

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΚΑΙ**  
**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΙΡΗΣ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ**  
**ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GPS**

Πτυχιακή Εργασία των:

**ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ**  
**ΚΙΤΣΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ – ΜΑΡΙΑΣ**  
**ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΥ**

Υπεύθυνος Καθηγητής:  
**ΛΥΚΟΥΡΙΩΤΗΣ ΣΩΤΗΡΗΣ**

ΙΟΥΝΙΟΣ 2014

ΠΑΤΡΑ

TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF WESTERN GREECE

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

THESIS

**TSUNAMI HAZARD AND TSUNAMI EARLY  
WARNING SYSTEM (TEWS) FOR GREECE  
WITH GPS**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο	Τίτλος	Σελίδα
	Πρόλογος	7
	Περίληψη	8
1	Εισαγωγή: Χαρακτηριστικά & κύριες κατηγορίες κυμάτων	9
2	Tsunami: Χαρακτηριστικά, ιδιότητες & τρόπος μετάδοσης	16
3	Αιτίες πρόκλησης Tsunami	21
3.1	Tsunami που γεννώνται από υποθαλάσσιους σεισμούς	21
3.2	Tsunami που γεννώνται από κατολισθήσεις	23
3.3	Tsunami ηφαιστειογενούς προέλευσης	24
3.4	Tsunamis που προκαλούνται από ατμοσφαιρικές διαταραχές	26
3.5	Tsunamis που οφείλονται σε πτώση αστεροειδών	26
3.6	Tsunamis που προκαλούνται από την υποθαλάσσια εκπομπή Ενυδατωμένου Μεθανίου (Hydrates).	27
4	Καταστροφικά Tsunamis ανά τους αιώνες	28
4.1	Καταστροφικά Tsunamis εκτός ελλαδικού χώρου	28
4.2	Καταστροφικά tsunamis στον ελλαδικό χώρο	31
4.3	Τα πιο θανατηφόρα tsunamis στον κόσμο	32
5	Tsunami και φυσικό περιβάλλον	33
5.1	Αιτίες που επηρεάζουν την ισχύ των tsunamis	33
5.2	Αποτελέσματα στο παράκτιο περιβάλλον	34
6	Tsunami και ανθρωπογενές περιβάλλον	36
6.1	Επιπτώσεις στις ανθρώπινες κατασκευές	36
7	Tsunami και οικονομία	39
8	Tsunami και υγεία	42
9	Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης tsunami	43
9.1	Ενόργανα συστήματα στον ελλαδικό χώρο	43

<b>9.2</b>	<b>Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών</b>	<b>45</b>
<b>9.3</b>	<b>Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems) (G.I.S.)</b>	<b>46</b>
<b>9.4</b>	<b>Tsunamis και Μεσόγειος</b>	<b>48</b>
<b>9.5</b>	<b>Η πρόγνωση των Tsunamis στον Ελλαδικό χώρο</b>	<b>50</b>
<b>10</b>	<b>Παράρτημα</b>	<b>53</b>
	<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>63</b>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση των βασικών φυσικών παραμέτρων ενός κύματος	10
Σχήμα 2: Γραφική αναπαράσταση της τροχιακής κυκλικής κίνησης που πραγματοποιούν τα σωματίδια του νερού κατά την ευθεία διάδοσης ενός κύματος	12
Σχήμα 3: Σχηματική αναπαράσταση της διάδοσης ενός κύματος σε βαθιά και αβαθή νερά	14
Σχήμα 4: Σχηματική αναπαράσταση συστοιχίας κυμάτων που εκδηλώνονται από συγκεκριμένη πηγή, αλλά χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης	15
Σχήμα 5: Σχηματική παράσταση εκδήλωσης Tsunami που οφείλεται σε υποθαλάσσιο σεισμό	21
Σχήμα 6: Εκδήλωση Tsunami που οφείλεται σε υποθαλάσσια κατολίσθηση	24
Σχήμα 7: Μέτρηση 1, Max Sea	53
Σχήμα 8: Μέτρηση 2, Max Sea	54
Σχήμα 9: Παράδειγμα εύρεσης βαθών στη θάλασσα	55
Σχήμα 10: Κατανομή υψομέτρων και βαθών στον κόλπο 1	59
Σχήμα 11: Κατανομή υψομέτρων και βαθών στον κόλπο 2	62

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Φωτογραφία 1: Δορυφορικές φωτογραφίες από εκδήλωση κύματος Tsunami.	17
Φωτογραφία 2: Υποθαλάσσια φρεατομαγματική έκρηξη και κατάρρευση μαγματικών ηφαιστειακών τμημάτων.	25
Φωτογραφία 3: Πόλη της Ινδονησίας μετά το χτύπημα του Tsunami	29
Φωτογραφία 4: Το ύψος του Tsunami μετά το σεισμό του 2004	29
Φωτογραφία 5: Το ύψος του Tsunami μετά το σεισμό στην Ιαπωνία	31
Φωτογραφία 6: Φωτογραφία από τη Σαντορίνη μετά το σεισμό	32

<b>Φωτογραφία 7: Καταστροφή που προκλήθηκε σε παράκτια περιοχή της Ινδονησίας από το tsunami του 2004</b>	<b>35</b>
<b>Φωτογραφία 8: Νεκροί κοραλλιογενείς σχηματισμοί σε παραλία της Ινδονησίας</b>	<b>36</b>
<b>Φωτογραφία 9: Καταστροφή σε κτίριο από μπετό</b>	<b>37</b>
<b>Φωτογραφία 10: Καταστροφές σε ξύλινες κατασκευές</b>	<b>38</b>
<b>Φωτογραφία 11: Καταστραμμένη προβλήτα</b>	<b>38</b>
<b>Φωτογραφία 12: Κατεστραμμένα αλιευτικά</b>	<b>40</b>
<b>Φωτογραφία 13: Το Aceh πριν και μετά το χτύπημα του tsunami</b>	<b>41</b>
<b>Φωτογραφία 14: Εθελοντές που βοηθούν στην αποκατάσταση της πληγείσας περιοχής μετά το Tsunami του 2004 στην Ινδονησία</b>	<b>42</b>
<b>Φωτογραφία 15: Μέτρηση 1, Google Earth</b>	<b>53</b>
<b>Φωτογραφία 16: Μέτρηση 2, Google Earth</b>	<b>54</b>
<b>Φωτογραφία 17: Παράδειγμα εύρεσης υψομέτρων στη στεριά</b>	<b>56</b>

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή έχει ως σκοπό την μελέτη των Tsunamis και μας ανατέθηκε από τον καθηγητή του τμήματος Τοπογραφίας και Ειδικών Θεμάτων Τοπογραφίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος κ. Σωτήρη Λυκουργιώτη, τον Ιούνιο του 2013.

Η εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη του καθηγητή μας, ο οποίος μας παρείχε όλη την απαραίτητη βιβλιογραφία για την επισκόπηση του θέματος από πάσα πλευρά.

Τέλος, ευχαριστούμε θερμά όλους τους διδάσκοντες και το προσωπικό του Ιδρύματος για τις γνώσεις που μας μετέδωσαν και που συντέλεσαν στην αρμονική φοίτησή μας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη της φύσης και των χαρακτηριστικών των tsunami (ή αλλιώς κύματα βαρύτητας) επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση της σημασίας τους ως φυσικά φαινόμενα, καθώς και των επιπτώσεων που μπορούν να προκαλέσουν στην ολοένα αυξανόμενη σε πληθυσμό παράκτια ζώνη.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αφορά τη συλλογή ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας που αφορά το tsunami ως φαινόμενο. Μέσα από την ανάλυση της φύσης των tsunami έγινε προσπάθεια να γίνουν κατανοητά: η δημιουργία του, τα χαρακτηριστικά του, καθώς και τα ιστορικά tsunami που έχουν γίνει στην περιοχή.

Τέλος στην παρούσα πτυχιακή εργασία συμπεριλαμβάνονται τα αποτελέσματα έρευνας, που διεξήχθη στον κορινθιακό κόλπο, για τις επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν από tsunami στην παράκτια ζώνη.



# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## Κεφάλαιο 1.

### Κύματα : Βασικά χαρακτηριστικά και βασικές κατηγορίες των κυμάτων.

Κύματα ονομάζουμε τις περιοδικές και μη περιοδικές μεταβολές της στάθμης της θάλασσας. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να προκληθούν από την πνοή του ανέμου πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας, οπότε δημιουργούνται τα ανεμογενή κύματα (Wind Driven Waves), από την έλξη των ουράνιων σωμάτων και κυρίως της σελήνης, οπότε δημιουργούνται οι παλίρροιες (Tides) και τέλος τα κύματα που προκαλούνται από υποθαλάσσιους σεισμούς, οπότε δημιουργούνται τα Tsunamis. Οι φυσικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν τα κύματα είναι οι εξής : (Σχήμα 1)

Κορυφή κύματος (Wave Crest) : Είναι κάθε στιγμιαίο μέγιστο σημείο του κύματος.

Κοιλία κύματος (Wave Through) : Είναι κάθε ελάχιστο σημείο του κύματος.

Ύψος κύματος (H : Wave Height) : Είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της κορυφής και της αντίστοιχης κοιλίας.

Πλάτος κύματος (Amplitude) : Είναι η απόσταση της κορυφής από τη μέση στάθμη της θάλασσας (Mean Sea Level). Η σχέση που συνδέει το ύψος κύματος με το πλάτος  $a$ , είναι:

$$a=H/2$$

Μέση στάθμη νερού (Mean Sea Level), θεωρείται η οριζόντια γραμμή που θα παρίστανε την επιφάνεια του νερού αν αυτό ήταν σε ηρεμία.

Μήκος κύματος L (Wave Length), είναι η απόσταση δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλιών.

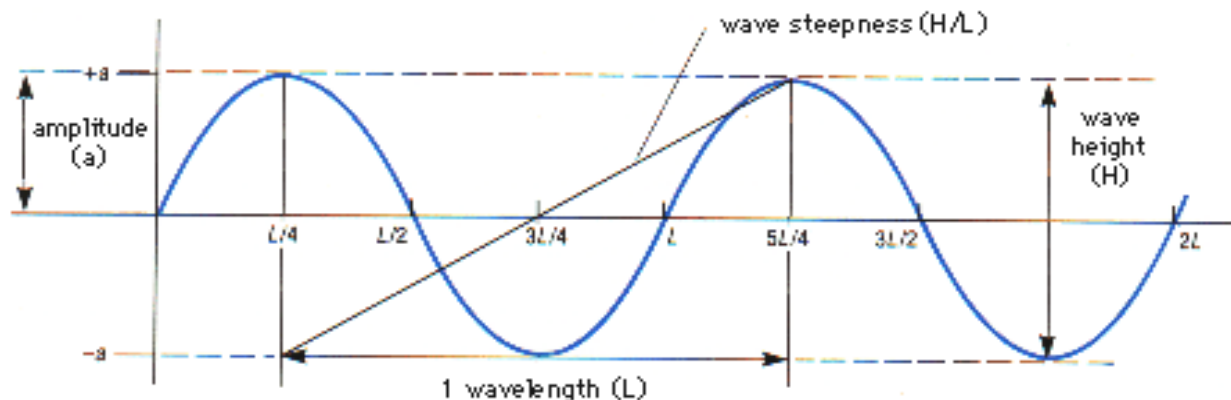
Περίοδος κύματος T (Wave Period), θεωρείται το χρονικό διάστημα μεταξύ της διέλευσης δυο διαδοχικών κορυφών ή κοιλιών από ένα σταθερό σημείο.

Συχνότητα ( $f$ ), ορίζεται το αντίστροφο της περιόδου κύματος και εκφράζει τον αριθμό των κυμάτων που περνάει από ένα σημείο στη μονάδα του χρόνου.

Ταχύτητα κύματος  $C$  (Wave Celerity), είναι η ταχύτητα με την οποία μεταδίδεται ένα κύμα.

Κλίση κύματος  $S$  (Wave Steepness), είναι ο λόγος του ύψους ( $H$ ) προς το μήκος του κύματος ( $L$ )

$$S = H/L$$



Σχήμα 1 :Σχηματική αναπαράσταση των βασικών φυσικών παραμέτρων ενός κύματος.

Αν το κύμα διαδίδεται στη θάλασσα, έτσι ώστε σε διαδοχικές χρονικές στιγμές μια κορυφή του να κινείται κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, τότε το κύμα ονομάζεται τρέχον (Progressive wave). Το κύμα του οποίου οι κορυφές δεν προχωρούν κατά τη διεύθυνση διάδοσης, αλλά παραμένουν σε καθορισμένες θέσεις ονομάζεται στάσιμο κύμα (stationary wave). Στάσιμο κύμα δημιουργείται όταν δυο τρέχοντα κύματα με το ίδιο πλάτος, την ίδια περίοδο Τα και την ίδια φάση κινούνται με αντίθετες διευθύνσεις.

Η σχέση που διέπει την εκδήλωση του τρέχοντος κύματος στον ωκεανό είναι η εξής :

$$Y = A_{(z,t)} \cos(\omega t - kz + \phi)$$

Όπου  $A(z,t)$  είναι το πλάτος κύματος,  $k$  είναι ο αριθμός κύματος και  $\phi$  η φάση. Το φάσμα των κυμάτων στους ωκεανούς είναι ευρύ και αποτελείται από τους εξής τύπους κυμάτων :

α) Τριχοειδή κύματα : Είναι κύματα περιόδου  $T < 0,1 \text{ sec}$  και η δύναμη που ουσιαστικά ελέγχει τα χαρακτηριστικά τους είναι η επιφανειακή τάση, ενώ η γένεσή τους οφείλεται στον άνεμο.

β) Τριχοειδή βαρυτικά κύματα : Είναι κύματα περιόδου  $0,1 < T < 1 \text{ sec}$ , η δύναμη που ελέγχει τα χαρακτηριστικά τους είναι η επιφανειακή τάση και η βαρύτητα και η γένεσή τους οφείλεται στον άνεμο.

γ) Κύματα βαρύτητας : Είναι κύματα περιόδου  $1 < T < 30 \text{ sec}$ , ελέγχονται από τις δυνάμεις της βαρύτητας, ο μηχανισμός γένεσής τους είναι ο άνεμος και διακρίνονται σε κύματα (Waves) και κυματισμούς (Swells).

δ) Κύματα βαρύτητας - αδράνειας : Είναι κύματα περιόδου  $30 \text{ sec} < T < 5 \text{ min}$ , η δύναμη που ελέγχει τα χαρακτηριστικά τους είναι η βαρυτική επιτάχυνση και οφείλονται σε καταιγίδες ή σεισμούς.

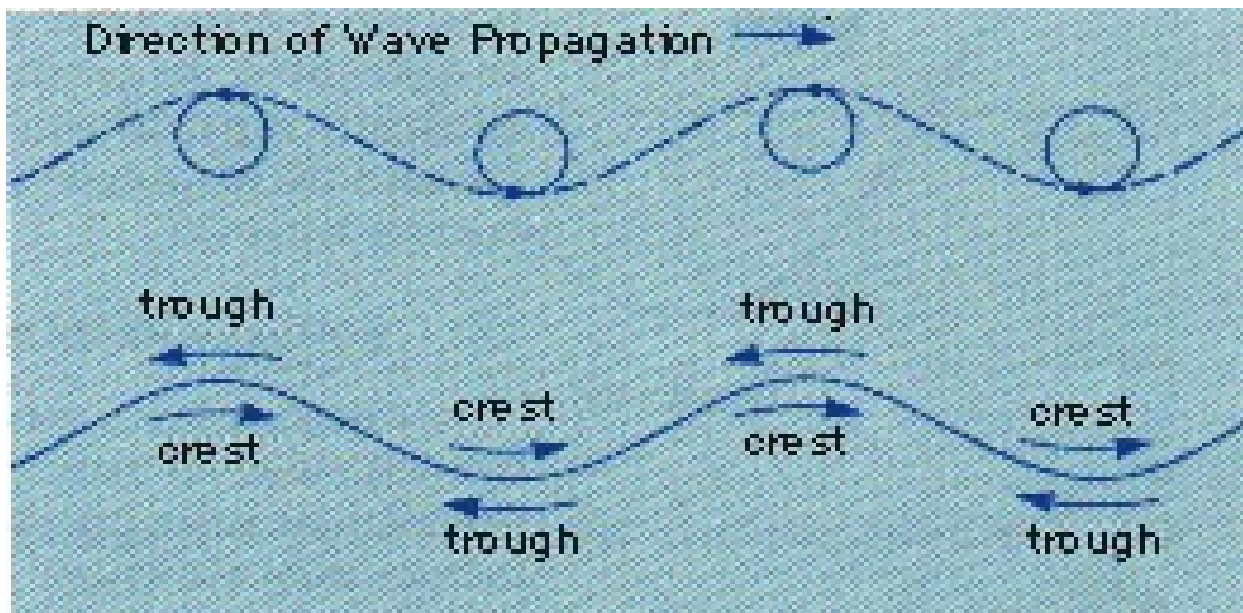
ε) Κύματα μεγάλης περιόδου : Είναι κύματα περιόδου  $T > 5 \text{ min}$ , ελέγχονται από τη δύναμη της βαρυτικής επιτάχυνσης και οφείλονται σε καταιγίδες και σεισμούς.

στ) Παλιρροιακά κύματα (Tides) : Η περίοδός τους διαρκεί μερικές ώρες, ελέγχονται από τη βαρυτική επιτάχυνση και οφείλονται στην έλξη της Σελήνης και του Ήλιου.

ζ) Υπέρ - παλιρροιακά κύματα : Χαρακτηρίζονται από περίοδο  $T > 24 \text{ h}$ , ελέγχονται από την βαρυτική επιτάχυνση και οφείλονται είτε σε καταιγίδες, είτε στην έλξη Σελήνης και Ήλιου.

Η κλασική μελέτη των κυμάτων συνίσταται στην εξέταση της υδροδυναμικής ενός ιδανικού κύματος που έχει ημιτονοειδή μορφή. Στη πραγματικότητα τα κύματα που απαντώνται στους ωκεανούς απέχουν από τα ιδανικά κύματα ημιτονοειδούς μορφής και χαρακτηρίζονται από πολυμορφία και ακανόνιστη περιοδικότητα. Τα κύματα που παρατηρούνται στους ωκεανούς, στην ουσία είναι άθροισμα ενός μεγάλου αριθμού ιδανικών κυμάτων, δηλαδή η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας σε ένα σημείο μπορεί να θεωρηθεί σαν αποτέλεσμα της σύνθεσης πολλών ημιτονοειδών κυμάτων διαφόρων πλατών, φάσεων και συχνοτήτων. (Ferentinos - Gionis, 1995)

Το κύμα στην ουσία αποτελεί μια διαταραχή που επεκτείνεται από το ένα τμήμα του μέσου διάδοσης (θάλασσα) στο άλλο, χωρίς να προκαλείται ουσιαστική κίνηση στο ίδιο το μέσο διάδοσης (Σχήμα 2). Κατά την διάδοση ενός κύματος, κάτω από την κορυφή του, το νερό μετακινείται με διεύθυνση προς τα μπροστά και ανοδική, ενώ κάτω από την κοιλιά, το νερό μετακινείται καθοδικά και με διεύθυνση προς τα πίσω. Συνολικά, τα σωματίδια του νερού δεν μετατοπίζονται κατά την διάδοση του κύματος και πραγματοποιούν κυκλική κίνηση. Αυτή η τροχιακή κυκλική κίνηση των σωματιδίων του νερού οφείλεται σε μια δύναμη που συμβάλλει από τη μια στην μετατόπισή τους και από την άλλη στην επανατοποθέτησή τους. Η διαταραχή που εκδηλώνεται στο μέσο διάδοσης δεν προκαλεί σημαντική διαστρέβλωση στην κυματομορφή και διαδίδεται με συνεχόμενη ταχύτητα.



Σχήμα 2 : Γραφική αναπαράσταση της τροχιακής κυκλικής κίνησης που πραγματοποιούν τα σωματίδια του νερού κατά την ευθεία διάδοση ενός κύματος.

Τα κύματα των ρηχών νερών εντοπίζονται σε νερά βάθους μικρότερου του  $1/20$  του αρχικού μήκους κύματος, τα ενδιάμεσα κύματα εντοπίζονται σε θαλάσσιες περιοχές βάθους μεγαλύτερου του  $1/20$  του μήκους κύματος και μικρότερου του  $1/2$  του μήκους κύματος, ενώ τα κύματα μεγάλου βάθους εντοπίζονται σε θαλάσσιες περιοχές βάθους μεγαλύτερου του  $1/2$  του αρχικού μήκους κύματος.

