



Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε το σύνδεσμο: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

# ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

## *Φυσικοί κίνδυνοι: πλημμύρες*

Δρ. Βασίλης Μπέλλος

Η πλημμύρα ως φυσικός κίνδυνος

# Κίνδυνοι

- **Φυσικοί**
  - Γεωφυσικοί
  - Μετεωρολογικοί
  - Υδρολογικοί
  - Κλιματολογικοί
  - Βιολογικοί
  - Εξωγήινοι
- **Τεχνολογικοί**

# Φυσικοί κίνδυνοι

*Γεωφυσικοί*



*Μετεωρολογικοί*



*Υδρολογικοί*



*Κλιματολογικοί*



*Βιολογικοί*



*Εξωγήινοι*

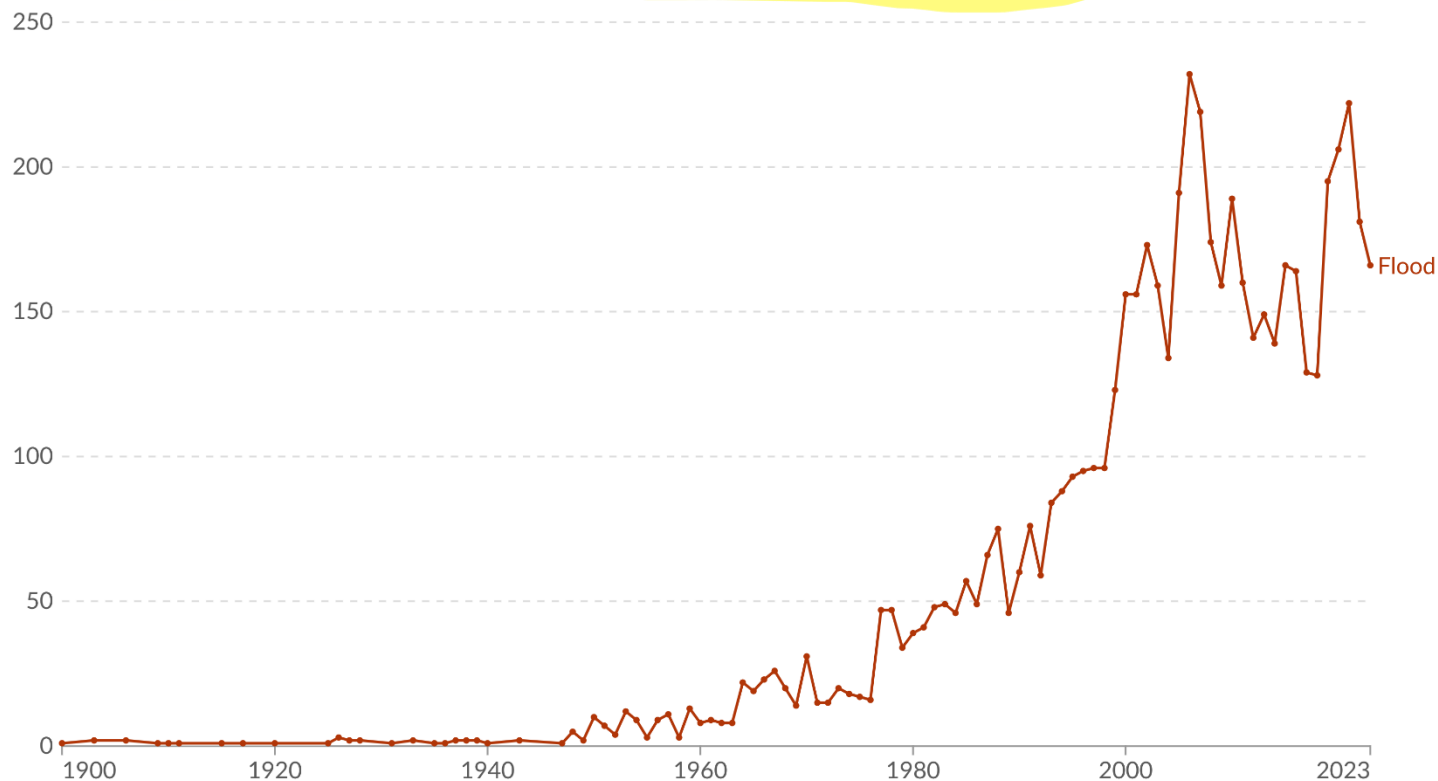


# Αυξάνονται οι πλημμύρες;

## Number of recorded natural disaster events, 1900 to 2023

Our World  
in Data

The number of global reported natural disaster events in any given year. Note that this largely reflects increases in data reporting, and should not be used to assess the total number of events.



- Η ταξινόμηση σε κλάσεις επιπτώσεων έχει μια υποκειμενική διάσταση (χαμήλη, μέση, υψηλή)

Data source: EM-DAT, CRED / UCLouvain (2024)

OurWorldinData.org/natural-disasters | CC BY

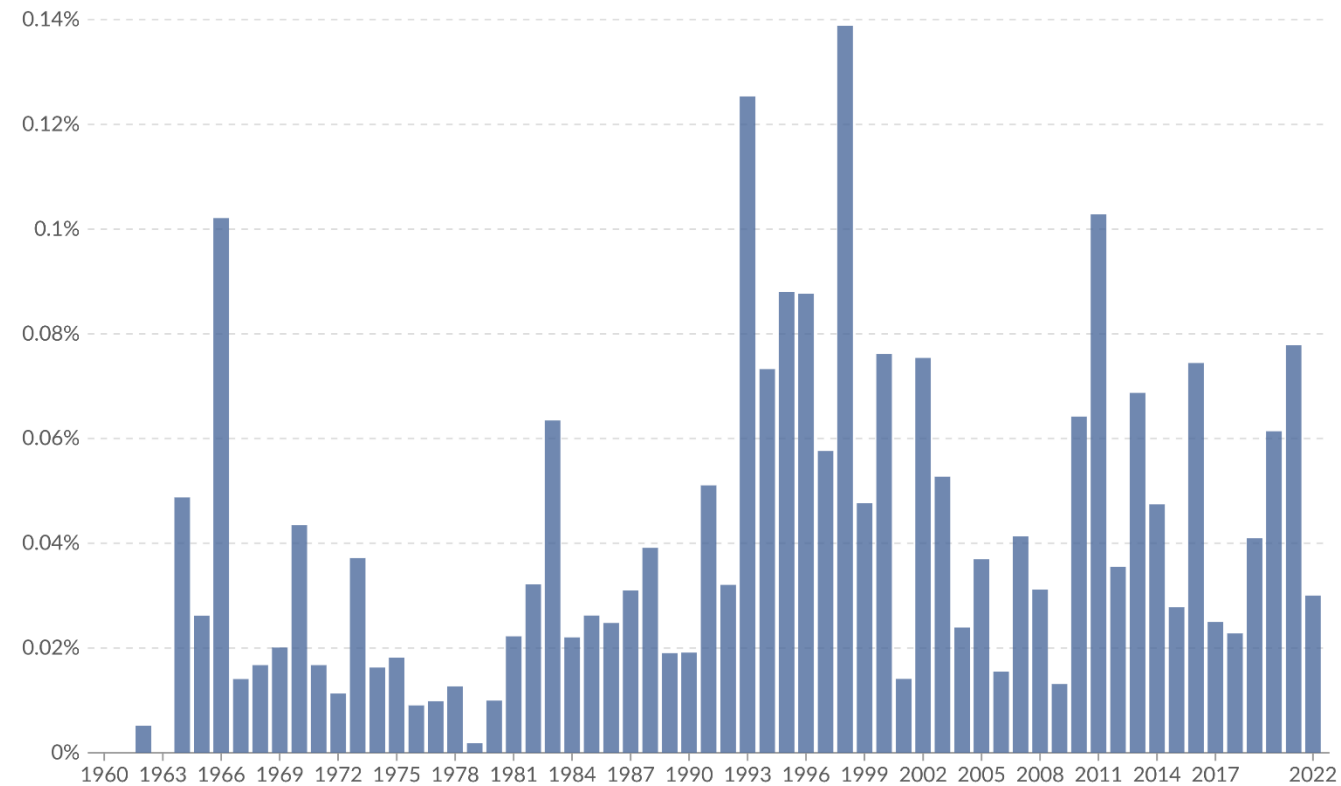
Note: Data includes disasters recorded up to April 2024.

# Έμμεσοι δείκτες

- Οικονομικό αποτύπωμα
- Συνολικός πληθυσμός που επηρεάστηκε
- Αριθμός αστέγων
- Αριθμός ανθρώπων που χρήζουν βοήθειας
- Αριθμός τραυματιών
- Αριθμός νεκρών

# Οικονομικό αποτύπωμα

Total economic damages from floods as a share of GDP, World



Data source: Our World in Data based on EM-DAT, CRED / UCLouvain, Brussels, Belgium – [www.emdat.be](http://www.emdat.be) (D. Guha-Sapir)

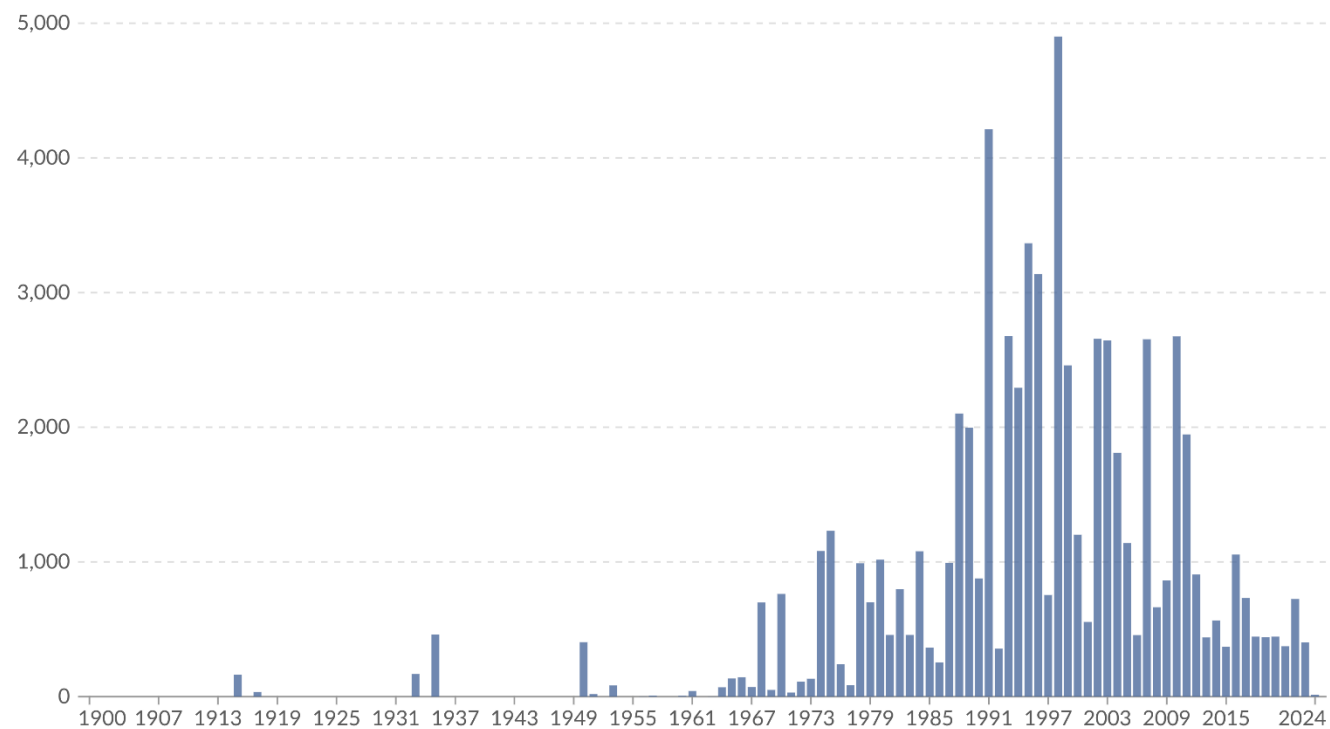
CC BY

# Πληθυσμός που επηρεάστηκε

## Total number of people affected by floods per 100,000, World

Our World  
in Data

The total number of people affected is the sum of injured, requiring assistance and homeless.



