Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΕ ΣΡΙ ΛΑΝΚΑ, Β.ΣΟΥΜΑΤΡΑ ΚΑΙ ΜΑΛΔΙΒΕΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΙΣΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΣΤΙΣ 26/12/2004 ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΘΕΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΚΟΥΓΙΟΥΜΤΖΙΔΟΥ ΚΥΡΙΑΚΗΣ
ΜΑΓΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ :
ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ.
ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ Κ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2008

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

'ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΕ ΣΡΙ ΛΑΝΚΑ, Β.ΣΟΥΜΑΤΡΑ ΚΑΙ ΜΑΛΔΙΒΕΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΙΣΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΣΤΙΣ 26/12/2004 ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΘΕΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ'

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΥΓΙΟΥΜΤΖΙΔΟΥ ΚΥΡΙΑΚΗΣ
ΜΑΓΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ :
ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ.
ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ Κ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2008

19/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευρετήριο ……7

Πρόλογος ……11

1.Εισαγωγη ……12

2. Γενικά στοιχεία για την κατανόηση του ρόλου του τσουνάμι …...14

2.1 Ορισμός του τσουνάμι ……14

2.2 Παράγοντες που προκαλούν το τσουνάμι ……14

2.2.1 Τσουνάμι που παράγεται από το σεισμό ……...14

2.2.2 Τσουνάμι που παράγεται από την καθίζηση εδάφους, τις ηφαιστειακές εκρήξεις και την κοσμική σύγκρουση ……16

2.3 Κύριες δυνάμεις που προκαλούν το τσουνάμι ……16

2.4 Το τσουνάμι ως παλμός ……17

2.5 Οι θεωρίες που περιγράφουν τη διάδοση ενός τσουνάμι ……20

2.6 Αριθμητικό μοντέλο του τσουνάμι ……21

2.7 Διάφορα μεταξύ του τσουνάμι και άλλων κυμάτων ……22

2.8 Σολιτόνιο κύμα ……22

2.9 Γεωγραφική κατανομή των τσουνάμι ……23

2.10 Τρόπος πρόγνωσης για τσουνάμι και βοηθητικά όργανα ……23

2.11 Φυσικοί και γεωλογική παράμετροι κίνδυνου ……24

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

2.11.1.Ο δείκτης παράκτιας επικινδυνότητας (coastal vulnerability index cvi) ……..……..24

2.11.2.Ειδη παράκτιας επικινδυνότητας ……28

2.12 Ο κίνδυνος για την Ελλάδα ……28

2.13 Ιστορικά τσουνάμι ……29

2.14 Σύγκριση του σεισμού στις 26 Δεκεμβρίου του 2004 με το σεισμό στις 26 Μαρτίου 2005 στην ίδια περιοχή ……..31

3. Στοιχεία παράκτιας γεωμορφολογίας ……..……33

3.1 Παράκτια γεωμορφολογία ……..…..33

3.2.Γενικη μορφολογία των ακτών και ονοματολογία ……...…33

3.3 Περιγραφή ακτογραμμών κατά τους γεωλογικούς χρόνους …..…..35

3.4.Παράκτια εξέλιξη ……..…...36

3.5 Μεταβολή ακτογραμμών ……..…....37

3.6 Υποθαλάσσια μορφοϊζηματογενής επίδραση ……...38

3.7 Ιζήματα, η κύρια σύνθεση των ακτογραμμών ……...39

3.7.1.Σύσταση των ιζημάτων ……..…..39

3.7.2.Μεταφορά των ιζημάτων ……....40

3.7.3.Μέγεθος ιζημάτων και κλίση ακτής ……..41

3.7.4.Κίνηση των ιζημάτων ……..…42

3.8 Διάβρωση ακτογραμμών ……..42

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4.Μεθοδολογία ……...43

4.1 Μεθοδολογία που χρησιμοποιήσαμε για την σύνταξη της εργασίας.43

4.2 Οι μέθοδοι που χρησιμοποίησαν οι ερευνητές ……..43

4.2.1 Δείκτες μεταβολής της γεωμορφολογίας ……...49

4.2.1.1 Ιζήματα στην ακτογραμμή και στο εσωτερικό(μεταφορά, απόθεση, μετρήσεις) ……..49

4.2.1.2. Η επίδραση του τσουνάμι στα κοράλλια και η συμβολή των δένδρων στην έρευνα. ……55

4.2.2Κτίρια και δένδρα ως δείκτες ένδειξης ύψους τσουνάμι ……57

5. Η δράση του τσουνάμι ως γεωμορφολογικός παράγοντας …….59

5.1 Ο ρόλος της υποθαλάσσιας και παράκτιας μορφολογίας στη δράση του τσουνάμι ……59

5.1.1Σρι Λάνκα ……59

5.1.2.Βόρεια Σουμάτρα ……...67

5.1.3.Μαλβίδες ……72

5.2 Η επίδραση του τσουνάμι και σε άλλους τομείς ……...76

5.2.1. Φυσικές καταστροφές ……76

5.2.2. Ανθρώπινος αντίκτυπος ……77

5.2.3. Περιβαλλοντική επίδραση ……79

5.2.4. Οικονομικός αντίκτυπος ……80

6 Το τσουνάμι ως μορφογενετική παράμετρος της παράκτιας ζώνης .82

Βιβλιογραφία ……84

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις 86

Προτεινόμενες σελίδες 87

Προτεινόμενες ιστοσελίδες 87

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ευρετήριο

ΧΑΡΤΕΣ

*1.*Το επίκεντρο του σεισμού νότια της Β. Σουμάτρας

2. Το επίκεντρο του σεισμού και η χιλιομετρική απόσταση των χωρών, που επλήγησαν, από την εστία εκδήλωσης του τσουνάμι.

3. Χάρτης διαδρομής του τσουνάμι ανά ώρες

4. Ο υπολογιστικός τομέας και η τοπογραφία του βυθού στον Ινδικό Ωκεανό.

5. Χάρτης των περιοχών της Β. Σουμάτρας, της Σρι Λάνκας και των Μαλδίβων

6-7. Χάρτης που απεικονίζει το ύψος του κύματος που έφτασε στη Σρι Λάνκα

8. Χάρτης της Β. Σουμάτρας

9. Στον χάρτη μπορούμε να διακρίνουμε τις τρεις περιοχές που μελετάμε στη Σουμάτρα, Padang, Bengkulu και Lhon Khga του Banta Ace.

10. Χάρτης που δείχνει το ύψος του τσουνάμι στο νησί Male.

11. Χάρτης που δείχνει το χρόνο άφιξης του κύματος στο νησί Male.

12. Καταγραφή των νεκροί μέχρι το βράδυ της 27ης Δεκεμβρίου 2004

ΣΧΗΜΑΤΑ

*1.*Σχηματική απεικόνιση της ταχύτητας και του βάθους

2. Όροι σχετικά με το τσουνάμι σε σχήμα

3. Σχηματική επεξήγηση της μορφολογίας των ακτών

*4.*Δυνάμεις που ασκούνται στους ιζηματογενείς κόκκους από τα κινούμενα ρευστά.

5. Το σχήμα απεικονίζει ένα μεγάλο τσουνάμι ύψους 15-30m.Οι αριθμοί δείχνουν τις διάφορες φάσεις της ιζηματογένεσης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΠΙΝΑΚΕΣ

1.Παράμετροι ρήγματος για τον υπολογισμό του αρχικού προφίλ της επιφάνειας του τσουνάμι

2.Ταξινόμηση και ποσοτικοποίηση των φυσικών και γεωλογικών παραμέτρων κινδύνου.

ΕΙΚΟΝΕΣ

1. Η δημιουργία τσουνάμι από την επίδραση σεισμού σε τέσσερα στάδια.

2. Σύστημα που συμβάλλει στην πρόγνωση του τσουνάμι

3. Διαγράμματα από έξι περιοχές της Sri Lanka, που απεικονίζουν την εισχώρηση του κύματος ανάλογα με τη γεωμορφολογία της κάθε μίας

4. Κάλυψη του προφίλ του sonar μέσα στον κόλπο του Lhok Nga(Αύγουστος 2006) και μωσαϊκό που δείχνει τις ρυτιδώσεις στην άμμο.

5. Διάνοιξη τάφρων σε πληγείσες περιοχές

6. Συγκέντρωση αντιπροσωπευτικού δείγματος μετά τον προσδιορισμό του πάχους τους

7. Στην εικόνα μπορούμε να διαγνώσουμε που σταματά το θαμμένο έδαφος και από πού ξεκινούν τα ιζήματα που αποτέθηκαν από το τσουνάμι

8. Αποθέσεις ιζημάτων από το τσουνάμι

9. Η εικόνα παρουσιάζει μια παράκτια περιοχή που ΄΄χτυπήθηκε΄΄ από το φονικό τσουνάμι.

10. Στην εικόνα βλέπουμε έναν κορμό δέντρου από την περιοχή της Κασκάντιας. Μέσα στο πλαίσιο αποτυπώνεται η δράση του τσουνάμι από μεταβολή του χρώματος.

11. Ιστόγραμμα της υποχώρησης της ακτογραμμής και της έκτασης του τσουνάμι του 2004 στο Lhok Nga

12. Η εικόνα παρουσιάζει αποθέσεις του τσουνάμι στο νότιο μέρος του Lhok Nga κοντά σε ασβεστόλιθο

13. Κάθετη διάβρωση πάνω από 2,5 m δίπλα από την πισίνα(πάνω αριστερά), δημιουργία γκρεμών(πάνω δεξιά), διάβρωση ακτών(κάτω αριστερά), η διάβρωση του τσουνάμι, κατά την οπισθοχώρηση του, σχημάτισε μικρούς γκρεμούς στους αμμόλοφους(κάτω δεξιά

14. Αεροφωτογραφία του νότιου μέρους του Lhok Nga. Απεικονίζει ένα πεδίο από μπλοκ και από γκρεμούς, λόγω διάβρωσης, πίσω από ένα φράγμα. Οι διαβρωμένες ζώνες και οι συγκεντρώσεις των μπλοκ

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

τοποθετούνται μέσα στην επέκταση των διακεκομμένων γραμμών που αντιστοιχούν στον κυματοθραύστη

15. Η ανάπτυξη ενός κοραλλιού μετά από τον σεισμό του Δεκεμβρίου του 2004

16. Κοραλλιογενείς ύφαλοι πριν και μετά της 28 Μαρτίου

17. Η συμβολή της βλάστησης στην κατανόηση της διεύθυνσης που είχε το τσουνάμι

18. Το ύψος που έφτασαν τα νερά από το τσουνάμι φαίνεται στο κτίριο

*19.*Στο δέντρο απεικονίζεται το ύψος μέχρι το οποίο έφτασε το κύμα

*20.*Το ύψος που έφτασαν τα νερά από το τσουνάμι

*21.*Τρισδιάστατη εικόνα της Σρι Λάνκα

22. Πριν τη δράση του τσουνάμι, καθώς η θάλασσα τραβιέται προς τα μέσα

23. Η περιοχή μετά τη δράση του τσουνάμι

24. Πριν και μετά το τσουνάμι η περιοχή Galle

25. Ανατολική ακτή της Sri Lanka α) η οριζόντια απόσταση της πλημμύρας από την ακτογραμμή σε μέτρα και β) το μέγιστο επίπεδο νερού του κύματος κοντά στην ακτή σε μέτρα από το επίπεδο παλίρροιας την ώρα της

26. Νότια ακτή της Sri Lanka α) η οριζόντια απόσταση της πλημμύρας από την ακτογραμμή σε μέτρα και β) το μέγιστο επίπεδο νερού του κύματος κοντά στην ακτή σε μέτρα από το επίπεδο παλίρροιας την ώρα της εισχώρησης του τσουνάμι.

27 Απότομες κλίσεις στην παράκτια ζώνη της περιοχή Matara

28. Δυτική ακτή της Sri Lanka α) η οριζόντια απόσταση της πλημμύρας από την ακτογραμμή σε μέτρα και β) το μέγιστο επίπεδο νερού του κύματος κοντά στην ακτή σε μέτρα από το επίπεδο παλίρροιας την ώρα της εισχώρησης του τσουνάμι.

29. Τρισδιάστατος χάρτης Β. Σουμάτρας

30. Πριν και μετά το τσουνάμι σε μια περιοχή του Banda Aceh

31. Αεροφωτογραφίες της περιοχής Banda Aceh πριν και μετά το τσουνάμι

32 Ηλεκτρονικός χάρτης από την περιοχή Padang, όπου φαίνεται πόσο εισχώρησε το κύμα στην περιοχή το 1797.

33 Ηλεκτρονικός χάρτης από την περιοχή Bengkulu, όπου φαίνεται πόσο εισχώρησε το κύμα στην περιοχή το 1833

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

34. Τρισδιάστατη εικόνα των Μαλβίδων

35 Α, Β Καταγραφές του επιπέδου του νερού από το βόρειο και το κεντρικό αρχιπέλαγο. C Τομή του νησιού Hulhudoo,με διεύθυνση δύσης-ανατολής, δείχνοντας τα μέγιστα και τα ελάχιστα επίπεδα νερού, που συνδέονται με τη διέλευση του πρώτου τσουνάμι.

36 Α. Το νησί Thiladhoo απεικονίζοντας την ακτογραμμή πριν και μετά το τσουνάμι. ,Β-Ε. Μετακίνηση φυτοκαλυμμένων γκρεμών. ,F. Αναβαθμίδες που προέκυψαν από τσουνάμι. G. Εικόνα πριν την έλευση του. Η. Στρώματα άμμου επεκτάθηκαν 15 μέτρα προς την ενδοχώρα, καλύπτοντας τις παλιές διαβρωμένες αναβαθμίδες .Ι. Στρώματα άμμου που κάλυψαν το παλιό διαβρωμένο έδαφος

*37.*Διάβρωση και καταστροφή οδικού δικτύου(Sri Lanka).

38. Διάβρωση σιδηροδρομικών γραμμών

*39.*Καταστροφή σπιτιών

*40.*Διάβρωση και υποσκαφή θεμελίων ενός προϋπάρχων σιδηροδρομικού σταθμού (Sri Lnka)

41. Μεγάλου πάχος απόθεσης άμμου και θαλάσσιων ιζημάτων στην Sli Lanka

42. Πριν και μετά το τσουνάμι, περιοχή με πηγάδι που υφαλμύρισε

43.Φωτογραφίες από κατεστραμμένα ψαροκάϊκα

*44.*Διάβρωση του εδάφους και καταστροφή βλάστησης

*45.*Καταστροφή δρόμου και κτισμάτων

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της προπτυχιακής φοίτησης. Σκοπός της ήταν η βιβλιογραφική μελέτη του τσουνάμι που προκλήθηκε το Δεκέμβριο του 2004 και συγκλόνισε όλη την παγκόσμια κοινή γνώμη από το μεγάλο εύρος καταστροφών και από τον ανυπολόγιστο αριθμό θυμάτων. Αίτιο γένεσης του υπήρξε ο σεισμός με επίκεντρο τη Β. Σουμάτρα. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε το έρεισμα για την αναζήτηση περισσότερων πληροφοριών που θα μας έλυναν καίριες απορίες καθώς επίσης και για την συγγραφή αυτής της εργασίας. Μέσω αυτής της εργασίας θέλουμε να μεταλαμπαδεύσουμε τις νεοαποκτηθείσες γνώσεις μας σε όσους πραγματικά αναζητούν, απαντήσεις γύρω από την φύση των παλιρροιακών κυμάτων, καταγεγραμμένες με απλοϊκό τρόπο αλλά με επιστημονικά στοιχεία. Στις παρακάτω, λοιπόν, σελίδες παραθέτονται πληροφορίες που προσδιορίζουν το τσουνάμι με βάση τα χαρακτηριστικά τους όπως επίσης πολλές λεπτομέρειες για τη δράση του την συγκεκριμένη, προαναφερθείσα, περίοδο, στις εντονότερα πληγείσες περιοχές, δηλαδή τη Β. Σουμάτρα, τις Μαλδίβες και την Σρι Λάνκα. Δε θα πρέπει να παραλείψουμε ότι η εργασία περιλαμβάνει φωτογραφικό υλικό για καλύτερη εμπέδωση αλλά και για ευχάριστη ανάγνωση.

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στους καθηγητές μας, Βουβαλίδη Κωνσταντίνο και Παυλίδη Σπυρίδων, για την βοήθεια και την καθοδήγηση τους.

Κουγιουμτζίδου Κυριακή
Μάγου Αθανασία

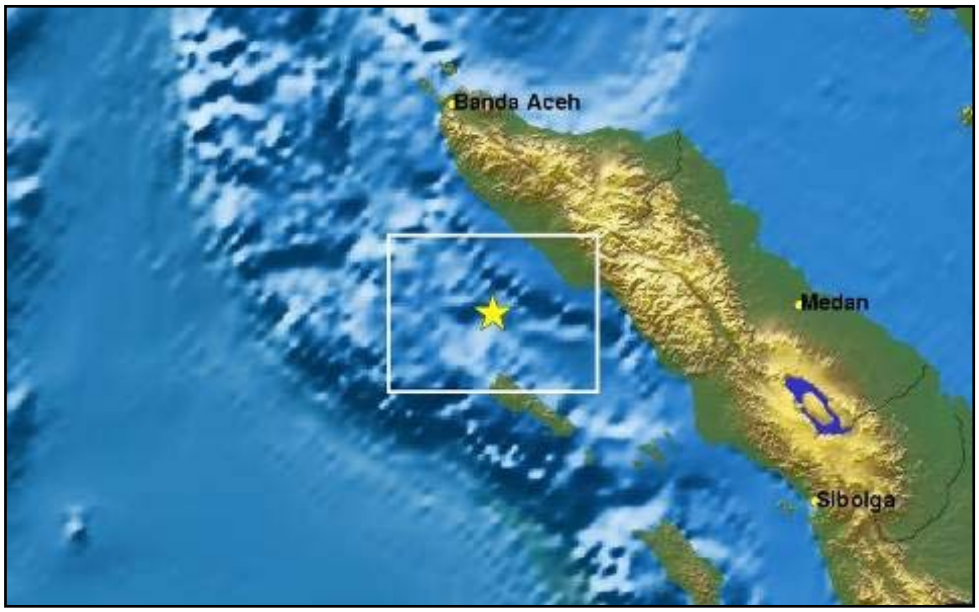
Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.
2008

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

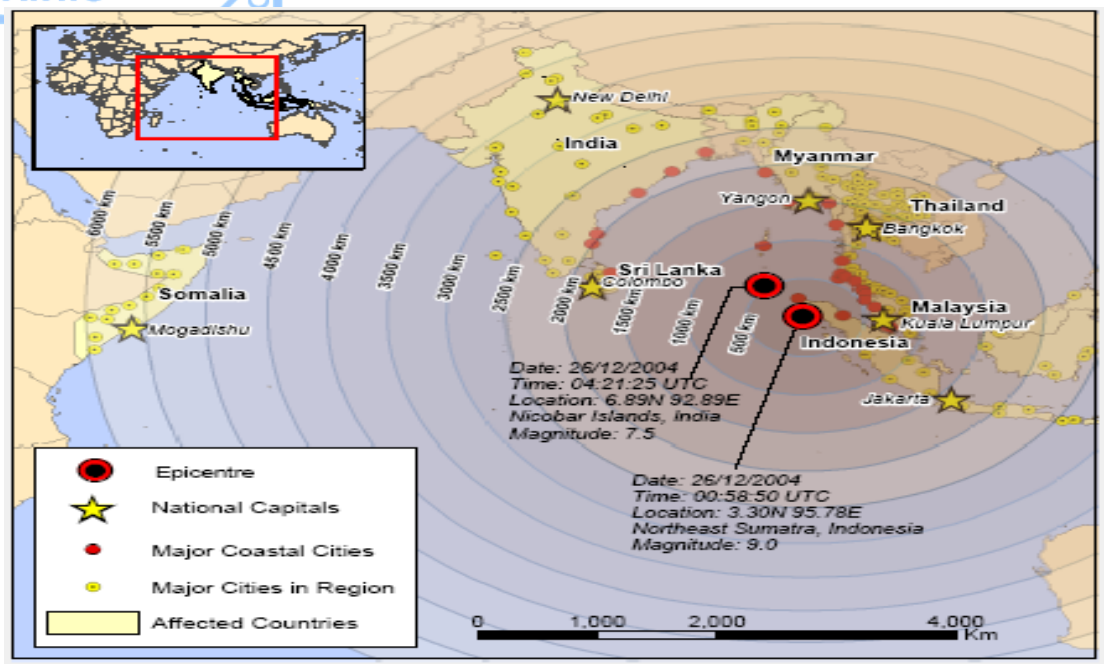
Στις 26 Δεκεμβρίου του 2004, θανατηφόρο τσουνάμι αποτέλεσε το «φονικό όπλο» για περισσότερους από 270.000 ανθρώπους στις χώρες που περιβάλλουν τον Ινδικό Ωκεανό. Το φυσικό αυτό φαινόμενο αρίθμησε αρκετά θύματα σε Ινδονησία, Ταϊλάνδη, βορειοδυτική ακτή Μαλαισίας, Μπαγκλαντές, Ινδία, Σρι Λάνκα, Μαλβίδες, ακόμη και στη Σομαλία, στην Κένυα, στην Τανζανία, στην ανατολική Αφρική, καθιστώντας το πιο θανατηφόρο στην καταγεγραμμένη ιστορία. Αιτία ήταν ο σεισμός, μεγέθους περίπου 9,2, που προκλήθηκε στα όρια της λιθοσφαιρικής πλάκας της Ινδίας, η οποία βυθίζεται κάτω από την πλάκα της Burma. Παγκοσμίως έγινε κατανοητή η κλίμακα καταστροφής, τόσο σε κοινωνικό όσο και σε πολιτιστικό επίπεδο. Ωστόσο, δεν έγινε αντιληπτή η επίδραση του τσουνάμι στη γεωμορφολογία των χωρών που επλήγησαν, ιδιαίτερα στη Β. Σουμάτρα, στην Σρι Λάνκα και στις Μαλδίβες. Προτού, λοιπόν, εξετάσουμε αυτή την επιρροή, θα ήταν χρήσιμο ν' αναπτυχθούν κάποια γενικά στοιχεία για την καλύτερη κατανόηση του. Τα στοιχεία αυτά δίνουν πληροφορίες για την «φύση» του, τις θεωρίες και τους παράγοντες προκλήσεως του, τους τρόπους πρόγνωσης του, όπως και τις περιοχές που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα.

Στις παρακάτω εικόνες προσδιορίζονται το επίκεντρο του σεισμού και ο χάρτης διάδοσης του τσουνάμι ανά ώρα .

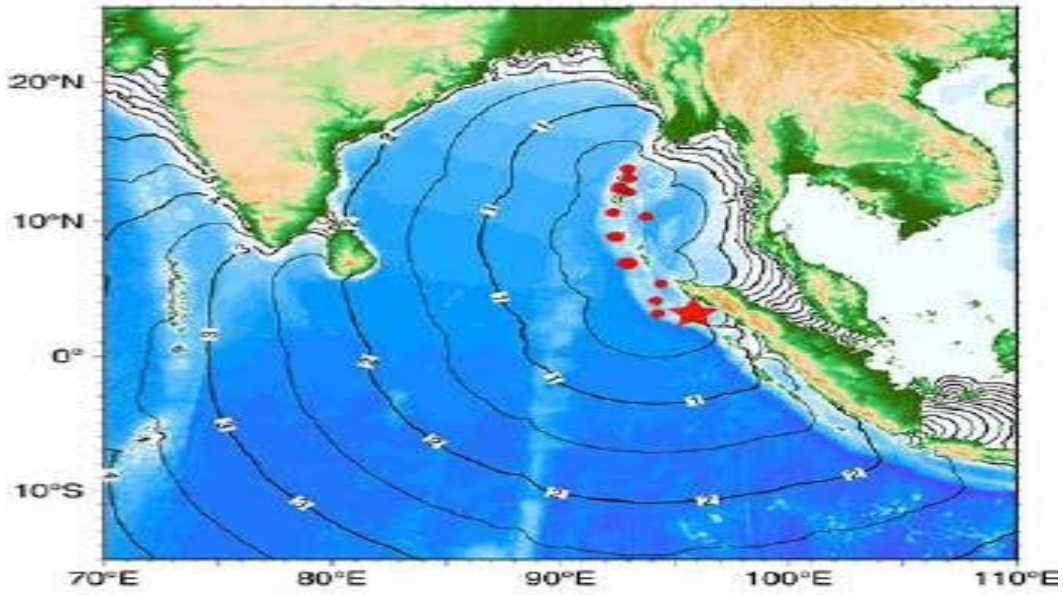


***Χάρτης 1*. Το επίκεντρο του σεισμού νότια της Β. Σουμάτρας (Papadopoulos G., et al, 2005)**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



***Χάρτης 2*. Το επίκεντρο του σεισμού και η χιλιομετρική απόσταση των χωρών, που επλήγησαν, από την εστία εκδήλωσης του τσουνάμι.**
(http://www.globalsecurity.org/eye/andaman-maps.htm)



***Χάρτης 3*. Χάρτης διαδρομής του τσουνάμι ανά ώρες.**
(Papadopoulos G., et al, 2005)

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ, ΤΟ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

Ένα τσουνάμι παράγεται από την μετατόπιση του θαλάσσιου πυθμένα κατά την στιγμή ενός σεισμού, μιας ηφαιστειακής έκρηξης. ή μιας μεγάλης κατολίσθησης. Η ξαφνική μετατόπιση του θαλάσσιου πυθμένα, ανυψώνει ή χαμηλώνει στιγμιαία την επιφάνεια του νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το νερό να απομακρύνεται από την αρχική του θέση σαν μια σειρά από κύματα που διαδέχονται το ένα το άλλο σε χρόνο περίπου 10 με 20 λεπτά. Η σπουδαιότητα αυτής της μακράς περιόδου είναι ότι, ακόμη και στα βαθύτερα μέρη του ωκεανού, επηρεάζονται από ρηχά κύματα. Όταν όμως το τσουνάμι πλησιάζει την υφαλοκρηπίδα η ταχύτητα του μειώνεται αισθητά, ενώ αυξάνεται το ύψος του μέχρι την ακτή. Έχουν καταγραφεί ύψη μεταξύ 10 με 20 μέτρων. Η ανύψωση και το ξέσπασμα σε μια απότομη ακτή μπορεί να μεταφέρει νερό πέρα από το κανονικό που φτάνει στην ακτή. Στον ωκεανό τα ύψη των κυμάτων είναι μικρά σχεδόν μικρότερα από ένα μέτρο.

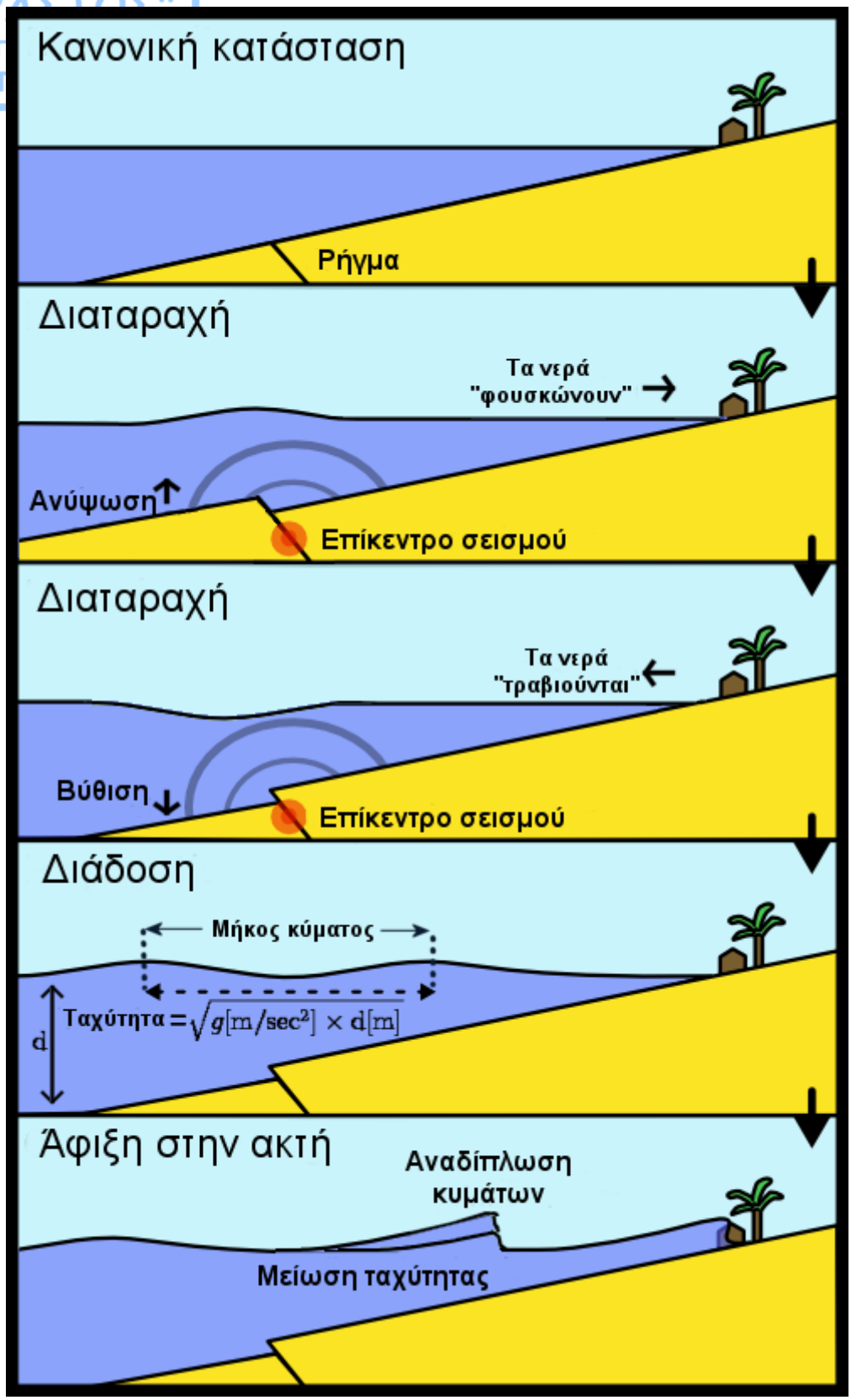
2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΤΟ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

2.2.1 Τσουνάμι που παράγεται από το σεισμό

Οι υποθαλάσσιοι σεισμοί αποτελούν το κύριο μηχανισμό διέγερσης για την εκδήλωση τσουνάμι. Ο πυθμένας της θάλασσας παραμορφώνεται απότομα και μετατοπίζεται κάθετα, δημιουργώντας κύματα ταλάντωσης, λόγω μετατόπισης του νερού από τη θέση ισορροπίας του. Τα κύματα αυτά, λοιπόν, σαν μετατοπιζόμενη μάζα νερού, κάτω από την επιρροή της βαρύτητας, προσπαθούν να επανακτήσουν την ισορροπία τους. Έτσι, μεγάλες περιοχές του θαλάσσιου πυθμένα ανυψώνονται ή υποχωρούν, δίνοντας γένεση σε κύματα ταλάντωσης.

Σεισμοί μεγάλου μεγέθους, που προκαλούν τη διάδοση τσουνάμι, εκδηλώνονται στα όρια λιθοσφαιρικών πλακών. Οι τεκτονικές αυτές πλάκες αλληλοκαλύπτονται κατά μήκος των ορίων τους, παράγοντας σεισμούς. Οι ωκεάνιες πλάκες, για παράδειγμα, γλιστρούν κάτω από τις ηπειρωτικές. Η υποβύθιση αυτή επιτυγχάνεται κατά μήκος μιας ζώνης, που ονομάζεται ζώνη υποβύθισης (γνωστή και ως ζώνη Benioff), όπου λαμβάνουν γένεση και τα κύματα ταλάντωσης.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γ
Α.Π



***Εικόνα 1*. Η δημιουργία τσουνάμι από την επίδραση σεισμού σε τέσσερα στάδια.**
(Από τη Βικιπαίδεια, την ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια)

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα

2.2.2 Τσουνάμι που παράγεται από την καθίζηση εδάφους, τις ηφαιστειακές εκρήξεις και την κοσμική σύγκρουση:

Τσουνάμι μπορεί να παραχθεί από οποιαδήποτε διαταραχή που μετατοπίζει μια μεγάλη μάζα νερού από τη θέση ισορροπίας του. Εκτός από τους σεισμούς, καθιζήσεις εδάφους, ηφαιστειακές εκρήξεις και κοσμικές συγκρούσεις μπορούν να προκαλέσουν κύματα ταλάντωσης.

Υποθαλάσσιες καθιζήσεις εδάφους συνοδεύουν συχνά μεγάλης έντασης σεισμούς, προκαλώντας ανακατανομή του πυθμένα της θάλασσας με άμεσο αποτέλεσμα, την αναδιοργάνωση των υλικών του εδάφους. Όλη αυτή η διαταραχή επιδρά στην υδάτινη στήλη, επιφέροντας κύματα ταλάντωσης. Σε αντίθεση με τους σεισμούς, οι καθιζήσεις εδάφους αναταράσσουν το νερό από πάνω, καθώς μεταφέρεται στο νερό η ορμή των συντριμμάτων.

Με παρόμοιο τρόπο, μια βίαιη υποθαλάσσια ηφαιστειακή έκρηξη μπορεί να δημιουργήσει μια ωστική δύναμη και άνοδο της υδάτινης στήλης, με τελική έκβαση την εκδήλωση τσουνάμι.

2.3 ΚΥΡΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΤΟ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

Το τσουνάμι δεν προκαλείται μόνο από κατακόρυφες μετατοπίσεις του θαλάσσιου νερού, που διεγείρονται από υποθαλάσσιους σεισμούς, λόγω απότομης διάρρηξης του πυθμένα της θάλασσας. Προκαλείται και από άλλες δυνάμεις, που είναι οι ακόλουθες (Lori Dengler, Brentwood Higman,et al.,2004):

–**Οριζόντιες μετατοπίσεις** της στήλης του ύδατος ως αποτέλεσμα των δονήσεων του σεισμού (οι σεισμοί που συμβαίνουν στην ξηρά μπορεί και αυτοί να δημιουργήσουν ένα τσουνάμι, αν συμβούν κοντά σε ακτές).

–**Ηφαιστειακές εκρήξεις** στην θάλασσα οι οποίες μπορεί να μετατοπίσουν το θαλάσσιο νερό με σχετική βιαιότητα.

–**Κατολισθήσεις** που γίνονται στον πυθμένα των θαλασσών (αυτές ωστόσο συνήθως δεν δημιουργούν τσουνάμι μεγάλου μεγέθους).