Στα βαθιά νερά στα οποία το βάθος είναι μεγαλύτερο από το  $1/2$  του μήκους κύματος, η ταχύτητα και το μήκος του κύματος δίδονται από τους τύπους :

$$C = \sqrt{gL / 2\pi}$$

$$L = g/2\pi * T^2$$

όπου L είναι το μήκος κύματος,  $g=9,8\text{m/sec}^2$  η επιτάχυνση της βαρύτητας και T η περίοδος του κύματος.

Στα ρηχά νερά (Σχήμα 3), στα οποία το βάθος είναι μικρότερο του 1/20 του μήκους κύματος, το βάθος της θάλασσας είναι η μόνη μεταβλητή που επηρεάζει την ταχύτητα του κύματος.

$$C = \sqrt{gd}$$

$$L = T \sqrt{gh}$$

όπου  $g=9,8\text{m/sec}^2$  η επιτάχυνση της βαρύτητας, d είναι το βάθος της θάλασσας και T η περίοδος του κύματος.

Στα μεταβατικά βάθη, όπου το βάθος της θάλασσας είναι μικρότερο από το 1/2 του μήκους κύματος και μεγαλύτερο από το 1/20 αυτού, η σχέση γίνεται πολυπλοκότερη :

$$C = \sqrt{gL / 2\pi (\tanh 2\pi d / L)}$$

$$L = g/2\pi T^2 \tanh 2\pi h/L$$

όπου  $\tanh$  είναι η υπερβολική εφαπτομένη, L το μήκος κύματος και T η περίοδος του κύματος.

Επειδή το μήκος κύματος είναι ιδιαίτερα δύσκολο να μετρηθεί στο πεδίο, υπολογίζεται έμμεσα μέσω της τιμής της περιόδου του κύματος. Το μήκος κύματος, όπως και η ταχύτητα του κύματος είναι ανάλογο της περιόδου του κύματος και συνδέονται με τη σχέση :

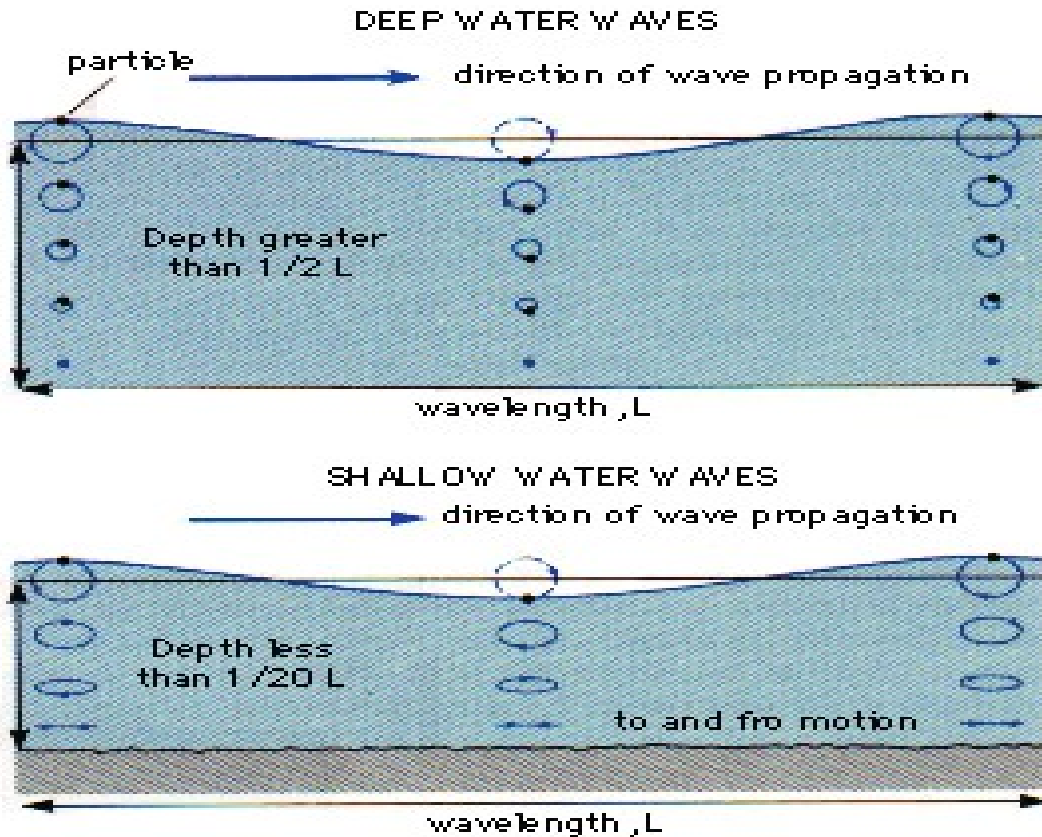
$$L = g/2 * T^2 = 1,56 * T^2 \text{ (μέτρα)}$$

όπου  $T$  η περίοδος κύματος και  $g=9,8\text{m/sec}^2$  η βαρυτική επιτάχυνση.

Η Ενέργεια κύματος δίδεται από τον τύπο :

$$E = 1/8 \rho g h^2$$

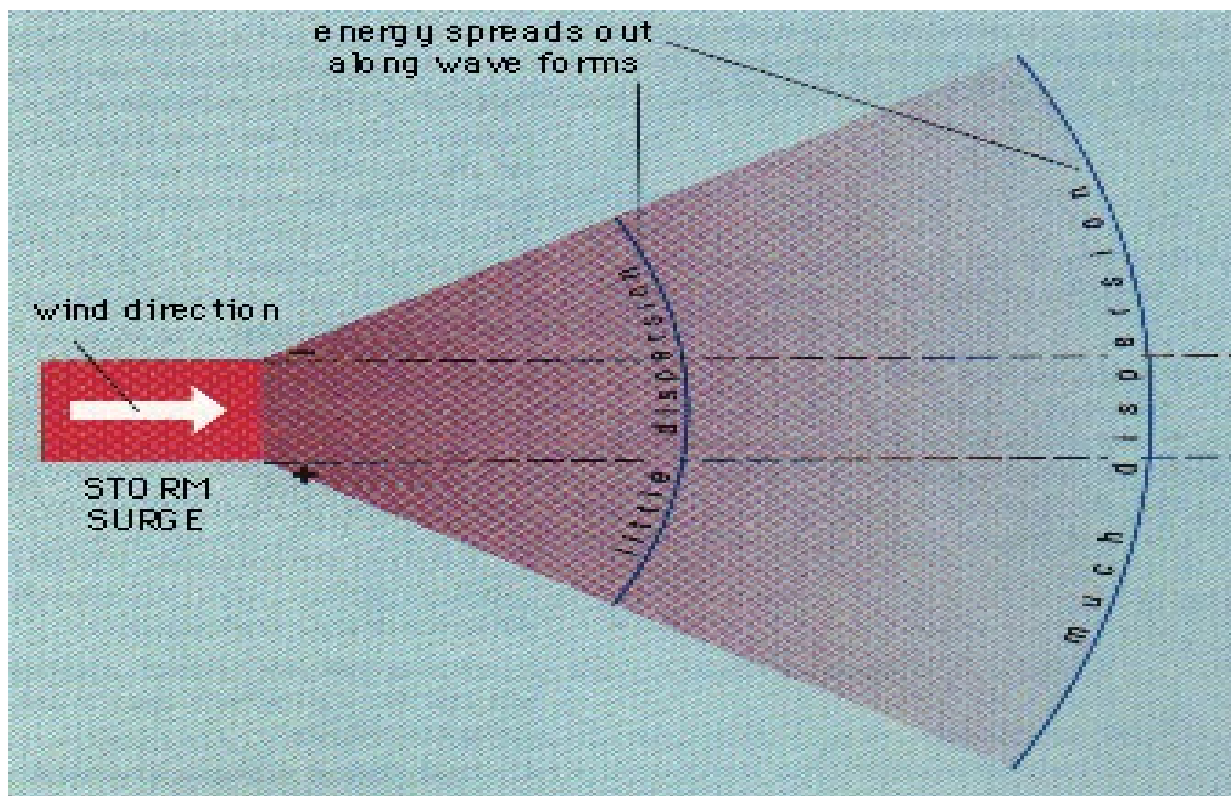
όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα της θάλασσας,  $g=9,8\text{m/sec}^2$  η βαρυτική επιτάχυνση και  $h$  το ύψος κύματος.



Σχήμα 3 :Σχηματική αναπαράσταση της διάδοσης ενός κύματος σε βαθιά και αβαθή νερά.

Τα κύματα βαθένων νερών τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλα μήκη και περιόδους, ταξιδεύουν με την μεγαλύτερη ταχύτητα και καταφθάνουν πολύ γρήγορα σε περιοχές απομακρυσμένες σε σχέση με το σημείο εκδήλωσής τους. Η διάδοση των κυμάτων βασίζεται στο φαινόμενο της διασποράς. Τα κύματα εξαπλώνονται από το σημείο γένεσης σε διαδοχικούς κυματισμούς, και όσο μεγαλώνει η απόσταση από το σημείο εκδήλωσης της αρχικής διαταραχής, τα κύματα μεγαλύτερου μήκους σταδιακά ξεπερνούν εκείνα τα οποία έχουν μικρότερο μήκος. Τα κύματα ουσιαστικά εκδηλώνονται σε συστοιχίες μικρότερων κυμάτων με διαφορετικούς ρυθμούς και ταχύτητες εκδήλωσης. Στις συστοιχίες κυμάτων, το κύμα που οδηγεί την συστοιχία

χάνει την ενέργειά του, αλλά μόλις ολοκληρωθεί η κίνηση της συστοιχίας, παραμένει αρκετή ενέργεια για τη δημιουργία νέου κύματος. Όταν σειρές κυμάτων προκαλούνται στον ίδιο χώρο από διαφορετικές διαταραχές θα υπάρξει ανάμειξη. Όταν οι κορυφές δύο κυματικών συστοιχιών συμπίπτουν, τα πλάτη των κυμάτων ουσιαστικά προστίθενται και το φαινόμενο ονομάζεται εποικοδομητική ανάμειξη. Όταν οι συστοιχίες κυμάτων είναι εκτός φάσης, οι κορυφές των κυμάτων συμπίπτουν με τις κοιλίες, τα πλάτη των κυμάτων αλληλοεξουδετερώνονται, και το φαινόμενο ονομάζεται καταστροφική ανάμειξη. Όταν οι κορυφές με τις κοιλίες δεν συμπίπτουν, έχουμε το φαινόμενο της μεικτής ανάμειξης. Στα αβαθή νερά, το μήκος κύματος δεν παίζει τόσο σημαντικό ρόλο και η ταχύτητα του κύματος προσεγγίζει την ταχύτητα της συστοιχίας. Έτσι, όλα τα κύματα διαδίδονται με περίπου την ίδια ταχύτητα, χωρίς να παρατηρούνται φαινόμενα ανάμειξης.



Σχήμα 4 : Σχηματική αναπαράσταση συστοιχίας κυμάτων που εκδηλώνονται από συγκεκριμένη πηγή, αλλά χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης.

Οι δυο βασικές δυνάμεις που διέπουν την εκδήλωση και τα χαρακτηριστικά των κυμάτων είναι η δύναμη της βαρυτικής έλξης και η επιφανειακή τάση. Όταν το βάθος του νερού είναι μικρότερο από το  $1/2$  του μήκους κύματος, η κίνηση του κύματος επηρεάζεται από τον βυθό, ο οποίος διακόπτει την κυκλική κίνηση των

μορίων του νερού. Η αλληλεπίδραση του κύματος με τον βυθό οδηγεί σε μείωση της ταχύτητας του πρώτου κύματος μιας συστοιχίας, με τα υπόλοιπα κύματα της συστοιχίας να διατηρούν την ταχύτητά τους. Γι' αυτό τον λόγο, ενώ η περίοδος παραμένει αμετάβλητη, το μήκος κύματος ελαττώνεται και ταυτόχρονα το ύψος του κύματος αυξάνεται. (<http://maritime.haifa.ac.il>). Όταν οι κυματισμοί εισέρχονται στα αβαθή νερά, δηλαδή όταν το βάθος νερού είναι ίσο ή μικρότερο του μισού του κύματος, τότε οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν τους κυματισμούς αρχίζουν να μεταβάλλονται. Η ταχύτητα του κυματισμού και το μήκος κύματος ελαττώνονται προοδευτικά, η περίοδος παραμένει σταθερή, ενώ το ύψος αυξάνεται. Όταν ένας κυματισμός εισέρχεται στα αβαθή νερά υπό γωνία σε σχέση με τις ισοβαθείς, τότε τμήματα της κορυφής του κυματισμού βρίσκονται σε πιο ρηχά νερά και επομένως επιβραδύνονται σε σχέση με τα τμήματα της κορυφής που βρίσκονται στα βαθύτερα, με αποτέλεσμα η κορυφή του κύματος να αρχίσει να κάμπτεται. Η κάμψη της κορυφής του κυματισμού λέγεται διάθλαση κυματισμού.(Wave refraction) (Ferentinos - Gionis,1995)

## Κεφάλαιο 2.

### **Tsunami: Χαρακτηριστικά, ιδιότητες & τρόπος μετάδοσης.**

Η λέξη "Tsunami" είναι Ιαπωνικής προέλευσης και αποτελείται από τις Ιαπωνικές λέξεις "Tsu" που σημαίνει λιμάνι και "nami" που σημαίνει κύμα. Τα Tsunamis χαρακτηρίζονται ως ένα σύνολο μεγάλης κλίμακας διαταραχών στην επιφάνεια του νερού που παραμένει ενεργό για μικρό χρονικό διάστημα και διαδίδονται με μεγάλη ταχύτητα από μια συγκεκριμένη πηγή στον ωκεανό με κατεύθυνση προς την ακτή. Αποτελούν τρέχοντα κύματα μεγάλου μήκους κύματος και μεγάλης περιόδου, εκδηλώνονται σε αβαθή νερά, και οφείλονται σε βίαια εκτόπιση υδάτινης μάζας. Κατά την εκδήλωση ενός τέτοιου κύματος, η βύθιση και η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης στους ωκεανούς μπορεί να φτάσει και τα 10 μέτρα. Παράλληλα, το οριζόντιο μέγεθος (μήκος) της θαλάσσιας διαταραχής που αποκαλείται Tsunami μπορεί να αγγίξει τα 100 μ, ενώ το κύμα όπως προαναφέρθηκε διαδίδεται από την πηγή με τη μορφή συστοιχίας επιμέρους κυμάτων. Τον Ειρηνικό ωκεανό, ένα τέτοιο κύμα μπορεί να τον διανύσει σε 10-12 ώρες, ενώ είναι ικανό να μεταφέρει υδάτινη μάζα ύψους 10 μ, με ταχύτητα διάδοσης πάνω από 70 km ανά



ώρα, σε μια οποιαδήποτε ακτή. Η ταχύτητα του Tsunami μειώνεται κοντά στην ακτογραμμή και αυτό οφείλεται κυρίως σε δυο λόγους, στο μικρό βάθος των νερών κοντά στις ακτές, καθώς και στην τραχύτητα που χαρακτηρίζει τον βυθό της θάλασσας. (Levin, 2005).



December 26, 2004



Φωτογραφία 1: Δορυφορικές φωτογραφίες από εκδήλωση κύματος Tsunami.

Αν και πολλές φορές τα Tsunami αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως παλιρροϊκά κύματα, κάτι τέτοιο δεν είναι απόλυτα ακριβές. Το Tsunami μοιάζει περισσότερο με ένα ατελείωτο εισβάλλον ρεύμα που κατά την επέλασή του ξεπερνάει κάθε εμπόδιο. Το μεγαλύτερο μέγεθος της ζημιάς προκαλείται από την μεγάλη μάζα νερού που κρύβεται πίσω από το αρχικό κύμα, καθώς το ύψος του θαλάσσιου κύματος ανεβαίνει με μεγάλη ταχύτητα και πλημμυρίζει δυναμικά μια παράκτια περιοχή. Το καθαρό βάρος του νερού είναι αρκετό για να καταστρέψει ολοκληρωτικά ό,τι αντικείμενο βρεθεί στην πορεία του. Τα Tsunamis σε σχέση με τα άλλα είδη κυμάτων που προαναφερθήκαν, δρουν τελείως διαφορετικά, μετακινώντας

ολόκληρο το βάθος του ωκεανού στο πέρασμά τους και όχι μόνο την υδάτινη επιφάνεια.

Μεταφέροντας τεράστια ποσά ενέργειας, διαδίδονται με μεγάλες ταχύτητες και έχουν την ικανότητα να διανύουν μεγάλες υπερωκεάνιες αποστάσεις, χάνοντας μόνο μικρό ποσό της ενέργειάς τους. Αν και η συνολική διαρροή ενέργειας είναι μικρή, κατά την εξάπλωση του Tsunami η συνολική ενέργεια κατανέμεται σε όλο και μεγαλύτερη περιοχή καθώς το κύμα εξαπλώνεται, με αποτέλεσμα όσο μεγαλώνει η απόσταση από την πηγή, τόσο μικραίνει και η ενέργεια που μεταφέρει το κύμα.

Ένα απλό Tsunami μπορεί να αποτελείται από 3 έως 4 κύματα διαφορετικού ύψους. Σε ανοικτές θαλάσσιες περιοχές τα Tsunamis χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα μεγάλες περιόδους και μεγάλα μήκη κύματος που μπορεί να φτάσουν σε μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα, σε αντίθεση με τα τυπικά κύματα που οφείλουν την ύπαρξή τους στους ανέμους και μπορεί να έχουν περίοδο 10 δευτερολέπτων και μέγιστο μήκος κύματος 150 μέτρα. Το πραγματικό ύψος ενός Tsunami σε ανοικτή θαλάσσια περιοχή είναι συχνά μικρότερο του ενός μέτρου. Το κύμα ταξιδεύει στον ωκεανό με ταχύτητες που μπορούν να κυμαίνονται από 500 έως 1000 km ανά ώρα. Καθώς το κύμα προσεγγίζει την ακτογραμμή και το βάθος της θάλασσας ολοένα μειώνεται, η ταχύτητα του κύματος σταδιακά ελαττώνεται. Η εμπρόσθια πλευρά του κύματος γίνεται ολοένα πιο απότομη και αυξάνεται το ύψος της, με αποτέλεσμα η απόσταση μεταξύ των δυο κορυφών του κύματος σταδιακά να μικραίνει. Ένα τέτοιου είδους κύμα (Tsunami) συμπεριφέρεται ως κύμα ρηχών νερών, όταν η αναλογία ανάμεσα στο μήκος του κύματος και το βάθος της θάλασσας ελαχιστοποιείται. Τα Tsunami ως κύματα ρηχών νερών, όπως προαναφέραμε κινούνται στον ανοικτό ωκεανό με ταχύτητα που προσδιορίζεται από τη σχέση

$$C = \sqrt{gd}$$

Κατά την διάδοση των Tsunami σε μεγάλες αποστάσεις οι ενεργειακές απώλειες δεν είναι σημαντικές, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι τα Tsunamis δεν χαρακτηρίζονται πάντα από το στοιχείο της συμμετρικότητας. Τα κύματα αυτά μπορούν να είναι ισχυρότερα κατά τη μια κατεύθυνση και ασθενέστερα κατά την άλλη και αυτό εξαρτάται από τη φύση της πηγής καθώς και την γεωμορφολογία της περιοχής εξάπλωσης του Tsunami.

[http://www.biocrawler.com/encyclopedia/2004\\_Indian\\_Ocean\\_earthquake](http://www.biocrawler.com/encyclopedia/2004_Indian_Ocean_earthquake))

Η πρώτη κλίμακα μέτρησης της ισχύος ενός Tsunami, σε αντιστοιχία με την κλίμακα μέτρησης της ισχύος ενός σεισμού, παρουσιάστηκε από τον Sieberg (1927), αποτελείτο από έξι βαθμίδες και βασίστηκε στις μακροσκοπικές επιπτώσεις των Tsunami, όπως και στις καταστροφές που προκαλούνταν από την εκδήλωσή τους. Η προσπάθεια ποσοτικοποίησης των Tsunamis από τον Sieberg εμπλουτίστηκε και μετατράπηκε από τον Ambraseys (1962) και οδήγησε μετέπειτα στην κλίμακα μέτρησης της έντασης των Tsunamis, την κλίμακα Sieberg-Ambraseys. Η συγκεκριμένη κλίμακα μέτρησης θεωρείται σήμερα από πολλούς ερευνητές πρόχειρη και μη στοιχειοθετημένη.

