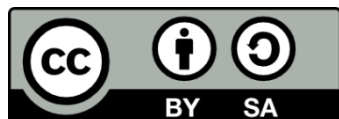




Παράκτια Ωκεανογραφία

Διάλεξη 6η: Τσουνάμι (θαλάσσιο σεισμογενές κύμα)

Θεοφάνης Β. Καραμπάς
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΛΕΞΗΣ

Γένεση τσουνάμι

Μετάδοση τσουνάμι

Αναρρίχηση στις ακτές



ΤΣΟΥΝΑΜΙ=

ΛΙΜΑΝΙ + ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΣ

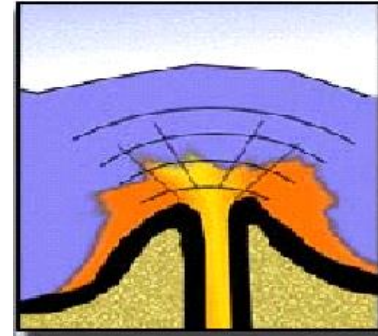


Περίθλαση κυματισμών

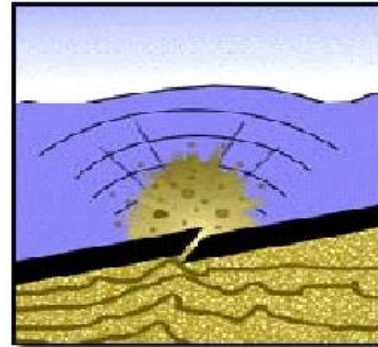


Υπεύθυνοι μηχανισμοί γένεσης tsunamis:

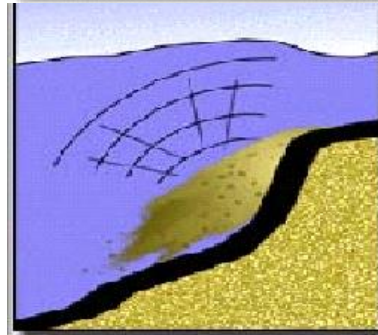
I. Έκρηξη ηφαιστείου



II. Σεισμικό ρήγμα



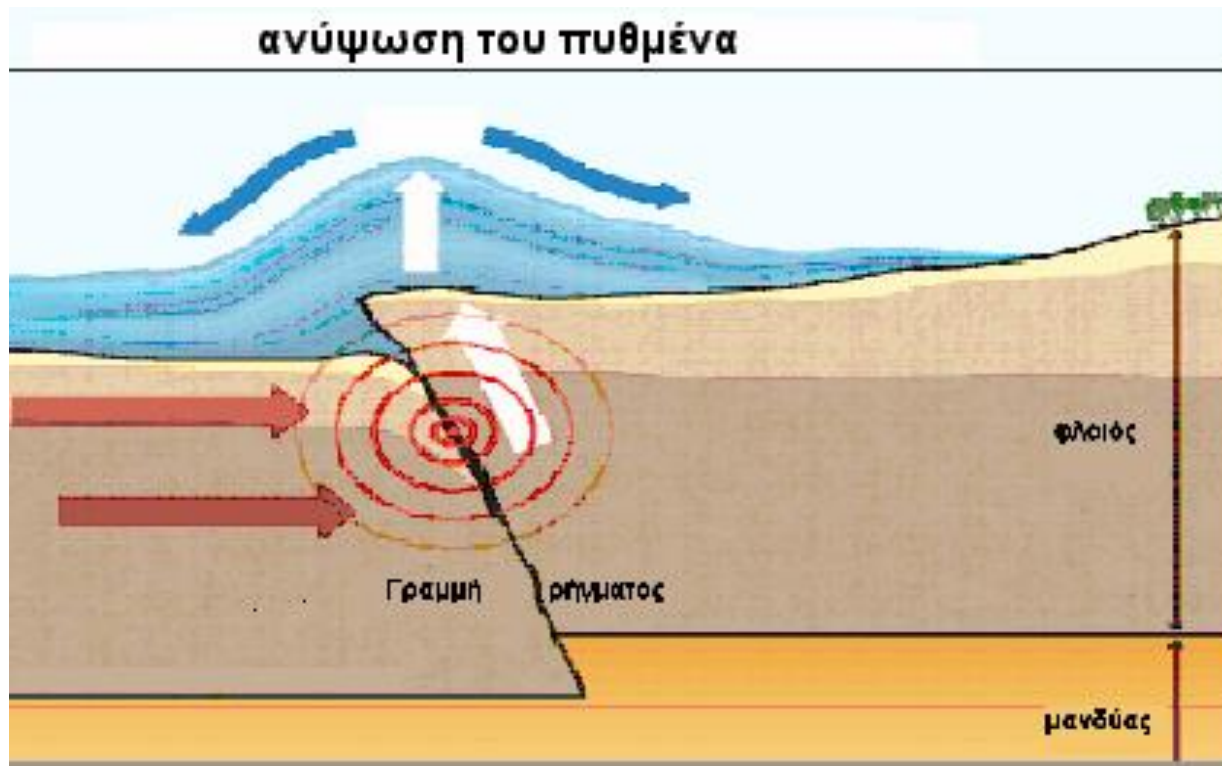
III. Κατολίσθηση



[http://www.earthlyissues.com/
Tsunamis.htm](http://www.earthlyissues.com/Tsunamis.htm)



Μεταβολή στάθμης λόγω ανύψωσης του θαλάσσιου πυθμένα

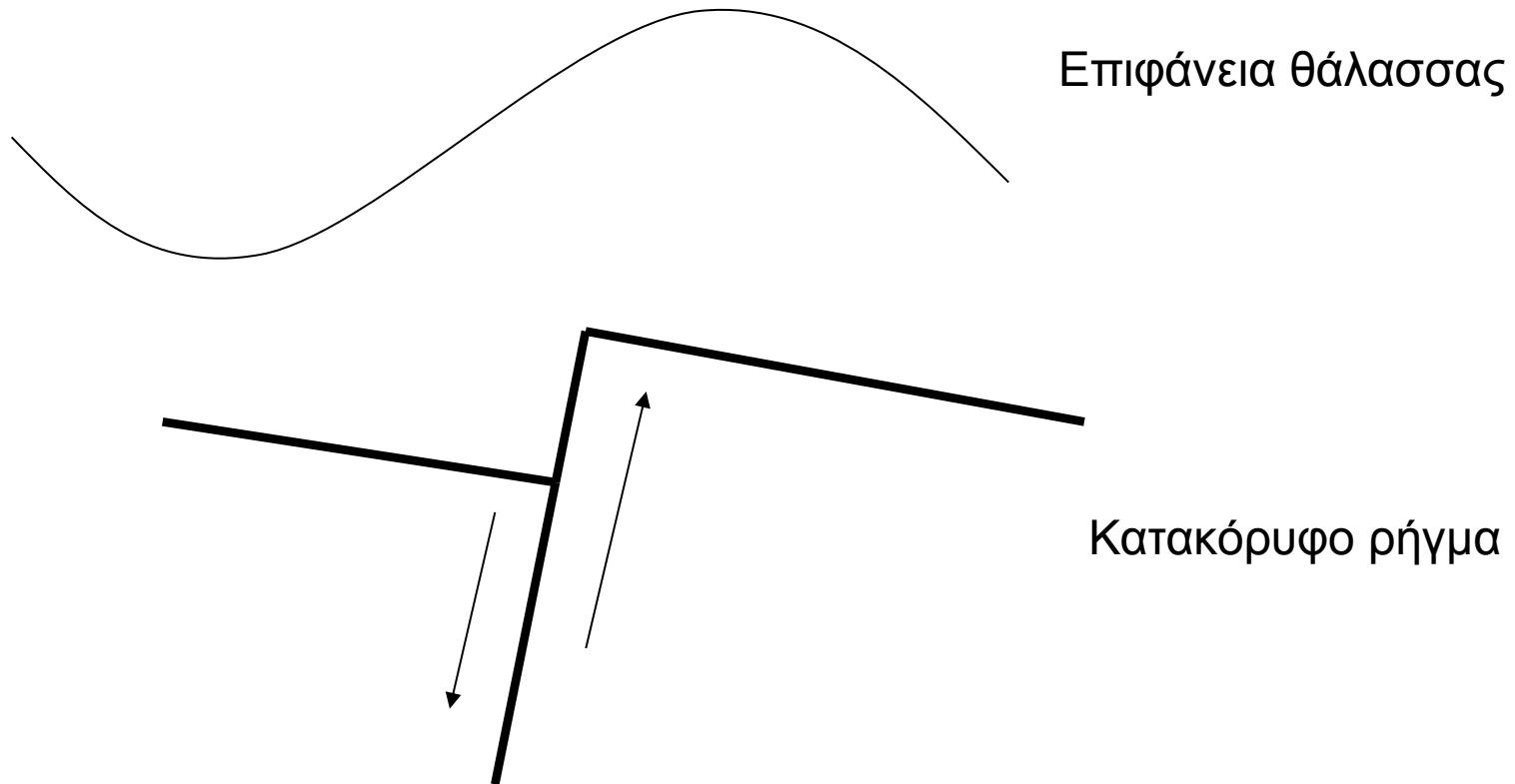


<http://article-and-pictures.blogspot.gr/2011/04/tsunami.html>



Πρόκληση από σεισμό

Κατακόρυφη μετατόπιση κατά μήκος ρήγματος του πυθμένα

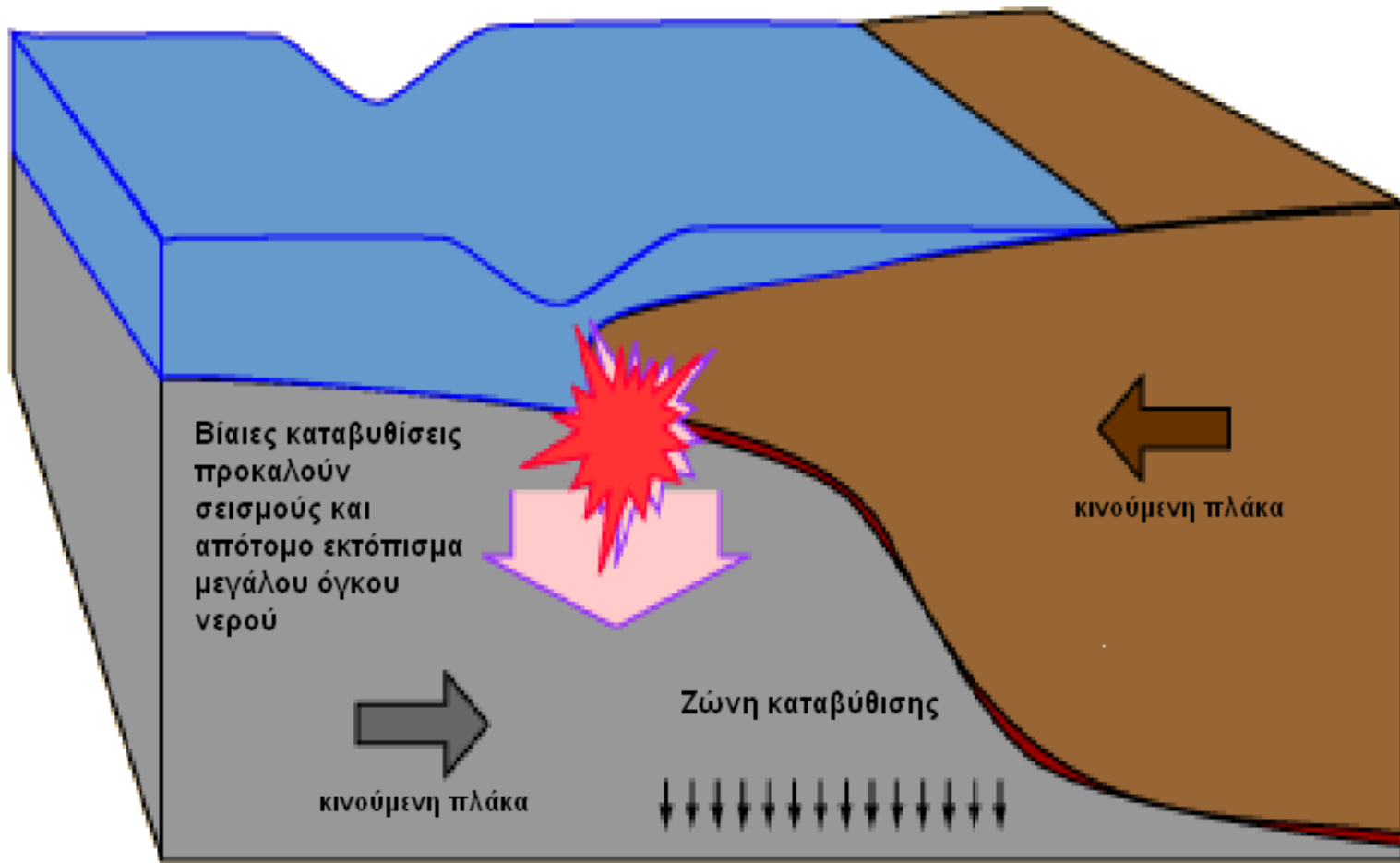


Επιφάνεια θάλασσας

Κατακόρυφο ρήγμα



Καταβύθιση του πυθμένα



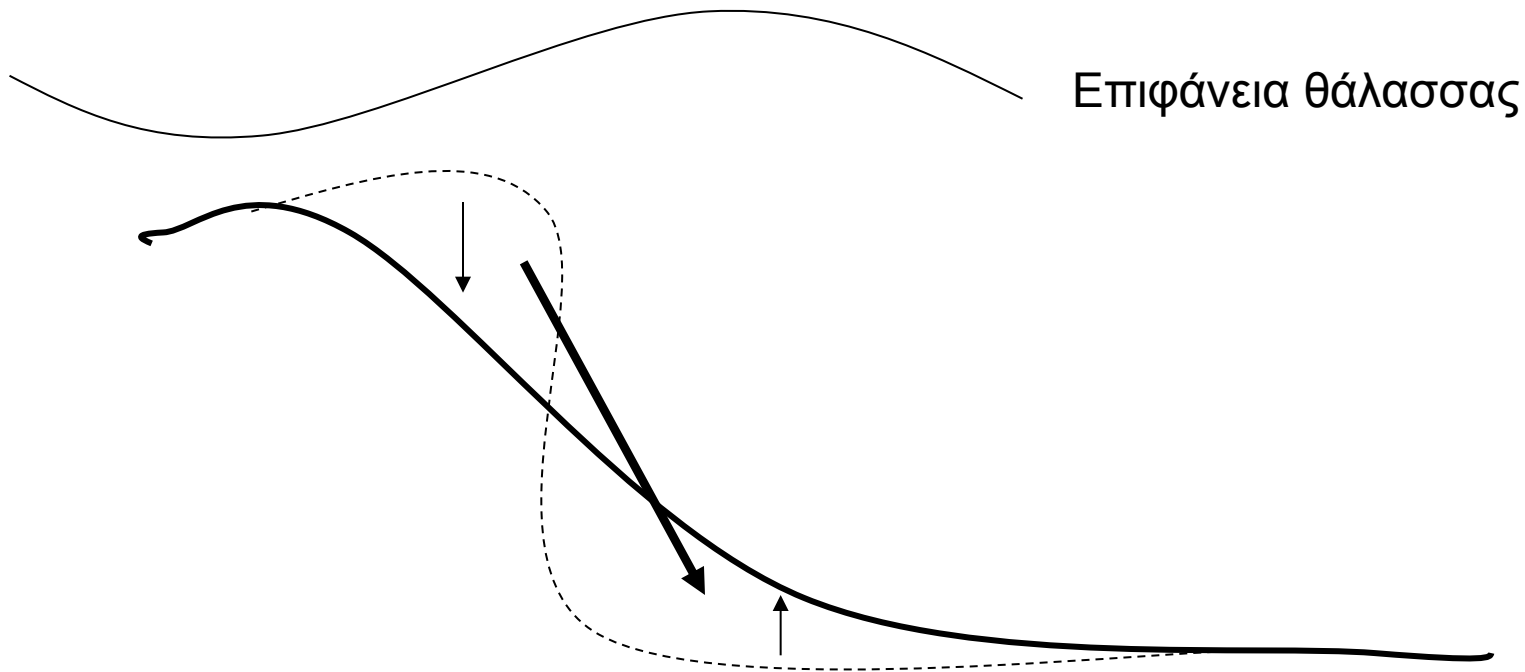
<http://www.slideshare.net/degroeve/2011-iscram-summer-school-tom-de-groeve>



Πρόκληση από κατολίσθηση

Κατά την υποθαλάσσια κατολίσθηση τα μετακινούμενα υλικά προκαλούν μετακίνηση του νερού, το οποίο μπορεί να προκαλέσει στην επιφάνεια τσουνάμι.

Η μετατόπιση αυτή, είτε ανυψώνει τον πυθμένα και το υπερκείμενο νερό δημιουργώντας κορυφή είτε βυθίζει τον πυθμένα και το υπερκείμενο νερό δημιουργώντας κοιλιά

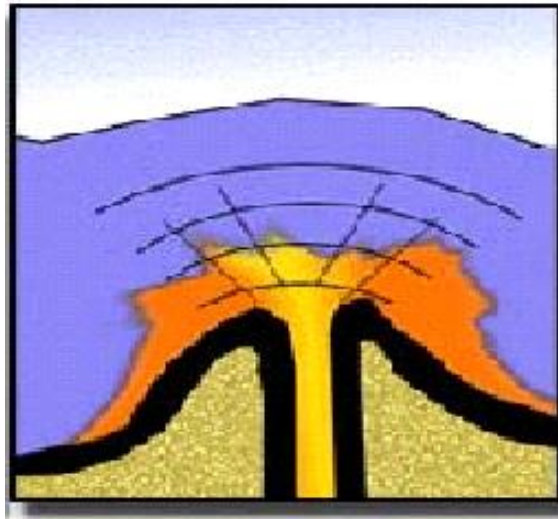


Επιφάνεια θάλασσας



Πρόκληση από ηφαίστειο στην θάλασσα

Η έκρηξη υποθαλάσσιου ηφαιστείου και εκτόξευση λάβας προκαλεί κορυφή στην επιφάνεια της θάλασσας.