Ωστόσο η πιο συνήθης δύναμη για την έξαψη ενός καταστροφικού τσουνάμι είναι η κατακόρυφη μετατόπιση.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

2.4 ΤΟ ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΩΣ ΚΥΜΑ

Ο τρόπος γένεσης ενός τσουνάμι από μεγάλους σεισμούς αποτελεί θέμα έρευνας πολλών ειδικοτήτων. Ένας ορισμός που θα μπορούσε να του αποδοθεί είναι ο παρακάτω:

Τα τσουνάμι είναι κύματα βαρύτητας που προκαλούνται από την απότομη αύξηση στην δυναμική ενέργεια που προκύπτει από κατακόρυφη μετατόπιση του πυθμένα κατά την διάρκεια διάρρηξης του λόγω γένεσης σεισμού.(Eric L.Geist,et al.,1999)

Με πιο απλά λόγια, τα τσουνάμι δημιουργούνται όταν υποθαλάσσια ρήγματα έχουν μια σημαντική κατακόρυφη κίνηση. Τέτοιου είδους ρήγματα συναντάμε στις ακτές της Νότιας Αμερικής, στην Ιαπωνία και στα νησιά του δυτικού μέρους του Ειρηνικού Ωκεανού. Μετατόπιση του νερού της επιφάνειας δίνει γένεση σε μια σειρά από κύματα τσουνάμι τα οποία κατευθύνονται σ' όλο το πλάτος του ωκεανού. Θα πρέπει να τονισθεί ότι κατά την διάδοση ενός τέτοιου κύματος μεταφέρεται η ενέργεια του και όχι η μάζα του. Τα κύματα ταλάντωσης, όπως αλλιώς αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία, αναπτύσσονται σε περιόδους των 10-60 λεπτών που επηρεάζουν όλη την στήλη νερού από το βυθό του ωκεανού μέχρι την επιφάνεια. Μαζί με το μέγεθος του σεισμού και το βάθος της εστίας του, το σύνολο της κατακόρυφης μετατόπισης καθορίζει το μέγεθος, τον προσανατολισμό, και την καταστρεπτικότητα ενός τσουνάμι. Οριζόντιας μετατόπισης ρήγματα, όπως αυτό κατά μήκος της Καλιφόρνιας, δεν προκαλούν τέτοιου είδους κύματα.

Στα ανοικτά του ωκεανού, τα τσουνάμι έχουν συνήθως μεγάλο μήκος κύματος ενώ το εύρος τους είναι ελάχιστα αξιοσημείωτο. Το μήκος κύματος (**L**) τους υπολογίζεται από τον τύπο:

$$L=c*T$$

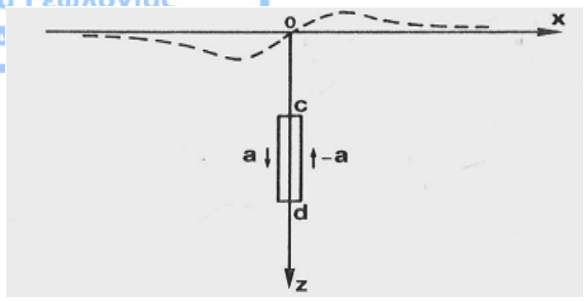
όπου c είναι η ταχύτητα και T είναι η περίοδος του κύματος.

Η διαδοχή των κυμάτων μπορεί να κυμαίνεται από 5 λεπτά μέχρι μία ώρα. Διασχίζουν τον ωκεανό με πολύ υψηλή ταχύτητα που ανέρχεται περίπου στα 650 χιλιόμετρα την ώρα. Πιο συγκεκριμένα, η ταχύτητα της διάδοσης των κυμάτων σε μεγάλο βάθος δίνεται από τον τύπο:

$$c=\sqrt{g.h}$$

όπου g είναι η επιτάχυνση εξαιτίας της βαρύτητας και h είναι το βάθος του νερού.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Ταχύτητα (c) $c = \sqrt{g.h}$
(*g = 9.8 ms-1, h: βάθος νερού*)
κύματα περιόδου 10-60 min ,σε ωκεανό 4.000 m έχει ταχύτητα 200 m/sec ή 700 km/h,στις ακτές πλησιάζει με 90-50 km/h, ενώ τα παράκτια εδάφη τα πλήττει με 40-30 km/h

***Σχήμα 1*.Σχηματική απεικόνιση της ταχύτητας και του βάθους.**

Αυτός ο τύπος συμβάλλει στην πρόβλεψη των χρόνων άφιξης των τσουνάμι κατά μήκος των ακτών. Δυστυχώς, όμως, η κάθετη απόσταση μεταξύ του μέγιστου ύψους νερού κατά μήκος της ακτογραμμής και του μέσου επιπέδου της θάλασσας, που αντιστοιχεί στην ανύψωση του τσουνάμι, δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί. Επειδή, η ταχύτητα είναι αναλογική με το βάθος του νερού, αυτό σημαίνει ότι το μέτωπο του κύματος μετακινείται συνέχεια προς πιο ρηχά νερά. Επιπλέον, στις παράκτιες περιοχές τα κύματα επιβραδύνουν και αυξάνουν σε ύψος, ορμώντας προς την ακτή. Έχουν καταγραφεί κύματα με ύψος πάνω από 20 μέτρα σε κανονικό επίπεδο θάλασσας. Τα τσουνάμι, όπως άλλα κύματα, διαθλώνται από την τοπογραφία, της ξηράς προς τη θάλασσα, και από τις διαφορές στη διαμόρφωση των ακτών.

Εξαιτίας της μεγάλης περιόδου των τσουνάμι, τα κύματα χαρακτηρίζονται από εκτεταμένο μήκος (παραδείγματος χάρη 200-700 χιλιόμετρα στα ανοικτά του ωκεανού, 50-150 χιλιόμετρα στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα). Είναι, επομένως, σχεδόν αδύνατο να ανιχνευτούν στα ανοικτά του ωκεανού επειδή το πλάτος τους (0.1-1.0 μέτρα) είναι ιδιαίτερα μικρό σε σχέση με το μήκος τους. Άρα, μπορούν να ανιχνευτούν μόνο κοντά σε ακτές.

Το μέγεθος του κύματος καθώς φθάνει στην ακτή εξαρτάται από το μέγεθος της πραγματικής μετατόπισης του νερού από την πηγή και από την απόσταση που έχει διανύσει, καθώς επίσης από την υποθαλάσσια τοπογραφία και την παράκτια γεωμορφολογία.

Όταν το τσουνάμι φτάσει στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα, αναπτύσσονται ταλαντώσεις που τροποποιούν τη μορφή του. Συνήθως, η μέγιστη ταλάντωση που παρατηρείται δεν είναι η πρώτη αλλά μία από τις επικείμενες. Όμως, σε έναν παρατηρητή που βρίσκεται στην ακτή, το τσουνάμι δεν εμφανίζεται σαν μία σειρά από κύματα, αλλά σαν μία γρήγορη διαδοχή από πλημμυρίδες και ρηχίες (δηλαδή από ανυψώσεις και πτώσεις της στάθμης του ωκεανού) εξαιτίας του μεγάλου μήκους κύματος. Ρηχά νερά επιτρέπουν στο τσουνάμι να αυξήσει το εύρος του χωρίς σημαντική μείωση της ταχύτητας και της ενέργειας του. Από την άλλη πλευρά, όπου το νερό

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

είναι σχετικά βαθύ στα ανοικτά της ακτογραμμής, η αύξηση του μεγέθους του κύματος μειώνεται. Μεγάλα κύματα, διαφόρων υψών, είναι πιο πιθανά, όταν τα τσουνάμι κινούνται προς στενά λιμανάκια. Τέτοια κύματα προκαλούν σοβαρές καταστροφές και μπορούν να καταστρέψουν ολοσχερώς εγκαταστάσεις. Για παράδειγμα, αν το κύμα ξεσπάσει καθώς διασχίζει μια ακτή, μπορεί να καταστρέψει σπίτια μόνο από το ύψος του νερού. Στην πραγματικότητα, η ροή του νερού ασκεί μια δύναμη σε εμπόδια με το πέρασμα της που είναι αναλογική με το τετράγωνο της ταχύτητας. Ο Wiegel πρότεινε ότι η μέγιστη πίεση σε ένα εμπόδιο (P_{max}) μπορεί να προέρχεται από:

$P_{max}=0.5*C_D*\rho*\upsilon_c^2*F_n^2$

Όπου C_D : παράγοντας που συμπεριλαμβάνει το σχήμα του εμποδίου

ρ : είναι η πυκνότητα του νερού

$\upsilon_c=2\sqrt{g*Z_c}$ (όπου Z_c είναι το βάθος της ζώνης που κατακλύζεται)

F_n : αριθμός Froude.

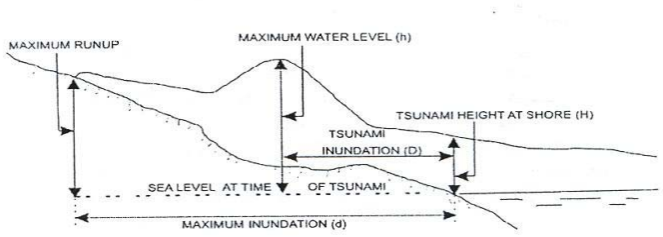
Εκτός από τους παραπάνω όρους, για τον προσδιορισμό ενός τσουνάμι, άλλοι συνήθεις όροι είναι (G.,Papadopoulos et al., 2006):

h: το μέγιστο ύψος νερού,

H: το ύψος του τσουνάμι στις ακτές,

d: η μέγιστη πλημμύρα ή η μέγιστη οριζόντια είσοδος,

D:η πλημμύρα, που περιγράφει την απόσταση από την ακτή, από όπου μετρήθηκε το μέγιστο ύψος νερού. Το μέγιστο ύψος νερού, h**,** δεν είναι πάντα ταυτόσημο με το ύψος του τσουνάμι στις ακτές. Θα μπορούσε να υποτεθεί ότι H~h όταν το D είναι μικρό.



***Σχήμα 2*. Όροι σχετικά με το τσουνάμι σε σχήμα**

Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον να αναφέρουμε ότι στα όρια του μεγάλου μήκους κύματος, το μεγαλύτερο ποσό της κινητικής ενέργειας προέρχεται από την οριζόντια 'κατάρρευση' της στήλης νερού παρά από την κατακόρυφη κίνηση

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Το μέγεθος και η μορφή της κατακόρυφης μετατόπισης καθορίζει το εύρος και τον τύπο του κύματος του επικείμενου τσουνάμι. Γενικά, η μετατόπιση του πυθμένα μπορεί να θεωρηθεί σχετική με την ταχύτητα διάδοσης των τσουνάμι τέτοια που το αρχικό πεδίο του κύματος μιμείται το πεδίο όπου πραγματοποιείται η κατακόρυφη μετατόπιση. Σε μερικές περιπτώσεις, άλλοι παράγοντες μπορεί να υπεισέλθουν, όπως η οριζόντια συνιστώσα της μετατόπισης σε περιοχές με απότομη βαθυμετρία.

2.5 ΟΙ ΘΕΩΡΙΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΥΝ ΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΕΝΟΣ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

Υπάρχουν δύο θεωρίες που περιγράφουν την διάδοση και την μεγάλη δράση ενός τσουνάμι: α) η θεωρία του κύματος της βαρύτητας και β) η θεωρία του ομαλού τρόπου.(Emile A.Okal, Natural Hazards, 1988)

Α) Η θεωρία του κύματος βαρύτητας

Η θεωρία του κύματος βαρύτητας, στην απλή της μορφή, αναφέρεται σε ένα σύστημα ασυμπίεστου ωκεάνιου στρώματος, πάχους, Η, και πυκνότητας, ρ. Η φάση της ταχύτητας ενός κύματος, **C=√(g*k)*tanh*(kH)** είναι περίπου ρίζα √ g*H στα όρια μεγάλου μήκους κύματος για το οποίο ισχύει k*H <<1, όπου κ είναι σταθερά.

Σύμφωνα μ' αυτή τη θεωρία, ο υπολογισμός της μεγάλης δράσης ενός τσουνάμι από την εκδήλωση ενός υποθαλάσσιου σεισμού επιτυγχάνεται με τα παρακάτω βήματα: 1)χρησιμοποιείται ένα πραγματικό μοντέλο (με περιορισμένη ελαστικότητα) του ωκεάνιου πυθμένα και φλοιού και υπολογίζεται η κατακόρυφη **συνιστώσα** της βίαιης κίνησης του πεδίου μετατόπισης **u(χ,y,t)** στον θαλάσσιο πυθμένα. 2)χρησιμοποιείται αυτή η έκφραση της βίαιης κίνησης σαν μια οριακή κατάσταση στο γενικό πρόβλημα του τσουνάμι, εκφράζοντας ξαφνική παραμόρφωση του ωκεάνιου πυθμένα.

Υπάρχουν διάφορα προβλήματα με αυτή την προσέγγιση. Ένα από αυτά είναι ότι οι υποθέσεις που έγιναν στα δύο μέρη του υπολογισμού είναι αντιφατικά, εμποδίζοντας την σωστή μοντελοποίηση οποιασδήποτε επίδρασης μεταξύ του ωκεανού και της στερεάς γης.

Β) Η θεωρία του ομαλού τρόπου

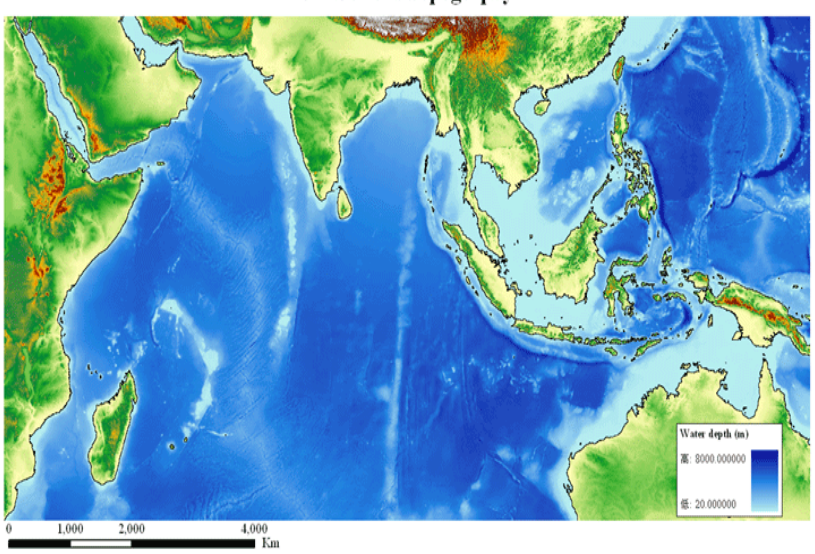
Αυτή η θεωρία ορίζει το τσουνάμι ως ελεύθερες ταλαντώσεις μιας αυτοελκόμενης Γης της οποίας το εσωτερικότερο περίβλημα είναι ένας ωκεανός πάχους, Η. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει πολλά πλεονεκτήματα όπως: 1) η ικανότητα της χρήσης ενός ρεαλιστικού μοντέλου της δομής της Γης, κάτω από τον ωκεανό, περιλαμβάνοντας μια επαρκής περιγραφή του ιζηματογενούς στρώματος, 2) η ικανότητα μελέτης της διέγερσης, με εύκολο τρόπο, μέσω της χρήσης συντελεστών διέγερσης 3) η αυτόματη ενοποίηση της βίαιης κίνησης της αλληλεπίδρασης του νερού με το πέτρωμα στον ίδιο

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

χρόνο και σε όλο τον ωκεάνιο πυθμένα. Η θεωρία αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε μεγάλα μήκη κύματος και μεγάλες περιόδους.

2.6 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

Εστιάζοντας στην κατανόηση των χαρακτηριστικών της διάδοσης του τσουνάμι στον Ινδικό Ωκεανό, το αριθμητικό μοντέλο ενός τσουνάμι εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας τον κώδικα ΤΣΟΥΝΑΜΙ που αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο της Ιαπωνίας ,Tohoku. Το μοντέλο βασίζεται σε γραμμικές εξισώσεις για ρηχά νερά ενός σφαιρικού συστήματος .Το Χάρτης 4 δείχνει τον υπολογιστικό τομέα και την τοπογραφία του θαλάσσιου βυθού του Ινδικού Ωκεανού.



***Χάρτης 4*. Ο υπολογιστικός τομέας και η τοπογραφία του βυθού στον Ινδικό Ωκεανό. (Dengler L., et al, 2004)**

Η μεταβολή του θαλάσσιου πυθμένα ,εξαιτίας του σεισμού ,προκαλεί τις ανοδικές και τις καθοδικές κινήσεις του νερού, σχηματίζοντας την αρχική επιφάνεια της θάλασσας ενός τσουνάμι. Ο πίνακας 1, δείχνει τις παραμέτρους του ρήγματος που χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστεί η μεταμόρφωση του πυθμένα. Η παράταξη είναι το αζιμούθιο του επιπέδου του ρήγματος, υπολογισμένο από το βορρά. Η κλίση είναι το αζιμούθιο του επιπέδου του ρήγματος ως προς την οριζόντια γραμμή. Η γωνία κλίσης είναι η γωνία κλίσης του ρήγματος ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

	Πρώτο τμήμα (νότιο μέρος)	Δεύτερο τμήμα (βόρειο μέρος)
Παράταξη, κλίση, γωνία κλίσης	329,15 και 90	345,15 και 90
Μήκος και Πλάτος	500 και 150	400 και 150
Μετατόπιση	11μέτρα	11μέτρα
Βάθος ρήγματος	10χιλιόμετρα	10 χιλιόμετρα

Πίνακας 1. **Παράμετροι ρήγματος για τον υπολογισμό του αρχικού προφίλ της επιφάνειας του τσουνάμι. (Dengler L., et al, 2004)**

2.7 ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ.

Τα κύματα ταλάντωσης διαφέρουν από αυτά που παράγονται από τον αέρα. Οι περισσότεροι από εμάς μπορεί να είχαν παρατηρήσει σε μια τοπική λίμνη ή σε μια παράκτια παραλία τις μακροχρόνιες περιόδους και τα μήκη των κυμάτων που δημιουργούνται από τον αέρα. Παράδειγμα σε μια παραλία της Καλιφόρνιας, τα κύματα γεννιούνται από μια θύελλα έξω στον Ειρηνικό και κινούνται ρυθμικά προς τα εσωτερικό το ένα κύμα μετά από το άλλο και έχουν μια περίοδο περίπου 10 δευτερολέπτων και μήκος κύματος 150 m. Ένα τσουνάμι, όμως, μπορεί να έχει μήκος κύματος παραπάνω από 100 km και περίοδο περίπου μιας ώρας. Ως αποτέλεσμα των μεγάλων μηκών κυμάτων τους, τα τσουνάμι συμπεριφέρονται ως κύματα ρηχών-νερών (shallow-water waves). Ένα τέτοιο κύμα δημιουργείται όταν η αναλογία μεταξύ του βάθους του νερού και του μήκους των κυμάτων είναι πολύ μικρή. Τα κύματα ρηχών-νερών κινούνται με μια ταχύτητα που είναι ίση με την τετραγωνική ρίζα του προϊόντος της επιτάχυνσης της βαρύτητας (9,8 m/s/s) και του βάθους ύδατος. Για να καταλάβουμε, στον ειρηνικό ωκεανό, όπου το χαρακτηριστικό βάθος ύδατος είναι περίπου 4000 m, ένα τσουνάμι ταξιδεύει σε περίπου 200 m/s, ή πάνω από 700 km/h . Επειδή το ποσοστό στο οποίο ένα κύμα χάνει την ενέργειά του συσχετίζεται αντιστρόφως με το μήκος των κυμάτων του, τα τσουνάμι όχι μόνο διαδίδονται με υψηλές ταχύτητες, αλλά μπορούν επίσης να ταξιδέψουν μεγάλες, αποστάσεις με περιορισμένη απώλεια ενέργειας .

2.8 ΣΟΛΙΤΟΝΙΟ ΚΥΜΑ

Το σολιτόνιο κύμα ανήκει σ΄ εκείνη την οικογένεια των κυμάτων που ονομάζουμε μοναχικά οδεύοντα κύματα. Στην πράξη όμως είναι δύσκολο να συναντήσει κανείς τις τέλειες ιδιότητες ενός μαθηματικού σολιτονίου. Στις φυσικές εφαρμογές χρησιμοποιούμε τον όρο ημισολιτόνιο για να περιγράψουμε μοναχικά κύματα με μεγάλο χρόνο ζωής και ικανοποιητική αντοχή στις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις και τις εξωτερικές διαταραχές.

Η έννοια του σολιτονίου μαζί μ' αυτήν του χάους και την πιο πρόσφατη έννοια της μορφοκλασματικής (fractal) διάστασης, αποτελούν σήμερα τις λέξεις κλειδιά για τη μη γραμμική δυναμική. Η θεωρία των σολιτονίων είναι

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

η θεωρητική γλώσσα με την οποία αντιμετωπίζει κανείς φαινόμενα οργάνωσης και κυματικής διάδοσης σε μη γραμμικά μέσα. Όπως είναι και ιστορικά φυσιολογικό, η Υδροδυναμική είναι ένας κατ' εξοχήν χώρος εφαρμογής της θεωρίας των σολιτονίων και γενικότερα της μη γραμμικής δυναμικής. Μετά την παρατήρηση σολιτονικής διάδοσης σε αβαθή κανάλια, μπορεί κανείς να συναντήσει σολιτόνια σαν κύματα επιφανείας ή κύματα πυκνότητας μέσα σε ωκεανούς, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το σολιτόνιο της θάλασσας Andaman στην Ταϊλάνδη. Οι πιο σημαντικοί τομείς είναι οι οπτικές ίνες. (Σ. Πνευματικός 1992)

2.9 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΣΟΥΝΑΜΙ.

Από τα καταστροφικά τσουνάμι, το 90% συμβαίνουν στον Ειρηνικό Ωκεανό , κατά μέσο όρο περισσότερα από δύο κάθε χρόνο. Τα τελευταία 190 χρόνια τα νησιά της Χαβάης υπέστησαν περισσότερα από 150 τσουνάμι και οι καταστροφές πολλές φορές ήταν εκτεταμένες. Οι Η.Π.Α. υφίστανται κάθε χρόνο περισσότερα από 26.000.000 $ σε υλικές ζημιές, ενώ 500.000 άνθρωποι ζουν σε περιοχές της χώρας που απειλούνται από τσουνάμι ύψους 15m και 1.200.000 άνθρωποι απειλούνται από τσουνάμι ύψους 30 m. Η δυτική ακτή καθώς και τα νησιά της Χαβάης παρουσιάζουν το μεγαλύτερο κίνδυνο. Στις λεκάνες του Ατλαντικού και της Μεσογείου εμφανίζονται λιγότερο συχνά τσουνάμι. Για αυτό το λόγο οι κατάλογοι των τσουνάμι δεν είναι ολοκληρωμένοι και επομένως οι περίοδοι επανάληψης για την περιοχή είναι άγνωστοι. Ωστόσο, η ηφαιστειακή έκρηξη της Σαντορίνης που χρονολογήθηκε γύρω στα 1650 π.χ. προκάλεσε τσουνάμι το οποίο ταξίδεψε σε ολόκληρη την ανατολική Μεσόγειο. Επίσης, ο σεισμός που προκλήθηκε το 1775 κοντά στη Λισσαβόνα, έδωσε γένεση σε τσουνάμι που σκόρπισε το θάνατο σε 25.000 ανθρώπους στην πρωτεύουσα της χώρας ενώ έφτασε μέχρι την Καραϊβική.

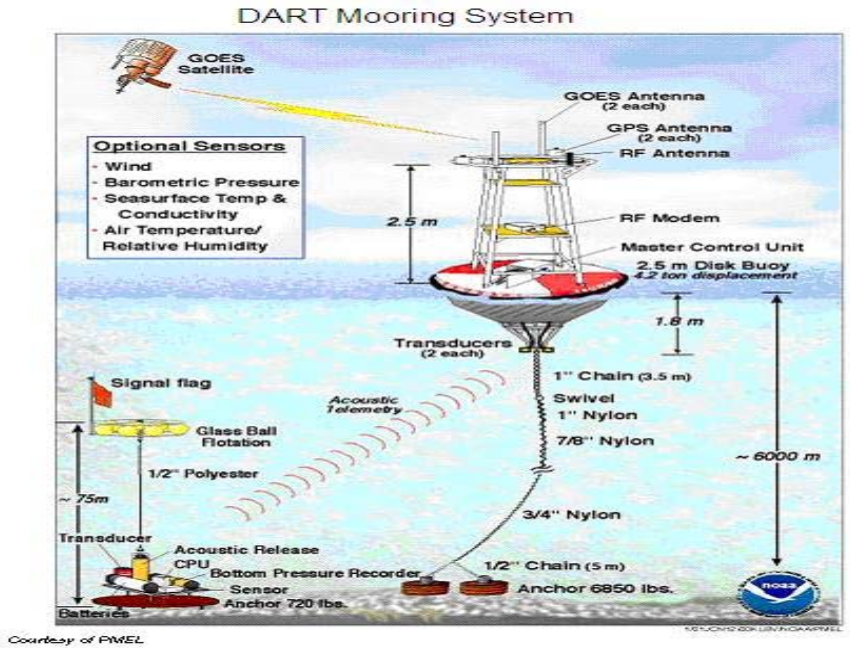
2.10 ΤΡΟΠΟΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΚΑΙ ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ .

Η πρόγνωση των τσουνάμι λαμβάνει χώρα με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η χρησιμοποίηση υπολογιστών, προκειμένου να προβλέψουμε πόσο μεγάλα, σε ύψος, τσουνάμι είναι δυνατό να φθάσουν στην ακτή για διαφορετικά είδη σεισμών. Όταν τοποθετηθούν αυτά τα δεδομένα σε χάρτες, οι προβλέψεις αυτές δίνουν τις καλύτερες οδούς διαφυγής αν συμβεί ένα τσουνάμι. Ο δεύτερος τρόπος πρόγνωσης γίνεται από κέντρα προειδοποίησης τσουνάμι τα οποία προειδοποιούν αμέσως μετά τη εκδήλωση ενός σεισμού ο οποίος μπορεί να προκαλέσει ένα επικίνδυνο τσουνάμι. (Περιοδικό 'Sientific American' Φεβρουάριος 2006)

Για την εφαρμογή των παραπάνω, οι ωκεανοί παρακολουθούνται από ένα σεισμολογικό δίκτυο, για τον άμεσο εντοπισμό των μεγάλων σεισμών και από πέντε τουλάχιστον καταγραφείς κυμάτων τσουνάμι, για την ανίχνευση των

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

πελώριων αυτών κυμάτων καθώς θα διασχίζουν τον ανοικτό ωκεανό και τέλος, από ένα δίκτυο παλιρροιογράφων κοντά στις ακτές, που θα λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο.



***Εικόνα 2*. Σύστημα που συμβάλλει στην πρόγνωση του τσουνάμι.**
(http://www.ndbc.noaa.gov/Dart/dart.shtml**)**

2.11 ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

2.11.1.Ο δείκτης παράκτιας επικινδυνότητας(coastal vulnerability index CVI)

Ο δείκτης παράκτιας επικινδυνότητας αποτελεί ένα δυναμικό, απλό, αντικείμενο και ένα μαθηματικό εργαλείο προσδιορισμού της επικινδυνότητας των παράκτιων ζωνών σε σχέση με μελλοντικές μεταβολές της στάθμης της θάλασσας. Η προσέγγιση αυτή συνδυάζει την <ευαισθησία> του παράκτιου συστήματος στις μεταβολές λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας, με τη φυσική δυνατότητα του για προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές και κλιματικές συνθήκες.

Οι μεταβλητές (ή παράμετροι κινδύνου) του δείκτη παράκτιας επικινδυνότητας [risk variables] χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:1.γεωλογικές μεταβλητές όπως η γεωμορφολογία, η παράκτια κλίση και η ιστορική αλλαγή ακτογραμμής και 2.μεταβλητές φυσικών διεργασιών όπως η σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, το μέσο σημαντικό ύψος κυμάτων και το μέσο εύρος παλίρροιας.

Οι φυσικές και γεωλογικές παράμετροι κινδύνου, μπορούν να ταξινομηθούν λαμβάνοντας τιμές από 1 έως 5.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

- Στην πολύ χαμηλή ταξινόμηση, με την τιμή 1, περιλαμβάνονται απότομες βραχώδης ακτές και φιόρδ, με ποσό διάβρωσης ακτογραμμής μεγαλύτερο από 2 μέτρα ανά έτος και με κλίση ακτής μέχρι 20%. Η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης δεν ξεπερνά τα 1,8 χιλιοστά ανά έτος. Ενώ αντιστοίχως, το μέσω μέγιστο ύψος κύματος φτάνει τα 0,55 μέτρα. Όσο αναφορά το μέσω εύρος της παλίρροιας, δεν ξεπερνά τα 6 μέτρα. Ένα παράδειγμα τέτοιας γεωμορφολογίας, αποτελούν τα σχήματα J22 και J24 όπου το κύμα εισχώρησε 80 με 150 μέτρα αντίστοιχα στις περιοχές.
- Στην χαμηλή ταξινόμηση, με τιμή 2, περιλαμβάνονται ήπιοι βράχοι και κοίλες ακτές, με ποσό διάβρωσης ακτογραμμής 1 με 2 μέτρα ανά έτος και κλήση ακτής 0,20 με 0,07%. Παρατηρείται επίσης σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης που φτάνει τα 1,8 με 2,5 χιλιοστά ανά έτος. Με μέσω μέγιστο ύψος κύματος 0,55 με 0,85 μέτρα και μέσω εύρος παλίρροιας 4 με 6 μέτρα. Παράδειγμα τέτοιας γεωμορφολογίας αποτελεί η περιοχή της εικόνας J26 στην οποία το νερό έφτασε τα 200 μέτρα.
- Η μέτρια ταξινόμηση , με τιμή 3, χαρακτηρίζεται από χαμηλούς βράχους, παγετώνες και προσχωματικές περιόδους όπου η κλήση της κυμαίνεται από 0,07 έως 0.04%. Ενώ η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης από 0.5 έως 2,95 χιλιοστά ανά έτος. Σε τέτοιες περιοχές η ακτογραμμή διαβρώνεται μέχρι 1 μέτρο ανά έτος ενώ παράλληλα παρατηρείται και πρόσχωση έως 1 μέτρο. Το μέσω μέγιστο ύψος κύματος, παίρνει τιμές από 0,85 μέχρι 1,05 μέτρα και το εύρος παλίρροιας από 2 έως 4 μέτρα. Ένα τέτοιο παράδειγμα απεικονίζεται στην εικόνα J23, όπου το κύμα εισχώρησε μέχρι 60 μέτρα.
- Χαλικώδες ακτές, εκβολές ποταμών και λιμνοθάλασσες παρουσιάζουν υψηλή ταξινόμηση, με τιμή 4, στις οποίες παρουσιάζεται, σχετική μεταβολή της θαλασσιάς στάθμης από 2,95 μέχρι 3,16χιλιοστά έτος. Το ποσό της πρόσχωσης ανέρχεται από 1 μέτρο έως και 2 μέτρα ανά έτος, με την ακτή να κλίνει από 0,04 ως 0,025%. Το μέγιστο εύρος της παλίρροιας κυμαίνεται από 1 με 2 μέτρα. Ενώ το μέσο μέγιστο ύψος 1,05 ως 1,25 μέτρα. Ένα τέτοιο παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα J21, όπου το νερό έφτασε στα 100 μέτρα.
- Τέλος αμμώδεις ακτές, υφάλμυρα έλη, δέλτα, κοραλλιογενείς ύφαλοι και παραλίες, παρουσιάζουν τιμή ταξινόμησης 5. Σ' αυτές τις περιοχές η κλίση της ακτής δεν ξεπερνά τα 0,025%, ενώ η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης καταγράφεται πάνω από 3,16 χιλιοστά ανά έτος. Το ποσό των ιζημάτων που προσχώνονται κατά μήκος της ακτογραμμής ανέρχεται στα 2 μέτρα. Επιπλέον, το

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

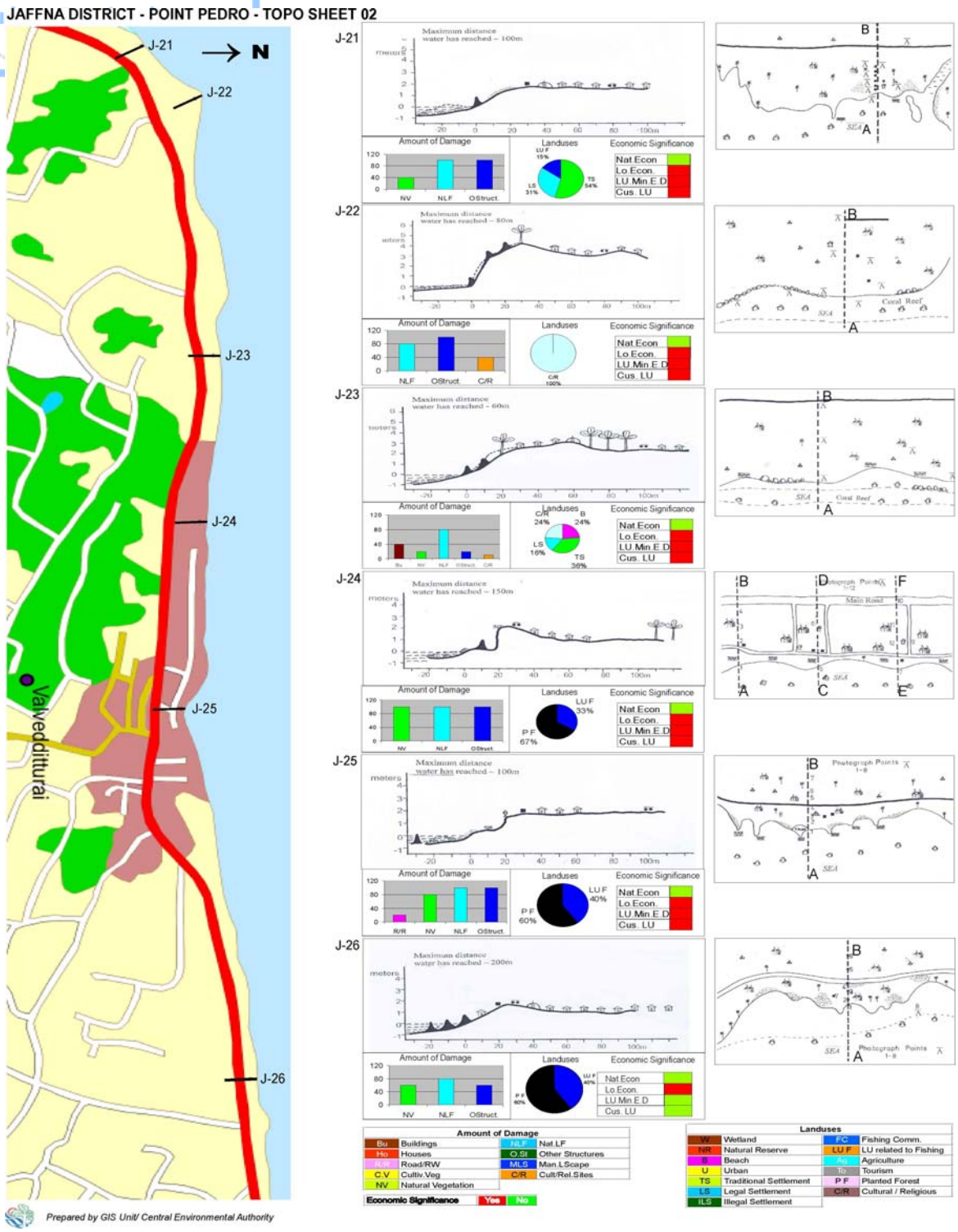
μέσο μέγιστο ύψος κύματος ξεπερνά τα 1,25 μέτρα, ενώ το μέσο εύρος της παλίρροιας παρατηρείται μικρότερο του 1 μέτρου. Η περιοχή που απεικονίζεται στην εικόνα J25 αποτελεί ένα τέτοιο παράδειγμα, όπου το νερό εισχώρησε μέχρι 100 μέτρα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω παρατηρείται ότι καθώς μεταβάλλεται η γεωμορφολογία, η διάβρωση των ιζημάτων μειώνεται, ενώ από κάποιο σημείο και μετά η πρόσχωση των ιζημάτων αυξάνεται, καθώς η τιμή της ταξινόμησης αυξάνεται. Το ποσό της κλίσης μειώνεται καθώς η τιμή της ταξινόμησης αυξάνεται. Αντίθετα η σχετική μετάβαση της θαλάσσιας στάθμης και το μέσο ύψος κύματος αυξάνεται όσο αυξάνεται και η τιμή της ταξινόμησης. Όλα τα παραπάνω μπορούμε να τα δούμε συνολικά στο παρακάτω πίνακα .