Όσον αφορά την μέτρηση της έντασης των Tsunami διαμορφώθηκε νεώτερη θεωρία από τους Imamura (1942, 1949), Iida (1956, 1970) και Iida et al (1967), στα πλαίσια της οποίας το μέγεθος ενός Tsunami προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$m = \log^2 H_{\max}$$

όπου  $H_{\max}$  είναι το μέγιστο ύψος Tsunami που παρατηρείται σε οποιαδήποτε παράκτια περιοχή ή μετριέται σε σταθμούς μέτρησης. Η κλίμακα μέτρησης των Imamura και Iida, είναι στην ουσία μια κλίμακα μέτρησης έξι βαθμίδων που ξεκινάει από το -1 και καταλήγει στο +4. Το 1970 ο Soloviev πρότεινε την εξής σχέση για τον υπολογισμό της έντασης των Tsunami :

$$i = \log^2 H \sqrt{2}$$

όπου  $i$  η ένταση του Tsunami και  $H$  είναι το μέσο ύψος ενός Tsunami. Αντίστοιχη σχέση που αφορά τον υπολογισμό της έντασης των Tsunami προτάθηκε από τους Abe (1979, 1981, 1985, 1989) και Hatori (1986) όπου η ένταση της ισχύος ενός Tsunami δίνεται από τη σχέση :

$$M_t = a \log H + b \log \Delta + D$$

όπου το  $H$  αποτελεί το μέγιστο ύψος των Tsunamis που μετριέται από τους σταθμούς μέτρησης,  $\Delta$  είναι η απόσταση σε χιλιόμετρα από το επίκεντρο του Tsunami έως τους σταθμούς μέτρησης του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας κατά μήκος του ωκεανού και  $a$ ,  $b$  και  $D$  είναι σταθερές. Μια διαφορετική προσέγγιση

του υπολογισμού της έντασης των Tsunami παρουσιάστηκε από τους Murty και Loomis (1980), βάσει της οποίας :

$$ML = 2 (\log E - 19)$$

όπου  $E$  είναι η δυναμική ενέργεια του Tsunami. Μια ακόμα διαφορετική προσέγγιση του θέματος εισηγήθηκε ο Shuto (1993) βάσει της οποίας :

$$i = \log^2 H$$

όπου  $H$  είναι το ύψος κύματος του τοπικού Tsunami. Η σχέση αυτή που εισηγήθηκε ο Shuto (1993) στην ουσία θέτει την περιγραφή των επιπτώσεων ενός Tsunami σε μια κλίμακα έξι βαθμίδων που επεκτείνεται από το 0 έως το 5 ανάλογα με την τιμή του ύψους  $H$ .

Πρόσφατα, μια νέα κλίμακα μέτρησης της έντασης των Tsunami, εισηγήθηκαν οι Papadopoulos και Imamura (2001), η οποία βασίστηκε στις εξής βασικές αρχές:

α) ανεξαρτησία της σχέσης από οποιαδήποτε φυσική παράμετρο όπως το ύψος του κύματος,

β) ευαισθησία της σχέσης που επιτυγχάνεται μέσω της ενσωμάτωσης ενός επαρκούς αριθμού βαθμίδων στην κλίμακα μέτρησης, με σκοπό την καλύτερη δυνατή περιγραφή ακόμα και των μικροδιαφορών όσον αφορά τις επιπτώσεις των Tsunamis και

γ) μια λεπτομερής περιγραφή κάθε βαθμού μέτρησης της έντασης λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις επιπτώσεις των Tsunamis. Τελικά, οι Papadopoulos και Imamura (2001) πρότειναν μια κλίμακα μέτρησης της έντασης των Tsunami αποτελούμενη από 12 βαθμίδες (Supratid - Shuto, 2004).

Όπως προαναφέρθηκε η ταχύτητα διάδοσης ενός Tsunami εξαρτάται άμεσα από το βάθος του ωκεάνιου πυθμένα. Η έως τώρα έρευνα και εμπειρία έχει δείξει ότι τα Tsunamis που εισβάλλουν σε ανοικτούς κόλπους με αντίστοιχα μεγάλη είσοδο, χαρακτηρίζονται από μεγάλα ύψη κύματος, ενώ αντίθετα μειώνεται το ύψος τους όταν εισβάλλουν σε θαλάσσιους κόλπους που χαρακτηρίζονται από στενές εισόδους και των οποίων η επιφάνεια αυξάνεται σταδιακά από την είσοδο του κόλπου έως τη κορυφή. Σε πολλές περιπτώσεις αξιοσημείωτος είναι ο προστατευτικός ρόλος των

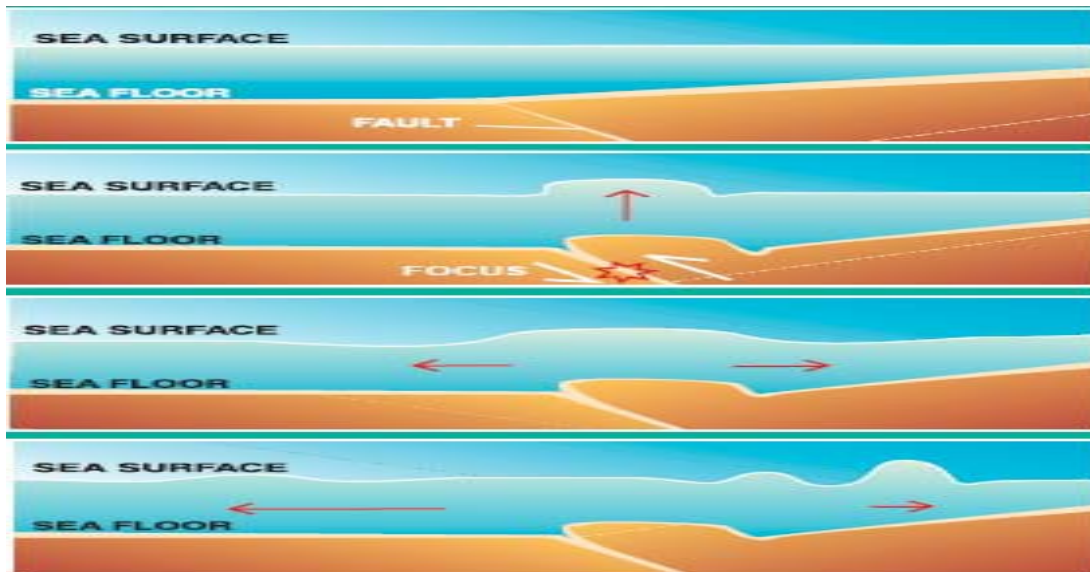
κοραλλιογενών σχηματισμών. Οι ακτές που περιβάλλονται από τέτοιους σχηματισμούς πλήττονται λιγότερο από ένα ενδεχόμενο χτύπημα Tsunami, λόγω της σημαντικής απώλειας ενέργειας που οφείλεται ακριβώς στην ύπαρξη αυτών των σχηματισμών που αποτελούν φυσικά εμπόδια και αναχαιτίζουν τα κύματα Tsunami. (<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/tsuintro.shtml>)

### **Κεφάλαιο 3.**

#### **Αιτίες πρόκλησης Tsunami**

##### **3.1. Tsunami που προκαλούνται από υποθαλάσσιους σεισμούς.**

Τα Tsunami κυρίως προκαλούνται από μεγάλους υποθαλάσσιους σεισμούς, των οποίων τα επίκεντρα εντοπίζονται στον πυθμένα της θάλασσας και των ωκεανών. Οι συγκεκριμένοι σεισμοί, που ονομάζονται “Τσουναμογενείς σεισμοί”, πραγματοποιούνται σε σημεία του πυθμένα των ωκεανών όπου εντοπίζεται σύγκρουση των τεκτονικών πλακών και βύθιση της μίας πλάκας κάτω από την άλλη, χαρακτηρίζονται από την απελευθέρωση μεγάλης ποσότητας ενέργειας και η έντασή τους υπερβαίνει τον επτά βαθμό της κλίμακας Ρίχτερ. Αυτές οι σεισμικές δονήσεις προκαλούν αιφνίδια παραμόρφωση και μετακίνηση του ωκεάνιου πυθμένα, με αποτέλεσμα την εκτόπιση της άνωθεν μεγάλης υδάτινης μάζας η οποία μετατοπίζεται κατακόρυφα στην υδάτινη στήλη και φθάνει έως την επιφάνεια προκαλώντας την εκδήλωση κύματος Tsunami. Όσον αφορά την μετατόπιση του ωκεάνιου πυθμένα, το μέγεθος της κάθετης μετατόπισης μπορεί να αγγίξει τα 5 μέτρα και το μέγεθος της οριζόντιας τα 2 χιλιόμετρα.(Levin,2005)



Σχήμα 5 : Σχηματική παράσταση εκδήλωσης Tsunami που οφείλεται σε υποθαλάσσιο σεισμό

Η αρχική ενέργεια που προκύπτει από την ανοδική κίνηση του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του κύματος, το οποίο αρχίζει να διαδίδεται. Το αρχικό κύμα Tsunami που δημιουργείται λίγα λεπτά μετά το σεισμικό γεγονός χωρίζεται σε ένα κύμα το οποίο κατευθύνεται προς τα πέρατα του ωκεανού (Μακρινό Tsunami) και ένα κύμα το οποίο διαδίδεται με κατεύθυνση προς την ακτή (Τοπικό Tsunami). Το ύψος και των δυο αυτών κυμάτων Tsunami είναι το μισό του ύψους του αρχικού Tsunami, με το Τοπικό Tsunami να διαδίδεται με μικρότερη ταχύτητα απ' ότι το Μακρινό. Κατά την μετάδοση του Τοπικού Tsunami προς την ακτή, το πλάτος του αυξάνει, ενώ σε αντίθεση το μήκος του μειώνεται. Τόσο στην περίπτωση του Μακρινού, όσο και στην περίπτωση του Τοπικού Tsunami καθώς τα κύματα προσεγγίζουν τις ακτογραμμές το ύψος τους αυξάνεται. Όσον αφορά τον τρόπο διάδοσης αυτών των κυμάτων πρέπει να επισημανθεί ότι σε αντίθεση με την αντίληψη που ευρέως επικρατεί, τα Tsunamis δεν έχουν την μορφή ενός τεράστιου μεγέθους κύματος, αλλά αποτελούνται από 3 έως 4 κύματα που εκδηλώνονται ιδιαίτερα γρήγορα καθώς προσεγγίζουν την ακτή. Από τη στιγμή που τα Tsunamis πλήξουν την ακτή, μέρος του κύματος και της ενέργειας που αυτό περικλείει επιστρέφει στην ανοικτή θάλασσα. Σε αρκετές περιπτώσεις τα Tsunami μπορούν να μετατραπούν σε συγκεκριμένο τύπο κύματος (Κύματα Άκρης - Edge waves), τα οποία κινούνται διαδοχικά μπροστά και πίσω, παράλληλα προς την ακτή.

(<http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/basics.htm>)



Καθώς το Tsunami προσεγγίζει την ακτή, οι παράκτιες και θαλάσσιες κατασκευές και σχηματισμοί, οι είσοδοι ποταμών καθώς και η κλίση της ακτής, είναι παράγοντες που επηρεάζουν τη μορφή και την εξέλιξή του. Το επίπεδο του νερού στην ακτή μπορεί να ανέλθει αρκετά μέτρα. Σε ακραίες περιπτώσεις, η στάθμη του νερού μπορεί να ανέλθει έως τα 15 μ. για περιπτώσεις Tsunami που προέρχονται από μακρινές αποστάσεις και η στάθμη μπορεί να ανέλθει έως τα 30 μ. για Tsunamis τοπικής προέλευσης. Το πρώτο κύμα ενός Tsunami είναι πιθανό να μην αποτελεί και το πιο ισχυρό της συστοιχίας, ενώ κατά τη διάδοσή του κάποιες παράκτιες περιοχές είναι πιθανόν να πληγούν περισσότερο συγκριτικά με κάποιες άλλες.

(<http://wcatwc.arh.noaa.gov/physics.htm>).

Τα Tsunamis αυτού του είδους, δηλαδή αυτά που προκαλούνται από μεγάλους υποθαλάσσιους σεισμούς, είναι και τα πιο καταστροφικά. Επειδή οι διαστάσεις της σεισμικής πηγής είναι εξαιρετικά μεγάλες, εξαιρετικά μεγάλο είναι και το ενεργειακό τους περιεχόμενο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η διάδοσή τους σε μεγάλες αποστάσεις να είναι ιδιαίτερα ευχερής (Ειρηνικός και Ινδικός ωκεανός), και αυτός είναι και ο λόγος που στη σύγχρονη βιβλιογραφία αποκαλούνται Transoceanic. (Paradourou, 2005).

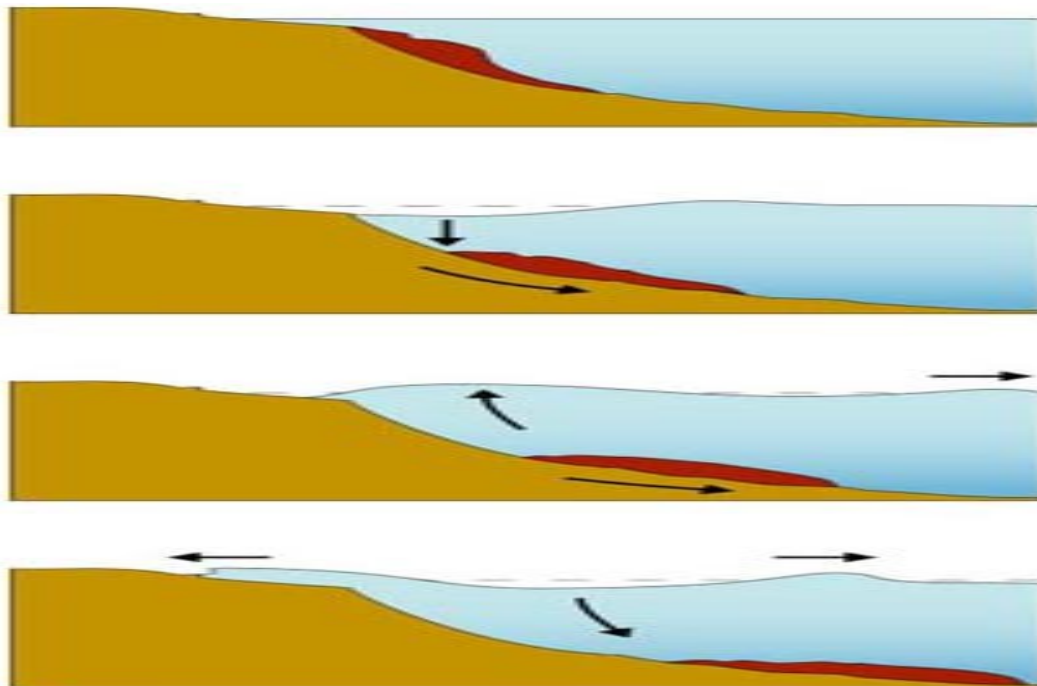
### **3.2. Tsunamis που οφείλονται σε κατολισθήσεις**

Μεγάλος αριθμός Tsunamis δημιουργείται αποκλειστικά από κατολισθήσεις.

Αυτές οι κατολισθήσεις μπορεί να είναι υποθαλάσσιες ή να αφορούν κατακρήμνιση τμημάτων της ακτής στη θάλασσα. Τέτοια Tsunamis έχουν συνήθως τοπικό χαρακτήρα και έκταση, αν και στην περίπτωση μιας εκτενούς υποθαλάσσιας κατολίσθησης που σχετίζεται με την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα ή την κατακρήμνιση ενός παγόβουνου στον ωκεανό, η πηγή του Tsunami που προκαλείται, αγγίζει έκταση πολλών χιλιομέτρων. Αυτού του είδους τα Tsunamis χαρακτηρίζονται από μεγάλα ύψη και αποτελούν τεράστια απειλή για τους παράκτιους πληθυσμούς. Tsunamis αυτών των χαρακτηριστικών μπορούν να δημιουργηθούν από κατακρήμνιση τμημάτων σπηλαιώδους ακτής, από πτώση βράχων στη θάλασσα, καθώς και από πτώση χιονοστιβάδων μεγάλου μεγέθους.

Οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις συνήθως σχετίζονται με την μακροχρόνια συσσώρευση ιζημάτων στον πυθμένα των ωκεανών. Τα συσσωρευμένα ιζήματα

εκτίθενται σε ρεύματα, θύελλες, κύματα ανέμων και τεκτονικές κινήσεις με αποτέλεσμα η ιζηματογενής ζώνη να αποσταθεροποιείται. Έτσι, μια οποιαδήποτε διατάραξη μετεωρολογικής φύσης ή μικρής σεισμικής έντασης παίζει καθοριστικό ρόλο και οδηγεί σε μια συνολική αποσταθεροποίηση. Κατολισθήσεις μπορούν να προέρθουν από μεγάλης κλίμακας βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις και πλημμύρες ποταμών. Η υποθαλάσσια κατολίσθηση του πυθμένα, έχει σαν αποτέλεσμα την κατακόρυφη μετατόπιση υδάτινης μάζας πάνω από το σημείο κατολίσθησης, που οδηγεί στην δημιουργία κύματος Tsunami. (Levin, 2005). Τα Tsunamis που προκαλούνται από κατολισθήσεις δεν έχουν την δυνατότητα διάδοσης από τη μια μεριά του ωκεανού στην άλλη. Όμως, στην περιοχή υποθαλάσσιας κατολίσθησης συχνά αποκτούν μεγάλο ύψος, γίνονται βίαια και τοπικά αποβαίνουν ιδιαίτερος καταστροφικά. (Papadopoulos, 2005).



Σχήμα 6 : Εκδήλωση Tsunami που οφείλεται σε υποθαλάσσια κατολίσθηση.

### 3.3. Tsunamis ηφαιστειογενούς προέλευσης

Σημαντικές είναι και οι περιπτώσεις δημιουργίας κυμάτων Tsunami από ηφαιστειογενείς εκρήξεις που λαμβάνουν χώρα είτε στην επιφάνεια της γης είτε είναι υποθαλάσσιες και εντοπίζονται στον ωκεάνιο πυθμένα. Οι ηφαιστειογενείς εκρήξεις μπορούν να δημιουργήσουν μεγάλες αναταράξεις στην επιφάνεια των ωκεανών και να οδηγήσουν στη δημιουργία κύματος Tsunami. Κατά την πραγματοποίηση μιας



υποθαλάσσιας ηφαιστειακής έκρηξης απελευθερώνονται υποθαλάσσια αέρια τα οποία αποτελούνται από καπνό ηφαιστειακής προέλευσης υψηλής θερμοκρασίας, καθώς και ατμό υπό υψηλή πίεση. Τα αέρια αυτά απελευθερώνονται και διανύουν την υδάτινη στήλη έως ότου καταλήξουν στην επιφάνεια και προκαλέσουν τοπικά ανύψωση της στάθμης του νερού. Η ενέργεια που βρίσκεται συγκεντρωμένη στα αέρια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του νερού η οποία συμβάλλει στην δημιουργία κύματος Tsunami. (Levin, 2005).

Ο μηχανισμός δημιουργίας Tsunami λόγω υποθαλάσσιας έκρηξης ηφαιστείου, εντοπίζεται στη λόγω έκρηξης υποθαλάσσια μετατόπιση μεγάλης μάζας νερού, η οποία μεταφέρεται έως την επιφάνεια του ωκεανού και συμβάλλει δραστικά στην δημιουργία του κύματος. Σύμφωνα με αυτό τον μηχανισμό, το Tsunami σε αυτή την περίπτωση οφείλεται στην εκτόπιση μεγάλης υδάτινης μάζας η οποία προκαλείται από υποθαλάσσια έκρηξη ηφαιστείου, υποθαλάσσια κατακρήμνιση τμήματος ηφαιστείου, αλλά ακόμα πιο πιθανό ενδεχόμενο, είναι η φρεατομαγματική έκρηξη και η υποθαλάσσια κατάρρευση μαγματικών ηφαιστειακών τμημάτων (Intergovernmental Oceanographic Commission, 2001).