<http://www.earthlyissues.com/Tsunamis.htm>



Διάδοση

- Στα βαθιά νερά το τσουνάμι δεν είναι εύκολα παρατηρήσιμο και είναι γενικά ακίνδυνο
- Ταξιδεύει με μήκη κύματος (**100-200km**) και με περιόδους (**10-30min**)
- Στο μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου ωκεανού, το βάθος είναι μικρότερο από το 1/20 του μήκους κύματος του τσουνάμι οπότε συμπεριφέρεται ως μακρύς κυματισμός και η ταχύτητα διαδόσεως του ορίζεται από τη σχέση

Σε νερό βάθους $d=4\text{km}$ ένα τσουνάμι διαδίδεται με ταχύτητα $\sim 720\text{km/h}$

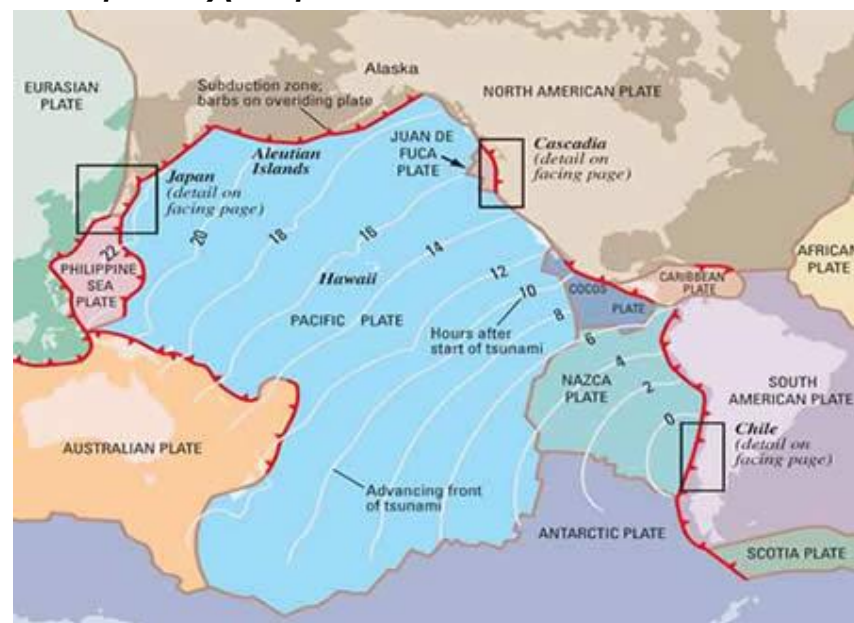
Tsunami in Chile, 1960



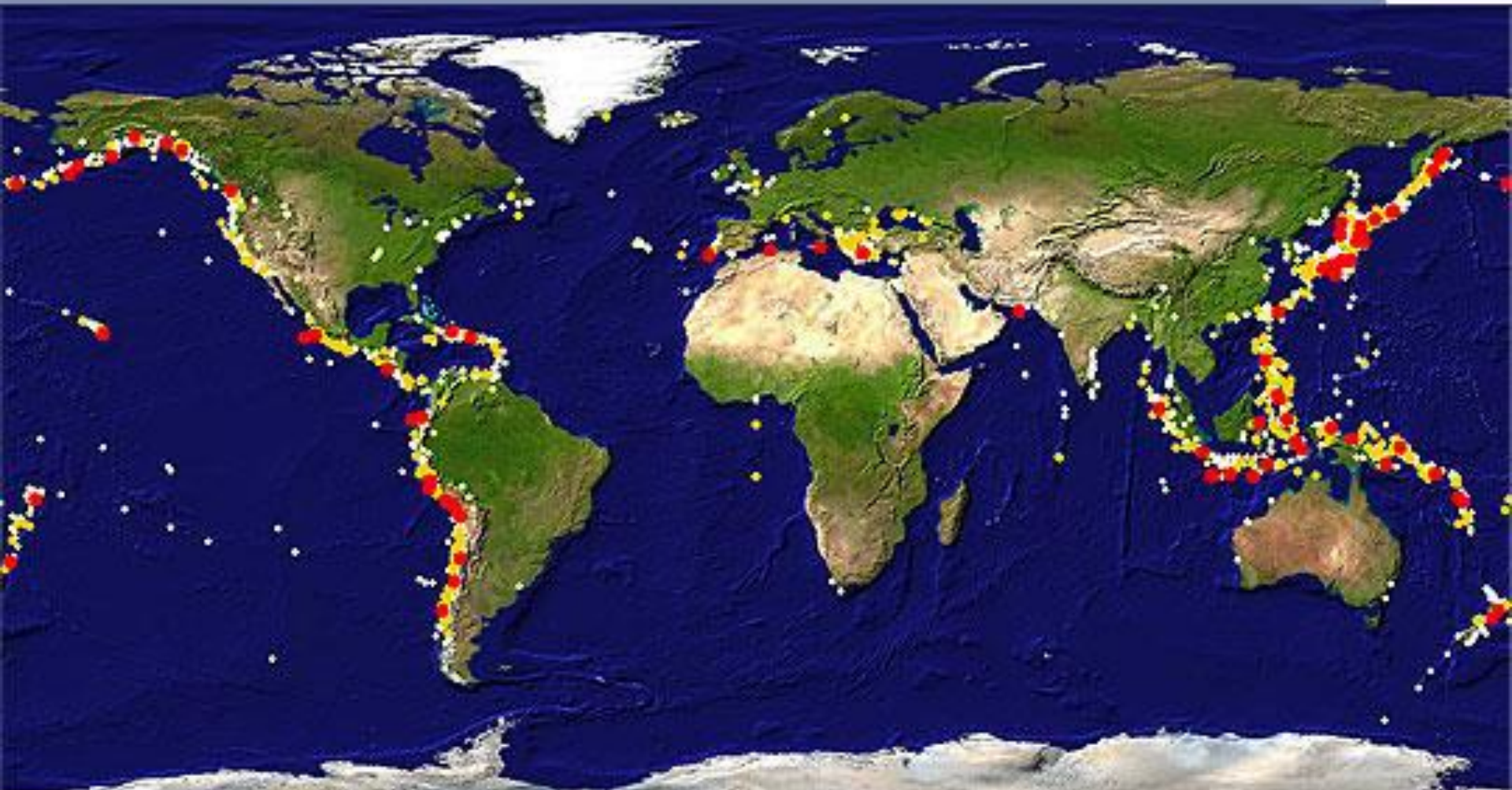
15h – Hawaii

24h - Japan

<http://diplopundit.net/2010/02/27/learning-from-the-1960-chilean-tsunami/>



Historical occurrence of tsunamis worldwide



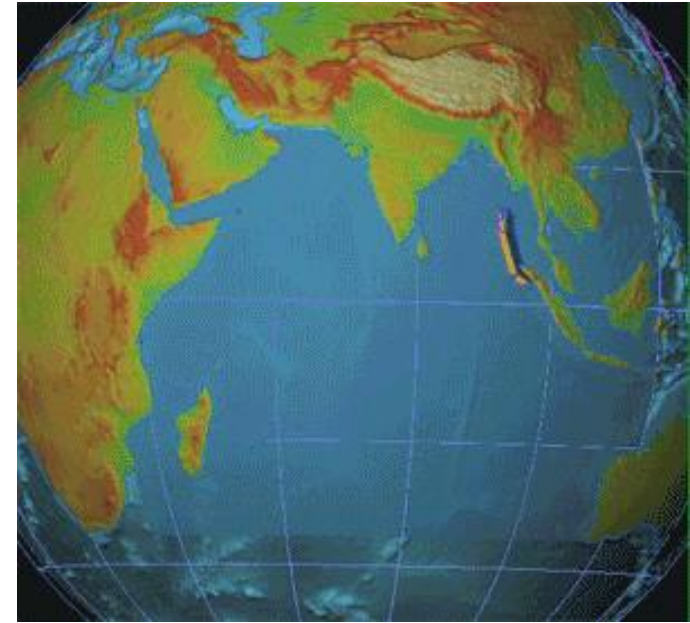
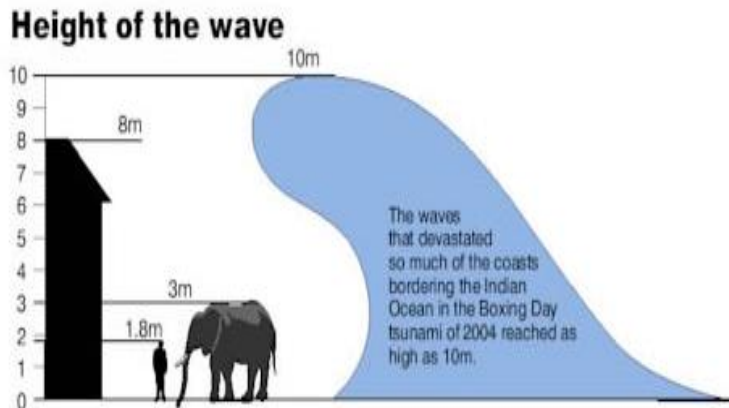
<http://www.tsunami-alarm-system.com/en/phenomenon-tsunami/phenomenon-tsunami-occurrences.html>

- Serious destruction
- Moderate destruction
- Light destruction

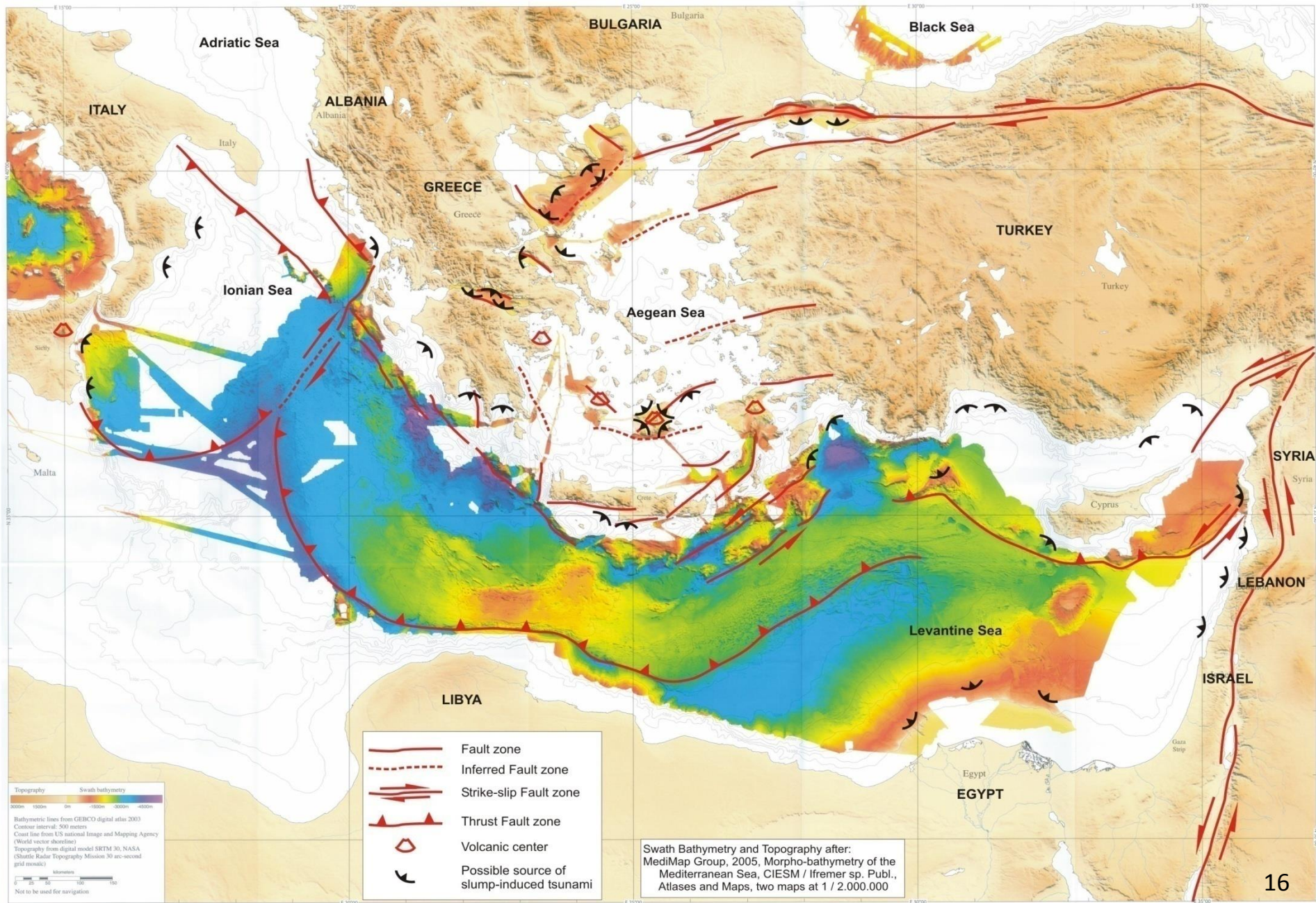
Dots show epicenters of the earthquakes that caused tsunamis.

Ινδικός Ωκεανός, 26 Δεκεμβρίου 2004

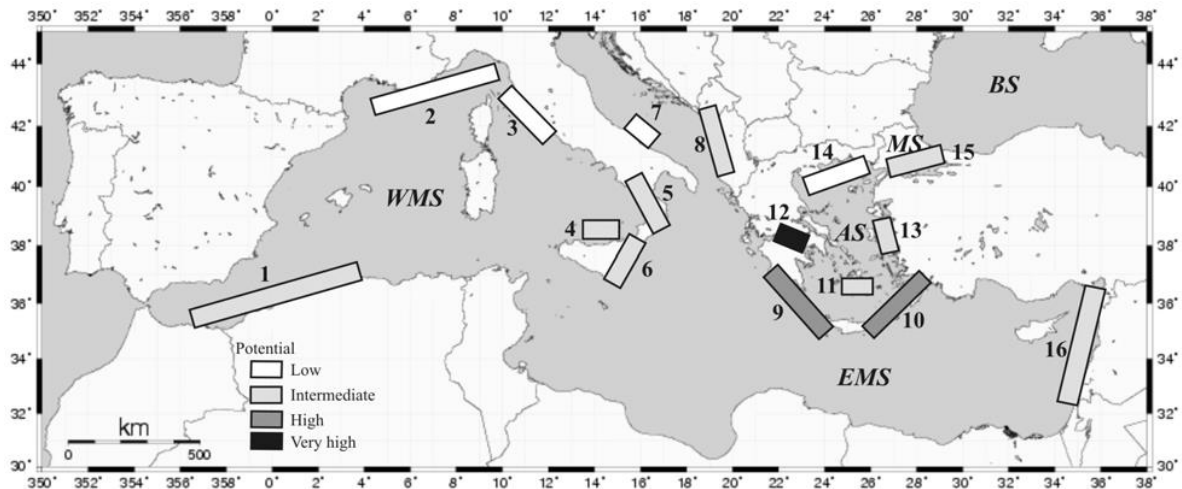
- Υποθαλάσσιος σεισμός βύθισης λιθοσφαιρικής πλάκας δυτικά της Ινδονησίας μεγέθους 9.1 με 9.3 Ριχτερ.
- Δημιουργία τσουνάμι τα οποία έφτασαν στην Ινδία, Σρι Λάνκα, Ινδονησία, Ταϊλανδή ακόμα και μέχρι το Μεξικό.
- Τα μεγάλα τσουνάμι ήταν τρια με διαφορά μεταξύ τους περίπου 30min. Το τρίτο τσουνάμι που ήταν και το μεγαλύτερο είχε διαφορά φάσης με το πρώτο περίπου μιάμιση ώρα.
- 283,100 νεκροί, 14,100 αγνοούμενοι και 1,126,900 άστεγοι.



POSSIBLE TSUNAMI SOURCE AREAS IN THE EASTERN MEDITERRANEAN



Περιοχές υποθαλάσσιων σεισμών



Papazachos and Dimitriu, 1991

Papazachos, B. C. and Dimitriu, P. P.:

Tsunamis in and near Greece

and their relation to the earthquake focal mechanisms,

Nat. Hazards,

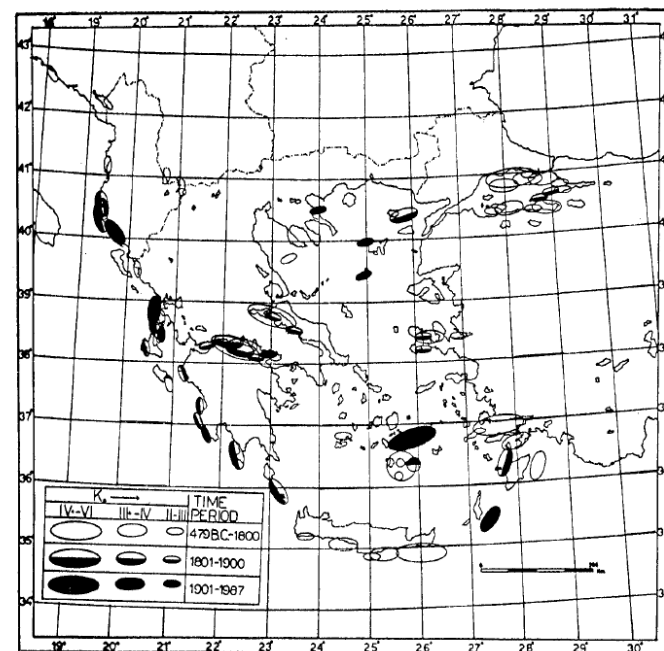
4, 161–170, 1991.

Papadopoulos and Fokaefs, 2005

Papadopoulos, G. A. and Fokaefs, A.[2005]

“Strong tsunamis in the Mediterranean Sea:
a re-evaluation,”

*ISET Journal of Earthquake
Technology* **42**, 159-170.