Ταξινόμηση	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή
Τιμή	1	2	3	4	5
Γεωμορφολογία	Απότομες βραχώδεις ακτές, φιόρδ	Ήπιοι βράχοι, κοίλες ακτές	Χαμηλοί βράχοι, παγετώνες, προσχωματικές πεδιάδες	Χαλικώδεις ακτές, εκβολές ποταμών, λιμνοθάλασσες	Αμμώδεις ακτές, υφάλμυρα έλη, δέλτα, κοραλλιογενείς ύφαλοι και παραλίες
Διάβρωση/ Πρόσχωση ακτογραμμής (m/έτος)	>2,0	1,0- 2,0	-1,0 – 1,0	-2,0 - -1,0	<-2,0
Κλίση ακτής (%)	>0,20	0,20– 0,07	0.07 – 0.04	0.04 – 0.025	<0.025
Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης (mm/έτος)	<1,8	1.8 –2.5	2.5 – 2,95	2,95 – 3,16	>3,16
Μέσο μέγιστο ύψος κύματος (m)	<0,55	0,55– 0,85	0,85 – 1,05	1.05 – 1.25	>1,25
Μέσο εύρος παλίρροιας (m)	>6.0	4,0-6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	<1,0

Πίνακας 2. **Ταξινόμηση και ποσοτικοποίηση των φυσικών και γεωλογικών παραμέτρων κινδύνου. (html://fisiki sto diadiktio/gr)**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμ



***Εικόνα 3*. Διαγράμματα από έξι περιοχές της SRI LANKA, που απεικονίζουν την εισχώρηση του κύματος ανάλογα με τη γεωμορφολογία της κάθε μίας. (Jayampathy S.. aet al, 2008)**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

2.11.2 ΕΙΔΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Υπάρχουν δύο είδη παράκτιας επικινδυνότητας:

1.Η απόλυτη επικινδυνότητα, για μια σημαντική και ενιαία γεωγραφική οντότητα, παράδειγμα ένα νησί ή μια χώρα.

Η ελάχιστη τιμή CVI=0.4

Η μέγιστη τιμή CVI=51,03.

2.Ησχετική επικινδυνότητα, μεταξύ γειτονικών παράκτιων ζωνών.

Η ελάχιστη τιμή CVI = η μικρότερη υπολογισμένη

Η μέγιστη τιμή CVI = η μεγαλύτερη υπολογισμένη

Όπου CVI =(α*b*c*d*e*f)/6

Και a,b,c,d,e και f οι παράμετροι ή μεταβλητές κινδύνου

2.12 Ο ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Μικρός αλλά υπαρκτός είναι ο κίνδυνος και στη Μεσόγειο Θάλασσα, ιδιαίτερα στην Ελλάδα λόγω της υψηλής της σεισμικότητας.

Στον ελλαδικό χώρο δεν γίνονται ισχυροί σεισμοί, οι οποίοι από μόνοι τους να προκαλούν μεγάλα τσουνάμι. Το μέγεθος τους όμως είναι τέτοιο που μπορεί να ανακινήσει ιζήματα και να υπάρξουν υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, σύμφωνα με τον καθηγητή της Υδραυλικής στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Καλιφόρνιας, Κώστα Συνολάκη.

Ένας σεισμός με επίκεντρο στην ξηρά και μικρός σε μέγεθος μπορεί να δώσει αρκετή επιτάχυνση σε σαθρά ιζήματα ώστε να γίνει μια υποθαλάσσια κατολίσθηση που θα δημιουργήσει ένα μεγάλο κύμα. Ο Κορινθιακός Κόλπος είναι μία από αυτές τις περιοχές.

Το τελευταίο μεγάλο τσουνάμι που έπληξε το Αιγαίο δημιουργήθηκε από το σεισμό της Σαντορίνης το 1956. Το κύμα ξεκίνησε από την περιηφαιστειακή περιοχή, όπου πιθανότατα να έγινε και μια υποθαλάσσια κατολίσθηση, και έφτασε στην ανατολική πλευρά της Αμοργού με ύψος 22-25 μέτρων.

Τα νησιά στο κεντρικό Αιγαίο ίσως να διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο όταν γίνονται σεισμοί. Προς το παρόν όμως δεν μπορούμε να μιλήσουμε πιο συγκεκριμένα. Για να γίνει κάτι τέτοιο, θα πρέπει να χαρτογραφηθεί με μεγάλη λεπτομέρεια ο ελληνικός βυθός. Αλλά οι έρευνες αυτές κοστίζουν και χρειάζονται πολύ χρόνο για να ολοκληρωθούν. Ως εκ τούτου, μόνο αμέλεια δεν μπορείς να χαρακτηρίσεις το γεγονός ότι δεν έχει χαρτογραφηθεί με λεπτομέρεια ο ελληνικός βυθός.

Η αλήθεια είναι ότι γνωρίζουμε τον πυθμένα της θάλασσας λιγότερο από την επιφάνεια του Άρη. Υπάρχουν ολόκληρα τμήματα ωκεανών τα οποία δεν έχουν χαρτογραφηθεί πλήρως .

Όταν βρισκόμαστε κοντά στη θάλασσα και αισθανθούμε ένα σεισμό, πρέπει να προχωρήσουμε προς ένα ψηλότερο σημείο της ξηράς. Αν ο σεισμός

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

αυτός είναι τοπικός, υπάρχει ένα διάστημα πέντε-έξι λεπτών, οπότε προλαβαίνουμε να αντιδράσουμε. Και η πλημμύρα από τοπικό τσουνάμι συνήθως προχωράει μέχρι και 100 μέτρα από την παραλία. Οπότε τα πράγματα δεν είναι και τόσο ανησυχητικά.

2.13 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

Πριν από 50 εκατομμύρια χρόνια στο Μεξικό προκλήθηκε ένα μεγάλο τσουνάμι από πτώση ενός μετεωρίτη, εκεί που σήμερα βρίσκεται ο κόλπος του Μεξικού, δημιουργώντας ένα μέγκα τσουνάμι που προχώρησε στην ξηρά 100 ολόκληρα χιλιόμετρα και η σκόνη άλλαξε το κλίμα της Γης. Πιστεύεται ότι η εξαφάνιση των δεινοσαύρων οφείλεται σε αυτή την αιτία.

Το γνωστό τσουνάμι της Σαντορίνης, γύρω στα 1490 π.Χ, που θεωρήθηκε η αιτία της καταστροφής του μινωικού πολιτισμού. Οφείλεται στην έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης και δημιουργήθηκε ένα μέγκα τσουνάμι ύψους 120 μέτρων, που δημιουργήθηκε από την κατάρρευση της καλντέρας έφτασε στα βόρεια παράλια της Κρήτης. Έτσι άρχισε σιγά-σιγά ο πολιτισμός τους να φθίνει. Βέβαια, τώρα ξέρουμε ότι το μέγκα τσουνάμι της Σαντορίνης δεν ευθύνεται αποκλειστικά για αυτή την καταστροφή. Μπορεί το συγκεκριμένο κύμα να μην εξαφάνισε τους Μινωίτες, βοήθησε όμως αρκετά: Πλημμύρισε τις σοδειές τους για δύο ολόκληρα χρόνια και η μέση θερμοκρασία έπεσε αρκετά.

Πάντως, το πρώτο καταγεγραμμένο αρχαιολογικά τσουνάμι συνέβη στην παράκτια Συρία κατά το 2000 π.Χ, καταγεγραμμένο από τον Ηρόδοτο.

Στην Ελλάδα το παλαιότερο είναι αυτό πού κατέστρεψε τον Περσικό στόλο στην Ποτίδαια τής Χαλκιδικής το 479 π.Χ.

Εντυπωσιακή είναι επίσης η ακριβής περιγραφή και εξήγηση μέσα σε λίγες λέξεις του Θουκυδίδη για το αντίστοιχο τσουνάμι στο Μαλλιακό-Ευβοϊκό του μεγάλου σεισμού του 426 π.Χ. «…αίτιον δ’ ’έγωγε νομίζω του τοιούτου, ˜‘η ισχυρότατος ο σεισμός ’εγένετο, κατά το˜υτο ’αποστέλλειν, τε την θάλασσαν και ’εξαπίνης πάλιν ’επισπωμένην βιαιότερον την ’επίκλυσιν ποιείν; ’'ανευ δε σεισμου ουκ ’'αν μοι δοκει˜ το τοιου˜το ξυμβη˜ναι γενέσθαι».

Τέλος το καταστρεπτικό τσουνάμι του ηφαιστείου Κρακατόα είναι ένα από τα πιο σημαντικά ιστορικά τσουνάμι. Για να καταλάβουμε τα γεγονότα που ακολούθησαν την έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης, πρέπει να δούμε τις καταστροφές που επακολούθησαν από μια άλλη, σχετικά πολύ μικρότερη έκρηξη, αυτή του ηφαιστείου Κρακατόα, που βρίσκεται στο στενό μεταξύ Ιάβας και Σουμάτρας, και έγινε 26 Αυγούστου 1883. Τότε οι εκρήξεις του ηφαιστείου είχαν ακουστεί ακόμα και 160 km μακριά, ενώ πυκνά σύννεφα καυτής στάχτης εκσφενδονίστηκαν μέχρι ύψος 27 km μέσα στον αέρα. Κατά μήκος της ακτής της Ιάβας και της Σουμάτρας έπεσε σκοτάδι, καθώς τα ηφαιστειακά σύννεφα σκέπασαν τον ήλιο. Το σκοτάδι αυτό διήρκεσε δυόμισι μέρες. Καταρρακτώδεις βροχές σποδού προστέθηκαν στην

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

αναταραχή. Στις 27 Αυγούστου, το ηφαίστειο Κρακατόα έφτασε στο μέγιστο της εκρηκτικότητας του. Οι θόρυβοι μιας σειράς εκρήξεων ακούστηκαν ως την Αυστραλία, σε απόσταση 5.000 km. Την ίδια ώρα, ηφαιστειακά αναβλήματα εκτινάχθηκαν πολλά χιλιόμετρα υψηλά στον ουρανό. Τα πιο λεπτόκοκκα τεμάχια, με τη βοήθεια των στρατοσφαιρικών ανέμων, περιέβαλαν την γη και χρειάστηκαν δύο χρόνια περίπου για να κατακαθίσουν. Υπολογίστηκε ότι 6-8 κυβικά χιλιόμετρα θραυσμάτων πετρωμάτων εκτινάχθηκαν στον αέρα κατά τη διάρκεια των παροξυσμών που κονιοποίησαν το Κρακατόα, με μια απελευθέρωση ενεργείας ίση με εκείνη της πιο ισχυρής υδρογονοβόμβας. Όπως ήταν φυσικό, η επίδραση από την έκρηξή του δημιούργησε ένα μέγα τσουνάμι, το οποίο έφτασε σε ύψος 38μ. από τη βάση ως την κορυφή, καθώς χτυπούσε τις ακτές της Ιάβας και της Σουμάτρας παρασύροντας στον θάνατο 36.000 ανθρώπους. Η δύναμη του τσουνάμι μπορεί να εκτιμηθεί από το γεγονός ότι μετέφερε ένα μεγάλο πλοίο 2,5 χλμ. στο εσωτερικό της ξηράς και το έριξε εκεί 10 μ. πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Πετρώματα που ζύγιζαν 50 τόνους μεταφέρθηκαν ακόμη μακρύτερα). Έτσι έγινε και στην Κνωσό αλλά σε μεγαλύτερη έκταση. Όπως φαίνεται και στο "σπίτι των πεσμένων ογκολίθων" της Κνωσού, ισχυρές ωστικές δυνάμεις ανατίναξαν κυριολεκτικά τεράστιες πέτρες, που καμιά ανθρώπινη δύναμη δεν θα ήταν δυνατόν να τις μετακινήσει, παρά μόνο με σημερινά μηχανικά μέσα. Η καταστροφή αυτή αποτέλεσε ένα γενικότερο γεωλογικό φαινόμενο που παρατηρήθηκε και στην Τροία, στην δυτική Μικρά Ασία και στην κεντρική Παλαιστίνη, όπως επίσης έδειξαν οι ανασκαφές. Ο κρητικός στην καταγωγή καθηγητής Συνολάκη έκανε ένα υπολογιστικό μοντέλο της έκρηξης του ηφαιστείου της Θήρας που έγινε πριν από 3.500 χρόνια. Σύμφωνα με αυτό, ένα τσουνάμι διέσχισε αστραπιαία τα 100 χλμ. απόστασης από την Κρήτη και τη σάρωσε με κύματα ύψους 12 μ.. Αλλά και τα πρόσφατα ευρήματα στη βυθισμένη Ελίκη της Αιγιαλείας μιλούν για τσουνάμι που την κατέστρεψαν, μέσα σε μια θάλασσα τόσο μικρή όσο είναι ο Κορινθιακός Κόλπος ώσπου τα πλοία ακούμπησαν στον πυθμένα, και μετά τα εκτίναξε σε ύψος 10 μ. - φέρνοντας τούμπες πάνω από άλλα πλοία - και τα βύθισε.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

2.14 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ 26 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ ΤΟΥ 2004 ΜΕ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΣΤΙΣ 26 ΜΑΡΤΙΟΥ 2005 ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που αφορούν ξεχωριστά κάθε σεισμό παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των φαινομένων. Η θέση αυτή επιβεβαιώνεται και για ακόμα έναν πολύ ισχυρό σεισμό ο οποίος σημειώθηκε κατά μήκος του ίδιου ρήγματος στις 26 Μαρτίου 2005.Η αρχική διάρρηξη σημειώθηκε σε ανάλογη απόσταση από την ακτογραμμή της Σουμάτρας και σχεδόν στο βάθος κάτω από τον θαλάσσιο πυθμένα με το σεισμό του Δεκεμβρίου τού 2004,ενώ αμφότεροι συγκαταλέγονται μεταξύ των δέκα ισχυρότερων σεισμών που έχουν καταγραφεί από το 1900.Ωστόσο,τα τσουνάμι που προκάλεσαν διέφεραν μεταξύ τους.

Βλέποντας στις οθόνες των υπολογιστών τους το μέγεθος του σεισμού του Μαρτίου να εκτοξεύεται στο 8,7 της κλίμακας Richter, οι επιστήμονες του Κέντρου Προειδοποίησης Τσουνάμι στον Ειρηνικό αλλά και αλλού, ετοιμάζονταν για τα χειρότερα. Πράγματι, σημειώθηκαν μεγάλες καταστροφές από τις ισχυρότατες εδαφικές δονήσεις, δεν υπήρξε όμως καμία άμεση αναφορά καταστροφών από τσουνάμι. Όταν, ύστερα από 2 εβδομάδες μια διεθνής αποστολή (στην οποία συμμετείχε και ένας από τους γράφοντες, ο Titov) επιθεώρησε την περιοχή, υπολόγισε ότι το ύψος των τσουνάμι έφτασε τα 4 μέτρα-τα οποία μπορούν κάλλιστα να αποβούν μοιραία. Μερικοί κάτοικοι της Ινδονησίας διηγήθηκαν ότι, έχοντας διδαχτεί από την προηγούμενη εμπειρία τους έτρεξαν προς την ενδοχώρα όταν η Γη άρχισε να τρέμει .Ωστόσο, η αποτελεσματικότερη εκκένωση της περιοχής από τον πληθυσμό είναι ένας μόνο από τους λόγους που το τσουνάμι του Μαρτίου δεν υπήρξε καταστροφικότερο.

Μετά τις αναλύσεις της μετασεισμικής ακολουθίας του συμβάντος του Δεκεμβρίου, ο Andrew Newmann, του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Τζόρτζια στις ΗΠΑ και η Susan Bilek, του Ινστιτούτου Μεταλλείων και Τεχνολογίας του Νιου Μεξικό, συμπέραναν ότι εκείνη τη φορά η ολίσθηση κατά μήκος του ρήγματος έλαβε χώρα κοντά στη βαθιά τάφρο, οπότε το ύψος του υπερκείμενου ύδατος ήταν μεγαλύτερο απ' ό,τι εκείνου που κάλυπτε το κύριο τμήμα του ρήγματος το οποίο διολίσθησε στο σεισμό του Μαρτίου. Έτσι, το τσουνάμι του Δεκεμβρίου είχε τη δυνατότητα να αποκτήσει πολύ μεγαλύτερο ύψος, κινούμενο από τα βαθιά προς τις ακτές. Επιπλέον (όπως δημοσίευσε ένας από εμάς-ο Συνολάκης με τους μαθητές του-στο περιοδικό Science),σε αντίθεση με το τσουνάμι του Δεκεμβρίου, η μετακίνηση του ρήγματος στο συμβάν του Μαρτίου πραγματοποιήθηκε κάτω από τις νήσους Νιας και Σιμεουλούε, περιορίζοντας έτσι την ποσότητα ύδατος που μπορούσε να μετατοπιστεί από το ανυψούμενο τμήμα του φλοιού.

Η μικρή στη διεύθυνση διάρρηξης στη συγκεκριμένη ρηξιγενή ζώνη κατά τη διάρκεια των δύο σεισμών είχε ως αποτέλεσμα τα τσουνάμι που

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

δημιουργήθηκαν να διαδοθούν σε δύο διαφορετικές γενικές κατευθύνσεις. Στην περίπτωση του σεισμού του Μαρτίου του 2005,η πλειονότητα των ανατολικών κυμάτων ξέσπασε με μανία πάνω στη Σουμάτρα, η οποία με τον τρόπο αυτό αναχαίτισε την περαιτέρω μεταφορά της ενέργειάς τους προς την Ταιλάνδη και τη Μαλαισία .Στα δυτικά, τα κύματα ξεχύθηκαν στον ανοικτό ωκεανό με νοτιοδυτική κατεύθυνση, προσπερνώντας έτσι σε βαθμό τη Σρι Λάνκα, την Ινδία και τις Μαλβίδες, περιοχές που είχαν πληγεί σοβαρά κατά το σεισμό του Δεκεμβρίου. Τα παραπάνω παραδείγματα τονίζουν πόσο κρίσιμης σημασίας για τις μετέπειτα συνέπειες είναι ακόμη και μικρές διαφοροποιήσεις ως προς τη θέση που σημειώνεται ένας σεισμός.

■Σημαντικές διαφορές:

Στις 26 Μαρτίου 2005, τρεις μήνες μετά το σεισμό που προκάλεσε το τσουνάμι του Δεκεμβρίου 2004, ένας δεύτερος, πολύ μεγάλος σεισμός συγκλόνισε το ίδιο ρήγμα. Σύμφωνα με υπολογιστικές προσομοιώσεις, το προκληθέν τσουνάμι θα ήταν συγκρίσιμο σε σφοδρότητα και μέγεθος με το προηγούμενο, ωστόσο αποδείχτηκε σχετικά ήπιο. Τα αρχικά κύματα που σήκωσε είχαν ύψος 8 μέτρα το Δεκέμβριο και 3,5 μέτρα το Μάρτιο. Μέσο ενδελεχούς μελέτης, οι ερευνητές αποκάλυψαν τέσσερις κύριους λόγους της αναπάντεχης διαφοράς. Ο σεισμός του Μαρτίου απελευθέρωσε 15 φορές λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τον προηγούμενο του Δεκεμβρίου (το μέγεθος του ήταν 8,7, ενώ του Δεκεμβρίου μεγαλύτερο του 9). Σημειώθηκε βαθύτερα μέσα στο ρήγμα, οπότε περιορίστηκε η ενέργεια που μπορούσε να διοχετευτεί στα υπερκείμενα ύδατα. Συνέβη κάτω από ρηχά νερά, ανυψώνοντας συνεπώς μικρότερο υδάτινο όγκο, ενώ το Δεκέμβριο μέρος του τσουνάμι δημιουργήθηκε πάνω από τη βαθιά τάφρο της Σούνδης. Τέλος, χτύπησε περί τα 100 χιλιόμετρα νοτιότερα, οπότε τα περισσότερα από τα ανατολικά κύματα του προσέκρουσαν στη Σουμάτρα-η οποία με τον τρόπο αυτό προφύλαξε την Ταϊλάνδη και τη Μαλαισία-, ενώ η μέγιστη μετατόπιση του ρήγματος βρισκόταν κάτω από τα νησιά Νίας και Σιμεουλούε, και έτσι μειώθηκε ακόμη περισσότερο ο όγκος θάλασσας που ανυψώθηκε κατά το σεισμό.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ

3.1 ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η παράκτια γεωμορφολογία διαπραγματεύεται την εξέλιξη των παράκτιων μορφών, όπως πετρώδεις ακτές, παραλίες, θίνες, εκβολές και δέλτα ποταμών, λαγκούνες και γκρεμοί, τις διαδικασίες που τις διαμορφώνουν και τις αλλαγές που λαμβάνουν χώρα. Η παράκτια γεωμορφολογία σχετίζεται με πετρώδεις σχηματισμούς, δομές και ιζήματα που βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές και παρέχουν το υπόβαθρο της μορφολογίας.

Εκτός από τα σχόλια που προκύπτουν από κλασσικούς Έλληνες και Ρωμαίους παρατηρητές και Leonardo Da Vinci, οι πρώτες συστηματικές προσπάθειες για την ερμηνεία των παράκτιων σχηματισμών χρονολογούνται το 19° αιώνα, από επιστήμονες όπως ο Charles Lyell, ο Charles Darwin και ο πρωτοπόρος Αμερικανός γεωμορφολόγος William Morris Davis. Ωστόσο, η παράκτια έρευνα διαδόθηκε και εξελίχθηκε τις τελευταίες δεκαετίες.

3.2.ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ ΚΑΙ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Μιλώντας για τη μορφολογία, είναι καλύτερο να ξεκινήσουμε από το τελικό προϊόν, τη μορφολογία της παραλίας που αντανακλά την σύσταση των ιζημάτων της, τις φυσικές διαδικασίες των κυμάτων και τη μεταφορά των ιζημάτων. Ο όρος ‘παραλία’ αναφέρεται συνήθως ως μια συγκέντρωση αποσταθεροποιημένων ιζημάτων, όπως άμμο, χαλίκια, κροκάλες, επεκτεινόμενα από τη μέση γραμμή της χαμηλής παλίρροιας σε κάποια φυσιογραφική αλλαγή, όπως ένας γκρεμός, κάποια θίνα ή κάποιο σημείο με μόνιμη βλάστηση.

Ο όρος ‘παραθαλάσσιος’ χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό ολόκληρου του περιβάλλοντος. Δηλαδή, τη ζώνη που επεκτείνεται κατά μήκος της ακτής προς το νερό, στο βάθος του οποίου, τα ιζήματα μεταφέρονται με χαμηλότερη δύναμη από τα επιφανειακά κύματα. Ωστόσο, αυτός ο ορισμός είναι ανακριβής καθώς τα κύματα μεταφέρουν ιζήματα σε μεγάλα βάθη νερού, μέχρι 10-20 μέτρα. Πρακτικά, ο όρος ‘παραλία’ θεωρείται συνώνυμος του όρου της παραθαλάσσιας ζώνης. Ο όρος ‘παράκτιος’ αναφέρεται για την περιοχή που επεκτείνεται προς την ενδοχώρα, περιλαμβάνοντας θαλάσσιους γκρεμούς, πεδία θινών και δέλτα ποταμών. Η παράκτια περιοχή επεκτείνεται προς τη θάλασσα, από την ακτή μέχρι την περιοχή που θραύονται τα κύματα.

Παρακάτω παραθέτονται δύο σχήματα που απεικονίζουν α) την ορολογία που χρησιμοποιείται για τη διαδικασία των κυμάτων και των θαλάσσιων ρευμάτων στη παράκτια περιοχή(nearshore) και β) την ορολογία που χρησιμοποιείται για να περιγραφεί το προφίλ της ακτής.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ:

Foreshore:το τμήμα της ακτής μεταξύ του υψηλότερου και του χαμηλότερου επιπέδου στο οποίο φτάνει το κύμα.

Backshore:η ζώνη της ακτής που εκχύνεται από το σημείο που υπάρχει βλάστηση ή μεταβολή στη φυσιογραφία (θίνες, γκρεμοί) μέχρι το τμήμα της ακτής, μεταξύ του υψηλότερου και του χαμηλότερου επιπέδου στο οποίο φτάνει το κύμα.

Derm:το οριζόντιο τμήμα της παραλίας που σχηματίζεται από την απόθεση των ιζημάτων μέσω των κυμάτων. Κάποιες παραλίες έχουν περισσότερα από ένα τέτοιο τμήμα σε διαφορετικά επίπεδα, χωρισμένα από γκρεμούς.

Braker zone:η ζώνη θραύσης των κυμάτων

Inshore:η ζώνη της ακτής μεταξύ του τμήματος της ακτής, όπου παρατηρείται το υψηλότερο ή το χαμηλότερο επίπεδο, καθώς διέρχεται το κύμα, μέχρι πέρα από τη ζώνη θραύσης.

Longshore bar:μια υποθαλάσσια ράχη άμμου, παράλληλη προς την ακτή, που κάποιες φορές συνεχίζεται για μεγάλες αποστάσεις ή παρουσιάζει σπασίματα. Εκτίθεται σε χαμηλή παλίρροια. Συχνά υπάρχουν σειρές ράχεων παράλληλες σε άλλες, αλλά σε διαφορετικά βάθη νερού που διαχωρίζονται από κοίλα σημεία.

Longshore though:κοίλα βυθίσματα παράλληλα προς την ακτή, που συχνά αναπαριστούν το χαμηλότερο σημείο μεταξύ των διαδοχικών υποθαλάσσιων ράχεων.

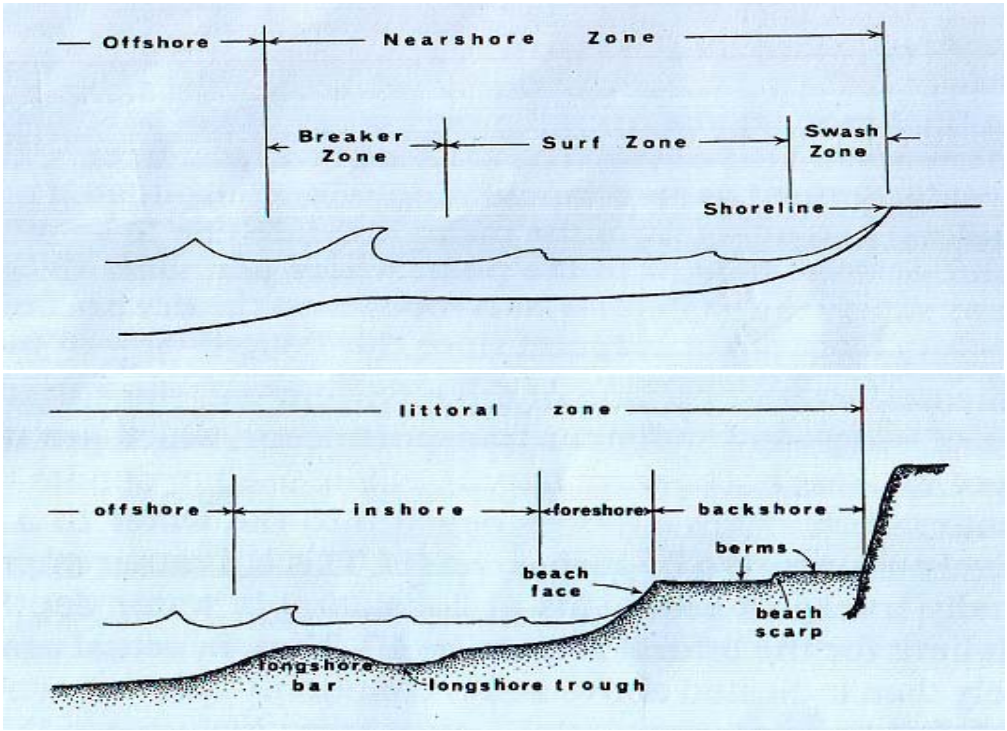
Offshore:το τμήμα της ακτής που επεκτείνεται από τη ζώνη θραύσης μέχρι την άκρη της υφαλοκρηπίδας. Αφορά επίσης το νερό και τα κύματα της παράκτιας ζώνης.

Scarp:κατακόρυφη γκρεμοί που χωρίζουν την ακτή λόγω της διάβρωσης.

Shoreline:ακτογραμμή

Swash zone:το τμήμα της παράκτιας περιοχής που καλύπτεται από νερό κατά την είσοδο του κύματος και εκτίθεται κατά την υποχώρηση του.

Surf zone:η ζώνη του κύματος, μεταξύ της ζώνης θραύσης και ζώνης που ενεργοποιεί το κύμα.



Σχήμα 3.
Σχηματική επεξήγηση της μορφολογίας των ακτών. (Konar P., 1995)

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ

Οι ακτογραμμές υπήρχαν ήδη από τον αρχικό σχηματισμό των ωκεανών στην επιφάνεια της Γης, περίπου πριν από 4000 εκατομμύρια χρόνια, αλλά είναι ιδιαίτερα δύσκολο να βρεθούν οι πρωτοσχηματιζόμενες ακτογραμμές καθώς υπέστησαν διάβρωση ή καλύφθηκαν από αποθέσεις. Αποθέσεις σχετικές με την ύπαρξη ακτογραμμών κατά το Μεσοζωϊκό και το Τριτογενές μπορούν να βρεθούν στην στρωματογραφία της νότιας Βρετανίας. Στους λόφους Haldon,ανατολικά του Partmoor,υπάρχει χαλικώδεις αμμουδιά, με κοράλλια και μαλάκια, που αντιπροσωπεύει μια παραλία του Κάτω Κρητιδικού, πριν από 110 εκατομμύρια χρόνια. Άλλες αποδείξεις ιστορικών ακτογραμμών διασώζονται εσωτερικά της περιοχής. Στο λατομείο του λόφου Kank, κοντά στη Kutna Hora, περίπου 70 χιλιόμετρα ανατολικά της Πράγας, είναι πιθανό να συναντήσουμε ακτή του Άνω Κρητιδικού, που σχηματίστηκε πριν από 95 εκατομμύρια χρόνια.

Ευδιάκριτες αποδείξεις σχετικά με τον σχηματισμό ακτογραμμών σχετίζονται οι πιο πρόσφατες γεωλογικοί περίοδοι , το Τεταρτογενές ,που αρχίζει πριν από 2,3 εκατομμύρια χρόνια και το Ολόκαινο, που ξεκίνησε πριν από 10000 χρόνια. Κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς παρατηρήθηκαν σημαντικές διακυμάνσεις στο επίπεδο της θάλασσας και κλιματικές αλλαγές που επηρέασαν σε παγκόσμια κλίμακα. Επομένως , είναι πιθανό να βρεθούν ακτογραμμές του Τεταρτογενούς πάνω και κάτω από την παρούσα στάθμη της θάλασσας. Παράκτιες χέρσοι καλύφθηκαν από αποθέσεις , όπως νοτιοανατολικά των Ηνωμένων Πολιτειών που πιθανόν να περιέχουν υπολείμματα των πρωτοσχηματιζόμενων ακτογραμμών του Πλειστοκαίνου και του Ολόκαινου, παρέχοντας αποδείξεις για τις συνθήκες σχηματισμού.

Κατά τη διάρκεια των ψυχρών κλιματικών φάσεων του Τεταρτογενούς , όταν οι παγετώνες ήταν εκτεταμένοι, το επίπεδο της θάλασσας σε παγκόσμιο κλίμακα ήταν χαμηλότερο απ’ ότι είναι τώρα. Αντιθέτως ,όταν η εποχή των Παγετώνων έδωσε τη θέση της σε ηπιότερες συνθήκες, τότε παρατηρήθηκε μια σημαντική παγκόσμια άνοδο του επιπέδου της θάλασσας. Οι υπάρχουσες παράκτιες χέρσοι σχηματίστηκαν τα τελευταία 6000 χρόνια, όπου η στάθμη της θάλασσας ήταν παρόμοια και το παγκόσμιο κλίμα κυμαίνονταν στις τωρινές συνθήκες. Κάποιες ακτές έχουν χαρακτηριστικά που κληρονομήθηκαν από τα αρχικά περιβάλλοντα.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.4.ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗ

Το σχήμα των παράκτιων περιοχών επηρεάζεται από διάφορους μορφογενετικούς παράγοντες. Αυτοί περιλαμβάνουν τη γεωλογία, που καθορίζει τη μορφή των πετρωμάτων στην ακτή ,στον πυθμένα και στην ενδοχώρα και τις κινήσεις του φλοιού της Γης, που έχουν ως αποτέλεσμα την ανύψωση, την κλίση, την πτύχωση τη ρηγμάτωση και την καθίζηση των παράκτιων σχηματισμών. Κλιματικοί παράγοντες επηρεάζουν το καθεστώς του νερού και των κυμάτων, που σχηματίζουν τους παράκτιους χαρακτήρες και επιδρούν στη διαδικασία της αποσάθρωσης, που αποσυνθέτει και θρυμματίζει τα παράκτια πετρώματα σε κάθε είδος περιβάλλοντος. Το κλίμα καθορίζει επίσης την παράκτια βλάστηση και την πανίδα σε περιοχές όπως τα έλη και οι κοραλλιογενείς ύφαλοι. Οι παράκτιες διαδικασίες περιλαμβάνουν τις επιδράσεις από τις ανυψώσεις και τις καθόδους των παλιρροιών, από τα ρεύματα που τις συνοδεύουν και που επηρεάζονται από ωκεανογραφικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία της θάλασσας και η αλμυρότητα της. Κατά τη διάρκεια των γεωλογικών χρόνων, οι αρχικές ακτογραμμές υπέστησαν μεταβολές, που συνεχίζουν να επηρεάζουν την εξέλιξη των σημερινών ακτογραμμών. Πέρα από τις μεταβολές που υφίστανται από τους φυσικούς παράγοντες, οι δραστηριότητες των ανθρώπων στις παράκτιες περιοχές και στην ενδοχώρα έχουν τροποποιήσει την εξέλιξη τους.

