



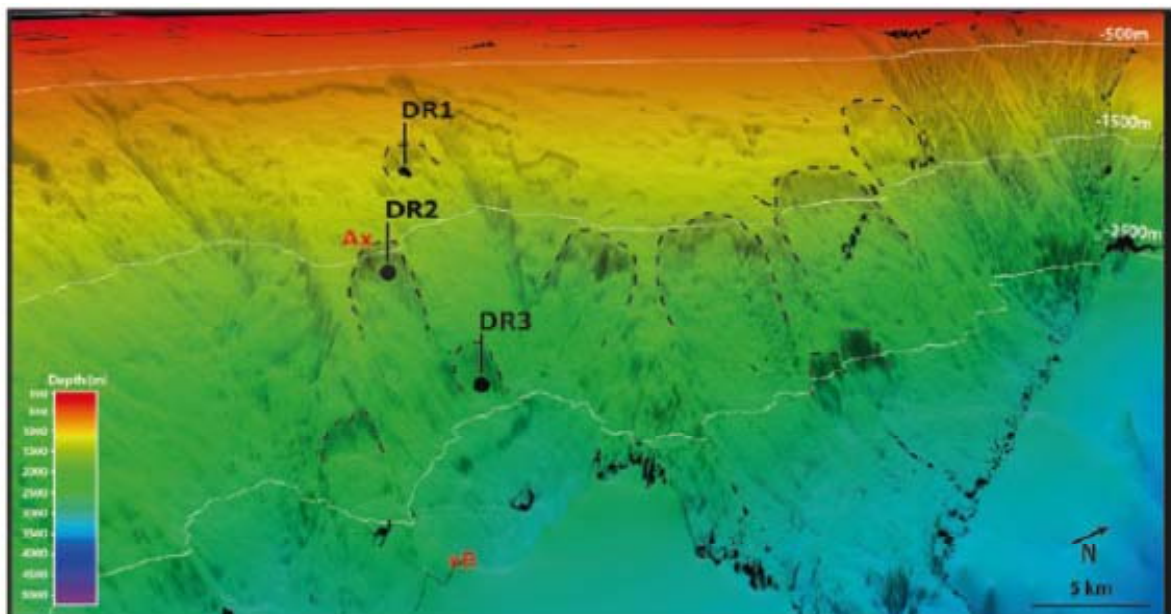
Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧ. ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΟΥΛΑ ΜΑΡΙΑΝΝΑ - ΣΠΥΡΙΔΑΚΗ ΜΑΡΙΑ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2015



Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧ. ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΟΥΛΑ ΜΑΡΙΑΝΝΑ - ΣΠΥΡΛΙΔΑΚΗ ΜΑΡΙΑ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2015

Επιβλέπουσα : *Δρ. Κόκκινου Ελένη*

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Επιτροπή Αξιολόγησης : *Δρ. Κόκκινου Ελένη*

: Δρ. Σουπιός Παντελής

: Δρ. Σάλτας Βασίλης

Ημερομηνία Παρουσίασης :

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

Περίληψη

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η βιβλιογραφική έρευνα που αφορά το φαινόμενο των υποθαλάσσιων κατολισθήσεων. Στην συνέχεια η εξοκίωση με την επεξεργασία βυθομετρικών δεδομένων σε ΓΣΠ, για να καθοστούν πιθανές περιοχές υποθαλάσσιων κατολισθήσεων στην νότια Κρήτη.

Abstract

Aim of this study is the literature research concerning submarine landslides . Then we studied the morphology of the offshore area south of Crete, through processing and interpretation of bathymetry data, in order to define potential areas of submarine landslides. For the processing and the display of the data we used GIS.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	5
1.1	Εισαγωγή	5
1.2	Συνιστώμενη διαδικασία υπολογισμού του κινδύνου κατάρρευσης υποθαλάσσιου πρανούς λόγω σεισμού (Nadim, 2012)	6
1.3	Ρηχές κατολοσθήσεις και η δυναμική τους σε παράκτια και μεγάλου βάθους περιβάλλοντα (Maarten et al., 2012)	8
1.4	Φυσικές ιδιότητες και ηλικία των ηπειρωτικών ιζημάτων από το Αυστραλιανό ηπειρωτικό περιθώριο (Hubble et al, 2012)	15
1.5	Κατολισθήσεις στα βουνά της Ιαπωνίας (Sakaguchi et al. 2012)	19
2.	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)	23
2.1	Εισαγωγή	23
2.2	Χρήση του Arcview	24
3.	Η ΒΥΘΟΜΕΤΡΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	31
3.1	Εισαγωγή	31
3.2	Βυθομετρικοί χάρτες	31
3.3	Η βυθομετρία της Κρήτης και συμπεράσματα	37
4.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	40

1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

1.1 Εισαγωγή

Η εκτίμηση της σταθερότητας των υποθαλάσσιων πρανών κατά τη διάρκεια ενός σεισμού είναι ένα σημαντικό θέμα σε πολλές παράκτιες μελέτες. Γενικά 3 σενάρια κατάρρευσης των σεισμικά επηρεαζόμενων πρανών πρέπει να αξιολογηθούν και να αναλυθούν:

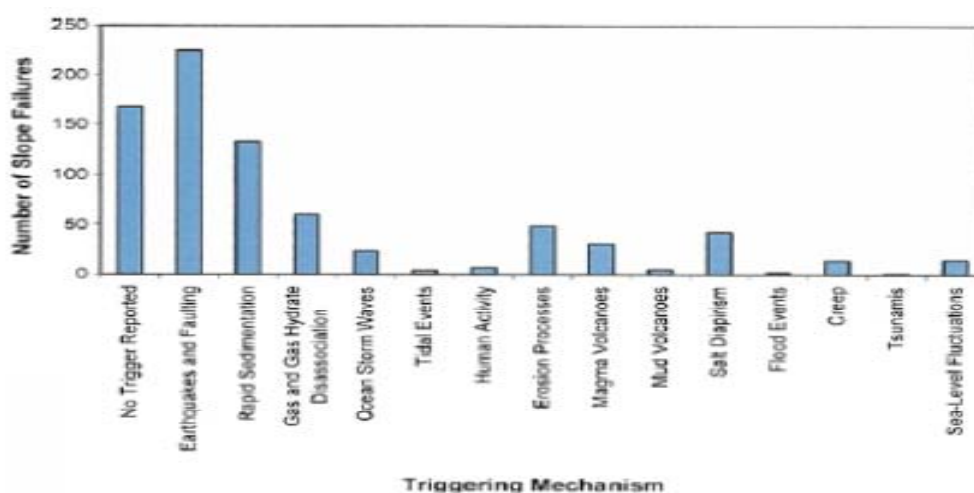
- Κατάρρευση μπορεί να συμβαίνει κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Σε αυτό το σενάριο, η υπερπίεση πόρων που παράγονται από τις τάσεις μειώνουν τη διατμητική αντοχή.
- Κατάρρευση μπορεί να συμβεί μετά από σεισμό και οφείλεται στην αύξηση της υπερπίεσης των πόρων σε κρίσιμα σημεία
- Κατάρρευση μετά από σεισμό η οποία οφείλεται σε ερπυσμό. Εδάφη που έχουν στην σύσταση τους πολλά μαλακά στελέχη και επομένως υψηλότερη ευαισθησία είναι πιο επιρρεπή σε κατάρρευση.

Η μετανάστευση της υπερπίεσης των πόρων από βαθύτερα στρώματα, που οδηγεί σε αστάθεια των πρανών μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια μερικών χρόνων ή ακόμα δεκαετιών σε βαθιές θαλάσσιες εναποθέσεις αργίλου. Όμως, η κατάρρευση ερπυστικού τύπου μετά από σεισμό πιστεύεται ότι είναι ο πιο κοινός μηχανισμός στα αργιλικά πρανά. Στο πλαίσιο αξιολόγησης του κινδύνου, οι αβεβαιότητες σε όλες τις παραμέτρους και μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση της σταθερότητας πρέπει να αντιμετωπισθούν και οι συνέπειες της κατάρρευσης των πρανών πρέπει να εκτιμηθούν. Είναι συνήθως δύσκολο να ξεχωρίσουμε τις αβεβαιότητες λόγω έλλειψης γνώσης (επιστημονικές αβεβαιότητες) από τη φυσική ποικιλία των φυσικών παραμέτρων όπως τη διατμητική αντοχή του εδάφους και τα σεισμικά χαρακτηριστικά.

Η εκμετάλλευση των παράκτιων πόρων, η ανάπτυξη της επικοινωνίας και οι διάδρομοι μεταφορών, η προστασία των αλιευτικών οικοτόπων, και η προστασία των παράκτιων κοινωνιών έχουν συνεισφέρει σε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον στην ποσοτικοποίηση του των παράκτιων κινδύνων. Η βιομηχανία πετρελαίου αναπτύσσει τους τομείς του πετρελαίου και του φυσικού αερίου σε όλο και μεγαλύτερα βάθη νερού, όπου η αξιολόγηση των μετακινήσεων στον πυθμένα και οι συνέπειες τους, είναι μια αναγκαιότητα. Για παράδειγμα στην περιοχή Storegga στις λεκάνες More και Voring στη παράκτια Νορβηγία τα ακόλουθα χαρακτηριστικά θεωρήθηκαν ως σημαντικά για την αξιολόγηση αστάθειας των πρανών (SOLHEIM ET AL.2005): diapirism, φυσαλίδες φυσικού

αερίου, ελεύθερο φυσικό αέριο, αυλάκια θαλάσσιων πυθμένων, διαρροή φυσικού αερίου, ζώνες θραύσης.

Υποθαλάσσιες ολισθήσεις μπορεί να προκληθούν από φυσικές εξελικτικές διαδικασίες ή από ανθρώπινες δραστηριότητες. Κατά τη διάρκεια ενός μεμονωμένου γεγονότος οι υπέρογκοι όγκοι ιζημάτων μπορούν να μεταφερθούν πάνω σε πολύ ήπιες κλίσεις σε απόσταση άνω των εκατοντάδων χιλιομέτρων (Nadim και Locat, 2005). Ως γνωστόν οι σεισμοί έχουν προκαλέσει τεράστιες υποθαλάσσιες κινήσεις μαζών σε όλο τον κόσμο (NGI 1997, Hence 2003). Ο Hence (2003, σχ. 1.1) ανέπτυξε μια βάση δεδομένων από γεγονότα υποθαλάσσιων ολισθήσεων, με στόχο να καθορίσει τις κυριότερες αιτίες που τις προκαλούν.



Σχήμα 1.1 Κατανομή των ενεργοποιητικών μηχανισμών των υποθαλάσσιων ολισθήσεων (Hence, 2003)

1.2 Συνιστώμενη διαδικασία υπολογισμού του κινδύνου κατάρρευσης υποθαλάσσιου πρηνούς λόγω σεισμού (Nadim, 2012)

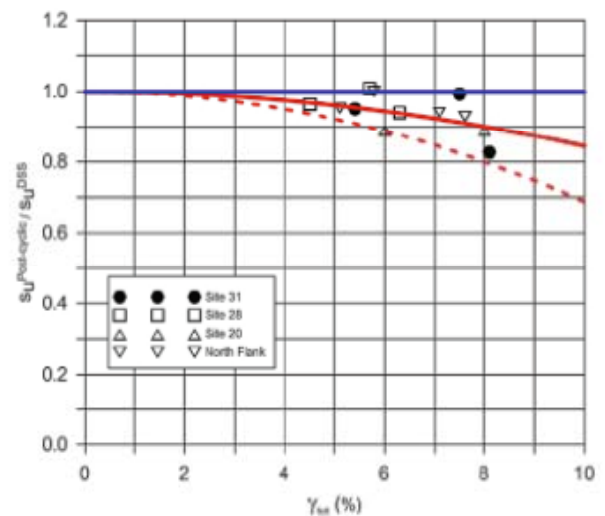
Συμφωνα με τον Nadim (2012), η διαδικασία εκτίμησης του κινδύνου πρηνούς που πιθανόν να παρουσιάσει κατολίσθηση κατά την διάρκεια σεισμού είναι:

- (1) Προσδιορίζονται τα κρίσιμα πρηνή και καθορίζεται η γεωμετρία και οι μηχανικές εδαφικές ιδιότητες τους.
- (2) Χρησιμοποιώντας την προσομοίωση Monte Carlo, ή την FORM, ή οποιαδήποτε άλλη καθιερωμένη τεχνική, καθορίζεται η αθροιστική συνάρτηση κατανομής (CDF) του στατικού, αστράγγιστου παράγοντα ασφάλειας.

$$P[FS < z | FS \geq 1] = \frac{F_{FS}(z) - F_{FS}(1)}{1 - F_{FS}(1)}$$

- (3) Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (Nadim, 2012), ενημερώνεται η CDF για τον στατικό παράγοντα ασφάλειας.
- (4) Πραγματοποιείται μια πιθανολογική αξιολόγηση σεισμικού κινδύνου για την περιοχή ενδιαφέροντος και αναγνωρίζονται οι περασμένοι αντιπροσωπευτικοί χρόνοι επιτάχυνσης για περιόδους ενδιαφέροντος.
- (5) Δημιουργία ενός δυναμικού μοντέλου απόκρισης για την κλίση και πραγματοποίηση αναλύσεων σεισμικής απόκρισης για τουλάχιστον δυο παρελθοντικές περιόδους. Η κύρια παράμετρος απόδοσης του ενδιαφέροντος από τις προσομιώσεις είναι η μέγιστη σεισμικά επηρεαζόμενη διατμητική παραμόρφωση κατά μήκος της πιθανής επιφάνειας κατάρρευσης.
- (6) Μέσω ενός ειδικού προγράμματος δοκιμών ή έρευνα στη βιβλιογραφία καθορίζεται το εύρος της μείωσης στην μετασεισμική αστράγγιστη διατμητική αντοχή ως συνάρτηση της μέγιστης σεισμικά επηρεαζόμενης διατμητικής παραμόρφωσης (π.χ, οι καμπύλες στο σχήμα 1.2)

Σχήμα 1.2 Αποτελέσματα από τις μόνιμες παραμορφώσεις συγκεντρωμένα κατά τη διάρκεια κυκλικής φόρτισης σε μετακυκλικά αστράγγιστα διατμητικής αντοχής αποτελέσματα από ειδικές κυκλικές DSS-δοκιμές σε θαλάσσιους αργίλους από τον τομέα Ormen Lange (Nadim κ.λ.π 2005a)



- (7) Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα στα βήματα 5,6 καθορίζεται η συνάρτηση κατανομής για τον συντελεστή διατμητικής μείωσης της αντοχής.
- (8) Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από τα βήματα 3 και 7 καθιερώνεται το CDF για τον συντελεστή μετασεισμικής στατικής ασφάλειας. Η υποθετική πιθανότητα κατάρρευσης (δεδομένου ότι ο σεισμός με συγκεκριμένη περίοδο επανεμφάνισης έχει συμβεί) είναι η τιμή αυτής της CDF στο FS=1.
- (9) Η ετήσια πιθανότητα κατάρρευσης είναι το άθροισμα (ολοκλήρωμα) του συνόλου των υποθετικών πιθανοτήτων κατάρρευσης που δίνουν μια συγκεκριμένη περίοδο επανεμφάνισης, διαιρούμενη από αυτή την περίοδο επανεμφάνισης. Οι παραπάνω

αναλύσεις πρέπει να γίνουν για τουλάχιστον δύο περιόδους επανεμφάνισης. Αυτοί οι περίοδοι πρέπει να ιδανικά να είναι πάνω και κάτω της περιόδου επανεμφάνισης που συμβάλλει περισσότερο στη πιθανότητα ετήσια κατάρρευσης (κάποια προσέγγιση μπορεί να είναι απαραίτητη καθώς αυτό δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων). Μόλις γίνουν οι αναλύσεις για τις δυο περιόδους επανεμφάνισης καθορίζεται ένα απλό μοντέλο με φορτίο και αντίσταση που ταιριάζει στις υπολογισμένες πιθανότητες κατάρρευσης στις περιόδους επανεμφάνισης του ενδιαφέροντος. Η πιο συνηθισμένη παράμετρος φορτίου είναι η είσοδος της PGA, η οποία συνήθως έχει μια ραγδαία αύξηση ή την κατανομή Pareto.

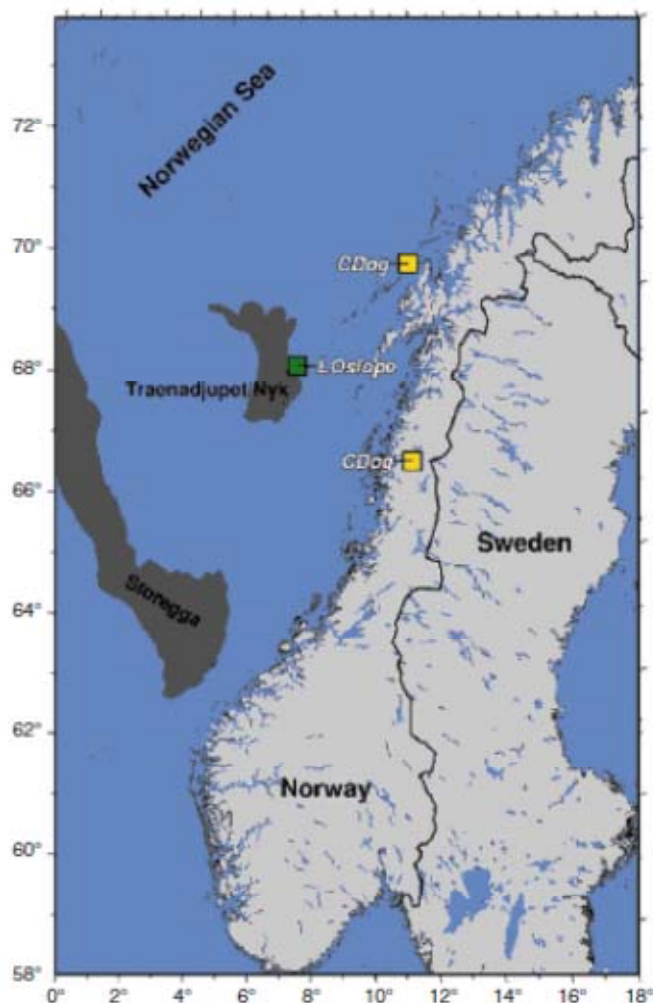
(10) Χρησιμοποιώντας μια απλοποιημένη αναλογία στο βήμα 9, εκτιμάται η πιθανότητα ότι η αντίσταση της κλίσης είναι μικρότερη από το εφαρμοζόμενο φορτίο (π.χ η ετήσια PGA). Αυτή η τιμή είναι η εκτίμηση της ετήσιας πιθανότητας κατάρρευσης.

Η παραπάνω διαδικασία έχει εφαρμοστεί σε μεγάλο αριθμό ερευνητικών έργων, και παράκτιων μελετών στην βόρεια θάλασσα, την Κασπία, την Μαύρη, την παράκτια Ινδονησία και τον κόλπο του Μεξικού. Η διαδικασία προσπαθεί να μετρήσει τις αβεβαιότητες σε όλα τα στάδια της αξιολόγησης και να αξιοποιήσει την διαθέσιμη πληροφορία για να καταλήξουμε σε μια λογική εκτίμηση της ετήσιας πιθανότητας μιας σεισμικά επηρεαζόμενης κατάρρευση πρανούς.

1.3 Ρηχές κατολοσθήσεις και η δυναμική τους σε παράκτια και μεγάλου βάθους περιβάλλοντα (Maarten et al., 2012)

Στην συγκεκριμένη παράγραφο παρουσιάζονται αποτελέσματα από μελέτες ευστάθειας πρανών για την διερεύνηση μικρότερης κλίμακας διαδικασιών μαζικών μετακινήσεων σε διαφορετικές τοποθεσίες της Νορβηγίας. Αυτές περιλαμβάνουν τις παράκτιες περιοχές (SorFjord, Finneidfjord), και χώρους ανοικτών ωκεανών σε ενδιάμεσου και μεγάλου βάθους νερά στο νορβηγικό περιθώριο. Νέα στοιχεία δείχνουν ότι κατολισθήσεις που αναπτύσσονται εντός λεπτών και ήπια βυθιζόμενων ιζημάτων που χρησιμεύουν ως ομαλές ολισθήσεις. Μερικά δείγματα εδάφους από αυτές τις μονάδες μπορεί να δείχνουν συμπεριφορά μαλακής παραμόρφωσης, υψηλότερη πλαστικότητα και υψηλότερη ευαισθησία σε σχέση με άλλες μονάδες. οι στρώσεις που είναι επιρρεπείς σε ολίσθηση στο SorFjord μπορούν επιπλέον να σχετίζονται με συγκεκριμένες διαδικασίες απόθεσης. Το αβαθές φυσικό αέριο που υπάρχει στο SorFjord δεν θεωρείται βασικός παράγοντας.