Στα μεγάλα βάθη τα υποθαλάσσια ηφαίστεια παράγουν τεράστιες ποσότητες ηφαιστειακής λάβας η οποία εναποτίθεται στον ωκεάνιο πυθμένα. Όταν αυξηθεί το μέγεθος των υποθαλάσσιων ηφαιστειών και προσεγγίσουν τις ζώνες των ρηχών νερών το μάγμα που παράγεται κοντά στην επιφάνεια των ωκεανών μετατρέπει τις υδάτινες μάζες σε ατμό, ενώ ταυτόχρονα ποσότητες αερίων απελευθερώνονται από το ίδιο το μάγμα. Ο ατμός και τα αέρια που παράγονται δημιουργούν συνθήκες που οδηγούν σε έκρηξη του μάγματος. Η φρεατομαγματική αυτή έκρηξη γίνεται αισθητή στην επιφάνεια του ωκεανού, απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες στάχτης, τμημάτων του μάγματος και ατμού και μπορεί να δημιουργήσει κύμα Tsunami.



Φωτογραφία 2 : Υποθαλάσσια φρεατομαγματική έκρηξη και κατάρρευση μαγματικών ηφαιστειακών τμημάτων.

### **3.4. Tsunamis που προκαλούνται από ατμοσφαιρικές διαταραχές.**

Ατμοσφαιρικές διαταραχές συχνά προκαλούν κύματα Tsunami. Τα κύματα αυτά είναι ευρέως γνωστά ως “Meteotsunamis” και η ταλάντωση που δημιουργείται στη στάθμη των ωκεανών οφείλεται σε μετεωρολογικής φύσης διαταραχές. Αυτού του είδους τα Tsunamis δημιουργούνται από μεγάλες ατμοσφαιρικές αναταράξεις με τη μορφή κυκλώνων, τυφώνων και θεελλών. Η δημιουργία αυτών των κυμάτων (Meteotsunamis) οφείλεται αφενός στις συνθήκες συντονισμού των κυμάτων και αφετέρου στη σύμπτωση της ταχύτητας με την οποία εξελίσσεται η ατμοσφαιρική διαταραχή με την ταχύτητα διάδοσης του θαλάσσιου βαρυτικού κύματος. Από την έρευνα και τις επιστημονικές παρατηρήσεις βρέθηκε ότι οι ατμοσφαιρικές διαταραχές που εξελίσσονται με ταχύτητα 70-140 km ανά ώρα, μπορούν να προκαλέσουν meteotsunamis ύψους κύματος μεγαλύτερου του 1 m και περιόδου 30-60 λεπτών. (Levin, 2005).

### **3.5. Tsunamis που οφείλονται σε πτώση αστεροειδών**

Μια πιθανή αιτία δημιουργίας καταστροφικού κύματος Tsunami είναι η πτώση σε θαλάσσιες περιοχές αστεροειδών ή μετεωριτών. Η πτώση μετεωριτών ή αστεροειδών στους ωκεανούς είναι ικανή να δημιουργήσει κύμα Tsunami ολοκληρωτικού χαρακτήρα με κατακλυσμικές προοπτικές εξάπλωσης. (IOC, 2001). Βάσει πυρηνικών δοκιμών και επιστημονικής έρευνας υπολογίζεται ότι η ενέργεια που θα απελευθερωθεί από την πτώση ενός μετεωρίτη διαμέτρου 100 m και ταχύτητας πρόσκρουσης 20 km/sec θα είναι περίπου ίση με 1018 J, ενέργεια που θα απελευθερωνόταν από την έκρηξη βόμβας 100 μεγατόνων. Τα αέρια προϊόντα της έκρηξης μπορούν να δημιουργήσουν μια υποθαλάσσια φουσαλίδα ακτίνας περίπου 3 km. Έτσι συμπεραίνουμε ότι λόγω της πτώσης ενός μετεωρίτη σε θαλάσσια περιοχή βάθους μικρότερου των 3 km, μια μεγάλη ποσότητα νερού μετατοπίζεται λόγω εξάτμισης και μετακίνησης υδάτινης μάζας που έχει σαν αποτέλεσμα την απογύμνωση του πυθμένα για μια περιοχή συνολικού μήκους μεγαλύτερης του 1 km. Το επιφανειακό κύμα που παράγεται στον κρατήρα που σχηματίζεται από την πτώση του μετεωρίτη μπορεί να φτάσει έως τα 50 m. Η διαδικασία αναπλήρωσης του υποθαλάσσιου κρατήρα με νερό διαρκεί λίγα λεπτά και μπορεί να δημιουργήσει ταλαντώσεις στην επιφάνεια του νερού μεγάλης χρονικής διάρκειας. Βάσει προσεγγιστικών μελετών, η πτώση ενός μετεωρίτη στον ωκεανό μπορεί να οδηγήσει σε μια μακροπρόθεσμη και μεγάλης έντασης διαταραχή στην επιφάνεια του νερού, ικανή να δημιουργήσει κύμα Tsunami παγκοσμίου κλίμακος. (Levin, 2005). Η πιθανότητα πρόσκρουσης ενός αστεροειδούς διαμέτρου  $D$  σε ένα οποιοδήποτε σημείο της επιφάνειας της γης δίδεται από τον τύπο:

$$P(L) = P(D) AD / AE$$

Όπου  $P(D)$  : είναι η πιθανότητα πρόσκρουσης ενός αστεροειδούς διαμέτρου  $D$ .

$AD$  : είναι η περιοχή καταστροφής λόγω πρόσκρουσης

$AE$  : είναι η συνολική επιφάνεια της γης συμπεριλαμβανομένου και της επιφάνειας των ωκεανών. (Paine, 1999).

Επιστημονικές μελέτες έχουν καταλήξει ότι η πτώση ενός μεσαίου μεγέθους αστεροειδούς διαμέτρου 5 έως 6 χιλιομέτρων στο μέσο του Ατλαντικού Ωκεανού μπορεί να δημιουργήσει Tsunami το οποίο θα κάλυπτε τα 2/3 των Ηνωμένων Πολιτειών. Αντίστοιχα η πτώση ενός τέτοιου αστεροειδούς στη θαλάσσια περιοχή

μεταξύ των νησιών της Χαβάης και των δυτικών ακτών της Νότιας Αμερικής θα δημιουργούσε κύμα Tsunami τέτοιου μεγέθους, το οποίο θα κάλυπτε ολοσχερώς το σύνολο όλων των παράκτιων οικισμών και αστικών κέντρων των δυτικών ακτών του Καναδά, των Ηνωμένων Πολιτειών, του Μεξικού καθώς και σχεδόν το σύνολο των νήσων της Χαβάης. (Intergovernmental of Oceanographic Commission, Unesco, 2001). Αξίζει βέβαια να επισημανθεί ότι η πτώση αστεροειδών ή μετεωριτών αποτελεί ένα ιδιαίτερα σπάνιο φαινόμενο. Οι περισσότεροι μετεωρίτες καταστρέφονται κατά την είσοδό τους στη γήινη ατμόσφαιρα. Στοιχεία και αποδείξεις πτώσης μετεωριτών έχουν εντοπισθεί στην γήινη επιφάνεια, συνδέονται αποκλειστικά με το μακρινό παρελθόν και από τη στιγμή που τα 4/5 της γης είναι καλυμμένα με νερό συμπεραίνουμε ότι η πτώση αστεροειδών έχει λάβει χώρα και στους ωκεανούς. (Intergovernmental of Oceanographic Commission, Unesco, 2001).

### **3.6. Tsunamis που προκαλούνται από την υποθαλάσσια εκπομπή Ενυδατωμένου Μεθανίου (Hydrates).**

Η εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων ενυδατωμένου μεθανίου στους ωκεάνιους πυθμένες είναι ικανή να δημιουργήσει κύματα Tsunami. Αποθέματα ενυδατωμένου μεθανίου εντοπίζονται στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα όλων των ωκεανών καθώς και στον πυθμένα λιμνών. Από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, διαπιστώθηκε ότι τα αποθέματα ενυδατωμένου μεθανίου στον πυθμένα των ωκεανών εντοπίζονται σε μεγάλης έκτασης περιοχές. Άλλες έρευνες επίσης εντόπισαν τέτοιες περιοχές στην Αλάσκα, στον Ατλαντικό ωκεανό, πολύ κοντά στις ακτές των Ηνωμένων Πολιτειών, καθώς και σε μεγάλη λίμνη της Νότιας Καλιφόρνια. Τα αποθέματα ενυδατωμένου μεθανίου αποσταθεροποιούνται και αποικοδομούνται με παράλληλη ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας και πτώση της πίεσης και η αποσταθεροποίηση αυτή μπορεί να οφείλεται σε μικροσεισμούς ή κίνηση των τεκτονικών πλακών, που επιφέρει την ενεργοποίηση ρηγμάτων σε περιοχές του πυθμένα όπου υπάρχουν αποθέματα ενυδατωμένου μεθανίου. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι οι πιθανότητες δημιουργίας κυμάτων Tsunami μέσω της υδροδυναμικής αποσταθεροποίησης που οφείλεται στην απελευθέρωση ενυδατωμένου μεθανίου του ιζηματογενούς πυθμένα είναι μικρές αλλά υπαρκτές. (Levin, 2005).

## **Κεφάλαιο 4.**

## Καταστροφικά Tsunamis ανά τους αιώνες.

### 4.1. Καταστροφικά Tsunamis εκτός ελλαδικού χώρου.

#### Κόλπος του Μεξικό

Πριν από 50 περίπου εκατομμύρια χρόνια ένα φονικό τσουνάμι σημειώθηκε στον κόλπο του Μεξικό εξαιτίας πτώσης αστεροειδούς. Μάλιστα το συγκεκριμένο προχώρησε σε βάθος 100 km μέσα στη ξηρά και πιστεύεται ότι η σκόνη που σηκώθηκε στην ατμόσφαιρα είναι υπεύθυνη για την αλλαγή του κλίματος της γης και τον αφανισμό πολλών ειδών ζωής της εποχής.

#### Συρία

Το πρώτο ιστορικά καταγεγραμμένο φαινόμενο tsunami το 2000 π.Χ.

#### Ινδονησία

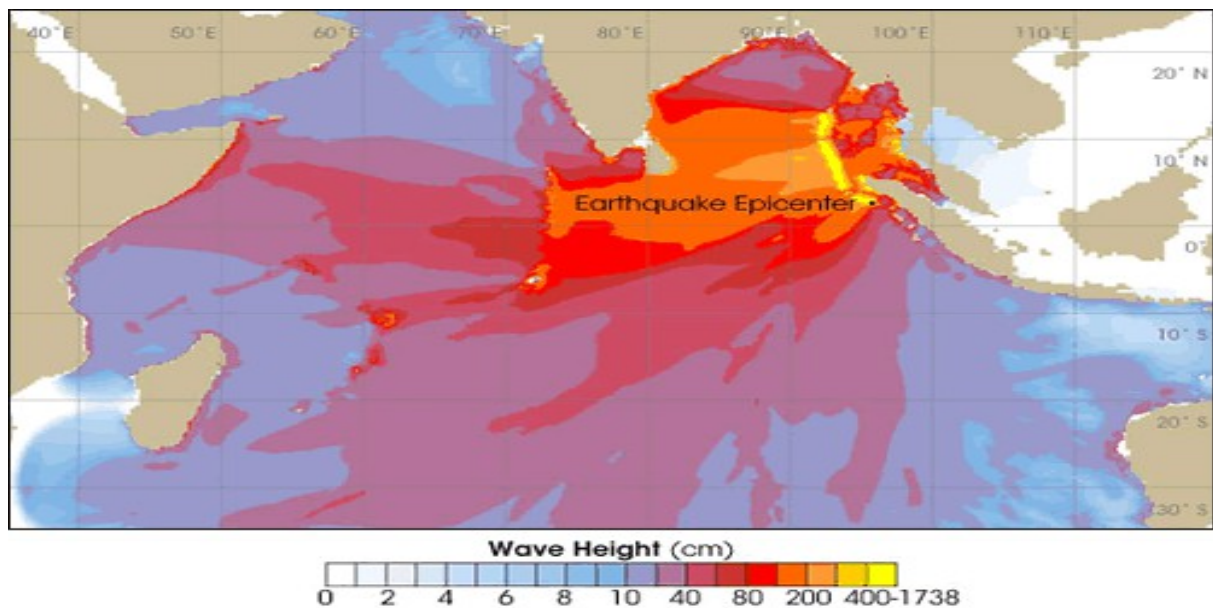
Ένα από τα μεγαλύτερα Tsunami που σημειώθηκαν ποτέ προκλήθηκε στην Ινδονησία μετά την κατάρρευση του ηφαιστείου Κρακατόα. Το συγκεκριμένο σάρωσε περισσότερη από τη μισή περιφέρεια τη γης και είχε ύψος πάνω από 35 m.



Φωτογραφία 3: Πόλη της Ινδονησίας μετά το χτύπημα του Tsunami

Ο σεισμός και το τσουνάμι της 26 Δεκεμβρίου 2004 στον Ινδικό Ωκεανό ήταν μια από τις χειρότερες φυσικές καταστροφές της σύγχρονης ιστορίας. Το πρώι

εκείνης της ημέρας (00:58:53 UTC), ένας σεισμός μεγέθους 9,3 της κλίμακας Ρίχτερ χτύπησε βόρεια του νησιού Σουμάτρα της Ινδονησίας, ανάμεσα στο νησί Σιμεουλούε και τη Σουμάτρα. Είναι ο τρίτος ισχυρότερος σεισμός που καταγράφηκε ποτέ από σειсмоγράφο. Το σεισμό ακολούθησε τσουνάμι με κύματα ύψους μέχρι 30 μέτρων που έπληξε 15 χώρες και έφτασε μέχρι και τα παράλια της Ανατολικής Αφρικής.



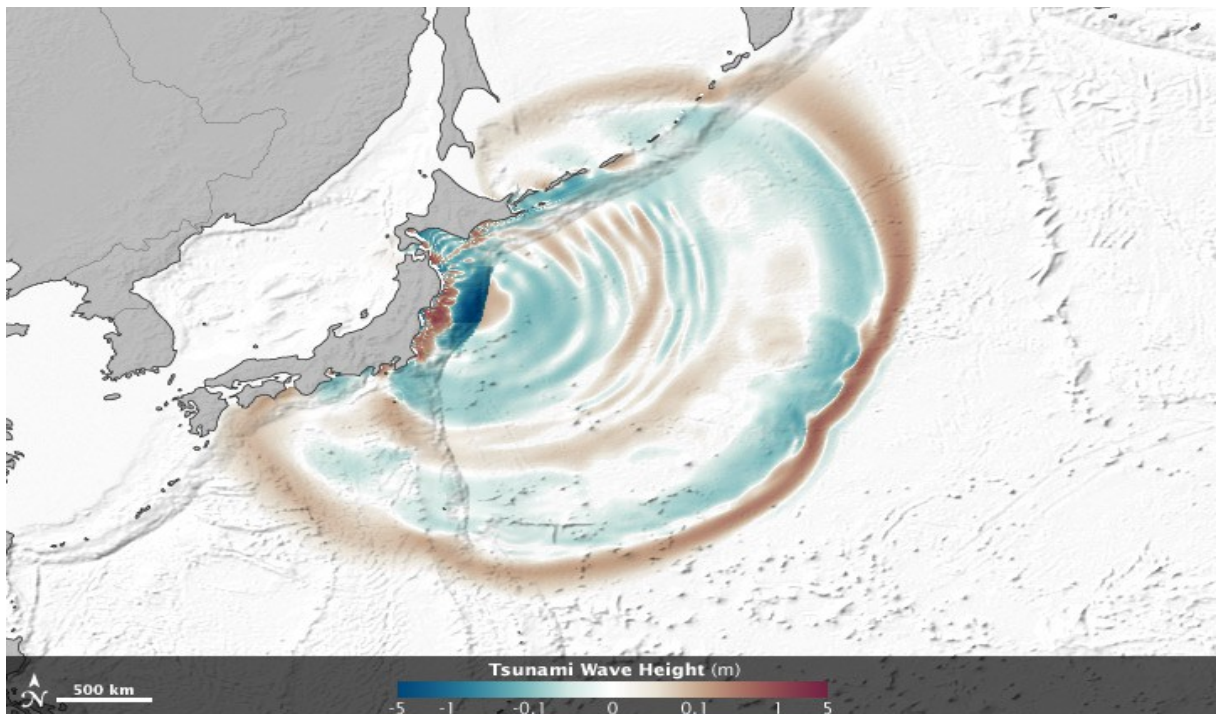
Φωτογραφία 4: Το ύψος του Tsunami μετά το σεισμό του 2004.

## Αίτνα

Τα υλικά που εκτοξεύτηκαν από το ηφαίστειο Αίτνα της Σικελίας πριν από 8.000 χρόνια, πέφτοντας στη θάλασσα, προκάλεσαν ένα καταστροφικό τσουνάμι, ψηλότερο από το ύψος δέκα ιστορικών κτιρίων, το οποίο διαδόθηκε σε ολόκληρη τη Μεσόγειο και χτύπησε τις ακτές τριών ηπείρων μέσα σε μερικές ώρες. Η έκρηξη του ηφαιστείου Αίτνα εκτόξευσε σε ύψος μεγαλύτερο των 9,5 χιλιομέτρων βράχους και ιζήματα που θα μπορούσαν να καλύψουν ολόκληρο το νησί του Μανχάταν. Αυτά έπεσαν στη θάλασσα με ταχύτητα μεγαλύτερη των 320 χιλιομέτρων την ώρα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τον μετασχηματισμό του μαλακού ιζήματος στον πυθμένα της θάλασσας και την ανακίνηση λάσπης για εκατοντάδες χιλιόμετρα. Τα κύματα του τσουνάμι είχαν ύψος μέχρι 40 μέτρα και μέγιστη ταχύτητα 72 χιλιομέτρων την ώρα, γεγονός που το καθιστά ισχυρότερο από το τσουνάμι που εκδηλώθηκε στην Ινδονησία.

## Ιαπωνία

Στις 11 Μαρτίου 2011, σημειώθηκε σεισμός, στη βορειανατολική Ιαπωνία, μεγέθους 9,0 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ. Ο σεισμός προκάλεσε τσουνάμι σε πολλές περιοχές της χώρας<sup>[5]</sup>. Το τσουνάμι ξεκίνησε να διαδίδεται στον Ειρηνικό ωκεανό προς όλες τις κατευθύνσεις, αμέσως μετά τον σεισμό. Ως αποτέλεσμα, εκδόθηκαν άμεσα προειδοποιήσεις για τσουνάμι στην Νέα Ζηλανδία, στην Αυστραλία, στη Ρωσία, στο Γκουαχάν, στις Φιλιππίνες, στην Ινδονησία, στη Παπούα Νέα Γουϊνέα, στο Ναουρού, στη Χαβάη, στις Βόρειες Μαριάνες(ΗΠΑ) και στην Ταϊβάν. Ειδικότερα στις ιαπωνικές ακτές, το ύψος του τσουνάμι έφτασε έως και τα 10 μέτρα και συμπαρέσυρε σπίτια, κτίρια και αυτοκίνητα, κατά τόπους έως και 20 χιλιόμετρα μέσα στο εσωτερικό της στεριάς.



Φωτογραφία 5: Το ύψος του Tsunami μετά το σεισμό στην Ιαπωνία

## 4.2. Καταστροφικά tsunamis στον ελλαδικό χώρο.

### Σαντορίνη

Η καταστροφική έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης προκάλεσε ένα τεράστιο τσουνάμι που σάρωσε την Ανατολική Μεσόγειο και έφτασε μέχρι τις ακτές του σημερινού Ισραήλ. Η έκρηξη, μια από τις μεγαλύτερες της αρχαιότητας, υπολογίζεται ότι έγινε μεταξύ του 1630 π.Χ και του 1550 π.Χ. και κατέστρεψε τον Μινωικό πολιτισμό. Σύμφωνα με τη νέα διεθνή γεωλογική έρευνα, το τσουνάμι ίσως ήταν τόσο ισχυρό,



που ταξίδεψε περίπου 1.000 χλμ. από τη Σαντορίνη για να φτάσει στις πιο μακρινές ακτές της Ανατολικής Μεσογείου, εναποθέτοντας ένα στρώμα φερτών υλών, πάχους άνω των 40 εκατοστών, στις ακτές του σημερινού Ισραήλ.

## Κρήτη

Το 365 μ.Χ σεισμός 8 Richter. Μεγάλο σεισμικό (είτε υποθαλάσσια κατολίσθηση) γεγονός στην ανατολική Μεσόγειο και συγκεκριμένα στην Κρήτη προκάλεσε μεγάλο τσουνάμι που έπληξε πολλές περιοχές προκαλώντας μεγάλες καταστροφές. Σικελία, Αίγυπτος, Κύπρος, Αλεξάνδρεια και φυσικά Κρήτη μερικές από τις αποδεδειγμένα ιστορικά περιοχές που επλήγησαν.