Η εξέλιξη των παράκτιων περιοχών μπορεί να συσχετιστεί με κάποιο μορφογενετικό σύστημα όπου διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην ακτή. Υπάρχει συνεισφορά ενέργειας και υλικών που αλληλεπιδρούν για να σχηματίσουν τις παράκτιες περιοχές. Επιπλέον, ανατροφοδοτούνται σε ιζήματα με αποτέλεσμα η μεταβαλλόμενη αυτή μορφολογία να τροποποιεί τις γεωμορφολογικές διαδικασίες και συνεπώς να γίνεται ένας παράγοντας που επηρεάζει τις επικείμενες αλλαγές που μπορούν να μελετηθούν σε αντιστοιχία με τις ποικίλες παράκτιες διαδικασίες σε συγκεκριμένες περιόδους. Έχουν γίνει προσπάθειες να ποσοτικοποιηθούν οι διάφορες εισαγωγές, να περιγραφούν και να αναλυθούν μαθηματικά οι αλληλεπιδράσεις, αλλά η υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος είναι δύσκολο να επιτευχθεί.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.5 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 6000 χρόνων, κάποιες ακτογραμμές έχουν μεταβληθεί λίγο, ενώ οι περισσότερες έχουν επεκταθεί ή έχουν υποχωρήσει. Μια ακτογραμμή επεκτείνεται όταν η απόθεση των ιζημάτων υπερβαίνει το ποσό της διάβρωσης, όταν υπάρχει ανύψωση της χέρσου ή όταν υπάρχει πτώση του επιπέδου της θάλασσας. Αντιθέτως, υποχωρεί ως αποτέλεσμα της διάβρωσης, ξεπερνώντας την απόθεση, ή όταν υπάρχει υποβύθιση, εξαιτίας της καθίζησης της χέρσου ή της ανύψωσης του επιπέδου της θάλασσας.

Οι ακτογραμμές έχουν μεταβληθεί με διάφορους ρυθμούς σε αντιστοιχία με την παράκτια εξέλιξη, που περιλαμβάνει ξαφνικές μεταβολές κατά τη διάρκεια καταιγίδων, σεισμών, τσουνάμι, ηφαιστειακών εκρήξεων και σταδιακές μεταβολές σε ομαλότερες περιόδους. Οι αλλαγές στην ακτογραμμή μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κλίμακες του χρόνου ,από τα τελευταία χίλια χρόνια, που περιλαμβάνει τους τελευταίους αιώνες και δεκαετίες ,σύμφωνα με ετήσιες και εποχιακές διακυμάνσεις ,σχετικές με παλίρροιες και καιρικά φαινόμενα. Κάποιες μεταβολές παρουσιάζουν περιοδικότητα κατά τη διάρκεια των χρόνων. Κάποιες άλλες συνεχίζουν ως διάβρωση ή απόθεση.(Stapor et al. 1991, Cambers 1976)

Μετρήσεις, σχετικά με τις μεταβολές τις μεταβολές των ακτών, μπορούν να γίνουν από την σύγκριση ιστορικών χαρτών και διαγραμμάτων με σύγχρονους χάρτες, αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές λήψεις (Carr 1962). Χάρτες και διαγράμματα με επαρκή ακρίβεια είναι διαθέσιμα από για περιοχές της Δυτικής Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής από τους τελευταίους δύο αιώνες αλλά για τις περισσότερες ακτογραμμές οι πληροφορίες είναι περιορισμένες. Σε ακτές με μεγάλη έκταση, οι αλλαγές προσδιορίζονται από ιστορικές και αρχαιολογικές ενδείξεις, όπως στη Μεσόγειο Θάλασσα, όπου είναι πιθανό ν' ανιχνευθεί τοπικά η προώθηση ή η υποχώρηση τμημάτων της ακτογραμμής κατά τη διάρκεια των 2000 χρόνων(Kraft et al.,1988).Οι μεταβολές που έχουν καταγραφεί μέχρι τώρα για το επίπεδο της θάλασσας μπορούν να προσδιοριστούν από ενδείξεις της προγενέστερης επιφάνειας του εδάφους ή από στρωματογραφικές και ιζηματογενείς αναλύσεις των παράκτιων σχηματισμών, χρησιμοποιώντας ραδιομετρικές και άλλου τύπου αναλύσεις ,όπως επίσης, παλαιοντολογικές και αρχαιολογικές ενδείξεις.

Αεροφωτογραφίες έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές φορές ως βοήθεια χαρτογράφησης και καταγραφής της παράκτιας μεταβολής για τη μελέτη του παράκτιου πυθμένα. Δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιήθηκαν για την ανεύρεση παράκτιων μεταβολών τις τρεις τελευταίες δεκαετίες.

Κάποιες μεταβολές στην ακτογραμμή είναι αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας ,όπως εγγειοβελτιώσεις, κατασκευές επέκτασης των παραλιακών περιοχών, όπου κατά τόπους η ακτογραμμή μετατοπίστηκε αρκετά χιλιόμετρα.(Frendi 1997). Παράδειγμα αποτελούν η Ασία, η

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Σιγκαπούρη και το Τόκιο, που τις τελευταίες δεκαετίες έχουν ενισχύσει τις ακτογραμμές τους κατά 10%.

Οι ακτογραμμές, τέλος ,έχουν επίσης τροποποιηθεί από την εισαγωγή δομών, όπως κυματοθραυστών και φραγμάτων, που στοχεύουν στην αποτροπή απειλούμενης διάβρωσης λιμανιών, παράκτιων πόλεων και χωριών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, πολλές από αυτές να θεωρούνται πλέον τεχνητές. Η σωστή διαχείριση τους θα μπορούσε να διατηρήσει τα φυσικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος και να τις προστατεύσει από πιθανές φυσικές καταστροφές.

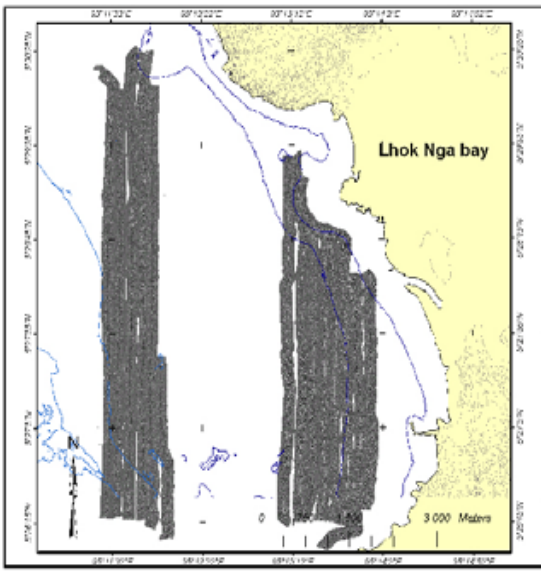
3.6 ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΟΡΦΟΪΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗ

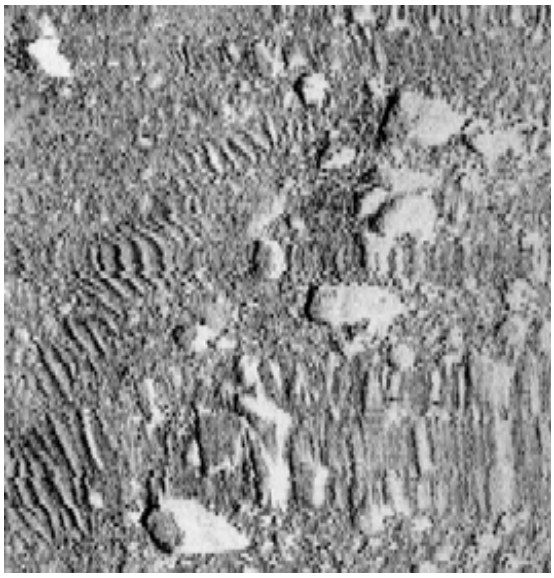
Η υποθαλάσσια επίδραση του τσουνάμι δεν αντικατοπτρίζεται μόνο στους κοραλλιογενείς υφάλους .Αρκετές ενδείξεις παρουσιάζουν πιο βαθιές αναταράξεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα μετά την έλευση του τσουνάμι. Η καλύτερη παρατήρηση και ερμηνεία των υποθαλάσσιων μεταβολών θα πραγματοποιούνταν δια μέσου ενός μωσαϊκού sonar βαθυμετρίας. Η χρήση του συνέβαλε στην ανάλυση δεδομένων που επέτρεψαν τη διαφοροποίηση τύπων, όπως μιας πετρώδης επιφάνειας ή ρυτιδώσεις πάνω στην άμμο.

Η εφαρμογή του στον κόλπο του Lhok Nga έδειξε τα παρακάτω:το νότιο μέρος του κόλπου χαρακτηρίστηκε από σωρούς απορριμμάτων , όπως από δένδρα, αυτοκίνητα ή σπίτια, όπου η ένταση αυξάνονταν καθώς προσέγγιζαν την ακτή από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Η παραμονή τους στον ποταμό του Lhok Nga ,αφορά μια ζώνη όπου η ανύψωση του τσουνάμι σταμάτησε πολύ γρήγορα σε μια κατωφέρεια, μειώνοντας τη μεταφορά των απορριμμάτων μέσα στο έδαφος .Η οπισθοχώρηση του κύματος παρέσυρε σημαντικό όγκο απορριμμάτων ,ιδιαίτερα μέσα από το κεντρικό τμήμα του κόλπου.

Η παρουσία κοραλλιογενών υφάλων σε βάθος 10-20 μέτρα δίνει την εικόνα του βάθους επίδρασης του τσουνάμι καθώς προσέγγισε τις ακτές . Με τον ίδιο τρόπο η οπισθοχώρηση επηρέασε μέχρι το βάθος των 20 μέτρων. Η γρήγορη αναδιοργάνωση στις ρυτίδες της άμμου εμπόδισε στον προσδιορισμό των ιχνών που σχηματίστηκαν από το πέρασμα του τσουνάμι.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γε
Α.Π





***Εικόνα 4*. Κάλυψη του προφίλ του sonar μέσα στον κόλπο του Lhok Nga(Αύγουστος 2006) και μωσαϊκό που δείχνει τις ρυτιδώσεις στην άμμο.**
(Atwater F.,et al, 2005)

3.7 ΙΖΗΜΑΤΑ, Η ΚΥΡΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ

3.7.1.Σύσταση των ιζημάτων

Τα ιζήματα στην παραθαλάσσια ζώνη μπορούν να συγκροτούνται από διάφορα υλικά που είναι διαθέσιμα σε σημαντικές ποσότητες και έχουν κατάλληλο μέγεθος κόκκων για να παραμείνουν στην ακτή. Οι περισσότερες παραλίες σε εύκρατες περιοχές της Γης αποτελούνται από χαλαζία και μαρμαρυγία ,που προέρχεται από την αποσάθρωση των γρανιτών , των γνευσίων και των σχιστολίθων, πετρώματα που αφθονούν στις ηπείρους.

Εκτός από τον χαλαζία και τη μαρμαρυγία, τα ιζήματα των ακτών περιέχουν επίσης μικρές ποσότητες ορυκτών, όπως επίδοτο, τουρμαλίνη, ζιρκόνιο και μαγνητίτη. Τα ορυκτά αυτά παρουσιάζονται πιο πυκνά και σκουρόχρωμα από τον χαλαζία και τη μαρμαρυγία. Οι κόκκοι των ακτών εμφανίζονται συνήθως σε ακτές, πλούσιες σε χαλαζία, ως μικρές σκουρόχρωμες κηλίδες. Ωστόσο, εξαιτίας της διαφορετικής υδραυλικής συμπεριφοράς , τα ορυκτά συγκεντρώνονται συχνά ως σκούρες λεπτές στρώσεις μέσα στην άμμο, ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης πυκνότητας και της μικρότερης διαμέτρου των κόκκων τους. Η παρουσία συγκεκριμένων ορυκτών προσδιορίζει τον τύπο των πετρωμάτων απ' όπου προέρχονται.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.7.2.Μεταφορά των ιζημάτων

Για να μπορέσει ένα μόριο νερού να παρασυρθεί κατά τη διάρκεια ροής ενός ρευστού, θα πρέπει να πληρεί δύο προϋποθέσεις :

Α)Η περιοχή που τη διαπερνά το κύμα θα πρέπει να έχει διαβρωθεί κάπου στην επιφάνεια της .

Β) Θα πρέπει να μεταφερθεί από τη διαβρωμένη περιοχή δια μέσου της ροής .

Σε αυτήν τη θεωρία, ο Einstein πρόσθεσε ότι αυτές οι δύο προϋποθέσεις μπορούν να περιορίσουν το βαθμό της μεταφοράς των ιζημάτων ανάλογα με:

Την ικανότητα της μεταφοράς της ροής .

Τη διαθεσιμότητα σε υλικά. στην επιφάνεια της περιοχής .

Το ποσό των μεταφερόμενων υλικών που μεταφέρονται από τους χείμαρρους, χωρίζονται σε δύο ομάδες :

Σ' αυτά που καθορίζουν την ικανότητα της μεταφοράς των ιζημάτων από τη ροή του νερού, όπως η γεωμετρία, το πλάτος, το σχήμα τους ,η παράταξη τους, το βάθος που βρίσκονται, η ταχύτητα των κόκκων των ιζημάτων, όπως επίσης με πόση ταχύτητα θα περάσει το κύμα και πόσο βίαιο θα είναι.

Σ' αυτά που αντανακλούν την ποσότητα και την ποιότητα των υλικών που είναι διαθέσιμα για μεταφορά και επηρεάζονται από τη ροή, τη γεωλογία, την φυτοκάλυψη της περιοχής, όπως επίσης και από τα καιρικά φαινόμενα της βροχής και του χιονιού.

Η ποσοτική ανάλυση, που ισοδυναμεί με το τροφοδοτούμενο υλικό ιζημάτων στους χείμαρρους από την επιφάνεια του εδάφους, είναι συνήθως δύσκολη γιατί εμπλέκονται περίπλοκες φυσικές διεργασίες ,σχετικές με τη διαθεσιμότητα του χώρου και του χρόνου. Οι παράμετροι περιγράφονται σε συνάρτηση με τη διάβρωση από τις τοπικές καταιγίδες και τις παράκτιες διαδικασίες διάβρωσης . Η ικανότητα μεταφοράς των ιζημάτων ,σύμφωνα με το όριο εφοδιασμού σε υλικά, μπορεί να καθοριστεί σαν λειτουργία της υδραυλικής μεταβλητότητας και της μορφής της ροής κατά μήκος της περιοχής .

3.7.3.Μέγεθος ιζημάτων και κλίση ακτής

Η κλίση των ακτών σχετίζεται με το μέγεθος των κόκκων των ιζημάτων των ακτών. Οι μεγαλύτερες κλίσεις παρουσιάζονται σε ακτές από χαλίκια παρά σε ακτές από άμμο (συνήθως έχουν κλίση <5°), κυρίως γιατί οι πρώτες είναι περισσότερο πορώδεις και κλίση της παραλίας αυξάνεται με το μέγεθος των χαλικιών.

Καθώς το κύμα εισέρχεται στην ακτή ,το νερό παρασύρει ιζήματα από την παραλία και κατά την αποχώρηση του αποθέτει κάποια από αυτά πίσω. Αυτή η διαδικασία μειώνει την αποτελεσματικότητα της διαπερατότητας των χαλικιών και κατ΄ επέκταση των αμμουδιών. Έτσι, τα υλικά που απομένουν μετά την απομάκρυνση του κύματος έχουν σχετικά απότομη κλίση. Σε ακτές με ήπιο

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ανάγλυφο ,λόγω της κυριαρχίας της άμμου, η επίδραση της ροής του νερού από το κύμα είναι μικρότερη, γιατί το κύμα παρασέρνει περισσότερα υλικά από την άμμο και τα επαναποθέτει με μικρές κλίσεις .

Είναι γεγονός ότι χαλικώδεις παραλίες ,μετά από την έντονη επίδραση των κυμάτων, η κλίση τους μετατρέπεται σε απότομη ,ενώ σε παραλίες με άμμο, η κλίση τους είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Παρ΄ όλα αυτά, ακτές τόσο με χαλίκια όσο και με άμμο, παρουσιάζουν ποικιλία στις κλίσεις τους. Ανάλογα με τις συνθήκες υποχώρησης του κύματος αλλά και το είδος του κύματος ,μπορεί να προκληθούν αντίθετα αποτελέσματα σε σχέση μ΄ αυτά που παρατηρούνται συνήθως.

3.7.4.Κίνηση των ιζημάτων

Είναι γνωστό για τη μεταφορά των ιζημάτων από τα ρευστά, ότι , όταν το κύμα σπάει στην ακτή, αποθέτει το συνολικό του φορτίο, ενώ κατά την επιστροφή συμπαρασύρει μόνο τα ελαφριά συστατικά και απομένουν τα βαριά. Όμως ,για μα μπορέσει να γίνει η μεταφορά των κόκκων ,θα πρέπει το άθροισμα των δυνάμεων που ασκούνται πάνω σ'αυτούς, από τα κινούμενα ρευστά, να είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των δυνάμεων που κρατούν τους κόκκους ακίνητους .Τότε οι κόκκοι των ιζημάτων θα αρχίσουν να κινούνται μαζί με τα ρευστά.

Οι δυνάμεις που ασκούνται σε έναν κόκκο ιζήματος προκειμένου να κινηθεί είναι:

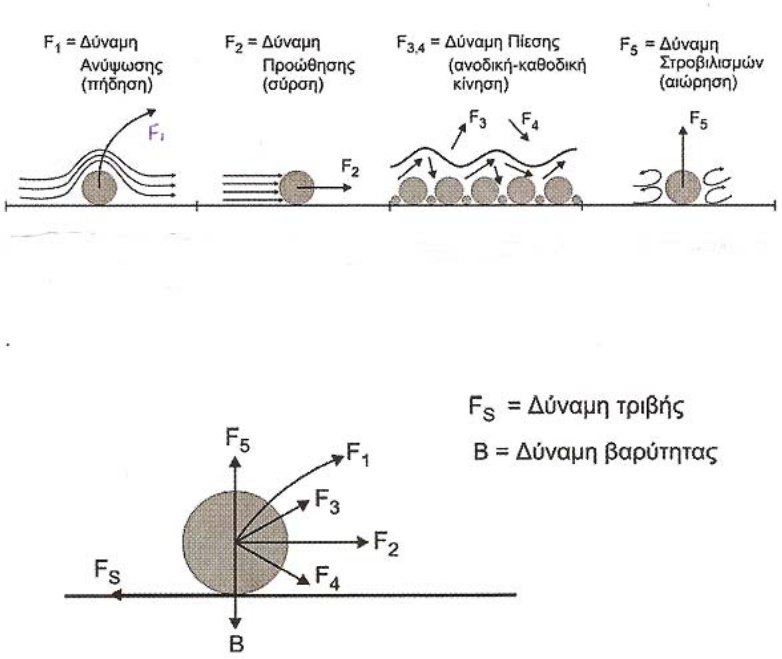
F1:δύναμη ανύψωσης ,που οφείλεται στην υπό πίεση που αναπτύσσεται στο άνω τμήμα των κόκκων καθώς οι γραμμές ροής καμπυλώνονται(φαινόμενο Bernulli)

F2:δύναμη προώθησης ,που οφείλεται στην σύγκρουση του ρευστού με την επιφάνεια των κόκκων και έχει αποτέλεσμα την ώθηση των κόκκων προς τη διεύθυνση ροής .

F4/F3:δύναμη πίεσης από εισβολές και κύματα, που οφείλεται στην επεισοδιακή δράση των κυμάτων (κίνηση ανοδική-καθοδική) ή στην εισβολή ρευμάτων στο ρευστό και προκαλεί πιέσεις ή υποπιέσεις στους κόκκους που βρίσκονται στον πυθμένα.

F5:δύναμη στροβιλισμών, που οφείλεται στην ανοδική-περιστροφική δύναμη που προκαλούν οι στρόβιλοι μέσα στα ρευστά που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμ



Σχήμα 4.
Δυνάμεις που ασκούνται στους ιζηματογενείς κόκκους από τα κινούμενα ρευστά.
(Ψιλοβίκος Α., 2006)

3.8 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ

Οι παραλίες διαβρώνονται όταν το ποσό των ιζημάτων που χάνονται από την ακτή ή από την ενδοχώρα είναι μεγαλύτερο από αυτό που λαμβάνουν από διάφορες πηγές. Οι διαδικασίες διάβρωσης των ακτών περιλαμβάνουν την αποσάθρωση και την καταστροφική δράση των κυμάτων, σε περιόδους καταιγίδας ή τσουνάμι. Καθώς ο όγκος των υλικών μειώνεται το προφίλ της παραλίας εξασθενεί και υποχωρεί. Ενδείξεις της παράκτιας διάβρωσης περιλαμβάνουν οι απότομε θίνες, οι απομονωμένες δασώδεις περιοχές και οι αποκαλύψεις παράκτιων πετρωμάτων.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΑΜΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΤΑΞΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.

Η εκπόνηση αυτής της εργασίας πραγματοποιήθηκε αποκλειστικά την χρήση βιβλιογραφικών αναφορών. Μετά το τραγικό γεγονός της 26/12/2004, πολλοί ερευνητές και μελετητές κατέφτασαν στις πληγείσες περιοχές για την καταγραφή των καταστροφών, των γεωμορφολογικών αλλαγών και τον προσδιορισμό των σεισμικών αιτιών. Έτσι, οργανώθηκαν αρκετές εργασίες και συσσωρεύτηκαν αμέτρητες πληροφορίες που διατέθηκαν στο διαδίκτυο και στάλθηκαν σε πανεπιστημιακούς φορείς. Η παρεμβολή φωτογραφικού υλικού αποτέλεσε σημαντική συνιστώσα για την κατανόηση αλλά και την απόδοση της πραγματικής καταστροφής που συντελέστηκε.

Η συγγραφή, λοιπόν, της παρούσας εργασίας βασίστηκε σε πληροφορίες που αντλήθηκαν από το διαδίκτυο και σε δημοσιευμένες εργασίες. Οι περισσότερες από αυτές προέρχονταν από εργασίες διαφόρων πανεπιστημιακών απ' όλο τον κόσμο, οι οποίοι ασχολήθηκαν με το συμβάν μετά το πέρας του. Όμως, χρησιμοποιήθηκαν και πληροφορίες από περιοδικά και εφημερίδες που δημοσιεύτηκαν κατά την περίοδο του γεγονότος και διαδόθηκαν μέσω του διαδικτύου. Το υλικό ήταν αρκετό και η επιλογή των πληροφοριών έπρεπε να ήταν προσεκτική για την δημιουργία μιας εργασίας χωρίς κενά και ασάφειες.

Παρακάτω αναπτύσσεται το κύριο μέρος της εργασίας που συγκροτείται από κείμενα που εναλλάσσονται με πληροφορίες. Υπάρχουν, βέβαια, κάποια υποκεφάλαια στα οποία το φωτογραφικό υλικό είναι αρκετό για ν' αποδώσει το μέγεθος της καταστροφής. Πρωτίστως, όμως, είναι απαραίτητο να γίνει κάποια αναφορά στη μεθοδολογία που χρησιμοποίησαν οι ερευνητές για τον προσδιορισμό της μεταβολής της παράκτιας γεωμορφολογίας και την απόθεση ιζημάτων μετά την εισχώρηση του τσουνάμι.

4.2 ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΑΝ ΟΙ ΕΡΕΥΝΗΤΕΣ.

Η επίδραση του τσουνάμι δεν περιορίστηκε μόνο στις υλικές καταστροφές και στα αναρίθμητα θύματα. Επηρέασε σε σημαντικό βαθμό και την γεωμορφολογία των πληγέντων περιοχών που είχε ως αποτέλεσμα την έμμεση επιρροή σε άλλους τομείς, όπως της υδρογεωλογίας. Η γεωμορφολογία υπέστη μεταβολή σε όλες τις παράκτιες περιοχές σε διαφορετικό βαθμό. Το ίδιο συνέβη και στα ιζήματα. Η εισχώρηση του τσουνάμι συνοδεύτηκε από ιζήματα, που ο όγκος τους διαφοροποιούνταν ανάλογα με την παράκτια γεωμορφολογία. Ανάμεσα στα ιζήματα παρατηρούνται συντρίμματα κοραλλιών. Αρκετοί ερευνητές θέλησαν να προσδιορίσουν τα ιζήματα που προστέθηκαν στα ήδη υπάρχοντα μετά το πέρας του τσουνάμι. Η μέθοδος που χρησιμοποίησαν παραθέτεται παρακάτω.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα

Τα ιζήματα αποτελούν τον ουσιαστικότερο δείκτη μεταβολής της γεωμορφολογίας και της ένδειξης ύπαρξης τσουνάμι. Πέρα όμως από τα ιζήματα, τα κοράλλια, και σε μικρότερο βαθμό τα δένδρα, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες. Η μεθοδολογία που ενστερνίζονται οι ερευνητές για τα κοράλλια και τα δένδρα αναπτύσσεται ακολούθως.

- **Μεθοδολογία της μελέτης των αποθέσεων.**

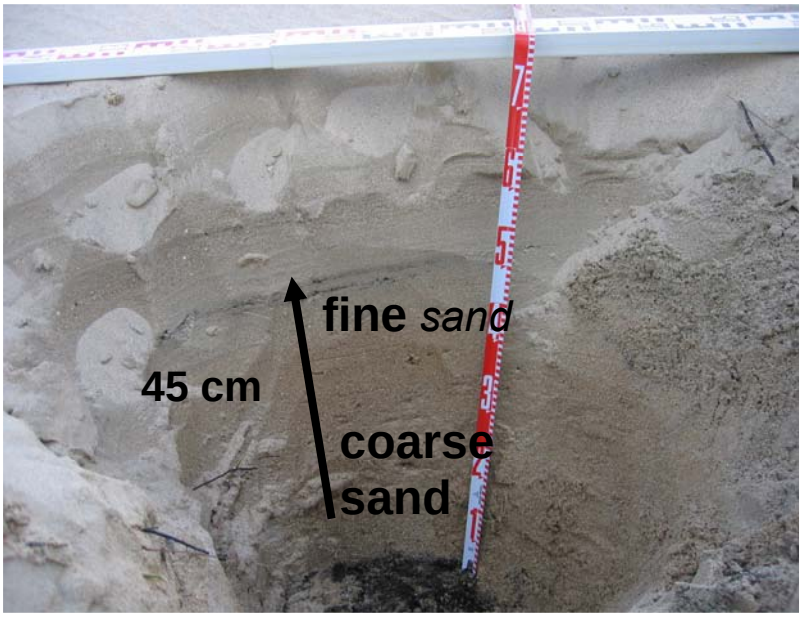
Ο όγκος των ιζημάτων που μεταφέρθηκαν από την εισχώρηση του τσουνάμι προσδιορίστηκε με τον εξής τρόπο: διανοίχτηκαν μικρά ορύγματα μέσα στις αποθέσεις του τσουνάμι μέχρι να προσεγγιστεί η επιφάνεια του εδάφους πριν την έλευση του. Ο προσανατολισμός των ορυγμάτων προσαρμόστηκε στην κύρια διεύθυνση του τσουνάμι. Το προφίλ της τοπογραφίας απεικονίστηκε με την χρήση GPS και ενός τηλεμετρικού laser. Κάθε εμφάνιση αποθέσεων τσουνάμι μετριέται, φωτογραφίζεται και περιγράφεται (συντεταγμένες, προσανατολισμός της τομής, διάταξη, πάχος και σύσταση διαφορετικών στρωμάτων). Από τα ορύγματα συλλέγονται αντιπροσωπευτικά δείγματα για περαιτέρω αναλύσεις στο εργαστήριο. Στις παρακάτω εικόνες παραθέτονται τα βήματα των ερευνητών στο ύπαιθρο για τη μελέτη των αποθέσεων.(Raphaël Paris, Franck Lavigne,et al.,2005)

Εικόνα 5. **Διάνοιξη τάφρων σε πληγείσες περιοχές. (Dengler L., Higman B, et al,2004)**

Εικόνα 6**. Συγκέντρωση αντιπροσωπευτικού δείγματος μετά τον προσδιορισμό του πάχους τους. (Dengler L., Higman B, et al,2004)**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Εικόνα 7. **Στην εικόνα μπορούμε να διαγνώσουμε που σταματά το θαμμένο έδαφος και από πού ξεκινούν τα ιζήματα που αποτέθηκαν από το τσουνάμι. (http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/sumatra05/methods.html**

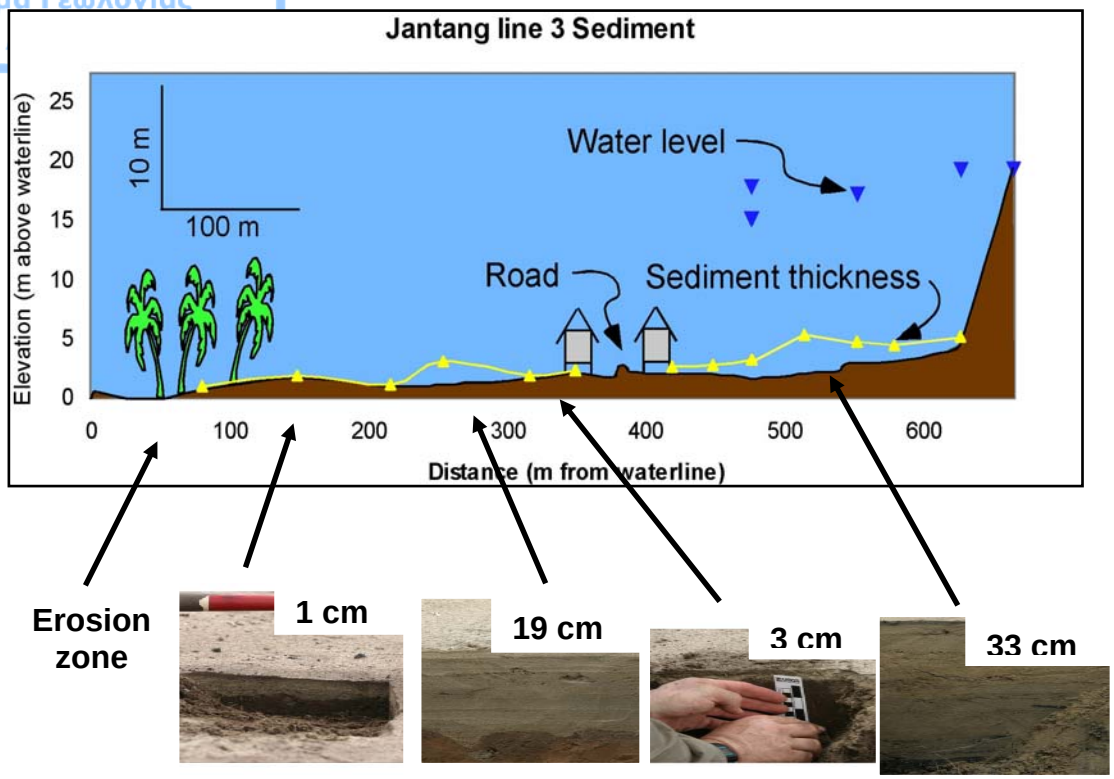


Εικόνα 8**. Αποθέσεις ιζημάτων από το τσουνάμι**

- **Άμμος ακτών πάνω από το έδαφος**
- **73 εκ. πάχος φερμένων ιζημάτων**
- **45 εκ. πάχος ιζημάτων με κανονική ταξινόμηση**
- **πολλαπλός ρυθμός ιζηματογένεσης**

(http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/sumatra05/methods.html*)*

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



***Εικόνα 9*. Η εικόνα παρουσιάζει μια παράκτια περιοχή που ΄΄χτυπήθηκε΄΄ από το φονικό τσουνάμι. Τα μπλε τρίγωνα απεικονίζουν το επίπεδο του νερού μετά τη διέλευση του, το οποίο ανέρχεται στα 20 μ. περίπου. Τα κίτρινα τρίγωνα απεικονίζουν το πάχος των ιζημάτων σε διαφορετικές αποστάσεις από την ακτή και με διαφορετική μορφολογία.**
(Dengler L., Higman B, et al,2004)

Οι εργαστηριακές αναλύσεις περιλαμβάνουν, αρχικά, θέρμανση μέσα σε διαλυμένο οξυγονωμένο νερό για να διαχωριστεί η οργανική ύλη, η οποία έχει πρωτίστως κοσκινιστεί σε κόσκινο με διάμετρο 2mm. Στην συνέχεια, το κλάσμα του υλικού (<2mm) εισάγεται σ' ένα κοκκομετρικό laser διάθλασης. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mm και μετατρέπονται σε μονάδα Φ (Φ=-log2 ξ, όπου ξ =μέγεθος κόκκων σε mm). Εν συνεχεία, υπολογίζονται η μέση τιμή, η λοξότητα, η ταξινόμηση και η κύρτωση για κάθε αντιπροσωπευτικό δείγμα. Η λοξότητα εκφράζει μετρήσεις που αφορούν την συμμετρία ή μη της κατανομής των κόκκων γύρω από το μέσο όρο των δειγμάτων. Η κύρτωση μετρά το πλάτος-ύψος της κορυφής της καμπύλης συχνότητας (ανάλογα πλατύκυρτη, μεσόκυρτη, λεπτόκυρτη) και εκφράζει την συμμετρία ή ασυμμετρία των δειγμάτων στα άκρα. Η παρατήρηση των αντιπροσωπευτικών δειγμάτων στο μικροσκόπιο παρέχει συμπληρωματικές πληροφορίες για την σύνθεση τους, τη μορφολογία των μορίων του χαλαζία και τους περιεχόμενους βιοκλάστες.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

- **Μεθοδολογία της μελέτης των κοραλλιών.**

Τα κοράλλια, ως ζώντες οργανισμοί, αντικατοπτρίζουν οποιαδήποτε μεταβολή υφίσταται στο περιβάλλον διαβίωσης τους. Έτσι, αποτελούν χρήσιμο ΄΄εργαλείο΄΄ για τους επιστήμονες. Η ανάπτυξη των κοραλλιών καθορίζεται από το υψηλότερο επίπεδο διαβίωσης (highest level of survival) δηλαδή το όριο εκείνο μέχρι το οποίο μπορούν ν' αναπτυχθούν τα κοράλλια Για τον προσδιορισμό, λοιπόν, του σημείου επιβίωσης χαρτογραφούν τον ύφαλο που δέχεται την παλίρροια, καταγράφοντας το ύψος, το σχήμα και τις διαστάσεις πολλών ΄΄κεφαλιών΄΄ κοραλλιών και συλλέγοντας δείγματα που αντιπροσωπεύουν όλο τον πληθυσμό.(Raphaël Paris, Franck Lavigne,et al.,2005) Η χρήση GPS με ακρίβεια 10m και ένας ηλεκτρονικός σταθμός με ακρίβεια λίγων χιλιοστών παρέχουν υψομετρικές πληροφορίες τόσο για λεπτομερής χαρτογράφηση όσο και για λιγότερο λεπτομερής. Ελέγχονται οι ανυψώσεις της ανώτερης επιφάνειας των υφάλων που υπόκεινται σε δειγματοληψία, πριν αποκοπεί τμήμα για την παρασκευή πλακιδίων, για να υπάρχει η ικανότητα διόρθωσης της σχέσης με το επίπεδο της θάλασσας και με άλλα δείγματα, μετά την απομάκρυνσης τους.