Οι ιζηματογενείς και διαβρωτικές διεργασίες που επηρεάζουν και έχουν επηρεάσει το νορβηγικό ηπειρωτικό περιθώριο έχουν συμβεί κατά την Τεταρτογενή παγετώδη περίοδο. Οι παγετωνικές-μεσοπαγετωνικές διακυμάνσεις δημιούργησαν συνθήκες ασταθών πρηνών (σχ. 1.3) που εξελίχθηκαν σε κατολισθήσεις υπέρογκων ιζημάτων (π.χ. Storegga) και ίσως προκλήθηκαν από σεισμούς (π.χ. Bryn et al. 2005).



Σχήμα 1.3 Τοποθεσία των τριών περιοχών μελέτης στα Νορβηγικά περιθώρια (CDog=Παράκτιοι και παράκτιοι Βαθύτεροι κίνδυνοι, LOslope=ευστάθεια της πλαγιάς Lofoten) (Vanneste, L'Heureux, Baeten, Brendryen, Vardy, Steiner, Forsberg, Kvalstad, Laberg, Chand, Longva, Rise, Hafliedason, Hjelstuen, Forwick, Morgan, Lecomte, Kopf, Vorren και Reichel, 2012)

Τα υλικά ολίσθησης περιλαμβάνουν αμμώδεις λάσπες με συντρίμια επιπλέοντος πάγου, τα οποία εντοπίζονται στην πρόσφατη Καινοζωική σειρά, μακριά από το Lofoten (Laberg et al. 2005). Υπάρχουν επίσης απανωτές στρώσεις λάσπης, που πιθανόν να σχετίζονται με την τήξη των μεγάλων τμημάτων πάγου. Ένα λεπτό στρώμα Ολοκαινικής λάσπης καλύπτει τον πυθμένα της θάλασσας. Οι δείκτες καθίζησης είναι υψηλοί κατά τη διάρκεια των Παγετωδών περιόδων σε σύγκριση με την Ολόκαινο (Laberg and Vorren 2004). Μακριά από το Vesteralen, πολύ καλά ανεπτυγμένα συστήματα φαραγγίων συνεισφέρουν στην μαζική

μεταφορά από την υφαλοκρηπίδα μέχρι την άβυσσο (Haflidason κ.λ.π 2007; Laberg et al. 2007). Ανάμεσα στα κανάλια, ο πυθμένας της θάλασσας είναι σχετικά ανεπηρέαστος (Rise κ.λ.π 2009,2012). Στο Sorfjorden (βόρεια του χωριού Finneidfjord), συντρίμια κατολισθήσεων ρευστοποιημένης αργίλου είχαν εναποθετεί περιστασιακά στο φιόρντ κατά τη διάρκεια του Ολόκαινου, σχηματίζοντας λεπτά, ελασματοειδή, μαλακά υπόβαθρα αργίλου που είναι τόσο ευδιάκριτα από τα κανονικά ομογενή μετα-παγετωνικά ιζήματα (L'Heureux κ.λ.π 2012). Οι μαζικές μετακινήσεις μπορεί να χρησιμοποιούν αυτά τα υπόβαθρα σαν επίπεδα ολίσθησης, π.χ. για την κατάρρευση του 1996 (L'Heureux κ.λ.π 2012). Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες (ανατινάξεις) πιθανόν να έχουν συμβάλει σε τρεις ιστορικά καταγεγραμμένες καταρρεύσεις (1978, 1996, 2006). Ένα μοντέλο της ανάπτυξης της κατολίσθησης Sorfjorden παρουσιάζεται στην εργασία από τον L'Heureux κ.λ.π (2012). Στις παραπάνω περιοχές για να εκτιμηθεί η ευστάθεια των πρανών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα:

(1) Δεδομένα βαθυμετρίας σε ζώνες (γεωμορφολογικά, ιζηματογενείς διαδικασίες, εξαντλήσεις) (Σχήμα 1.4),

(2) Πλευρικής σάρωσης σόναρ ή δεδομένα οπισθοσκέδασης (γεωμορφολογικά, ιζηματογενείς διαδικασίες) (Σχήμα 1.7),

(3) Υψηλής έως πολύ υψηλής ανάλυσης δύο σεισμικών διαστάσεων και πολύ υψηλής ανάλυση τριών διαστάσεων σεισμικό chirp (VHR3D) Vardy et al. (σε προετοιμασία) (σεισμικός χαρακτηρισμός, χαρτογράφηση της επίπεδης ολίσθησης) (Σχήμα 1.5);

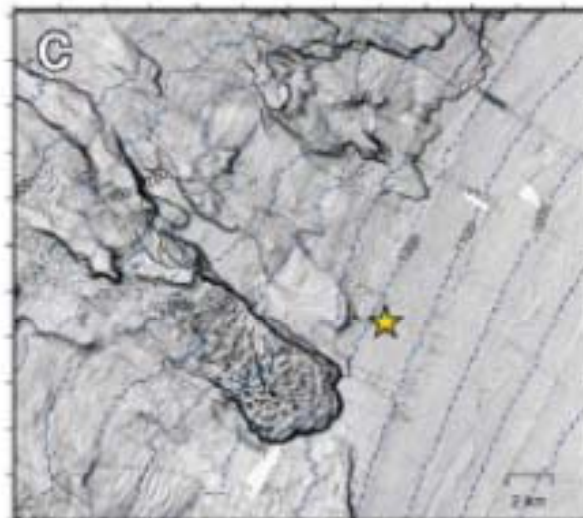
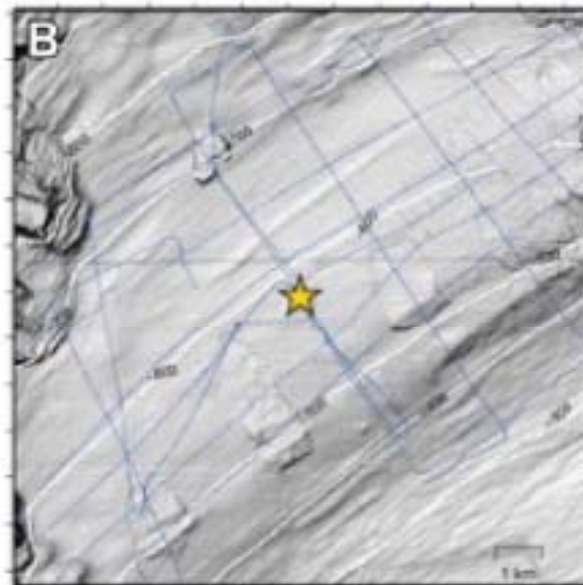
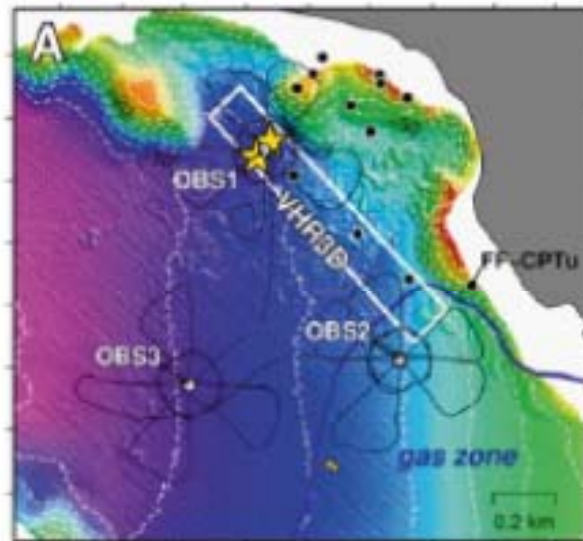
(4) Ιζήματα που δειγματοποιήθηκαν και ο πυρήνας Calypso (γεωλογική ανάλυση που συμπεριλαμβάνει και απεικόνιση ακτίνων Χ, δεδομένα φθορισμού ακτίνων Χ (XRF), λιθολογία, περιεχόμενο νερού, πυρήνας πολύ-αισθητήρων υλοτόμησης αποτελεσμάτων, διατμητική αντοχή πτώσης κώνου, χρονολόγηση AMS ^{14}C) (Σχήμα 1.6)

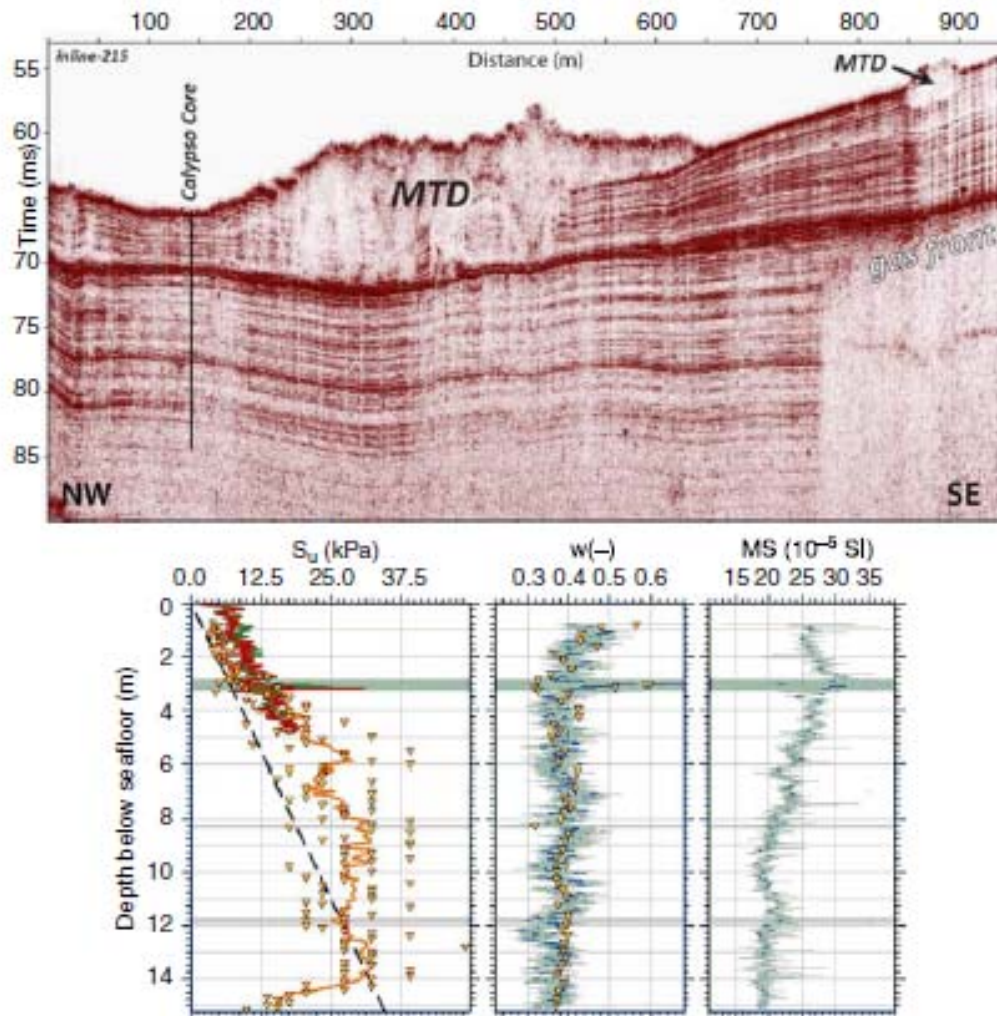
(5) Υψηλής ανάλυσης εδαφικά δείγματα για προχωρημένες γεωτεχνικές εργαστηριακές δοκιμές (ανισοτρόπως ενοποιημένες αστράγγιστες δοκιμές τριαξονικής διάτμησης (CAUC) και άμεσες απλές δοκιμές διάτμησης (DSS)) (Σχήματα 1.6 και 1.7),

(6) In situ δοκιμές κωνικής διείδυσης (CPT) χρησιμοποιώντας ένα ελεύθερης πτώσης πιεζοκωνικό διειδυσίμετρο (υψηλής ανάλυσης γεωτεχνικός εδαφικός χαρακτηρισμός, ανάπτυξη πίεσης πόρων και διασπορά) (Σχήμα 1.5)

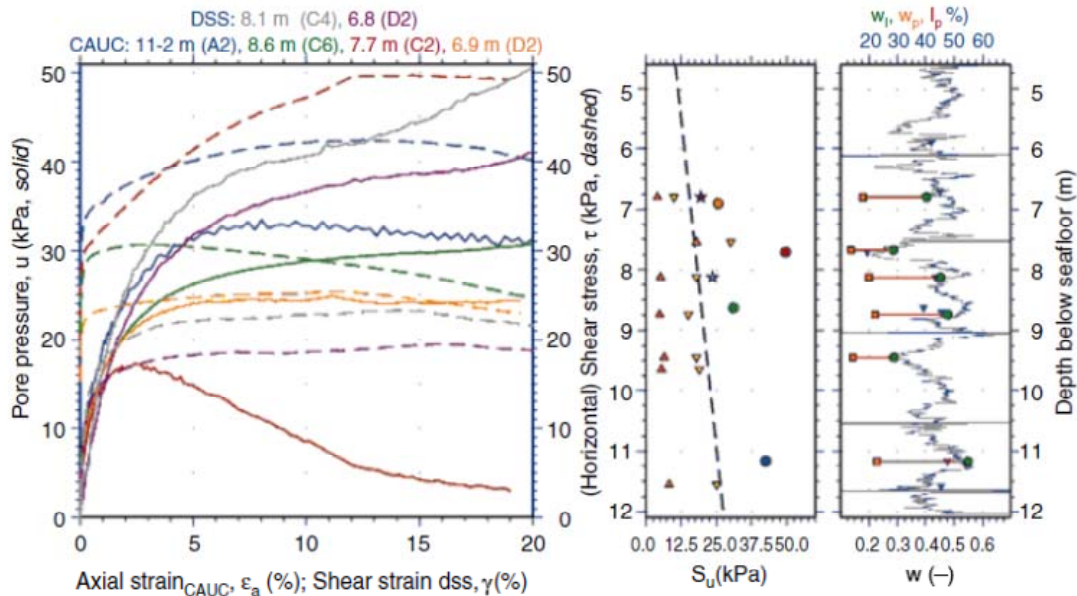
και (7) Μακροπρόθεσμος In situ διπλός αισθητήρας που μετράει την πίεση των πόρων (Sorfjorden), (ανάπτυξη πίεσης πόρων).

Σχήμα 1.4 Επισκόπηση χαρτών τριών στόχων: σκιαγραφημένο ανάγλυφο βαθυμετρίας (A), μακριά από το Vesteralen (B, μειωμένος ένταση), και περιοχή Lofoten (C, μειωμένη ένταση). Τα χρυσά αστέρια υποδεικνύουν τις τοποθεσίες του πυρήνα Calypso. (Vanneste, L'Heureux, Baeten, Brendryen, Vardy, Steiner, Forsberg, Kvalstad, Laberg, Chand, Longva, Rise, Hafliðason, Hjelstuen, Forwick, Morgan, Lecomte, Kopf, Vorren και Reichel, 2012)

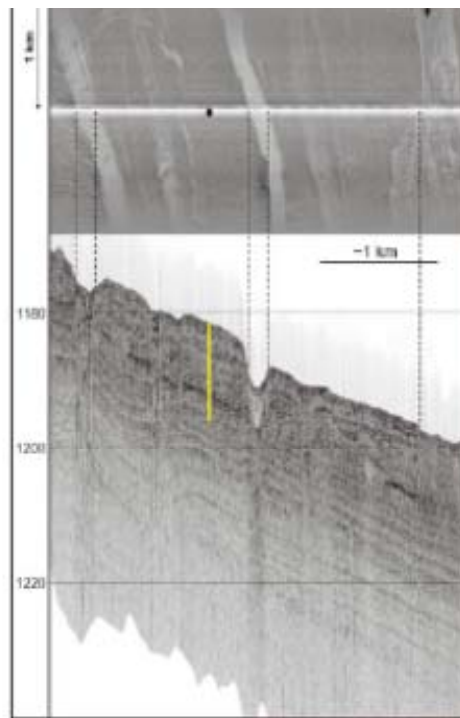




Σχήμα 1.5 (πάνω) VHR3D κεντρική υπό έλεγχο απέναντι από την MTD, μετά την μετανάστευση Kirckoff. Σημειώνεται η σύνθετη ανάκλαση καθώς και το μέτωπο του φυσικού αερίου. (κάτω) Αποτελέσματα διατμητικής αντοχής από την κωνική πτώση (τρίγωνα, σημείωση: παρουσιάζονται μόνο ξεχωριστές καταγραφές, δημιουργώντας χειρότερη ανάλυση), που κινούνται στο ενδιάμεσο (πορτοκαλί καμπύλη) και από δύο κοντινά FF-CPTu (πράσινο, σκούρο κόκκινο) με αναφορά στις κανονικοποιημένα-ενοποιημένες αργίλους (διακεκομμένη μαύρη γραμμή) όπως επίσης και η περιεκτικότητα σε νερό (w από την σύνδεση και τις μετρήσεις) και την σύνδεση της μαγνητικής επιδεκτικότητας (MS). Τα σκιαγραφημένα διαστήματα υποδεικνύουν «αδύναμα» στρώματα, και συγκεκριμένα το κορυφαίο. (Vanneste, L'Heureux, Baeten, Brendryen, Vardy, Steiner, Forsberg, Kvalstad, Laberg, Chand, Longva, Rise, Haflidason, Hjelstuen, Forwick, Morgan, Lecomte, Kopf, Vorren και Reichel, 2012)



Σχήμα 1.6 (Αριστερά) Διατμητική τάση (διακεκομένη) και ανάπτυξη πίεσης πόρων (στερεό) σε σχέση με την παραμόρφωση από CAUC και την DSS, πυρήνας GS10-165-5, Vesteralen, (Δεξιά) Διατμητική παραμόρφωση σε σχέση με το βάθος, τα ίδια χρώματα όπως στο σχήμα αριστερά, αστέρια: DSS, κύκλοι: CAUC, τρίγωνα: κωνική πτώση, αδιατάρακτα (χρυσό) και διαμορφωμένα (πορτοκαλί), διακεκομένη καμπύλη: αναφορά για κανονικές-ενοποιημένες αργίλους. Περιεκτικότητα σε νερό (w) και όρια Atterberg (υγρό όριο (w_l), πλαστικό όριο (w_p), δείκτης πλαστικότητας (I_p)) σε σχέση με το βάθος. (Vanneste, L'Heureux, Baeten, Brendryen, Vardy, Steiner, Forsberg, Kvalstad, Laberg, Chand, Longva, Rise, Hafliðason, Hjelstuen, Forwick, Morgan, Lecomte, Kopf, Vorren και Reichel, 2012)



Σχήμα 1.7 (επάνω) Πλευρικής σάρωσης σόναρ και επίσημα δεδομένα υποβάθρου, Lofoten (κάτω) ανάπτυξη τάσης και υπερπίεσης πόρων σε σχέση με παραμόρφωση από δοκιμές DSS και CAUC μεταξύ 6 και 13 mbsf (Vanneste, L'Heureux, Baeten, Brendryen, Vardy, Steiner, Forsberg, Kvalstad, Laberg, Chand, Longva, Rise, Hafliðason, Hjelstuen, Forwick, Morgan, Lecomte, Kopf, Vorren και Reichel, 2012)

Σύνοψη των αποτελεσμάτων

Τα δεδομένα που αποκτήθηκαν στις διάφορες περιοχές δείχνουν σαφώς ότι η εμφάνιση των κατολισθήσεων είναι πολύ συχνή. Παρ' όλα αυτά, οι διαφορές στη γεωμορφολογία, ο σεισμικός χαρακτήρας, και οι γεωλογικές-γεωτεχνικές ιδιότητες σημαίνουν ότι οι τοπικές και ηπειρωτικές συνθήκες ελέγχουν στην ευστάθεια της κλίσης σε μια μεγάλη έκταση.