Data source: Our World in Data based on EM-DAT, CRED / UCLouvain, Brussels, Belgium – [www.emdat.be](http://www.emdat.be) (D. Guha-Sapir)

CC BY

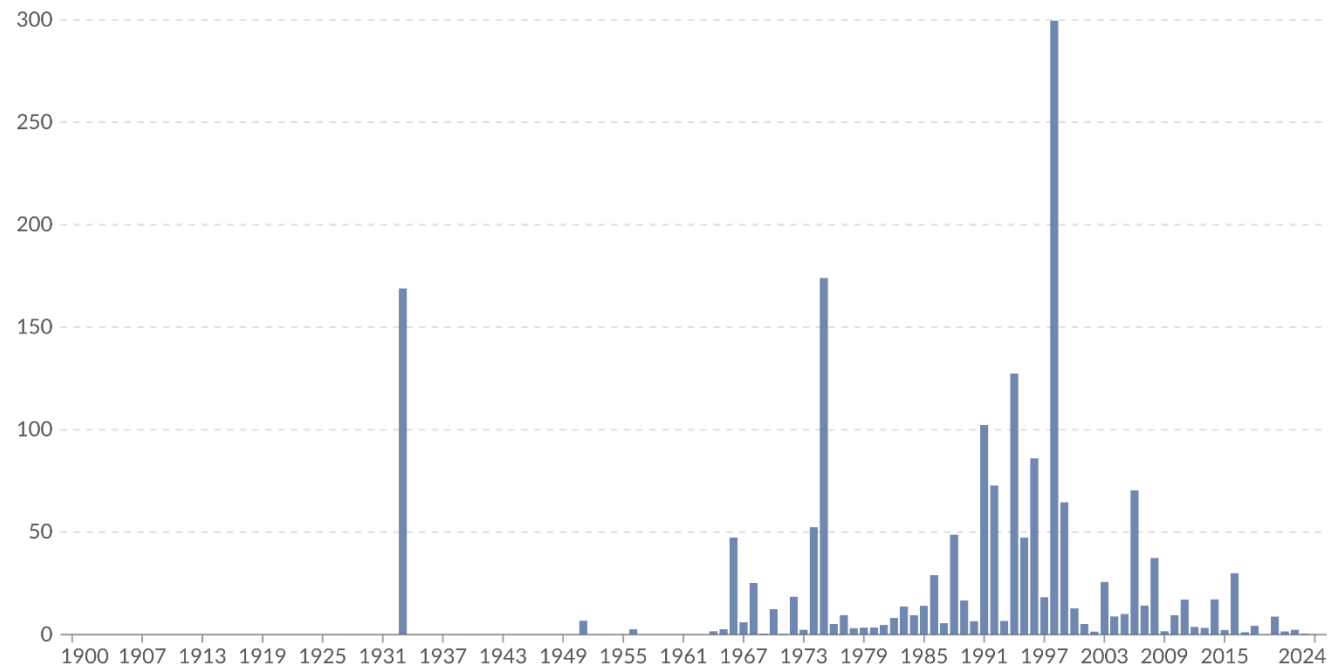
Note: Data includes disasters recorded up to April 2024.

# Αριθμός αστέγων

## Homelessness rate from floods, World



Homeless rates are measured as the number of people left homeless per 100,000. Disasters include all geophysical, meteorological and climate events including earthquakes, volcanic activity, landslides, drought, wildfires, storms, and flooding.



Data source: Our World in Data based on EM-DAT, CRED / UCLouvain, Brussels, Belgium – [www.emdat.be](http://www.emdat.be) (D. Guha-Sapir)

CC BY

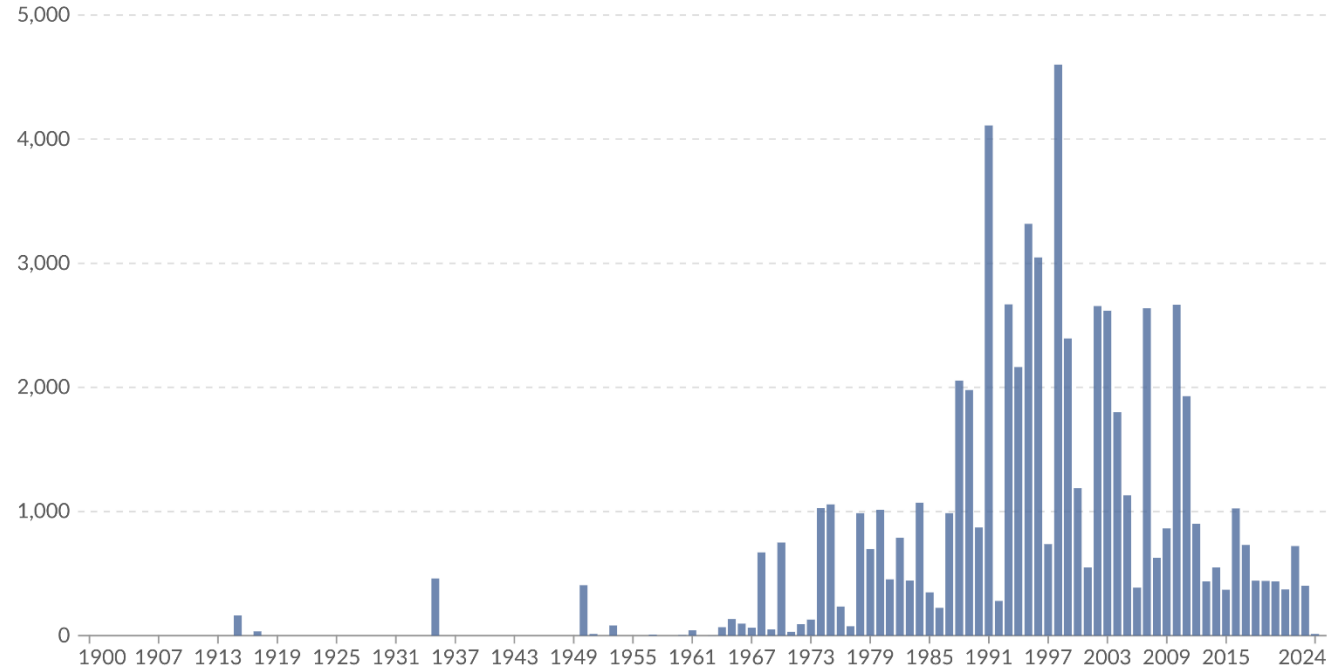
Note: Data includes disasters recorded up to April 2024.

# Αριθμός ανθρώπων που χρήζουν βοήθειας

## Rate of people requiring immediate assistance during floods, World

Our World  
in Data

Rates are measured as the number of people requiring assistance per 100,000. Disasters include all geophysical, meteorological and climate events including earthquakes, volcanic activity, landslides, drought, wildfires, storms, and flooding.



Data source: Our World in Data based on EM-DAT, CRED / UCLouvain, Brussels, Belgium – [www.emdat.be](http://www.emdat.be) (D. Guha-Sapir)

CC BY

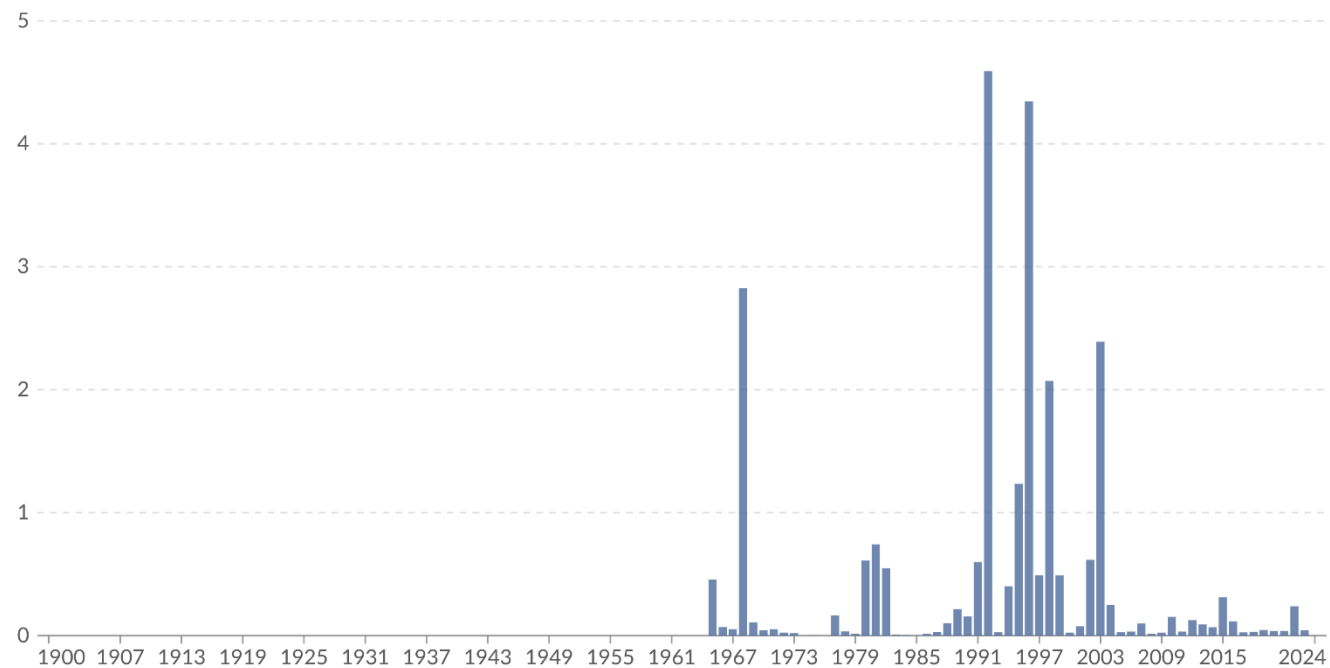
Note: Data includes disasters recorded up to April 2024.

# Τραυματίες

## Injury rate from floods, World

Our World  
in Data

Injury rates are measured as the number of people injured per 100,000. Disasters include all geophysical, meteorological and climate events including earthquakes, volcanic activity, landslides, drought, wildfires, storms, and flooding.