Μετά την συγκέντρωση των δειγμάτων πραγματοποιείται πυρηνοληπτική διάτρηση, με κορώνες από διαμάντια, για την εξαγωγή πυρήνων 5mm. Στην συνέχεια, υπόκεινται σε ραδιοχρονολόγιση με ουράνιο (U) και θόριο (Th). Το δείγμα που συλλέγεται για την ανάλυση έχει βάρος 350mg περίπου. Αφού διαλυθεί, προσθέτεται μείγμα ^{233}U, ^{236}U και ^{229}Th. Ο διαχωρισμός των κλασμάτων ουρανίου και θορίου συντελείται με την χρήση κατακρημνισμάτων υδροξειδίου του σιδήρου και τεχνικές ανταλλαγής ανιόντων. Αυτά τα κλάσματα διαλύονται σε διαλυμένο νιτρικό οξύ και η ισοτοπική του σύνθεση καθορίζεται από διαλύματα με ικανότητα προσρόφησης, μετρώντας την αναλογία των ιόντων από δέσμη φωτός σε μαγνητικό τομέα.

Αφού πραγματοποιηθεί η ανάλυση των δειγμάτων ακολουθεί η παρασκευή των πλακιδίων. Χρησιμοποιείται ένα μεγάλο περιστροφικό δισκοπρίονο για την κοπή μικρότερων τεμαχίων, περίπου 10mm πάχος για κάθε πλακέτα. Ακτινογραφώντας τα τεμάχια, αποκαλύπτονται πληροφορίες για την ανάπτυξη των κοραλλιών που είναι αόρατες με γυμνό μάτι. Στην συνέχεια, πραγματοποιείται σάρωση των ακτινογραφιών για την παραγωγή της στρωματογραφικής τομής, που απεικονίζει την ετήσια ΄΄ζώνη΄΄ των υφάλων.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Μεθοδολογία της μελέτης των δένδρων

Εκτός από τα ιζήματα, μπορούν επίσης, όπως προαναφέραμε, να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες μεταβολής της γεωμορφολογίας τα δένδρα. Η μέθοδος βασίζεται στα ΄΄δακτυλίδια΄΄ των κορμών των δένδρων.(Brian F.Atwater,Musumi Rokkaku Satoko,et al.)Κάθε κορμός δένδρου έχει έναν κώδικα που βασίζεται στην ετήσια ανάπτυξη των ΄΄δακτυλιδιών΄΄ του κορμού του. Ως κώδικα εννοούμε το κέντρο του κορμού μέχρι το τελευταίο ΄΄δακτυλίδι΄΄ του. Κάθε ΄΄δακτυλίδι΄΄ είναι ένας χρόνος ανάπτυξης του δένδρου που ξεκινάει από την άνοιξη. Λόγω των καιρικών συνθηκών, την άνοιξη και το καλοκαίρι επικρατεί περισσότερη ηλιοφάνεια με αποτέλεσμα τα χρώματα στην αρχή του ΄΄δακτυλιδιού΄΄, του εκάστοτε χρόνου, να είναι ανοιχτά. Αντιθέτως, το τέλος του ΄΄δακτυλιδιού΄΄, που αντικατοπτρίζει το φθινόπωρο και τον χειμώνα, παρουσιάζει σκούρα χρώματα. Επίσης, το πλάτος μεταξύ των ΄΄δακτυλιδιών΄΄ αποτελεί ένδειξη κάποιας μεταβολής.

Σε μια περιοχή που δέχεται επίθεση από τσουνάμι, τα δένδρα υφίστανται επιπτώσεις με αποτέλεσμα να προκαλείται σπάσιμο των κορμών τους και να διαταράσσεται η φυσιολογική ανάπτυξη τους. Το συμβάν αποτυπώνεται στην προσεχή ανάπτυξη του. Έτσι, όταν γίνεται σύγκριση των δένδρων που επλήγησαν με αυτών που είχαν μια μη διαταρασσόμενη ανάπτυξη είναι εφικτή η αναγωγή συμπερασμάτων για τη δράση του τσουνάμι.

Σαν παράδειγμα μελέτης των ΄΄δακτυλιδιών΄΄ παρουσιάζεται εικόνα σχετικά με ένα τσουνάμι που πραγματοποιήθηκε στην Κασκάντια των Η.Π.Α. το 1700 περίπου.

Εικόνα 10. **Στην εικόνα βλέπουμε έναν κορμό δέντρου από την περιοχή της Κασκάντιας. Μέσα στο πλαίσιο αποτυπώνεται η δράση του τσουνάμι από μεταβολή του χρώματος. (Atwater F., et al.,2005)**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

4.2.1 Δείκτες μεταβολής της γεωμορφολογίας

4.2.1.1 Ιζήματα στην ακτογραμμή και στο εσωτερικό(μεταφορά, απόθεση, μετρήσεις)

Οι αποθέσεις του τσουνάμι αποτελούν καταγραφές ιστορικών τσουνάμι και παλαιοτσουνάμι. Οι ενδείξεις τους και οι ερμηνείες τους έδωσαν πληροφορίες για τους μηχανισμούς μεταφοράς και απόθεσης και επέτρεψαν να εκτιμηθούν τα διαστήματα επανάληψης των σεισμών.

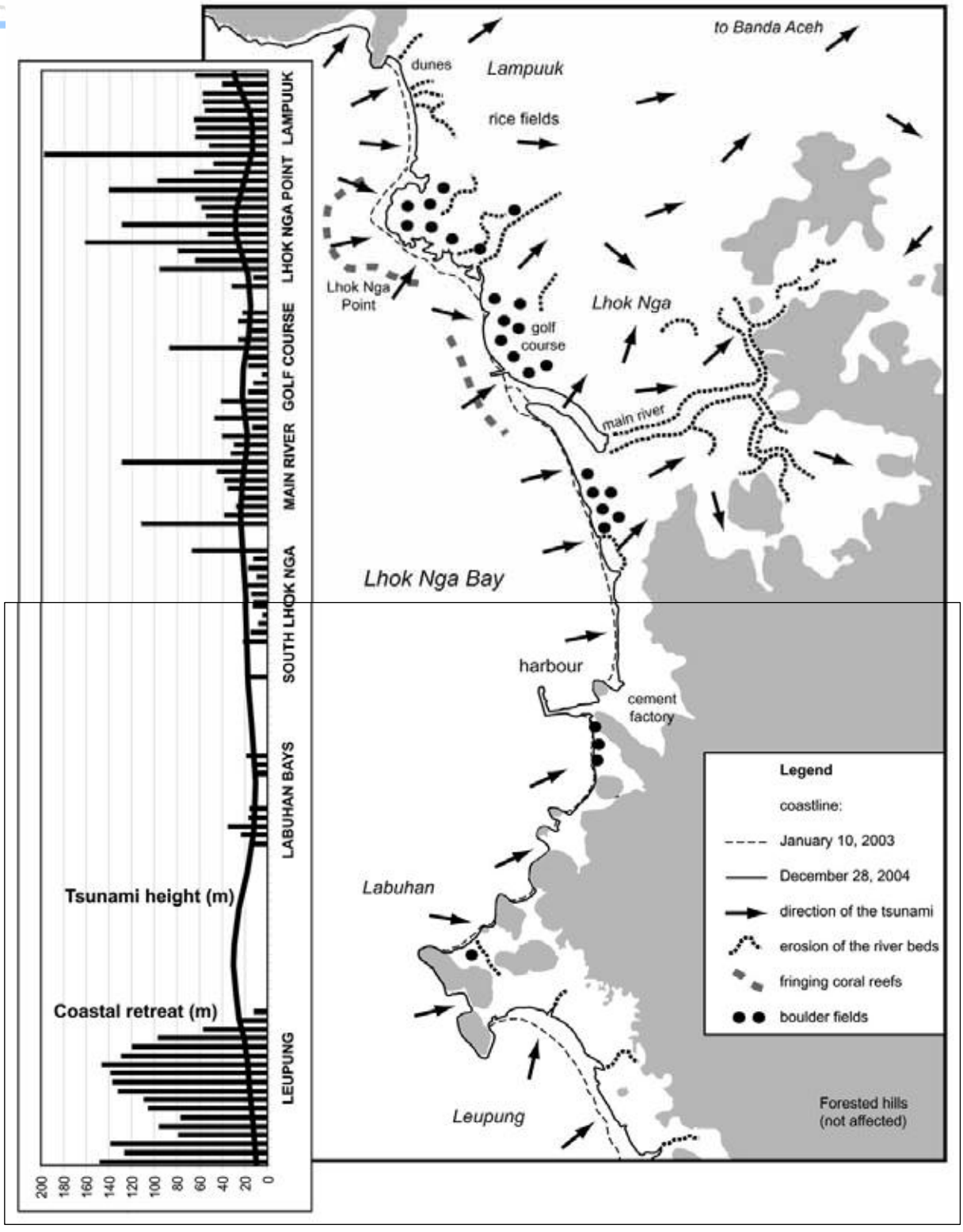
Το τσουνάμι της 26/12/2004 είναι από τα πιο σημαντικά που έχουν συμβεί. Το πιο εντυπωσιακό είναι η εξάπλωση της γεωμορφολογικής του επίδρασης παρά η ένταση του. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες πληροφορίες παρέχονται από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στον κόλπο του Lhok Nga, δυτικά του Banda Aceh, που ΄΄χτυπήθηκε΄΄ από τα πιο ψηλά κύματα. .(Raphaël Paris, Franck Lavigne,et al.,2005)Σ' αυτή την περιοχή θα βασιστούν οι παρατηρήσεις μας για τη μεταφορά και την απόθεση ιζημάτων υπό την επίδραση τσουνάμι.

Το κύμα εισχώρησε μέχρι 500 m στο εσωτερικό της ξηράς, περίπου 2 km ήταν το μήκος της ροής του νερού και περισσότερα από 300 km ακτής επλήγησαν σοβαρά. Η ολική υποχώρηση της ακτογραμμής του Lampuuk στο Leupung ανήλθε στα 60 m και τοπικά ξεπέρασε τα 150 m. Το λιγότερο 276.000 m^3 ιζημάτων κινητοποιήθηκαν από το τσουνάμι σε 9,2 km αμμώδη ακτών. Ο μέσος ρυθμός ιζηματογένεσης ήταν 30 m^3 ανά μέτρο ακτής και ξεπέρασε κατά τόπους τα 80 m^3/m. Η μορφολογία των ακτών και η τοπική τοπογραφία (αναχώματα, όχθες, κατασκευές) υπήρξαν ο κύριος αντίκτυπος της διάβρωσης που προκάλεσε το τσουνάμι. Δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού ιζηματογένεσης και της έκτασης του κύματος. Παρακάτω παρουσιάζεται εικόνα της προαναφερθείσας περιοχής όπου είναι εμφανής η διεύθυνση του κύματος και η διάβρωση που συντελεστεί. (εικόνα 11)

Η προεξοχή παράκτιων βράχων πιστοποιεί τον σημαντικό όγκο των αποθέσεων. Τα εισερχόμενα ιζήματα έφραξαν τις λαγκούνες και οι εκβολές των ποταμών καταστράφηκαν. Οι πιο θεαματικοί τύποι διάβρωσης παρατηρούνται σε δρόμους και λιμάνια.

Αποτελέσματα μετρήσεων που αποκομίστηκαν από διανοίξεις μικρών τάφρων παρουσίασαν ότι το μέγιστο πάχος άμμου του τσουνάμι ήταν 70cm. Τα περισσότερα από αυτά αποτελούνταν από άμμο που προέρχονταν από την παραλία, συμπεριλαμβανομένου τμήματα κοραλλιών και κοχυλιών. Οι αποθέσεις του τσουνάμι μπορούν να διαιρεθούν σε διάφορες ενότητες και υπάρχουν δομές που δείχνουν ότι η ανώτερη ενότητα διαβρώνει την κατώτερη. Αυτό υπονοεί ότι οι αποθέσεις του τσουνάμι δημιουργήθηκαν από κύματα ταλάντωσης τα οποία απέθεσαν άμμο και διέβρωσαν άμμο ταυτοχρόνως. Οι περισσότερες ενότητες χαρακτηρίζονται από κανονική κοκκώδη δομή.

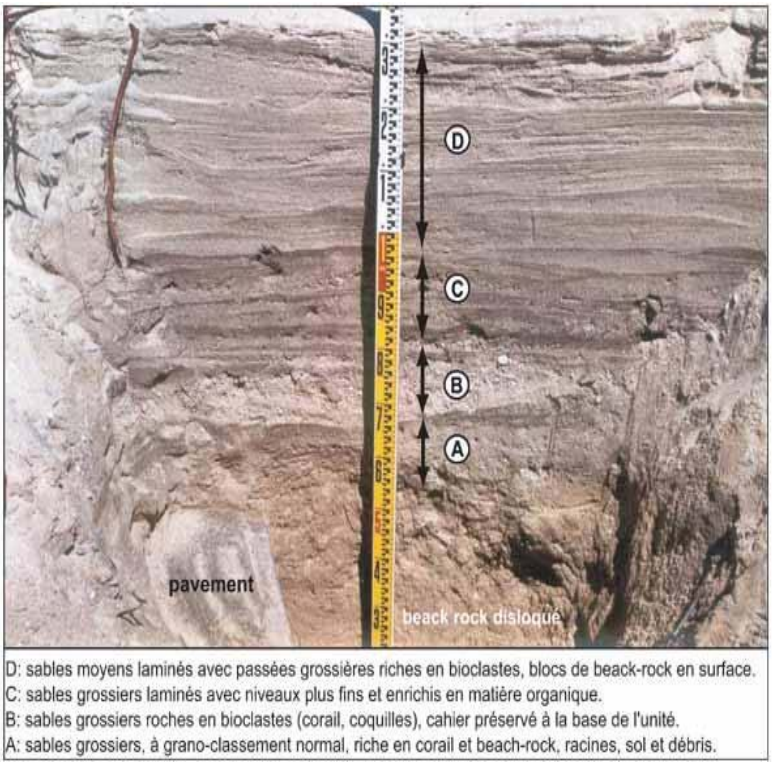
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



***Εικόνα 11*. Ιστόγραμμα της υποχώρησης της ακτογραμμής και της έκτασης του τσουνάμι του 2004 στο Lhok Nga. Οι πιο διαβρωμένες τοποθετούνται στα βόρεια των μεγάλων κόλπων και προσανατολίζονται Β-Ν. Συγκεντρώνουν την ενέργεια της ακολουθίας των κυμάτων ερχόμενο από ΝΔ. Τα ευπρόσβλητα κοράλλια δεν περιόρισαν την επίδραση του τσουνάμι.(Paris R.,Lavigne F.et al.,2005)**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Γενικά, το πάχος των αποθέσεων ενός τσουνάμι μειώνεται όταν η απόσταση από την παραλία αυξάνεται, παρ' όλο του το πάχος των αποθέσεων επηρεάζεται αρκετά από την τοπογραφία κάθε περιοχής. Τα χαρακτηριστικά του τσουνάμι (έκταση, ταχύτητα, διεύθυνση) και η τοπογραφία καθορίζουν τα χαρακτηριστικά των αποθέσεων του τσουνάμι και την κατανομή τους στο χώρο.



***Εικόνα 12*. Η εικόνα παρουσιάζει αποθέσεις του τσουνάμι στο νότιο μέρος του Lhok Nga κοντά σε ασβεστόλιθο. Η τομή έχει πάχος 82cm και οργανώνεται σε 4 ενότητες. Οι ενότητες A και B ερμηνεύονται ως αποθέσεις ανυψώσεις δύο ξεχωριστών κυμάτων και οι ενότητες C και D ως αποθέσεις μιας περιόδου πριν από την τελική οπισθοχώρηση. (Paris R.,Lavigne F.etal.,2005)**

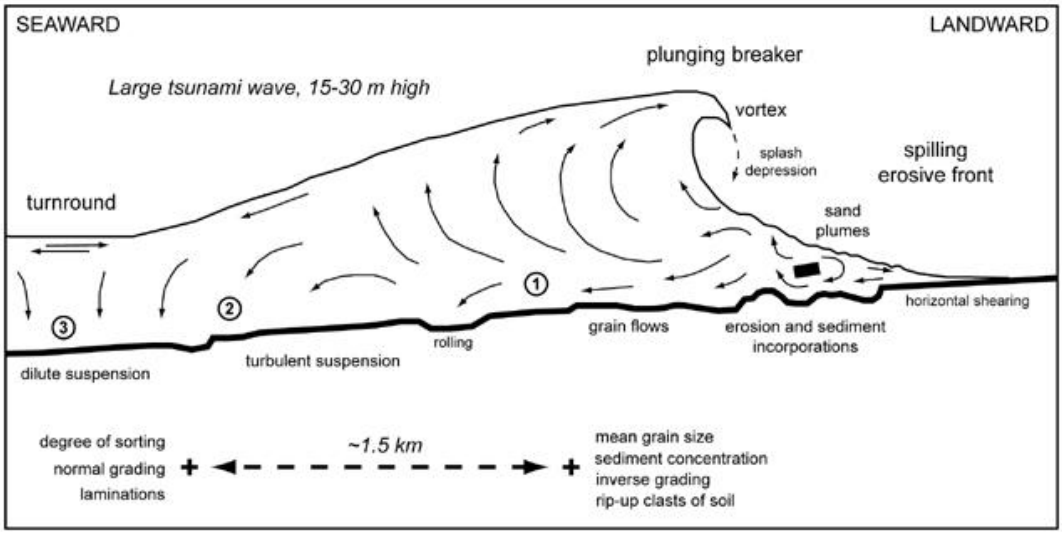
Η περιγραφή και η ερμηνεία των αποθέσεων βασίζεται κυρίως σε μελέτες στο μέγεθος των κόκκων. Η κύρια ιζηματογένεση, κατά μήκος 3,5 km, καταγράφει τρία κύματα και μία οπισθοχώρηση, προάγοντας δυο επιτυχημένες ακολουθίες με σημαντικό πάχος, έναν μέσο όρο και ενδείξεις ατελούς ταξινόμησης. Τα διπλά και τριπλά στρώματα με κανονική διαβάθμιση χρησιμοποιήθηκαν για να δείξουν τις ανυψώσεις κάθε κύματος. Τα ανώτερα στρώματα, ερμηνευμένα σαν αποθέσεις τις οπισθοχώρησης, αποτελούν μια ακολουθία όλο και πιο παχιά και κακώς ταξινομημένη προς τη θάλασσα. Η ταξινόμηση των κόκκων δείχνει αν οι αποθέσεις είναι από οπισθοχώρηση ή από ανύψωση του τσουνάμι. Οι τοπικές επιδράσεις στην τοπογραφία μπορεί ν' αναγνωριστούν: οι χονδρόκοκκες αποθέσεις παρουσιάζονται σε χαμηλές ζώνες, όπου παρατηρείται σημαντική χωρική διακύμανση του πάχους και πολύ φτωχή ταξινόμηση μέσα στη ζώνη θραύσης.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Έχει προταθεί ένα μοντέλο μεταφοράς και απόθεσης ιζημάτων από τσουνάμι μεγάλου ύψους, το οποίο αναπτύσσεται σε φάσεις.(Raphaël Paris, Franck Lavigne,et al.,2005)

- Προκαταρτική φάση: σε πρώτο μέρος πραγματοποιείται άφιξη του τυρβώδους μετώπου του κύματος που δύναται να τροποποιήσει αποθέσεις προηγούμενου κύματος.
- Φάση διάβρωσης: το μέτωπο είναι αρκετά τυρβώδες και διαβρωτικό. Ενσωματώνει μεγάλες ποσότητες ιζημάτων και θραυσμάτων εδάφους, κοραλλιών κ.α. Η κύρια διαδικασία μεταφοράς, πριν οργανωθεί καλύτερα, θα μπορούσε να περιοριστεί στα ανώτερα στρώματα της άμμου.
- Πρώτη φάση ιζηματογένεσης:η μετάβαση από το μέτωπο στον στρόβιλο καθορίζει έναν πρώτο διαχωρισμό μεταξύ των ιζημάτων που αποσπάστηκαν από τον στρόβιλο και αυτών που μεταφέρθηκαν από τα ρεύματα του πυθμένα (το κατώτερο μέρος παρουσιάζεται με μεγαλύτερο πάχος σε διπλά ή τριπλά στρώματα με κανονική διαβάθμιση). Στις δευτερεύουσες διαδικασίες της κύλισης ή της ολίσθησης θα μπορούσε στιγμιαία να τροποποιήσει τις αποθέσεις μέσα στις χαμηλές ζώνες.
- Δεύτερη φάση ιζηματογένεσης: μετά τη διέλευση του μετώπου, η μεταφορά των ιζημάτων τείνει να οργανωθεί σε διάφορες φάσεις, όπως το βεβαιώνει η κανονική διαβάθμιση που σχετίζεται με μια φθίνουσα ταξινόμηση (το ανώτερο μέρος με δυο ή τρία στρώματα). Στην πραγματικότητα, η κανονική διαβάθμιση υποδηλώνει μια αναστολή μέσα στα όρια της ροής και απώλεια ταχύτητας και διαταραχής.
- Τρίτη φάση ιζηματογένεσης: η περίοδος ηρεμίας πριν από το επόμενο κύμα ή πριν από την οπισθοχώρηση του κύματος, έδωσε χώρο στις τελευταίες αποθέσεις (το τελευταίο στρώμα δηλαδή), μαζί με παρουσία ελασμάτων στους πρόποδες απότομων πλαγιών, ερχόμενη να τερματίσει την ανύψωση. Η δεύτερη και τρίτη φάση ιζηματογένεσης θα μπορούσε να παρουσιάσει περισσότερο από το 50% του όγκου των ιζημάτων απόθεσης.
- Τελευταία φάση ιζηματογένεσης και διάβρωσης:η οπισθοχώρηση ενός τσουνάμι είναι μια σημαντική εκκένωση, που ελέγχεται από την τοπογραφία και από την συγκέντρωση των ιζημάτων. Οι αποθέσεις που οι επιστήμονες τις ερμηνεύουν ως το αποτέλεσμα της οπισθοχώρησης, αναπαριστούν το 20% του όγκου των ιζημάτων.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γ
Α.



Σχήμα 5. **Το σχήμα απεικονίζει ένα μεγάλο τσουνάμι ύψους 15-30m.Οι αριθμοί δείχνουν τις διάφορες φάσεις της ιζηματογένεσης.**
(Paris R.,Lavigne F.et al.,2005)

Η διαβρωτική επίδραση του τσουνάμι στο Lhok Nga πιστοποιείται από τη διάβρωση του εδάφους, τη δημιουργία γκρεμών λόγω διάβρωσης εδάφους, τη διάβρωση των ακτών και την απογύμνωση των αμμόλοφων. Οι παρακάτω εικόνες αποτελούν έμπρακτες αποδείξεις.

Εικόνα 13. **Κάθετη διάβρωση πάνω από 2,5 m δίπλα από την πισίνα(πάνω αριστερά), δημιουργία γκρεμών(πάνω δεξιά), διάβρωση ακτών(κάτω αριστερά), η διάβρωση του τσουνάμι, κατά την οπισθοχώρηση του, σχημάτισε μικρούς γκρεμούς στους αμμόλοφους(κάτω δεξιά)**
(Paris R.,Lavigne F.et al.,2005)

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

***Εικόνα 14*.** **Αεροφωτογραφία του νότιου μέρους του Lhok Nga. Απεικονίζει ένα πεδίο από μπλοκ και από γκρεμούς, λόγω διάβρωσης, πίσω από ένα φράγμα. Οι διαβρωμένες ζώνες και οι συγκεντρώσεις των μπλοκ τοποθετούνται μέσα στην επέκταση των διακεκομμένων γραμμών που αντιστοιχούν στον κυματοθραύστη (Paris R.,Lavigne F.et al.,2005)**

Μετά την έλευση του τσουνάμι, απαιτήθηκε κάποιος χρόνος για την αποκατάσταση των περιοχών. Οι πρώτες ενδείξεις από τις παραλίες έδειξαν ότι η αποκατάσταση συντελέστηκε πολύ γρήγορα μεταξύ του Απριλίου και του Μαΐου (τέλος της εποχής των βροχών) στο νότιο τμήμα του Lhok Nga. Όλες οι λαγκούνες και οι εκβολές κλείστηκαν από δαντελωτή άμμο κατά τη διάρκεια της περιόδου ξηρασίας του 2005. Αντιθέτως, τομείς του Lampuuk εξελίχθηκαν μετά το τσουνάμι. Κοντά σε ακτή, βόρεια του Banda Aceh, η καταστροφή των αγροκαλλιεργειών οδηγεί σε μια μεγάλη υποχώρηση της ακτογραμμής.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4.2.1.2. Η επίδραση του τσουνάμι στα κοράλλια και η συμβολή των δένδρων στην έρευνα.

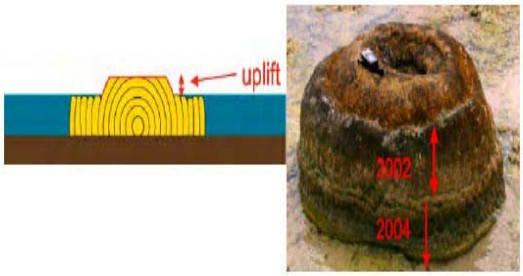
Τα κοράλλια αποτελούν έναν επίσης σημαντικό δείκτη μεταβολής της γεωμορφολογίας. Έρχονται σε άμεση επαφή με το τσουνάμι και αντικατοπτρίζουν μεταβολές που προκαλούνται από τεκτονικά αίτια.

Τα κοράλλια αναπτύσσονται με ωοειδή μορφή κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, σε ρηχά και θερμά νερά. Όταν έρθουν σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, δεν μπορούν να συνεχίσουν την ανάπτυξη τους με αποτέλεσμα να οδηγούνται στο θάνατο. Το τσουνάμι της 26/12/2004, όπως επίσης και ο σεισμός που το προκάλεσε, επέφερε μια σημαντική καταστροφή στους κοραλλιογενής οργανισμούς, προκαλώντας ουσιαστική διαταραχή στο οικοσύστημα.

Κάποια είδη κοραλλιών καταγράφουν αλλαγές στο επίπεδο της θάλασσας γιατί δεν δύναται να μεγαλώσουν πάνω από την επιφάνεια της. Σε κατακόρυφη τομή η ανάπτυξη τους μοιάζει με ΄΄δακτυλίδια΄΄..(Raphaël Paris, Franck Lavigne,et al.,2005)Η ετήσια εξέλιξη τους, στην επικείμενη εικόνα, δείχνει ότι αναπτύχθηκαν μέχρι τα επίπεδα της θάλασσας σε 5 χρόνια. Στον έβδομο χρόνο, εκδηλώθηκε σεισμός με αποτέλεσμα η κορυφή των κοραλλιών να εκτεθεί έξω από τη θάλασσα και να πεθάνει.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα κοράλλι που ανάπτυξη του διαταράσσεται από δυο σεισμούς. Κατά τη διάρκεια του σεισμού ανυψώθηκε κατά 15cm, προκαλώντας στην κεντρική περίμετρο του κεφαλιού το θάνατο. (διπλό βελάκι). Ωστόσο, υποθαλάσσια συνέχιζε την εξέλιξή του η οποία όμως διακόπηκε μετά από δυο χρόνια, από τον σεισμό της Σουμάτρας, που είχε ως αποτέλεσμα την θανάτωση και του υπόλοιπου κεφαλιού.

***Εικόνα 15*. Η ανάπτυξη ενός κοραλλιού μετά από τον σεισμό του Δεκεμβρίου του 2004 (Sieh K., 2005)**

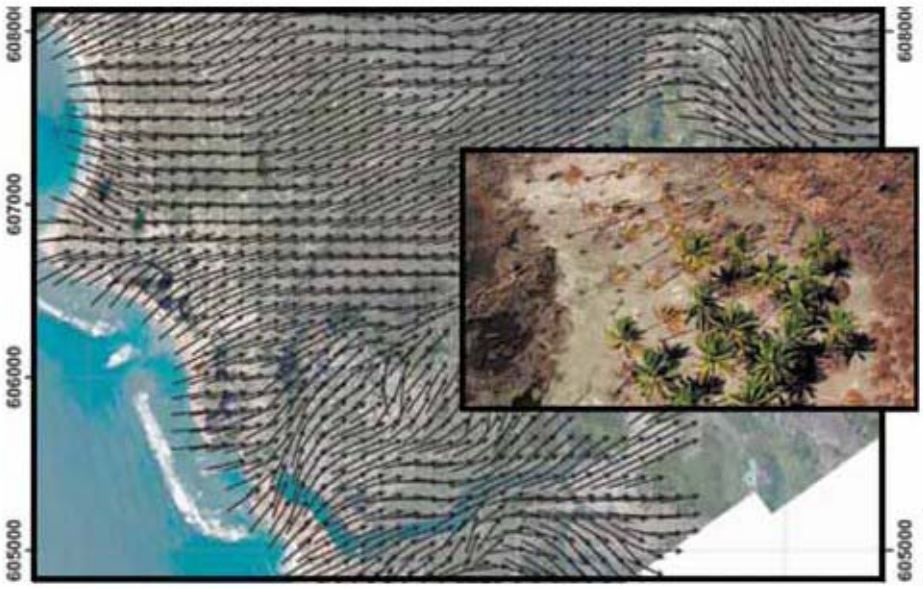


Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Ανάλογα αποτελέσματα, με αυτά των σεισμών, παρατηρούνται και από τη δράση του τσουνάμι. Μετά την εισχώρησή του, η θάλασσα τραβήχτηκε προς τα μέσα αποκαλύπτοντας μεγάλο όγκο κοραλλιογενών αποικιών και κάνοντας, από άλλη οπτική γωνία, εμφανές το μέγεθος της καταστροφής.

Εικόνα 16. **Κοραλλιογενείς ύφαλοι πριν και μετά της 28 Μαρτίου.**
(Batus, Nias, et al)

Όσον αφορά τα δένδρα και κατ' επέκταση τη βλάστηση, η παρατήρηση τους συνέβαλε στην ανεύρεση της κατεύθυνσης ροής του τσουνάμι. Οι διεύθυνση ροής εκτιμήθηκαν από την κατεύθυνση των χόρτων ή των δένδρων που έπεσαν κάτω από το τσουνάμι καθώς επίσης από την κατανομή των συντριμμάτων γύρω από τα δένδρα. Η διεύθυνση ροής βρέθηκε να είναι σχεδόν κάθετη στα δένδρα.

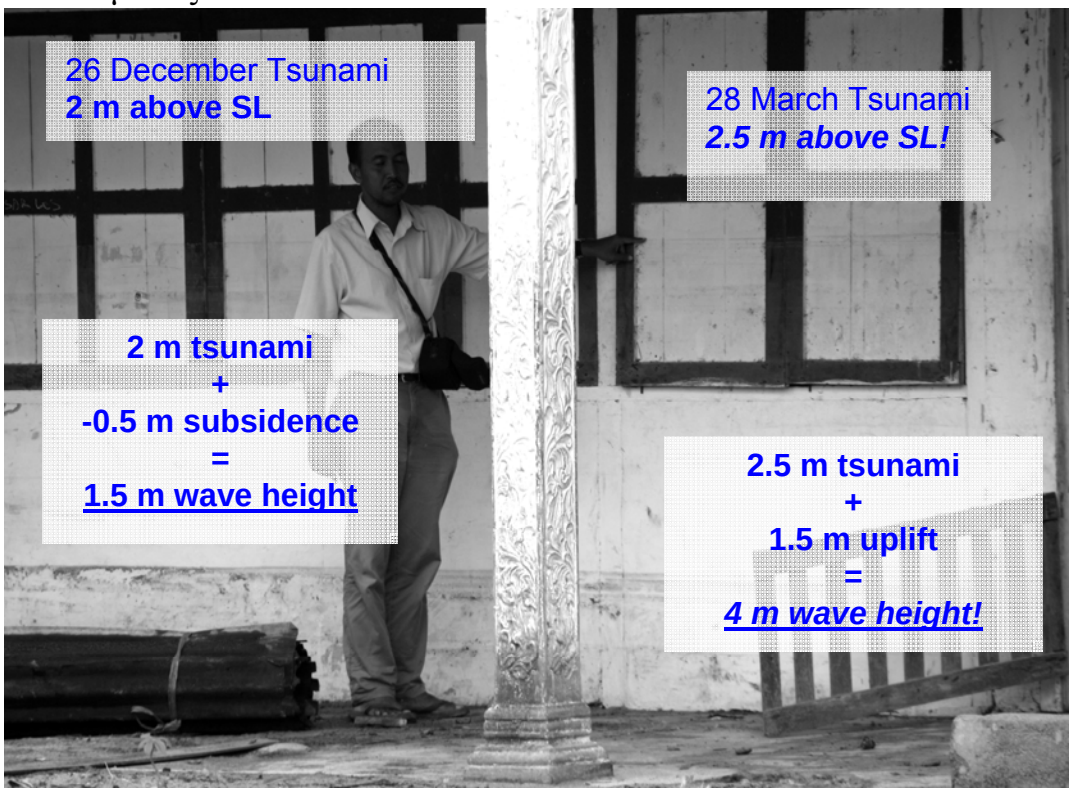


Εικόνα 17**. Η συμβολή της βλάστησης στην κατανόηση της διεύθυνσης που είχε το τσουνάμι.(Paris R, Lavigne F et al, 2005)**

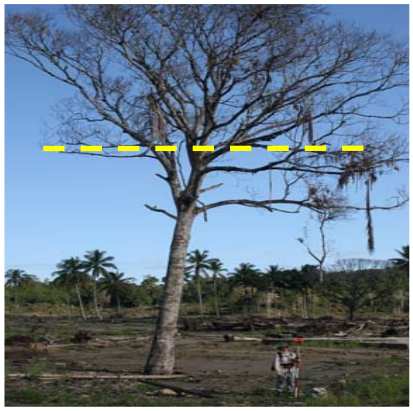
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

4.2.2Κτίρια και δένδρα ως δείκτες ένδειξης ύψους τσουνάμι**.**

Κατά τη διάρκεια της έρευνας των επιστημόνων για τον προσδιορισμό του ύψους που έφτασε το τσουνάμι καθώς και για το πόσο καταστρεπτικό ήταν, καίριο ρόλο διαδραμάτισαν τα κτίρια και τα δένδρα. Η μέθοδος μέτρησης του ύψους ήταν αρκετά εύκολη. Βασίζονταν στην αλλαγή του χρώματος που παρουσίαζαν οι τοίχοι των κτιρίων από την υγρασία και τη μούχλα. Όσον αφορά τα δένδρα, η ανύψωση του κύματος έγινε αντιληπτή από την υγρασία των δένδρων και από το σπάσιμο ή κύρτωμα των κλαδιών. Παρακάτω παραθέτονται κάποιες εικόνες που δείχνουν του δείκτες επιπέδου του κύματος.