Οι κατολισθήσεις στις διαφορετικές φυσιογραφικές περιοχές περιλαμβάνουν μετακίνηση μαζί με συγκεκριμένους ορίζοντες, ενδεικτικά για αδύναμα στρώματα. Αυτά είναι συνήθως λεπτές ενοποιημένες λάσπες με ξεχωριστή προέλευση ή με λειτουργία απόθεσης, αντίθετα με το υπόλοιπο των ιζημάτων. Γεωτεχνικά αποτελέσματα αποκαλύπτουν μια αντιθετική συμπεριφορά υπό διάτμηση, ως εκ τούτου αύξηση πίεσης των πόρων, κατά τη διάρκεια της διάτμησης, που μπορεί να διευκολύνουν την οπισθοδρομική κατάρρευση. Αυτή ήταν η κατάσταση στην κατολίση της Storegga (Kvalstad κ.λ.π 2005). Τα γεωλογικά και γεωτεχνικά δεδομένα από τα Finneidfjord και Vesteralen κάνουν δυνατή τη σύνδεση αυτών των αδύναμων στρωμάτων με συγκεκριμένες διαδικασίες εναπόθεσης, οι οποίες μπορούν να αναγνωριστούν με υψηλής έως πολύ υψηλής ανάλυσης σεισμικά δεδομένα.

Οι πλαγιές στο Finneidfjord καταρρέουν τακτικά, με καταγεγραμμένη τουλάχιστον μία κατολίση ανάμεσα στο 2003 και 2009 μέσα από επαναλαμβανόμενη βαθυμετρική χαρτογράφηση. Υπάρχουν επίσης γεωφυσικά στοιχεία ερπυσμού στην περιοχή μεταξύ της κατολίσης του 1996 και του ρηχού μετώπου του φυσικού αερίου.

Παρόμοιες μικρότερης κλίμακας κατολισθήσεις έχουν καταγραφεί σε άλλες περιοχές φιόρντ και παράκτιες περιοχές, π.χ. στον Καναδά (Locat κ.λ.π 2003), στο Σβαλμπάρντ (Forwick and Vorren 2012) και στο Νάις (Dan κ.λ.π 2007). Παράκτια περιθώρια και περιθώρια φιόρντ έχουν τυπικά απότομες κλίσεις. Ως εκ τούτου είναι βαρυστικά λιγότερα σταθερά, και μπορεί είτε να αναχωρήσουν αυθόρμητα ή μόνο να απαιτούν μικρές ωθήσεις (π.χ. ανθρώπινη δραστηριότητα). Χρειάζεται πολύ μεγαλύτερη ενέργεια (π.χ. σεισμικότητα) για την έναρξη των μαζικών κινημάτων των ηπειρωτικών περιθωρίων, ή ίσως επιπλέον (εφήμεροι) μηχανισμοί προηγούμενων συνθηκών. Περιέργως, και παρά το γεγονός ότι η παρουσία του άβαθους φυσικού αερίου θεωρείται ένας από τους πιο σοβαρούς παράκτιους γεωκινδύνους, δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι οι μαζικές μετακινήσεις συνέβησαν στην πλησιέστερη γύρω περιοχή του περίφημου μετώπου του φυσικού αερίου στο Finneidfjord. Αυτό μπορεί να σχετίζεται με τις τοπικές, μικρότερες γωνίες κλίσης. Ωστόσο, αυτό απαιτεί περαιτέρω έρευνες για τον πραγματικό ρόλο του ελεύθερο φυσικού αερίου σε υποθαλάσσιες μαζικές μετακινήσεις.

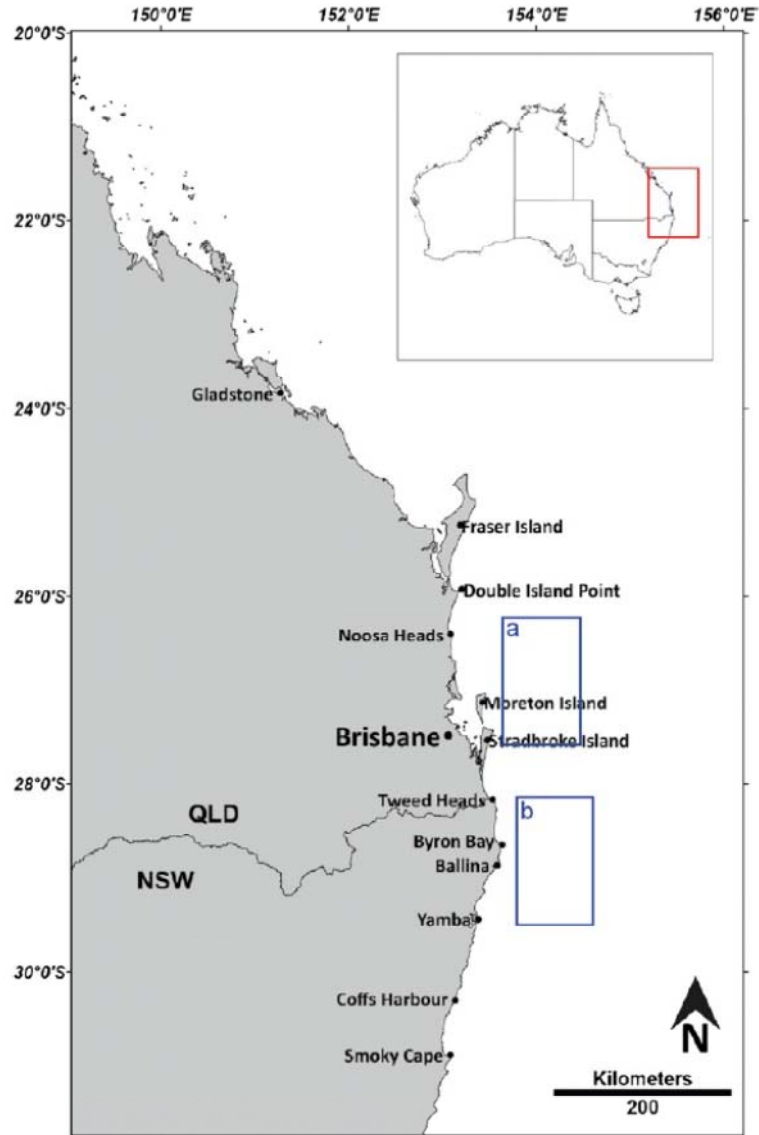
1.4 Φυσικές ιδιότητες και ηλικία των ηπειρωτικών ιζημάτων από το Αυστραλιανό ηπειρωτικό περιθώριο (Hubble et al, 2012)

Οι Hubble et al. (2012) εντόπισαν έναν μεγάλο αριθμό υποθαλάσσιων κατολισθήσεων στην ηπειρωτική πλευρά των νοτιοανατολικών αυστραλιανών περιθωρίων κατά τη διάρκεια ταξιδιών της RV Southern Surveyor το 2008. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται κατά μήκος της ΝΑ Αυστραλιανής ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας, περίπου 30-70 km μακριά από τις ακτές της νότιας Queensland και της βόρειας New South Wales, μεταξύ του Point Cartwright στο βορρά και του Clarence Head στο νότο, σε βάθη νερού περίπου ανάμεσα στα 1000m και 3000m (σχ. 1.8 και 1.9).

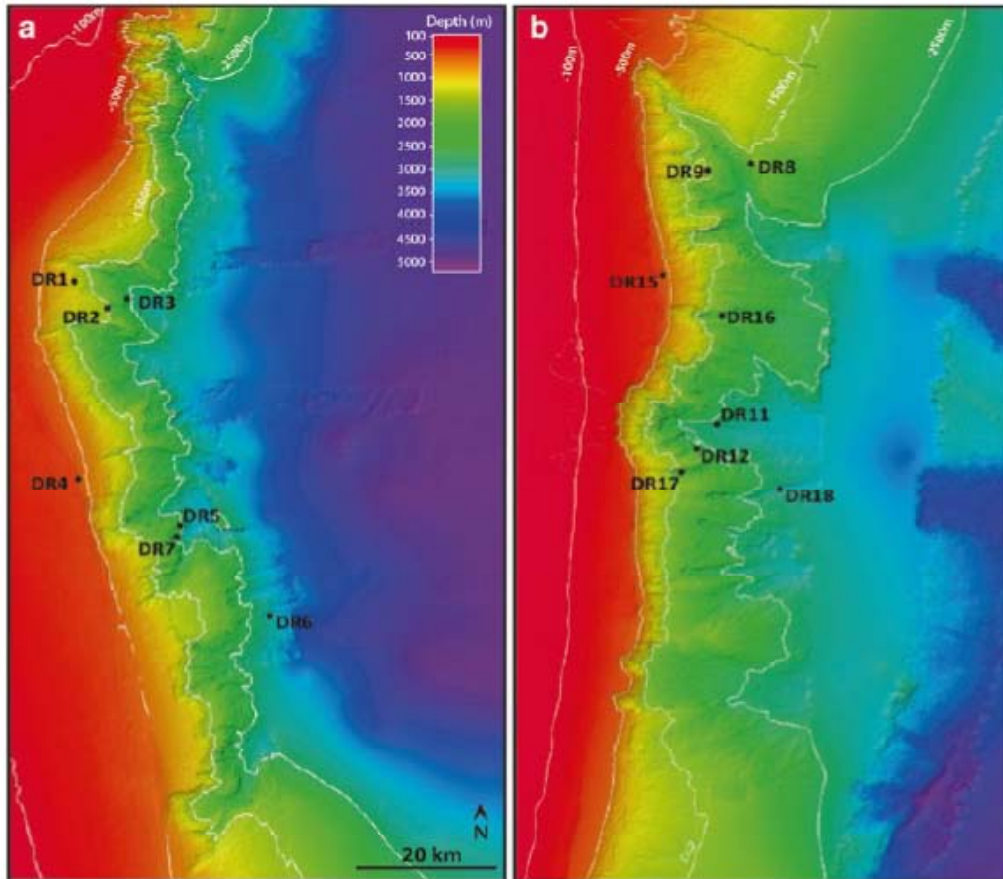
Η παραπάνω έρευνα εντόπισε το ενδιαφέρον στον ιζηματολογικό χαρακτήρα, τις φυσικές ιδιότητες και σε βιοστρωματογραφικά στοιχεία υλικών που συλλέχθηκαν από το RV Southern surveyor SS/2008/12 στο ΝΑ τμήμα της Αυστραλιανής υφαλοκρηπίδας. Οι παραπάνω ερευνητές αποδεικνύουν ότι τα ιζήματα εναποτέθηκαν σε μια ημί-πελαγική, παθητική θέση υφαλοκρηπίδας κατά τη διάρκεια της νεογενούς περιόδου και ειδικότερα κατά το τέλος κρητιδικής εποχής/αρχές της τριτογενούς. Ο γεωχημικός χαρακτήρας των καταρρεύσεων μέσης κλίσης εδραιώνεται χρησιμοποιώντας μεθόδους μοντελοποίησης στατικής κλίσης.

Οι κατά μέσο όρο γωνίες κλίσεων κυμαίνονται από 2.8° μέχρι 8.5° (Boyd κ.λ.π 2010). Η περιφέρεια της περιοχής μελέτης κυριαρχείται γενικά από τα κατολισθήσεις, μερικές από αυτές παρουσιάζουν αμφιθεατρικό σχήμα, όπως επίσης και σαν κυβικά και γραμμικά φαράγγια. Αυτά τα χαρακτηριστικά μαζικών καταρρεύσεων κυμαίνονται από κοινές μικρές κατολισθήσεις με όγκους μικρότερους από 0.5 km³, ενώ σε σπανιότερες, μεγάλες κατολισθήσεις μετατοπίζουν περισσότερα από 20 km³ ιζημάτων (Boyd κ.λ.π 2010, σχ. 1.10).

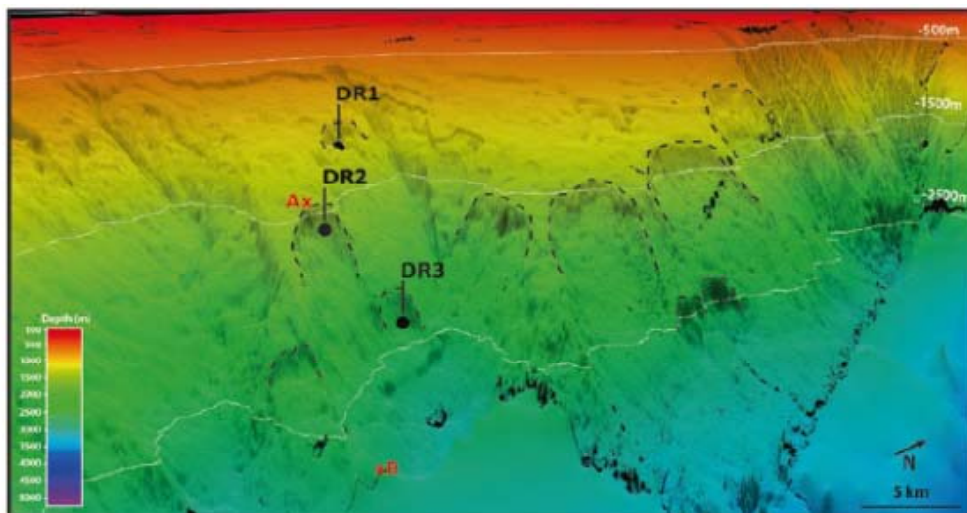
Στα πλαίσια της θαλάσσιας ερευνητικής δραστηριότητας του RV Southern Surveyor voyage (SS12/2008) συλλέχθηκαν βυθομετρικά δεδομένα (σχ. 1.11) χρησιμοποιώντας ένα Simrad EM300 πολυδεσμικό βυθόμετρο. Τα δεδομένα απεικονίζουν βάθη λιγότερο από 1000m (Boyd κ.λ.π 2010). Ολισθηρά ιζήματα ποικίλουν σε έκταση από <0.5 έως 20 km³ και προσδιορίζονται στην υψηλότερη πλευρά (<1200m) της νοτιοανατολικής Αυστραλιανής υφαλοκρηπίδας (Boyd κ.λ.π 2010).



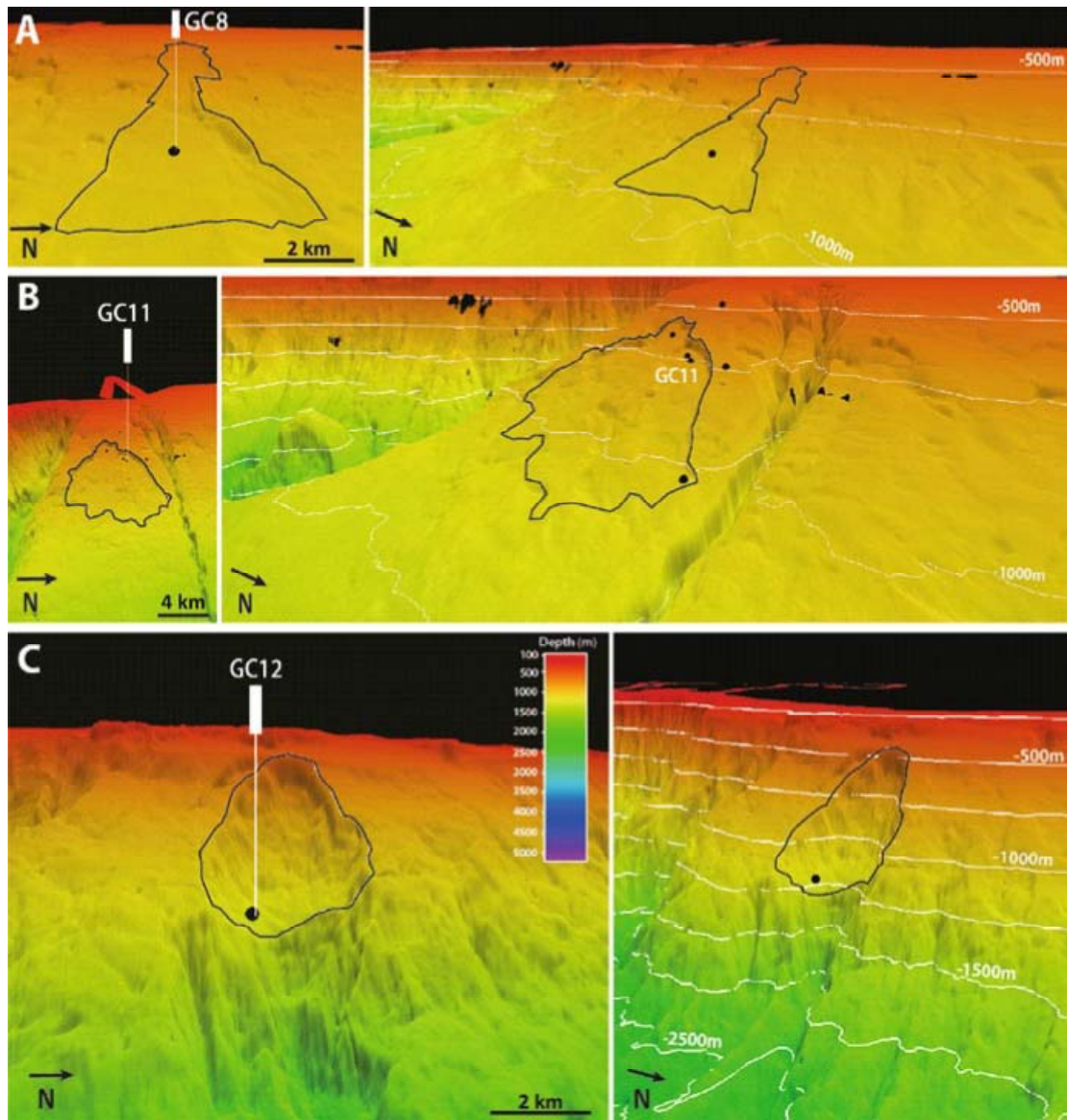
Σχήμα 1.8 Χάρτης περιοχών της ακτογραμμής από τη Νότια Queensland μέχρι την Βόρεια New South Wales. Τα μπλε ένθετα (a) και (b) σηματοδοτούν την περιοχή των βαθυμετρικών χαρτών που παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.9. (Hubble, Yu, Airey, Clarke, Boyd, Keene, Exon, Gardner, and Shipboard Party SS12/2008, 2012)



Σχήμα 1.9 Βαθυμετρικοί χάρτες των (α) βόρειων και (β) νότιων τμημάτων της περιοχής μελέτης. Επίσης παρουσιάζονται θέσεις των τετραγωνισμένων βυθοκόρων περιοχών. (Boyd κ.λ.π 2009). Βλέπε Σχήμα 3.1 της περιφερειακής θέσης των εικόνων.