Data source: Our World in Data based on EM-DAT, CRED / UCLouvain, Brussels, Belgium – [www.emdat.be](http://www.emdat.be) (D. Guha-Sapir)

CC BY

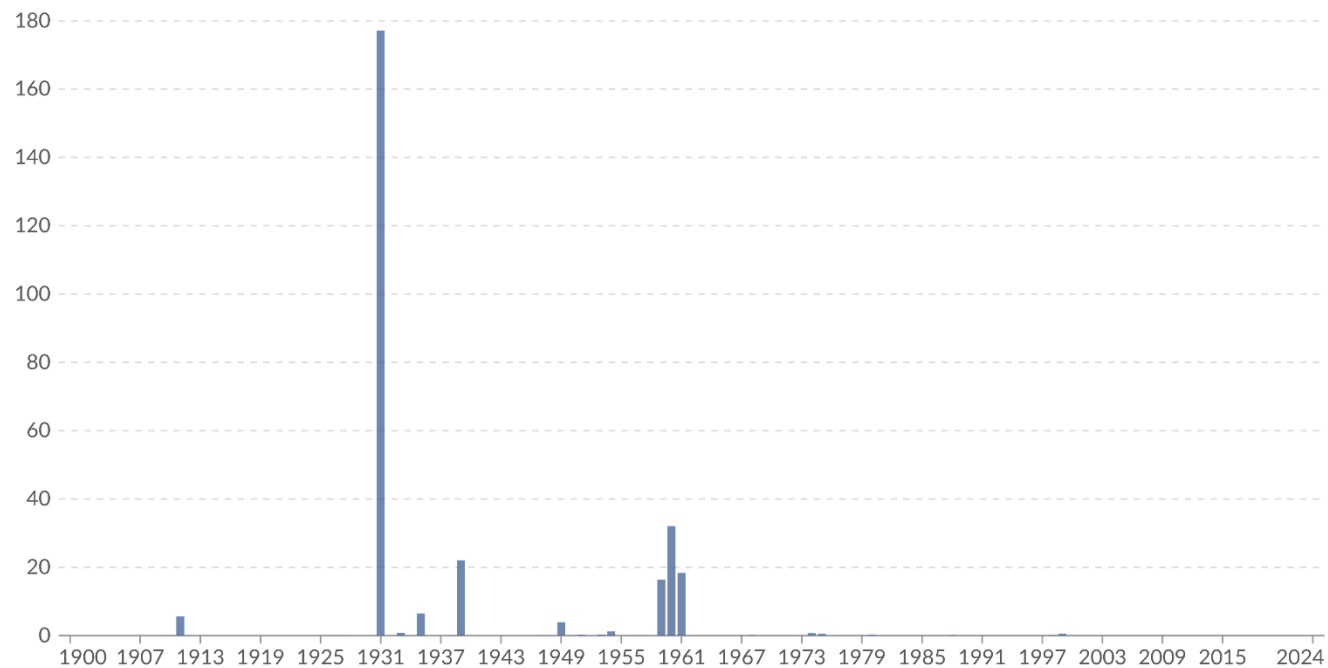
Note: Data includes disasters recorded up to April 2024.

# Νεκροί

## Death rate from floods, World

Our World  
in Data

Death rates are measured as the number of deaths per 100,000. Disasters include all geophysical, meteorological and climate events including earthquakes, volcanic activity, landslides, drought, wildfires, storms, and flooding.



Data source: Our World in Data based on EM-DAT, CRED / UCLouvain, Brussels, Belgium – [www.emdat.be](http://www.emdat.be) (D. Guha-Sapir)

CC BY

Note: Data includes disasters recorded up to April 2024.

# Ταξινόμηση

- **Μηχανισμός**

- Υπερχείλιση ποταμού
- Άμεση λόγω βροχόπτωσης
- Παράκτια ζώνη

- **Έναυσμα**

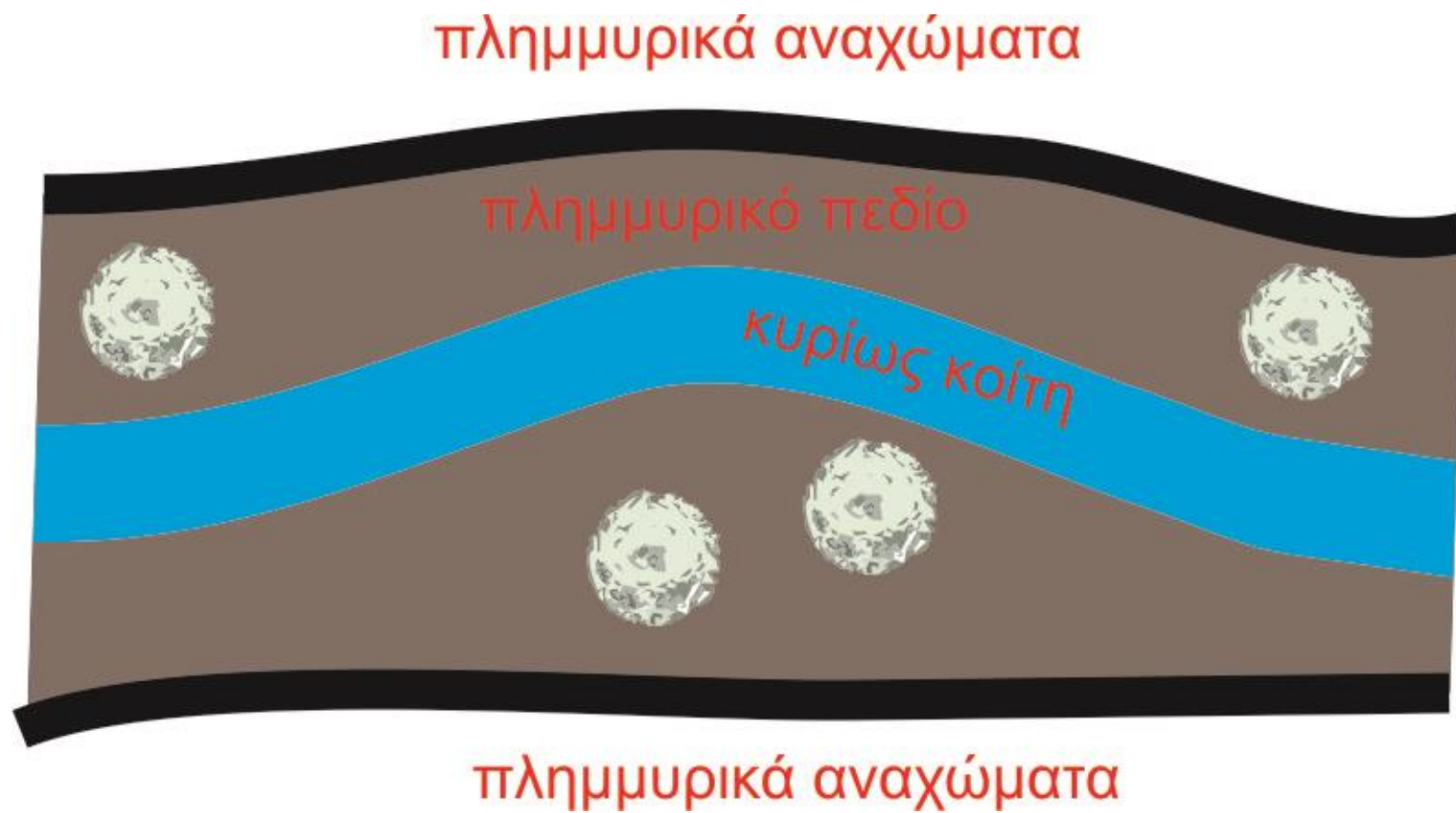
- Μετεωρολογία (κυρίως η βροχόπτωση)
- Γεωλογία (σεισμοί, κατολισθήσεις)
- Άνθρωπος (αστοχίες έργων, πολεμικές ενέργειες, ...)

- **Χρόνος απόκρισης**

- Ταχεία
- Μέση
- Βραδεία

# Υπερχείλιση ποταμού

- Ο πιο κλασικός μηχανισμός
- Ο κάθε ποταμός διακρίνεται σε
  - Κυρίως κανάλι
  - Πλημμυρικό πεδίο
- Υπέρβαση ενός κατωφλίου → πλημμύρα



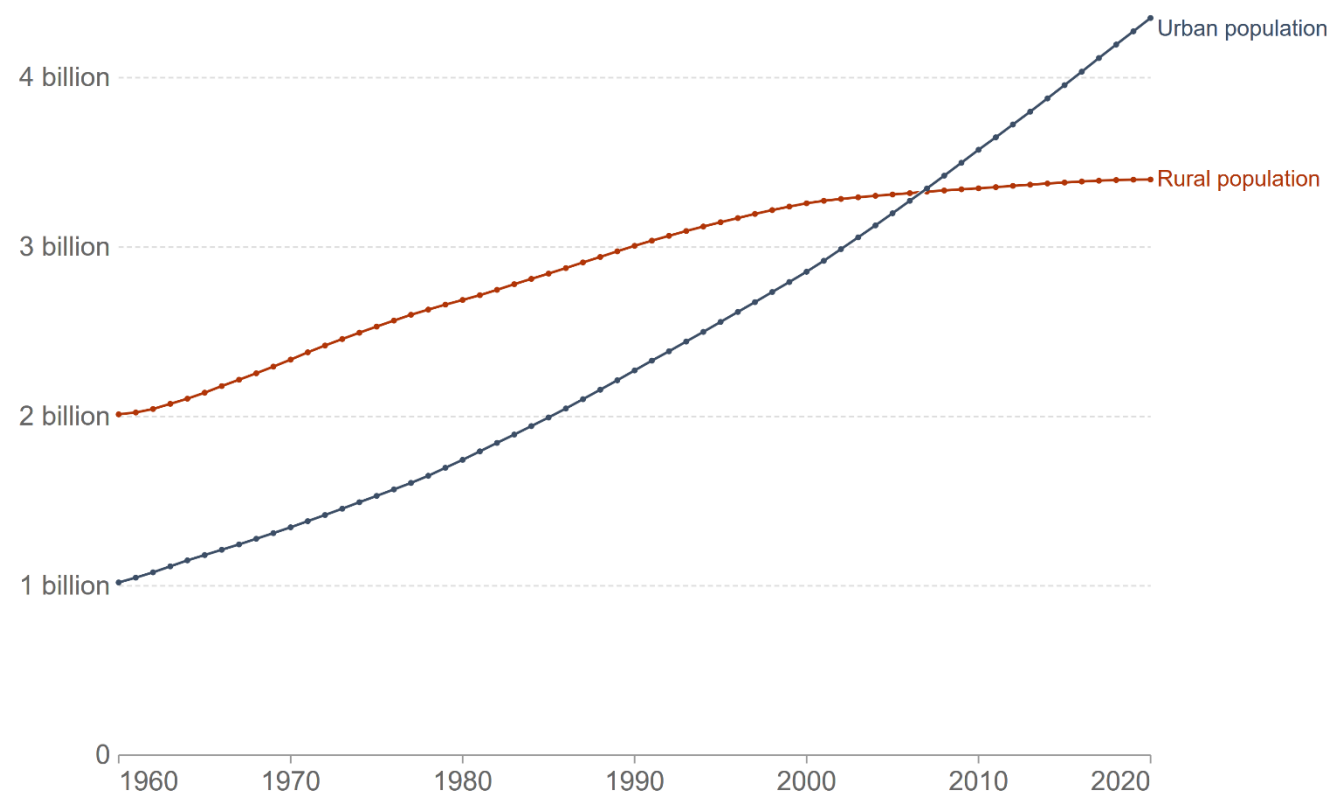
# Άμεση βροχόπτωση

- Κυρίως σε δομημένο περιβάλλον
- Αποτέλεσμα της αστικοποίησης
- Αδυναμία του αποχετευτικού δικτύου να παραλάβει τον όγκο βροχής
- Η πόλη μετατρέπεται σε ένα υδρογραφικό δίκτυο που ορίζεται από τα στοιχεία της
- Το νερό έχει μνήμη!

# Αστικοποίηση

Number of people living in urban and rural areas, World

Our World  
in Data



Source: World Bank based on data from the UN Population Division

OurWorldInData.org/urbanization • CC BY

Note: Urban populations are defined based on the definition of urban areas by national statistical offices.

# Αστικοποίηση στην Ελλάδα

- Τα κλασικά εγχειρίδια υδρολογίας αναφέρονται στην επίδραση της αστικοποίησης στις πλημμύρες ήδη από τη δεκαετία του '50

- Στο δημόσιο λόγο υπάρχουν αναφορές ακόμα και από το 19<sup>ο</sup> αιώνα!

Βξετάσωμεν ἤδη ὅποια ἡ σημερινή τῆς κοίτης τῶν χειμάρρων κατάστασις καί πῶς τό χυνόμενον ἐν αὐτοῖς ὑέτιον ὕδωρ ῥέει πρός τήν Φαληρικὴν θάλασσαν.