Tsunamis – Μηχανικοί – Κοινωνία

- Αριθμητική προσομοίωση γένεσης και μετάδοσης tsunami χρησιμοποιώντας ένα προηγμένο μοντέλο κυματισμών.
- Εντοπισμός των παράκτιων περιοχών που κινδυνεύουν και εκτίμηση των επιπτώσεων στην παράκτια ζώνη.
- Προώθηση των αποτελεσμάτων στις τοπικές αρχές και την πολιτική προστασία. Διάχυση της πληροφορίας στο ευρύ κοινό.



Προηγμένο μοντέλο μη γραμμικών διασπειρομένων κυματισμών που βασίζεται στις εξισώσεις τύπου Boussinesq

Αναρρίχηση

Μερική ανάκλαση

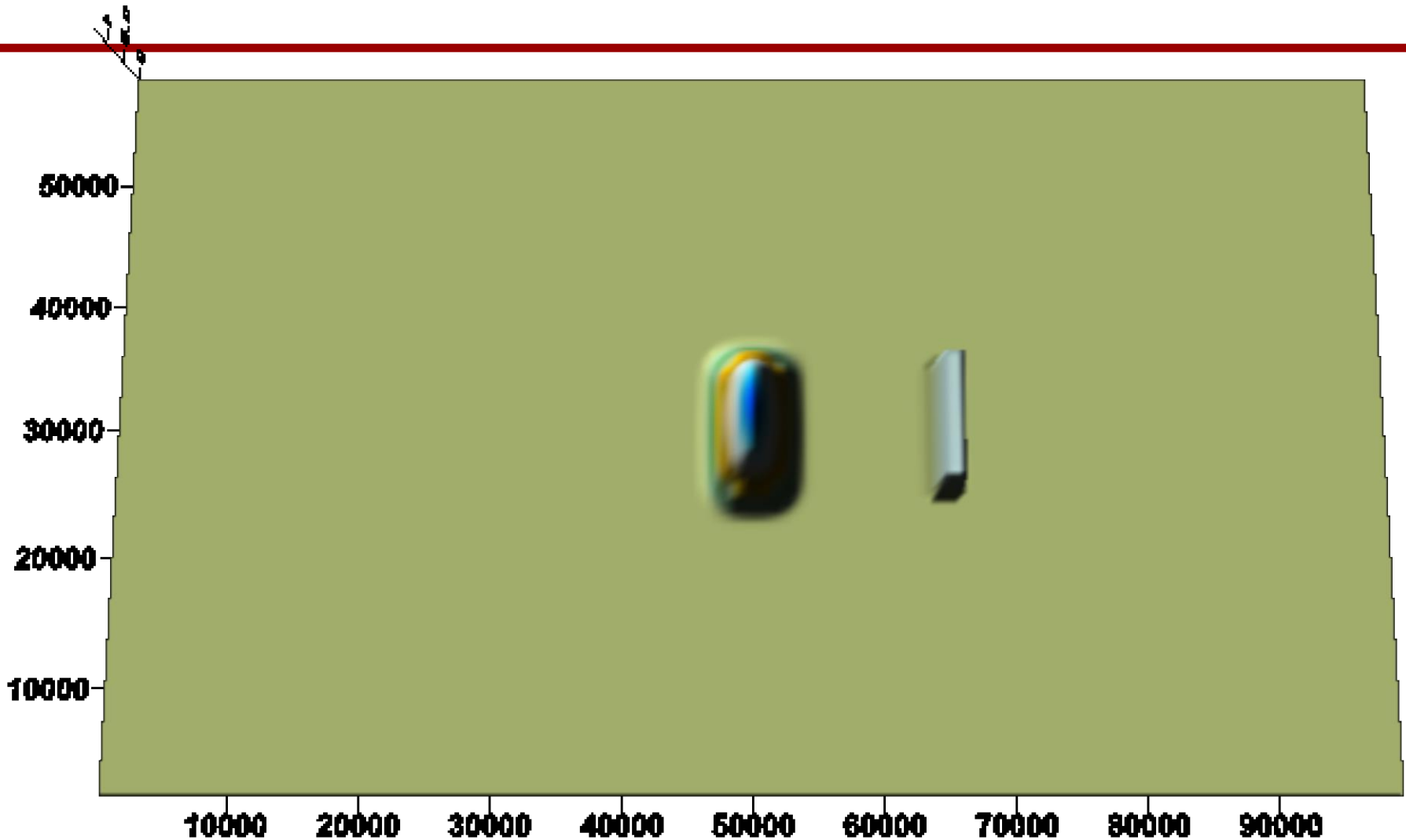
$$\zeta_t + \nabla(h\mathbf{U}) = \zeta_{b,t}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_t + \frac{1}{h} \nabla \mathbf{M}_u - \frac{1}{h} \mathbf{U} \nabla(\mathbf{U}h) + g \nabla \zeta + G = & \frac{1}{2} h \nabla [\nabla \cdot (d\mathbf{U}_t)] - \frac{1}{6} h^2 \nabla [\nabla \cdot \mathbf{U}_t] + \\ & + \frac{1}{30} d^2 \nabla [\nabla \cdot (\mathbf{U}_t + g \nabla \zeta)] + \frac{1}{30} \nabla [\nabla \cdot (d^2 \mathbf{U}_t + g d^2 \nabla \zeta)] \\ & - d \nabla (\delta \nabla \cdot \mathbf{U})_t - \frac{\boldsymbol{\tau}_b}{h} + \mathbf{E} \end{aligned}$$

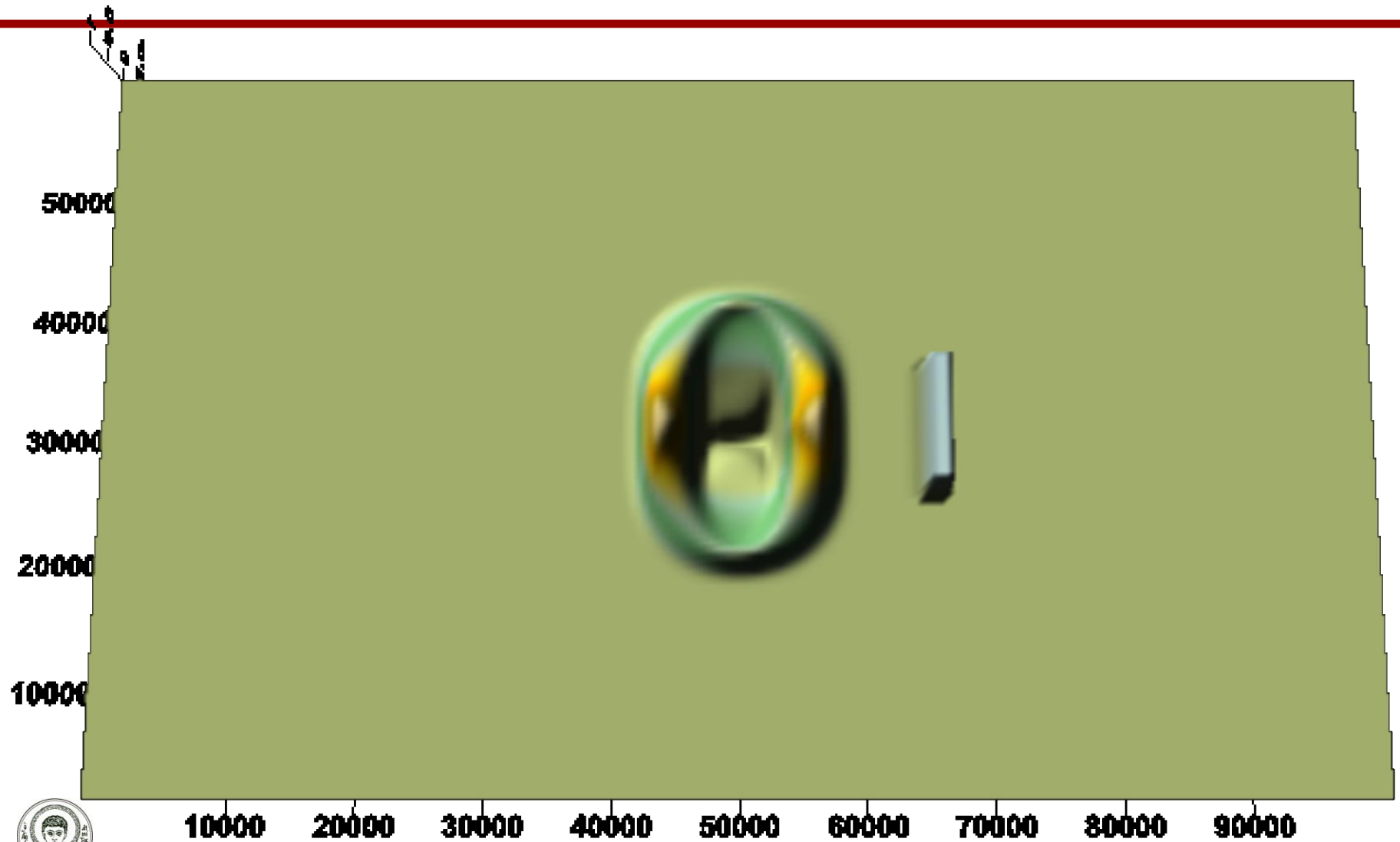
$$G = \frac{1}{3} \nabla \left\{ d^2 \left[(\nabla \cdot \mathbf{U})^2 - \mathbf{U} \cdot \nabla^2 \mathbf{U} - \frac{1}{10} \nabla^2 (\mathbf{U} \cdot \mathbf{U}) \right] \right\} - \frac{1}{2} \zeta \nabla [\nabla \cdot (d\mathbf{U}_t)]$$



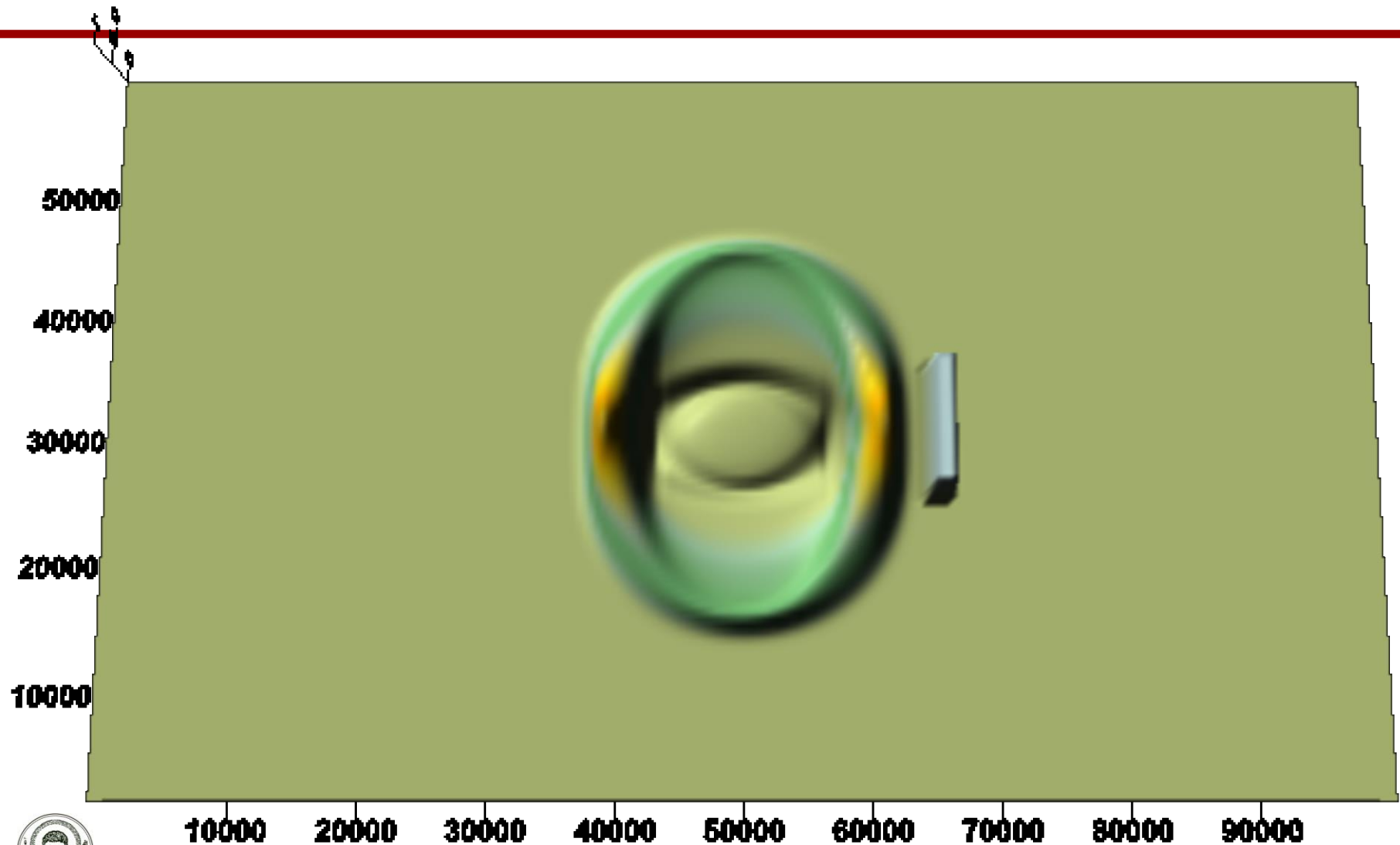
Αριθμητική προσομοίωση Tsunamis (1/6)



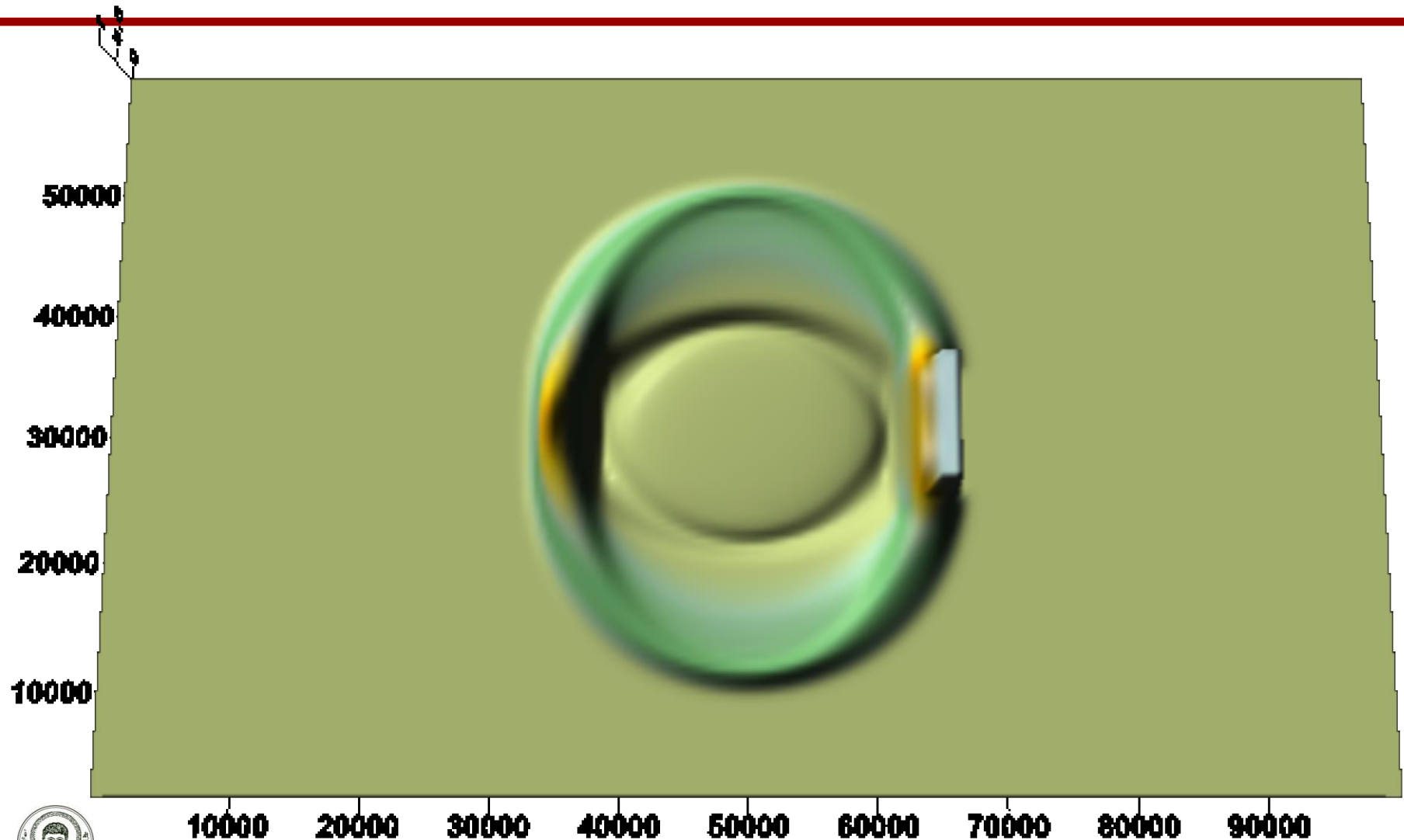
Αριθμητική προσομοίωση Tsunamis (2/6)



