capability of terrestrial laser scanning for monitoring slow moving landslides, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9(6), 1921-1928.

Rabatel A., Deline P., Jailliet S. and Ravanel L., 2008. Rock falls in high-alpine rock walls quantified by terrestrial lidar measurements: A case study in the Mont Blanc area. *Geophysical Research Letters*, 35 (10).

Savvaidis P., 2003. Existing Landslide Monitoring Systems and Techniques, "FromStars to Earth and Culture", Volume dedicated to the memory of Prof. A.Tsioumis, Ed. A. Dermanis, pp. 242-258.

Tawk Y., Cole A., Colosimo G. and Pache F., 2016. Leica VADASE - Autonomous Real-Time Monitoring Integrated in a Single GNSS Receiver. 2: 57-67.

Vassilakis, E., Foumelis, M., Erkeki, A., Kotsi, E., Parcharidis, I. and Lekkas, E. 2019. Multi-temporal Surface Deformation Analysis of Amyntaio Slide (Greece) using Remotely Piloted Airborne System and Structure-from-Motion techniques. In: *Proc. of 4th Joint International Symposium on Deformation Monitoring*, Athens, Greece.

Vasuki, Y., Holden, E.-J., Kovesi, P., & Micklethwaite, S., 2014. Semi-automatic mapping of geological Structures using UAV-based photogrammetric data: An image analysis approach. *Computers & Geosciences*, 69, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.04.012>