Διατρέχων τις τὰς κοίτας τῶν δύο Ἀθηναϊκῶν χειμάρρων ἀπό τῶν ὑψηλοτέρων σημείων, μέχρι τῆς ἐκβολῆς αὐτῶν εἰς τήν θάλασσαν, μετ' ἐπιστάσιος δι' ἐξετάζων ταύτας καί τὰ τῆς κατασκευῆς ἐπ' αὐτῶν γεφυρῶν καί ἄλλων τεχνικῶν ἔργων, δέν θέλει βεβαίως ἀπορήσει πῶς τοσαύτας καταστροφάς ἐπροξένησαν αἱ γενόμεναι ἐπ' ἐσχάτων πλήμμυραι.

Οὐδεμία ἀπολύτως φροντίς ἐλήφθη οὐδέ καί ἔργον τι ἐξετελέσθη μέχρι σήμερον, ἐπὶ τῷ σκοπῷ τῆς κανονικῆς διαρρυθμίσεως τῶν χειμάρρων Ἰλισσοῦ καί Κηφισσοῦ.

τὰ δέ κατασκευασθέντα μέχρι τοῦ νῦν ἐπὶ τῶν χειμάρρων τούτων τεχνικά ἔργα, ἅπαντα ἀμελετήτως ἐγένοντο.

Ὁ Κηφισσός ἀπό τῶν Σεπολίων καί τῆς Κολοκυνθοῦς διερχόμενος διατρέχει τόν Ἐλαιῶνα καί ἐκεῖθεν ἐκδίδει πλησίον τοῦ Νέου Φαλήρου, ὑπὸ τήν γέφυραν τοῦ τροχιοδρόμου, εἰς τήν θάλασσαν.

Ὁ δέ Ἰλισσός ἀπό τῶν ὑπρειῶν τοῦ Ὑμηττοῦ κατερχόμενος καί ῥέων παρά τό στάδιον καί τό Ὀλυμπιεῖον διέρχεται πλησίον τῶν Σφαγείων καί διευθύνεται πρός τόν Ἐλαιῶνα ὅπου ἐνοῦται μετά τοῦ Κηφισσοῦ.

Αἱ παρά τὰς κοίτας ἀμφοτέρων τῶν χειμάρρων γαῖαι κατελήφθησαν ὑπὸ διαφόρων παροχθίων, ἡ δέ παράνομος αἴτη ἰδιοποιήσις δημοσίου ἐδάφους ἔσχεν ὡς ἀποτέλεσμα εἰς πολλά τμήματα καί τῶν δύο χειμάρρων, ἰδίως τοῦ Ἰλισσοῦ, τήν σμίκρυνσιν τοῦ πλάτους τῶν κοιτῶν εἰς δύο ἢ καί ἔν μόλις μέτρον, πρός μέγιστον κίνδυνον τῶν πλησίων ἢ τῶν πρός τ' ἀνάντη οἰκούντων.

**Πηγή:** Αγγελόπουλος, Η.Ι. (1898). *Περί των πλημμυρών εν τω λεκανοπεδίω Αθηνών-Πειραιώς. Ιστορικό Αρχείο Τοπικής Αυτοδιοικήσεως Κώστα Π. Παντελόγλου, Εκδόθηκε από τον Π. Παντελόγλου (2018).*

# Στατιστικά στοιχεία (Ελλάδα)

**1970-2010**

- 53 πλημμυρικά γεγονότα με απώλειες
- 151 νεκροί
- Οι περισσότεροι νεκροί στο μητροπολιτικό συγκρότημα της Αθήνας → αστικοποίηση
- Ρεκόρ → 44 νεκροί το 1977 (39 στην Αττική)

# «Μπάλος»



# Παράκτια ζώνη

- **Αστρονομική παλίρροια**
  - Βαρυτική έλξη σελήνης και ήλιου
- **Μετεωρολογική παλίρροια**
  - Ακραίο καιρικό γεγονός
- **Τσουνάμι**
  - Παλιρροιακό κύμα μεγάλου μήκους
  - Προκαλείται ή από σεισμό ή από υποθαλάσσια κατολίσθηση

# Αστρονομική παλίρροια



# Μετεωρολογική παλίρροια



# Τσουνάμι



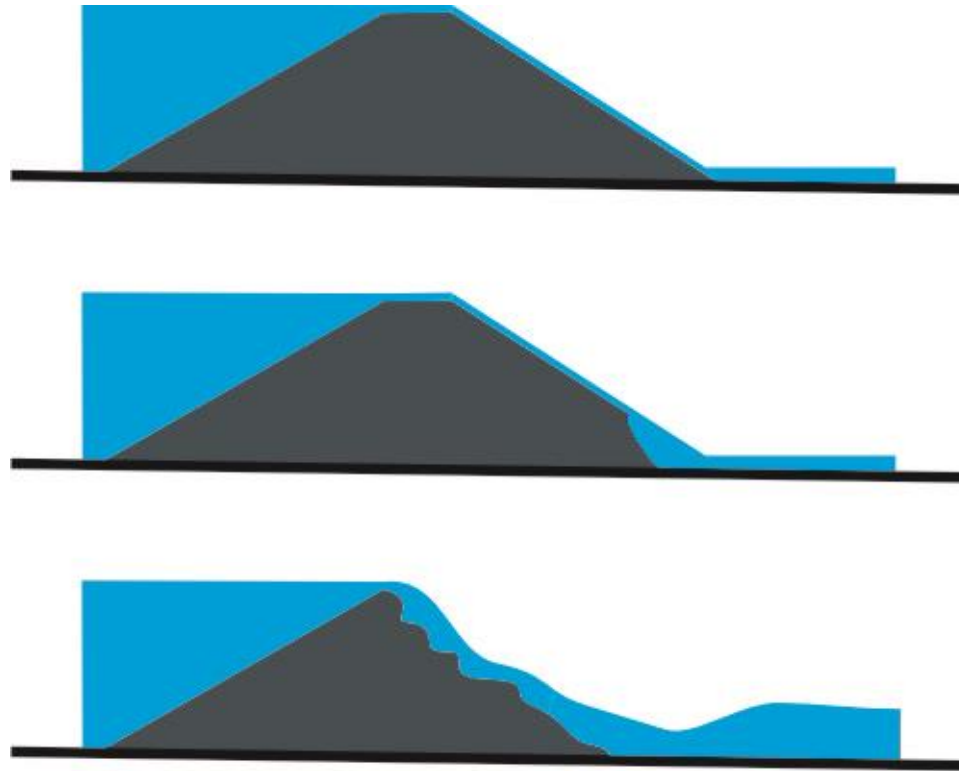
# Αστοχία τεχνικού έργου

- **Τεχνικά έργα**
  - Αναχώματα
  - Φράγμα
- **Δημιουργία πλημμυρικού κύματος**
- **Έντονο και ακραίο γεγονός**
- **Μεγάλες αβεβαιότητες**
- **Ολοκληρωμένη προσομοίωση**

# Μηχανισμοί αστοχίας

- **Υπερπήδηση (overtopping)**
  - αδυναμία διοχέτευσης πλημμυρικού υδρογραφήματος
  - ο πλημμυρικός όγκος υπερπηδά το τεχνικό έργο
- **Διασωλήνωση (piping)**
  - διάβρωση εδάφους
  - δημιουργία ροϊκών γραμμών
  - αστοχία

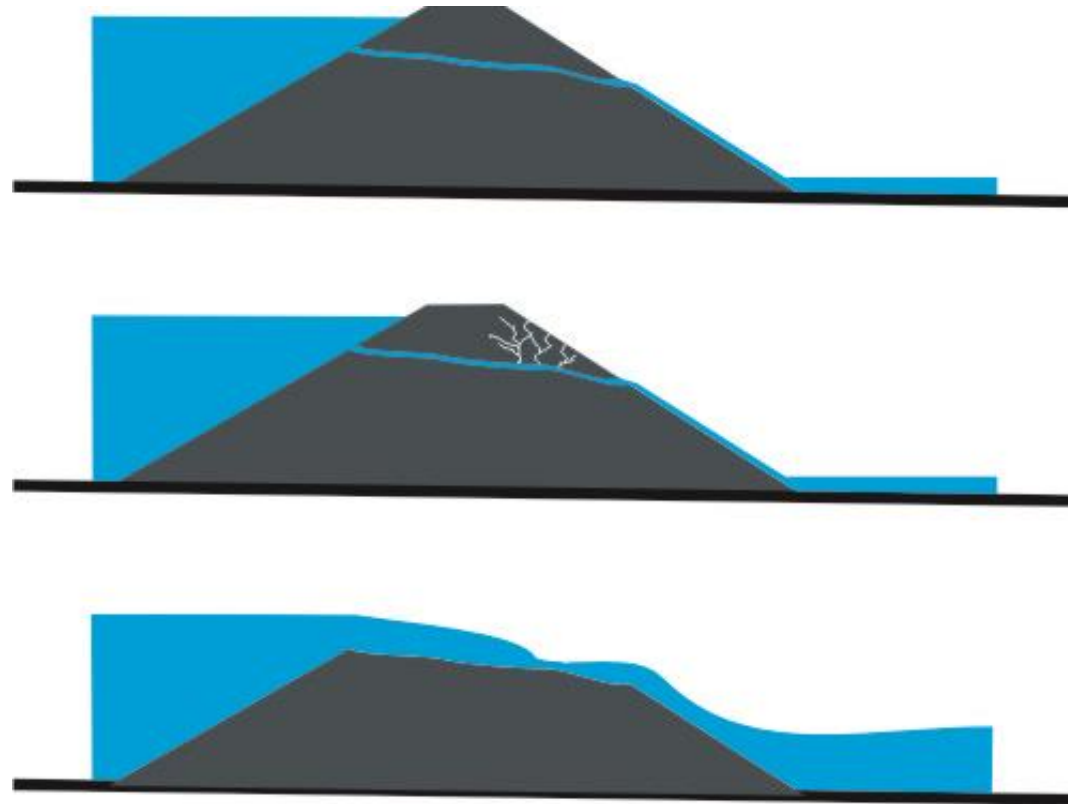
# Υπερπήδηση



# Υπερπήδηση



# Διασωλήνωση



# Διασωλήνωση

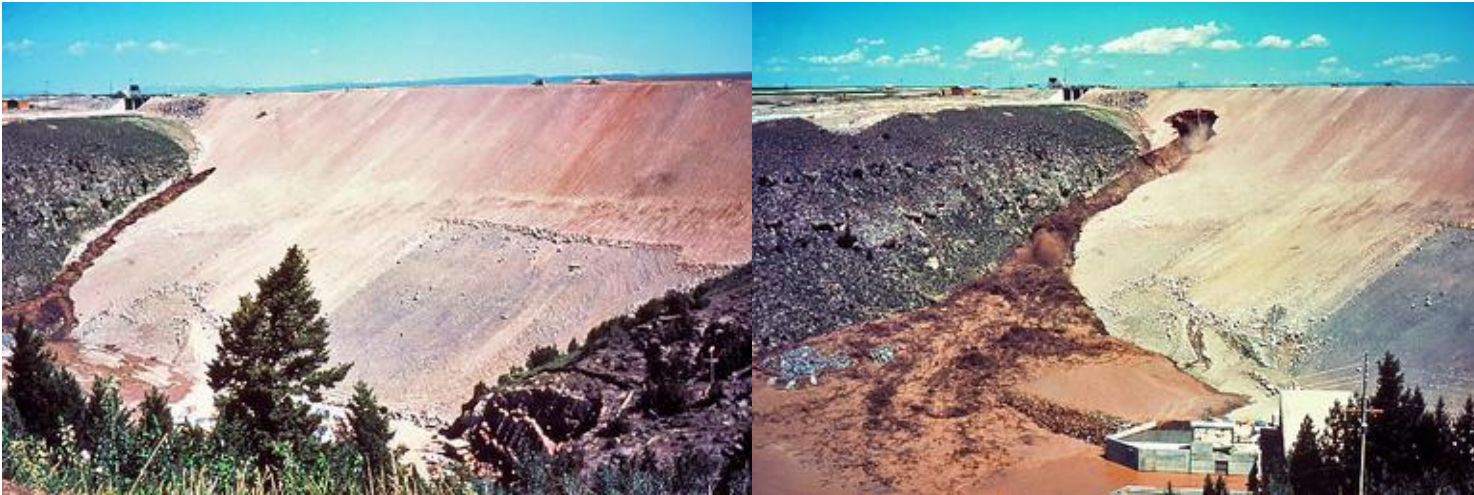
**Teton dam, 1976**



Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Teton\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Teton_Dam)