## Σαντορίνη

Ο σεισμός της 9η Ιουλίου 1956 (μέγεθος 7.5), που έλαβε χώρα στο ρήγμα της θαλάσσιας λεκάνης της νότιας Αμοργού, ήταν ο μεγαλύτερος σεισμός του 20ου αιώνα σε ολόκληρη την Ευρώπη, από τα Ουράλια έως το Γιβραλτάρ και από τη Μάλτα έως τη Λατωνία. Το έργο του κύριου σεισμού ολοκλήρωσε ο καταστρεπτικός μετασεισμός (μέγεθος 6.9) που ακολούθησε 12 λεπτά αργότερα. Οι δύο σεισμοί δημιούργησαν ένα από τα μεγαλύτερα θαλάσσια κύματα βαρύτητας (tsunami) στο Αιγαίο, το ύψος του οποίου το ύψος έφθασε τα 25m στη νοτιοανατολική ακτή της Αμοργού τα 20m στη βορειοδυτική ακτή της Αστυπάλαιας και τα 10m στη Φολέγανδρο.



Φωτογραφία 6: Φωτογραφία από τη Σαντορίνη μετά το σεισμό

### 4.3. Τα πιο θανατηφόρα tsunamis στον κόσμο



## Πίνακας 1.

Θάνατοι	Περιοχή	Έτος
228,000-310,000	Indian Ocean (Indonesia, India, Thailand, Somalia and other countries)	2004
100,000	Lisbon	1755
70,000	Messina, Italy	1908
40,000	South China Sea	1782
30,000	Tokaido-Nankaido, Japan	1707
27,000	Japan	1826
25,674	Chile	1868
22,070	Sanriku, Japan	1896
13,486	Ryukyu Trench	1771
5,233	Tokaido-Kashima, Japan	1703
5,000	Nankaido, Japan	1605
5,000	Moro Gulf, Philippines	1976
4,000	Borneo, Indonesia	1952
3,000	Papua New Guinea	1998
3,008	Sanriku, Japan	1993

## Κεφάλαιο 5

### Tsunami και φυσικό περιβάλλον

#### 5.1. Αιτίες που επηρεάζουν την ισχύ των tsunamis.

Η ισχύς των Tsunamis εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του κύματος, δηλαδή από το ποσό της ενέργειας που μεταφέρει, το οποίο με τη σειρά του, εξαρτάται από την ενέργεια της πηγής που προκάλεσε το Tsunami. Ένα άλλο μέτρο μεγέθους του κύματος είναι το ύψος του σε συγκεκριμένη παράκτια τοποθεσία. Το ύψος του

εξαρτάται από την απόσταση από την σεισμική ή άλλη πηγή, από τη βυθομετρία και την παράκτια γεωμορφολογία της περιοχής καθώς και τη διεύθυνση της περιοχής σε σχέση με την πηγή. Το καταστροφικό αποτέλεσμα ενός Tsunami σε συγκεκριμένη παράκτια τοποθεσία εξαρτάται από το ύψος του κύματος, την παράκτια γεωμορφολογία που ευνοεί ή εμποδίζει την αναρρίχηση και προσπέλαση του κύματος στα ενδότερα, καθώς και τα χαρακτηριστικά του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, όπως η ποιότητα των τεχνικών κατασκευών, η πληθυσμιακή πυκνότητα, η κατάσταση του οδικού δικτύου και των υπολοίπων υποδομών. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζει η ενημέρωση των κατοίκων στους ορθούς τρόπους συμπεριφοράς, η ύπαρξη ή η απουσία ενόργανων συστημάτων προειδοποίησης και ο βαθμός ετοιμότητας των τοπικών αρχών. (Papadopoulos, 2005).

Τα Tsunamis μπορούν να προκαλέσουν πολλές, διαφορετικές και εκτεταμένης έκτασης ζημιές. Οι συνέπειες των Tsunamis εντοπίζονται στον άνθρωπο, στο ανθρωπογενές περιβάλλον, στο παράκτιο οικοσύστημα και πολύ συχνά ευρύτερα στο οικοσύστημα της τοπικής ενδοχώρας, στις υλικές υποδομές, στους κοραλλιογενείς σχηματισμούς και αποικίες, στη σύσταση του επίγειου και υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα καθώς και στη μορφολογία και την αισθητική των ακτών. Ιδιαίτερα σημαντικές βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα αποβαίνουν οι οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις ενός τέτοιου πλήγματος. Σε αρκετές περιπτώσεις ένα ενδεχόμενο πλήγμα κύματος Tsunami επιφέρει τεράστια και πολλές φορές ριζική καταστροφή σε παράκτιες βιομηχανίες ή μονάδες παραγωγής, με πιο συνηθισμένη την βιομηχανία αλιείας, ενώ ταυτόχρονα πλήττεται και η τοπική αγροτική παραγωγή, παράγοντες άμεσα συνδεδεμένοι με την οικονομική και κοινωνική σταθερότητα και εξέλιξη των τοπικών κοινωνιών.

## **5.2. Αποτελέσματα στο παράκτιο περιβάλλον**

Κατά τη μελέτη του Tsunami, το οποίο χτύπησε την Ινδονησία το 2004, παρατηρούνται ζημιές στο παράκτιο οικοσύστημα, το οποίο συμπεριλάμβανε συγκεκριμένα είδη χλωρίδας. Υπολείμματα υλικών κατασκευής υποδομών μεταφέρθηκαν από το κύμα σε τεράστιες αποστάσεις, μέχρι και 3 χιλιόμετρα στην ενδοχώρα και έπληξαν τις εν λόγω περιοχές, ενώ αντίστροφα μέρος της χλωρίδας καταστράφηκε, παρασύρθηκε και μεταφέρθηκε από το κύμα προς την αντίθετη κατεύθυνση κατά την εκτόνωση του φαινομένου, με συνέπεια την πλήρη αλλοίωση

και υποβάθμιση του τοπικού οικοσυστήματος. Σημαντικές ήταν και οι ζημιές που υπέστη η χαμηλή βλάστηση, όχι μόνο λόγω των ισχυρών ρευμάτων που προκάλεσε το Tsunami, αλλά κυρίως λόγω των αντίστροφων ρευμάτων που παρήχθησαν δευτερογενώς και προκάλεσαν την μεταφορά απομεινारीών υλικών και μεγάλων ποσοτήτων απορριμμάτων στις συγκεκριμένες τοποθεσίες. Η ζημία που υπέστη η χαμηλή βλάστηση σε πολλές περιπτώσεις ήταν ολοκληρωτική και σε κάποιες άλλες ξεπερνούσε σε ποσοστό το 50% του συνόλου. (Wetlands International Indonesia Programme, 2004).



Φωτογραφία 7: Καταστροφή που προκλήθηκε σε παράκτια περιοχή της Ινδονησίας από το tsunami του 2004.

Τα κύματα Tsunami κατά την επέλασή τους προς τις παράκτιες περιοχές δημιουργούν μεταβολές και αλλοιώνουν την παράκτια γεωμορφολογία καθώς και τις ιζηματογενείς παράκτιες αποθέσεις. Τα κύματα κατά την διάδοσή τους προς την ενδοχώρα, παρασέρνουν από άμμο έως μεγάλου μεγέθους βράχους, έως 2 με 3 μέτρα, ενώ δημιουργούν ιδιαίτερα ισχυρές διαβρωτικές συνθήκες. (Chandrasekar, 2005).

Παρόμοιες ήταν και οι συνέπειες του Tsunami που έπληξε τα παραθαλάσσια οικοσυστήματα των περιοχών Batticaloa και Ampara της Ανατολικής Σρι-Λάνκα. Μεγάλο τμήμα της αμμώδους ακτής μετακινήθηκε και η άμμος εναποτέθηκε σε μεγάλες αποστάσεις μεταβάλλοντας ριζικά την μορφή της ακτής. Η σύσταση της παραλίας μεταβλήθηκε κατά ποσοστό 50% και εμπλουτίστηκε με αποθέσεις σκουρόχρωμων ανόργανων υλικών. Το 20-25% της ακτής καλύφθηκε με υλικά φυσικής και ανθρωπογενούς προέλευσης όπως υπολείμματα δένδρων, υπολείμματα

οικιακής χρήσης και πλαστικά. Αντίστοιχα αρνητικές ήταν και οι συνέπειες στην παράκτια βλάστηση. Το μεγαλύτερο μέρος των δενδροφυτειών καταστράφηκε, ενώ για πολλά είδη δένδρων το αλμυρό θαλασσινό νερό απεδείχθη ιδιαίτερα επιβλαβές. (Bambaradeniya et al, 2005).

Ιδιαίτερα αρνητικές είναι οι συνέπειες ενός κύματος Tsunami στο κοραλλιογενές περιβάλλον, κάτι που πιστοποιήθηκε από τον εκ των υστέρων εντοπισμό μεγάλων ποσοτήτων κοραλλιών, τα οποία είχαν αποκοπεί και μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις από τις αποικίες τους, λόγω του κύματος.



Φωτογραφία 8: Νεκροί κοραλλιογενείς σχηματισμοί σε παραλία της Ινδονησίας.

Η ζημία στις κοραλλιογενείς ζώνες οφείλεται κυρίως στο Tsunami, αλλά και στα υλικά απομεινάρια που παρέμειναν στις αποικίες όταν τα νερά αποσύρθηκαν. Σημαντικές ζημιές από την επέλαση του Tsunami προκλήθηκαν στις παραλίες και τις ακτές, τόσο όσον αφορά την αισθητική εικόνα η οποία υποβαθμίστηκε, όσο και την παράκτια πανίδα, δεδομένου ότι συγκεκριμένες παραλίες αποτελούσαν βιότοπους για σπάνια είδη όπως θαλάσσιες χελώνες. (Wetlands International Indonesia Programme, 2004).

## Κεφάλαιο 6

### Tsunami και ανθρωπογενές περιβάλλον

#### 6.1. Επιπτώσεις στις ανθρώπινες κατασκευές.

Η καταστροφή που προκλήθηκε από το Tsunami της Ινδονησίας άφησε εκτεταμένες ζημιές στο παράκτιο ανθρωπογενές περιβάλλον. Οι ζημιές αυτές προκλήθηκαν σε περιοχή συνολικού εμβαδού 250 τετραγωνικών χιλιομέτρων και ήταν ολοκληρωτικές, ενώ έκταση 2.850 τετραγωνικών χιλιομέτρων επλήγη σε μικρότερο βαθμό. (Wetlands International Indonesia Programme, 2004).

Λαμβάνοντας υπ' όψιν το Tsunami που έπληξε τις νήσους Μαλδίβες στον Ινδικό ωκεανό (2004), όσον αφορά το ανθρωπογενές περιβάλλον παρατηρήθηκαν καταστροφές που αφορούσαν κυρίως κτίρια από μπετό. Τα κτίρια τα οποία εντοπίστηκαν κοντά στην πορεία διάδοσης του Tsunami καταστράφηκαν ολοσχερώς. Κτίρια με κύρια υλικά κατασκευής πέτρα, τσιμέντο και ασβέστη έπαθαν σημαντικές ζημιές, ανάλογες πάντα με τη σχετική θέση και απόσταση αυτών των κτιρίων ως προς την πορεία διάδοσης του κύματος. Ακόμα και νεότερα κτίρια, καταστράφηκαν εκτενώς και τμήματά τους παρασύρθηκαν από το κύμα σε μεγάλες αποστάσεις.

Σημαντικό στοιχείο που ενίσχυσε την επίδραση του κύματος στα συγκεκριμένα κτίρια ήταν η έλλειψη ενίσχυσης των εξωτερικών τοίχων των κτισμάτων. Αρκετές ήταν οι περιπτώσεις κτισμάτων που κατέρρευσαν πολύ αργότερα από την εξασθένηση του κύματος (περίπτωση νήσου Gouraidhoo), κάτι το οποίο οφείλεται στην πλημμύρα η οποία εκ των υστέρων δημιούργησε υπόγεια μετακίνηση της άμμου και τοπική βύθιση του εδάφους. (Keating et al, 2004).





Φωτογραφία 9: Καταστροφή σε κτίριο από μπετό



Φωτογραφία 10: Καταστροφές σε ξύλινες κατασκευές.

Αξιοσημείωτες ήταν και οι καταστροφές που υπέστησαν οι μόλοι, οι προβλήτες, οι κυματοθραύστες και οι παράκτιες αλιευτικές εγκαταστάσεις και υποδομές. Οι κυματοθραύστες, αν και έπαιξαν ιδιαίτερα προστατευτικό ρόλο, στις περισσότερες περιπτώσεις αποκολλήθηκαν, καταστράφηκαν και αναποδογύρισαν.

Οι ξύλινες προβλήτες καταστράφηκαν ολοκληρωτικά, ενώ οι αντίστοιχες τσιμεντένιες υπέστησαν μερική καταστροφή. Όσον αφορά τους κυματοθραύστες, υπέστησαν σημαντικές ζημιές και πολλοί από αυτούς καταστράφηκαν μακροπρόθεσμα λόγω του φαινομένου της διάβρωσης. Αξίζει να επισημανθεί ότι το μέγεθος της καταστροφής εξαρτάται από την ηλικία των κατασκευών, καθώς και την ποιότητα των υλικών κατασκευής τους. (Keating et al, 2004).



Φωτογραφία 11: Καταστραμμένη προβλήτα

## Κεφάλαιο 7

### Tsunami και οικονομία

Η καταστροφή που προκαλείται από τα tsunamis στην τοπική όσο και στην παγκόσμια οικονομία είναι ανυπολόγιστη. Στην περίπτωση του Aceh το 2004 δαπανήθηκαν 150.000.000 δολάρια, σε πρώτη φάση, για την αποκατάσταση της πληγείσας περιοχή και άλλο 1.000.000.000 δολάρια τα επόμενα πέντε χρόνια.

Καταστροφές που προκαλούνται από τέτοια φυσικά φαινόμενα όπως είναι τα tsunamis έχουν και μακροοικονομικές επιπτώσεις που δεν είναι άμεσα ορατές. Το μεγάλο πλήγμα μιας τέτοιας καταστροφής αφορά τον τομέα της τοπικής παραγωγής που σχετίζεται άμεσα σε τοπικό επίπεδο με την απασχόληση, τα δημόσια έσοδα, τους φόρους και την παραγωγή συναλλάγματος. Το μέγεθος αυτών των δευτερογενών συνεπειών εξαρτάται άμεσα από τη δομή της εκάστοτε τοπικής οικονομίας καθώς και την ελαστικότητά της. Οι επιπτώσεις είναι ισχυρότερες όταν η

μορφή της οικονομίας είναι τέτοια, ώστε να υπάρχουν πολλοί τομείς που να εξαρτώνται άμεσα από τον τομέα εκείνο που έχει υποστεί τη μεγαλύτερη ζημιά από την επέλαση του Tsunami. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση εκείνων των οικονομιών που βασίζονται στην τουριστική κίνηση. Σε τέτοιας κλίμακας τοπικές κοινωνίες, τα ξενοδοχεία καταναλώνουν μεγάλο μέρος της τοπικής παραγωγής τροφίμων και προμηθειών και απασχολούν και πολυάριθμο εργατικό δυναμικό. Σε περιπτώσεις περιοχών που πλήττονται από Tsunamis, η τουριστική κίνηση γνωρίζει ραγδαία κάμψη, οι τουριστικές επιχειρήσεις επίσης γνωρίζουν αντίστοιχα κάμψη και οι επιπτώσεις όπως είναι φυσικό, αλυσιδωτά μεταφέρονται στην τοπική παραγωγή και απασχόληση, επομένως στην τοπική κοινωνία. Οι πιο ανεπτυγμένες οικονομίες είναι πιο ανθεκτικές απέναντι στις αρνητικές επιπτώσεις ενός Tsunami, σε σχέση με τις λιγότερο αναπτυγμένες.

Στην περίπτωση εκδήλωσης Tsunami οι κοινωνίες που πλήττονται περισσότερο είναι οι μικρού μεγέθους και πληθυσμού παράκτιες κοινωνίες που επιβιώνουν κυρίως από την αλιεία. Σε αυτού του μικρού μεγέθους τις φτωχές κοινωνίες, οι συνέπειες είναι καταστροφικές διότι οι κάτοικοι χάνουν τα σπίτια τους, τα αλιευτικά τους σκάφη καθώς και τα σύνεργα της εργασίας τους. Οι αλιευτικές υποδομές καταστρέφονται, οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις απαξιώνονται και οι κάτοικοι μετά το πέρας της καταστροφής χρεώνονται, προκειμένου να αναπληρώσουν τις ζημιές. Παράλληλα ο τουριστικός τομέας που σε κάποιες περιπτώσεις εξασφαλίζει το μεγαλύτερο μέρος του τοπικού εισοδήματος και σε κάποιες άλλες το συμπληρώνει, απαξιώνεται για μεγάλα χρονικά διαστήματα μετά την ολοκλήρωση της φυσικής καταστροφής. (Benson et al, 2004).

Στην περίπτωση του Aceh (Νότια Σουμάτρα) παρατηρήθηκαν εκτεταμένες ζημιές σε αλιευτικά σκάφη, τα περισσότερα εκ των οποίων βυθίστηκαν. Η μεταβολή της γεωμορφολογίας της ακτής και του βάθους της θάλασσας δημιούργησαν τεράστια

προβλήματα στον απόπλου και τον ελλιμενισμό των εναπομεινάντων αλιευτικών σκαφών. Αντίστοιχα προβλήματα στην τοπική αλιεία δημιούργησε η καταστροφή και οι σημαντικές ζημιές που υπέστησαν προβλήτες και λιμένες. Αξίζει να επισημανθεί ότι οι οικονομικές συνέπειες από το κύμα Tsunami έχουν άμεσο αλλά και μακροπρόθεσμο χαρακτήρα αφού οι επισκευές και η αναδιάρθρωση των παράκτιων αλιευτικών υποδομών, απαιτούν χρονικό διάστημα από 6 μήνες έως 1 χρόνο χωρίς τη χρήση τεχνικών μέσων. Υπολογίζεται ότι η παραγωγή μπορεί να επανακάμψει



ενάμιση με δυο χρόνια μετά την ολοκλήρωση των ανακατασκευών των υποδομών.  
(Wetlands International, Indonesia Program, 2004).



Φωτογραφία 12: Καταστραμμένα αλιευτικά.



Φωτογραφία 13: Το Aceh πριν και μετά το χτύπημα του tsunami

Πολλά μεγάλα και μικρά ξενοδοχεία, τοπικές τουριστικές επιχειρήσεις καθώς και επιχειρήσεις συνδεδεμένες με τον τουρισμό επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό, λόγω της μείωσης των τουριστικών αφίξεων που οφείλεται και στην απαξίωση των τουριστικών και μεταφορικών υποδομών, αλλά και σε ψυχολογικούς λόγους που επικαλούνται οι τουρίστες, οι οποίοι φοβούνται μια νέα καταστροφή. Επίσης, οι τιμές στις εναπομείναντες τουριστικές επιχειρήσεις αυξάνουν μετά το χτύπημα του Tsunami λόγω της πτώσης της τουριστικής κίνησης, αλλά και της παρουσίας μεγάλου αριθμού εθελοντικών οργανώσεων που εργάζονται για την αποκατάσταση της πληγείσας περιοχής. (Bambaradeniya et al, 2005). Το μέγεθος και το εύρος μιας φυσικής καταστροφής όπως το Tsunami καθώς και ο βαθμός στον οποίο επηρεάζει μια τοπική κοινωνία εξαρτάται και από άλλους παράγοντες με πιο σημαντικό την ανταπόκριση των τοπικών και κυβερνητικών οργανισμών απέναντι στην καταστροφή, καθώς και την ευαισθητοποίηση της τοπικής κοινωνίας. Οι απομονωμένες οικονομίες, η συγκέντρωση των οικονομικών δραστηριοτήτων στην ακτή που πλήγεται περισσότερο από το Tsunami, καθώς και η εξάρτηση από οικονομικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τις ακτές και τη θάλασσα, αποτελούν παράγοντες που ενισχύουν την επίδραση ενός Tsunami και δημιουργούν σημαντικές απώλειες στο τοπικό εισόδημα. (Benson et al, 2004).



Φωτογραφία 14: Εθελοντές που βοηθούν στην αποκατάσταση της πληγείσας περιοχής μετά το Tsunami του 2004 στην Ινδονησία.