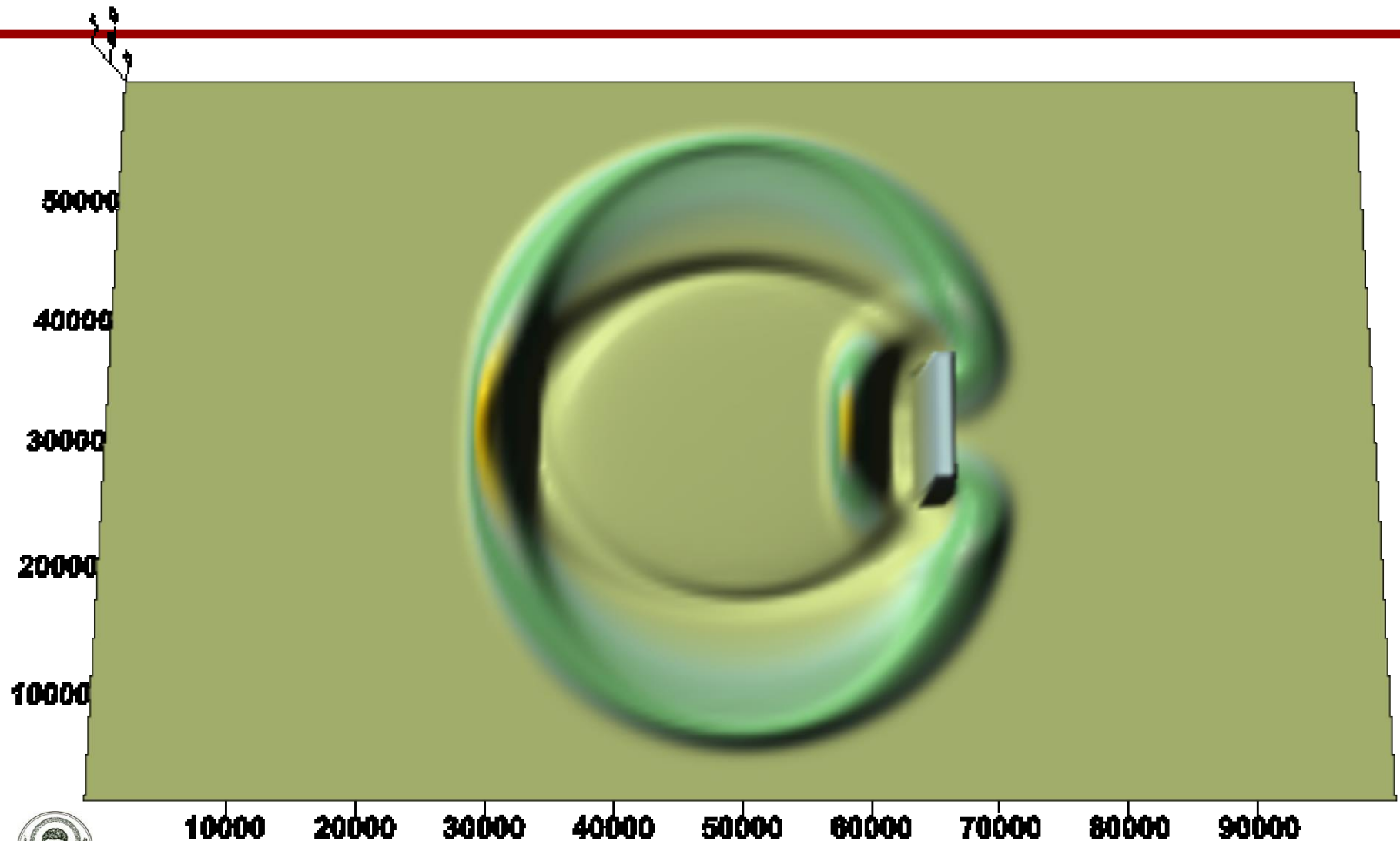
Αριθμητική προσομοίωση Tsunamis (3/6)



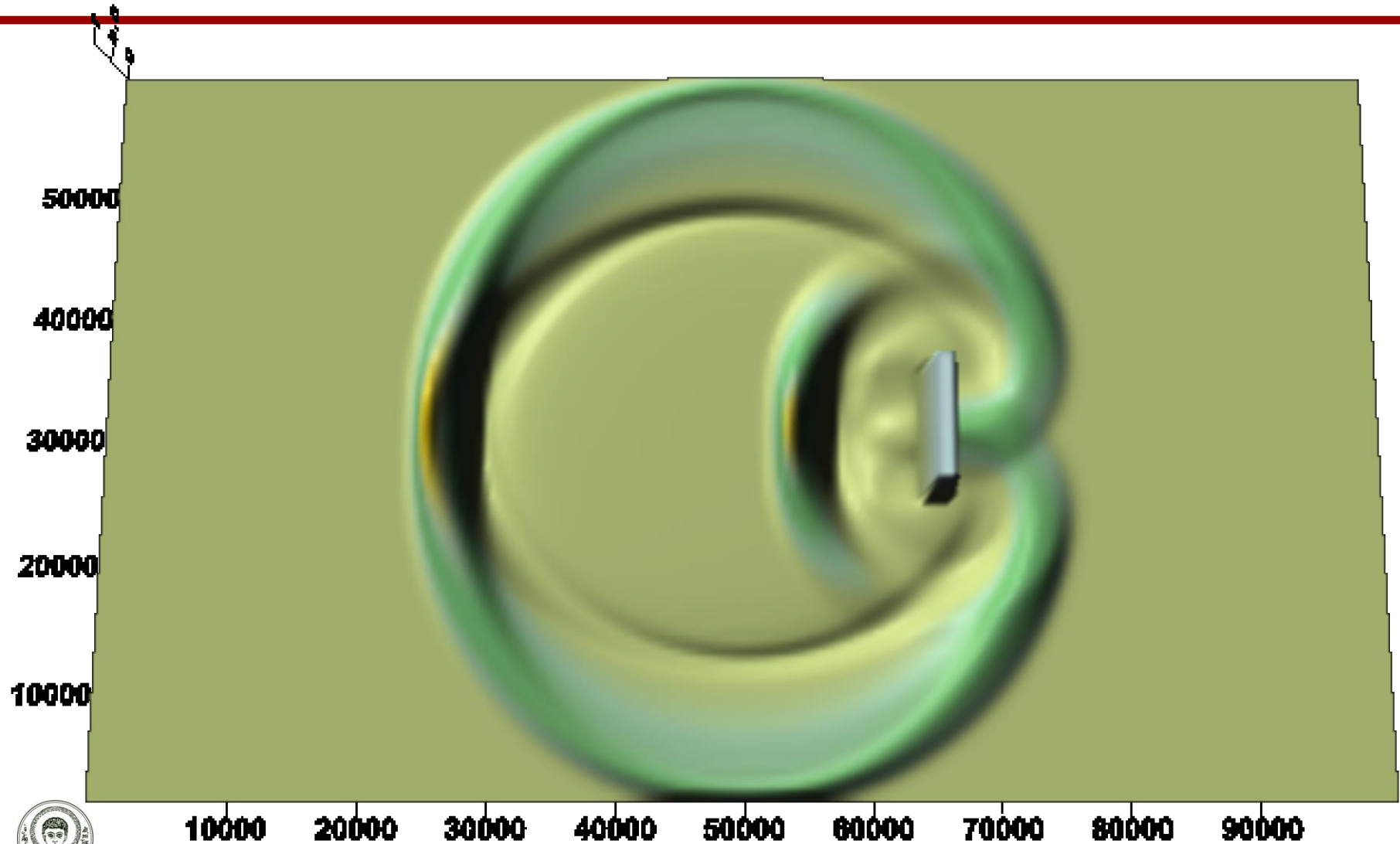
Αριθμητική προσομοίωση Tsunamis (4/6)



Αριθμητική προσομοίωση Tsunamis (5/6)



Αριθμητική προσομοίωση Tsunamis (6/6)



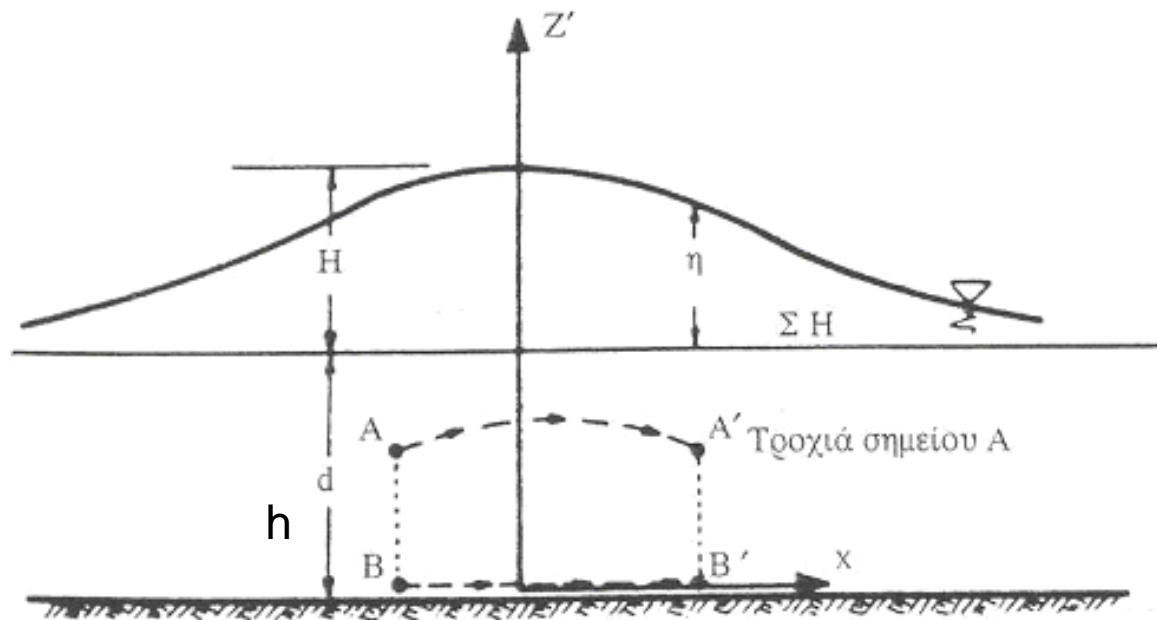
Μεμονωμένος κυματισμός (solitary wave):

$$\eta = H \operatorname{sech}^2 \left[\sqrt{\frac{3H}{4h^3}} (ct - x) \right], \quad c = \sqrt{gh \left(1 + \frac{H}{h} \right)}$$

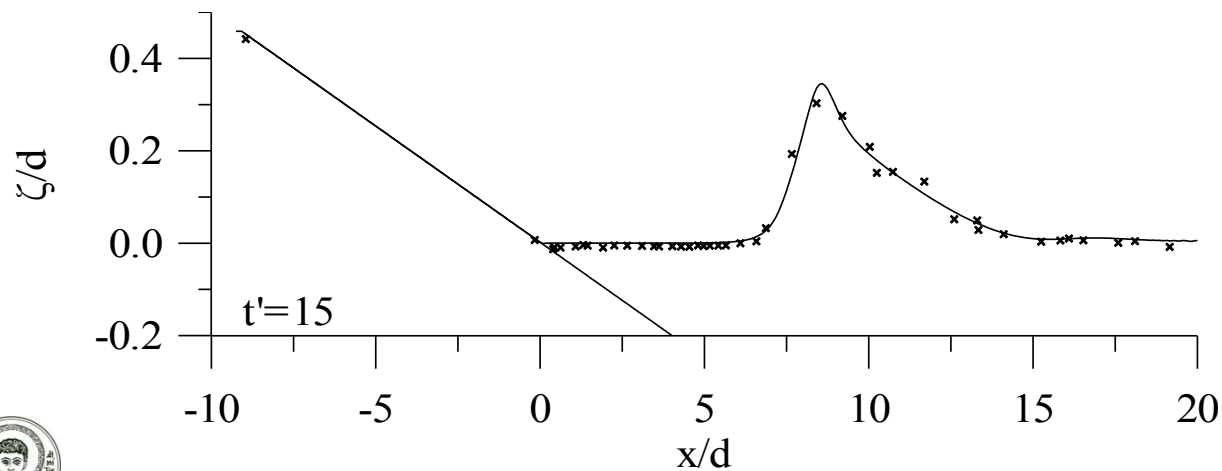
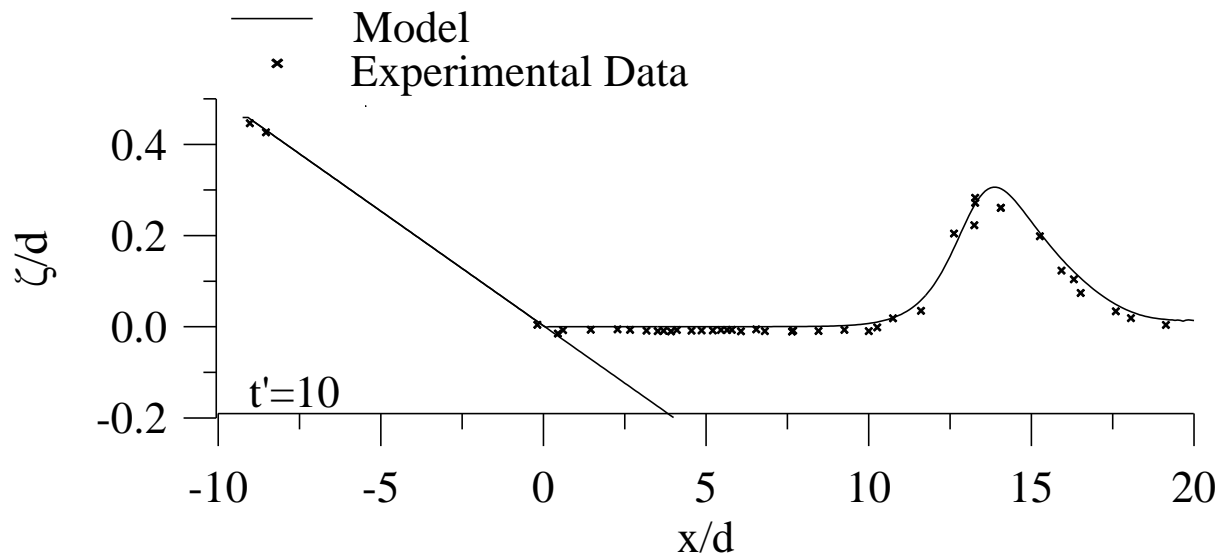
H =ύψος κύματος

h = βάθος

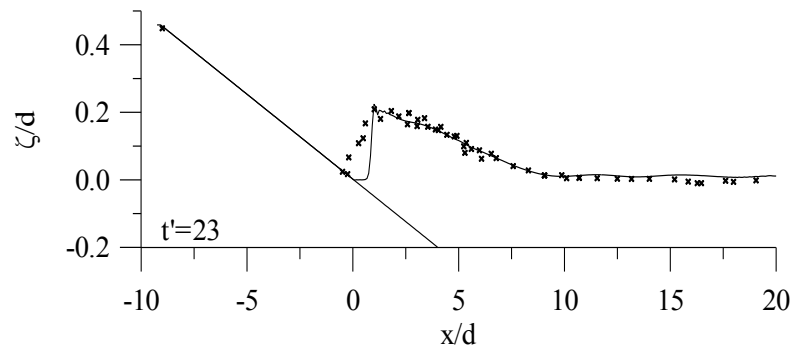
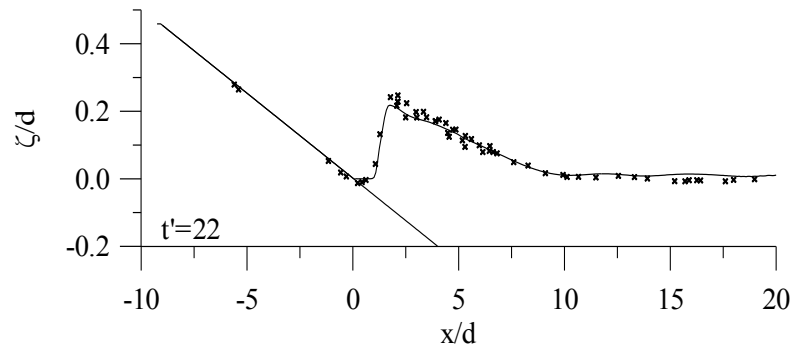
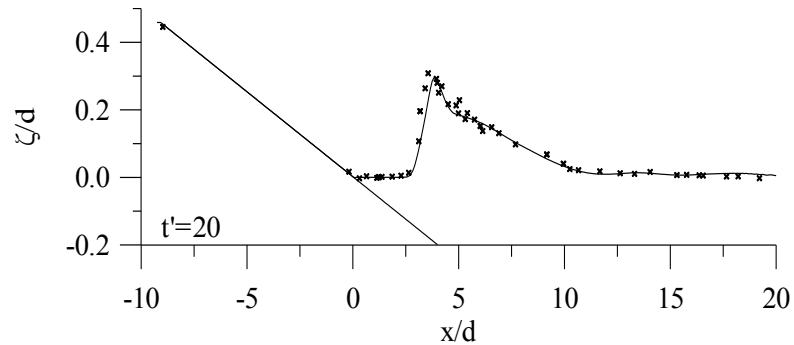
η = στιγμιαία ανύψωση της στάθμης



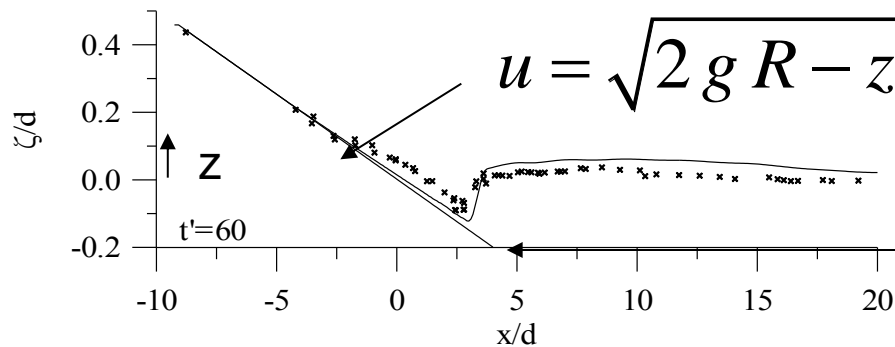
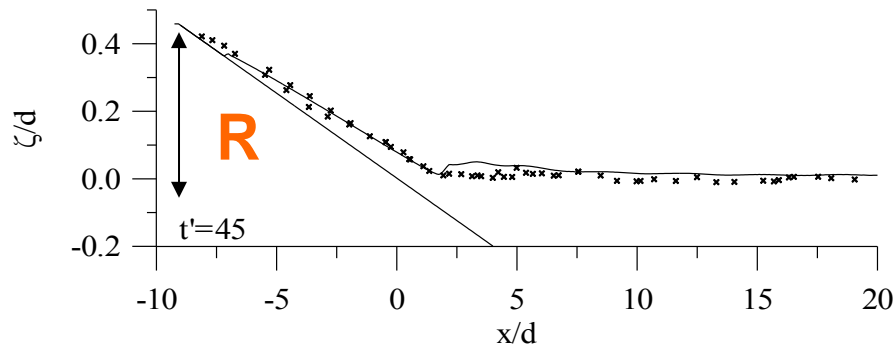
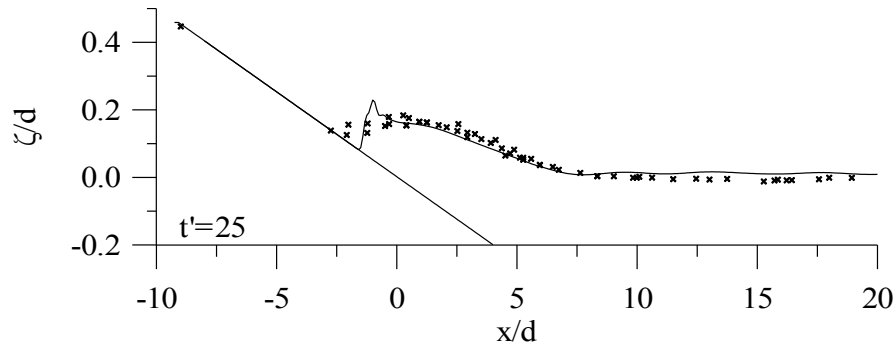
Αναρρίχηση ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ κυματισμών (1/3)