# Διασωλήνωση

**Teton dam, 1976**



Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Teton\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Teton_Dam)

# Διασωλήνωση

**Teton dam, 1976**



Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Teton\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Teton_Dam)

# Διασωλήνωση

**Teton dam, 1976**



Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Teton\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Teton_Dam)

# Αιτίες αστοχίας

## φράγματα

- Κακή ποιότητα κατασκευής (υλικά) → **Gleno dam**
- Κακός σχεδιασμός υπερχειλιστή → **South Fork dam**
- Γεωλογικές αστάθειες λόγω αλλαγής της στάθμης νερού στον ταμιευτήρα → **Malpasset dam**
- Κατολίσθηση στον ταμιευτήρα → **Vajont dam**
- Κακή διατήρηση → **Lawn Lake dam**
- Πλημμύρα με περίοδο επαναφοράς μεγαλύτερη από του σχεδιασμού → **Shakidor dam**
- Σχεδιαστικό σφάλμα → **Dale Dike reservoir**
- Διάβρωση σώματος φράγματος ή διασωλήνωση → **Teton dam**
- Σεισμός → **Shihgang dam**
- Πολεμική ενέργεια → **Edersee dam**

# Αιτίες αστοχίας

## αναχώματα

- **Αστοχία θεμελίων**
- **Διάβρωση**
  - μεγάλες παροχές
  - άνεμος
  - πτώση δέντρων
  - ναυσιπλοΐα
  - αντικείμενα που επιπλέουν
  - κτηνοτροφία!
- **Υπερπήδηση**
- **Πολεμική ενέργεια**

# Γενικές πληροφορίες

## φράγματα

- Πάνω από 100 καταγεγραμμένες περιπτώσεις
- Αρχαιότερη καταγραφή το 575 στη Σέμπα, Υεμένη (Marib dam)  
→ μετανάστευση 50000 ατόμων
- Περισσότεροι νεκροί το 1975 στην Τσουματιέν, Κίνα (Banqiao και Shimantan dams) → 171000 νεκροί
- Σχεδόν 200000 καταγεγραμμένοι νεκροί → ~6500 στην Ευρώπη
- Οι περισσότερες αστοχίες στις ΗΠΑ → 34% του συνόλου

# Γενικές πληροφορίες

## αναχώματα

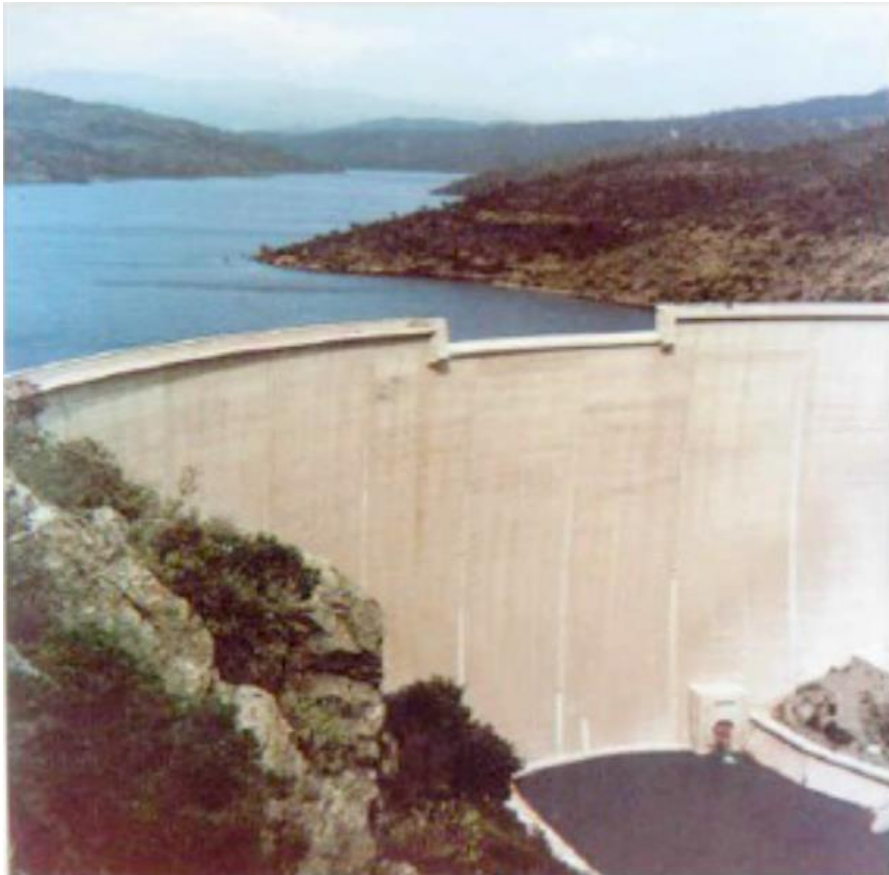
- Αρχαιότερη καταγραφή το 1421 στην Ολλανδία → 2000-10000 θύματα
- Περισσότεροι νεκροί το 1938 από την καταστροφή των αναχωμάτων του Κίτρινου ποταμού στη διάρκεια του σινο-ιαπωνικού πολέμου → 500000 νεκροί
- Τυφώνας Κατρίνα → αστοχία του καναλιού της 17<sup>ης</sup> οδού στη Νέα Ορλεάνη (~1500 θύματα)
- Περισσότερες αστοχίες → Ολλανδία, ΗΠΑ, Κίνα



# Ιστορικές αστοχίες

**Malpasset dam, 1959**

ΠΡΙΝ...



# Ιστορικές αστοχίες

**Malpasset dam, 1959**

ΠΡΙΝ...



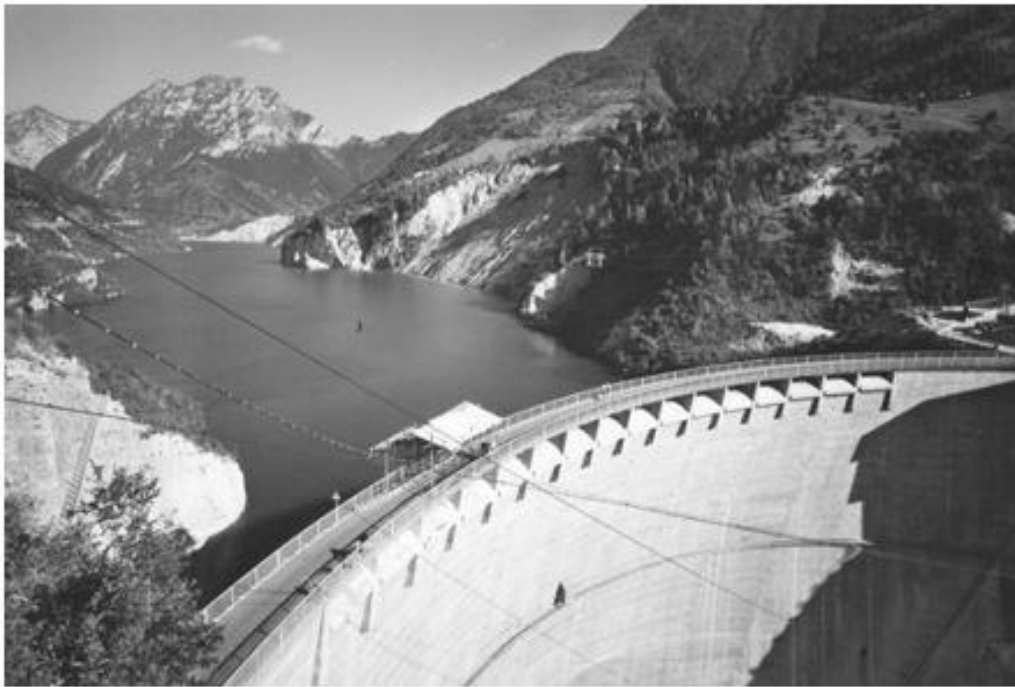
... ΚΑΙ ΜΕΤΆ



# Ιστορικές αστοχίες

**Vajont dam, 1959**

μπορεί το σώμα του φράγματος να μην πάθει τίποτα!



# Προσομοίωση



# Φράγμα από γεώδη υλικά



# Φράγμα από σκυρόδεμα



# Ελληνική νομοθεσία

- **Κανονισμός Ασφάλειας Φραγμάτων**
- **ΦΕΚ 4420/Β'/30-12-2016**
- **Ορισμός αστοχίας**
  - Η απώλεια της επιτελεστικότητας του φράγματος, ο μη έλεγχος της οποίας μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του φράγματος, ή/και να δημιουργήσει πλημμυρικό κύμα
- **Συνίσταται να εκπονηθεί μελέτη θραύσης φράγματος**

# Διαχείριση του κινδύνου

# Περί κινδύνου

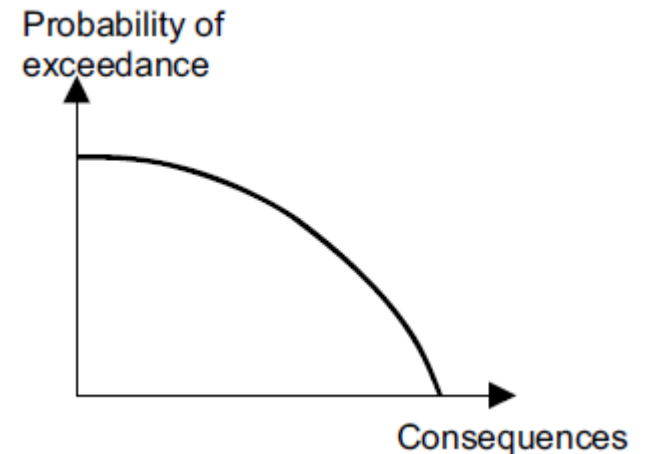
- Ο κίνδυνος δεν είναι απλά μία πιθανότητα!

$$Risk = Probability \times Impact$$

- Συνάρτηση

$$Risk = f(Hazard, Exposure, Vulnerability)$$

- Μετρείται με πολλούς τρόπους: βαθμοί, ανθρώπινες απώλειες, χρηματικό ποσό, ...