Σχήμα 1.10 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) από ένα τμήμα της μέσης κλίσης εντός της περιοχής μελέτης. Εμφανίζονται επίσης και οι θέσεις των βυθοκόρων περιοχών DR1, DR2 και DR3. Σημειώστε ότι η αφθονία των σημαδιών κάμψης/ολίσθησης που παρουσιάζουν τοξοειδείς κορυφές (οι σκιαγραφημένες κορυφές συμβολίζονται με μαύρες διακεκομμένες γραμμές). Το τμήμα A-B αντιπροσωπεύει τον τομέα διασταύρωσης που χρησιμοποιείται στο μοντέλο ευστάθειας κλίσης που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5 (Hubble, Yu, Airey, Clarke, Boyd, Keene, Exon, Gardner, and Shipboard Party SS12/2008, 2012)



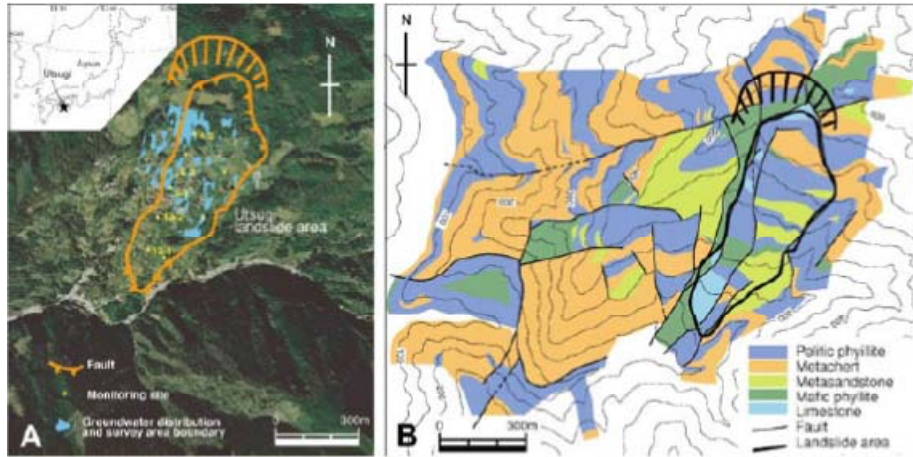
Σχήμα 1.11 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) της γεωμετρίας της κλίσης για τις 3 περιοχές ολίσθησης (τα περιγράμματα υποδηλώνονται από μαύρη γραμμή): (α) ολίσθηση Coolangatta 1, (β) ολίσθηση Cudgen, (γ) ολίσθηση Byron. Επίσης παρουσιάζονται οι τοποθεσίες των τριών πυρήνων βαρύτητας (GC8, GC11, GC12) σε αυτή τη μελέτη (Clarke, Hubble, Airey, Yu, Boyd, Keene, Exon, Gardner και Shipboard Party SS12/2008, 2012)

1.5 Κατολισθήσεις στα βουνά της Ιαπωνίας (Sakaguchi et al. 2012)

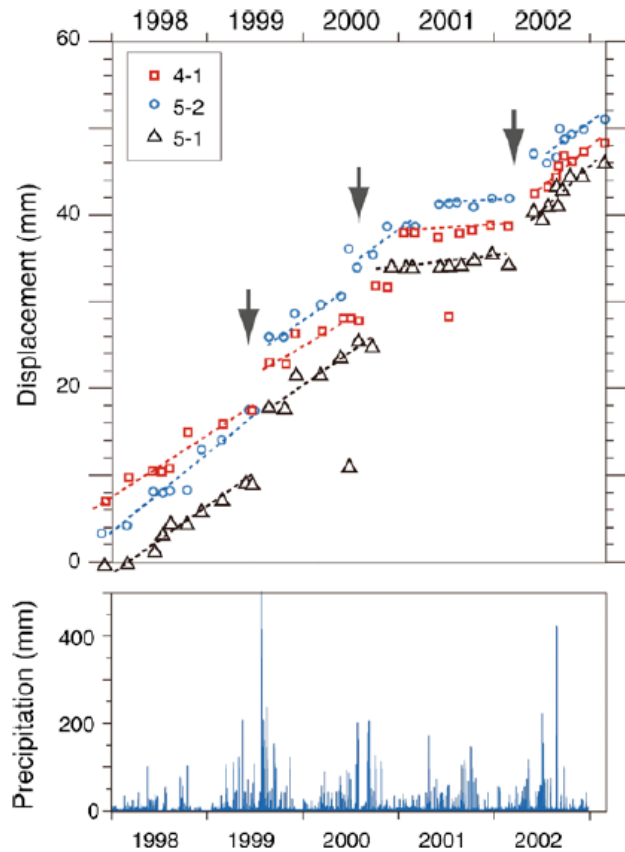
Οι κατολισθήσεις είναι κοινές στα βουνά της Ιαπωνίας (Sakaguchi et al. 2012), και έχουν εγκατασταθεί συστήματα παρακολούθησης για την διαχείριση των καταστροφών στις περισσότερες περιοχές που βιώνουν συχνές κατολισθήσεις. Η περιοχή κατολίσθησης που μελέτησαν οι Sakaguchi et al. (2012) εμφανίζει πολύ αργό ερπυσμό, ο οποίος επιταχύνεται κατά την διάρκεια βροχόπτωσης, αλλά χωρίς καταστροφική βλάβη ή ροή του ιζήματος (Σχήματα 1.12 και 1.13). Αυτά τα επεισοδιακά ολισθητικά γεγονότα μπορεί να συνδέονται με σχετικές με βροχόπτωση αλλαγές στην πίεση πόρων ρευστού. Στην συγκεκριμένη μελέτη παρακολούθησαν το συμβάν της ολίσθησης και των συνθηκών του υπόγειου νερού κατά τη διάρκεια δυνατού τυφώνα και βροχής για να κατανοήσουν την αναλυτική συμπεριφορά ολίσθησης, και ερεύνησαν τις ιδιότητες της ζώνης των ρωγμών σε πυρηνοληψίες που λήφθηκαν πριν και μετά από το γεγονός ολίσθησης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα διαγράμματα 1.13-1.16.

Η περιοχή κατολίσθησης Utsugi καλύπτει μια περιοχή 300m x 800m στο Ιουραϊκό σύμπλεγμα Chichibu της βορειοδυτικής Ιαπωνίας (σχ. 1.12α). Τα πετρώματα είναι χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένοι πυριτόλιθοι, αμμώδεις σχιστόλιθοι, ασβεστόλιθοι και μεταβαλσατικά μπλοκ μέσα σε μια μήτρα μαύρου σχιστόλιθου. Το σώμα κατολίσθησης αναπτύσσεται σε μια επίπεδη κορυφογραμμή, όπου τα άκαμπτα μπλοκ πυριτόλιθου λείπουν (σχ. 1.12β). Ένα κανονικό ρήγμα περίπου στα 30m βάθος εκτίθεται στην επιφάνεια των άνω και κάτω άκρων του σώματος ολίσθησης (σχ. 1.12c).

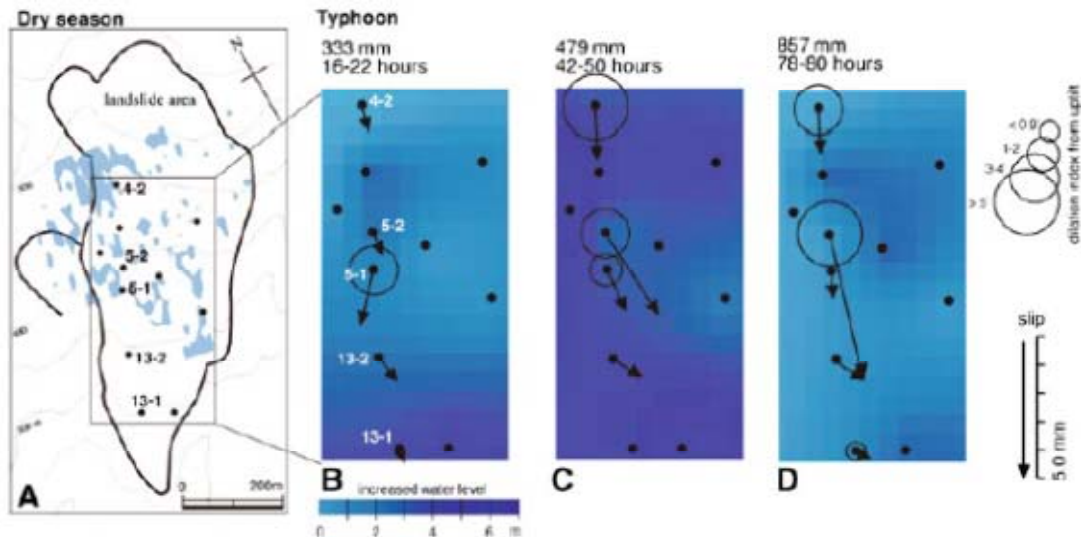
Η βραχυπρόθεσμη παρακολούθηση των επιπέδων των υπόγειων υδάτων και της κλίσης, που σχετίζονται με γεγονότα βροχοπτώσεων στο δυτικό τμήμα της περιοχής κατολίσθησης Utsugi, αποκάλυψε ότι μια χαρακτηριστική υδρολογική συμπεριφορά προηγήθηκε της κατολίσθησης. Η στάθμη του υπόγειου νερού αυξήθηκε σε 7-10 ώρες μετά την αρχή της βροχόπτωσης. Επιπλέον, η καθυστέρηση της διείσδυσης του νερού ήταν μικρότερη στο κατώτερο τμήμα της περιοχής κατολίσθησης. Οι κατολισθήσεις που ξεκίνησαν κοντά στη περιοχή, συνοδεύτηκαν από διαστολή της ζώνης του ρήγματος, και στην συνέχεια διαδόθηκαν σε γύρω περιοχές. Οι κατολισθήσεις μπορεί να προκλήθηκαν από μια αύξηση στην πίεση πόρων υγρού στην ζώνη του ρήγματος. Το ρήγμα και ο αγωγός ρευστού αναπτύχθηκαν από κατολισθητική δραστηριότητα που συνέβη κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης περιόδου. Επειδή το ρήγμα και οι υδρολογικές δομές μπορεί να αναπτύξουν, επί μεγάλο χρονικό διάστημα, συμπεριφορά ολίσθησης, δεν αλλάζουν βραχυπρόθεσμα.



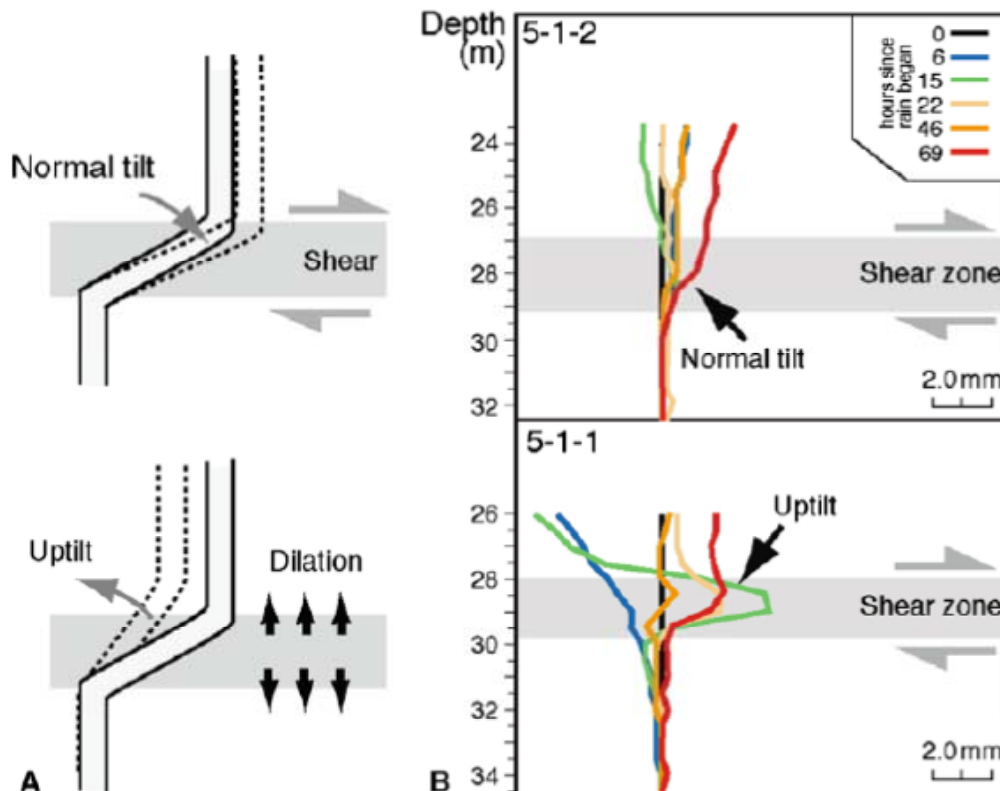
Σχήμα 1.12 Κανονικό ρήγμα που περιβάλλει την περιοχή κατολίσησης Utsugi στην περιοχή Kochi, βορειοδυτική Ιαπωνία, η μπλε σκίαση δείχνει την κατανομή των υπόγειων υδάτων που προκύπτει από μια έρευνα υπόγειας θερμοκρασίας (α). Το σώμα της κατολίσησης αποτελείται από μαύρο σχιστόλιθο, χωρίς μεγάλα τετράγωνα πυριτόλιθου (β). Ο χάρτης της αεροφωτογραφία είναι από Ιαπωνικό Υπουργείο Χωροταξίας, Υποδομών, Μεταφορών και Τουρισμού (Sakaguchi, Yokoyama, Hashimoto, Yamada, Tanaka, Ujiie και Yoshimura, 2012)



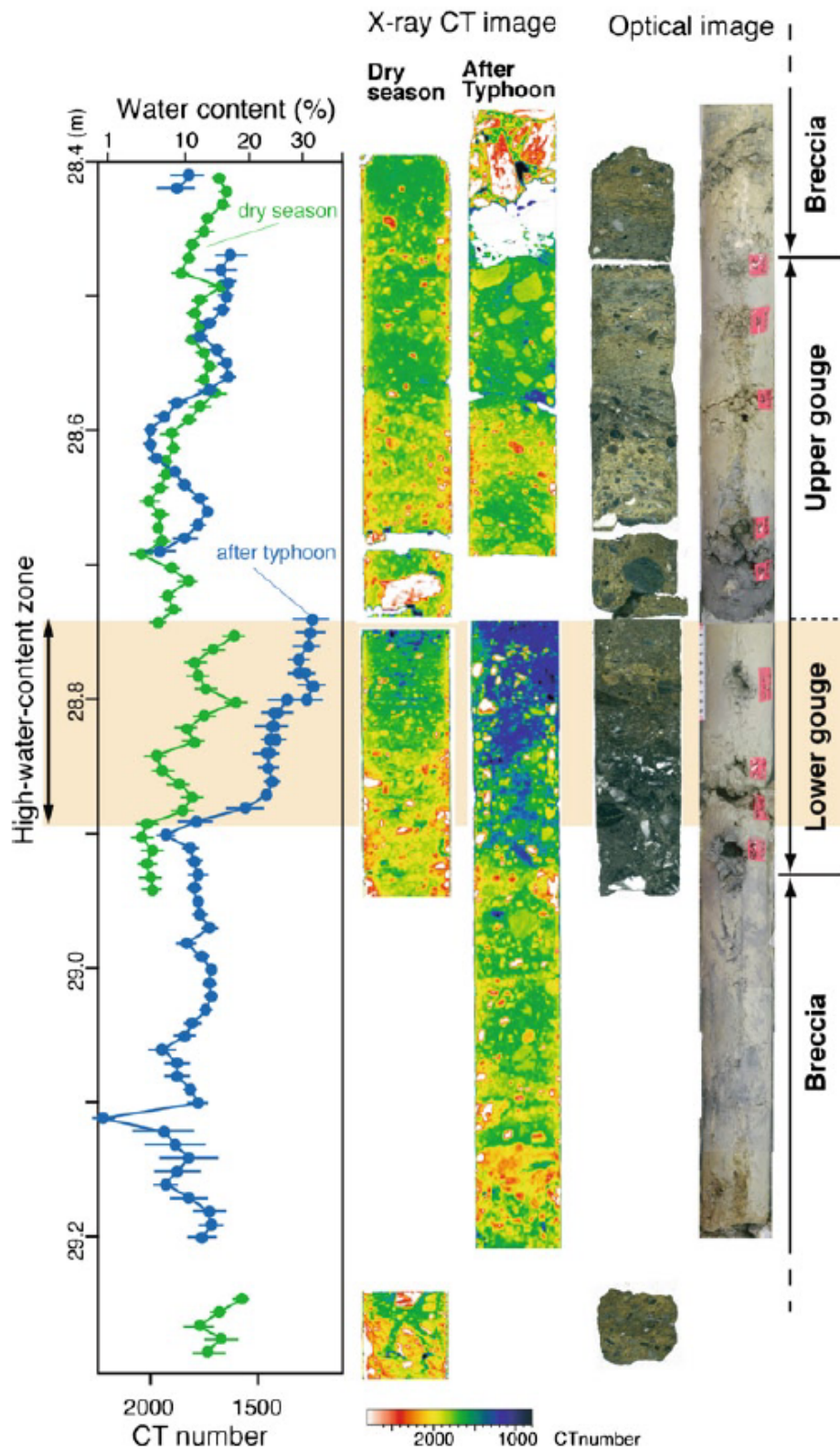
Σχήμα 1.13 Συσσωρευτική μετατόπιση του σώματος της κατολίσησης κατά τη διάρκεια μακροχρόνιας παρακολούθησης σε τρεις παρουσιαζόμενες περιόδους του σταθερού ερπυσμού μεταξύ επεισοδιακών επιταχυνόμενων ολισθητικών γεγονότων (Επάνω). Ολισθητικά γεγονότα που ήταν ταυτόχρονα με έντονες βροχοπτώσεις, ειδικά με καλοκαιρινούς τυφώνες (Κάτω). (Sakaguchi, Yokoyama, Hashimoto, Yamada, Tanaka, Ujiie και Yoshimura, 2012)



Σχήμα 1.14 Τα αποτελέσματα της λεπτομερούς παρακολούθησης των υπόγειων υδάτων στην περιοχή κατολίσθησης Utsugi κατά τη διάρκεια του τυφώνα το 2004. Η διανομή των υπόγειων υδάτων κατά τη ξηρή (α) Διαστολή και ολίσθηση μετά ενός τυφώνα τον Ιούλιο του 2004 (β, γ και δ). Η μπλε σκίαση δείχνει τις αλλαγές στο επίπεδο των υπόγειων υδάτων από την αρχή της βροχόπτωσης. Οι κύκλοι στα σημεία παρακολούθησης με μια παλιά παρακολούθηση σωλήνων γεώτρησης δείχνουν το ποσό της διαστολής της ζώνης του ρήγματος, που προκύπτει από την αύξηση κλίσης του σωλήνα (βλέπε κείμενο). Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση και το μέγεθος της μετατόπισης της κατολίσθησης σε μια από τις πέντε περιοχές μελέτης (Sakaguchi, Yokoyama, Hashimoto, Yamada, Tanaka, Ujii και Yoshimura, 2012)



Σχήμα 1.15 Οι γεωτρητικοί σωλήνες λύγισαν μέσα στη ζώνη του ρήγματος στη κατερχόμενη κατεύθυνση (α), αλλά η παροδική αύξηση κλίσης συμβαίνει πριν από την μεγάλη ολίσθηση στις περιοχές με παλιές γεωτρήσεις. Η μεγάλη κάμψη της παλιάς γεώτρησης μπορεί να δρα σαν ένας εξομαλυντής για τη διαστολή της διάρρηξης, όπως φαίνεται σχηματικά στο (β). Μόνο η περιοχή 5-1 έχει νέο γεωτρητικό σωλήνα (Sakaguchi, Yokoyama, Hashimoto, Yamada, Tanaka, Ujii και Yoshimura, 2012)



Σχήμα 1.16 Ανάλυση των πυρήνων που συλλέγονται στην περιοχή 5-1, όπου έλαβε χώρα το αρχικό σημείο καμπής της ολίσθησης. Η ζώνη του ρήγματος δειγματολήφθηκε δύο φορές, μία κατά τη διάρκεια της χειμωνιάτικης ξηρής περιόδου και πάλι αμέσως μετά το γεγονός ολίσθησης. Στον αριστερό πίνακα, ο προερχόμενος αριθμός CT της περιεκτικότητας σε νερό ακτίνων X ανάμεσα στον πυρήνα ξηρής περιόδου (πράσινο) και στον πυρήνα του γεγονότος (μπλε) (Sakaguchi, Yokoyama, Hashimoto, Yamada, Tanaka, Ujiie και Yoshimura, 2012)

2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)

2.1 Εισαγωγή

Η ιδιαιτερότητα στις βάσεις δεδομένων σε περιβαλλοντικά ζητήματα σε σχέση με άλλες βάσεις δεδομένων οφείλεται στη γεωγραφική εξάρτησή τους. Παίζει δηλαδή σημαντικό ρόλο η χωρική διάσταση των Πληροφοριών και η γεωγραφική τους κατανομή. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των GIS συνοψίζονται στα παρακάτω :

A) Δυνατότητα Γεωγραφικής Ανάλυσης των Πληροφοριών

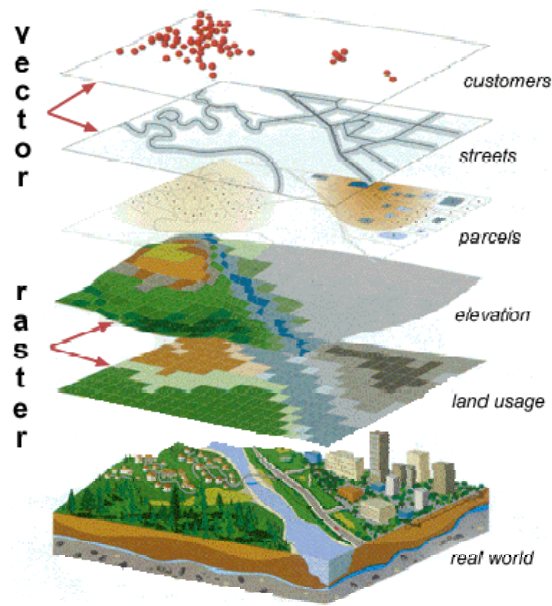
Οι πληροφορίες δεν έχουν απλώς χωρική εξάρτηση αλλά μπορούν να διαχειριστούν με βάση τη γεωγραφική συνιστώσα. Έτσι μπορούν να ανακτηθούν πληροφορίες σχετικά με την κατανομή κάποιας συγκεκριμένης ιδιότητας των παραμέτρων ή πληροφορίες σχετικές με περιοχές που εμφανίζεται ιδιότητα. Για παράδειγμα, περιοχές όπου η ρύπανση υπερβαίνει κάποια όρια ή περιοχές όπου η βροχόπτωση ή η απορροή εμφανίζει συστηματική απόκλιση από τις μέσες αναμενόμενες τιμές.