## Κεφάλαιο 8

### Tsunami και υγεία

Εκτός από τις μεγάλες απώλειες σε ανθρώπινες ζωές και τις εκτεταμένες καταστροφές στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, το Tsunami επιφέρει ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις στην ψυχική υγεία των επιζώντων της καταστροφής. Πολλοί από τους επιζώντες αντιμετωπίζουν ψυχολογικές διαταραχές, όπως ολική κατάθλιψη, γενικευμένη φοβία και μετατραυματικές αγχωτικές διαταραχές. Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρούνται φαινόμενα κατάθλιψης, σωματικών παθήσεων και άλλων ψυχοπαθολογικών διαταραχών της υγείας τους.

Αν και υπάρχει έλλειψη στοιχείων, σχετικά με τις επιπτώσεις ενός Tsunami στην ψυχική υγεία των κατοίκων της πληγείσας περιοχής, η έως τώρα εμπειρία έχει δείξει ότι η επίδραση στους επιβιώσαντες είναι εξαιρετικά μεγάλη. Η εμφάνιση ψυχολογικών προβλημάτων εξαρτάται από τον βαθμό έκθεσης των κατοίκων στην καταστροφή. Οι κάτοικοι που έχουν άμεση εμπειρία από το Tsunami, καθώς και οι κάτοικοι που έχουν στενή σχέση και επαφή με τα θύματα, εμφανίζουν περισσότερες ψυχολογικές διαταραχές από αυτούς που έχουν έμμεση ή επιφανειακή εμπειρία.

Τουλάχιστον το 30% των επιζώντων από Tsunamis αποτελείται από παιδιά ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι εντονότερα ψυχολογικά προβλήματα παρουσιάζει το γυναικείο

φύλο. Εξίσου έντονες είναι οι ψυχολογικές συνέπειες που εμφανίζονται στα παιδιά, τα οποία εμφανίζουν εντονότερα συμπτώματα κατάθλιψης σε σχέση με τους



ενήλικες.



Η απώλεια συγγενικών προσώπων, μελών της οικογενείας, η απειλή του θανάτου, ο φόβος και ο πανικός, η απώλεια της οικογενειακής στέγης, καθώς και η αναγκαστική, μετά το πέρας της καταστροφής, μετανάστευση συμβάλλουν στην ψυχολογική αποσταθεροποίηση. (Stevens, 2005).

## Κεφάλαιο 9

### Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης tsunami

#### 9.1. Ενόργανα συστήματα στον ελλαδικό χώρο

Όσον αφορά τα Ενόργανα Συστήματα Προειδοποίησης η ελληνική προσπάθεια εντόπισε το ενδιαφέρον της στο Ν. Αιγαίο όπου, πέρα από το μόνιμο εθνικό δίκτυο σειсмоγράφων , εγκατέστησε, και σε πειραματικό στάδιο δοκίμασε, πρόσθετο ενόργανο σύστημα αποτελούμενο από ψηφιακούς σειсмоγράφους και παλιρροιογράφους (Paradourios, 1998, 2001). Με πρόγραμμα που ενίσχυσε ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (2001-2003), το δίκτυο σειсмоγράφων εξοπλίστηκε με σεισμόμετρα ευρέως φάσματος. Η περαιτέρω ενίσχυση του εξοπλισμού θα δώσει την ευκαιρία ώστε το πειραματικό δίκτυο να μετατραπεί σε λειτουργικό. Η ερευνητική και τεχνολογική πρόοδος που επετεύχθη στα θέματα των Tsunami κατά την τελευταία 12ετία στην Ελλάδα υπήρξε εξαιρετικά σημαντική χάρις στις συνεχείς προσπάθειες του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου και λόγω της συμμετοχής στα προγράμματα GITEC και GITEC - TWO αλλά και στη συνεχή δεκαετή συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Τοhoku, Ιαπωνία, που πρωτοπορεί διεθνώς στα θέματα αυτά.

Κατά την τελευταία δωδεκαετία στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκε σημαντική πρόοδος. Διαμορφώθηκε ένας νέος, ενοποιημένος κατάλογος για την αποδελτίωση των Tsunami όλης της Ευρώπης από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, κατανοήθηκαν σε

μεγάλο βαθμό οι μηχανισμοί γένεσης των Tsunami από σεισμούς, ηφαιστειακές εκρήξεις και κατολισθήσεις, μπήκαν οι βάσεις για την δημιουργία και λειτουργία του ενόργανου συστήματος GITEC παρακολούθησης των Tsunami, αναπτύχθηκαν μέθοδοι για τον μικροζωνικό καθορισμό του τρόπου κατανομής του κινδύνου από Tsunami στις ακτογραμμές και ήδη εφαρμόζονται με επιτυχία (π.χ. Ρόδος).

Εισήχθησαν και εφαρμόζονται με επιτυχία οι γεωλογικές μέθοδοι αναζήτησης και ταυτοποίησης παλαιοτσουνάμι και αναπτύχθηκαν περισσότερο οι μαθηματικοί κώδικες για την αριθμητική προσομοίωση των Tsunami σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Στο διεθνές πεδίο της επιστήμης των Tsunami η Ελληνική παρουσία αναγνωρίστηκε και καθιερώθηκε ως εξαιρετικά υπολογίσιμη, ενώ δημιουργήθηκε η απαιτούμενη κρίσιμη μάζα για τη συνέχιση της προσπάθειας και την επιβίωσή της στο διεθνές επιστημονικό στερέωμα.

Παρά τα επιτεύγματα αυτά, εξακολουθεί να κυριαρχεί η επιστημονικά αβάσιμη και κοινωνικά επικίνδυνη αντίληψη ότι στην Ελλάδα δεν έχουμε Tsunami και συνεπώς δεν χρειαζόμαστε έρευνα στο πεδίο αυτό. Εδώ και πολλά χρόνια η ΓΓΕΤ ενίσχυσε μόνο μία διακρατική στον τομέα αυτό και βέβαια δεν μπορούσε να αποφύγει την θεσμικά επιβεβλημένη εθνική συμμετοχή της στη χρηματοδότηση του προγράμματος GITEC-TWO. Πριν μερικά χρόνια απέρριψε τις προτάσεις που της υποβλήθηκαν, περιλαμβανομένης και της πρότασης για τη δημιουργία δικτύου επιστημόνων που ασχολούνται με τα Tsunami και που αποσκοπούσε στο να συγκρατηθεί η κρίσιμη μάζα η οποία είχε ήδη δημιουργηθεί στην Ελλάδα με τη διεξαγωγή των ευρωπαϊκών προγραμμάτων (Paradopoulos, 2005).

## **9.2. Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών**

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αναπτύχθηκαν μέσα από αιώνες σχεδιασμού χαρτών. Μέχρι τον 19ο αιώνα οι γεωγραφικές πληροφορίες χρησιμοποιούνταν για πορείες και εξερευνήσεις γης και θάλασσας, καθώς και για συλλογή φόρων και επιχειρήσεις του στρατού. Στην πορεία οι χαρτογραφικές ανάγκες πολλαπλασιάστηκαν, εξελίχθηκαν και αυτό οδήγησε στην παραγωγή γεωλογικών χαρτών, με τον πρώτο να δημιουργείται στο Παρίσι κατά το έτος 1811. Παράλληλα, το έντονο φαινόμενο της αστικοποίησης και επομένως της αύξησης του μεγέθους των πόλεων και των μεγάλων αστικών κέντρων επέφερε την ανάγκη του πολεοδομικού και χωροταξικού σχεδιασμού, ο οποίος σε μεγάλο βαθμό βασίστηκε και βασίζεται στην παραγωγή χαρτών. Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και την εξέλιξη της παραγωγής χαρτών έπαιξε και η δυνατότητα λήψης αεροφωτογραφιών. Μετά το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, όσον αφορά τον σχεδιασμό και την παραγωγή χαρτών, χρησιμοποιήθηκε ευρέως η Τηλεπισκόπηση, ενώ άρχισε να εξελίσσεται ραγδαία η ηλεκτρονική χαρτογράφηση που επιτεύχθηκε μέσω της

χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών. Στα τέλη της δεκαετίας του 50 και κατά τις αρχές της δεκαετίας του 60, εμφανίστηκε η δεύτερη, πιο εξελιγμένη γενιά υπολογιστών ταυτόχρονα με την οποία εξελίχθηκε και η ηλεκτρονική χαρτογράφηση. Τα πρώτο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών κατασκευάστηκε από την κυβέρνηση του Καναδά στα τέλη της δεκαετίας του 60. Ακολούθησε η κατασκευή ενός παρόμοιου συστήματος στις Ηνωμένες Πολιτείες, το σύστημα MIDAS, το οποίο διαχειριζόταν δεδομένα που προέρχονταν από Φυσικές πηγές. Κατά τη δεκαετία του 1970, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ταυτίστηκαν περισσότερο με την επεξεργασία εικόνων και τη στατιστική ανάλυση, αναπτύχθηκε η Τηλεπισκόπηση, η Γεωστατιστική και η αυτοματοποιημένη σχεδίαση CAD. Κατά τη δεκαετία του 1980 τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αναπτύχθηκαν ευρέως, με ιδιαίτερες εφαρμογές πάνω στη διαχείριση βάσεων δεδομένων, την αυτοματοποιημένη χαρτογράφηση, τα Συστήματα Πληροφοριών Γης (L.I.S.) καθώς και τη Διαχείριση Δικτύων Κοινής Ωφελείας (AM/FM). Από το 1990 και μετέπειτα η εξέλιξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών είναι ραγδαία λόγω της μεγάλης ανάπτυξης της πληροφορικής και το διαρκώς μειωμένο κόστος των αντίστοιχων μηχανημάτων και λογισμικού, λόγω της βελτίωσης των μαθηματικών μεθόδων ανάλυσης, ερμηνείας και πρόβλεψης των συνθηκών του γήινου περιβάλλοντος, αλλά και της διαρκώς αυξανόμενης ανησυχίας για περιβαλλοντική υποβάθμιση σε τοπική, εθνική και παγκόσμια κλίμακα. Παράλληλα, ήταν εμφανής η αδυναμία ανάλυσης και επεξεργασίας του τεράστιου όγκου πληροφοριών και στοιχείων που απαιτούνταν για τη σύγχρονη διαχείριση της ανάπτυξης σε όλα τα επίπεδα, μέσω των παλιότερων παραδοσιακών τρόπων. (Aggeli, 2005).

### **9.3. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems) (G.I.S.)**

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information Systems : G.I.S.), είναι αυτοματοποιημένα συστήματα συλλογής αποθήκευσης διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης πληροφοριών. Λόγω του γεγονότος ότι συμπεριλαμβάνουν φυσικές, βιολογικές, πολιτισμικές, γεωλογικές, δημογραφικές και οικονομικές πληροφορίες, αποτελούν ανεκτίμητα εργαλεία σε όλες τις επιστήμες, στις επιχειρήσεις και στον σχεδιασμό. (Mark et al, The GIS History Project). Σύμφωνα με τον Carter (1989), Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι το σύνολο όλων εκείνων

των πληροφοριακών συστημάτων τα οποία εστιάζουν σε χωρικά ενδιαφέροντα και φαινόμενα σε κλίμακες από όλη τη γη μέχρι την μοναδιαία ιδιοκτησία. (Land parcel).

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα υπόλοιπα πληροφοριακά συστήματα, με το επιπλέον χαρακτηριστικό της ύπαρξης της χωρικής διάστασης. Σύμφωνα με την F.I.G. (Federation Internationale des Geometres, 1983), τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι ένα εργαλείο για λήψη αποφάσεων νομικής, διοικητικής και οικονομικής υφής και ένα όργανο για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη, το οποίο αποτελείται από μια βάση δεδομένων που σχετίζεται με τη γη και από διαδικασίες και τεχνικές για τη συστηματική συλλογή, ενημέρωση, επεξεργασία και διανομή των στοιχείων. Η βάση δεδομένων ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών είναι ένα ενιαίο σύστημα γεωγραφικής αναφοράς, το οποίο διευκολύνει τη σύνδεση των στοιχείων μεταξύ τους καθώς και με άλλα συστήματα που περιέχουν στοιχεία για τη γη.

Από τη σύνθετη πραγματικότητα του γήινου περιβάλλοντος με διαδικασίες αφαίρεσης ή / και απλοποίησης, ο χρήστης, μέσα από ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών έχει τη δυνατότητα της πληροφόρησης γύρω από τα αντικείμενα, φαινόμενα και μεγέθη που τον ενδιαφέρουν. Έτσι, ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών δεν είναι απλά ένα μέσο με το οποίο παράγονται χάρτες, διαγράμματα ή κατάλογοι ποιοτικών χαρακτηριστικών, αλλά μια νέα, ολοκληρωμένη τεχνολογία απαραίτητη για την ανάλυση και μελέτη του χώρου, καθώς και τη λήψη αποφάσεων που αφορούν το γη, το περιβάλλον και τον άνθρωπο. (Maniatis, 1996).

Ορισμένες από τις κατηγορίες εφαρμογών ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών είναι :

- Πολεοδομικός και Χωροταξικός σχεδιασμός.
- Καταγραφή, προστασία και διαχείριση ιδιωτικής, δημόσιας και δημοτικής ακίνητης περιουσίας.
- Δίκτυα Κοινής Ωφέλειας (ύδρευση, αποχέτευση, ηλεκτρισμός, τηλεπικοινωνίες, φυσικό αέριο).
- Παρακολούθηση και προστασία περιβάλλοντος.
- Σχεδιασμός και προγραμματισμός χρήσεων γης.
- Κυκλοφοριακές και συγκοινωνιακές μελέτες.
- Αγροτική ανάπτυξη και αναδιάρθρωση.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) ή Arc GIS υπάρχουν σε τρεις εκδόσεις που αναφέρονται ως ArcEditor και ArcInfo. Και οι τρεις εκδόσεις βασίζονται στις ίδιες αρχές και επομένως λειτουργούν παρόμοια, διαφέρουν όμως ως προς τις

δυνατότητες που έχει η καθεμία. Το ArcInfo έχει τις περισσότερες δυνατότητες και το ArcView τις λιγότερες. Κάθε έκδοση του ArcGIS περιέχει τις εξής τρεις βασικές εφαρμογές : ArcMap, ArcCatalog και ArcToolbox, καθώς και μια σειρά από προαιρετικά προϊόντα όπως Spatial Analyst, 3D Analyst, Geostatistical Analysis, ArcPress. Με το Arc View μπορούν να γίνουν αναζητήσεις τόσο σε χωρικά, όσο και σε περιγραφικά δεδομένα, να αναλυθούν χωρικές σχέσεις και να δημιουργηθούν ευπαρουσίαστοι χάρτες και γραφήματα. Το Arc Editor έχει τις ίδιες δυνατότητες με το Arc View, με επιπρόσθετη δυνατότητα αυτή της διόρθωσης συγκεκριμένων τύπων χωρικών δεδομένων, ενώ το Arc Info έχει επιπρόσθετα εργαλεία ανάλυσης χωρικών δεδομένων. Κάθε έκδοση του Arc GIS περιέχει τρεις βασικές εφαρμογές, το Arc Map, το Arc Catalog και το Arc Toolbox. Το ArcMap αφορά εφαρμογές που σχετίζονται με χάρτες (Map). Το ArcMap δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν χάρτες από επίπεδα χωρικής πληροφορίας, να αναλυθούν χωρικές σχέσεις και να επιλεγούν μέσα από αναζητήσεις, χωρικά και μη χωρικά στοιχεία. Επίσης μπορούν να σχεδιαστούν και να δημιουργηθούν διαφορετικές απεικονίσεις ενός χάρτη, αλλάζοντας χρώματα και συμβολισμούς.

Το ArcCatalog είναι μια εφαρμογή διαχείρισης γεωγραφικών δεδομένων. Με το ArcCatalog καθίσταται δυνατή η διερεύνηση χωρικών δεδομένων στο δίσκο του υπολογιστή, σ' ένα τοπικό δίκτυο ή στο διαδίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης, μπορεί εύκολα να διαγράψει, να αντιγράψει ή να μετονομάσει ένα θεματικό επίπεδο ή ένα σύνολο δεδομένων, ακόμα να δημιουργήσει νέα δεδομένα. Το σημαντικότερο όμως είναι ότι μπορεί να βλέπει τα δεδομένα προτού αποφασίσει την ενέργεια που θα κάνει με αυτά.

Τέλος, το ArcToolbox συμπληρώνει τις άλλες δύο εφαρμογές του ArcGIS και περιέχει διάφορα εργαλεία γεωεπεξεργασίας. Με την εφαρμογή αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα, μέσω κάποιων εργαλείων, να μετατρέψει χωρικά δεδομένα από μια μορφή (data format) σε άλλη και να αλλάξει το προβολικό σύστημα των δεδομένων του. (Κουτσόπουλος-Ανδρουλάκης, 2003).

#### **9.4. Tsunamis και Μεσόγειος**

Η λεκάνη της Μεσογείου παρακολουθείται επιστημονικά σε συστηματική βάση μέσω διαφορετικών σεισμικών δικτύων και δικτύων παρακολούθησης της στάθμης της θάλασσας και συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για τσουνάμι (TEWS). Ωστόσο, οι συνδυασμένες υπάρχουσες δομές δεν είναι ακόμα επαρκείς για να



συγκροτήσουν ένα αποτελεσματικό σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης. Ο χρόνος προειδοποίησης στη Μεσόγειο είναι ιδιαίτερα μικρός σε σύγκριση με μεγάλους, ανοιχτούς ωκεανούς γεγονός που καθιστά την έγκαιρη προειδοποίηση πρόκληση και απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια απ' όλα τα παράκτια κράτη. Συνεχίζονται οι εργασίες σε διαφορετικά ζητήματα.

Στο πλαίσιο της Διεθνούς Ωκεανογραφικής Επιτροπής (IOC) του Εκπαιδευτικού, Επιστημονικού και Πολιτιστικού Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών (UNESCO), έχει συσταθεί ομάδα εργασίας για το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για τσουνάμι στο Βορειοανατολικό Ατλαντικό και στη Μεσόγειο θάλασσα (NEAMTWS). Η συγκεκριμένη ομάδα εργασίας έχει αποφασίσει να δημιουργήσει πέντε μεγάλα περιφερειακά κέντρα προειδοποίησης: στην Τουρκία (Μαύρη θάλασσα /Θάλασσα του Μαρμαρά), στην Ελλάδα (Ελληνικό Τόξο), στην Ιταλία (θάλασσες γύρω και νότια της Ιταλίας), στη Γαλλία (Μεσόγειος, ανατολικό τμήμα) και στη Πορτογαλία (Βόρειος Ατλαντικός). Τα κέντρα αυτά δεν έχουν ακόμα τεθεί σε λειτουργία και πρέπει να λειτουργούν όλα τα συστατικά μέρη των διεθνών σεισμικών δικτύων και των δικτύων παρακολούθησης της στάθμης της θάλασσας για εντοπισμό και αξιολόγηση ώστε να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική προειδοποίηση σε περιφερειακό επίπεδο.

Τα σεισμικά δίκτυα στη Μεσόγειο είναι σε προχωρημένο στάδιο. Το ευρώ-μεσογειακό σεισμολογικό κέντρο (EMSC) εργάζεται, μεταξύ άλλων, για τη βελτίωση των σεισμογραφικών σταθμών για τη μετάδοση σε πραγματικό χρόνο στοιχείων της Βορείου Αφρικής στους εξυπηρετητές της βάσης του.

Όσον αφορά το απαιτούμενο δίκτυο παρακολούθησης της στάθμης της θάλασσας, η Επιτροπή έχει χρηματοδοτήσει σχέδιο για κινδύνους από τσουνάμι και στρατηγικές για την περιοχή της Ευρώπης (TRANSFER) το οποίο κατέληξε στο συμπέρασμα ότι στο υπάρχον δίκτυο μόνο 20-25 όργανα μέτρησης είναι διαθέσιμα και δεν επαρκούν για τη δέουσα κάλυψη της Μεσογείου. Η NEAMTWS και τα δίκτυα της Ευρώπης και της Βορείου Αφρικής παρουσιάζουν κενά στις βόρειο αφρικανικές ακτές, στις ακτές της Ευρωπαϊκής Μεσογείου και στις ακτές της Μαύρης Θάλασσας. Κανένας αισθητήρας βαθέων υδάτων δεν υπάρχει στη Μεσόγειο. Εφόσον τοποθετηθούν σωστά οι αισθητήρες αυτοί θα επιτρέπουν τον εντοπισμό των κυμάτων τσουνάμι πριν φτάσουν στις ακτές. Ωστόσο, αυτό θα απαιτήσει καινούργιες εγκαταστάσεις και θα έχει ως συνέπεια σημαντικό κόστος.