# Έννοιες

- **Επικινδυνότητα → Hazard**
  - Ο φυσικός κίνδυνος (περιλαμβάνει και την έννοια της πιθανότητας)
- **Έκθεση → Exposure**
  - Οικονομική αξία εκτεθειμένη στον κίνδυνο
- **Τρωτότητα → Vulnerability**
  - Πόσο ευάλωτο είναι ένα σύστημα

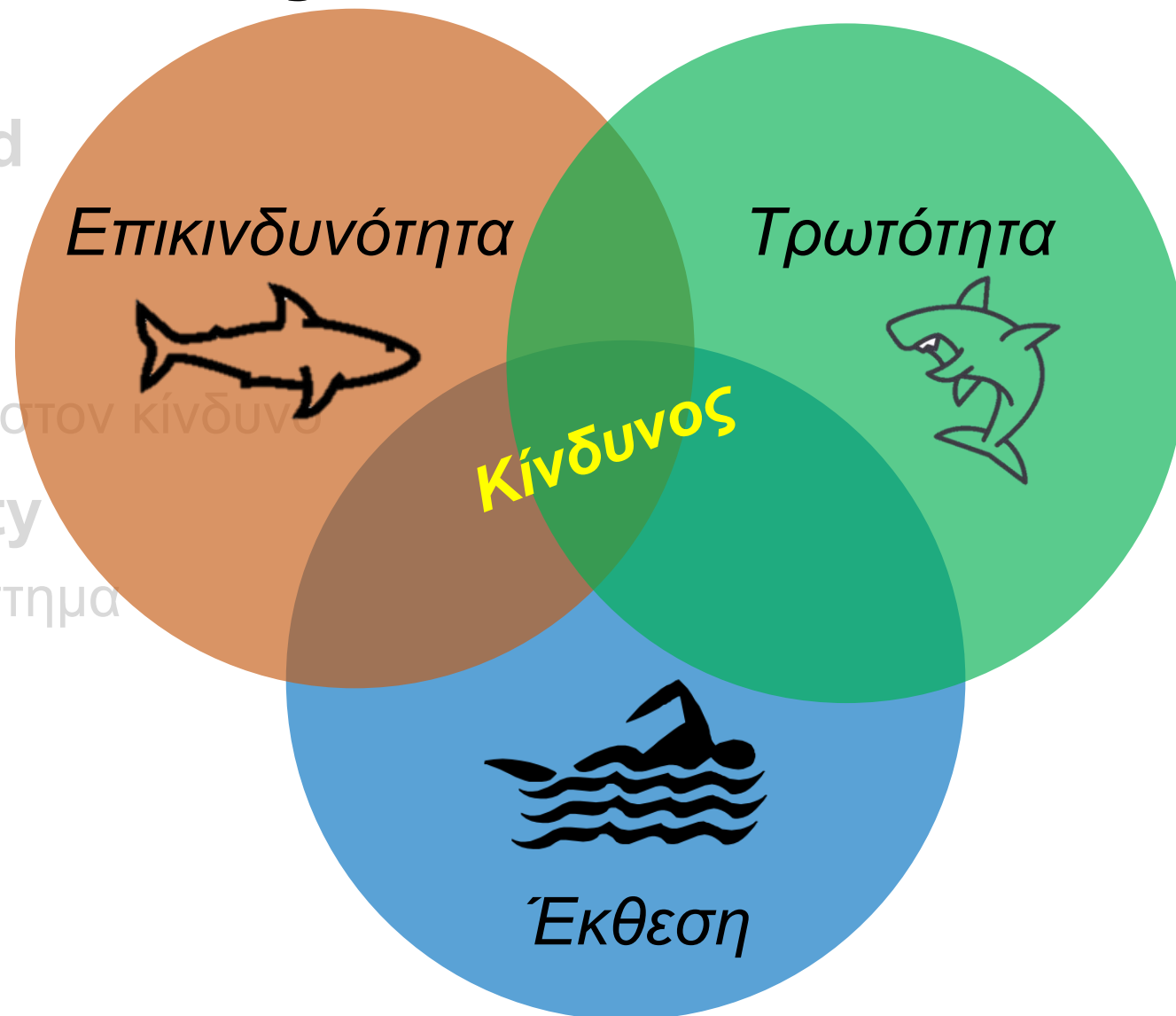
# Έννοιες

- **Επικινδυνότητα → Hazard**
  - ο φυσικός κίνδυνος
- **Έκθεση → Exposure**
  - οικονομική αξία εκτεθειμένη στον κίνδυνο
- **Τρωτότητα → Vulnerability**
  - πόσο ευάλωτο είναι ένα σύστημα

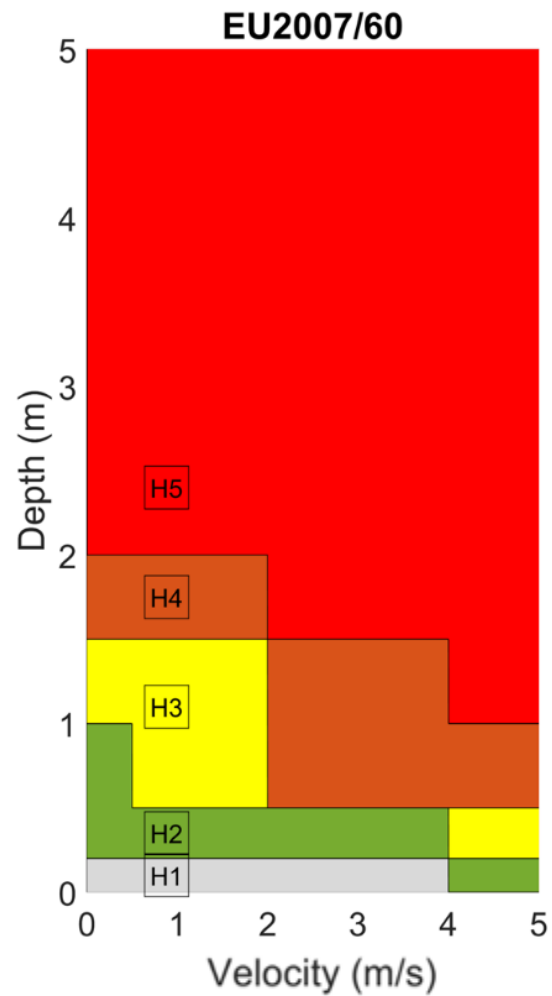
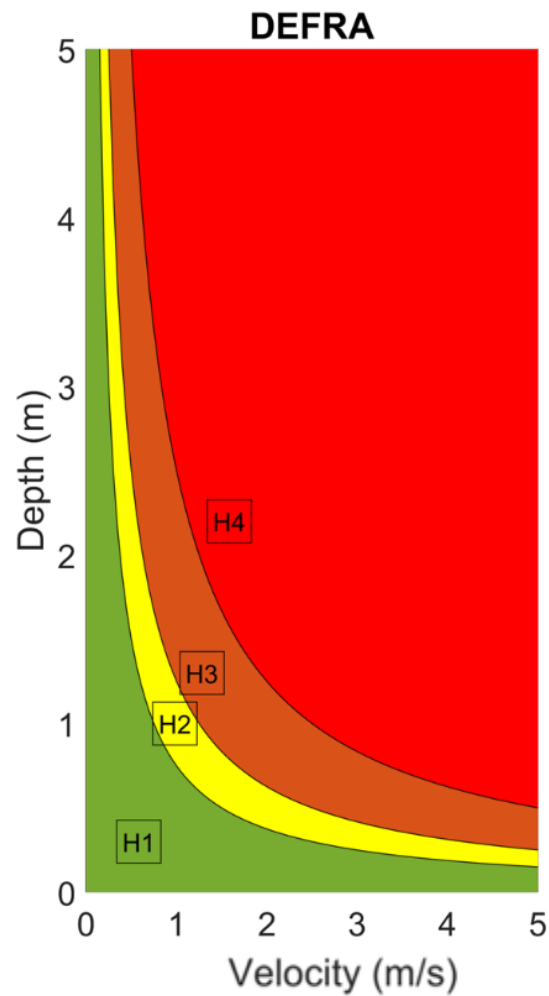
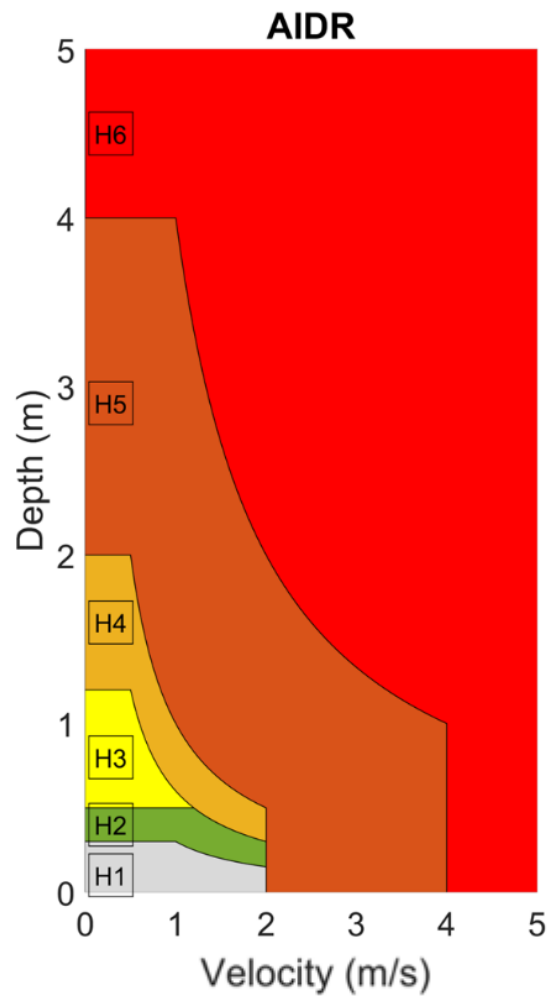


# Έννοιες

- **Επικινδυνότητα → Hazard**
  - ο φυσικός κίνδυνος
- **Έκθεση → Exposure**
  - οικονομική αξία εκτεθειμένη στον κίνδυνο
- **Τρωτότητα → Vulnerability**
  - πόσο ευάλωτο είναι ένα σύστημα