Αναρρίχηση ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ κυματισμών (2/3)



Αναρρίχηση ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ κυματισμών (3/3)



Ταχύτητα καθόδου

$$u = \sqrt{2gR}$$



Κριτήριο Θραύσης ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ κυματισμών

$$\frac{H}{d} > 0.8183(\cot \beta)^{-10/9} \quad (1)$$

H=ύψος κύματος d=βάθος $\tan\beta$ =κλίση ($\cot\beta=1/\tan\beta$)

Μικρές τιμές H/d ΟΧΙ θραύση

$$\frac{R}{d} = 2.831(\cot \beta)^{1/2} \left(\frac{H}{d} \right)^{5/4} \quad \text{Μη-θραυόμενος κυματισμός -}$$

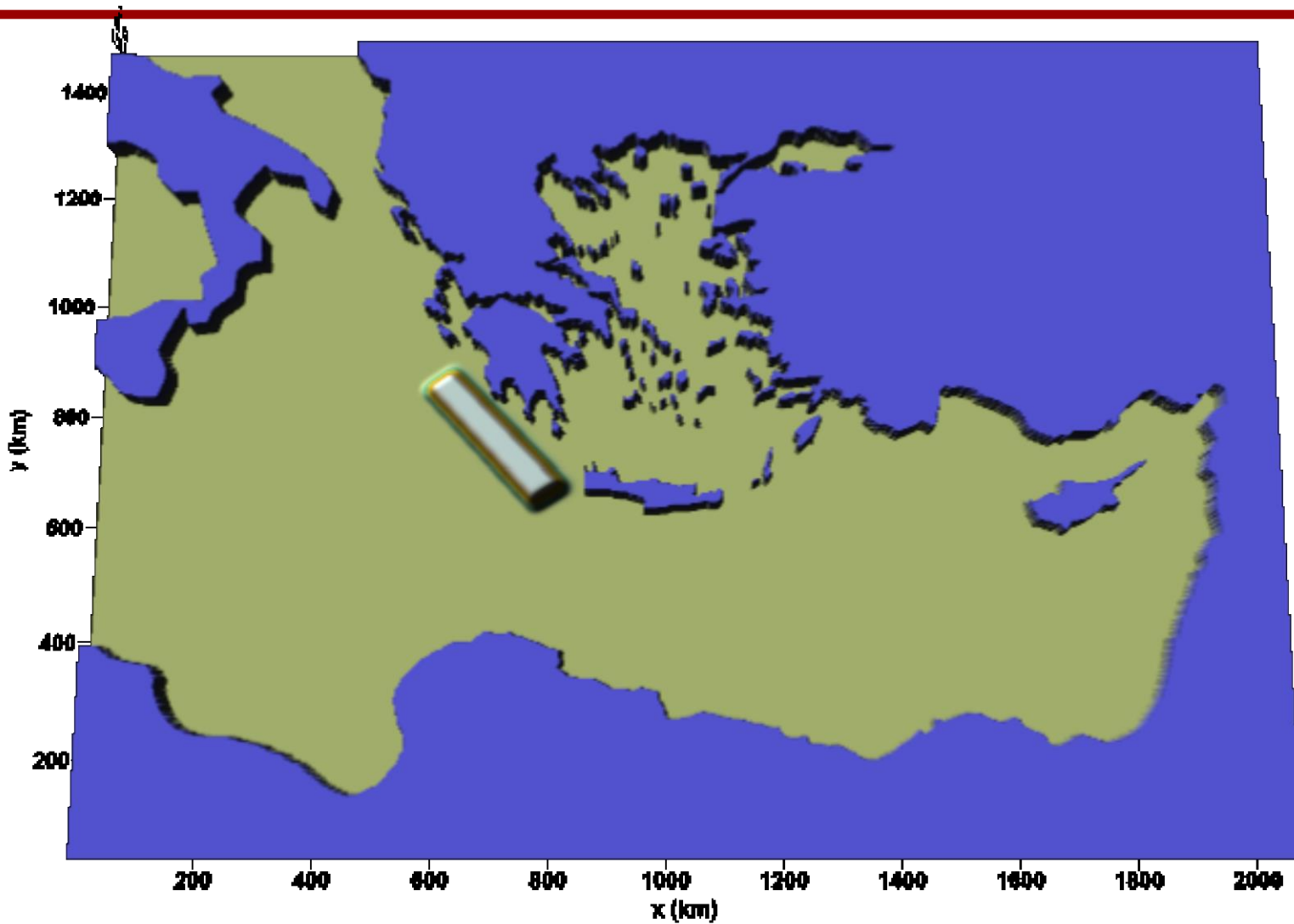
δεν ισχύει η (1)

$$\frac{R}{d} = 1.109 \left(\frac{H}{d} \right)^{0.582} \quad \text{Θραυόμενος κυματισμός -}$$

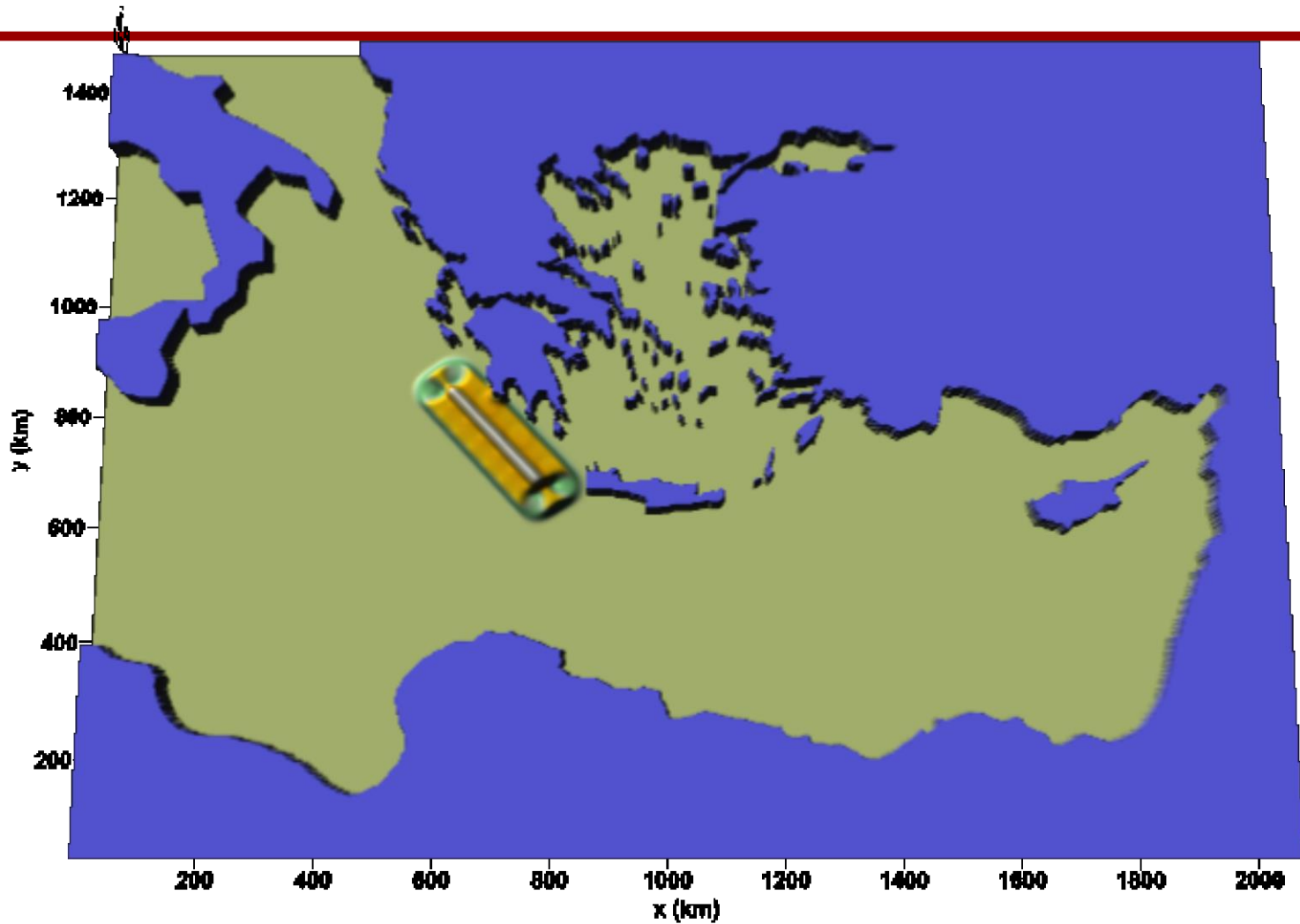
ισχύει η (1)



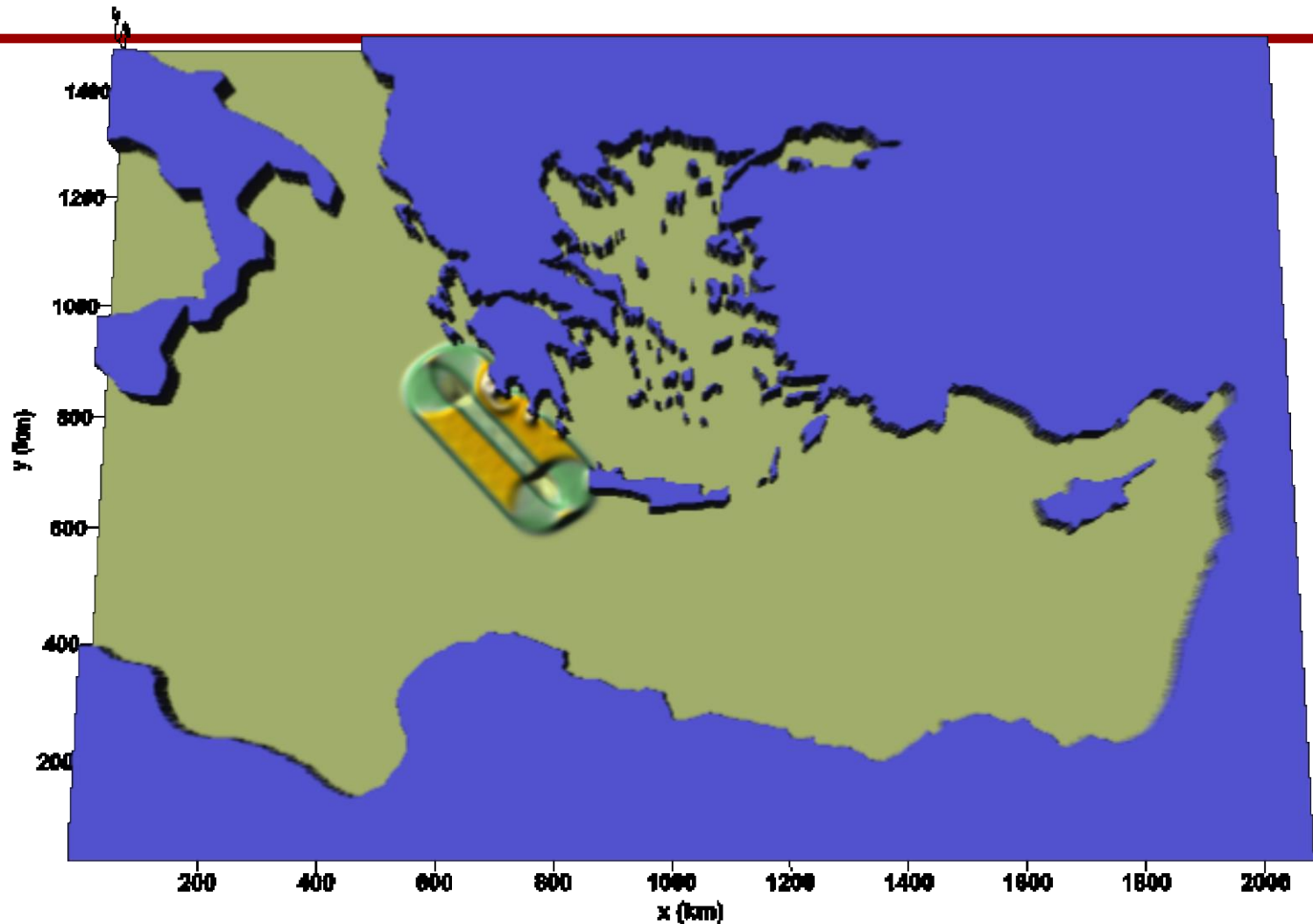
ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΣΟΥΝΑΜΙ (1/7)



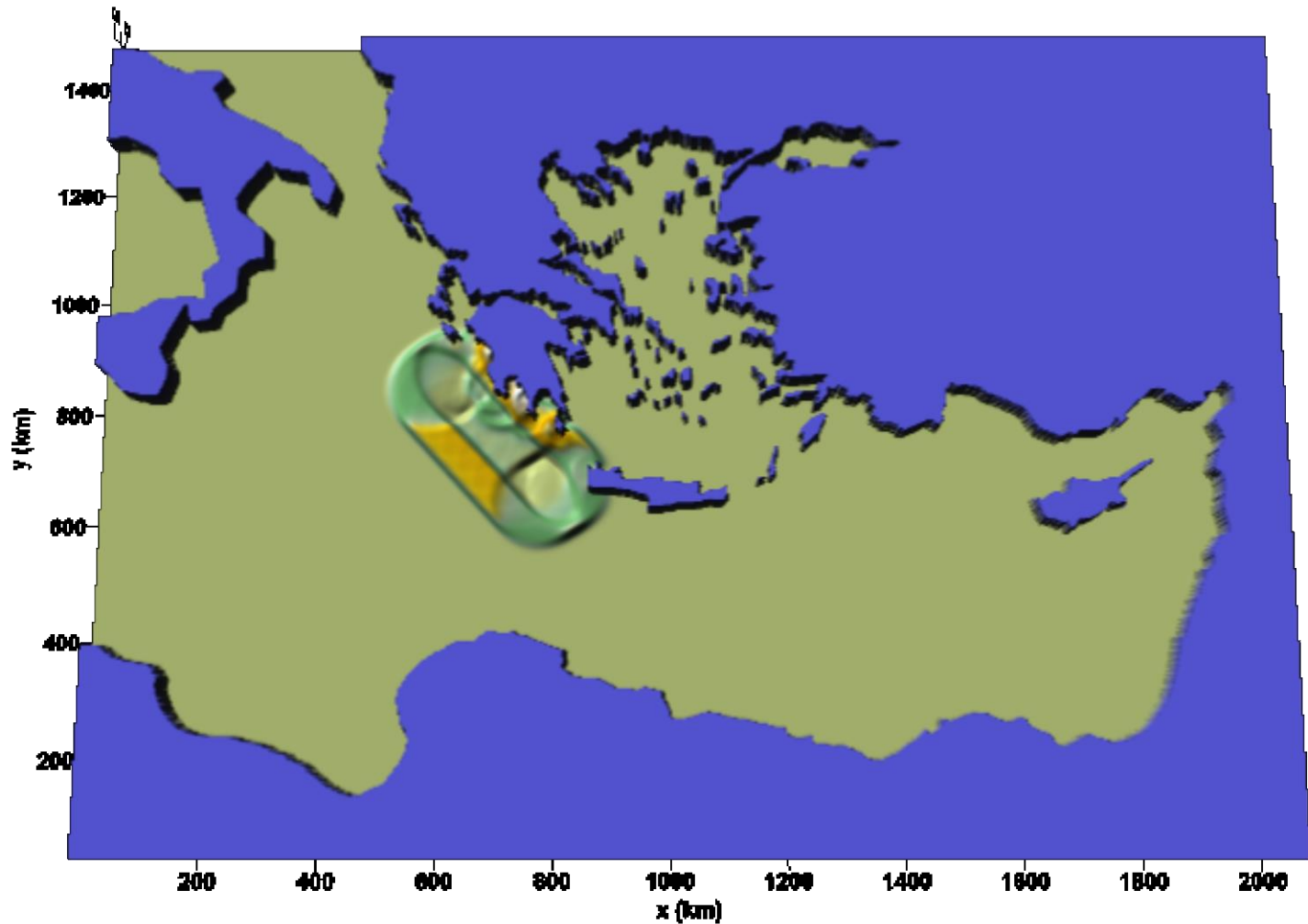
ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΣΟΥΝΑΜΙ (2/7)



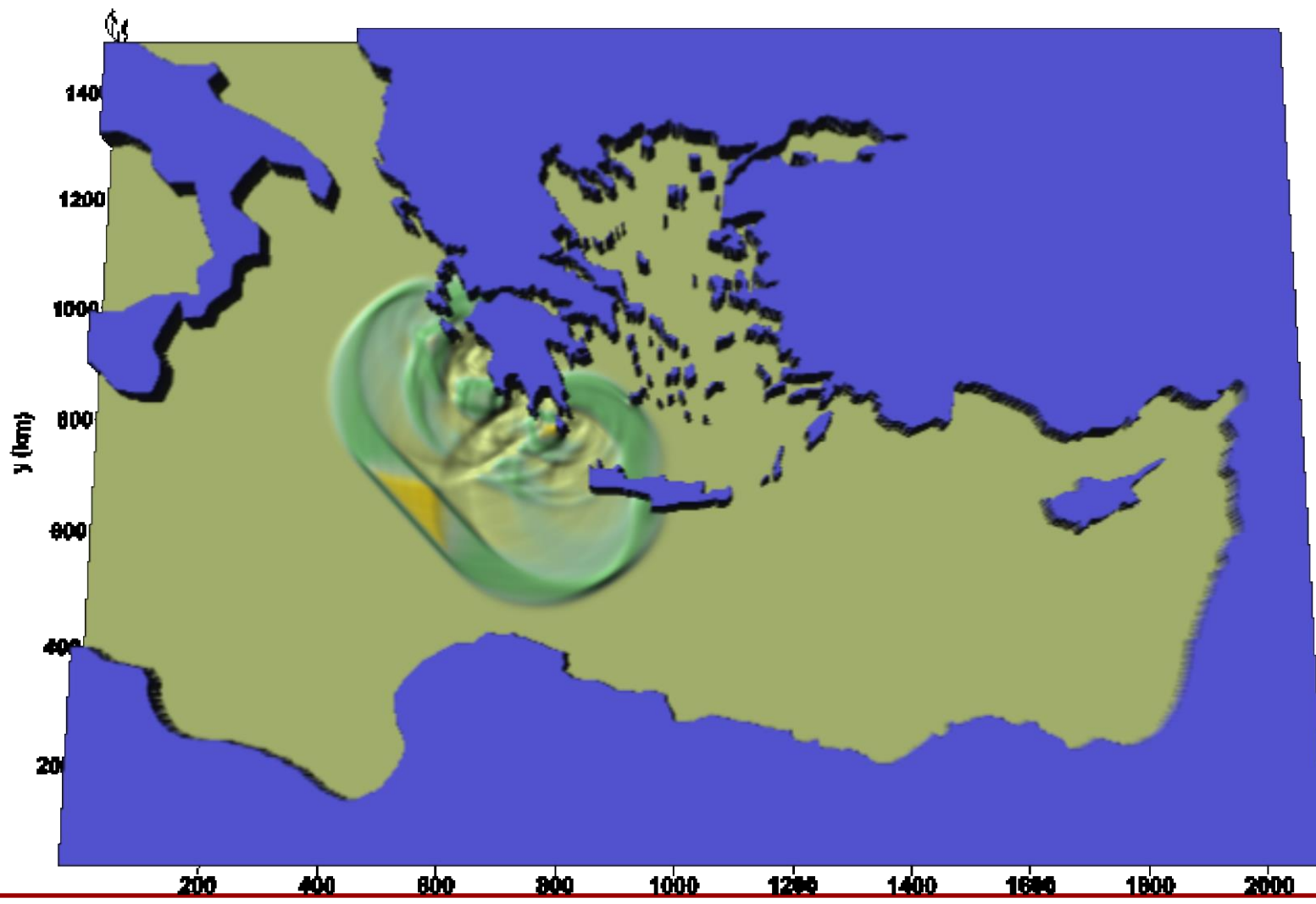
ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΣΟΥΝΑΜΙ (3/7)



ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΣΟΥΝΑΜΙ (4/7)



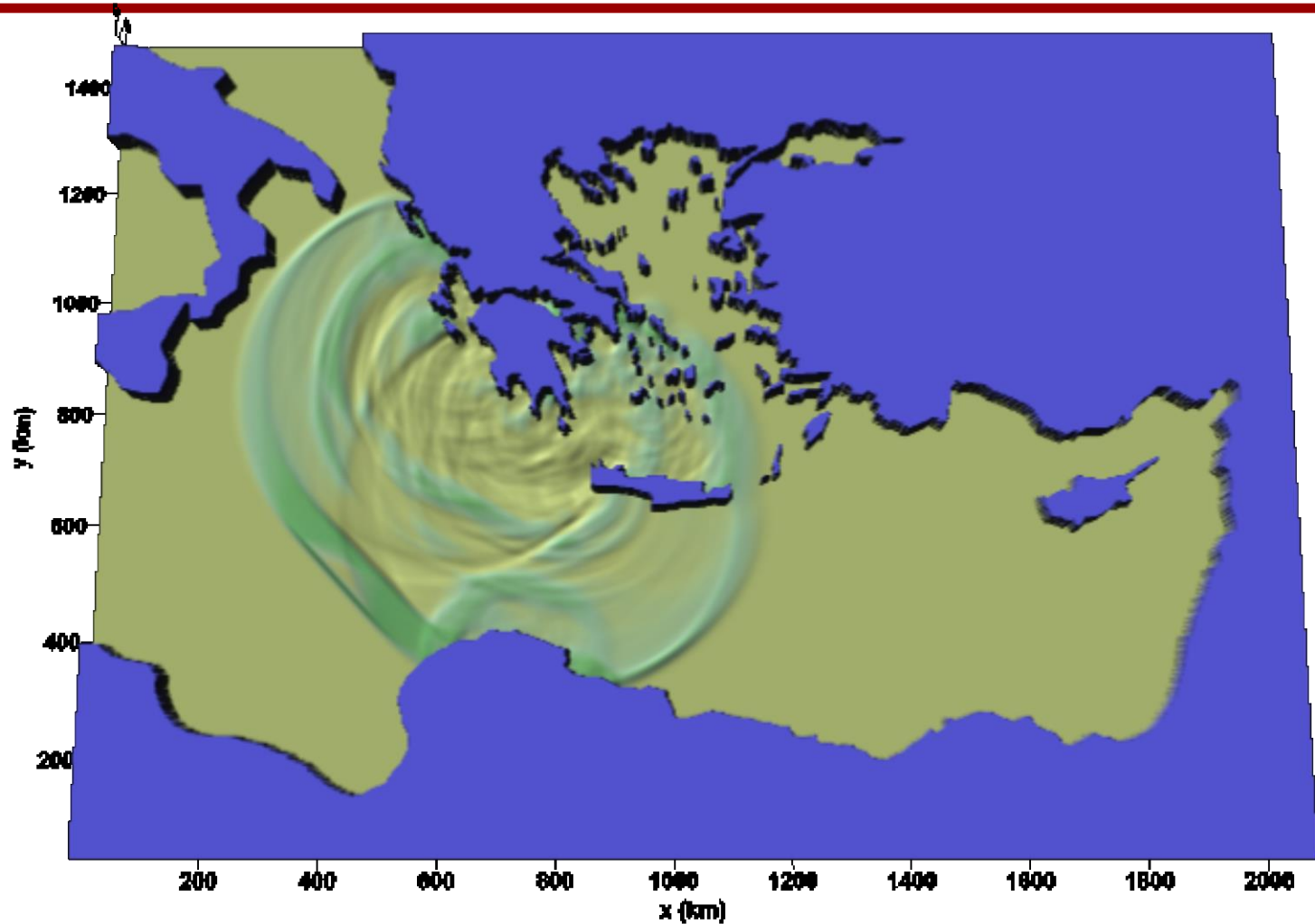
ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΣΟΥΝΑΜΙ (5/7)



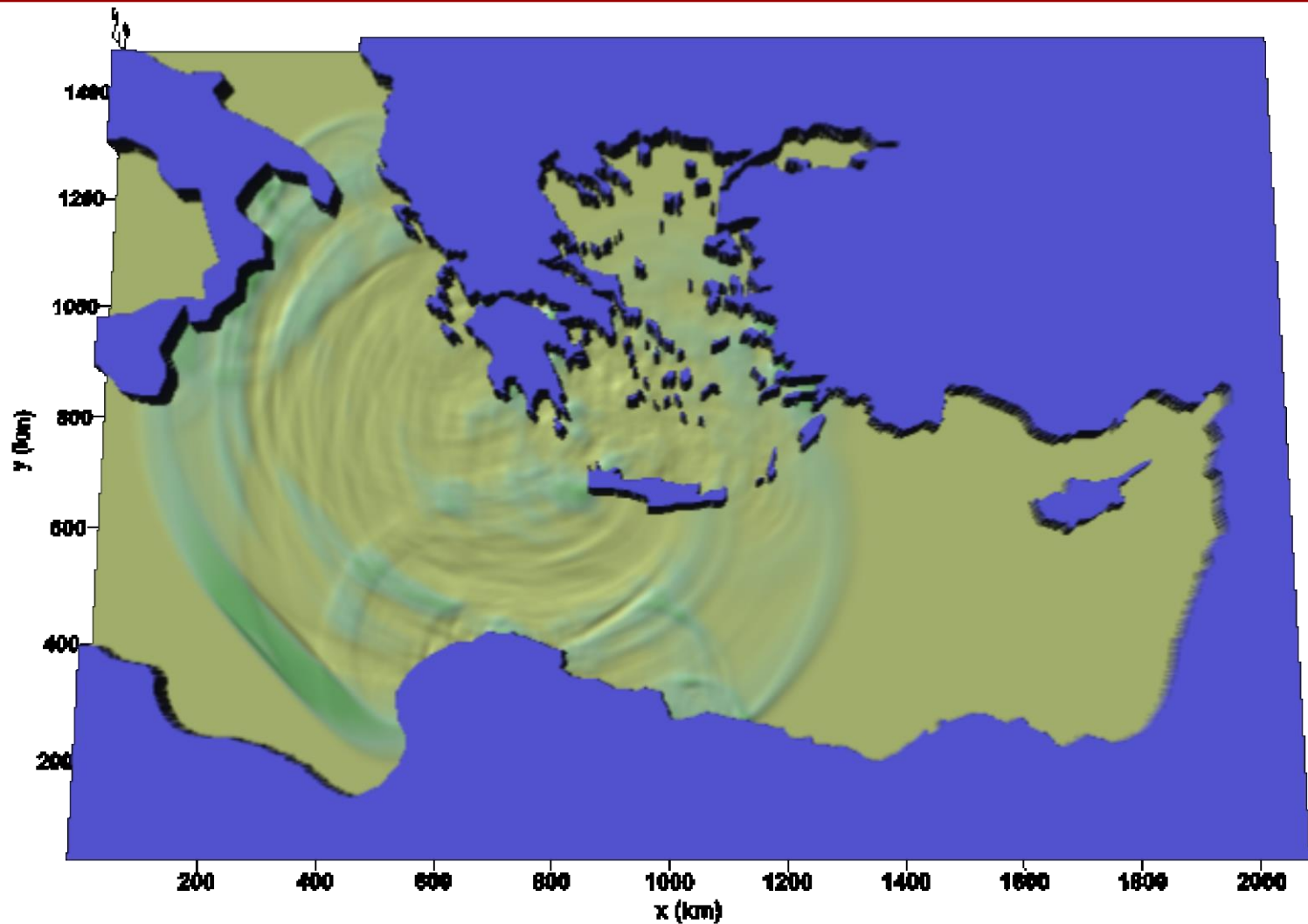
Παράκτια Ωκεανόγραφια
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



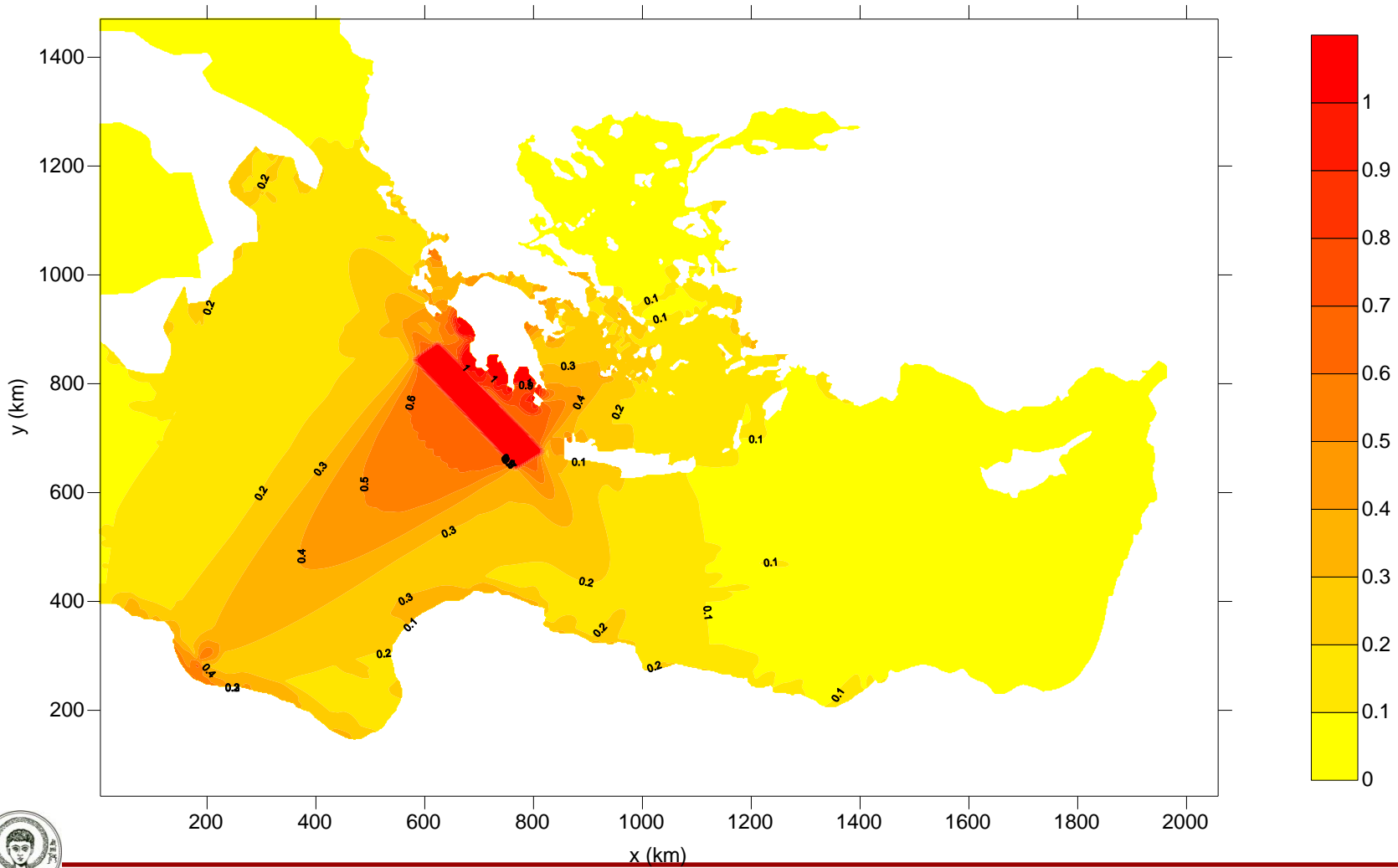
ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΣΟΥΝΑΜΙ (6/7)



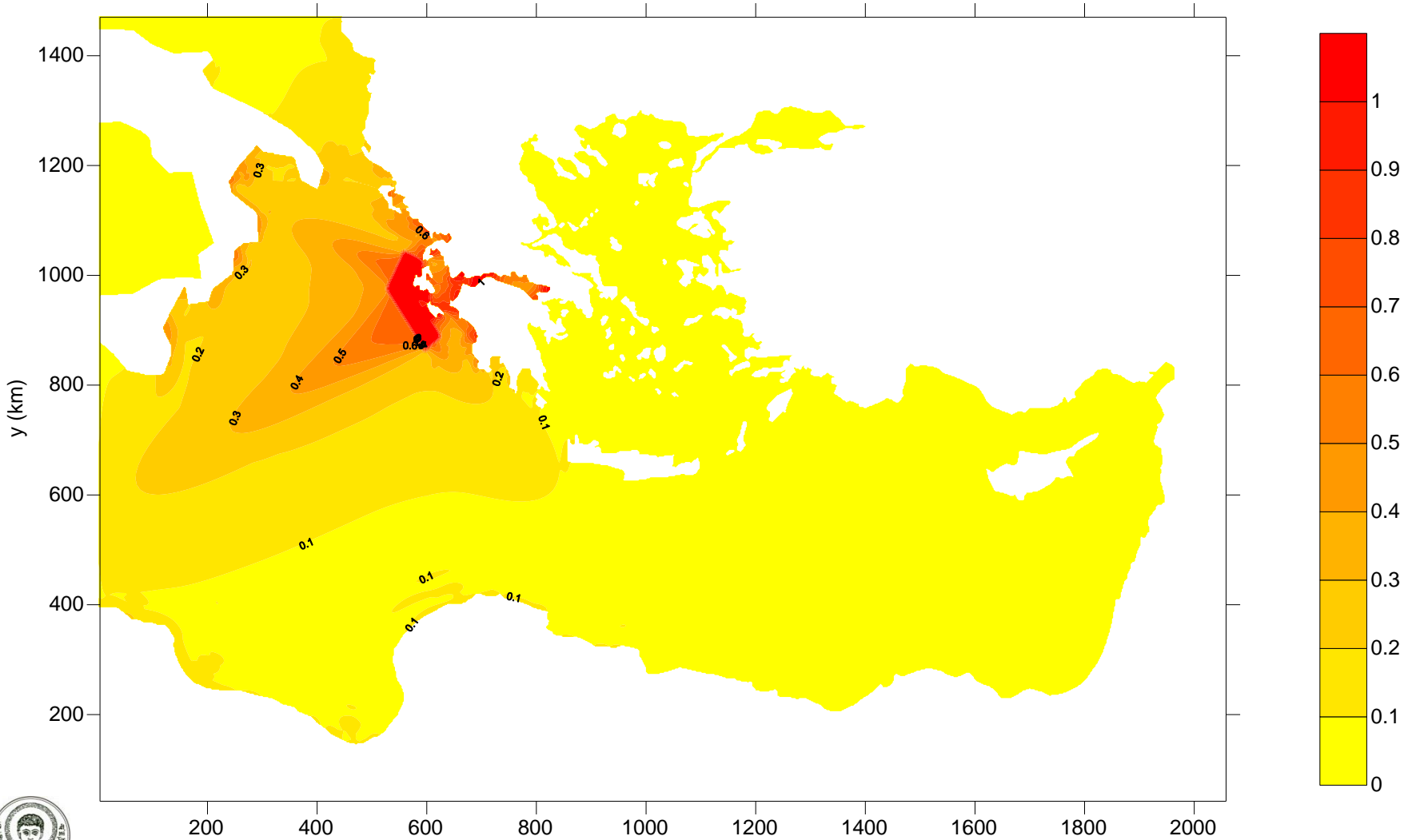
ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΣΟΥΝΑΜΙ (7/7)



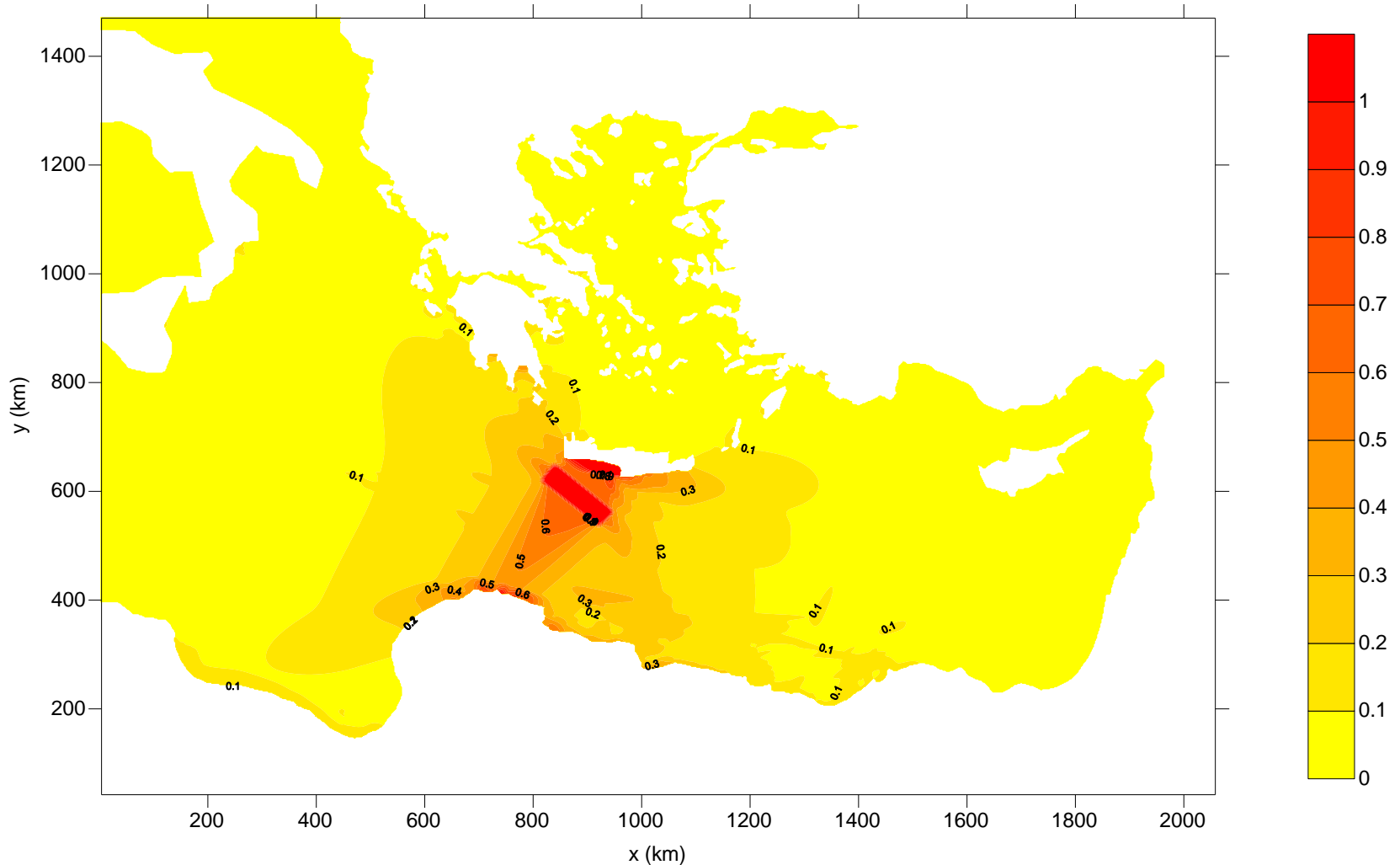
ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (1/8)



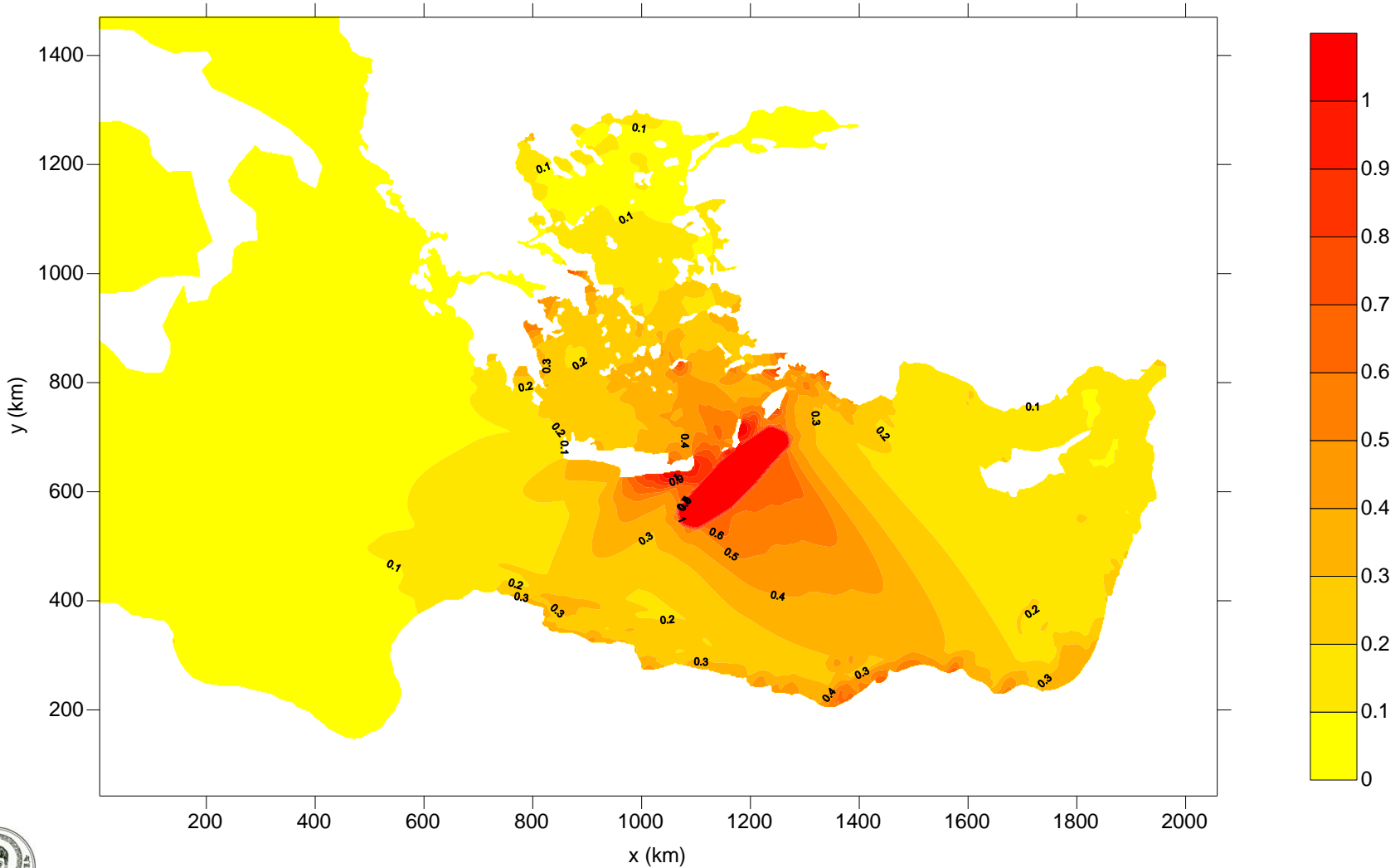
ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (2/8)



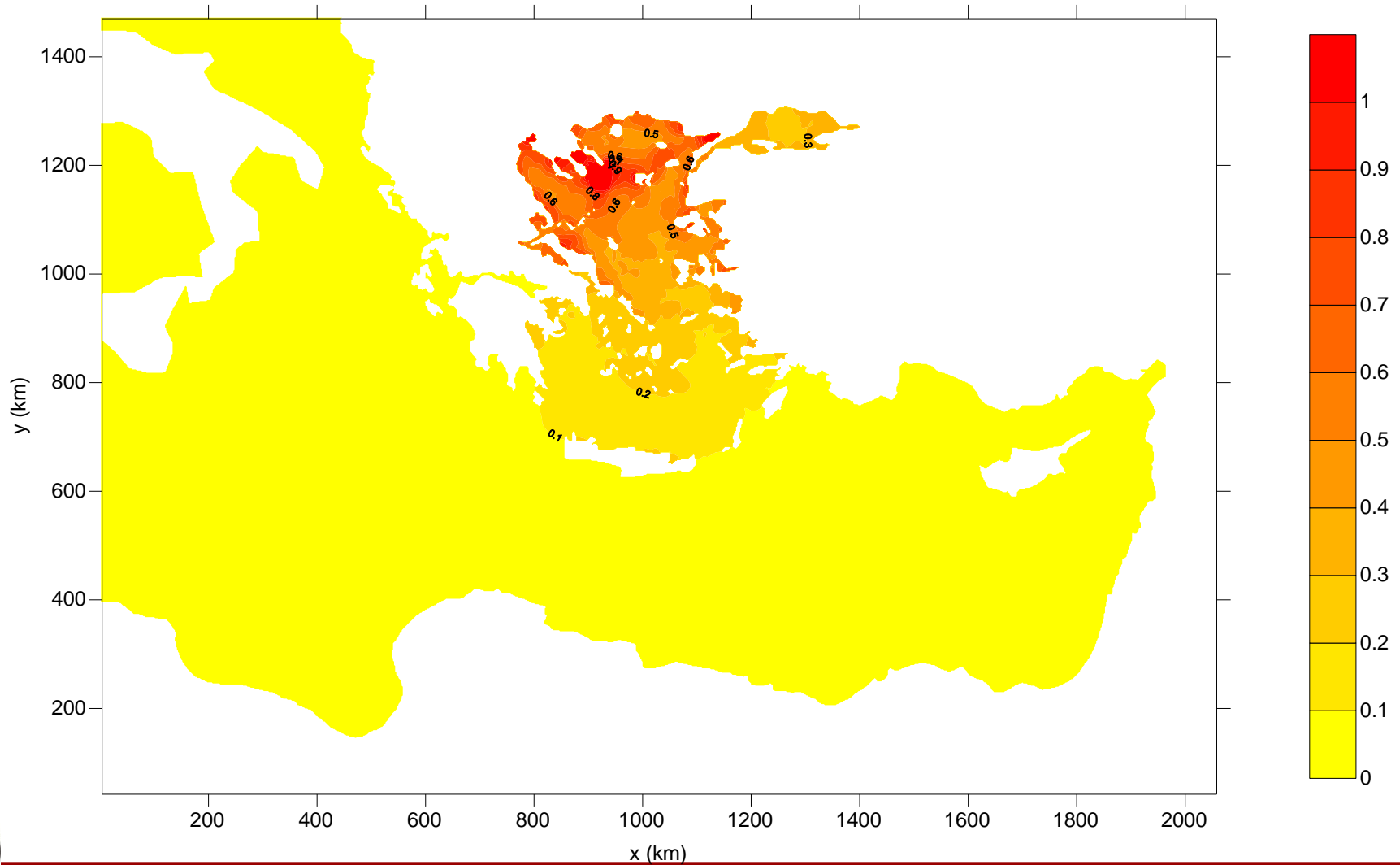
ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (3/8)



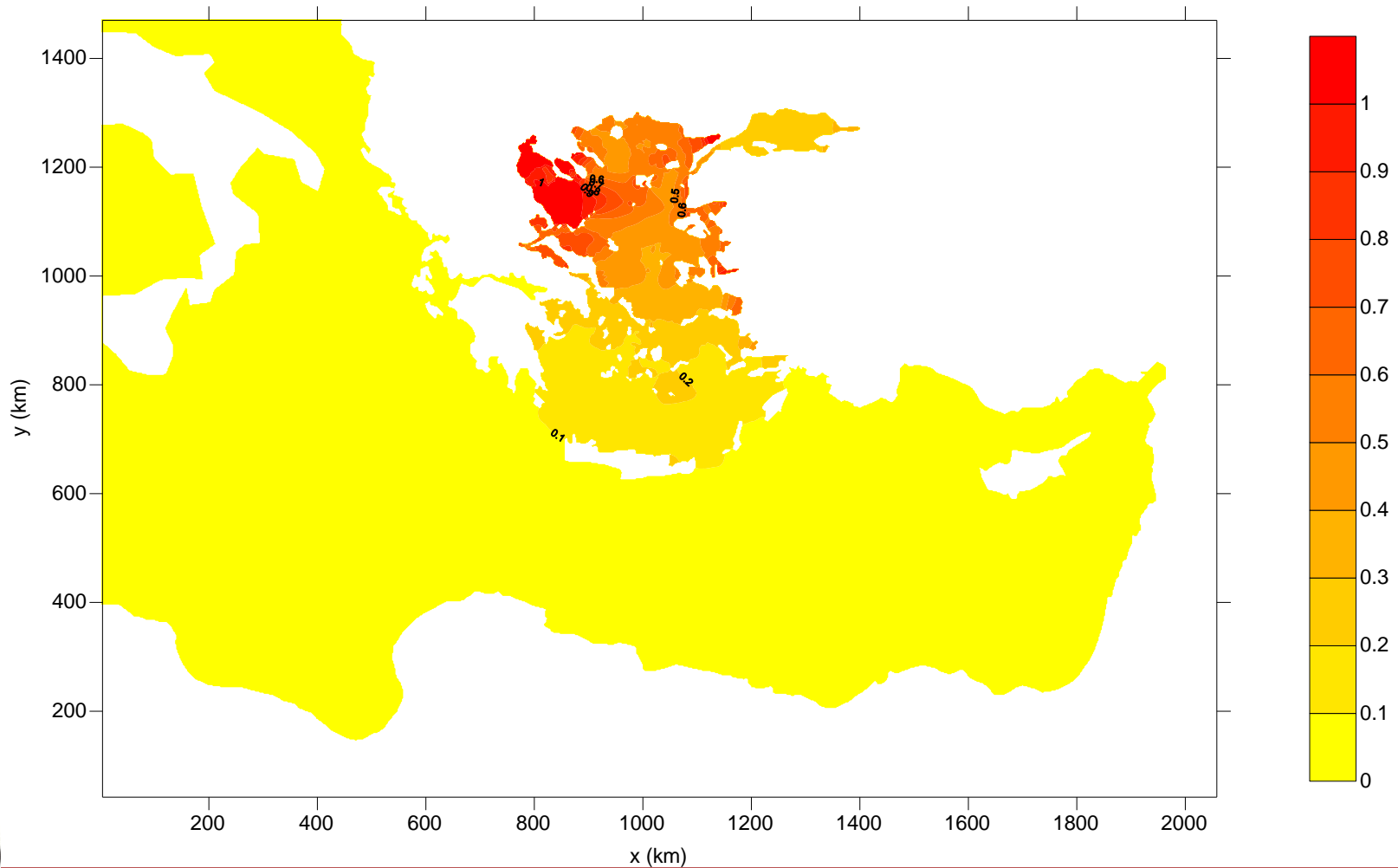
ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (4/8)



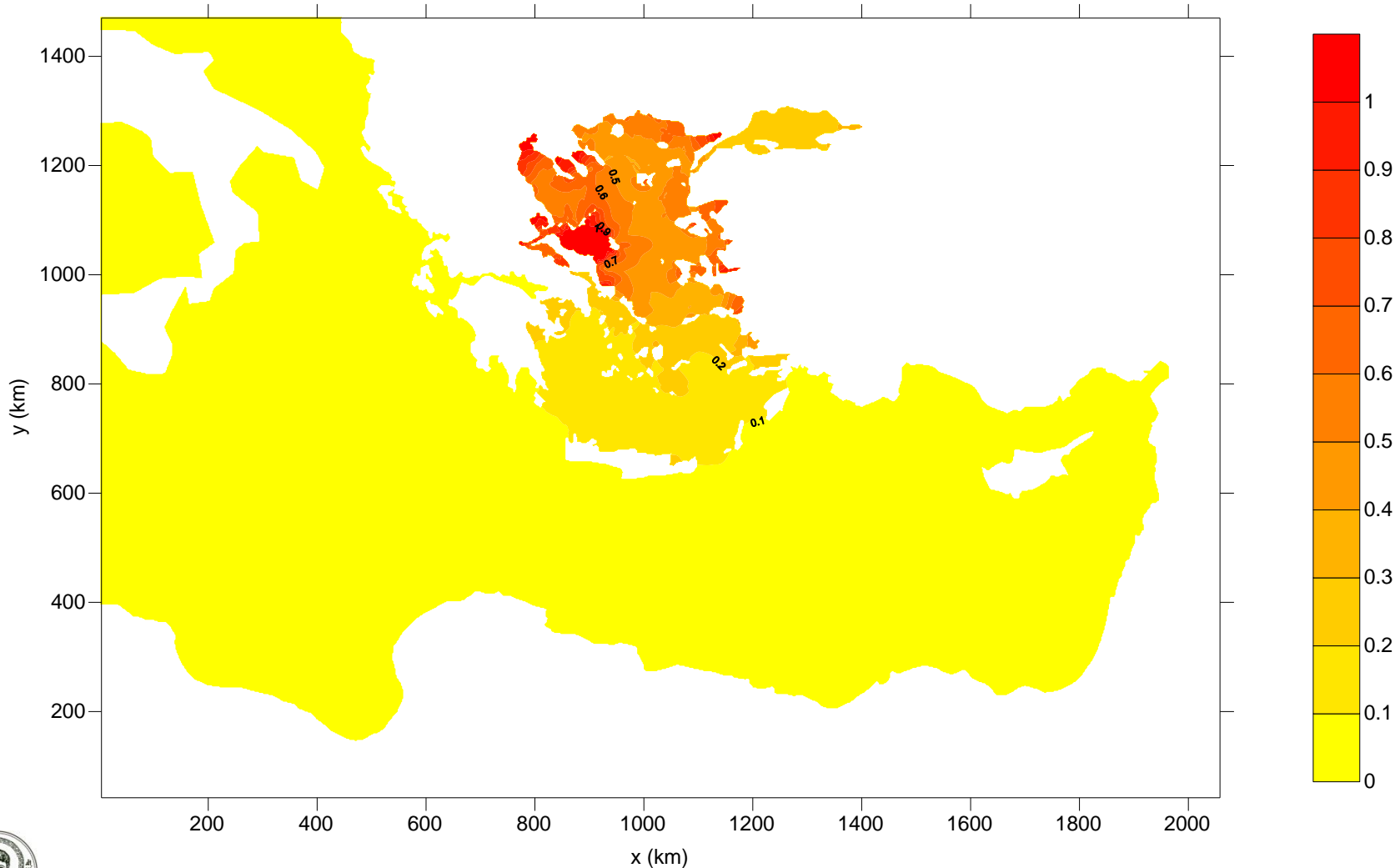
ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (5/8)