Σήμερα, το Παγκόσμιο Σύστημα Συναγερμού και Συντονισμού Καταστροφών-GDACS ([www.gdacs.org](http://www.gdacs.org)) είναι το μόνο ενεργό σύστημα προειδοποίησης τσουνάμι που καλύπτει όλη τη Μεσόγειο και τον Βόρειο Ατλαντικό. Το GDACS το οποίο εκπονήθηκε από κοινού με τα Ηνωμένα Έθνη και για τη λειτουργία του οποίου υπεύθυνο είναι το Κοινό Κέντρο Ερευνών της Επιτροπής, συνδυάζει υπάρχοντα πληροφοριακά συστήματα που επιτρέπουν την έγκαιρη προειδοποίηση σε περίπτωση αιφνίδιας επέλευσης μεγάλης καταστροφής και την διευκόλυνση του συντονισμού της διεθνούς αντίδρασης. Το GDACS στέλνει αναλυτικές εκθέσεις μέσα σε λίγα λεπτά μετά από ένα γεγονός στους χρήστες μέσω του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, τηλεομοιοτυπίας ή μηνυμάτων SMS. Σε περίπτωση συμβάντος στη Μεσόγειο, το GDACS βασίζεται στο διαθέσιμο σεισμικό δίκτυο.

Το GDACS δεν έχει εντολή να προειδοποιεί τους πληθυσμούς ή να τους προετοιμάζει για τους κινδύνους. Οι βασικοί αυτοί τομείς εμπίπτουν στην αποκλειστική αρμοδιότητα των κρατών μελών.

Το Πορτογαλικό Ινστιτούτο Μετεωρολογίας ελέγχει την αξιοπιστία των προβλέψεων τσουνάμι με ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης βασισμένο σε εργαλεία ανάλυσης του Κοινού Κέντρου Ερευνών (JRC) (κάναβος και εργαλείο ανάλυσης για τσουνάμι) ώστε να υπάρξει ένα πλαίσιο για το μελλοντικό περιφερειακό κέντρο της IOC για τον Βορειοανατολικό Ατλαντικό.

Απαιτούνται ειδικές δράσεις για την περαιτέρω επέκταση των σεισμικών δικτύων ή τη βελτίωση των δικτύων παρακολούθησης της στάθμης της θάλασσας. Οι δράσεις αυτές υπάγονται στην ευθύνη της κάθε χώρας.

Η Επιτροπή συνεργάζεται στενά με την UNESCO/IOC συμβάλλοντας στη δημιουργία ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης για τσουνάμι στο Βορειοανατολικό Ατλαντικό και στη Μεσόγειο θάλασσα. Η Επιτροπή επιχορήγησε μια σειρά από εργαστήρια με τα κράτη μέλη και χρηματοδότησε ασκήσεις ετοιμότητας με προσομοίωση τσουνάμι στη Μεσόγειο.

### **9.5. Η πρόγνωση των Tsunamis στον Ελλαδικό χώρο.**

Η επέλαση των κυμάτων Tsunami και η επίδρασή τους στις παράκτιες περιοχές αποτελεί έναν υπαρκτό και πολύ σημαντικό κίνδυνο. Παρόλο που τις τελευταίες δεκαετίες έχει πραγματοποιηθεί ιδιαίτερα σημαντική πρόοδος όσον αφορά την περιγραφή του κινδύνου στις περιοχές όπου πλήττονται συχνά από Tsunamis,

όσον αφορά τον προσδιορισμό του κινδύνου και την πρόβλεψη των επιπτώσεων από την εκδήλωση Tsunami, η πρόοδος δεν είναι ικανοποιητική. Τα πρωτογενή στοιχεία που αφορούν την εκδήλωση Tsunami και που προέρχονται από ιστορικές πηγές και η στατιστική προσέγγιση αποτελούν μια καλή βάση για την πραγματοποίηση μελετών ποσοτικής αποτίμησης του κινδύνου στον οποίο εκτίθεται μια παράκτια περιοχή κατά την εκδήλωση κύματος Tsunami. Αν και στο παρελθόν έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες που εντοπίζονται στην ποσοτικοποίηση του κινδύνου στον οποίο τίθεται μια παράκτια περιοχή από ένα κύμα Tsunami (Tiedemann, 1992), υπάρχουν σημαντικές δυσκολίες που σχετίζονται με τον προσδιορισμό της “ευπάθειας” μιας περιοχής καθώς και του κόστους της ενδεχόμενης καταστροφής. Όσον αφορά την πραγματοποίηση τέτοιων μελετών στο παρελθόν, απεδείχθησαν περισσότερο επιτεύξιμες οι προσεγγίσεις που σχετίζονταν περισσότερο με την ποιότητα των καταστροφικών συνεπειών ενός Tsunami σε παράκτιες περιοχές, παρά με την ποσότητα αυτών των καταστροφικών συνεπειών. Τέτοιες μελέτες παρουσιάστηκαν από τους Preuss (1983), Okazaki et al (1993) και Kawagushi et al (1993). (Papadopoulos - Dermentzopoulos, 1998).

Στον ελληνικό χώρο, στο παρελθόν πραγματοποιήθηκαν τέτοιες μελέτες επικινδυνότητας από εκδήλωση κύματος Tsunami, με πιο σημαντική αυτή που αφορούσε την περιοχή του Ηρακλείου στην Κρήτη. (Papadopoulos - Dermentzopoulos, 1998). Στα πλαίσια αυτής της μελέτης διατυπώθηκε σενάριο εκδήλωσης Tsunami σε μια παράκτια περιοχή στα δυτικά της πόλης του Ηρακλείου, συνολικού μήκους 6 χιλιομέτρων. Το υποθετικό αυτό σενάριο βασίστηκε σε ιστορικά δεδομένα και πηγές και η μαθηματική προσομοίωση και επεξεργασία βασίστηκε στο μεγάλης έντασης Tsunami που εκδηλώθηκε στην Αμοργό κατά το 1956. (Koutitas - Papadopoulos, 1998). Το μέγιστο ύψος του Tsunami προσδιορίστηκε σε 6 μέτρα, ενώ το πλάτος της οριζόντιας παράκτιας διεξόδου καθορίστηκε στα 500 μέτρα. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κυμάνθηκε σε 3 επίπεδα :

1. Συλλογή και επεξεργασία στοιχείων που σχετίζονται με τον Φυσικό Σχεδιασμό.
2. Ημιποσοτική περιγραφή της επίδρασης ενός χαρακτηριστικού εκτεταμένου μεγέθους Tsunami και
3. Διαμόρφωση διαφορετικών προσεγγίσεων για την πρόληψη και αντιμετώπιση του φαινομένου.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης επικινδυνότητας παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά και τα στοιχεία του φυσικού σχεδιασμού της περιοχής, αποτυπώθηκε

το γεωγραφικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης, προσδιορίστηκαν οι φυσικοί παράμετροι και η υπάρχουσα κατάσταση της περιοχής μελέτης, οι χαρακτηριστικές επιπτώσεις του Tsunami στην παράκτια ενδοχώρα και τέλος διατυπώθηκε η πρόβλεψη και η προοπτική για τις ενδεχόμενες επιπτώσεις μιας τέτοιας καταστροφής.

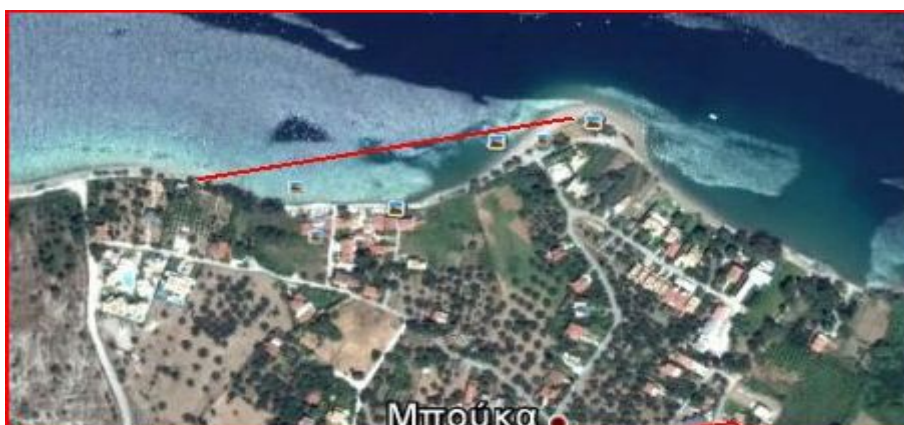
Παράλληλα διατυπώθηκαν προτάσεις για την λήψη συγκεκριμένων μέτρων όπου αυτό κρινόταν αναγκαίο. (Papadopoulos - Dermentzopoulos, 1998).

Αντίστοιχη μελέτη επικινδυνότητας πραγματοποιήθηκε και στις ακτές της Θεσσαλονίκης. Η μελέτη αυτή αποτέλεσε τμήμα μιας γενικότερης προσπάθειας προσδιορισμού μορφολογικών στοιχείων που σχετίζονται με εμφάνιση παλαιότερων Tsunamis, στις ακτές της Ελλάδας και δημιουργίας θεματικών χαρτών όπου αποτυπώνονται οι παράκτιες ζώνες μεγάλης επικινδυνότητας. Εντοπίστηκαν και παρουσιάστηκαν οι περιοχές της χώρας όπου βρίσκονται σε ύψος κάτω των 20 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας και αποτελούν ζώνες υψηλής επικινδυνότητας για έκθεση σε καταστροφικό Tsunami. Τα στοιχεία παρήχθησαν από δορυφορικές εικόνες (Landsat Etm, Digital Elevation Model, Shuttle Radar Topography Mission) και μέσω ψηφιακών μεθόδων επεξεργασίας και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) παρουσιάστηκαν χάρτες με λεπτομερή περιγραφή και ανάλυση μορφολογικών, τοπογραφικών, γεωλογικών και σεισμολογικών δεδομένων παράκτιων περιοχών που μπορεί να πληγούν από καταστροφικά Tsunamis. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης και πιο συγκεκριμένα στο μέρος της που αφορά τις ακτές της Θεσσαλονίκης, μέσω χαρτών που παρήχθησαν από επεξεργασία και ανάλυση δορυφορικών εικόνων, εντοπίζονται μέσω των ισοϋψών καμπύλων οι παράκτιες περιοχές που επεκτείνονται σε χαμηλότερα ύψη και επομένως βρίσκονται εντός της ζώνης υψηλής επικινδυνότητας, καθώς και λίμνες και ποτάμια που η ύπαρξή τους και μόνο συνεισφέρει θετικά στην εκδήλωση κύματος Tsunami. (Willige, 2006).

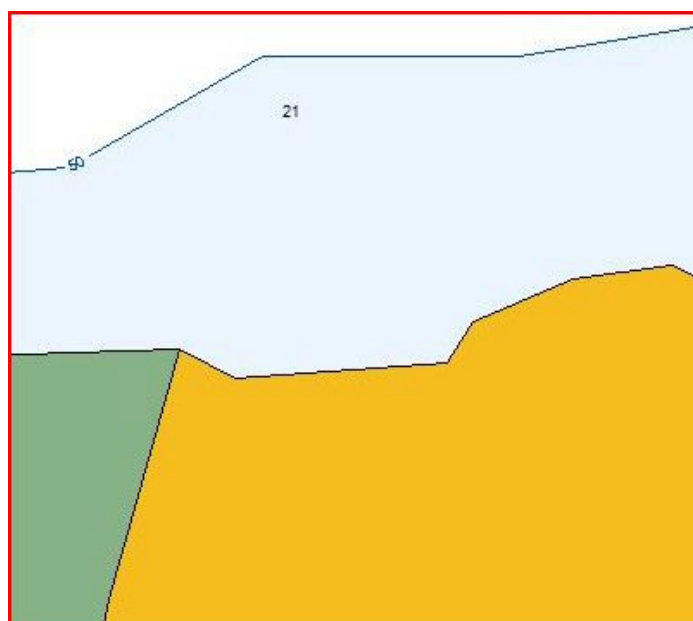
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα έρευνας που πραγματοποιήθηκε από φοιτητές του Τμήματος Έργων Υποδομής του Τ.Ε.Ι. Πάτρας:

Ο σκοπός της εργασίας είναι ο προσδιορισμός των συνεπειών, κυρίως από φυσικής πλευράς, που θα ακολουθήσουν την εμφάνιση τσουνάμι στον Κορινθιακό Κόλπο. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν 2 μικροί κόλποι που θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικοί και ιδανικοί για την προσομοίωση τσουνάμι που καλούμαστε να κάνουμε. Από εδώ και στο εξής θα αναφέρονται ως Μέτρηση 1 και 2. Στις φωτογραφίες που ακολουθούν, διακρίνονται οι δύο κόλποι, όπως αποτυπώθηκαν με χρήση των προγραμμάτων Google Earth και Max Sea.



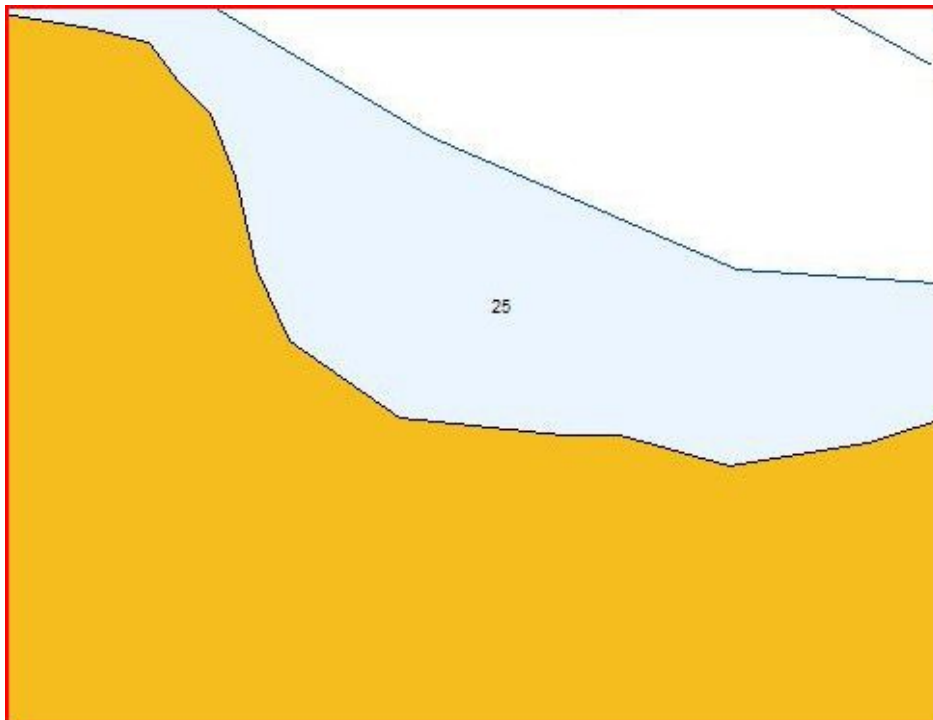
Φωτογραφία 15: Μέτρηση 1, Google Earth



Σχήμα 7: Μέτρηση 1, Max Sea

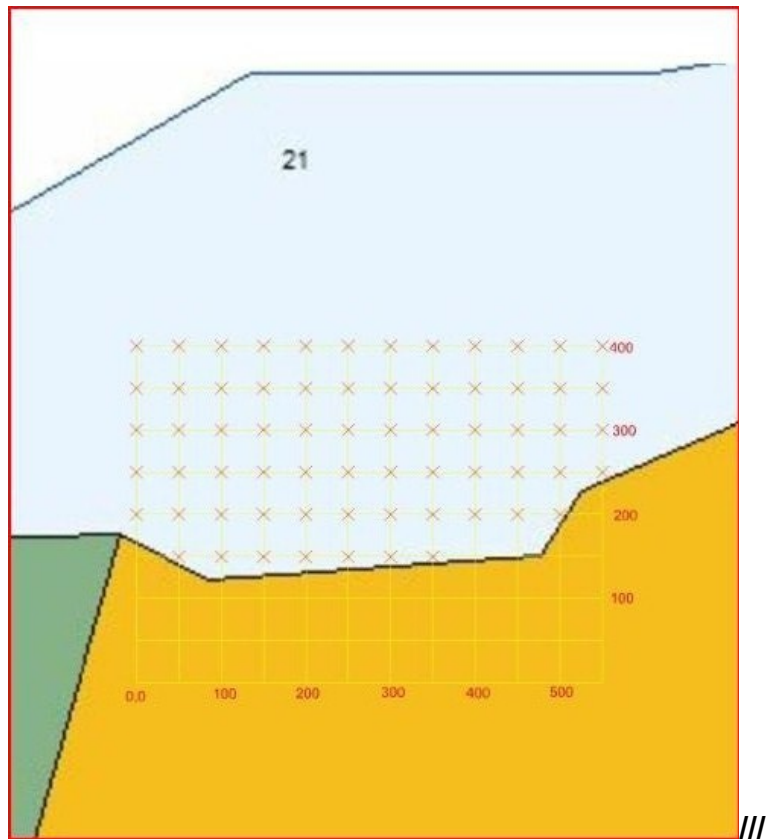


Φωτογραφία 16: Μέτρηση 2, Google Earth



Σχήμα 8: Μέτρηση 2, Max Sea

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι σχετικά απλή, καθώς βασίζεται κυρίως σε βασικές αρχές αναλογίας (όμοια τρίγωνα κλπ). Πιο συγκεκριμένα, οι φωτογραφίες που τραβήχτηκαν από το πρόγραμμα Max Sea με την προσθήκη και του Κανάβου είχαν την παρακάτω μορφή:



Σχήμα 9: Παράδειγμα εύρεσης βαθών στη θάλασσα.

**Βάθος σημείου =  $-\frac{(\beta-\alpha)}{\beta} \cdot 50 \text{ m}$**

Π.χ. Αν  $\alpha=\beta$  (σημείο πάνω στο έδαφος), τότε βάθος = 0 m

Ή αν  $\alpha=0$  (σημείο πάνω στην ισοϋψή των 50 m) τότε βάθος = 50 m

Για τα υψόμετρα στη στεριά, με τη χρήση του Google Earth η διαδικασία ήταν λίγο πιο περίπλοκη. Το Google Earth για σημεία κοντά στην ακτή δε δίνει το σωστό υψόμετρο, γι' αυτό έπρεπε να θεωρήσουμε κάποιο υψόμετρο αναφοράς σε μεγάλη απόσταση από την ακτή και να βρούμε τα ζητούμενα υψόμετρα, όπως στο Max Sea.





Φωτογραφία 17: Παράδειγμα εύρεσης υψομέτρων στη στεριά.

Γνωρίζοντας τα υψόμετρα επάνω στη κόκκινη γραμμή, βρέθηκαν με αναλογία τα υψόμετρα στα ζητούμενα σημεία του καννάβου. Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται οι μετρήσεις σε μορφή πίνακα και τέλος ένα τρισδιάστατο διάγραμμα, όπου φαίνονται τα υψόμετρα και τα βάθη στα χαρακτηριστικά σημεία του καννάβου (κάθε 50 m). Τέλος, να σημειωθεί, ότι λόγω της σχετικής ανακρίβειας της μεθόδου αυτής, αλλά και την ασυμφωνία των χαρτών του Google Earth και του Max Sea, τα σημεία που ήταν επάνω στην ακτή, ή πολύ κοντά σε αυτή βρέθηκαν να έχουν και θετική και αρνητική τιμή (ύψος και βάθος). Αυτές οι περιπτώσεις ήταν ελάχιστες, και επιλέχθηκε να βρεθεί το υψόμετρο με απλό μέσο όρο των 2 τιμών.