B) Δυνατότητα ηλεκτρονικής χαρτογράφησης και παρουσίασης θεματικών χαρτών

Τα GIS έχουν τη δυνατότητα να παρουσιάζουν πληροφορίες με μορφή χαρτών και ιδιαίτερα θεματικών χαρτών. Αυτοί οι χάρτες μπορούν να συνδυάζονται μεταξύ τους και να παράγουν σύνθετες χαρτογραφικές απεικονίσεις.

Γ) Δυνατότητα διεπιστημονικής εργασίας

Αυτό σημαίνει ότι μπορεί κάποιος να προσθέσει στοιχεία του δικού του επιστημονικού κλάδου σε προηγούμενες δουλειές "κτίζοντας" πάνω σε αυτές και έτσι αυξάνει τον αριθμό των πληροφοριών που αφορούν μια συγκεκριμένη περιοχή ευνοώντας την ύπαρξη κοινής αναφοράς για τους επιστήμονες διαφορετικών ειδικοτήτων που συνεργάζονται μεταξύ τους. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στη θεμελιώδη αρχή των επιπέδων (Layers) τα οποία εναποτίθενται το ένα πάνω στο άλλο (σχήμα 3.1) και έτσι συνδυαζόμενα μεταξύ τους όπως συνηθίζεται με την κλασική μέθοδο χαρτογράφησης με χρήση ριζόχαρτων που εναποτίθενται διαδοχικά το ένα πάνω στο άλλο, κατορθώνουμε την αξιοποίηση και τον συνδυασμό διαφορετικών πληροφοριών.



Σχήμα 2.1 Εναπόθεση επιπέδων.

Δ) Δυνατότητα ένταξης μεθόδων μαθηματικής επεξεργασίας των πληροφοριών στα GIS καθώς και μοντέλα προσομοίωσης.

Συγκεκριμένα, στις περιβαλλοντικές εφαρμογές μπορούμε να ασχοληθούμε με μοντέλα πρόγνωσης φαινομένων, π.χ. περιβαλλοντικών αλλοιώσεων, αλλοίωση μορφολογίας της εξέλιξης των υδροσυστημάτων, την αξιοποίηση εναλλακτικών σχεδίων διαχείρισης κ.α.

2.2 Χρήση του Arcview

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών με τη βοήθεια του ArcView 9.3.

1. Εισαγωγή του χάρτη μέσω σαρωτή (scanner) στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε εισαγωγή δύο χαρτών, κλίμακας 1:100000. Για κάθε κομμάτι του χάρτη δίνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες τεσσάρων γνωστών σημείων με τέτοια ακρίβεια ώστε το σφάλμα να είναι μηδενικό στην καλύτερη περίπτωση ή τουλάχιστον μικρότερο του 2 ($rms < 2$). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται image registration.

Το επόμενο βήμα είναι η γεωαναφορά του χάρτη (Georeferencing). Τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής :

- Γίνεται προσθήκη της εικόνας στο υποπρόγραμμα ArcMap η οποία αντιστοιχεί στο σαρωμένο χάρτη. (Προαιρετικά και του βοηθητικού θεματικού επιπέδου που θα χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός για τη γεωαναφορά)
- Κατάδειξη σημείων ελέγχου στην εικόνα για τα οποία γνωρίζουμε τις πραγματικές συντεταγμένες τους τις οποίες και εισάγουμε (άμεσα με πληκτρολόγηση ή έμμεσα με τη χρήση του βοηθητικού θεματικού επιπέδου).
- Όταν επιτευχθεί ικανοποιητική ακρίβεια (έλεγχος του RMS error), γίνεται αποθήκευση της πληροφορίας ακρίβειας γεωαναφοράς η οποία αναφέρεται στο αρχείο της εικόνας.

2. Ψηφιοποίηση των ισοϋψών και ισοβαθών του χάρτη

Ισοϋψείς καμπύλες

Στους χάρτες, η αναπαράσταση του ανάγλυφου γίνεται με τη βοήθεια ισοϋψών καμπυλών. Η ισοϋψής καμπύλη είναι μια νοητή γραμμή που περνά από όλα τα σημεία που έχουν το ίδιο υψόμετρο. Η υψομετρική διαφορά ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ισοϋψείς καμπύλες λέγεται ισοδιάσταση. Η ισοδιάσταση είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά ενός χάρτη και συνήθως συνδυάζεται με την κλίμακά του: οι χάρτες κλίμακας 1:250.000 έχουν ισοδιάσταση 100 μ., στο 1:100.000 η ισοδιάσταση είναι 40 μ., στην κλίμακα 1:50.000 συνήθως χρησιμοποιείται η ισοδιάσταση των 20 μ. με βοηθητικές καμπύλες ανά 10 μ. στα ομαλά πεδία, στο 1:25.000 η ισοδιάσταση είναι 10 μ. και στο 1:5.000 χρησιμοποιείται η ισοδιάσταση των 4 μ.

Η ισοδιάσταση των 100 μ. είναι κατάλληλη για περιηγητική χρήση (χάρτες κλίμακας 1:50.000 έως 1:250.000), ενώ στην πεζοπορία, η ισοδιάσταση των 20 μ. σε συνδυασμό με την κλίμακα του 1:50.000 προσφέρουν ανεκτίμητη βοήθεια και σιγουριά, ειδικά σε ασαφή μονοπάτια.

Οποσδήποτε, για την αναγνώριση των μορφολογικών χαρακτηριστικών ενός τοπίου με βάση τις ισοϋψείς καμπύλες απαιτείται κάποια εξάσκηση. Το βασικότερο που πρέπει να γνωρίζει κανείς είναι ότι όσο πιο πυκνές είναι οι ισοϋψείς καμπύλες τόσο μεγαλύτερη είναι κλίση της πλαγιάς. Η διάκριση των ραχών από τις ρεματιές διευκολύνεται από την παρουσία της μπλε διακεκομμένης γραμμής στις μισγάγκειες.

Πριν ξεκινήσει η ψηφιοποίηση των χαρτών, δημιουργούμε τα απαραίτητα θεματικά επίπεδα. Τα βήματα για τη διαδικασία αυτή είναι τα εξής :

1. Γίνεται έναρξη του υποπρογράμματος ArcCatalog και οδηγούμαστε στους σχετικούς καταλόγους. Δημιουργείται σύνδεση με τον επιθυμητό κατάλογο.
2. Γίνεται εκκίνηση του ArcCatalog. Επιλέγεται από το μενού File/New/Shapefile και αφού καθοριστούν τα ονόματα και ο τύπος των οντοτήτων (feature type) που περιέχονται στο νέο shapefile, δίνοντας OK δημιουργείται ένα νέο κενό θεματικό επίπεδο. Πριν ολοκληρωθεί η δημιουργία του νέου shapefile, με την επιλογή edit – select – Projected Coordinate System – Greek Grid, μπορεί να οριστεί το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87).

Η διαχείριση του νέου θεματικού επιπέδου δημιουργήθηκε και η προσθήκη σε αυτό γεωγραφικών οντοτήτων υλοποιείται με τη χρήση του υποπρογράμματος ArcMap, με τα παρακάτω βήματα :

1. Έναρξη του ArcMap με τη δημιουργία νέου χάρτη ή ενεργοποίηση χάρτη που έχει δημιουργηθεί προγενέστερα.
2. Δημιουργία νέου πλαισίου δεδομένων (data frame) και καθορισμός του συστήματος αναφοράς του. (data frame < Properties < Coordinate System < Predefined < Projected Coordinate System < National Grids < Greek Grid).
3. Προσθήκη σε αυτό του θεματικού επιπέδου που δημιουργήθηκε στον ArcCatalog, καθώς και του σαρωμένου χάρτη (αρχείο εικόνας), που θα χρησιμοποιηθεί σαν υπόβαθρο για την ψηφιοποίηση επί της οθόνης.
4. Στη συνέχεια γίνεται ενεργοποίηση της γραμμής εργαλείων διαμόρφωσης (Editor Toolbar Button).
5. Από το μενού επιλογών Editor, γίνεται επιλογή του Start Editing και καθορισμός ενέργειας (Task : Create New Feature) και θεματικό επίπεδο εργασίας (Target : το shapefile που δημιουργήθηκε).
6. Ψηφιοποίηση ισοϋψών με τη χρήση του εργαλείου σχεδίασης (sketch tool) και εισαγωγή με κλικ του ποντικιού (mouse) στα σημεία που ορίζουν τις ισοϋψείς.

7. Λήξη της ψηφιοποίησης με διπλό κλικ ή F2.

3. Δημιουργία – Διαμόρφωση περιγραφικών δεδομένων.

Για την πληρέστερη ψηφιακή κωδικοποίηση των γεωγραφικών δεδομένων, εκτός από τη θέση, καταγράφονται και τα περιγραφικά τους χαρακτηριστικά.

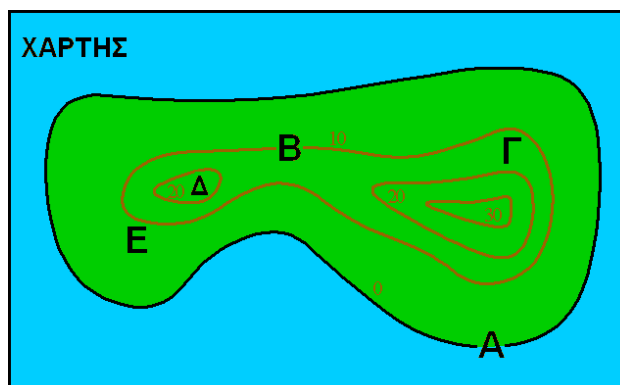
A) Σε κάθε διανυσματικό θεματικό επίπεδο τύπου shapefile, αντιστοιχεί ένας πίνακας περιγραφών (attribute table) ο οποίος περιέχει τα γνωρίσματα των γεωγραφικών οντοτήτων του, που συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι ισοϋψείς. Η προσπέλαση στον πίνακα περιγραφών μπορεί να γίνει τόσο από το υποπρόγραμμα ArcCatalog, όσο και από το ArcMap.

Ο πίνακας αυτός περιέχει περιγραφικά στοιχεία που σχετίζονται με τις χωρικές οντότητες (ισοϋψείς). Ο πίνακας περιγραφών, σε συνδυασμό με τη χωρική – γεωμετρική πληροφορία, αποτελούν τον πυρήνα ενός τέτοιου θεματικού επιπέδου πληροφοριών.

4. Δημιουργία βάσης δεδομένων μέσω του GIS.

Με τη βοήθεια του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών ArcView 9.3., αφού εισήχθησαν τα δύο κομμάτια των ναυτικών χαρτών του νησιού της Κρήτης με στον υπολογιστή, με τη βοήθεια σαρωτή, έγινε η ψηφιοποίηση των ισοβαθών.

Σχηματικά αναφέρεται παρακάτω η διαδικασία της ψηφιοποίησης και αναφορά των ισοϋψών στον attribute table :



Το σημείο A = 0 μέτρα

Το σημείο A βρίσκεται ακριβώς πάνω στην ισοϋψή 0 μέτρα του περιγράμματος. Δεδομένου ότι όλα τα σημεία πάνω στη γραμμή αυτή έχουν υψόμετρο 0 μέτρα, το σημείο A έχει και αυτό υψόμετρο 0 μέτρα.

Σημείο B = 10 μέτρα

Το σημείο B βρίσκεται ακριβώς πάνω στην ισοϋψή 10 μέτρα του περιγράμματος. Δεδομένου ότι όλα τα σημεία πάνω στη γραμμή αυτή έχουν υψόμετρο 10 μέτρα, το σημείο B έχει και αυτό υψόμετρο 10 μέτρα.

Σημείο Γ ~ 15 μέτρα

Σημείο Γ, δε βρίσκεται ακριβώς πάνω σε γραμμή του περιγράμματος και έτσι δεν μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια το υψόμετρο. Το σημείο Γ είναι μεταξύ των ισοϋψών 10 μέτρα και 20 μέτρα. Έτσι το υψόμετρο σε εκείνο το σημείο πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 10 μέτρα και μικρότερο από 20 μέτρα. Επειδή το σημείο Γ βρίσκεται σε ίση απόσταση μεταξύ αυτών των γραμμών, το υψόμετρο σε εκείνο το σημείο είναι περίπου 15 μέτρα. (Σημείωση αυτό προϋποθέτει ότι η κλίση είναι σταθερή μεταξύ των δύο ισοϋψών καμπύλων).

Σημείο Δ ~ 25 μέτρα

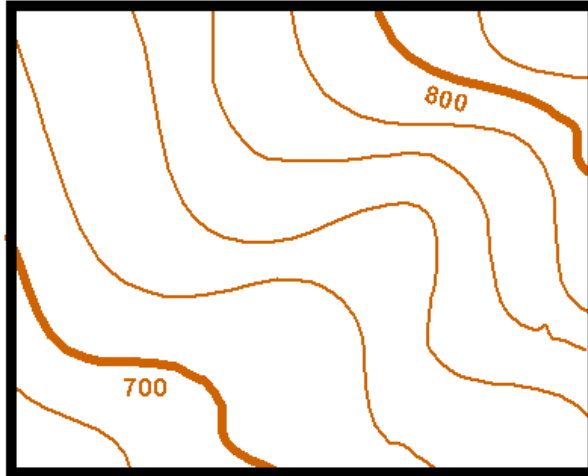
Το σημείο Δ έχει υψόμετρο μεγαλύτερο από 20 μέτρα και λιγότερο από 30 μέτρα αφού δεν υπάρχει ισοϋψής σε εκείνο το σημείο με υψόμετρο 30 μέτρα. Δε μπορούμε να ήμαστε σίγουροι για το ακριβές υψόμετρο σε εκείνο το σημείο. Σε αρκετές περιπτώσεις αναφέρεται το υψόμετρο σε παρόμοια σημεία. Θα μπορούσε το σημείο αυτό να έχει υψόμετρο 21 μέτρα ή 29 μέτρα. Δεν υπάρχει τρόπος να προσδιοριστεί το ακριβές υψόμετρο. Ωστόσο η διαφορά των 8 μέτρων δεν είναι μεγάλη, οπότε μπορεί να αναφέρουμε το σημείο με υψόμετρο 25 μέτρα. (Με την προϋπόθεση ότι η κλίση του εδάφους μεταξύ των δύο ισοϋψών είναι σταθερή).

Το σημείο E ~ 8 μέτρα

Ακριβώς όπως με το σημείο Γ ανωτέρω, πρέπει να εκτιμηθεί ότι το σημείο E βρίσκεται κάπου μεταξύ των υψομέτρων 0 μέτρα και 10 μέτρα. Επειδή αυτό το σημείο είναι πιο κοντά στην ισοϋψή των 10 μέτρων από τη γραμμή 0 μέτρα εκτιμούμε υψόμετρο είναι πιο κοντά στην ισοϋψή των 10 μέτρων. Σε αυτή την

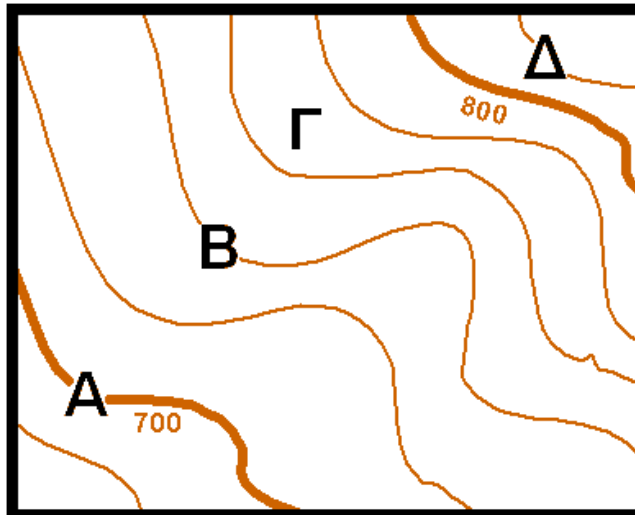
περίπτωση 8 μέτρα φαίνεται λογικό. (Με την προϋπόθεση ότι η κλίση του εδάφους μεταξύ των δύο ισοψών είναι σταθερή).

- Αρχικά ψηφιοποιούνται οι κύριες ισοψείς (σήμα 2.2): η 100 μέτρα, η 200 μέτρα, η 300 μέτρα κτ.λ.



Σχήμα 2.2 Κύριες ισοψείς.

- Συνεχίστηκε η ψηφιοποίηση όπως αναφέρεται παρακάτω :



Σχήμα 2.3 Δευτερεύουσες ισοψείς.

Οι ισοψείς απέχουν μεταξύ τους 20 μέτρα. Επομένως αναφέρθηκαν στον attribute table ως εξής :

Σημείο A = 700

Κύρια γραμμή με υψόμετρο 700 μέτρα.

Σημείο Β = 740

Αυτή η ισοϋψής δε αναφέρεται τι υψόμετρο έχει. Επειδή βρίσκεται πάνω από την ισοϋψή των 700 μέτρων κατά δύο ισοϋψεις, έχει υψόμετρο 740 μέτρα.

Σημείο Γ ~ 770

Το σημείο Γ δεν βρίσκεται πάνω σε μια ισοϋψή με γνωστό υψόμετρο. Όμως, μετρώντας από την ισοϋψή των 700 μέτρων φαίνεται πως βρίσκεται μεταξύ των ισοϋψών 760 μέτρα και 780 μέτρα. Επειδή είναι στη μέση των δύο μπορεί να εκτιμηθεί ότι εκεί είναι το υψόμετρο των 770 μέτρων.

Σημείο D = 820

Αυτή η ισοϋψής δε αναφέρεται τι υψόμετρο έχει. Επειδή βρίσκεται πάνω από την ισοϋψή των 800 μέτρων κατά μια ισοϋψή, έχει υψόμετρο 820 μέτρα.

Πηγές

<http://raider.mountunion.edu/~mcnaugma/Topographic%20Maps/contour.htm>

<http://estia.hua.gr:8080/dspace/bitstream/123456789/183/1/Ptychiaki34.pdf>

<http://www.anavasi.gr/about.php>

<http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c03-s01.gr.html>

3. Η ΒΥΘΟΜΕΤΡΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται η επεξεργασία των στοιχείων που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση των ναυτικών χαρτών της Κρήτης. Ο στόχος ήταν, με βάση την βαθυμετρία και σε συνδυασμό με βιβλιογραφική έρευνα (Leite & Mascle, 1982; ten Veen and Postma, 1999; Le Pichon et al., 2002, Alves et al., 2007, Βραχνού, 2011), να προσδιοριστούν οι κύριες ρηξιγενείς δομές στον θαλάσσιο χώρο της Κρήτης, οι οποίες συνιστούν πιθανές ζώνες για παρουσία υποθαλάσσιων κατολισθήσεων.