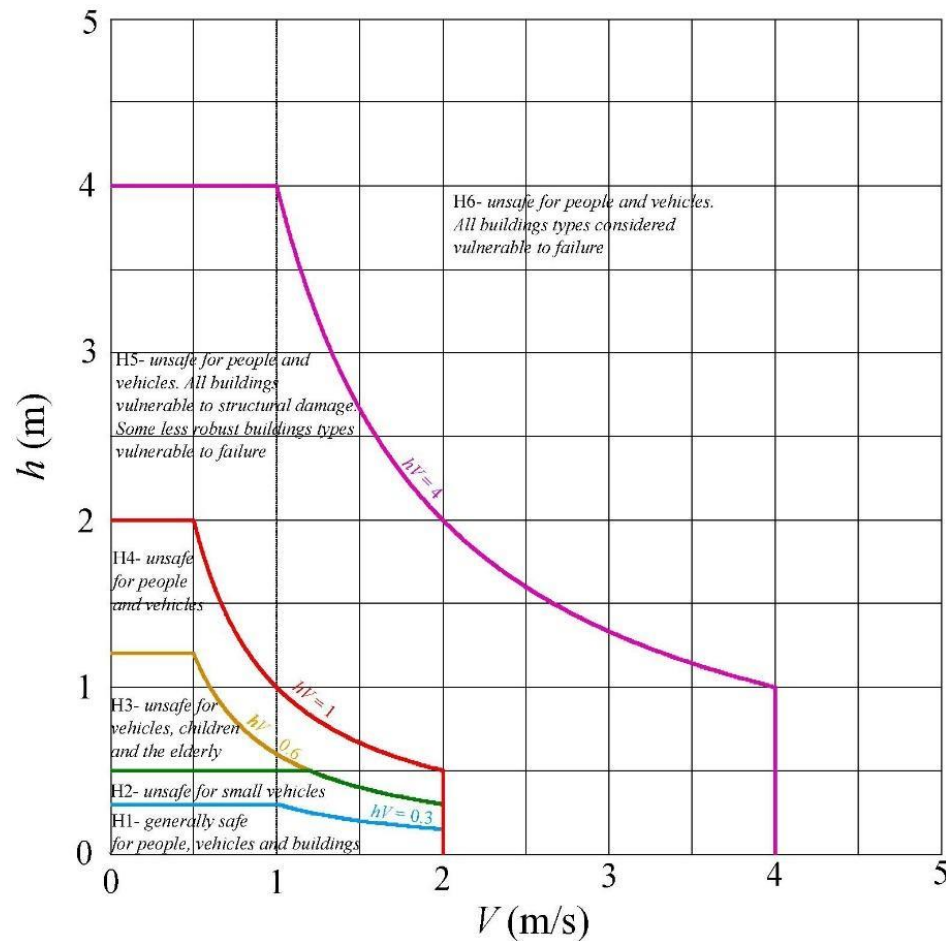
# Βαθμολογία



# Βαθμολογία

## Defra

### AIDR

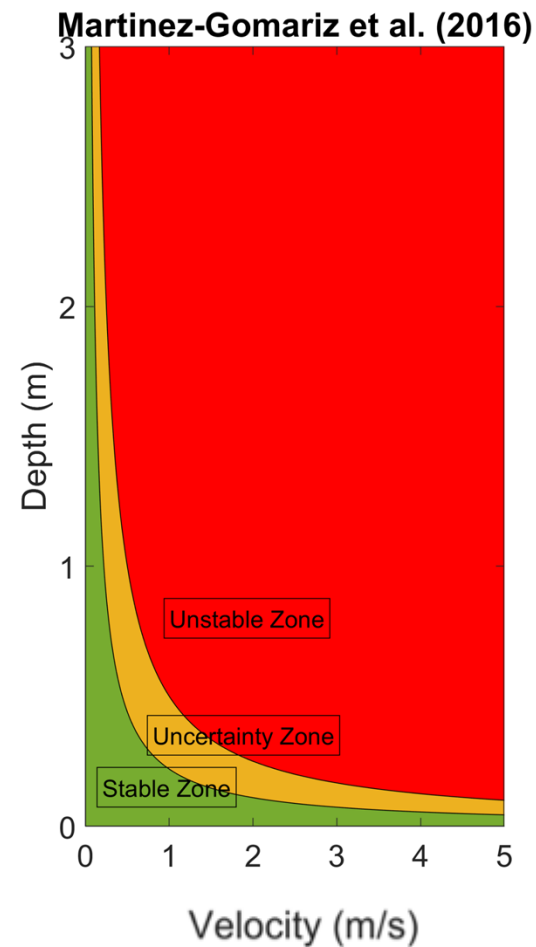
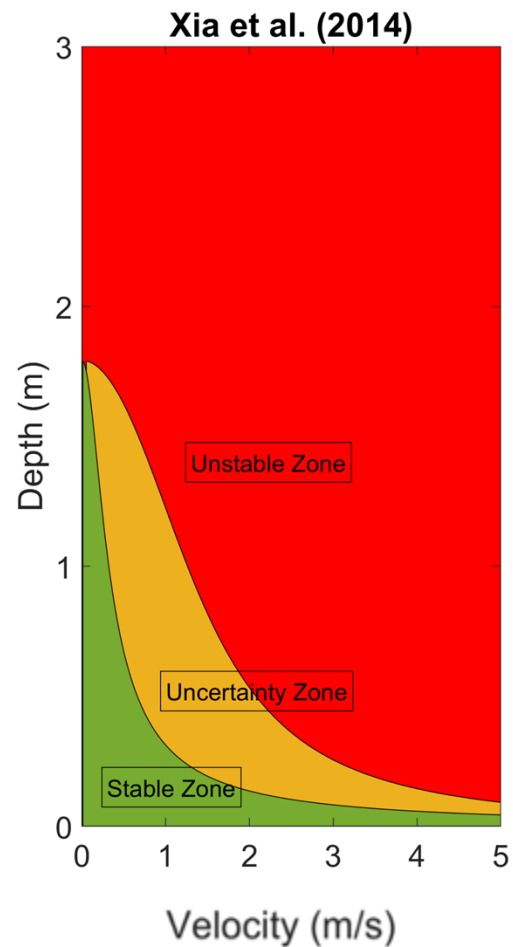
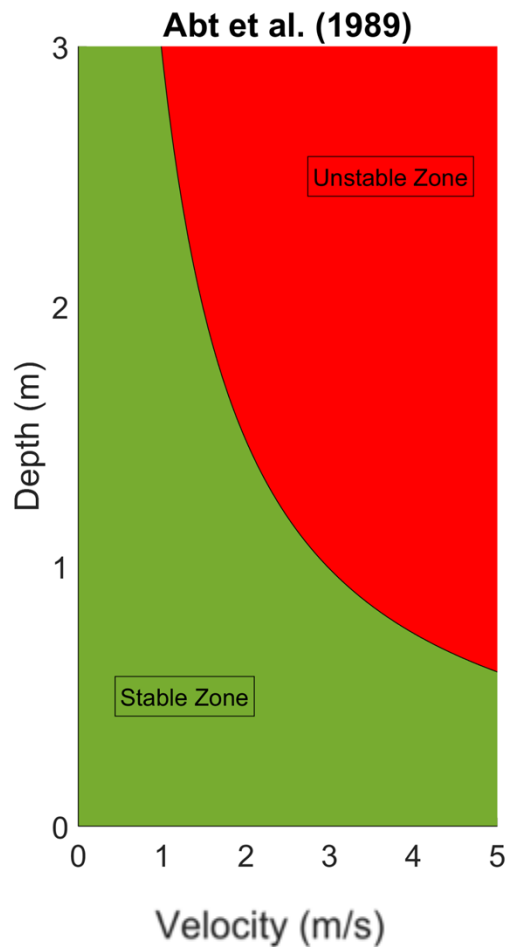


Flood hazard	Hazard to people
0	No hazard
<0.75	Low hazard
0.75-1.25	Moderate hazard
1.25-2.5	Significant hazard
>2.5	Extreme hazard

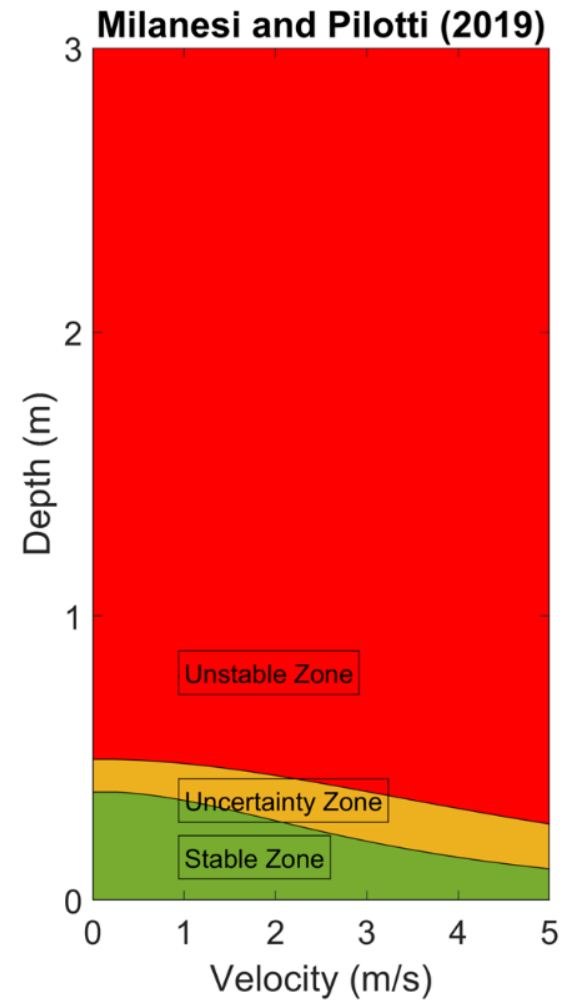
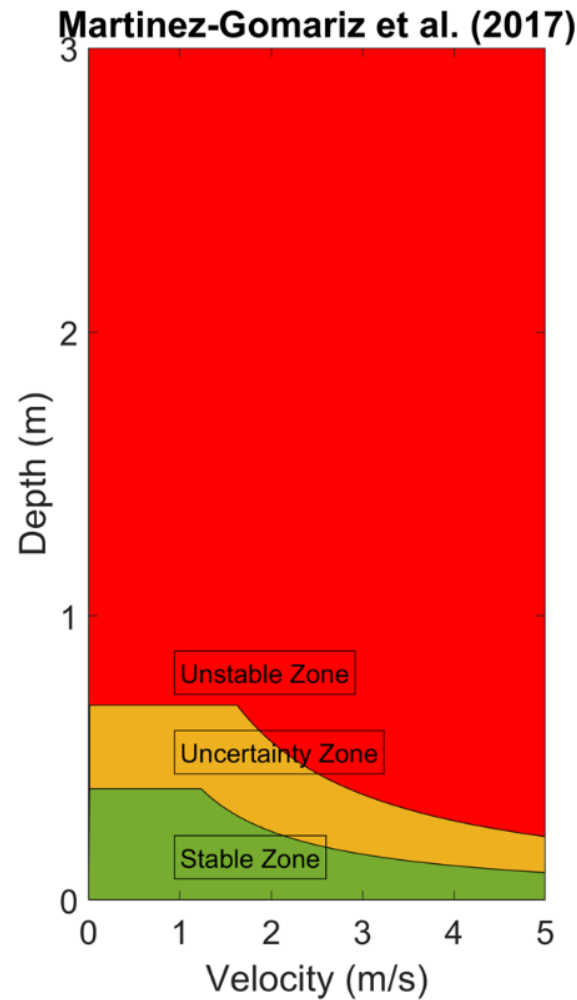
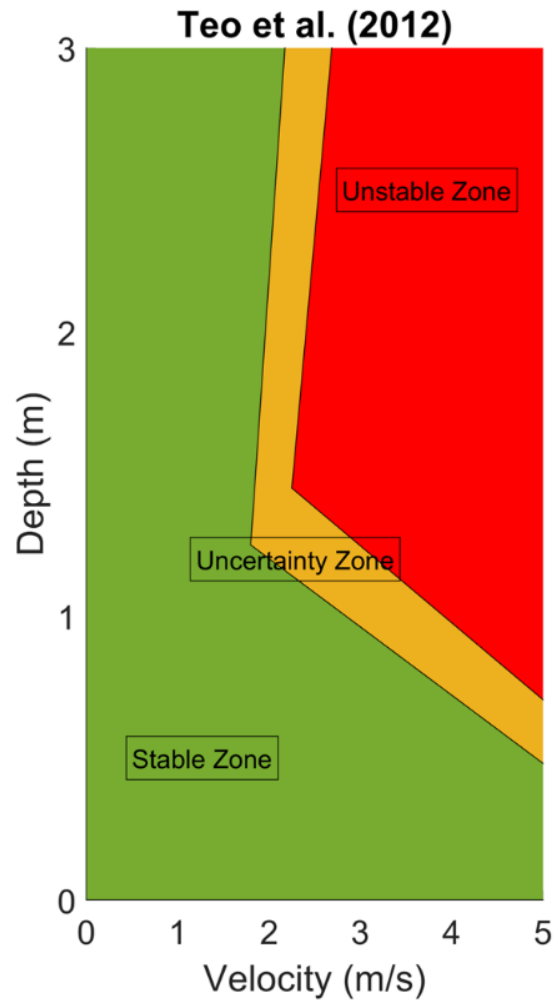
## EU 2007/60

Flood hazard	Hazard to people
0.0-0.2	Very Low hazard
0.2-0.4	Low hazard
0.4-0.6	Moderate hazard
0.6-0.8	Significant hazard
0.8-1.0	Extreme hazard

# Ανθρώπινες απώλειες



# Παράσυρση οχημάτων



# Κίνδυνος

- Εύρεση ενός κοινού μέτρου → ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων
- Αξιολόγηση επιπτώσεων → μέτρα προστασίας
- Σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων
- Στόχος → μείωση κινδύνου