	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
0	6,4	6,1	6,7	7,6	8	7,85	7,7 5	7,6	7,4	7,1	6,7	6,5
	11	10,4	10,9	10,8	11,1	11,1 5	11,2	11,5	11,8	12,6	13	12,8
50	7,8	7,4 5	8	8,9	9,8	9,15	9	8,8 5	8,7	8,3	8,1	7,6
	11	10,4	10,9	10,8	11,1	11,1 5	11,2	11,5	11,8	12,6	13	12,8
100	9	8,7	9,8	10	10,5	10,4	10,3	10,2	10,1	9,7	9,4	9
	11	10,4	10,9	10,8	11,1	11,1 5	11,2	11,5	11,8	12,6	13	12,8
150	10,3	10	10,8	-	-	-	-	11,5	11,2	11,1	10,6	9,9
	11	10,4	10,9	-	-	-	-	11,5	11,8	12,6	13	12,8
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,2	12	11,7
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,6	13	12,8
250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	12,8
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	12,8
300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
350	-0	-50	-100	-150	-200	-250	-300	-350	-400	-450	-500	-550
400	2,1	2,5	1,9	1,2	1,4	1,8	1,8	2,0	1,9	2,2	2,4	2,0
500	1,5	1,7	1,3	0,7	0,6	1,1	1,2	1,4	1,3	1,7	1,9	1,6
1000	0,9	1,0	0,5	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	0,7	1,2	1,4	1,2
1500	0,3	0,2	0,0	-	-	-	-	-	-	0,3	0,6	0,9
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,4
2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Στον

550

παρακάτω πίνακα φαίνονται τα υψόμετρα, όπως υπολογίσθηκαν από το Google Earth (Μέτρηση 1)

	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
<b>0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>50</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>100</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>150</b>	-	13	14,4	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	-	-	-	-
	-	13,5	15	15,2	15,1	15	14,9	14,8	-	-	-	-
<b>200</b>	11,5	12,2	12,9	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	-
	12,3	13,5	15	15,2	15,1	15	14,9	14,8	14,7	14,6	13,4	-
<b>250</b>	10,2	10,9	11,7	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
	12,3	13,5	15	15,2	15,1	15	14,9	14,8	14,7	14,6	13,4	12,2 5
	8,9	9,6	10,4	10,8 5	10,8 5	10,8 5	10,8 5	10,8 5	10,8 5	10,8 5	10,8 5	10,8 5
<b>300</b>	12,3	13,5	15	15,2	15,1	15	14,9	14,8	14,7	14,6	13,4	12,2 5
	7,6	8,5	9,2	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55
<b>350</b>	12,3	13,5	15	15,2	15,1	15	14,9	14,8	14,7	14,6	13,4	12,2 5
	6,4	7,7	7,9	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
<b>400</b>	12,3	13,5	15	15,2	15,1	15	14,9	14,8	14,7	14,6	13,4	12,2 5

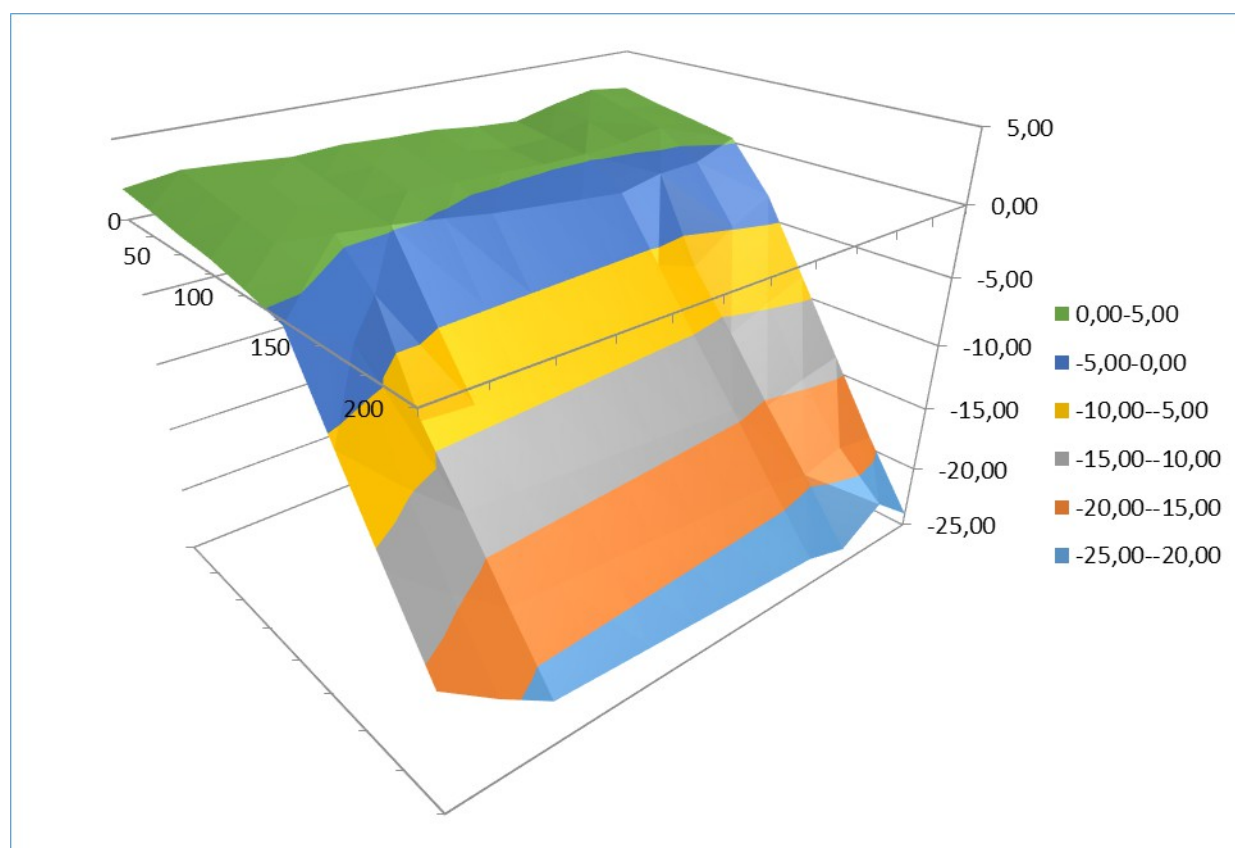
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα βάρη, όπως υπολογίσθηκαν από το Max Sea (Μέτρηση 1).

	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	-	-1,9	-2,0	-1,6	-1,3	-1,0	-0,7	-0,3	-	-	-	-
200	-3,3	-4,8	-7,0	-5,9	-5,6	-5,3	-5,0	-4,7	-4,4	-4,1	0,0	-
250	-8,5	-9,6	-11,0	-10,2	-9,9	-9,7	-9,4	-9,1	-8,8	-8,6	-4,9	-0,6
300	-13,8	-14,4	-15,3	-14,3	-14,1	-13,8	-13,6	-13,3	-13,1	-12,8	-9,5	-5,7
350	-19,1	-18,5	-19,3	-18,6	-18,4	-18,2	-18,0	-17,7	-17,5	-17,3	-14,4	-11,0
400	-24,0	-21,5	-23,7	-22,7	-22,5	-22,3	-22,1	-22,0	-21,8	-21,6	-19,0	-16,1

Τα τελικά υψόμετρα και βάθη για κάθε σημείο στον άξονα Χ και Υ.

(Μέτρηση 1)

	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
0	2,09	2,48	1,93	1,19	1,40	1,78	1,85	2,03	1,86	2,18	2,42	1,97
50	1,45	1,70	1,33	0,70	0,59	1,08	1,18	1,38	1,31	1,71	1,88	1,63
100	0,91	0,98	0,50	0,30	0,27	0,40	0,48	0,68	0,72	1,15	1,38	1,19
150	0,32	-0,81	-0,98	-1,64	-1,32	-1,00	-0,67	-0,17	0,25	0,60	0,92	0,91
200	-3,25	-4,81	-7,00	-5,92	-5,63	-5,33	-5,03	-4,73	-4,42	-1,98	0,19	0,34
250	-8,54	-9,63	-	-	-9,93	-9,67	-9,40	-9,12	-8,84	-8,56	-2,43	-0,31
300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-9,51	-5,71
350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	23,98	21,48	23,67	22,70	22,52	22,33	22,15	21,96	21,77	21,58	19,03	16,12



Σχήμα 10: Κατανομή υψομέτρων και βαθών στον κόλπο 1

## Μέτρηση 2

	0	50	100	150	200	250	300	350	400
<b>0</b>	2,6	3	3,4	3,55	3,9	3,9	3,2	2,5	1,5
	15,2	10,8	9	8,4	8,3	8,4	8	8,5	7,4
<b>50</b>	4,2	4,5	4,9	5,15	5,4	5	4,8	4	3,2
	15,2	10,8	9	8,4	8,3	8,4	8	8,5	7,4
<b>100</b>	5,7	6,1	6,4	6,7	7	7,1	6,4	6	4,6
	15,2	10,8	9	8,4	8,3	8,4	8	8,5	7,4
<b>150</b>	7,3	7,7	8,1	8,4	-	-	8	7,4	6,4
	15,2	10,8	9	8,4	-	-	8	8,5	7,4
<b>200</b>	8,8	9,3	-	-	-	-	-	-	-
	15,2	10,8	-	-	-	-	-	-	-
<b>250</b>	10,3	10,8	-	-	-	-	-	-	-
	15,2	10,8	-	-	-	-	-	-	-
<b>300</b>	9,7	-	-	-	-	-	-	-	-
	15,2	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>350</b>	13,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	15,2	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>400</b>	15,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	15,2	-	-	-	-	-	-	-	-

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα υψόμετρα, όπως υπολογίσθηκαν από το Google Earth (Μέτρηση 2).

	0	50	100	150	200	250	300	350	400
<b>0</b>	78,8	66,4	54,8	46,8	40,8	39,1	38,4	39,5	39,1
<b>50</b>	68,8	53,7	40,1	31,3	26,9	29,5	25,6	29,6	27,8
<b>100</b>	59,4	40,0	25,4	16,4	12,1	11,3	12,8	16,5	18,5
<b>150</b>	49,4	26,4	8,8	0,0	-	-	0,0	7,2	6,6
<b>200</b>	40,0	12,8	-	-	-	-	-	-	-
<b>250</b>	30,6	0,0	-	-	-	-	-	-	-
<b>300</b>	34,4	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>350</b>	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>400</b>	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-

	0	50	100	150	200	250	300	350	400
--	---	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

<b>0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>50</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>100</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>150</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>200</b>	-	-	-	11,4	10,6	10	9,5	9	8,6
	-	-	-	11,9	11,8	11,2	10,6	9,8	9
<b>250</b>	-	-	10,1	9,2	8,4	8	7,5	6,8	6,5
	-	-	11,8	11,9	11,8	11,2	10,6	9,8	9
<b>300</b>	-	8,9	8	7	6,3	5,9	5,3	4,8	4,3
	-	10,8	11,8	11,9	11,8	11,2	10,6	9,8	9
<b>350</b>	-	6,6	5,8	5	4,3	3,7	3,2	2,6	2,2
	-	10,8	11,8	11,9	11,8	11,2	10,6	9,8	9
<b>400</b>	5,4	4,7	3,8	2,8	2	1,15	1	0,5	0
	7,6	10,8	11,8	11,9	11,8	11,2	10,6	9,8	9

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα βάθη, όπως υπολογίσθηκαν από το Max Sea (Μέτρηση 2).

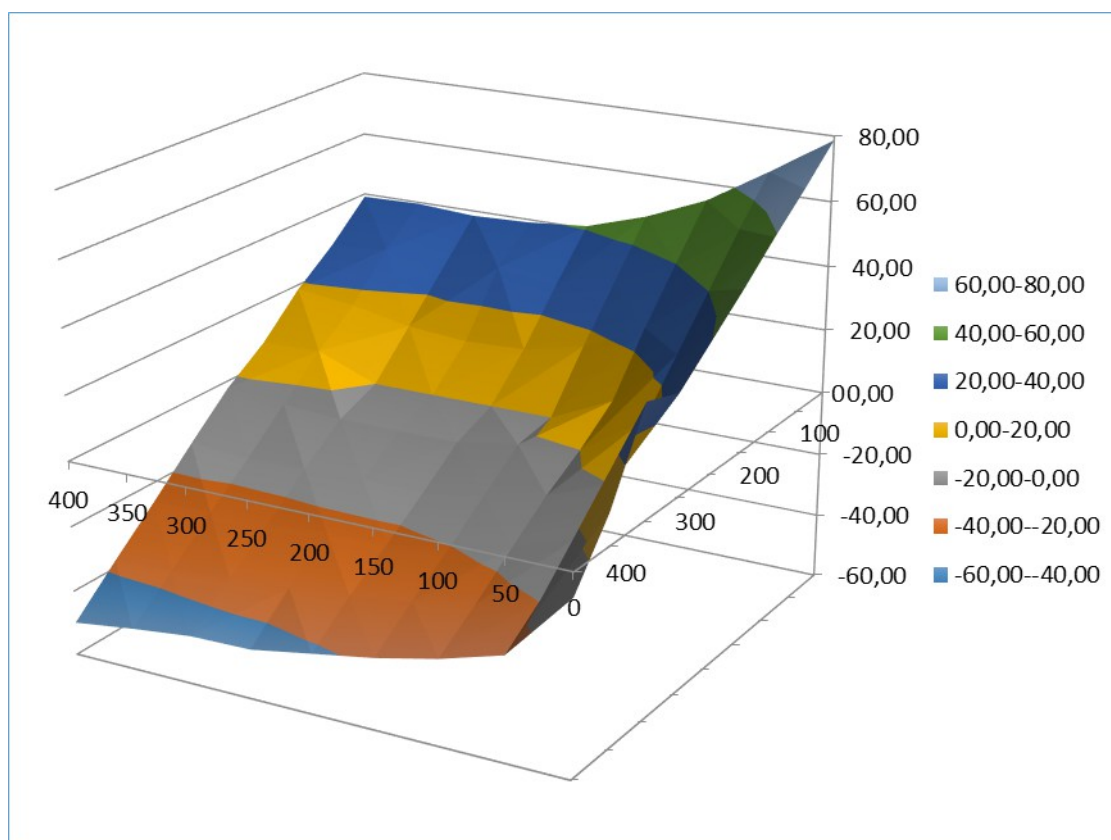
	<b>0</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>
<b>0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>50</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>100</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>150</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>200</b>	-	-	-	-2,1	-5,1	-5,4	-5,2	-4,1	-2,2
<b>250</b>	-	-	-7,2	-11,3	-14,4	-14,3	-14,6	-15,3	-13,9
<b>300</b>	-	-8,8	-16,1	-20,6	-23,3	-23,7	-25,0	-25,5	-26,1
<b>350</b>	-	-19,4	-25,4	-29,0	-31,8	-33,5	-34,9	-36,7	-37,8
<b>400</b>	-14,5	-28,2	-33,9	-38,2	-41,5	-44,9	-45,3	-47,4	-50,0

Τα τελικά υψόμετρα και βάθη για κάθε σημείο στον άξονα X και Y.

(Μέτρηση 2)



	0	50	100	150	200	250	300	350	400
0	78,75	66,44	54,76	46,77	40,82	39,11	38,40	39,53	39,07
50	68,75	53,67	40,09	31,34	26,90	29,55	25,60	29,65	27,81
100	59,38	40,04	25,42	16,39	12,06	11,30	12,80	16,47	18,54
150	49,38	26,41	8,80	0,00	0,00	0,00	0,00	7,25	6,62
200	40,00	12,78	0,00	-2,10	-5,08	-5,36	-5,19	-4,08	-2,22
250	30,63	0,00	-7,20	-11,34	-14,41	-14,29	-14,62	-15,31	-13,89
300	34,38	-8,80	-16,10	-20,59	-23,31	-23,66	-25,00	-25,51	-26,11
350	10,00	-19,44	-25,42	-28,99	-31,78	-33,48	-34,91	-36,73	-37,78
400	-7,24	-28,24	-33,90	-38,24	-41,53	-44,87	-45,28	-47,45	-50,00



Σχήμα 11: Κατανομή υψομέτρων και βαθών στον κόλπο 2

## **Βιβλιογραφία**

Bambaradeniya C., Sengupta S., Perera S., Tamelander J., Meynell M., Rust M., Vidanage S. (2005) Rapid Environmental and Socio-economic assessment of Tsunami-Damage in Terrestrial and Marine Coastal Ecosystems of Ampara and Batticaloa Districts of Eastern Sri Lanka. IUCN-The World Conservation Union

Benson C., Clay E. (2004) Beyond the Damage : Probing the Economic and Financial Consequences of Natural Disasters. Humanitarian Exchange, No 27

Chandrasekar N. (2005) Tsunami of 26th December 2004 : Observation on Inundation, Sedimentation and Geomorphology of Kanyakumari Coast, South India. 22th IUGG International Tsunami Symposium, Chania.

Keating B.H., Helsley C. (2005) 2004 Indian Ocean Tsunami on the Maldives Islands. Initial Observations. Science of Tsunami Hazards 23, No 2,

Levin B.W., (2005) Tsunamis : Causes, Consequences, Prediction and Response. Natural Disasters

Lindsay J., Shepherd J., Lynch L Kick 'em Jenny Submarine Volcano : A Discussion of Hazards and the New Alert Level System (Presentation)

Intergovernmental Oceanographic Commission of Unesco (2001) Draft Tsunami Press Kit

Jayaprakash M., Rao N., Muthuraj S. (2005) Enviromental Changes in Ennore Creek Water : Impact of a Tsunami Event. 22th IUGG International Tsunami Symposium, Chania.

Papadopoulos G. (2003) Tsunami Hazard in the Eastern Mediterranean : Strong Earthquakes and Tsunamis in the Corinth Gulf, Central Greece. Natural Hazards 29 : 437-464

Papadopoulos G. Tsunami Hazard Assessment in the NEAM Region. Past Achievements and Needs for the Future (Presentation)

Papadopoulos G., Chalkis B.J. (1983) Tsunamis Observed in Greece and the Surrounding Area from Antiquity up to the Present Times. *Marine Geology* 56 : 309-317

Papadopoulos G., Dermentzopoulos Th. (1998) A Tsunami Risk Management Pilot Study in Heraklion, Crete. *Natural Hazards* 18 : 91-118

Papathoma M., Howes Dominey D. (2003) Tsunami Vulnerability assessment and its implications for coastal hazard analysis and disaster management planning, Gulf of Corinth, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3 : 733-747

Saroj S. (2005) Prevention, Protection and Mitigation from Risk of Tsunami Disasters, A Concept Note. Government of India, Ministry of Home Affairs, National Disaster Management Division

Shanker D., Wason H.R., Sinvhal A., Joshi V.H. (2005) Damage due to Devastating Earthquake (Mw 9), and Tsunami of December 26, 2004 in Andaman and Nicobar, India : A Perspective. (2005) 22th IUGG International Tsunami Symposium, Chania.

Soloviev S.L. (1989) Tsunamigenic Zones in the Mediterranean Sea. *Natural Hazards* 3 : 183-202

Stefatos A., Charalambakis M., Papatheodorou G., Ghionis G., Ferentinos G. (2005) Potential Tsunami Hazard from Submarine Landslides in the Corinth Gulf, Greece. 22th IUGG International Tsunami Symposium, Chania.

Stevens S. (2005) Tsunami and Mental Health. U.S Department of Veterans Affairs

Supratid S., Shuto N. (2004) The 2004 Sumatra Tsunami : Tsunami Intensity Scale, Damage assessments at the Kamala beach, Phuket, Thailand.

United Nations Development Programme, Disaster Reduction Unit. Reducing Risks from Tsunamis : Disaster and Development

Wetlands International Indonesia Programme (2004) Tsunami of Aceh and North Sumatra 26 December 2004

Willige Theilen B. (2006) Tsunami Risk Site Detection in Greece Based on Remote Sensing and GIS Methods. Science of Tsunami Hazards 24, No 1, Page 35

Αγγελή Β. (2005) Καταγραφή και Επεξεργασία Γεωπεριβαλλοντικών Χαρακτηριστικών για το Δήμο Νηλέως με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Πανεπιστήμιο Πατρών

Κουτσόπουλος Κ., Ανδρουλάκης Ν. (2003) Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με χρήση του Λογισμικού ARC GIS. Εκδόσεις Παπασωτηρίου

Μανιάτης Γ. (1996) Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης και Κτηματολογίου.

Παπαδόπουλος Γ. (2005) Τσουνάμι και μέτρα προστασίας. Άρθρο  
Φερεντίνος Γ. (2005) Ένα Τσουνάμι στον Κορινθιακό Κόλπο θα χτυπούσε τις ακτές σε 4 λεπτά. Απογευματινή : Άρθρο

Φερεντίνος Γ., Γκιώνης Γ. (1995) Γεωμορφολογία Ακτών. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών

### **Internet Sites**

<http://maritime.haifa.ac.il/departm/lessons/ocean/lect18.htm>

<http://maritime.haifa.ac.il>

[http://www.biocrawler.com/encyclopedia/2004\\_Indian\\_Ocean\\_earthquake](http://www.biocrawler.com/encyclopedia/2004_Indian_Ocean_earthquake)

<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/tsuintro.shtml>

<http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/basics.htm>

<http://wcatwc.arh.noaa.gov/physics.htm>

<http://www.soest.hawaii.edu/tsunami/tsugen.htm>