3.2 Βυθομετρικοί χάρτες

Βυθομετρικός Χάρτης: η χωρική απεικόνιση του βυθού σε μια οριζόντια διάσταση
Ναυτικός Χάρτης: η περιληπτική παρουσίαση της παράκτιας και θαλάσσιας περιοχής που περιλαμβάνει απαραίτητες πληροφορίες για την ασφαλή ναυσιπλοΐα. Σε έναν ναυτικό χάρτη περιλαμβάνονται βυθομετρικά δεδομένα που δίνουν μια σχετικά καλή εικόνα της μορφολογίας του βυθού

Βυθομετρική διατομή: η δισδιάστατη απεικόνιση του βυθού σε μια κάθετη τομή

Ισοβαθής: η γραμμή που ενώνει τα σημεία με ίδιο βάθος.

Ισοδιάσταση: η απόσταση σε μέτρα μεταξύ δυο διαδοχικών ισοβαθών.

Χαρακτηριστικά ναυτικών χαρτών

Τα κυριότερα στοιχεία ενός ναυτικού χάρτη είναι η χωρική διευθέτηση των απαραίτητων γεωγραφικών πληροφοριών, η απεικόνιση της ξηράς, ακτογραμμής και του θαλάσσιου πυθμένα, και σύμβολα ναυσιπλοΐας.

Χωρική διευθέτηση

Συντεταγμένες

Κάθε σημείο της επιφάνειας της Γης προσδιορίζεται από δύο Γεωγραφικές Συντεταγμένες: Το Γεωγραφικό Πλάτος (ϕ , Latitude) που είναι το τμήμα (τόξο) του μεσημβρινού που περιλαμβάνεται μεταξύ του ισημερινού της γης και της συγκεκριμένης θέσης. Μετράται σε μοίρες, όπου η αρχή του (00°) είναι ο Ισημερινός και το τέλος του (90°)

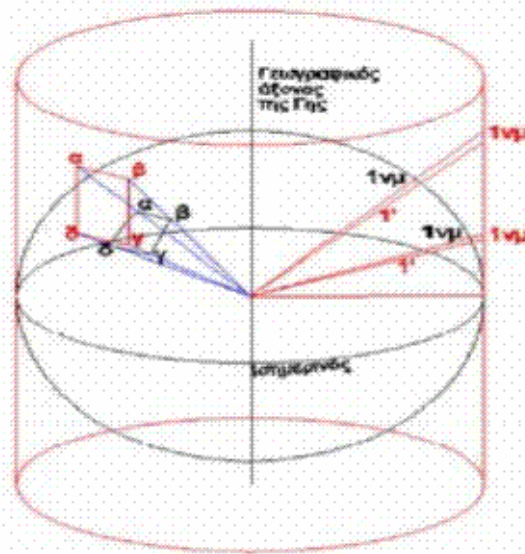
είναι οι πόλοι.

Χαρακτηρίζεται ως Βόρειο (N) ή Νότιο (S), αναλόγως το ημισφαίριο στο οποίο βρίσκεται η θέση. Το Γεωγραφικό Πλάτος σημειώνεται στο αριστερό και δεξιό πλαίσιο ενός ναυτικού χάρτη. Με βάση αυτή την κλίμακα μετρώνται όλες οι αποστάσεις πάνω στον χάρτη, όπου η μια μοίρα ισοδυναμεί με 60 ναυτικά μίλια ($1\text{o} = 60 \text{ μίλια} = 111,11 \text{ χλμ.}$) και ένα πρώτο της μοίρας ισοδυναμεί με ένα ναυτικό μίλι και ($1' = 1 \text{ μίλι} = 1,852 \text{ χλμ.}$). Το Γεωγραφικό Μήκος (λ , Longitude) είναι το τμήμα (τόξο) του παράλληλου που περιλαμβάνεται μεταξύ του 1ου μεσημβρινού και της συγκεκριμένης θέσης. Μετράται σε μοίρες, όπου η αρχή του (000°) είναι ο μεσημβρινός που διέρχεται από το Greenwich και το τέλος του (180°) είναι ο (αντί-)μεσημβρινός που διέρχεται κοντά από τα νησιά Φίτζι στον Ειρηνικό Ωκεανό. Χαρακτηρίζεται ως Ανατολικό (E) ή Δυτικό (W) αναλόγως το ημισφαίριο στο οποίο βρίσκεται η θέση. Το Γεωγραφικό Μήκος σημειώνεται στο πάνω και κάτω πλαίσιο

του ναυτικού χάρτη. Σε αντίθεση με την κλίμακα μήκους τις οποίας οι υποδιαίρέσεις έχουν το ίδιο πάχος, στην κλίμακα πλάτους, όσο πλησιάζουμε προς τους πόλους το πάχος των υποδιαίρέσεων μειώνεται.

Προβολή

Οι ναυτικοί χάρτες στην Ελλάδα απεικονίζονται με βάση την Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (Universal Transverse Mercator ή U.T.M.) (σχ. 3.1), για ζώνες εύρους 6° (η γη χωρίζεται σε 60 ζώνες). Στην Ε.Μ.Π., η γήινη επιφάνεια προβάλλεται πάνω σε έναν κύλινδρο, ο άξονας του οποίου είναι κάθετος ως προς την ευθεία που ενώνει τους δύο πόλους. Ο μεσημβρινός που ορίζεται από την επαφή του κυλίνδρου με τη γήινη επιφάνεια είναι ο Κεντρικός Μεσημβρινός της προβολής και ταυτίζεται με τον κατακόρυφο άξονα του προβολικού συστήματος. Ο οριζόντιος άξονας όλων των Ε.Μ.Π. είναι ο Ισημερινός.



Σχήμα 3.1 Η Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή της επιφάνειας της γης.

Κλίμακα

Κλίμακα ενός χάρτη είναι η σχέση ανάμεσα στο σχεδιασμένο γραφικό μήκος και στο αντίστοιχο πραγματικό. Η κλίμακα ορίζεται ως ένα κλάσμα που έχει αριθμητή το σχεδιασμένο μήκος στον χάρτη και παρονομαστή το αντίστοιχο πραγματικό μήκος:

$$K=1/\alpha$$

Για παράδειγμα, ένας χάρτης με κλίμακα 1:50.000 (ένα προς πενήντα χιλιάδες) υποδηλώνει ότι 1 cm στον χάρτη αντιστοιχεί σε 50.000 cm (ή 500 m) στην πραγματική διάσταση της χαρτογραφημένης περιοχής.

Εκτός από την κλίμακα γεωγραφικού πλάτους και μήκους που πλαισιώνει τον χάρτη, πιθανώς να υπάρχει και μια γραφική κλίμακα, με την μορφή βαθμονομημένης γραμμής που

αντιπροσωπεύει με μονάδες αποστάσεων στο έδαφος (συνήθως σε χιλιόμετρα ή μίλια).

Προσανατολισμός

Συνήθως οι χάρτες είναι προσανατολισμένοι με το πάνω μέρος τους προς τον βορρά. Ωστόσο, υπάρχουν γραφικά σύμβολα που επιβεβαιώνουν την αρχή αυτή. Ένα ιδιαίτερο σύμβολο είναι το Ανεμολόγιο Ναυτικού Χάρτη (compass rose).

Πρόκειται για χάρτινο δίσκο που αναπαριστά τον ορίζοντα, η περιφέρεια του οποίου

υποδιαιρείται από 0° έως 360° (στη πράξη το σημείο 0° είναι το αυτό των 360°) και φέρει δύο διαμέτρους κάθετες από τις οποίες η μία δείχνει τη μεσημβρινή γραμμή με άκρα τα σημεία του ορίζοντα Β (Βορρά) και Ν (Νότου) και η άλλη τη γραμμή του πρώτου καθέτου με άκρα τα σημεία του ορίζοντα Α (Απηλιώτη - Ανατολή) και Ζ (Ζέφυρο -Δύση). Έτσι ο δίσκος διαιρείται σε 4 τεταρτοκύκλια, προς 90 μοίρες έκαστο, το πρώτο Β-Α, το δεύτερο Ν-Α, το τρίτο Ν-Ζ και το τέταρτο Β-Ζ. Τα ανεμολόγια χρησιμεύουν εκτός του προσδιορισμού των ανέμων στη μέτρηση πλεύσεων, διοπττεύσεων, ραδιοδιοπττεύσεων, και του αζιμούθιου. Ο εσωτερικός κύκλος του ανεμολογίου ονομάζεται Μαγνητικό Ανεμολόγιο. Διαιρείται σε 360°,

με τον μαγνητικό Βορρά να βρίσκεται στις 0ο και 360ο. Λόγω της μη ταύτισης του γεωγραφικού με τον μαγνητικό βορρά, τα σταυρόνημα των δύο ομόκεντρων κύκλων του ανεμολογίου δεν συμπίπτουν. Η διαφορά αυτή ονομάζεται Απόκλιση και διαφέρει από τόπο σε τόπο. Στο κέντρο του ανεμολογίου αναφέρεται και η ετήσια απόκλιση της περιοχής. Έτσι, όταν στο ανεμολόγιο υπάρχει η ένδειξη 2ο 53'Α 1997 (2'Α) σημαίνει ότι η Απόκλιση στο συγκεκριμένο σημείο ήταν 2ο 53' Ανατολική του 1997 και αυξάνεται (με κατεύθυνση Ανατολική) κατά 2' το έτος. Επομένως, το 2008 η Απόκλιση θα πρέπει να είναι: 2ο 53' + 0ο 22' (0ο 02' x 11 έτη) = 3ο 15' Ανατολική.

Απεικόνιση της ξηράς και της ακτογραμμής

Ακτογραμμή

Η ακτογραμμή είναι το όριο μεταξύ της στεριάς και της θάλασσα και ταυτίζεται με την ισοβαθή του «μηδέν». Επειδή η στάθμη της θάλασσας μεταβάλλεται συνεχώς, η μέτρηση των βαθών και η επακόλουθη απεικόνιση τους στους ναυτικούς και βυθομετρικούς χάρτες, πρέπει να αναχθεί σε ένα σταθερό οριζόντιο επίπεδο αναφοράς το οποίο λέγεται Επίπεδο Αναγωγής Βολισμάτων (sounding datum). Στην Ελλάδα το Ε.Α.Β. ταυτίζεται με την χαμηλότερη στάθμη της παλίρροιας (δηλαδή την Κατωτάτη Ρηχία - Κ.Τ.Π.) έτσι ώστε, σχεδόν πάντοτε, τα πραγματικά βάθη στην περιοχή να μην είναι μικρότερα από αυτά που απεικονίζονται στους χάρτες, για λόγους ασφάλειας της ναυσιπλοΐας. Η Κ.Τ.Π. είναι το ελάχιστο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας που παρατηρήθηκε τα τελευταία 18,6 χρόνια, τουλάχιστον.

Επισημαίνεται ότι το σημείο «μηδέν» των ναυτικών και βυθομετρικών χαρτών δεν συμπίπτει με το τοπογραφικό σημείο μηδέν, το οποίο ορίζεται ως η Μέση Στάθμη της Θάλασσας (Μ.Σ.Θ.), δηλαδή το μέσο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας που προκύπτει από παρατηρήσεις που λαμβάνονται ανά ίσα χρονικά διαστήματα για μία μακροχρόνια περίοδο που κατά προτίμηση πρέπει να είναι τουλάχιστον 18,6 έτη. Πρακτικά, το «μηδέν» των ελληνικών ναυτικών χαρτών είναι, κατά μέσο όρο, περίπου 50 cm χαμηλότερα από το «μηδέν» των τοπογραφικών χαρτών και, επομένως, η ακτογραμμή στους ναυτικούς χάρτες είναι μετατωπισμένη κατά τι προς τη θάλασσα.

Ωστόσο, το «μηδέν» ενός ναυτικού χάρτη μπορεί να διαφέρει από το αντίστοιχο «μηδέν» κάποιου άλλου ναυτικού χάρτη. Για παράδειγμα, σε περιοχές με μεγάλο παλιρροιακό εύρος, η Κατώτατη ρηχία είναι σε χαμηλότερο επίπεδο (π.χ. στη Βόρεια Γαλλία είναι 4 μέτρα κάτω από το απόλυτο τοπογραφικό «μηδέν») από ότι σε περιοχές με μικρό παλιρροιακό εύρος (π.χ. στη Ελλάδα είναι 0,5 μέτρα κάτω από το απόλυτο τοπογραφικό «μηδέν»).

Το είδος της ακτής

Η αποτύπωση της μορφολογίας μιας ακτής πάνω σε ένα ναυτικό χάρτη είναι ιδιαίτερα

σημαντική για την ασφαλή προσέγγιση των περιοχών αυτών από τα σκάφη. Συνήθως γίνεται

μια απλουστευμένη ταξινόμηση και χρησιμοποιούνται διάφορα σύμβολα, όπως ένα νέφος τελειών για αμμώδεις παραλίες, κάθετες πυκνές γραμμές για απόκρημνες βαραχώδεις ακτές

κ.ά.. Επιπλέον, είναι δυνατό να δίνονται πληροφορίες για το αν μια παράκτια περιοχή είναι ελώδης, δενδοφυτεμένη, άγονη κ.ά.

Ξηρά

Η γραφική απεικόνιση του χερσαίου τμήματος μιας περιοχής είναι σχετικά απλή και έχει συνήθως κίτρινο φόντο. Περιλαμβάνονται περιορισμένες πληροφορίες για το υψόμετρο

(ισοϋψείς ανά 100 m, ύψη κορυφών βουνών και λόφων), το υδρογραφικό και συγκοινωνιακό δίκτυο καθώς και ονόματα οικισμών, χωριών ή πόλεων.

Προβολή σταθερών σημείων

Ένα από τα απαραίτητα δεδομένα που περιλαμβάνει ένας ναυτικός χάρτης είναι η προβολή των φάρων με τα διακριτικά τους και τα τόξα ορατότητάς τους. Οι φάροι είναι κτίσματα που οικοδομούνται σε διάφορα σημεία των ηπειρωτικών και, νησιωτικών ακτών, στην κορυφή των οποίων υπάρχει ειδικός μηχανισμός που φωτοβολεί (εκπέμπει) φως. Για πολλούς αιώνες αποτελούν ένα ιδιαίτερο βοηθητικό μέσο στην ασφαλή ναυσιπλοΐα. Το σύνολο των εγκατεστημένων φάρων, η διάταξή τους και τα χαρακτηριστικά εκάστου αποτελούν το φαρικό σύστημα της Χώρας που περιλαμβάνεται σε ειδικά ναυτιλιακά βοηθήματα, τους

Φαροδείκτες

Αρμόδια Υπηρεσία ελέγχου και γενικής εποπτείας του ελληνικού φαρικού συστήματος είναι η Υπηρεσία Φάρων, ανεξάρτητη Υπηρεσία του Ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού. Επιπρόσθετα, για τη διευκόλυνση των ναυτιλομένων και τον καλύτερο προσανατολισμό τους, οι ναυτικοί χάρτες περιλαμβάνουν πολλές φορές κάποια ευδιάκριτα σταθερά σημεία επί της χέρσου («σημάδια»), όπως εκκλησίες, κάστρα, γέφυρες, πηγές κ.ά., έτσι ώστε να είναι δυνατή η άμεση αναγνώρισή τους σε περίπτωση ανάγκης. Ωστόσο, στους χάρτες υπάρχουν πολλά σφάλματα που σχετίζονται με την ακριβή θέση των παραπάνω σημειακών και γραμμικών συμβόλων ή με τα ονόματα των τοποθεσιών. Για αυτό οι χάρτες αναθεωρούνται και βελτιώνονται με νέες διορθωμένες εκδόσεις.

Απεικόνιση του θαλάσσιου πυθμένα

Το βάθος της θάλασσας (σημεία και ισοβαθείς)

Όταν ένας χάρτης απεικονίζει με μεγάλη λεπτομέρεια μια υποθαλάσσια περιοχή ονομάζεται Βυθομετρικό Διάγραμμα. Τα βάθη εμφανίζονται συνήθως ως σημεία που δίπλα τους αναγράφεται η τιμή τους με ακρίβεια ενός δεκάτου του μέτρου. Με την σημειακή έκφραση των βαθών μπορεί να συνυπάρξει και η γραμμική απεικόνιση, δηλαδή οι ισοβαθείς. Η ισοδιάστασή τους εξαρτάται από την εφαρμογή του χάρτη, δηλαδή από το πόσο μεγάλη λεπτομέρεια χρειάζεται να προσφέρει στον χρήστη. Τα αβαθή νερά (βάθη μικρότερα των 10 m) χρωματίζονται στον χάρτη με γαλάζιο φόντο έτσι ώστε να είναι ευανάγνωστα από τους ναυτιλομένους.

Το είδος του βυθού

Σε μερικές υποθαλάσσιες περιοχές, όπου έχουν πραγματοποιεί λεπτομερείς επιστημονικές έρευνες, παρέχονται πληροφορίες για τη φύση και τη σύσταση του βυθού. Δηλαδή, ένας βαθυμετρικός χάρτης μπορεί να δώσει σε γενικές γραμμές αν ο πυθμένας

είναι βραχώδης, αμμώδης ή λασπώδης.

Πληροφορίες για ασφαλή ναυσιπλοΐα

Εκτός από τις γεωγραφικές πληροφορίες που παρέχει ένας ναυτικός χάρτης, επισημαίνει τους διάφορους κινδύνους που πιθανώς να υπάρχουν σε μια περιοχή, όπως την ύπαρξη υφάλων, πεδίων βολής του Πολεμικού Ναυτικού και την διέλευση υποβρυχίων.

3.3 Η βυθομετρία της Κρήτης και συμπεράσματα

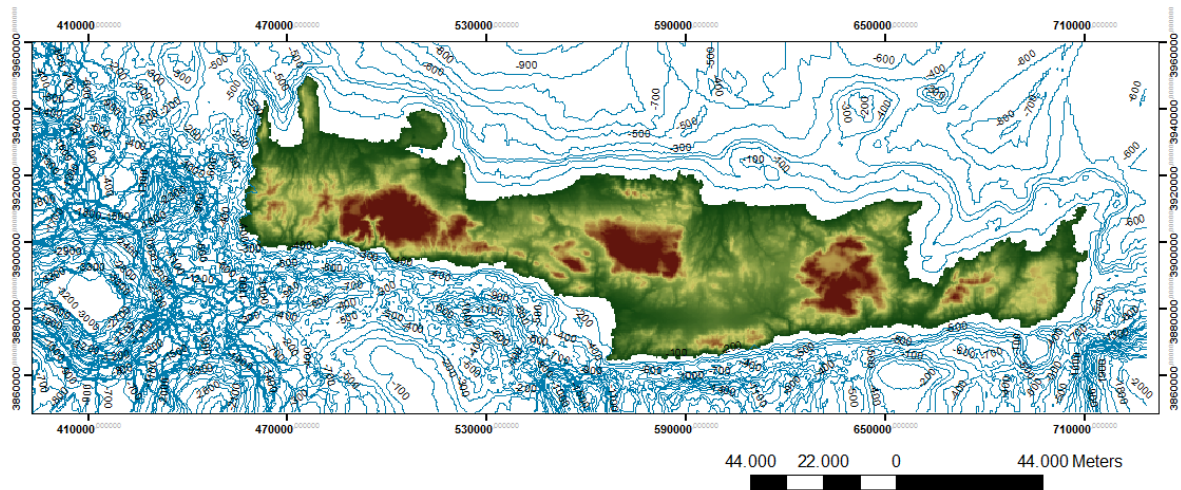
Στα σχήματα 3.2 – 3.3 παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων σε ΓΣΠ. Ο εντοπισμός των ρηξιγενών ζωνών στο θαλάσσιο της Κρήτης, που αποτελεί τον στόχο της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται στο σχήμα 3.4.

Τα μεγαλύτερα βάθη εντοπίζονται στο νότιο τμήμα της Κρήτης και μάλιστα αρκετά κοντά σε στην ξηρά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην παρουσία μεγάλων τάφρων στην περιοχή (Πτολεμαίου, Πλίνιου και Στράβωνα), που είναι αποτέλεσμα της τεκτονικής δράσης. Η πολύ μεγάλη βύθιση που εντοπίζεται στο νοτιοδυτικό θαλάσσιο τμήμα του νησιού είναι αποτέλεσμα της παρουσίας της Ελληνικής αύλακας στην περιοχή.