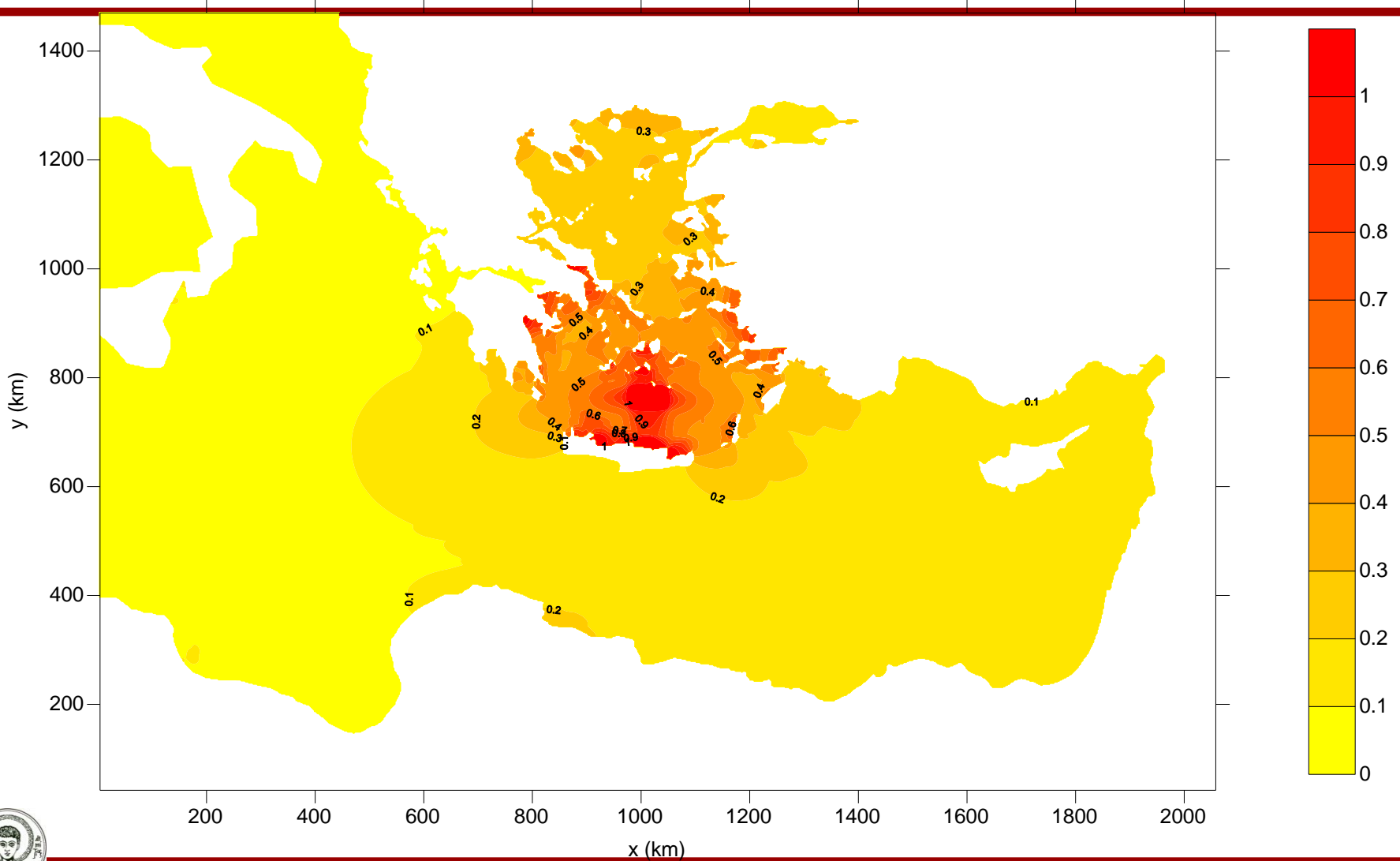
ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (6/8)



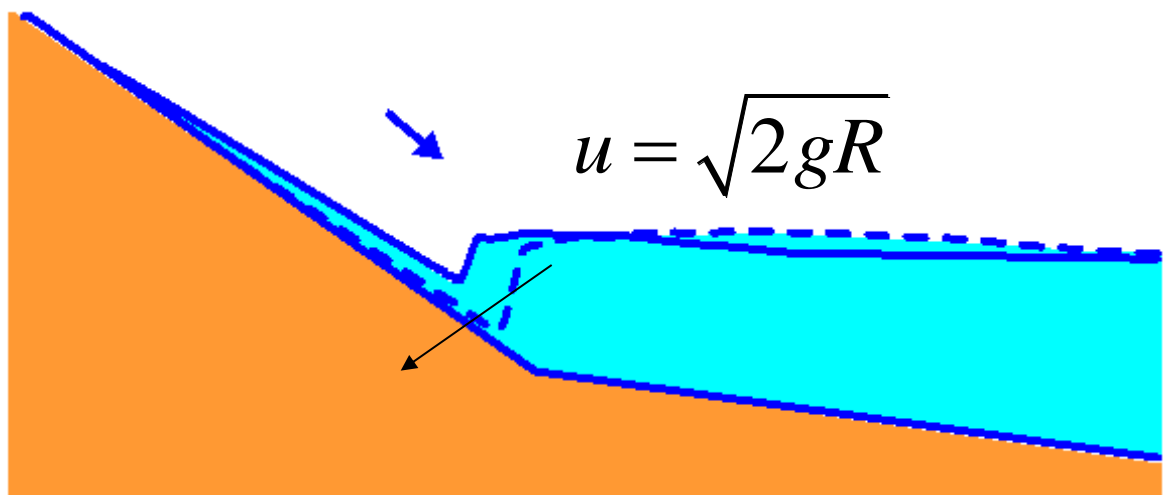
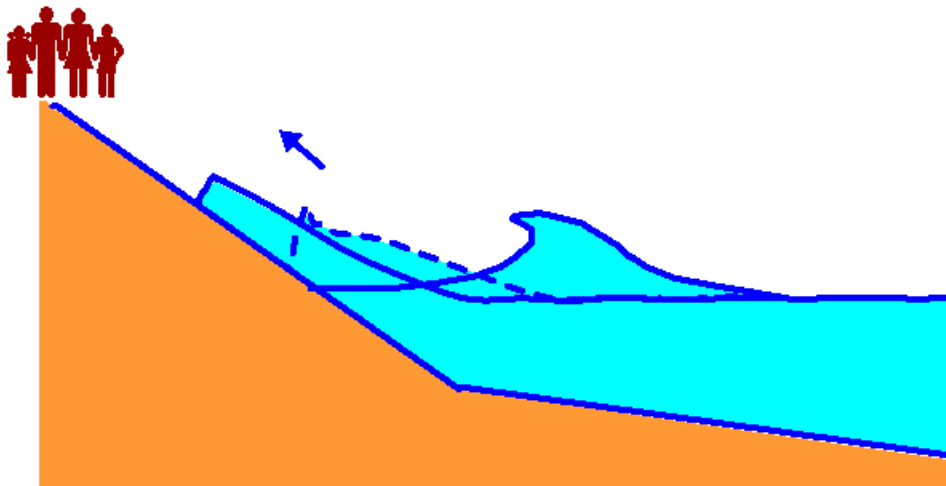
ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (7/8)



ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (8/8)



Κίνδυνοι από TSUNAMIS



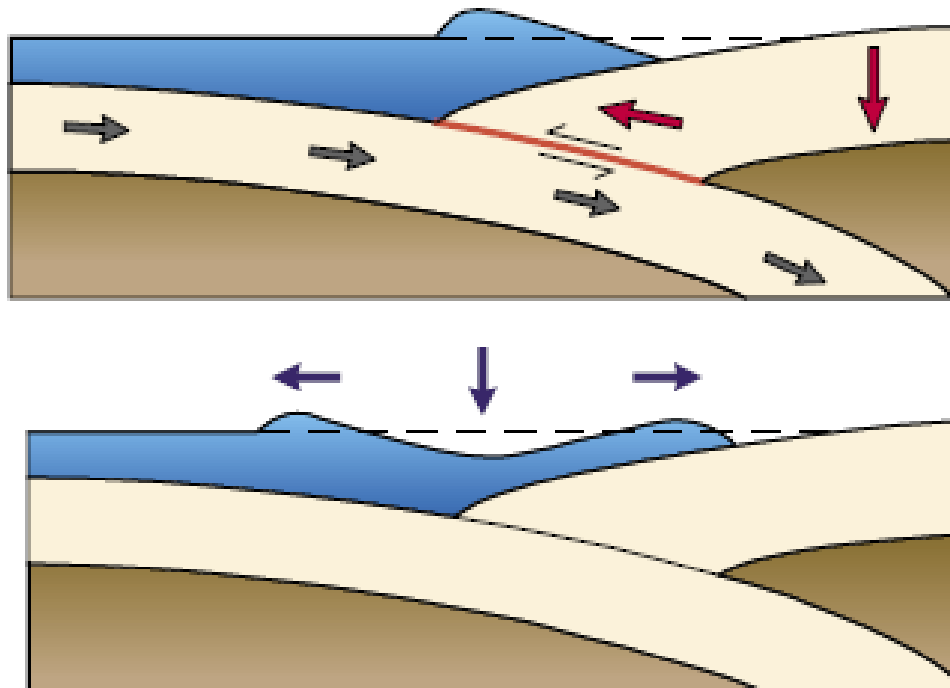
Επιπτώσεις στον παράκτιο χώρο

- Αναρρίχηση κυματισμού – **κάθοδος**.
- Μεταφορά ιζημάτων, μεταβολές μορφολογίας υλικά που επιπλέουν.
- Υποσκαφή/διάβρωση εδάφους και ρευστοποίηση.
- Υδροδυναμικές φορτίσεις κατασκευών.



ΦΥΛΛΑΔΙΟ TSUNAMI

⇒ Τι είναι το τσουνάμι και πως δημιουργείται;



<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/370/1964/1505?>



Γιατί το τσουνάμι είναι τόσο επικίνδυνο; (1/2)

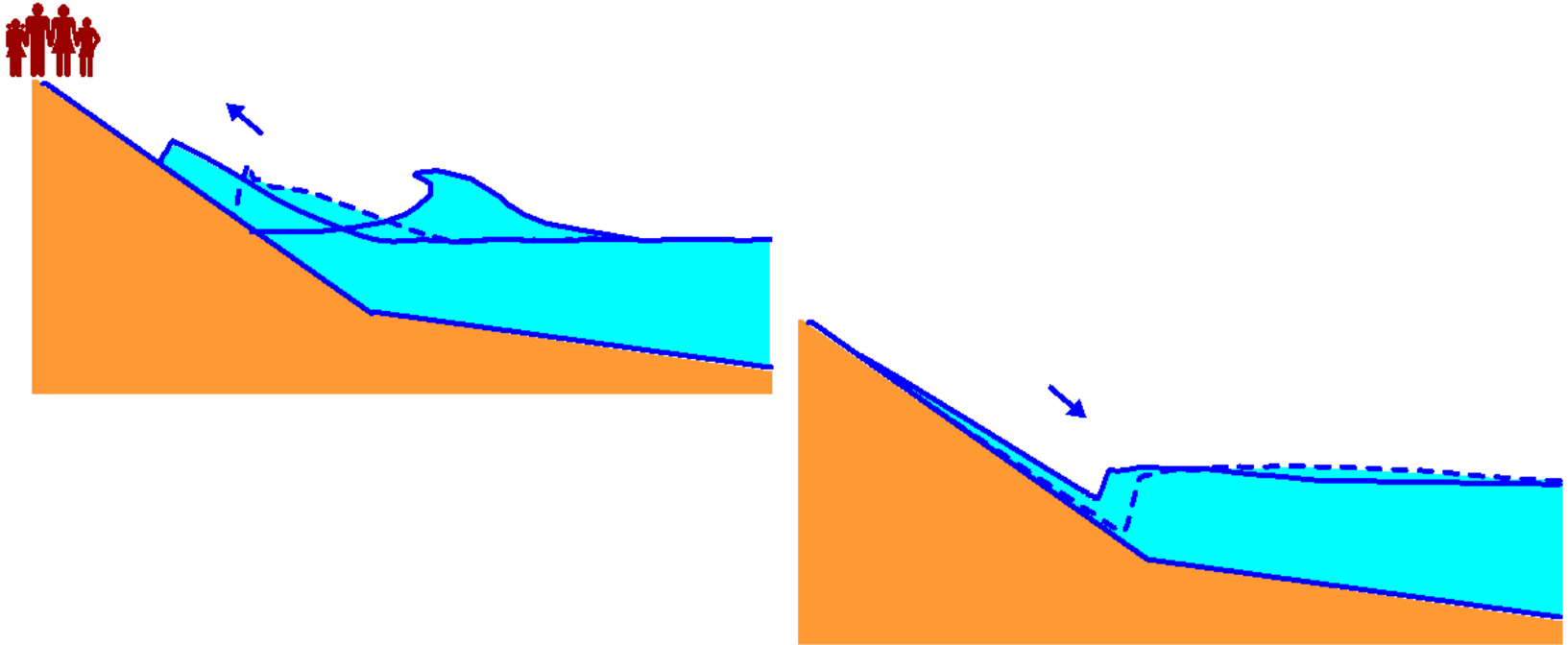
Το τσουνάμι είναι ένα κύμα με **μήκος** της τάξης χιλιομέτρων, τη στιγμή που το μήκος ενός ανεμογενούς κυματισμού είναι της τάξης των 100 μέτρων.

Η **ενέργεια** που μεταφέρεται από ένα τσουνάμι είναι πολλαπλάσια από την ενέργεια ενός ανεμογενούς κυματισμού που έχει ίδιο ύψος.

Μεταδίδεται με μεγάλες ταχύτητες (π.χ. σε ένα βάθος 1000 μέτρων η ταχύτητα μετάδοσης είναι περίπου 350 χιλιόμετρα την ώρα!) και έτσι ο χρόνος αντίδρασης είναι σημαντικά μικρός, ιδιαίτερα σε κλειστές θάλασσες.



Γιατί το τσουνάμι είναι τόσο επικίνδυνο; (2/2)



Όταν ένα τσουνάμι πλησιάσει τις ακτές αυξάνεται σημαντικά το ύψος του. Ακολουθεί η θραύση του και η αναρρίχηση του (συνήθως πολύ ψηλά στην ακτή) που συνοδεύονται από έντονα στροβιλώδεις κινήσεις που παρασέρνουν τα θύματά του (Φάση Α). Κατά την κάθοδό του προς τη θάλασσα (Φάση Β) αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες με ακόμη πιο καταστρεπτικές συνέπειες.



Δράσεις σε περίπτωση tsunamis



⇒ Υπάρχει τρόπος προστασίας;

Προφανώς δεν θα μπορούσαν να κατασκευαστούν τεράστιοι σε μήκος κυματοθραύστες για την προστασία του παράκτιου χώρου. Ο μόνος ίσως τρόπος προστασίας είναι ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης, που όμως δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί για την Ανατολική Μεσόγειο.



ΤΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΚΑΝΩ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΝΟΣ ΤΣΟΥΝΑΜΙ ;

Το τσουνάμι μπορεί να συμβεί οποιαδήποτε στιγμή.

Εάν είσαι κοντά σε μια ακτή και νιώσεις ισχυρό σεισμό ή αντιληφθείς σημαντική διαταραχή στη θάλασσα (ακόμη και υποχώρησή της) ή ακούσεις ένα βουητό τότε:

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΟΥ ΓΡΗΓΟΡΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΗ ΜΕ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΝΔΟΧΩΡΑ. Μη καθυστερείς καθόλου. Εγκατέλειψε τα άχρηστα αντικείμενα που έχεις μαζί σου. Προτίμησε πεζός ή ένα σίγουρο μέσο (οι δρόμοι μπορεί να έχουν καταστραφεί). Καλό θα ήταν να έχεις εκτιμήσει εκ των προτέρων τρόπο και διαδρομή διαφυγής.



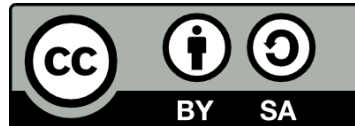
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Καραμπάς Θεοφάνης.
«Τσουνάμι (θαλάσσιο σεισμογενές κύμα)». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://eclass.auth.gr/courses/OCRS318/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

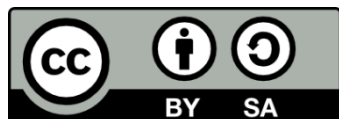
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: <Μαυρίδου Σοφία>
Θεσσαλονίκη, <Χειμερινό Εξάμηνο 2013-2014>



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