***Εικόνα 18*. Το ύψος που έφτασαν τα νερά από το τσουνάμι φαίνεται στο κτίριο.(Dengler L., Higman B. Et al, 2004)**



***Εικόνα 19*. Στο δέντρο απεικονίζεται το ύψος μέχρι το οποίο έφτασε το κύμα (Dengler L., Higman B. Et al, 2004)**

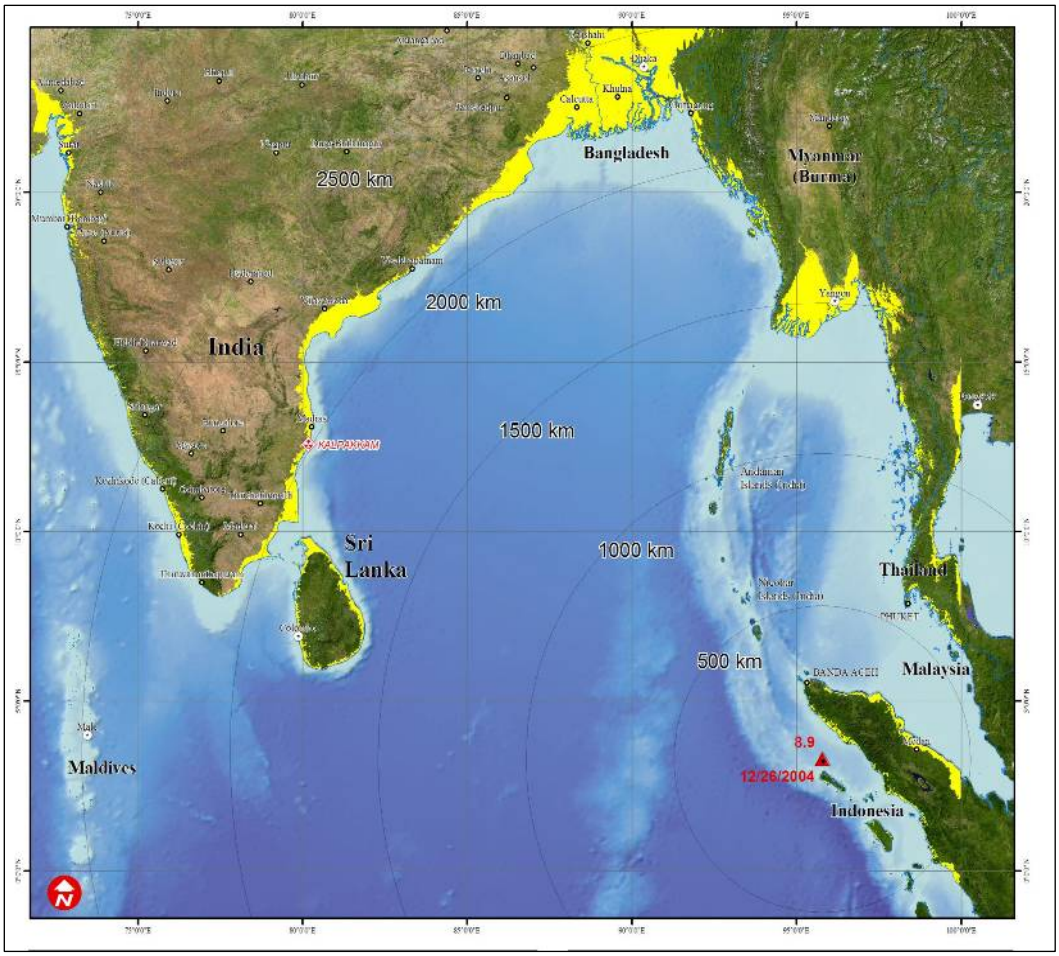
***Εικόνα 20*. Το ύψος που έφτασαν τα νερά από το τσουνάμι (Pavlidis S. et al,2005)**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

5. Η ΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΩΣ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκε η διαβρωτική και η αποθετική ικανότητα του τσουνάμι σε συγκεκριμένες περιοχές της Β. Σουμάτρας. Ανάλογα αποτελέσματα, σε διαφορετικό βαθμό, όμως, παρατηρήθηκαν και σε άλλες περιοχές της Β. Σουμάτρας, της Σρι Λάνκας και των Μαλδίβων. Ο λόγος αυτής της ανομοιογένειας ήταν η γεωμορφολογία και η θέση των περιοχών. Έτσι, μελετώντας χάρτες και φωτογραφίες, που δείχνουν την καταστροφή που υπέστησαν οι περιοχές, καταδεικνύεται η επίδραση του τσουνάμι.

Μια πρώτη προσέγγιση για την ευρύτερη περιοχή του Ινδικού Ωκεανού είναι ο παρακάτω χάρτης. Σ' αυτόν, απεικονίζεται το μέγεθος και το επίκεντρο του σεισμού, καθώς και η χιλιομετρική απόσταση απ' αυτό. Έτσι, δίνεται μια γενική εικόνα της απόστασης των περιοχών, που επλήγησαν, από το επίκεντρο του σεισμού. Αυτό, όπως θα δούμε παρακάτω, συνέβαλε σημαντικά στο βαθμό διάβρωσης, απόθεσης και κατ' επέκταση, καταστροφής των εξεταζόμενων περιοχών.



Χάρτης 5.
Χάρτης των περιοχών της Β. Σουμάτρας, της Σρι Λάνκας και των Μαλδίβων

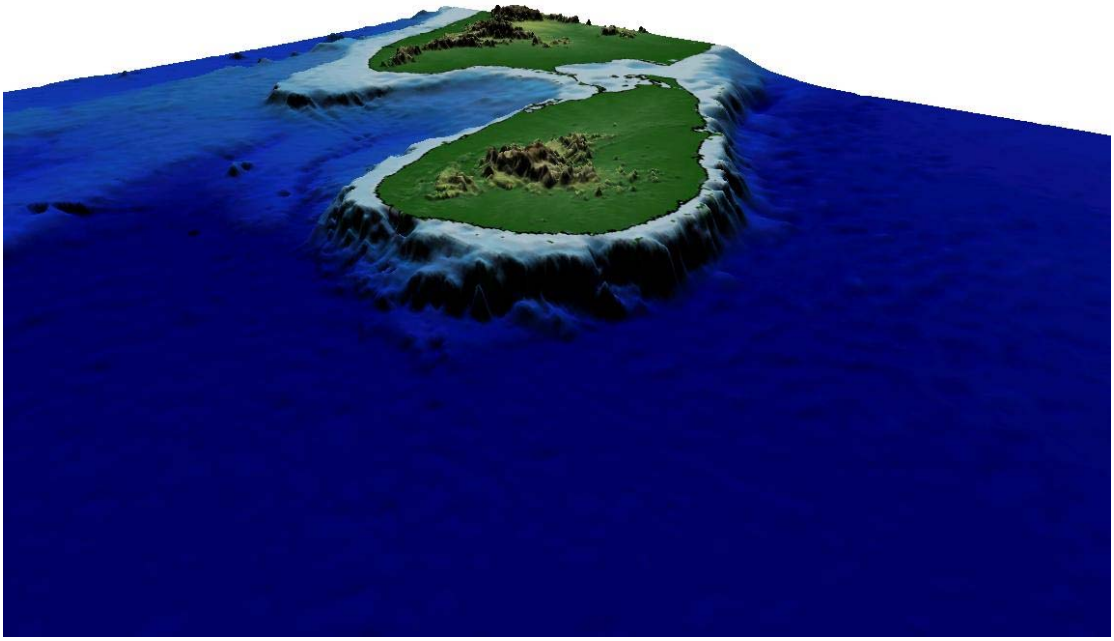
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

5.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

5.1.1Σρι Λάνκα

Η Σρι Λάνκα έχει την μορφολογία ενός τυπικού νησιού. Την υφαλοκρηπίδα την διαδέχεται η ηπειρωτική κατωφέρεια με μεγάλες κλίσεις. Αυτό ήταν καθοριστικό για την καταστροφή που συντελέστηκε περιμετρικά του νησιού. Η καταστροφή δεν ήταν ολική αλλά περιορίστηκε στις παραθαλάσσιες περιοχές. Η τοπική γεωμορφολογία τους είναι χαμηλού ανάγλυφου με αποτέλεσμα το τσουνάμι να επιδράσει σημαντικά.

Παρακάτω παραθέτεται μια τρισδιάστατη εικόνα της Σρι Λάνκα για την κατανόηση της μορφολογίας.



Εικόνα 21. **Τρισδιάστατη εικόνα της Σρι Λάνκα**
(http://www.globalsecurity.org/eye/andaman-maps.htm)

Λόγω του χαμηλού ανάγλυφου όπως επίσης και της υψηλής βλάστησης, το τσουνάμι εισήλθε μέχρι κάποιο σημείο προξενώντας καταστροφές σε κτίρια και δρόμους αλλά και τοπικές πλημμύρες. 0ι παρακάτω εικόνες αποτελούν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα.

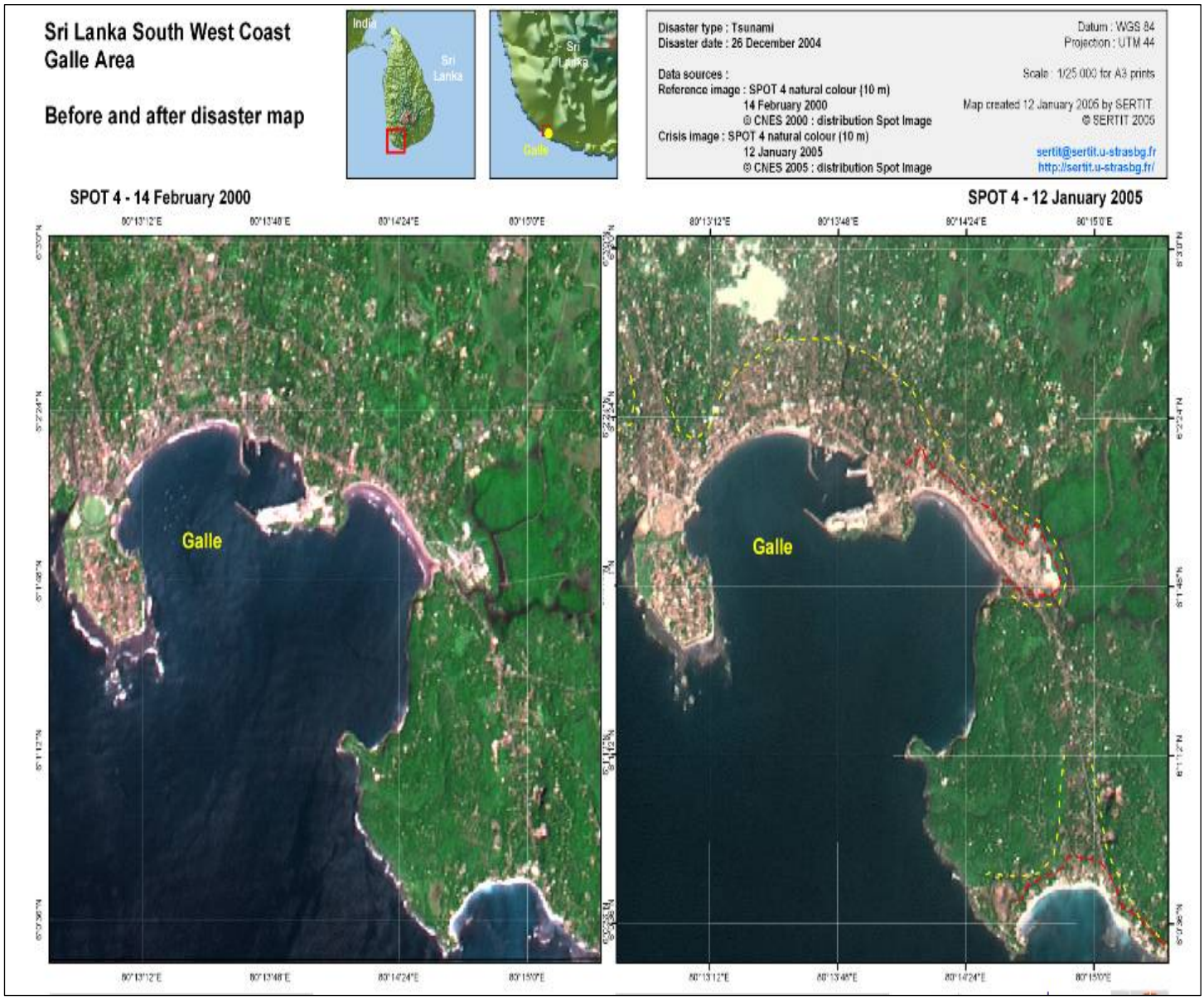
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Εικόνα 22. **Πριν τη δράση του τσουνάμι, καθώς η θάλασσα τραβιέται προς τα μέσα.(http://www.digitalglobe.com/sample_imagery.shtml)**

Εικόνα 23**. Η περιοχή μετά τη δράση του τσουνάμι http://www.digitalglobe.com/sample_imagery.shtml)**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Στην επόμενη αεροφωτογραφία παρουσιάζεται το λιμάνι της περιοχής Galle. Όπως σε άλλες περιοχές έτσι και εδώ η καταστροφή έγινε περιμετρικά και επεκτάθηκε σε μεγάλη απόσταση από την ακτή. Η κίτρινη διακεκομμένη γραμμή δείχνει μέχρι που πραγματοποιήθηκε διάβρωση. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι το κύμα εισήλθε αρκετά στην ενδοχώρα. Ο λόγος οφείλεται στην παρουσία λιμανιού ,που όπως θα δούμε παρακάτω, όταν στην περιοχή υπάρχει κάποιο λιμάνι, το κύμα ΄΄σκάει΄΄ με μεγαλύτερη ορμή και με μεγαλύτερο ύψος. Έτσι, η διάβρωση είναι εκτεταμένη.

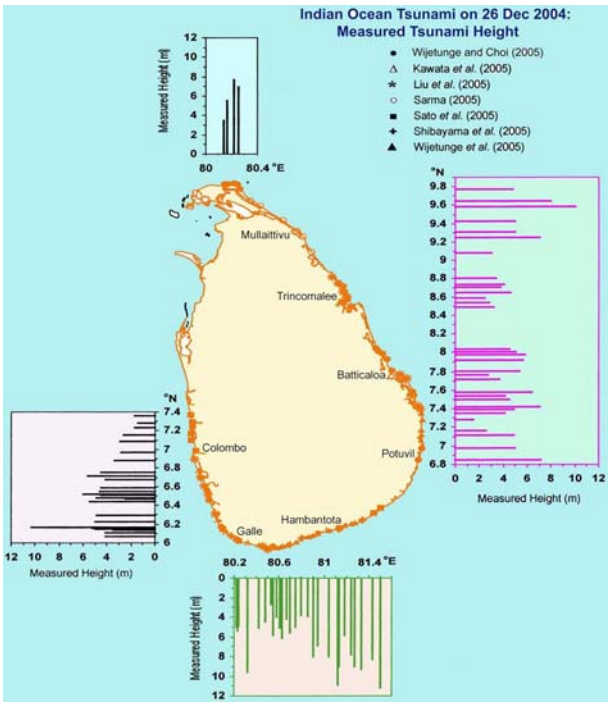


Εικόνα 24. **Πριν και μετά το τσουνάμι η περιοχή Galle**

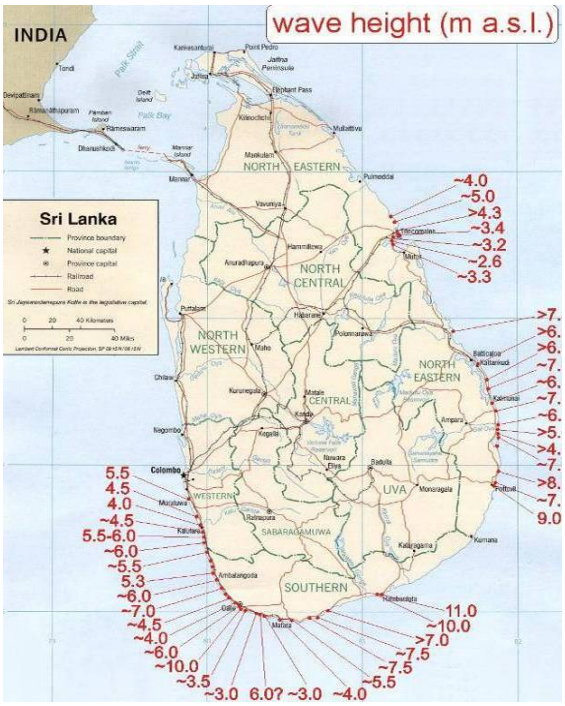
Είναι εξίσου σημαντικό να αναφέρουμε χαρακτηριστικά του τσουνάμι για τη περιοχή της Σρι Λάνκα . Ένα από αυτά είναι το ύψος του κύματος.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Ομάδα ερευνητών που αποτελούνταν από τους Choil et al (2005), όπως επίσης και από τους Kawata et al (2005), Liu et al (2005), Sarma et al (2005), Shibayma et al (2005), Sato et al (2005) και Wijetunge et al (2005), έκανε μετρήσεις στις πιο επηρεασμένες περιοχές της Νότιας, Βόρειας, Ανατολικής και Δυτικής Σρι Λάνκας για ύψος του τσουνάμι. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή ιστογράμματος στην παρακάτω εικόνα.



***Χάρτης 6*. Χάρτης που απεικονίζει το ύψος του κύματος που έφτασε στη Σρι Λάνκα (Janaka J., 2006)**



***Χάρτης 7.* Χάρτης που απεικονίζει το ύψος του κύματος που έφτασε στη Σρι Λάνκα.**
(Pavlidis S. et al., 2005)

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Οι μετρήσεις έδειξαν μέγιστο ύψος του τσουνάμι από 3-7 μέτρα κατά μήκος της ανατολικής ακτής από τη περιοχή Nilaweli(~8,66ο) δια μέσου των Trincomalee, Mutur, Vakaneri, Batticaloa, Kalmunai και Akkarapattu κάτω από την Potuvil, με μια αυξανόμενη τάση προς το νότο.[Choi et al (2005) & Lui et al (2005)]

Ωστόσο, στην νότια ακτή φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερο εύρος στο ύψος που έφτασε το τσουνάμι, που κυμαίνεται από λιγότερο των 3 μέτρων και περισσότερο των 11 μέτρων. Έγιναν πέντε μετρήσεις στην πόλη Galle (~80,32oE), όπου ο μέσος όρος ύψους είναι περίπου 4.5-5 μέτρα.[Kawata et al (2005)]

Απομακρυνόμενοι από την πόλη Galle προς την Tangalle το ύψος του κύματος καταμετρήθηκε από 4-6 μέτρα από δύο τοποθεσίες στον αεροδιάδρομο της Koggala (~80,32oE), όπου το ύψος κύματος ανήλθε στα 9 μέτρα[Kawata et al (2005)] και στην περιοχή της Polhena (80,52oE) όπου το μέγιστο ύψος έφτασε μόλις τα 2,7 μέτρα. [Shibayma et al (2005)]

Επιπλέον, υψηλές μετρήσεις κυμάτων (9-11 μέτρα) καταγράφηκαν στις περιοχές Hambanto, Kirinda, όπως επίσης στη Mahaseelawa και στην παράκτια περιοχή της Patanangala (από ~81,0ο E-81,5ο E).[Shibayma et al (2005), Lui et al (2005) & Sarma et al (2005)]

Στις νοτιοδυτικές και δυτικές ακτές τα ύψη των κυμάτων παρουσιάζουν μείωση σε σχέση με το βορρά. Τα καταγραμμένα ύψη του τσουνάμι μεταξύ των περιοχών Dodanduwa και Beruwala(~6,1ο N-6,5ο N) ανέρχονται περίπου στα 4-5 μέτρα ενώ στην περιοχή Kahawa(~6,16ο N) εκτιμήθηκε στα 10 μέτρα.[Kawata et al (2005)]

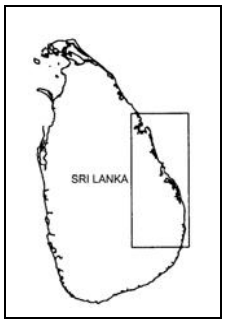
Επιπλέον, από την Mattakkuliya βόρεια της πρωτεύουσας Colombo μέχρι την ακτή Lansigama της Marawila(~6,9ο N-7,4ο N) το εύρος του ύψους του τσουνάμι ήταν 1,4-2-9 μέτρα. Τα συγκριτικά χαμηλά ύψη κύματος, στην δυτική ακτή δεν πρέπει να προκαλούν έκπληξη γιατί το τμήμα αυτής της ακτής προφυλάσσεται από την άμεση επίδραση του τσουνάμι και μόνο τα κύματα διάθλασης λιγότερης ενέργειας μπορούν να την προσεγγίσουν.

Από τα δεδομένα και τον χάρτη προκύπτει ότι η διανομή του ύψους του τσουνάμι κατά μήκος των περιοχών δεν είναι ομοιόμορφο. Αυτό οφείλεται, σε διάφορους παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι η πορεία του κύματος, το πλάτος της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας, η μορφή της ακτής και η παράκτια βαθυμετρία

Το ύψος του κύματος σε συνδυασμό με τη πλημμύρα που επακολούθησε και την διέλευση του τσουνάμι, ήταν η αφορμή για την μελέτη τριών γεωγραφικών περιοχών (ανατολικά και δυτικά της Sri Lanka).[Wijetunge et al (2005)] Παρακάτω παραθέτονται τα αποτελέσματα για την κάθε μία περιοχή.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

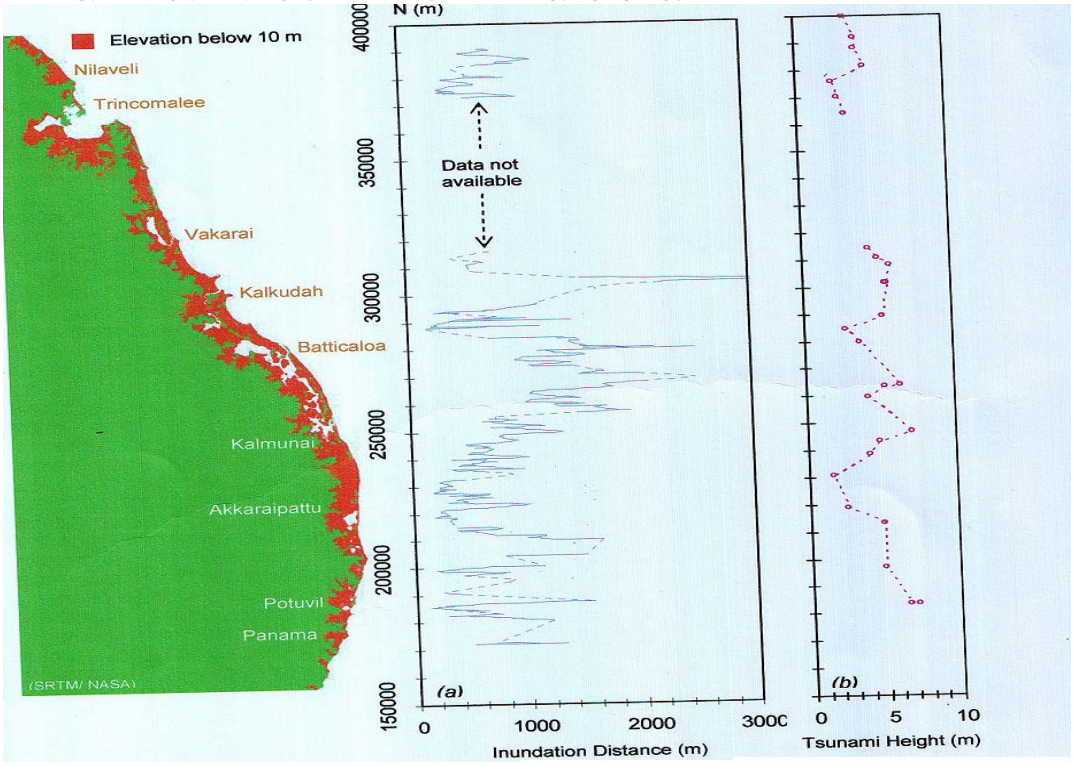
1. Ανατολική ακτή



Το παρακάτω σχήμα δείχνει την πλημμύρα που υπέστησαν οι ανατολικές ακτές της Sri Lanka σε σύγκριση με τα καταγεγραμμένα ύψη κύματος : α) η οριζόντια απόσταση της πλημμύρας από την ακτογραμμή σε μέτρα και β) το μέγιστο επίπεδο νερού του κύματος κοντά στην ακτή σε μέτρα από το επίπεδο παλίρροιας την ώρα της εισχώρησης του τσουνάμι. Παρατηρείται ότι η είσοδος του τσουνάμι στην εκτεταμένη σε διάφορες θέσεις από την Nilaveli μέχρι τον Panama. Στη Kalkudah και Batticaloa η απόσταση της πλημμύρας ξεπερνά τα 2 μέτρα. Αυτό οφείλεται στην παρουσία λιμνοθαλασσών που βοηθούν στην εισχώρηση του κύματος σε μεγαλύτερη απόσταση. Επιπλέον η παρουσία αναρίθμητων τεχνητών περασμάτων, γνωστά ως 'Thona" ,βοήθησαν την παραμονή των υδάτων σ' αυτές τις περιοχές.

Αντιθέτως, στο Potuvil και στον Panama καταγράφηκε διείσδυση περίπου 1.5km. Η παρουσία αμμόλοφων σ΄ αυτές τις περιοχές εμπόδισαν την εισχώρηση του νερού.

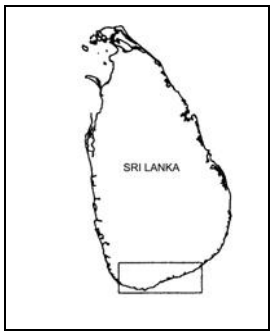
Από τα παραπάνω ανάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχει μια στενή συσχέτιση γεωμορφολογίας και εισχώρησης του τσουνάμι.



Εικόνα 25. **Ανατολική ακτή της Sri Lanka α) η οριζόντια απόσταση της πλημμύρας από την ακτογραμμή σε μέτρα και β) το μέγιστο επίπεδο νερού του κύματος κοντά στην ακτή σε μέτρα από το επίπεδο παλίρροιας την ώρα της εισχώρησης του τσουνάμι. (Janaka J., 2006)**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

2. Νότια ακτή

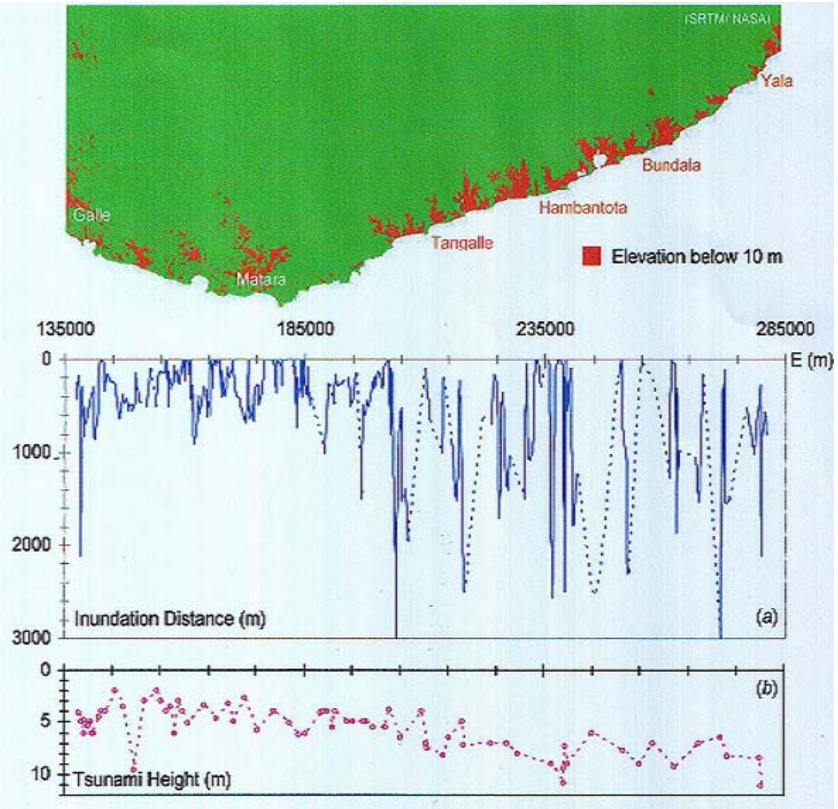


Οι καταγραφές που έγιναν στη νότια ακτή της Sri Lanka περιλαμβάνουν τις περιοχές από το Yala μέχρι το Galle.

Παρατηρείται ότι η βαθύτερη διείσδυση του κύματος είναι στη Hambantota, όπου κοντά στις ακτές ξεπερνά τα 3km. Σημαντική καταγραφή εντοπίζεται επίσηςανατολικά της Hambantota, όπου γεωμορφολογικά επικρατούν κόλποι και λιμνοθάλασσες.

Ανατολικά της Matara δεν σημειώθηκαν σημαντικές καταστροφές, γιατί η μορφολογία της παράκτιας ζώνης παρουσιάζει απότομες κλίσεις.(εικόνα 26) Επίσης μεταξύ της περιοχής Galle και Matara σημειώθηκε σημαντική διείσδυση νερού έως και 2km που συνέβαλε στις τραγικές απόλυες ζωής και στις εκτεταμένες περιοχές.

Στην παράκτια ζώνη των περιοχών Dickwella έως Yala επικρατούν αμμόλοφοι, που τοπικά αποτέλεσαν εμπόδιο στην εισχώρηση του κύματος, όχι όμως και σε όλη την έκταση των περιοχών αυτών. Έτσι σε μέρη όπου οι αμμόλοφοι έφταναν τα 7 με 10 μέτρα, οι καταστροφές ήταν περιορισμένες. Αντιθέτως, περιοχές με θίνες μικρού υψομέτρου, αλλά και με θίνες που παρουσιάζουν τεχνητά ή φυσικά ορύγματα, το τσουνάμι εισχώρησε με απίστευτη βιαιότητα προκαλώντας ανυπολόγιστες καταστροφές.



Εικόνα 26. **Νότια ακτή της Sri Lanka α) η οριζόντια απόσταση της πλημμύρας από την ακτογραμμή σε μέτρα και β) το μέγιστο επίπεδο νερού του κύματος κοντά στην ακτή σε μέτρα από το επίπεδο παλίρροιας την ώρα της εισχώρησης του τσουνάμι. (Janaka J., 2006)**

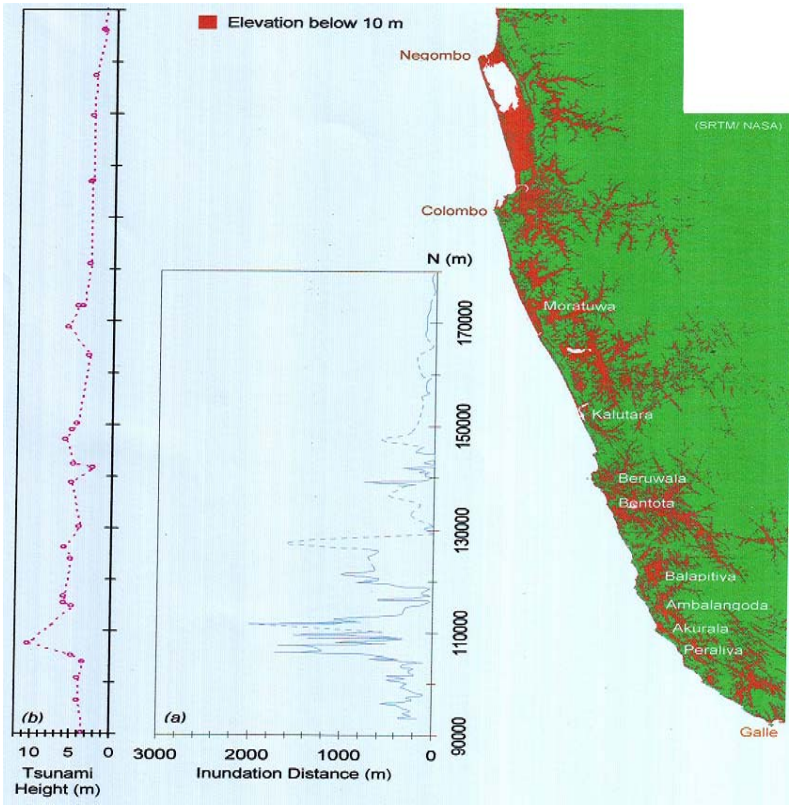
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Εικόνα 27 **Απότομες κλίσεις στην παράκτια ζώνη της περιοχή Matara. (Janaka J., 2006)**

3. Δυτική ακτή

Η επέκταση της πλημμύρας όπως επίσης και τα καταγεγραμμένα ύψη του τσουνάμι από το Galle μέχρι βόρια του Colombo, απεικονίζονται στον παρακάτω χάρτη.