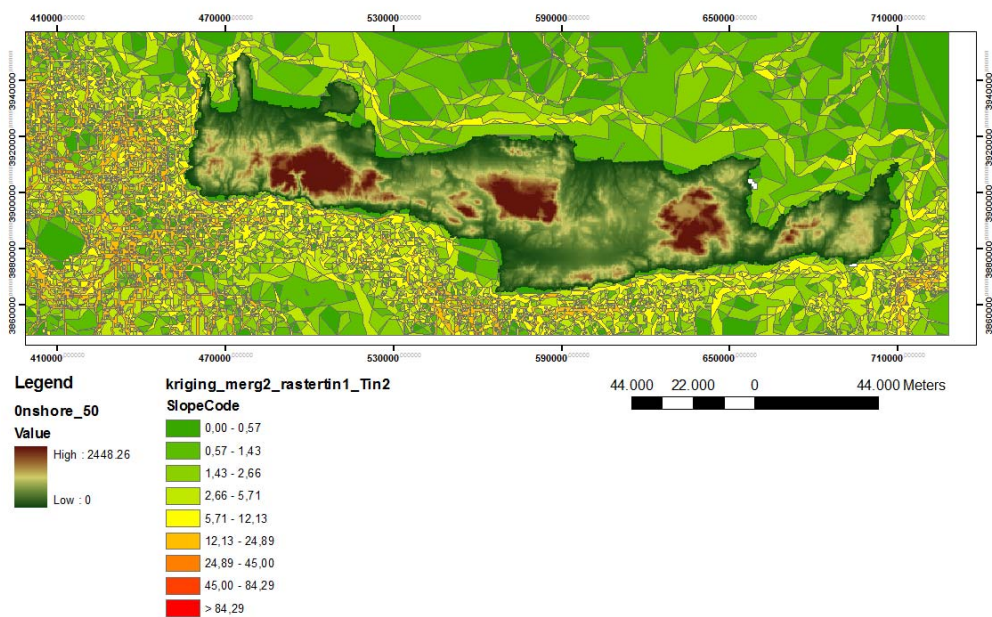
Τα ρήγματα, που εντοπίστηκαν, διακρίνονται με βάση την διεύθυνση τους σε τέσσερις κύριες ομάδες.

Η πρώτη πολυπληθής ομάδα ρηγμάτων περιλαμβάνει μεγάλου μήκους (αρκετά Km) κανονικά ρήγματα της πρώτης γενιάς (Σεραβάλλιο), με γενική διεύθυνση Α – Δ. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει ρήγματα γενικής διεύθυνσης Β – Ν, τα οποία επηρεάζουν τα μέλη της πρώτης ομάδας (Ανωτ. Μειόκαινο - Κατ. Πλειόκαινο). Η τρίτη, επίσης, πολυπληθής ομάδα αντιπροσωπεύει μεγάλες ρηξιγενείς γραμμές, με διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ, οι οποίες αναπτύσσονται τόσο στα αλπικά όσο και στα μεταλπικά ιζήματα στην ξηρά της Κρήτης. Τέλος, η τέταρτη ομάδα αντιπροσωπεύει κανονικά, κλιμακωτά ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ. Τα μέλη των δύο τελευταίων ομάδων (Ανωτ. Πλειόκαινο) επηρεάζουν τις παλαιότερες - συγκριτικά - εφελκυστικές δομές.

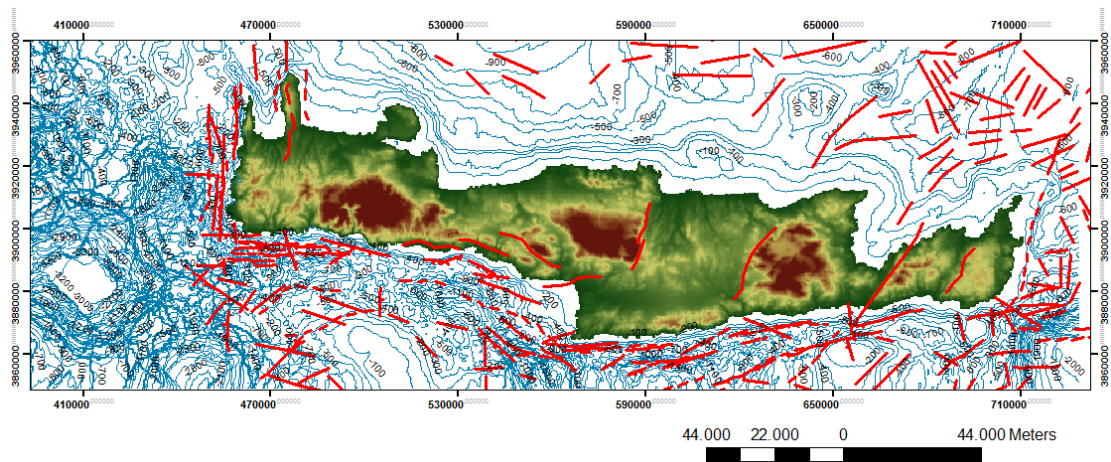
Οι περιοχές που πιθανότατα να εμφανιστούν υποθαλάσσιες κατολισθήσεις εντοπίζονται κυρίως στις μεγάλες τάφρους νότια της Κρήτης.



Σχήμα 3.2. Βυθομετρικό μοντέλο (ισοβαθείς) της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης.



Σχήμα 3.3. Χάρτης κλίσεων του βυθομετρικό μοντέλου της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης.



3.4. Εντοπισμός ρηξιγενών ζωνών με βάση την βυθομετρία της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης σε συνδυασμό με βιβλιογραφική έρευνα.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΝΟΤΗΤΑ 1

1. Nadim, 2012, Risk Assessment for Earthquake-Induced Submarine Slides, In: Submarine Mass Movements and their Consequences, Advances in natural and technological hazards research, Springer
2. Andersen KH (1988) Properties of soft clay under static and cyclic loading, invited lecture. In: International conference on engineering problems of regional soils, proceeding, Beijing, edited by Chinese institution of soil mechanics and foundation engineering, 7–26
3. Andersen KH (2009) Bearing capacity under cyclic loading – offshore, along the coast, and on land. *Can Geotech J* 46:513–535
4. Biscontin G, Pestana JM, Nadim F (2004) Seismic triggering of submarine slides in soft cohesive soil deposits. *Mar Geol* 203(3 & 4):341–354
5. Cornell CA (1996) Calculating building seismic performance reliability: a basis for multi-level design norms. In: 11th world conference on earthquake engineering, Acapulco, 1996
6. Hence JJ (2003) Development of a database and assessment of seafloor slope stability based on published literature. MS thesis, University of Texas, Austin
7. Hasofer AM, Lind NC (1974) An exact and invariant first order reliability format. *J Eng Mech Div ASCE* 100 (EM1): 111-121
8. Lacasse S, Nadim F (2007) Probabilistic geotechnical analyses for offshore facilities. *Georisk* 1(1):21–42
9. Nadim F, Locat J (2005) Risk assessment for submarine slides. In: International conference on Landslide risk management, Vancouver, 31 May – 2 June 2005
10. Nadim F, Kalsnes B, Eide A (1996) Analysis of submarine slope stability under seismic action. In: Proceeding of 7th ISL, 561–565
11. Nadim f, Krunic d, Jeanjean P (2003) Probabilistic slope stability analyses of the Sigsbee Escarpment. OTC paper 15203, offshore technology conference, Houston, 2003
12. Nadim F, Kvalstad TJ, Guttormsen TR (2005a) Quantification of risks associated with seabed instability at Ormen Lange. *Mar Petrol Geol* 22:311–318
13. Nadim F, Einstein H, Roberds W (2005b) Probabilistic stability analysis for individual slopes in soil and rock – state of the art paper 3. In: International conference on landslide risk management, Vancouver, 31 May – 2 June 2005
14. Nadim F, Biscontin G, Kaynia AM (2007) Seismic triggering of submarine slides. In: Offshore Technology conference 2007, OTC paper 18911, Houston, 2007
15. Newmark MN (1965) Effects of earthquakes on dams and embankments. *Geotechnique* 15(2):139–160
16. Norwegian Geotechnical Institute (1997) Earthquake hazard and submarine slide – a literature survey, NGI report 963014–1
17. Seed HB, Idriss IM, Arango I (1983) Evaluation of liquefaction potential using field performance data. *J Geotech Eng ASCE* 109(3):458-482

18. Solheim A, Bryn P, Sejrup HP, Mienert J, Berg K (2005) Ormen Lange – an integrated study for safe development of a deep-water gas field within the Storegga Slide Complex, NE Atlantic continental margin: executive summary. *Mar Petrol Geol* 22:1–9

ENOTHTA 2

1. Vanneste, L'Heureux, Baeten, Brendryen, Vardy, Steiner, Forsberg, Kvalstad, Laberg, Chand, Longva, Rise, Haflidason, Hjelstuen, Forwick, Morgan, Lecomte, Kopf, Vorren και Reichel, 2012, Shallow Landslides and Their Dynamics in Coastal and Deepwater Environments, Norway, In: Submarine Mass Movements and their Consequences, Advances in natural and technological hazards research, Springer
2. Baeten N, Laberg JS, Forwick M, Vorren TO, Ivanov M, Vanneste M, Forsberg CF, Kvalstad TJ (2011) Small-scale mass wasting on the continental slope offshore Lofoten, Northern Norway. EGU2011. EGU, Vienna
3. Bryn P, Berg K, Forsberg CF, Solheim A, Kvalstad TJ (2005) Explaining the Storegga slide. *Mar Petrol Geol* 22(1-2):11-19
4. Corner G (2006) A transgressive-regressive model of fjord-valley fill: stratigraphy, facies and depositional controls. In: Dalrymple RW, Leckie DA, Tillman RW (eds) Incised valleys in time and space. Society of Sedimentary Geology (SEPM), Tulsa pp 161-178
5. Dan G, Sultan N, Savoye B (2007) The 1979 Nice harbour catastrophe revisited: trigger mechanism inferred from geotechnical measurements and numerical modelling. *Mar Geol* 245(1–4):40–64
6. Forwick M, Vorren TO (2012) Submarine mass wasting in Isfjorden, Spitsbergen. In: Yamada Y et al (eds) Submarine mass movements and their consequences, vol. 31, Advances in natural and technological hazards research. Springer, Dordrecht, pp 711–722
7. Haflidason H, De Alvario MM, Nygard A, Sejrup HP, Laberg JS (2007) Holocene sedimentary processes in the Andøya Canyon system, north Norway. *Mar Geol* 246Q86-104
8. Hjelstuen BO, Sejrup HP, Haflidason H, Berg K, Bryn P (2004) Neogene and Quaternary depositional environments on the Norwegian continental margin, 62°N-68°N. *Mar Geol* 213(1–4):257–276
9. Kvalstad TJ, Andresen L, Forsberg CF, Berg K, Bryn P, Wangen M (2005) The Storegga slide evaluation of triggering sources and slide mechanics. *Mar Petrol Geol* 22(1-2):245-256
10. L'Heureux J-S, Steiner A, Longva O, Chand S, Vanneste M, Kopf A, Haflidason H, Kvalstad TJ, Fordberg CF, Vardy ME (2012) Identification of weak layers and their role for the stability of slopes at Finneidfjord, northern Norway. In: Yamada Y et al (eds) Submarine mass movements and their consequences, vol 31, Advances in natural and technological hazards research . Springer, Dordrecht, pp 321-330

11. Laberg JS, Vorren TO (2000) The Traenadjupet slide, offshore Norway – morphology, evacuation and triggering mechanisms. *Mar Geol* 171(1–4):95–114
12. Laberg JS, Vorren TO (2004) Weichselian and Holocene growth of the northern high-latitude Lofoten Contourite Drift on the continental slope of Norway. *Sediment Geol* 164(1-2):1-17
13. Laberg JS, Stoker MS, Dahlgren KIT, de Haas H, Hafliðason H, Hjenstuen BO, Nielsen T, Shannon PM, Vorren TO, van Weering TCE, Ceramicola S (2005) Cenozoic alongslope processes and sedimentation on the NW European Atlantic margin. *Mar Petrol Geol* 22(9-10):1069-1088
14. Laberg JS, Guisdard S, Mienert J, Vorren TO, Hafliðason H, Nygard A (2007) Morphology and morphogenesis of a high-latitude canyon; the Andoya Canyon, Norwegian Sea. *Mar Geol* 246(2–4):68–85
15. Locat J, Martin F, Locat P, Leroueil S, Levesque C, Konrd J-M, Urgeles R, Canals M, Duchesne MJ (2003) Submarine mass movements in the upper Saguenay Fjord (Quebec, Canada), triggered by the 1663 earthquake. In: Locat J, Mienert J (eds) *Submarine mass movements and their consequences*, vol 19, *Advances in natural and technological hazards research*. Kluwer Academic, Dordrecht, pp 509-520
16. Longva O, Janbu N, Blikra LH, Bøe R (2003) The 1996 Finneidfjord slide seafloor failure and slide dynamics. In: Locat J, Mienert J (eds) *Submarine mass movements and their consequences*, vol 19, *Advances in natural and technological hazards reasearch*, Kluwer Academic, Dordrecht, pp 521–530
17. Rise L, BellecV, Bøe R, Thorsnes T (2009) The Lofoten-Vesterålen continental margin, North Norway: Canyons and mass-movement activity. In: 1st international conference on seafloor mapping for geohazard assessment, Ischia, 2009
18. Rise L, Chand S, Hafliðason H, L’Heureux J-S, Hjelstuen BO, Bellec V, Logva O, Brendryen J, Vanneste M, Bøe R (2012) Investigation of landslides at the upper continental slope off Vesterålen, North Norway. In: Yamada Y et al (eds) *Submarine mass movements and their consequences*, vol. 31, *Advances in natural and technological hazards research*, Springer, Dordrecht, pp 167–176
19. Rosenquist IT (1953) Considerations on the sensitivity of Norwegian quick clays. *Geotechnique* 3:195–200
20. Solheim A, Berg K, Forsberg CF, Bryn P (2005) The Storegga slide complex: repetitive lrg scale sliding with similar cause and development. *Mar Petrol Geol* 22(1-2):97-107
21. Steiner A, L’Heureux J-S, Longva O, Lange M, Hafliðason H, Vanneste M, Kopf A (2012) In-situ free-fall piezocone penetrometer for characterizing soft and sensitive clays at Finneidfjord (northern Norway). In: Yamada Y et al (eds) *Submarine mass movements and their consequences*, vol. 31, *Advances in natural and technological hazards research*. Springer, Dordrecht, pp 99–109
22. Vardy ME, L’Heureux J-S, Vanneste M, Chand S, Longva O, Hafliðason H, Forsberg CF, Brendryen J, Steiner A, Kreiter S (in preparation) Integrated geophysical and geotechnical investigation of a shallow, retrogressive, near-

- shore landslide, Finneidfjord, Norway. Near Surface Geophysics, Special Issue on Marine Engineering Geophysics
23. Vorren TO, Laberg JS, Blaume F, Dowdeswell JA, Kenyon NH, Mienert J, Rumohr H, Wenner F (1998) The Norwegian-Greenland sea continental margins: morphology and late Quaternary sedimentary processes and environment. *Quaternary Sci Rev* 17(1–3):273–302
 24. Zakeri A (2008) Submarine debris flow impact on pipelines. University of Oslo, Oslo

ENOTHTA 3

1. Hubble, Yu, Airey, Clarke, Boyd, Keene, Exon, Gardner, and Shipboard Party SS12/2008, 2012, Physical Properties and Age of Continental Slope Sediments Dredged from the Eastern Australian Continental Margin – Implications for Timing of Slope Failure In: Submarine Mass Movements and their Consequences, Advances in natural and technological hazards research, Springer
2. Boyd R, Keene J, Ruming K, Exon N, Shipboard Party (2009) SS12/2008 Voyage summary: marine geology and geohazard survey of the SE Australian margin off Northern NSW and Southern Queensland. CSIRO
3. Boyd R, Keene J, Hubble T, Gardner J, Glenn K, Ruming K, Exon N (2010) Southeast Australia: a Cenozoic continental margin dominated by mass transport. In: Mosher DC, Moscardelli L, Shipp RC, Chaytor JD, Baxter CDP, Lee HJ, Urgeles R (eds) Submarine mass movements and their consequences, vol 28, Advances in natural and technological hazards research. Springer, Dordrecht, pp 1-8
4. Chaproniere GC (2010) Foraminiferal biostratigraphy of samples from the CSIRO cruise SS12/2008. Sydney: p 5
5. Clark DJ (2010) Large earthquake recurrence in New South Wales: implications for earthquake hazard. Paper presented at the Australian geomechanics society (Sydney chapter) symposium, seismic engineering-design for management of geohazards, darling harbour Sydney, 13 th Oct 2010
6. Clarke S, Hubble T, Airey D, Yu P, Boyd R, Keene J, Exon N, Gardner J (2012) Submarine landslides on the upper East Australian continental margin preliminary findings. In Yamada Y et al (eds) Submarine mass movements and their consequences, vol. 31, Advances in natural and technological hazards research. Springer, Dordrecht, pp 55-66
7. Exon N, Brinkhuis H, Robert CM, Kennett JP, Hill PJ, Macphail MK (2004) Tectono-sedimentary history of uppermost Cretaceous through Oligocene sequences from the Tasmanian region, a temperate Antarctic margin. In: Exon N, Kennett JP, Malone M (eds) The Cenozoic Southern Ocean: tectonics, sedimentation and climate change between Australia and Antarctica, vol 151, Geophysical monograph. AGU, Washington, DC, PP 314-344
8. Gaina CM, Muller RD, Royer J-Y, Stock J, Hardebeck J, Symonds P (1998) The tectonic history of the Tasman Sea: a puzzle with 13 pieces. *J Geophys Res* 103:12413-12433

9. Glenn K, Post A, Keene J, Boyd R, Fountain L, Potter A, Osuchowski M, Dando N, Party S (2008) NSW continental slope survey-post cruise report vol geoscience Australia, record 2008/14, 160 pp
10. Hill PJ (1992) Capricorn and northern Tasman Basins: structure and depositional systems. *Explor Geophys* 23:153-162
11. Hubble TCT, Packham GH, Hendry DAF, McDougall I (1992) Granitic and monzonitic rocks dredged from the southeast Australian continental margin. *Aust J Earth Sci* 39: 619-630
12. Hubble T, Yu P, Airey D, Clarke S, Boyd R, Exon N, Gardner V (2010) Physical properties and age of mid-slope sediments dredged from the Eastern Australian continental margin and the implications for continental margin erosion processes. In: Abstract OS13E-1297, Fall-Meeting American Geophysical Union (AGU), San Francisco, 2010 International Society for Rock Mechanics (ISRM) (1981) Rock characterisation, testing and monitoring; ISRM suggested method. Pergamon Press, Oxford
13. Jenkins CJ, Keene JB (1992) Submarine slope failures on the southeast Australian continental slope. *Deep Sea Res* 39:121-136
14. Lambe TW, Whitman RV (1979), *Soil mechanics*. Wiley, New York, p 553
15. MacCartney MS, Donahue KA (2007) A deep cyclonic gyre in the Australian-Antarctic Basin. *Prog Oceanogr* 75:675-750
16. Mata MM, Wijffels S, Tomczak M, Church JA (1998) Direct measurements of the transport of the East Australian Current: a data report from the WOCE Pacific current meter array 3, CSIRO marine research and Flinders institute of marine and atmospheric sciences, Hobart, 1998
17. Mata MM, Tomczak M, Wijffels S, Church JA (2000) East Australian current volume transports at 30° S: estimates from the World Ocean Circulation Experiment hydrographic sections PR11/P6 and the PCM3 current meter array. *J Geophys Res* 105(C12):28509-28526. doi:10.1029/1999jc000121
18. Mata MM, Wijffels S, Tomczak M, Church JA (2006) Statistical description of the east Australian current low-frequency variability from the WOCE PCM3 array. *Mar Freshw Res* 57:273-290 Ozkan MY (1998) A review of considerations on seismic safety of embankments and earth and rock-fill dams. *Soil Dyn Earthq Eng* 17:439-458
19. Potter PE, Sztatmari P (2009) Global Miocene tectonics and the modern world. *Earth Sci Rev* 96:279-295
20. Yu P (2010) Submarine mass failure on the Australian east coast: causes, controls and consequences. Unpublished honours thesis, School of geosciences, The University of Sydney

ENOTHTA 4

1. Clarke, Hubble, Airey, Yu, Boyd, Keene, Exon, Gardner και Shipboard Party SS12/2008, 2012, Submarine Landslides on the Upper Southeast Australian Passive Continental Margin – Preliminary Findings, In: Submarine Mass Movements and their Consequences, Advances in natural and technological hazards research, Springer

2. Bardet JP, Synolakis CE, Davies HL, Imamura F, Okal EA (2003) Landslide tsunamis: recent findings and research directions. *Pure Appl Geophys* 160:1793-1809
3. Blott SJ, Pye K (2001) Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf Proc Landf* 26:1237-1248. doi:10.1002/esp.261
4. Boyd R (2009) SS12/2008 Voyage summary: marine geology and geohazard survey of the SE Australian margin off Northern NSW and Southern Queensland. CSIRO Division of Marine and Atmospheric Research Hobart
5. Boyd R, Keene J, Hubble T, Gardner J, Glenn K, Ruming K, Exon N (2010) Southeast Australia: a Cenozoic continental margin dominated by mass transport. In: Mosher DC, Moscardelli L et al (eds) *Submarine mass movements and their consequences*, vol 28, *Advances in natural and technological hazards research*. Springer, Dordrecht, pp 1–8
6. Bronk Ramsey C (2005) Improving the resolution of radiocarbon dating by statistical analysis. In: Levy TE, Higham T (eds) *The bible and radiocarbon dating: archaeology, Text and Science*. Equinox, London, pp 57–64
7. Glenn K, Post A, Keene J, Boyd R, Fountain L, Potter A, Osuchowski M, Dando N, Party S (2008) NSW continental slope survey – post cruise report problems with ¹⁴C dating of marine sediment cores. *Papers and proceedings*. *Royal Soc Tas* 130:47-53
8. Heiri O, Lotter AF, Lemcke G (2001) Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J Paleolimnol* 25(1):101-110
9. Hubble T, Yu P, Airey D, Clarke S, et al (2012) Physical properties and age of continental slope sediments dredged from the eastern Australian continental margin – implications for timing of slope failure. In: Yamada Y et al (eds) *Submarine mass movements and their consequences* vol 31, *Advances in natural and technological hazards research*. Springer, Dordrecht, pp 43-54
10. Jenkins CJ, Keene JB (1992) Submarine slope failures on the southeast Australian continental slope. *Deep Sea Res* 39:121-136
11. Locat J, Lee HJ (2002) Submarine landslides: advances and challenges. *Can Geotech J* 39:193-212
12. McAdoo BG, Pratson LF, Orange DL (2000) Submarine landslide geomorphology, US continental slope. *Mar Geol* 169:103-136, doi:10.1016/S0025-3227(00)00050-5
13. Ozkan MY (1998) A review of considerations on seismic safety of embankments and earth and rock-fill dams. *Soil Dyn Earthq Eng* 17:439–458
14. Reimer PJ, Baillie MGL, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Weyhenmeyer CE (2009) Intcal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51:1111–1150
15. Seed HB, Martin GR (1966) The seismic coefficient in earth dam design. *J Geotech Eng ASCE* 92:25–58
16. Stuiver MP, Henry A (1977) Discussion: Reporting of ¹⁴C data. *Radiocarbon* 19:355–363

17. Varnes Ndj (1978) Slope movements and types and processes. Landslides: analysis and control, special report, vol 176. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC

ENOTHTA 5

1. Cauchon-Voyer, Locat, St-Onge, Leroueil και Lajeunesse, 2012, Development and Potential Triggering Mechanisms for a Large Holocene Landslide in the Lower St. Lawrence Estuary, In: Submarine Mass Movements and their Consequences, Advances in natural and technological hazards research, Springer
2. Bernatchez P (2003) Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et de Manicouagan-Outardes: synthèse, processus, causes et perspectives. Université Laval, Québec
3. Best A, Clayton C, Longva O, Szuman M (2003) The role of free gas in the activation of submarine landslides in Finneidfjord. In: Locat J, Mienert J (eds) Submarine mass movements and their consequences 1st international symposium, 2003. Kluwer Academic, Dordrecht, pp 419–498
4. Campbell C, Duchecne MJ, Bolduc A (2008) Geomorphological and geophysical evidence of Holocene instability on the Southern slope of the Lower St. Lawrence Estuary, Québec. Paper presented at the 4e conférence canadienne sur les géorisques: des causes à la gestion – 4th Canadian conference on geohazards: from causes to management, Québec
5. Cauchon-Voyer G, Locat J, St-Onge G (2008) Late-Quaternary morpho-sedimentology and submarine mass movements of the Betsiamites area, Lower St. Lawrence Estuary, Quebec, Canada. *Mar Geol* 251(3–4):233–252
6. Cauchon-Voyer G, Locat J, Leroueil S, St-Onge G, Demers D (2011) Large-scale subaerial and submarine Holocene and recent mass movements in the Betsiamites area, Quebec, Canada. *Eng Geol*. doi:10.1016/j.enggeo.2011.04.011
7. Dan G, Sultan N, Savoye B, Deverchere J, Yelles K (2009) Quantifying the role of sandy –silty sediments in generating slope failures during earthquakes: example from the Algerian margin. *Int Earth Sci* 98(4):769-789
8. Duchesne MJ, Long BF, Urgeles R, Locat J (2003) New evidence of slope instability in the Outardes Baydelta area, Quebec, Canada. *Geo-Mar Lett* 22(4):233–242. doi:10.1007/s00367-003-0121-6
9. Gagné H (2008) Géomorphologie et géologie marine du Quaternaire du secteur Trois-Pistoles-Forestville, estuaire du Saint-Laurent (Québec). Université Laval, Québec
10. Hustoft S, Dugan B, Mienert J (2009) Effects of rapid sedimentation on developing the Nyegga pockmark field: constraints from hydrological modeling and 3-D seismic data, offshore mid-Norway. *Geochem Geophys Geosys* 10(6):Q06012
11. Kokusho T (1999) Formation of water film in liquefied sand and its effect on lateral spread. *J Geotech Geoenviron Eng ASCE* 125(10):817-826
12. Konrad JM, Dubeau S (2003) Cyclic strength of stratified soil samples. In: Locat J, Mienert J (eds) Submarine mass movements and their consequences 1st international symposium. Kluwer Academic, Dordrecht, pp 47–57

13. Lajeunesse P, St-Onge G, Locat J, Labbe G (2007) Multibeam bathymetry and morphostratigraphy of submarine gravity flows and slopes failures in the St. Lawrence Gulf and Lower Estuary (Quebec, Canada). Paper presented at the submarine mass movements and their consequences
14. Lavoie D, Pinet N, Duchesne M, Bolduc A, Larocque R (2010) Methane-derived authigenic carbonates from active hydrocarbon seeps of the St. Lawrence Estuary, Canada. *Mar Petrol Geol* 27(6):1262–1272
15. Mosher DC (2008) Submarine mass movements: geohazards with far-reaching implications. Paper presented at the 4e conférence canadienne sur les géorisques: des causes à la gestion– 4th Canadian conference on geohazards : from causes to management, Presse de l'Université Laval, Québec
16. Pinet N, Duchesne M, Lavoie D, Bolduc A, Long B (2008) Surface and subsurface signatures of gas seepage in the St. Lawrence Estuary (Canada): significance to hydrocarbon exploration.
17. *Mar Petrol Geol* 25(3):271–288. doi:10.1016/j.marpetgeo.2007.07.01
18. Pinet N, Duchesne M, Lavoie D (2009) Linking a linear pockmark train with a buried Palaeozoic structure: a case study from the St. Lawrence Estuary. *Geo-Mar Lett* 30(5):517–522. doi:10.1007/s00367-009-0179-x
19. St-Onge G, Lajeunesse P, Duchesne M, Gagne H (2008) Identification and dating of a key Late Pleistocene stratigraphic unit in the St. Lawrence Estuary, eastern Canada: centennial- to millennial-scale geomagnetic modulation of cosmogenic isotopes. *Earth Planet Sci Lett* 209(1–2):113–130. doi:10.1016/s0012-821x(03)00079-7
20. St-Onge G, Lajeunesse P, Duchesne M, Gagné H (2008) Identification and dating of a key Late
21. Pleistocene stratigraphic unit in the St. Lawrence Estuary and Gulf (Eastern Canada).
22. *Quaternary Sci Rev* 27(25–26):2390–2400
23. Sultan N, Cochonat P, Foucher J, Mienert J (2004) Effect of gas hydrates melting on seafloor slope instability. *Mar Geol* 213(1–4):379–401

ENOTHTA 6

1. Sakaguchi, Yokoyama, Hashimoto, Yamada, Tanaka, Ujiie και Yoshimura, 2012, Spatially Fixed Initial Break Point and Fault-Rock Development in a Landslide Area, In: *Submarine Mass Movements and their Consequences, Advances in natural and technological hazards research*, Springer
2. Aki K (1979) Characterization of barriers on an earthquake fault. *J Geophys Res* 84:6140–6148
3. Anderson SH, Gantzer CJ, Boone JM, Tully RJ (1988) Rapid nondestructive bulk density and soilwater content determination by computed tomography. *Soil Sci Soc Am J* 52:35–40
4. Byrne T, Maltman A, Stephenson E, Soh W, Knipe R (1993) Deformation structures and fluid flow in the toe region of the Nankai accretionary prism. *Proc ODP Sci Results* 131:83–101
5. Lay T, Kanamori H (1981) An asperity model of great earthquake sequences. In: Simpson D,

6. Richards P (eds) Earthquake prediction: an international review, Maurice Ewing series. AGU, Washington, DC, pp 579–592
7. Lei X (2003) How do asperities fracture? An experimental study of unbroken asperities. *Earth Planet Sci Lett* 213:347–359
8. Marone C, Scholz CH (1989) Particle-size distribution and microstructures within simulated fault gouge. *J Struct Geol* 11:799–814
9. Ohnaka M, Shen L (2003) Scaling of the shear rupture process from nucleation to dynamic propagation: implication of geometric irregularity of the rupturing surfaces. *J Geophys Res* 104:817–844
10. Sammis C, Osborne R, Anderson JL, Banerdt M, White P (1986) Self-similar cataclasis in the formation of fault gouge. *Pageoph* 124:53–78
11. Soh W, Byrne T, Taira A, Kono A (1993) Computed tomography (CT) scan image analysis of Site 808 cores: structural and physical property implications. *Proc ODP Sci Result* 131:135–140
12. Stegmann S, Sultan N, Kopf A, Apprioual R, Pelleau P (2011) Hydrogeology and its effect on slope stability along the coastal aquifer of Nice, France. *Mar Geol* 280:168–181
13. Suemine A (1983) Observational study on landslide mechanism in the area of crystalline schist (Part 1) an example of propagation of Rankine state. *Bull Disaster Prev Inst Kyoto Univ* 33:105–127
14. Sultan N, Savoye B, Jouet G, Leynaud D, Cochonat P, Henry P, Stegmann S, Kopf A (2010)
15. Investigation of a possible submarine landslide at the Var delta front (Nice-slope – SE France). *Can Geotech J* 47:486–496
16. Turcotte DL (1986) A fractal model for crustal deformation. *Tectonophysics* 132:261–269
17. Ujiie K, Maltman AJ, Sanchez-Gomez M (2004) Origin of deformation bands in argillaceous sediments at the toe of the Nankai accretionary prism, southwest Japan. *J Struct Geol* 26:221–231

ENOTHTA 7

1. Henkel, Schwenk, Hanebuth, Strasser, Riedinger, Formolo, Tomasini, Krastel και Kasten, 2012, Pore Water Geochemistry as a Tool for Identifying and Dating Recent Mass-Transport Deposits In: Submarine Mass Movements and their Consequences, Advances in natural and technological hazards research, Springer
2. Adler M, Hensen C, Wenzhofer F, Pleifer K, Schulz HD (2001) Modeling of calcite dissolution by oxic respiration in supralysoclinal deep-sea sediments. *Mar Geol* 177:167–189
3. Assumpção M (1998) Seismicity and stresses in the Brazilian passive margin. *Bull Seismol Soc Am* 88:160–169
4. Barnes RO, Goldberg ED (1976) Methane production and consumption in anoxic marine sediments. *Geology* 4:297–300
5. Benavídez Sosa A (1998) Sismicidad y sismotectónica en Uruguay. *Física de la Tierra* 10:167–186

6. Bleil U and cruise participants (1994) Report and preliminary results of Meteor Cruise M29/2, Montevideo – Rio de Janeiro, 15.07.1994 – 08.08.1994. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen 59
7. Borowski WS, Paull CK, Ussler W (1996) Marine pore-water sulfate profiles indicate in situ methane flux from underlying gas hydrate. *Geology* 24:655–658
8. Boudreau BP (1997) Diagenetic models and their implementation: modeling transport and reactions in aquatic sediments. Springer, Berlin/Heidelberg/New York
9. De Lange GJ (1983) Geochemical evidence of a massive slide in the southern Norwegian Sea. *Nature* 305:420–422
10. Dickens GR, Paull CK, Wallace PJ (1997) Direct measurement of in situ methane quantities in a large gas-hydrate reservoir. *Nature* 385:426–428
11. Ewing M, Eittrheim SL, Ewing JI, Le Pichon X (1971) Sediment transport and distribution in the Argentine basin. 3. Nepheloid layer and processes of sedimentation. *Phys Chem Earth* 8:49–77
12. Haeckel M, Boudreau BP, Wallmann K (2007) Bubble-induced porewater mixing: a 3-D model for deep porewater irrigation. *Geochim Cosmochim Acta* 71:5135–5154
13. Hampton MA, Lee HJ, Locat J (1996) Submarine landslides. *Rev Geophys* 34:33–59
14. Henkel S, Strasser M, Schwenk T, Hanebuth TJJ, Hüsener J, Arnold GL, Winkelmann D, Formolo M, Tomasini J, Krastel S, Kasten S (2011) An interdisciplinary investigation of a recent submarine mass transport deposit at the continental margin off Uruguay. *Geochem Geophys Geosyst* 12:Q08009. doi:10.1029/2011GC003669
15. Hensen C, Zabel M, Pfeifer K, Schwenk T, Kasten S, Riedinger N, Schulz HD, Boetius A (2003) Control of sulfate pore-water profiles by sedimentary events and the significance of anaerobic oxidation of methane for the burial of sulfur in marine sediments. *Geochim Cosmochim Acta* 67:2631–2647
16. Kasten S, Zabel M, Heuer V, Hensen C (2003) Processes and signals of nonsteady-state diagenesis in deep-sea sediments and their pore waters. In: Wefer G et al (eds) *The south Atlantic in the late Quaternary: reconstruction of mass budget and current systems*. Springer, Berlin/Heidelberg/New York, pp 431–459
17. Krastel S, Wefer G, Hanebuth TJJ, Antobreh AA, Freudenthal T, Preu B, Schwenk T, Strasser M, Violante R, Winkelmann D, M78/3 shipboard scientific crew (2011) Sediment dynamics and geohazards off Uruguay and the de la Plata River region (Northern-Argentina and Uruguay). *Geo-Mar Lett* 31:271–283
18. Kuehl SA, Allison MA, Goodbred SL, Kudrass HR (2005) The Ganges-Brahmaputra delta. In: Giosan L, Bhattacharya JP (eds) *River deltas—concepts, models, and examples*, SEPM Special Publication No. 83, pp 413–434
19. Piola AR, Matano RP (2001) Brazil and Falklands (Malvinas) currents. In: John HS et al (eds) *Encyclopedia of ocean sciences*. Academic, Oxford, pp 422–430

20. Schulz HD (2006) Quantification of early diagenesis: dissolved constituents in pore water and signals in the solid phase. In: Schulz HD, Zabel M (eds) Marine geochemistry. Springer, Berlin, pp 73–124
21. Zabel M, Schulz HD (2001) Importance of submarine landslides for non-steady state conditions in pore water systems – lower Zaire (Congo) deep-sea fan. *Mar Geol* 176:87–99

ENOTHTA 8

1. Steiner, L'Heureux, Kopf, Vanneste, Longva, Lange και Haflidason, 2012, An In-Situ Free-Fall Piezocone Penetrometer for Characterizing Soft and Sensitive Clays at Finneidfjord (Northern Norway), In: Submarine Mass Movements and their Consequences, Advances in natural and technological hazards research, Springer
2. Casagrande A, Shannon WL (1949) Strength of soils under dynamic load *T ASCE* 114:755-772
3. Dan G, Sultan N, Savoye B (2007) The 1979 Nice harbour catastrophe revisited: trigger mechanism inferred from geotechnical measurements and numerical modeling. *Mar Geol* 245:40-64
4. Dayal U, Allen JH (1975) The effect of penetration rate on the strength of remolded clay and sand samples. *Can Geotech J* 12:336–348
5. Haflidason H, Sejrup HP, Berstad IM, Nygard A, Richter T, Bryn P, Lien R, Berg K (2003) A weak layer feature on the northern Storegga slide escarpment. In: Mienert J, Weaver PPE (eds) European margin sediment dynamics. Springer, Berlin, pp 37–43
6. Janbu N (1996) Raset I Finneidfjord – 20 juni 1996. Report number 1, revision 1, unpublished experts report prepared for the County Sheriff of Nordland
7. Kim D-K, Tumay MT (2004) Miniature piezocone test results in cohesive soils. *EJCE* 9(D)
8. Kvalstad TJ, Andresen L, Forsberg CF, Berg K, Bryn P, Wangen M (2005) The Storegga slide: evaluation of triggering sources and slide mechanics. *Mar Petrol Geol* 22:245-256
9. L'Heureux J-S, Hansen L, Longva O, Emdal A, Grande L (2010) A multidisciplinary study of submarine landslides at the Nidelva fjord delta, Central Norway – implications for geohazards assessments. *Nor Jo Geol* 90:1-20
10. L'Heureux JS, Longva O, Steiner A, Hansen L, Vardy ME, Vanneste M, Bredryen J, Haflidason H, Kvalstad TJ, Forsberg CF, Chand S, Kopf A (2012) Identification of weak layers and their role for the stability of slopes at Finneidfjord, northern Norway. In: Yamada Y et al (eds) Submarine mass movements and their consequences, vol 31, Advances in natural and technological hazards research. Springer, Dordrecht, pp 321-330
11. Leroueil S (2001) Natural slopes and cuts: movement and failure mechanisms. *Geotechnique* 51(3):197-243
12. Longva O, Janbu N, Blikra LH, Boe R (2003) The 1996 Finneidfjord slide; seafloor failure and slide dynamics. In: Locat J, Mienert J (eds) Submarine mass movements and their consequences. Springer, Dordrecht, pp 531-538

13. Lucius J (1971) Study of the influence of speed of deformation on the strength of soil. *Deut Agratech* 21:526-528
14. Lunne T (2010) The CPT in offshore soil investigations – a historic perspective. In: Mitchell et al (eds) 2nd international symposium on cone penetration testing (CPT' 10). Huntington Beach, California
15. Lunne T, Robertson PK, Powell JJM (1997) Cone penetration testing in geotechnical practice. Spon Press, London
16. Osler JC, Furlong A, Christian H (2005) A sediment probe for the rapid assessment of seabed characteristics. In: Caiti A, Chapman NR, Hermand J-P, Jesus SM (eds) *Acoustic inversion methods and experiments for assessment of the shallow water environment*. Springer, New York, pp 171-182
17. Robertson PK, Campanella RG (1983) Interpretation of cone penetration tests. Part II: clay. *Can Geotech J* 20(4):734-745
18. Silva MF, White DJ, Bolton MD (2006) An analytical study of the effect of penetration rate on piezocone tests in clay. *Int J numer Anal Methods* 30:501-527
19. Skinner LC, McCave IN (2003) Analysis and modeling of gravity – and piston coring based on soil mechanics. *Mar Geol* 199(1–2):181–204
20. Stegmann S (2007) Design of a free-fall penetrometer for geotechnical characterisation of saturated sediments and its geological application. PhD thesis, University Bremen, 181 pp
21. Stegmann S, Villinger H, Kopf A (2006) Design of a modular, marine free-fall cone penetrometer. *Sea Technol* 47(2):27–33
22. Stoll D, Yue-Feng S, Bitte I (2007) Seafloor properties from penetrometer tests. *IEEE J Ocean Eng* 32(1):57-63