Από το Galle μέχρι το Kallitala σημειώθηκε η μικρότερη σε έκταση πλημμύρα. Ενώ αντιθέτως στο Akurala παρατηρήθηκε η πιο έντονη εισχώρηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις περιοχές Pevaliya και Balabitiya λόγω παρουσίας σιδηροδρομικών γραμμών κοντά στην παράκτια ζώνη, σκοτώθηκαν χιλιάδες άνθρωποι.



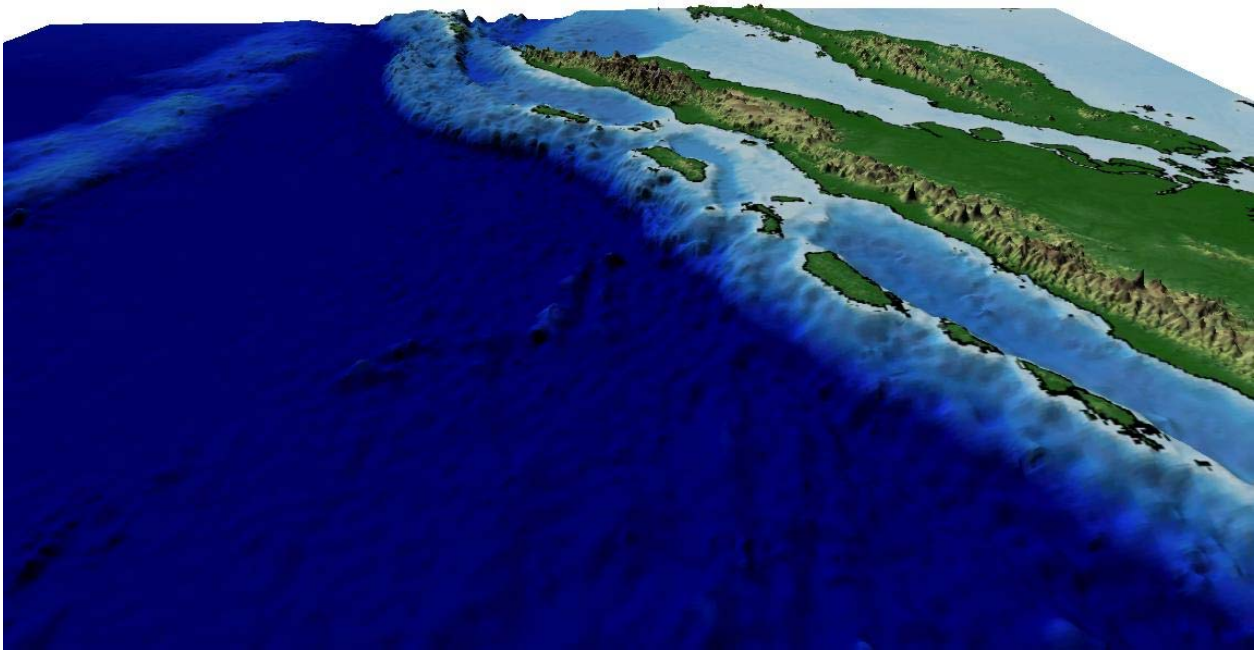
Εικόνα 28. **Δυτική ακτή της Sri Lanka α) η οριζόντια απόσταση της πλημμύρας από την ακτογραμμή σε μέτρα και β) το μέγιστο επίπεδο νερού του κύματος κοντά στην ακτή σε μέτρα από το επίπεδο παλίρροιας την ώρα της εισχώρησης του τσουνάμι. (Janaka J., 2006)**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

5.1.2.Βόρεια Σουμάτρα

Η Β. Σουμάτρα δέχτηκε τις πιο φονικές καταστροφές. Ιδιαίτερα, η περιοχή Banda Aceh που βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του νησιού. Μορφολογικά βρίσκεται στην σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών. Αυτό φυσικά επέδρασε στην συμπεριφορά του τσουνάμι στις δυτικές και βόρειες περιοχές της Σουμάτρας . Η συγκεκριμένη μορφολογία σε συνδυασμό με το επίκεντρο του σεισμού προκάλεσε τις πιο έντονες καταστροφές σε σχέση με άλλες που χτυπήθηκαν από το φονικό τσουνάμι.

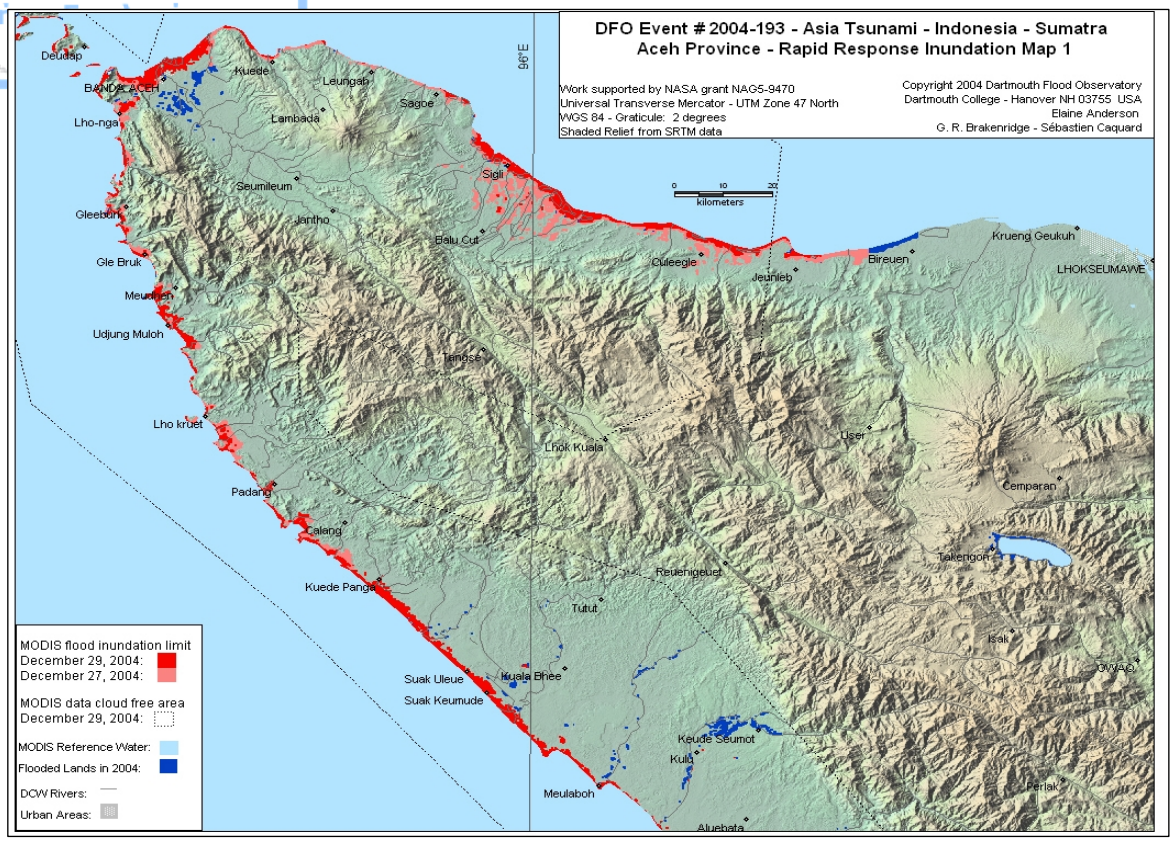
Παρακάτω παρουσιάζεται η Βόρια Σουμάτρα σε τρισδιάστατη μορφή.



***Εικόνα 29*. Τρισδιάστατος χάρτης Β. Σουμάτρας**
(http://www.globalsecurity.org/eye/andaman-maps.htm)

Λόγω του εύρους καταστροφών σ' αυτή την περιοχή, συλλέχθηκε αρκετό φωτογραφικό υλικό που ΄΄μαρτυρά΄΄ το μέγεθος τόσο της ανθρώπινης όσο και της γεωμορφολογικής καταστροφής. Παρακάτω παραθέτονται ο γεωγραφικός χάρτης της Β. Σουμάτρας όπως επίσης και αεροφωτογραφίες της περιοχής Banda Aceh, που πιστοποιούν την ένταση της καταστροφής.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

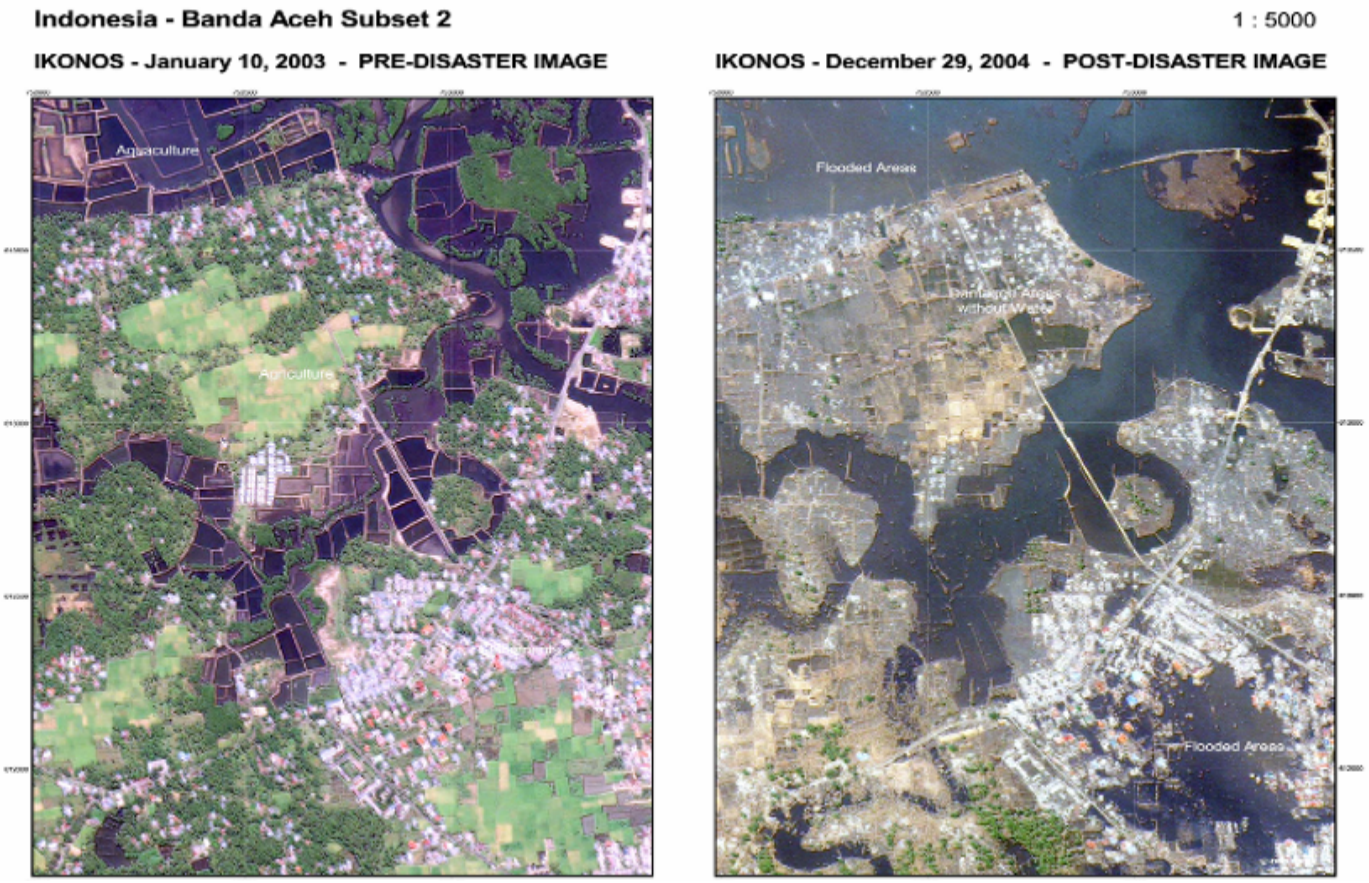


Χάρτης 8. **Χάρτης της Β. Σουμάτρας.**

Εικόνα 30. **Πριν και μετά το τσουνάμι σε μια περιοχή του Banda Aceh. (http://homepage.mac.com/demark/tsunami/2.html)**

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Στις παραπάνω αεροφωτογραφίες, η μεταβολή της γεωμορφολογίας είναι πασιφανής. Μετά την επίδραση του κύματος, συντελέστηκε επιπλάτυνση των ποταμών με ταυτόχρονη μετατροπή των εκβολών τους σε μικρούς κόλπους. Επίσης, εντοπίζονται περιοχές με όχι πυκνή βλάστηση να έχουν δεχτεί την επίδραση περισσότερο . Τέλος, η ακτογραμμή έχει διαβρωθεί και μεταβληθεί έντονα.

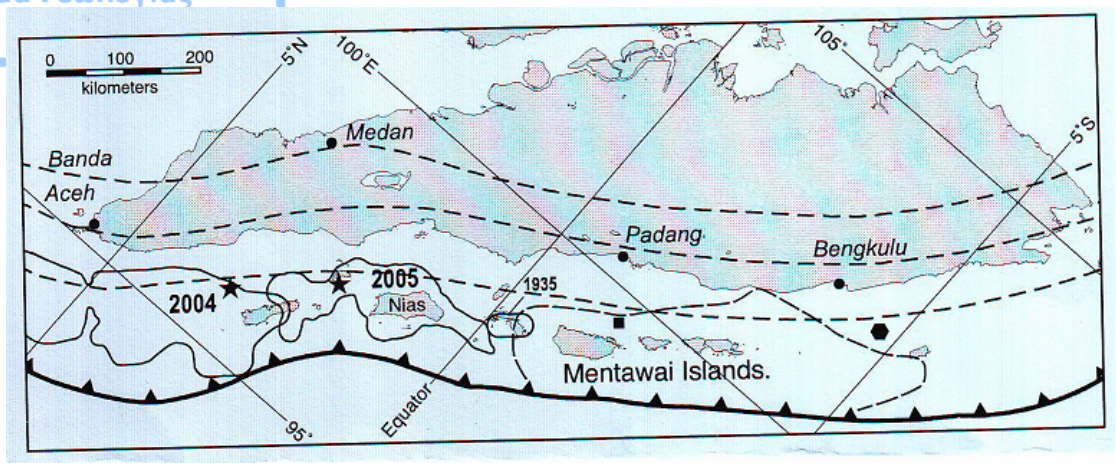


***Εικόνα 31*. Αεροφωτογραφίες της περιοχής Banda Aceh πριν και μετά το τσουνάμι (http://www.crisp.uus.edu.sg/tsunami/tsunami.htm)**

Σε αντίθεση με την προηγούμενη ανεκμετάλλευτη περιοχή, στο ίδιο γεωγραφικά μέρος, η επίδραση του τσουνάμι σε οικοδομημένη και πυκνοκατοικημένη περιοχή του Banda Aceh, όπως φαίνεται στις παραπάνω εικόνες, είναι ολέθρια. Οικήματα, καλλιέργειες και βλάστηση έχουν παραδοθεί στην ορμή του κύματος.

Από στοιχεία της παλαιοσεισμολογίας προκύπτει ότι μεγάλοι σεισμοί επαναλαμβάνονται περίπου κάθε 200 με 250 χρόνια κατά μήκος της υποβύθισης στην περιοχή της Sunda.Τα τρία συμβάντα που θα εξετάσουμε είναι ο σεισμός του 1797 στη Padang μεγέθους 8,6, ο σεισμός του 1833 στη Bengkulu μεγέθους 8,9 και ο σεισμός του 2004 στη LhonKhga μεγέθους 9.Στο χάρτη 8 παρουσιάζονται οι τρεις περιοχές.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



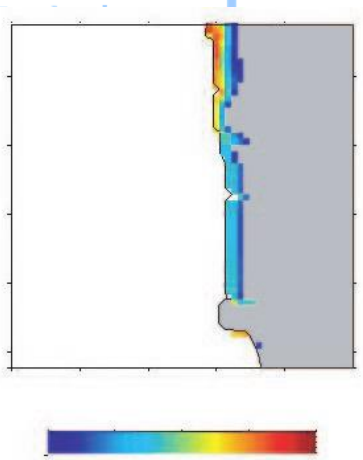
Χάρτης 9 **Στον χάρτη μπορούμε να διακρίνουμε τις τρεις περιοχές που μελετάμε στη Σουμάτρα, Padang, Bengkulu και LhonKhga του BantaAce. (Borrero J.,et al, 2006)**

Κατά μήκος 8 km της περιοχής Padang υπολογίζεται το βάθος του νερού που εισχώρησε σε 1,5 με 4 μέτρα και η πλημμύρα να έφτασε τα 600 μέτρα .Όμως σε περιοχές που υπήρχαν ποτάμια η πλημμύρα θα έφθασε και το 1 km. Αυτά τα αποτελέσματα υπολογίστηκαν από μαρτυρίες και εικασίες για την τότε γεωμορφολογία της περιοχής. Είναι σαφές ότι μετά από 200 χρόνια η περιοχή έχει υποστεί αλλαγές.

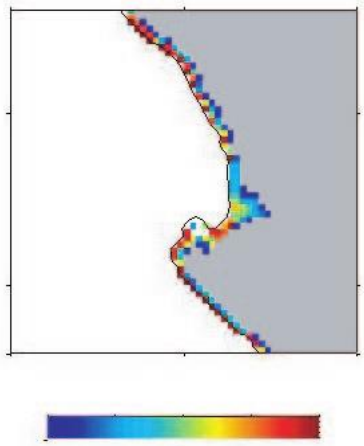
Στην περιοχή Bengkulu υπολογίζεται το βάθος του νερού που εισχώρησε σε 1 με 4 μέτρα και η πλημμύρα να έφθασε τα 1,5 km. Οι μέγιστες πλημμύρες εντοπίζονται σε έλη και ποτάμια με χαμηλή στάθμη κοίτης. Η πλημμύρα θα πρέπει να ήταν αρκετά καταστρεπτική κυρίως σε κατοικημένες περιοχές και αποβάθρες.

Στην περιοχή LhonKhga, δυτικά του BantaAce τα αποτελέσματα διαφορετικά, τόσο από πλευράς πληροφοριών όσο και από πλευράς γεωμορφολογίας. Με περισσότερα στοιχεία και μετρήσεις που έγιναν επιτόπου στην περιοχή μετά το τσουνάμι, αλλά και πριν αυτό, γνωρίζουμε ότι το μέγιστο της πλημμύρας ήταν τα 500 μέτρα. Παρατηρώντας τον χάρτη (Εικόνα 11)και το ιστόγραμμα της παράκτιας περιοχής καταλαβαίνουμε ότι η μεγαλύτερη εισχώρηση ήταν σε κατοικημένες περιοχές, σε μεγάλους κόλπους και στις εκβολές των ποταμών. Οι περιοχές αυτές συγκεντρώνουν την ενέργεια της ακολουθίας των κυμάτων από ΝΔ, ενώ η παρουσία των κοραλλιών κατά μήκος του LhonKhga δεν περιόρισε την επίδραση του τσουνάμι.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμ



Εικόνα 32 **Ηλεκτρονικός χάρτης από την περιοχή Padang, όπου φαίνεται πόσο εισχώρησε το κύμα στην περιοχή το 1797.**
(Borrero J.,et al, 2006)



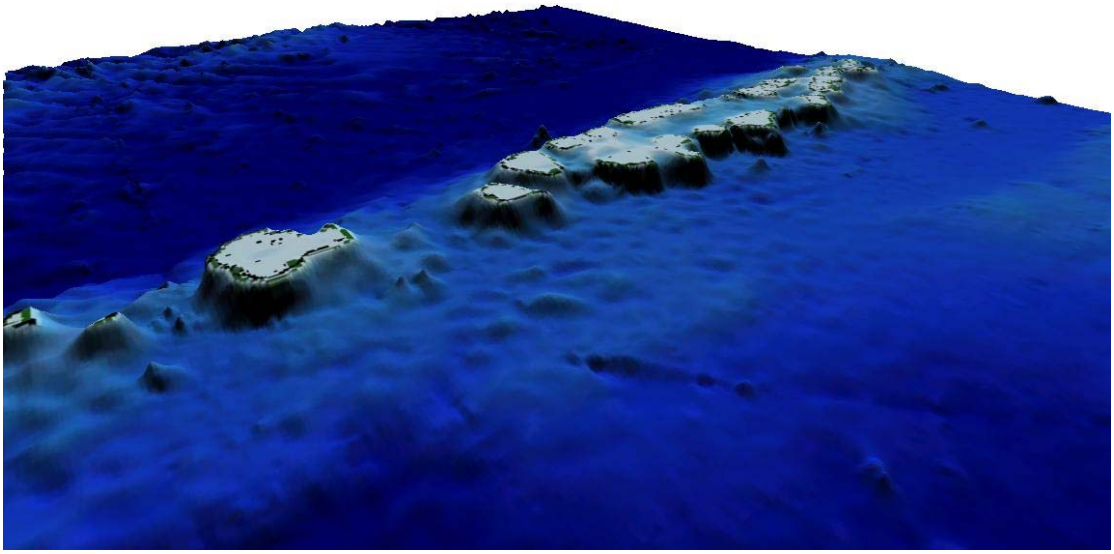
Εικόνα 33 **Ηλεκτρονικός χάρτης από την περιοχή Bengkulu, όπου φαίνεται πόσο εισχώρησε το κύμα στην περιοχή το 1833.**
(Borrero J.,et al, 2006)

Συνοψίζοντας τα παραπάνω στην περιοχή της Sumatra το τσουνάμι του 2004 προκάλεσε διάβρωση σε απόσταση σχεδόν 500 μέτρα, σε αντίθεση με το τσουνάμι του 1797, που εισχώρησε έως και 1km, όπως και το τσουνάμι του 1833 που η εισχώρηση ήταν μέχρι και 1,5km. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην μεταβολή της γεωμορφολογίας που κατά την διάρκεια των χρόνων επηρεάστηκε από την επέμβαση του ανθρώπου αλλά και την εκτεταμένη ανοικοδόμηση.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

5.1.3.Μαλβίδες

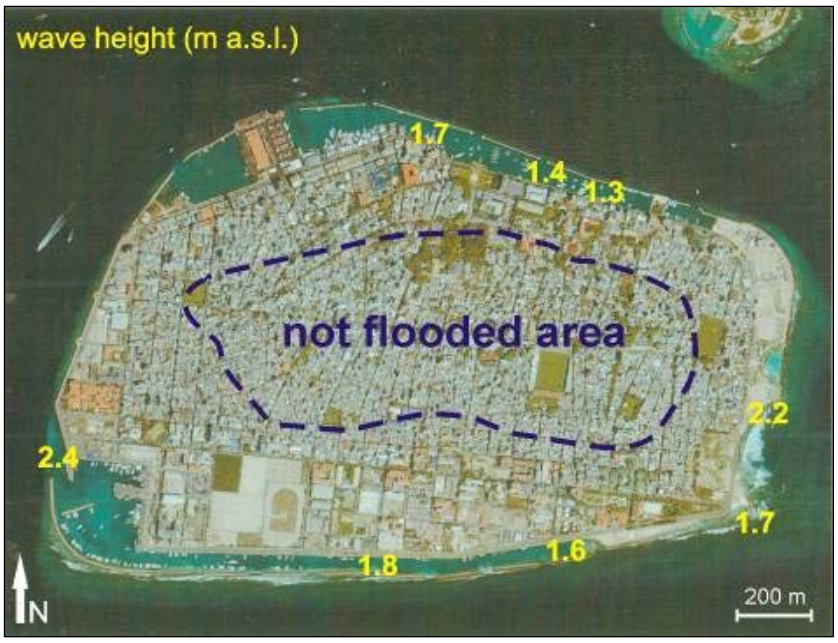
Οι Μαλβίδες αποτελούν ένα σύμπλεγμα ατόλλων, δηλαδή δακτυλιοειδή κοραλλιογενή νησιά στο κέντρο των οποίων έχει σχηματιστεί λιμνοθάλασσα. Λόγω της μορφολογίας τους, όντας χαμηλού υψομέτρου των κοραλλιογενών νησιών, είναι εκ φύσεως ανθεκτικά στη δράση του τσουνάμι. Συνεπώς η επίδραση του ήταν περιορισμένη. Δεν παρατηρούνται ουσιώδης διάβρωση των νησιών, ούτε μείωση της έκτασης τους. Συγκεκριμένα το τσουνάμι επηρέασε το 54% των ακτών των ανατολικών νησιών, ενώ επέδρασε ελάχιστα στα κεντρικά νησιά. Παρακάτω παραθέτεται η τρισδιάστατη απεικόνιση των Μαλβίδων και εικόνες από το ύψος του κύματος, τον χρόνο που έφτασε το κύμα στις περιοχές που επηρέασε και το ποσό των ιζημάτων που απέθεσε το τσουνάμι. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι Μαλβίδες σε τρισδιάστατη μορφή.



***Εικόνα 34*. Τρισδιάστατη εικόνα των Μαλβίδων**
(http://www.globalsecurity.org/eye/andaman-maps.htm)

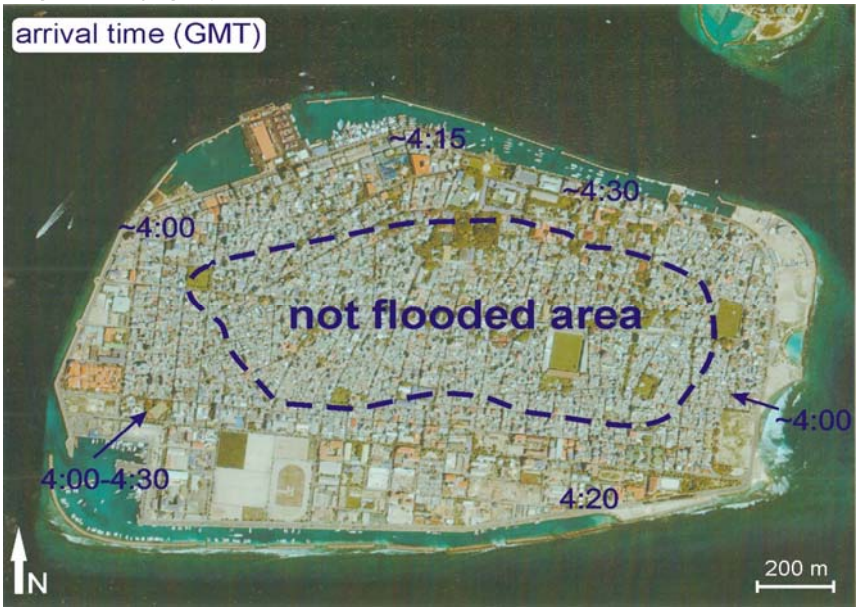
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Στους επόμενους χάρτες απεικονίζονται μετρήσεις ύψους του τσουνάμι και ο χρόνος άφιξης του κύματος στο νησί Male.



Χάρτης 10.
Χάρτης που δείχνει το ύψος του τσουνάμι στο νησί Male.
(Papadopoulos G., et al, 2005)

Το ύψος κύματος δεν καταγράφηκε να ανήλθε σε μεγάλα ύψη. Το μεγαλύτερο ύψος προσδιορίστηκε στο λιμάνι, πιθανόν για το λόγο που προαναφέραμε.



Χάρτης 11.
Χάρτης που δείχνει το χρόνο άφιξης του κύματος στο νησί Male.
(Papadopoulos G., et al, 2005)

Όπως προαναφέρθηκε, οι Μαλδίβες αποτελούν σύμπλεγμα κοραλλιογενών νησιών. Αυτό επηρέασε την κατεύθυνση του τσουνάμι καθώς διήλθε από αυτά. Παρατηρώντας τον χάρτη με τον χρόνο άφιξης του κύματος, κατά θέσεις, η ώρα συμπίπτει. Αυτό οφείλεται στην παρουσία των τριγύρω νησιών, που αποτέλεσαν εμπόδιο, αλλά και στη μεταβολή κατεύθυνσης του κύματος.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Τα κοραλλιογενή νησιά είναι ευαίσθητες περιοχές χαμηλού υψομέτρου που υπόκεινται σε ανυψώσεις του επιπέδου της θάλασσας και σε έντονα γεγονότα όπως τυφώνες και τσουνάμι. Η επίδραση του τσουνάμι στα νησιά των Μαλδίβων από τις τοπογραφικές έρευνες που διεξήχθησαν πριν και μετά το τσουνάμι σε 13 νησιά. Οι έρευνες έδειξαν ότι δεν υπήρξε κάποια ιδιαίτερη διάβρωση του νησιού και σημαντική μείωση των περιοχών. Αντιθέτως ,το τσουνάμι επέτεινε προβλεπόμενες εποχιακές μεταβολές στη μορφή της ακτογραμμής, συμπεριλαμβάνοντας περιορισμένη υποχώρηση των εκτεθειμένων γκρεμών του νησιού πάνω από 6 μέτρα και απόθεση άμμου πάνω από 0,3μέτρα πάχος ,καλύπτοντας πάνω από 17% των περιοχών. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν την σταθερότητα , αποδεικνύοντας ότι τα κοραλλιογενή νησιά είναι φυσικώς ανθεκτικά και η γεωλογική υπογραφή των τσουνάμι στην ανάπτυξη των ατόλλων είναι μικρή.

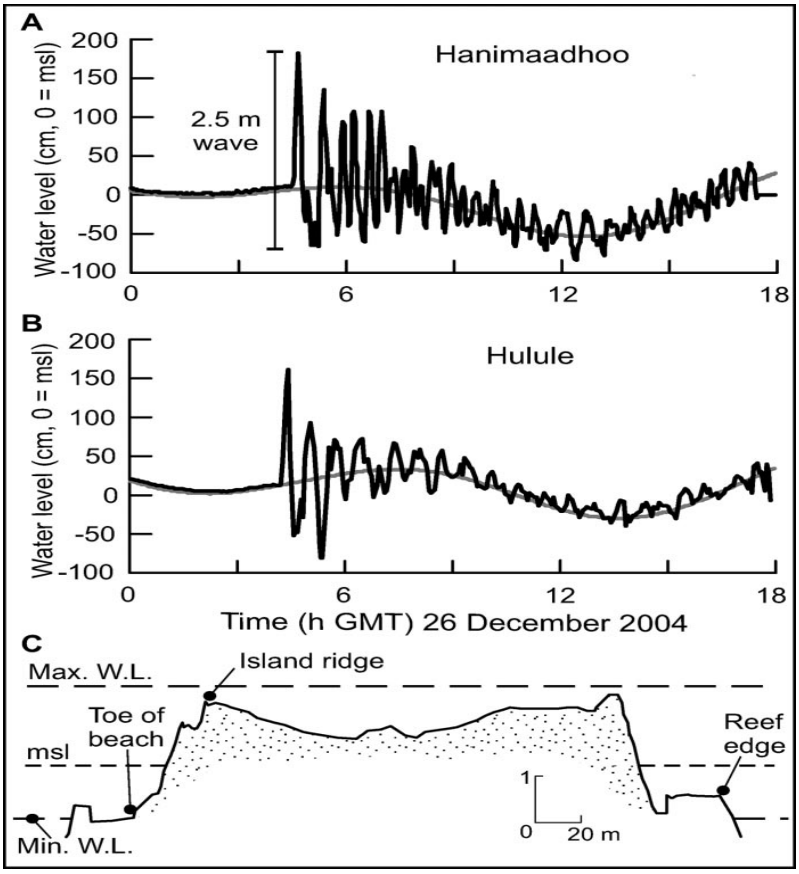
Τα κοραλλιογενή νησιά είναι χαμηλού υψομέτρου συγκεντρώσεις ασβεστιτικού υλικού, που έχουν αποτεθεί ,σχηματίζοντας τους υφάλους. Αυτά είναι ,μορφολογικά, ευπαθή , υποκείμενα σε επεκτεινόμενη καταστροφή, που προκαλεί μελλοντική ανύψωση του επιπέδου της θάλασσας και σημαντική μεταβολή κατά τη διάρκεια έντονων γεγονότων. Ο ρόλος του τσουνάμι στη γεωλογική ανάπτυξη των ατόλλων έχει απλά επισημανθεί και προσπάθειες που στοχεύουν να ξεχωρίσουν τις αποθέσεις του τσουνάμι από τους τυφώνες είναι ανεπιτυχείς. Κατά τη διάρκεια των γεωλογικών χρόνων, οι Μαλδίβες έχουν υποστεί αρκετές φορές τη δράση του τσουνάμι. Ωστόσο, οι γεωμορφολογικές επιδράσεις σ' αυτές δεν μπόρεσαν να προσδιοριστούν ευθέως και να ποσοτικοποιηθούν , παρ' όλο που τα αποτελέσματα τους θα αποτελούσαν σημαντική βοήθεια στον καθορισμό της σταθερότητας τους .

Τα υψηλότερα επίπεδα νερού που έχουν καταγραφεί και σχετίζονται με το πρώτο κύμα φτάνουν τα 1,8 μέτρα πάνω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας .Τις επόμενες 6 ώρες από την έλευσή του , πολλαπλά κύματα έπληξαν τα νησιά, με περιόδους 15-40 λεπτά, με το νερά να ανέρχεται από 1,1 μέτρα μέχρι 1,4 μέτρα πάνω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας .

Παρατηρήθηκαν επίσης αλλαγές στο εσωτερικό των νησιών και στις ακτές, που προέκυψαν από τη διαβρωτική και την αποθετική διαδικασία του τσουνάμι. Προσδιορίστηκαν δύο τύποι διάβρωσης. Ο πρώτος σχετίζεται με την αποκάλυψη των ριζών των δένδρων και την αποσταθεροποίηση τους. Συγκεκριμένα, έρευνες που διεξήχθησαν πριν από την έλευση του τσουνάμι έδειξαν ότι μικρές αναβαθμίδες είναι ένα μόνιμο χαρακτηριστικό στις περισσότερες ακτογραμμές των νησιών. Ωστόσο, προσεκτική εξέταση των ερευνών πριν και μετά το τσουνάμι έδειξε ότι οι αναβαθμίδες που σχηματίστηκαν από την επίδραση του τσουνάμι επηρέασαν πάνω από το 54% των ακτών στα ανατολικά νησιά ενώ τα κεντρικά τα επηρέασαν ελάχιστα. Κατά μήκος των βόρειων και ανατολικών ακτογραμμών, η υποχώρηση γκρεμών πάνω από 6 μέτρα ήταν εκτεταμένη , όπως επίσης στις ανατολικές ακτές των δυτικών νησιών.

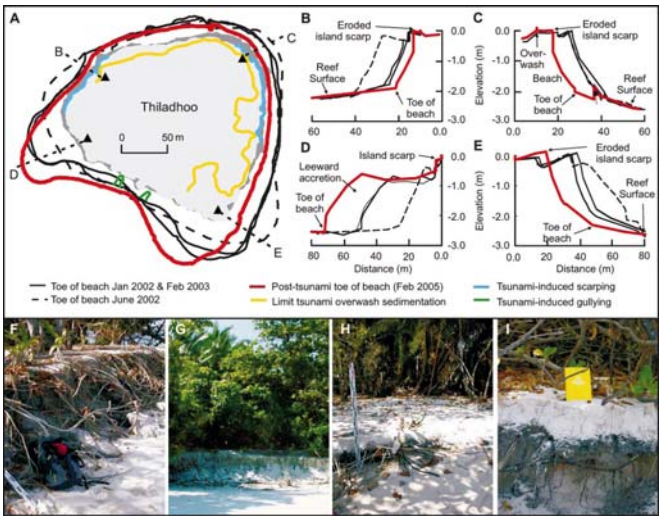
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Ο δεύτερος τύπος διάβρωσης παρατηρήθηκε κατά μήκος των ανώτερων ακτών , με τον σχηματισμό ρεμάτων που η διάσταση τους καταγράφηκε από 2 μέχρι 20 μέτρα κατά μήκος της ακτής και με βάθος πάνω από 1,5 μέτρα.



Εικόνα 35

Α, Β Καταγραφές του επιπέδου του νερού από το βόρειο και το κεντρικό αρχιπέλαγο. C Τομή του νησιού Hulhudoo,με διεύθυνση δύσης- ανατολής, δείχνοντας τα μέγιστα και τα ελάχιστα επίπεδα νερού, που συνδέονται με τη διέλευση του πρώτου τσουνάμι. (Kench P., et al, 2006)



Εικόνα 36

Α. Το νησί Thiladhoo απεικονίζοντας την ακτογραμμή πριν και μετά το τσουνάμι. ,Β-Ε. Μετακίνηση φυτοκαλυμμένων γκρεμών. ,F. Αναβαθμίδες που προέκυψαν από τσουνάμι. G. Εικόνα πριν την έλευση του. Η. Στρώματα άμμου επεκτάθηκαν 15 μέτρα προς την ενδοχώρα, καλύπτοντας τις παλιές διαβρωμένες αναβαθμίδες .Ι. Στρώματα άμμου που κάλυψαν το παλιό διαβρωμένο έδαφος. (Kench P., et al, 2006)

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

5.2 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΚΑΙ ΣΕ ΑΛΛΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ

5.2.1. Φυσικές καταστροφές

Η δράση του tsunami στις περιοχές που μελετάμε έχει καταστρέψει κτίρια, υδροσωληνώσεις, τα καλώδια του ηλεκτρισμού, όπως επίσης έχουν υποστεί ζημιές δρόμοι, γέφυρες, λιμάνια και ράγες των τρένων. Τα συντρίμμια που προκάλεσε το tsunami είχαν ως αποτέλεσμα τον θάνατο πολλών ανθρώπων από τις καταστροφές αυτές. Γίνονταν συνέχεια αναφορές για τραυματισμούς ανθρώπων από κομμάτια χάλυβα που αποσπάστηκαν από τις στέγες των κτιρίων. Στην Sri Lanka υπολογίζεται πάνω από 68000 ότι έχουν υποστεί ολική καταστροφή τα κτίρια και 43000 μερική καταστροφή. Οι παρακάτω φωτογραφίες δείχνουν πόσο καταστρεπτικό ήταν το tsunami στις οικοδομικές κατασκευές. Η αντικατάσταση και επιδιόρθωση όλων των οιακισμάτων θα πάρει πολύ χρόνο.

Εικόνα 37.
Διάβρωση και καταστροφή οδικού δικτύου(Sri Lanka).
(Papadopoulos G., et al, 2005)

Εικόνα 38.
Διάβρωση θεμελίων ενός προϋπάρχων σιδηροδρομικού σταθμού (Sri Lnka)
(Papadopoulos G., et al, 2005)

Εικόνα 39.
Καταστροφή σπιτιών
(Papadopoulos G., et al, 2005)

Εικόνα 40. **Διάβρωση σιδηροδρομικών γραμμών.**
(Papadopoulos G., et al, 2005)

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Εικόνα 41.
Μεγάλου πάχος απόθεσης άμμου και θαλάσσιων ιζημάτων στην Sli Lanka. (Papadopoulos G., et al, 2005)

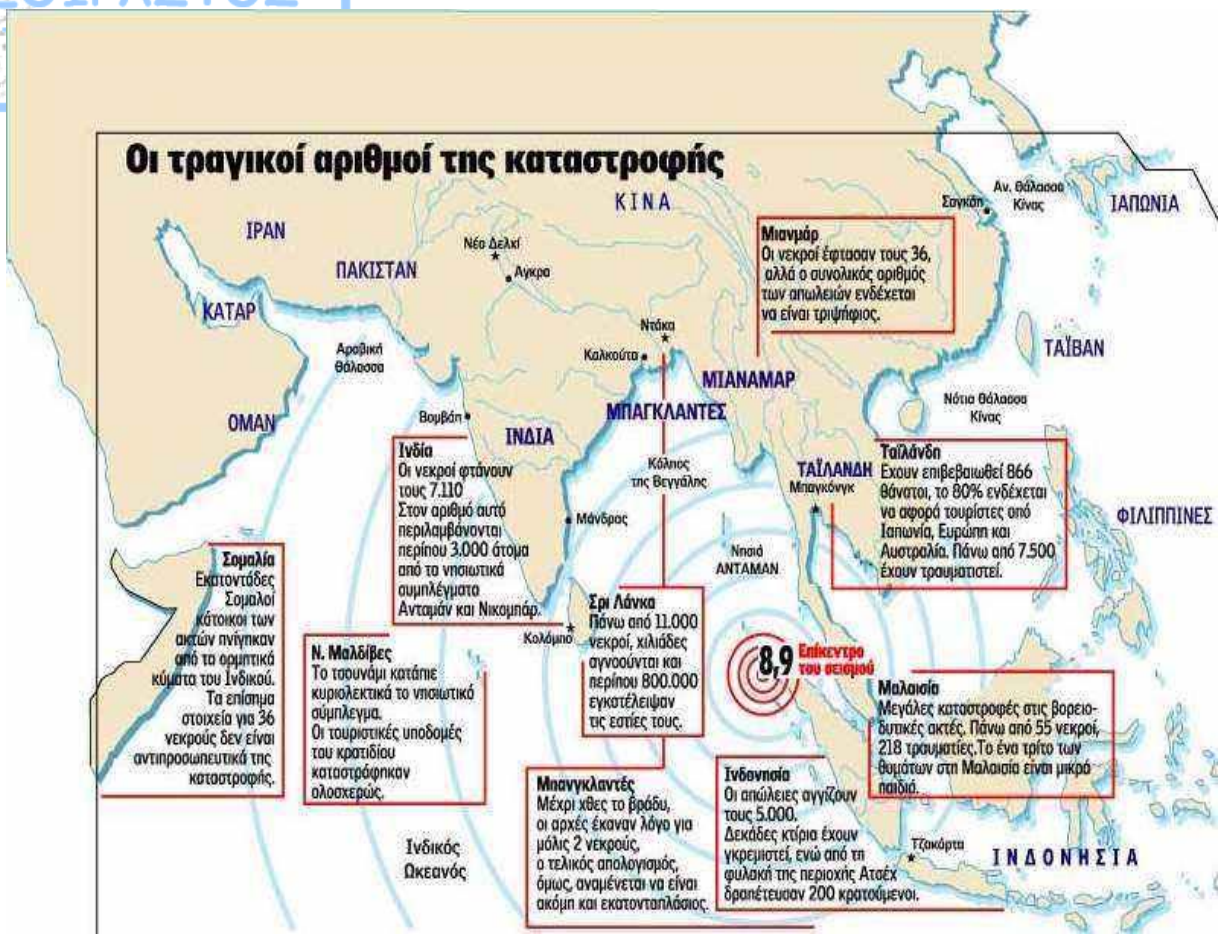
5.2.2. Ανθρώπινος αντίκτυπος

Μετά το χτύπημα των περιοχών αυτών από το tsunami, σαφώς υπήρξαν αναζητήσεις και διασώσεις ανθρώπων από τα συντρίμμια. Όμως ένα στρατηγικό σχέδιο θα μπορούσε να διασφαλίσει ασφαλείς διαδρομές στις πληγείσες περιοχές, περισσότερα ελικόπτερα σε περιοχές που δεν υπήρχε πρόσβαση από την ξηρά , αλλά και ικανοποιητικότερη παροχή ιατρικής βοήθειας στους τραυματισμένους. Η μεγάλης κλίμακας καταστροφή και η ερήμωση περιοχών δεν θα ξεχαστεί ποτέ από τους επιζώντες.

Η περίθαλψη των θυμάτων στα νοσοκομεία των φτωχότερων χωρών και οι όχι καλές εγκαταστάσεις, είχαν ως αποτέλεσμα, ειδικότερα σε θερμές χώρες, την πρόκληση μολύνσεων και ασθενειών και τη μετάδοση αυτών σε μεγάλη μερίδα του πληθυσμού. Αυτός ήταν ο κυριότερος λόγος των περισσότερων θανάτων, μετά βεβαίως τον ακαριαίο θάνατο που υπέστησαν πολλοί άνθρωποι.

Όλες αυτές οι εικόνες κατεστραμμένων περιοχών, άπειρων τραυματισμένων και ο πανικός που προκλήθηκε ήταν η βάση για τα ανεξίτηλα σημάδια που άφησαν στις περιοχές των ανθρώπων αυτών.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



***Χάρτης 12*. Καταγραφή των νεκροί μέχρι το βράδυ της 27ης Δεκεμβρίου 2004 (html://fisiki sto diadiktio/gr)**

Ένα ακόμα πρόβλημα που αντιμετώπισαν μετά το tsunami στην Ασία, ήταν η ταυτοποίηση των νεκρών, αλλά και των βαριά τραυματισμένων. Στην Ταϊλάνδη 3 μήνες μετά την καταστροφή υπήρχαν 2500 θύματα των οποίων η ταυτότητα δεν είχε γίνει ακόμη γνωστή. Η μόνη βοήθεια για τον προσδιορισμό της ταυτότητας τους ήταν το τεστ DNA , για την ολοκλήρωση του οποίου θα χρειάζονταν 5 χρόνια για όλα τα θύματα.

Τέλος γίνονταν μαζικοί ενταφιασμοί θυμάτων για την αποφυγή της εξάπλωσης ασθενειών, χωρίς όμως να παίρνονται τα κατάλληλα μέτρα προστασίας. Επειδή επικρατούσε χάος στις περιοχές αυτές δεν χρησιμοποιούσαν τους κατάλληλους σάκους για την ταφή των πτωμάτων.

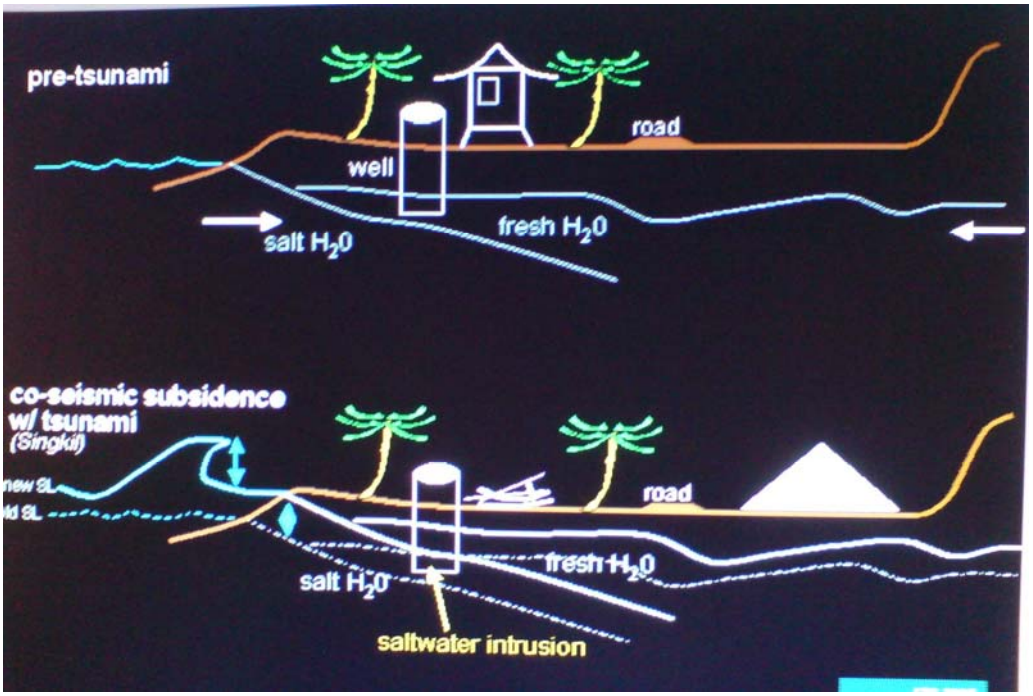
Άλλο πρόβλημα που είχαν να αντιμετωπίσουν εκείνη την περίοδο στην Ταϊλάνδη ήταν οι απαγωγές παιδιών. Ο μεγαλύτερος αριθμός θυμάτων αφορούσε ανήλικα θύματα, με αποτέλεσμα οι επιτήδειοι να εκμεταλλευτούν την κατάσταση και να εμπορεύονται ανήλικα παιδιά που δεν τα αναζητούσαν οι συγγενείς τους. Βέβαια έχουν γίνει δίκες για την αντιμετώπιση του προβλήματος, αλλά οριστική λύση δεν γνωρίζει κανείς αν θα βρεθεί.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

5.2.3. Περιβαλλοντική επίδραση

Το τσουνάμι έχει προκαλέσει ζημιά στον πυθμένα της θάλασσας, στις ακτές και το περιβάλλον των περιοχών που επλήγησαν. Έρευνες στις ακτές της θάλασσας Andaman έδειξαν καταστροφή σε βενθονικούς οργανισμούς, αλλά και σε οικογένειες ψαριών. Η μεγαλύτερη καταστροφή έγινε στους κοραλλιογενείς υφάλους. Κατά μήκος των ακτών, τα τεράστια κύματα οδήγησαν στην απώλεια άμμου από τις παραλίες, αλλά και την αναδιαμόρφωση των ακτών. Αν και τα μεγάλα δέντρα επέζησαν, σχεδόν σε όλες τις περιοχές, εκτός από τις πολύ σοβαρά πληγείσες περιοχές, η εδαφική μόλυνση από το αλμυρό νερό απειλεί τη βλάστηση των πλημμυρισμένων περιοχών. Ενώ τα κτίρια μπορούν να αντικατασταθούν σχετικά γρήγορα, η αποκατάσταση του εδάφους από την επίδραση του αλμυρού νερού μπορεί να διαρκέσει το λιγότερο 2-3 χρόνια, ακόμα και σε περιοχές που οι βροχοπτώσεις είναι έντονες.

Επίσης έχουν μολυνθεί τα φρεάτια του πόσιμου νερού με θαλασσινό νερό και ιζήματα. Το αλμυρό νερό προκάλεσε προβλήματα και στις οικιακές χρήσεις των ανθρώπων όπως η τουαλέτα, το μπάνιο και άλλα. Οι εικόνες παρουσιάζουν την υδρογεωλογία της περιοχής πριν και μετά την δράση του tsunami . Η επίδραση του είχε ως αποτέλεσμα την άνοδο του υδροφόρου ορίζοντα, της στάθμης της θάλασσας, με συνέπεια να μετακινηθεί η διεπιφάνεια και να επέλθει υφαλμύριση των υδάτων. Επομένως στο πηγάδι θα πραγματοποιείται άντληση αλμυρού νερού.(Bill Keane Clarke Bond Group Ltd,et al.,2005)



***Εικόνα 42*.**
Πριν και μετά το τσουνάμι, περιοχή με πηγάδι που υφαλμύρισε

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Το τσουνάμι άσκησε επίδραση και στο θαλάσσιο οικοσύστημα με επιπτώσεις στην αλιεία, την δομή του βυθού της θάλασσας, αλλά και την αλλαγή του φυσικού μεγέθους των κοραλλιογενών ύφαλων. Η αλλαγή της αλατότητας της θάλασσας προκάλεσε το 30 % των καταστροφών σε έλη και κοραλλιογενείς υφάλους. Στην Ινδονησία.

5.2.4. Οικονομικός αντίκτυπος

Μεγάλες καταστροφές υπέστησαν οι αγροτικές περιοχές στην Ινδία, Σρι Λάνκα, Ταϊλάνδη, Ινδονησία και Μαλαισία, με αποτέλεσμα κάτοικοι αυτών των περιοχών να καταφύγουν σε μεγαλύτερες και αστικές πόλεις. Αυτό συντέλεσε στην μείωση της οικονομίας των αγροτικών περιοχών, αλλά και την ολική καταστροφή τους σε σημείο να χρειάζονται αρκετό χρονικό διάστημα για να είναι καλλιεργήσιμα τα χωράφια. Η ασιατική τράπεζα αναπτύξεως (ADB) και η Παγκόσμια Τράπεζα αξιολόγησαν την κοινωνικοοικονομική και περιβαλλοντική επίδραση σε μείωση 75% της οικονομίας.

Ο τουρισμός στην Ταϊλάνδη πιστεύεται ότι θα ανακάμψει μετά την αποκατάσταση των τουριστικών θέρετρων. Αξιολογούσαν ότι ένας χρόνος θα ήταν αρκετός για την αποκατάσταση του τουρισμού.

***Εικόνα 43*.**
Φωτογραφίες από κατεστραμμένα ψαροκάϊκα
(Papadopoulos G., et al, 2005)

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Ακόμη ένα πρόβλημα που προστέθηκε ήταν οι 270000 άνθρωποι που ήταν άνεργοι μετά το τσουνάμι. Τα 2/3 των αλιευτικών σκαφών και βαρκών καταστράφηκαν και τα υπόλοιπα χρειαζόντουσαν επισκευές. Όμως το 35% του πληθυσμού είχε ως ασχολία την αλιεία. Βέβαια υπήρξε οικονομική ενίσχυση, αλλά και βοήθεια από σχεδόν όλες τις χώρες.

Εικόνα 44.**Διάβρωση του εδάφους και καταστροφή βλάστησης**
(Pavlidis S., et al, 2005)

Εικόνα 45.**Καταστροφή δρόμου και κτισμάτων**
(Pavlidis S., et al, 2005)

19/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

6 ΤΟ ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΩΣ ΜΟΡΦΟΓΕΝΕΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ

Κάνοντας μια ανασκόπηση σε όλα όσα αναφέρθηκαν στην εργασία, ένα τσουνάμι που πλήττει μια περιοχή θα έχει ολέθριες συνέπειες. Πόσο καταστρεπτικό θα είναι ένα τσουνάμι καθορίζεται από διάφορους παράγοντες. Κυρίαρχο ρόλο παίζουν η γεωμορφολογία της περιοχής και η αιτία εκδήλωσης τους. Επιπλέον, όταν μια περιοχή είναι κατάλληλα προετοιμασμένη ν' αντιμετωπίσει ένα φαινόμενο, οι καταστροφές είναι λιγότερες. Επομένως σημαντικό, επίσης, ρόλο παίζει και η ετοιμότητα του κρατικού μηχανισμού.

Η φονική επίδραση του τσουνάμι δεν περιορίστηκε μόνο στα αναρίθμητα θύματα και τις υλικές καταστροφές. Σημαντική καταστροφή συντελέστηκε και στην παράκτια γεωμορφολογία, όπου αποτυπώνονται μέχρι και σήμερα αυτές οι αλλαγές. Η ακτογραμμή μετατοπίστηκε σε σημαντικό βαθμό κατά θέσεις, προς την ενδοχώρα, επιφέροντας αλλαγές στην ιζηματογένεση, στην υδρογεωλογία και στη βλάστηση.

Η εισχώρηση του νερού παρουσιάζεται ιδιαίτερα μεταβλητή και αυτό επηρεάζεται από τη φάση του κύματος, τη βαθυμετρία, την ανύψωση του εδάφους, την κλίση και τη γεωμορφολογία. Μοντελοποίηση των μελετών έχει δείξει ότι τα υψηλότερα κύματα σε κάποιες περιοχές ήταν το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης πολλών κυμάτων με την ακτή ή την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα.

Πηγή όλων αυτών είναι το μέγεθος του σεισμού, το βάθος της εστίας του, καθώς επίσης και στάδιο της κατακόρυφης μετατόπισης της στάθμης του νερού που καθορίζουν το ενεργειακό φορτίο, τον προσανατολισμό και την καταστρεπτικότητα του τσουνάμι.

Κατά τη διάδοση του κύματος η ενέργεια του δεν παραμένει σταθερή. Όσο διαδίδεται στον ανοιχτό ωκεανό η ενέργεια δεν παρουσιάζει μεταβολές. Αντίθετα, πλησιάζοντας προς την ηπειρωτική κατωφέρεια αυξάνεται συνεχώς, ώσπου να εκτονωθεί στις παράκτιες ακτές με μεγάλη σφοδρότητα. Κατά την κίνηση αυτή, σημαντικός όγκος ιζημάτων οπισθοχωρεί υπό την ενέργεια του κύματος, αναμιγνύεται με υλικά της υφαλοκρηπίδας, μεταβαίνοντας σε μια βίαιη κίνηση που θα καταλήξει στην απόθεση τους στην παράκτια ζώνη.

Η ταξινόμηση των ιζημάτων καθορίζει αν οι αποθέτες προήλθαν από οπισθοχώρηση από ανύψωση του τσουνάμι. Ιζήματα που προέρχονται από ανύψωση του κύματος παρουσιάζονται με κανονική διαβάθμιση, ενώ από οπισθοχώρηση προκύπτουν παχιά και κακώς ταξινομημένα στρώματα.

Όσον αφορά το πάχος των ιζημάτων που αποτίθενται, αυτό εξαρτάται από την ενέργεια του κύματος. Όσο μεγαλύτερη ενέργεια φέρει το κύμα,

19/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

τόσο περισσότερο όγκο παρασύρει, με αποτέλεσμα να σχηματίζει μεγαλύτερο πάχος ιζημάτων.

Το πάχος των ιζημάτων και ο όγκος του αντιπροσωπεύουν την ενέργεια του τσουνάμι, στοιχεία τα οποία δεν μπορούν να συμβάλλουν για τον προσδιορισμό της διεύθυνσης του κύματος. Έτσι η βλάστηση των παράκτιων περιοχών καταδεικνύει την κατεύθυνση του. Αυτό αποτυπώνεται κυρίως στην κλίση των δέντρων, που επλήγησαν με τα περάσματα.

Με το πέρασμα του χρόνου, πραγματοποιείται αποκατάσταση των πληγέντων περιοχών, όσον αφορά τη γεωμορφολογία τους και την αποικοδόμηση τους. Κατά τόπους θα διαρκέσει περισσότερο διάστημα, αφού συντελέστηκε ολοκληρωτική καταστροφή του οικοσυστήματος.

Η δράση του τσουνάμι επεκτάθηκε σ' όλο τον Ινδικό ωκεανό. Κάποιες περιοχές επλήγησαν περισσότερο. Σ' αυτό συνέβαλε τόσο το κύμα όσο και η μορφολογία των περιοχών. Οι Μαλδίβες, για παράδειγμα, υπέστησαν λίγες καταστροφές λόγω της μορφολογίας και συγκεκριμένα στις ακτές των ανατολικών νησιών. Η αιτία ήταν η διεύθυνση του κύματος, λόγω της παρουσίας των γειτονικών νησιών, τα οποία αποτελούν εμπόδιο. Οι έρευνες έδειξαν ότι δεν υπήρξε κάποια ιδιαίτερη διάβρωση του νησιού και σημαντική μείωση των περιοχών. Αντιθέτως ,το τσουνάμι επέτεινε προβλεπόμενες εποχιακές μεταβολές στη μορφή της ακτογραμμής, συμπεριλαμβάνοντας περιορισμένη υποχώρηση των εκτεθειμένων γκρεμών του νησιού πάνω από 6 μέτρα και απόθεση άμμου πάνω από 0,3μέτρα πάχος ,καλύπτοντας πάνω από 17% των περιοχών. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν την σταθερότητα , αποδεικνύοντας ότι τα κοραλλιογενή νησιά είναι φυσικώς ανθεκτικά και η γεωλογική υπογραφή των τσουνάμι στην ανάπτυξη των ατόλλων είναι μικρή. Όντας κοραλλιογενή νησιά, δεν παρουσιάζουν σημαντικές καταστροφές, καθώς το ύψος του κύματος δεν ξεπέρασε τα 2,5 m.

Στην Σρι Λάνκα παρατηρούνται καταστροφές περιμετρικά του νησιού. Η ενέργεια με την οποία έφτασε το τσουνάμι ήταν μεγαλύτερη, σε σχέση με τις Μαλδίβες εξ' αιτίας της πορείας του κύματος, της μορφής της ακτής, το πλάτος της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας και της παράκτιας βαθυμετρίας. Στη δυτική ακτή τα κύματα δεν ανήλθαν σε μεγάλα ύψη, διότι το τμήμα αυτής της ακτής προφυλάσσεται από πιθανές επιδράσεις του τσουνάμι. Αντιθέτως, στην ανατολική ακτή η παρουσία λιμνοθάλασσες και «tonas» συνέβαλαν στη μεγαλύτερη εισχώρηση του κύματος κατά τόπους. Η παρουσία θινών στις νότιες ακτές λειτούργησαν ως εμπόδιο για την εισχώρηση του κύματος σ΄ αντίθεση με τους κόλπους και τις λιμνοθάλλασες.

Τέλος, στη Β. Σουμάτρα δεν ήταν τόσο έκδηλη η ένταση του κύματος όσο η έκταση της καταστροφής του. Αυτό οφείλεται στη θέση της Β. Σουμάτρας που βρίσκεται κοντά στο σημείο ανάπτυξης του κύματος, με αποτέλεσμα οι καταστροφές να είναι πιο εκτεταμένες στην παράκτια γεωμορφολογία. Σ' αυτές τις καταστροφές συνέβαλαν, επίσης, τόσο η

19/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

διεύθυνση του κύματος όσο και η μορφολογία του νησιού. Έρευνες που έγιναν σε σύγκριση με παλαιότερα τσουνάμι έδειξαν ότι η εισχώρηση του κύματος ήταν περιορισμένη σε σχέση με τα παλαιότερα αντίστοιχα γεγονότα. Ο κύριος λόγος είναι η αλλαγή της γεωμορφολογίας από την παρέμβαση του ανθρώπου.

Ολοκληρώνοντας την παρουσίαση αυτής της εργασίας καθίσταται απαραίτητη η αναφορά στην περιοχή εκδήλωσης του τσουνάμι. Λόγω σύγκλισης λιθοσφαιρικών πλακών στην συγκεκριμένη περιοχή, μελλοντική γένεση σεισμού, και κατ' επέκταση τσουνάμι, είναι πιθανή με ανάλογα αποτελέσματα στο περιβάλλον αλλά και στην ανθρώπινη ζωή. Ωστόσο, ελπίζουμε ότι το συγκεκριμένο γεγονός θα αποτελέσει αφορμή για την κινητοποίηση του κρατικού μηχανισμού και τη δημιουργία καλύτερων προγνωστικών μέτρων για την αποφυγή ανάλογων συμβάντων.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ◊ Atwater F., Satoko M., Kenji S., et al., 2005, the orphan tsunami of 1700, p.17-19, 92, 96-97
- ◊ Batus, Nias, Banyaks, Simeule, 2005, A tale of two tsunami:field observations from ITST2.
- ◊ Bird E., 1996, Coastal geomorphology, p. 1-6,16-19, 117, 123-124, 147, 156
- ◊ Borrero J., Sieh K., Synolakis K., Chlieh M., 2006, tsunami, inundation modelling for Western Sumatra:PNAS, v. 103, no. 52, p. 19673-19677
- ◊ Dengler L., Higman B., Jaffe B., Kamataki T., Moore A.,et al., 2004, The December 26,2004 Indian ocean tsunami:initial findings on coastal geologic response and tsumani deposits from Aceh province
- ◊ Geist E., Dmowska R., 1999, Local tsunamis and distributed slip at the source p.485-512
- ◊ Jayampathy S., Seneviratne E. and Ranjit G., 2008, Challenges to icm emerging from the tsunami impact assessment in sri lanka,p.6
- ◊ Janaka J., 2006, Tsunami on 26 december 2004: spatial distribution of tsunami height and the extent of inundation in sri lanka, p.3-14
- ◊ Keane B., Bond C., 2005, Technical report on major incident and disaster management with particular reference to the recent South Asian tsunami disaster
- ◊ Kench P., McLean R., Brander R., Nichol S., Smithers S., Ford M., Parnell K., Aslam M., 2006, Geological effects of tsunami on mid-ocean atoll islands. The Maldives before and after the Sumatran tsunami:Geology,v.34, p. 177-180
- ◊ Konar P., 1995, beach processes and sentimentation, second edition, p. 45-48
- ◊ Okal E., 1988, Seismic parameters controlling far-field tsunami amplitudes:A review p.67-96
- ◊ Papadopoulos G., Caputo R., McAdoo S., Karastathis V., Fokaefs K., et al., 2006, The largest tsunami of 26 December 2004:field observations and eyewitnesses accounts from Sri Lanka, Maldives and Thailand, v. 58, p.233-241
- ◊ Paris R., Lavigne F., 2005, Les tsunamis en Indonisie: modelisation, impact, morphosedimentaire en preventios des risques, p.9-12, 21, 29-41, 44-50
- ◊ Pavlidis S., Papadopoulos G., Caputo R., McAdoo S., 2005, subject of power point, Sri Lanka 26 December 2004 – 12 January 2005
- ◊ Pierre J., 1992, Erosion and sentimentation, p.204-206
- ◊ Samarakoon J., Epitawatte S., Galappati R., 2008, Challenges to ICM emerging from the tsunami impact assesment in Sri Lanka, p. 1-12

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

◊ Sieh K., The Sunda megathrust:past,present,future
◊ Synolakis K., Geist E., Titov B., 2006, Scientific American, p.39-47
◊ Wijetunge J., 2006, Tsounami on 26 December 2004:spatial distribution of tsunami height and the extent of inundation in Sri Lanka:Science of tsunami hazards, v.24, no.3, p.225-239
◊ Ψιλοβίκος Α., 2006, Ιζηματολογία, p.43-47

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις :

http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/sumatra05/methods.html
http://homepage.mac.com/denmark/tsunami/2.html
http://www.globalsecurity.org/eye/andaman-maps.htm
http://www.crisp.uus.edu.sg/tsunami/tsunami.htm
http://www.ndbc.noaa.gov/Dart/dart.shtml
html://fisiki sto diadiktio/gr
http://www.digitalglobe.com/sample_imagery.shtml

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ

- Araki, E., M. Shinohara, K. Obana, T. Yamada, Y. Kaneda, T. Kanazawa, K. Suyehiro, 2006.Aftershock distribution of the December 26, 2004 Sumatra-Andaman earthquake from ocean bottom seismographic observation, Earth Planets Space 58, 113-119.
- Bondevik, S., Svendsen, J.I., Mangerud, J., 1997. Tsunami sedimentary facies deposited by the Storegga tsunami in shallow marine basins and coastal lakes, western Norway. Sedimentology 44, 1115-1131.
- Cantalamessa, G., Di Celma, C., 2005. Sedimentary features of tsunami backwash deposits in a shallow marine Miocene setting, Mejillones Peninsula, northern Chile. Sedimentary Geology 178, 259-273.
- Davis P., 1991, Beach and nearshore sedimentation,special publication, no 24
- Dawson, A.G., 1994. Geomorphological effects of tsunami runup and backwash. Geomorphology 10, 83-94.
- Le Roux, J.P., Gσmez, C., Fenner, J., Middleton, H., 2004. Sedimentological processes in a scarp-controlled rocky shoreline to upper continental slope environment, as revealed by unusual sedimentary features in the Neogene Coquimbo Formation, north-central Chile. SedimentaryGeology 165, 67-92.
- Sczucinski, W., P. Niedzielski, G. Rachlewicz, T. Sobczynski, A. Ziola, A. Kowalski, S. Lorenc and J.Siepak, 2005. Contamination of tsunami sediments in a coastal zone inundated by the 26 December 2004 tsunami in Thailand. Environmental Geology 49, 321-331.
- Smith, W.H.F., Sandwell, D.T., 1997. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. Science 277, 1957-1962.
- Soloviev S., Solovieva O.,Kin K., Shchettnikov N., 2000, Tsunamis in the Mediterranean sea 2000B.C-2000A.P., Academic Publisers
- Titov, V., A.B. Rabinovich, H.O. Mofjeld, R.E. Thomson, et F. I. Gonzαlez, 2005. The Global Reach of the 26 December 2004 Sumatra Tsunami. *Science* 309, 2045-2048.
- Vigny, C., W.J.F. Simons, S. Abu, R. Bamphenyu, C. Satirapod, N. Choosakul, C. Subarya, A. Socquet, K. Omar, H. Z. Abidin et B.A.C. Ambrosius, 2005. Insight into the 2004 Sumatra-Andaman earthquake from GPS measurements in southeast Asia. *Nature* 436, 201-206.
- Yalciner A.C., Perincek D., Ersoy S., Presateya G., Hidayat R., Mc Adoo B. (2005) Report onDecember 26, 2004, Indian Ocean tsunami, field survey on Jan. 21-31 at North of Sumatra.ITST, UNESCO Intergovernmental Oceanograrhic comission,Paris

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

http://en.wikipedia.org/wiki/Tsunami#Articles_and_websites
http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/sumatra05/methods.html
http://soundwaves.usgs.gov/2005/04/
http://search.usgs.gov/
http://soundwaves.usgs.gov/2005/03/
http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/sumatra05/
http://en.wikipedia.org/wiki/Tsunami

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

http://ioc.unesco.org/iosurveys/Indonesia/yalciner/yalciner-et-al-2005.pdf
or downloading the next:
http://ioc.unesco.org/iosurveys/Indonesia/yalciner/yalciner-et-al-2005.pdf
http://www.saha.ac.in/cs/Tsunami.06/Abstracts/Ghoshal.doc.
http://web.mit.edu/12.000/www/m2009/finalwebsite/before_riskassessment.html
http://www.iczmpbangladesh.org/rep/tsunami.pdf.