# Παράδειγμα

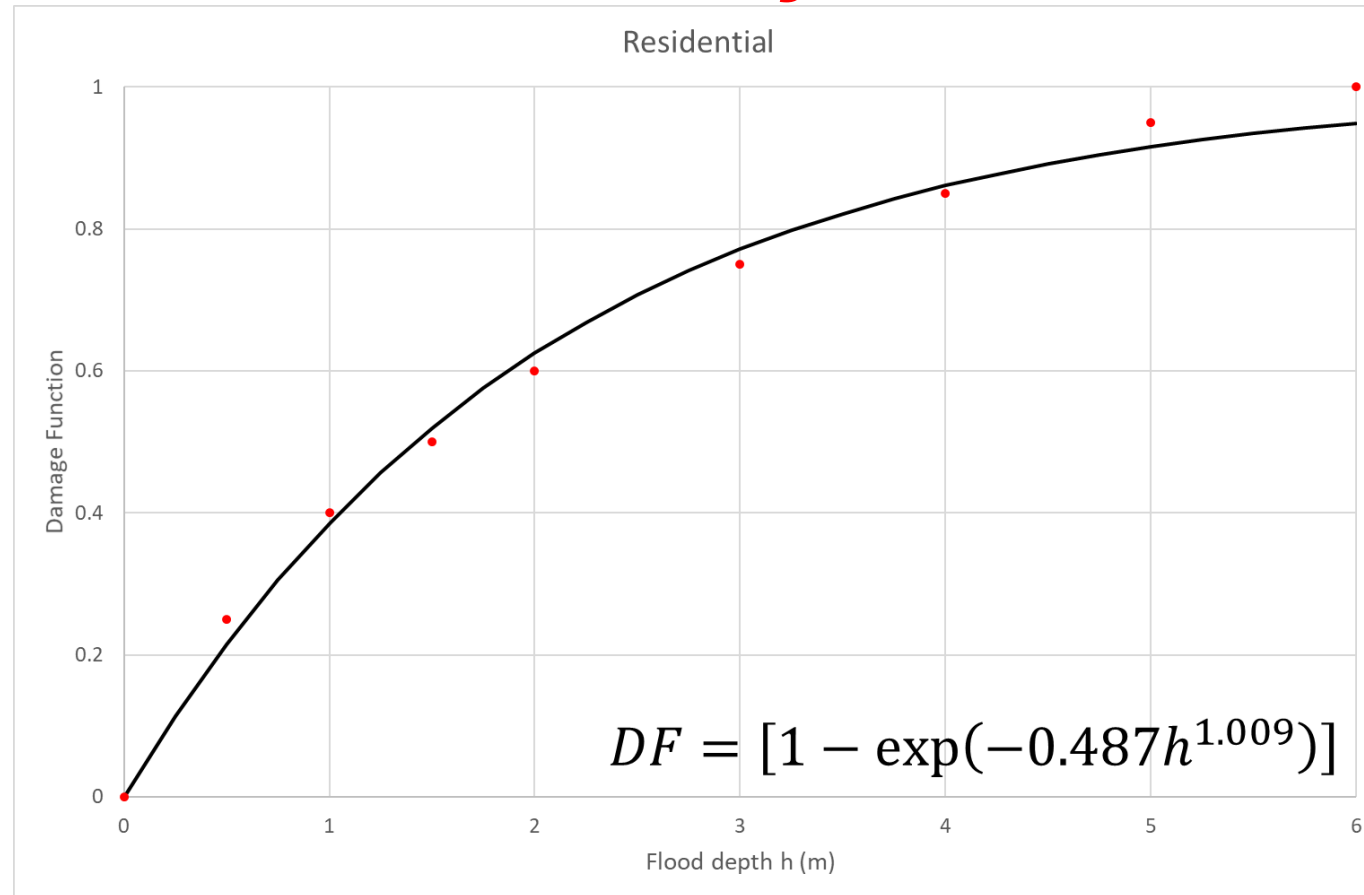
- **Επικινδυνότητα** → μέγιστα βάθη ροής για μία πιθανότητα εμφάνισης καταιγίδας
- **Έκθεση** → η αξία των στοιχείων ή της έκτασης μίας περιοχής που πλήττονται από την πλημμύρα
- **Τρωτότητα** → καμπύλης καταστροφής
- **Κίνδυνος** = **Επικινδυνότητα** x **Έκθεση** x **Τρωτότητα**

# Καμπύλες καταστροφής

- Κατοικίες
- Εμπορικά καταστήματα
- Βιομηχανία
- Μεταφορές
- Υποδομές
- Γεωργία

# Καμπύλες καταστροφής

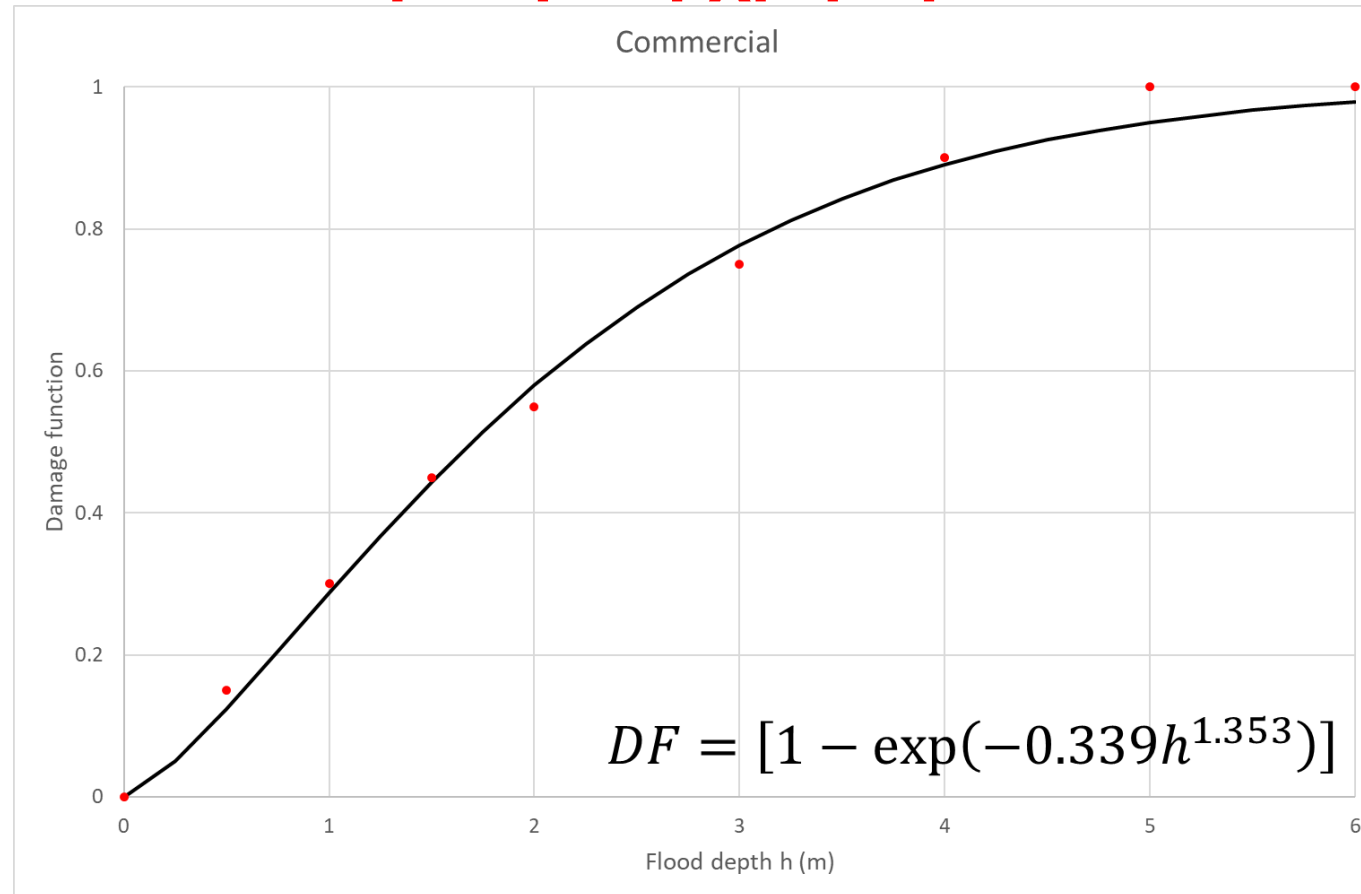
## ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ



Πηγή: Huizinga, J., de Moel, H., Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions. JRC Technical Reports.

# Καμπύλες καταστροφής

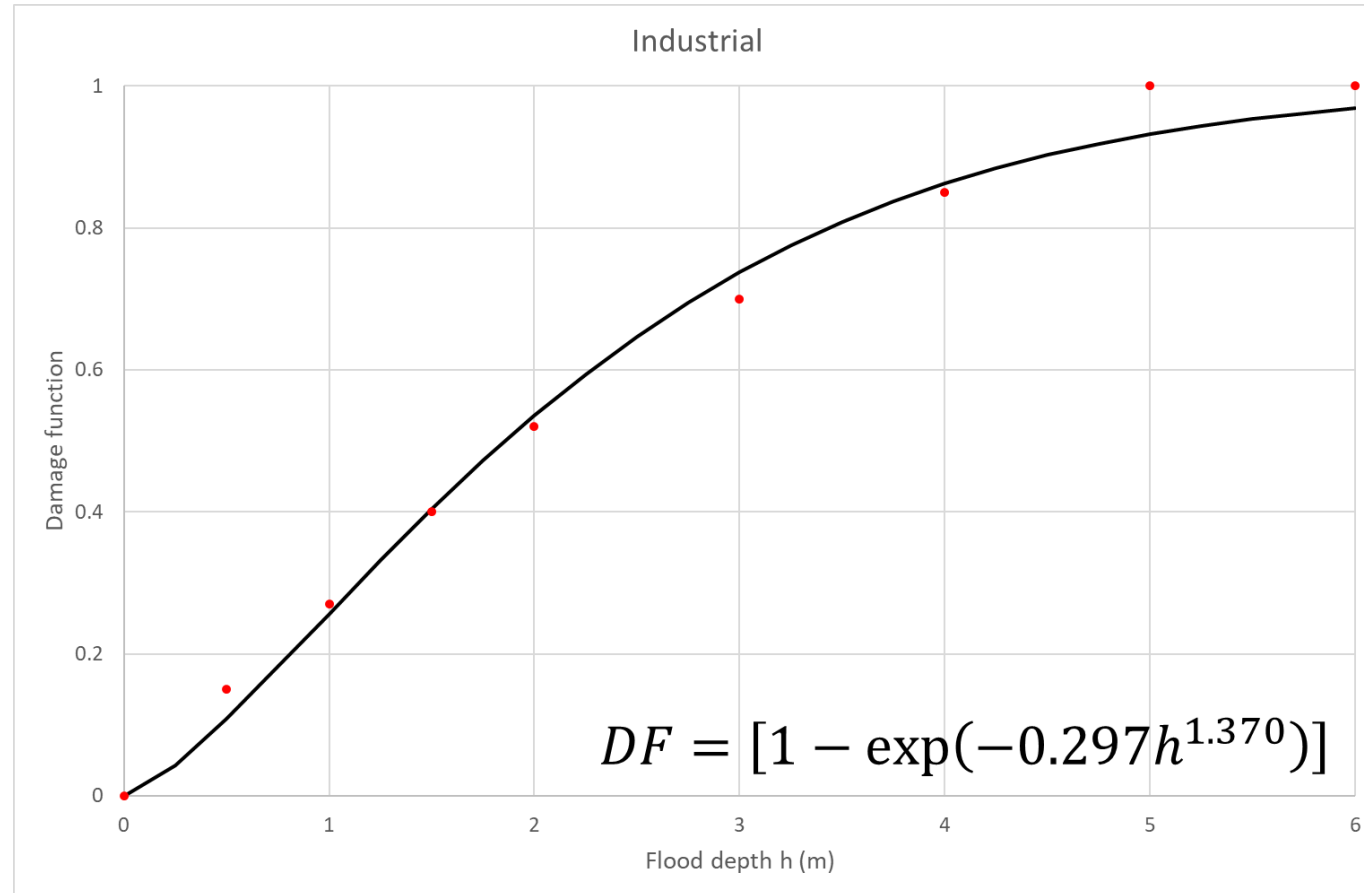
## εμπορική χρήση



Πηγή: Huizinga, J., de Moel, H., Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions. JRC Technical Reports.

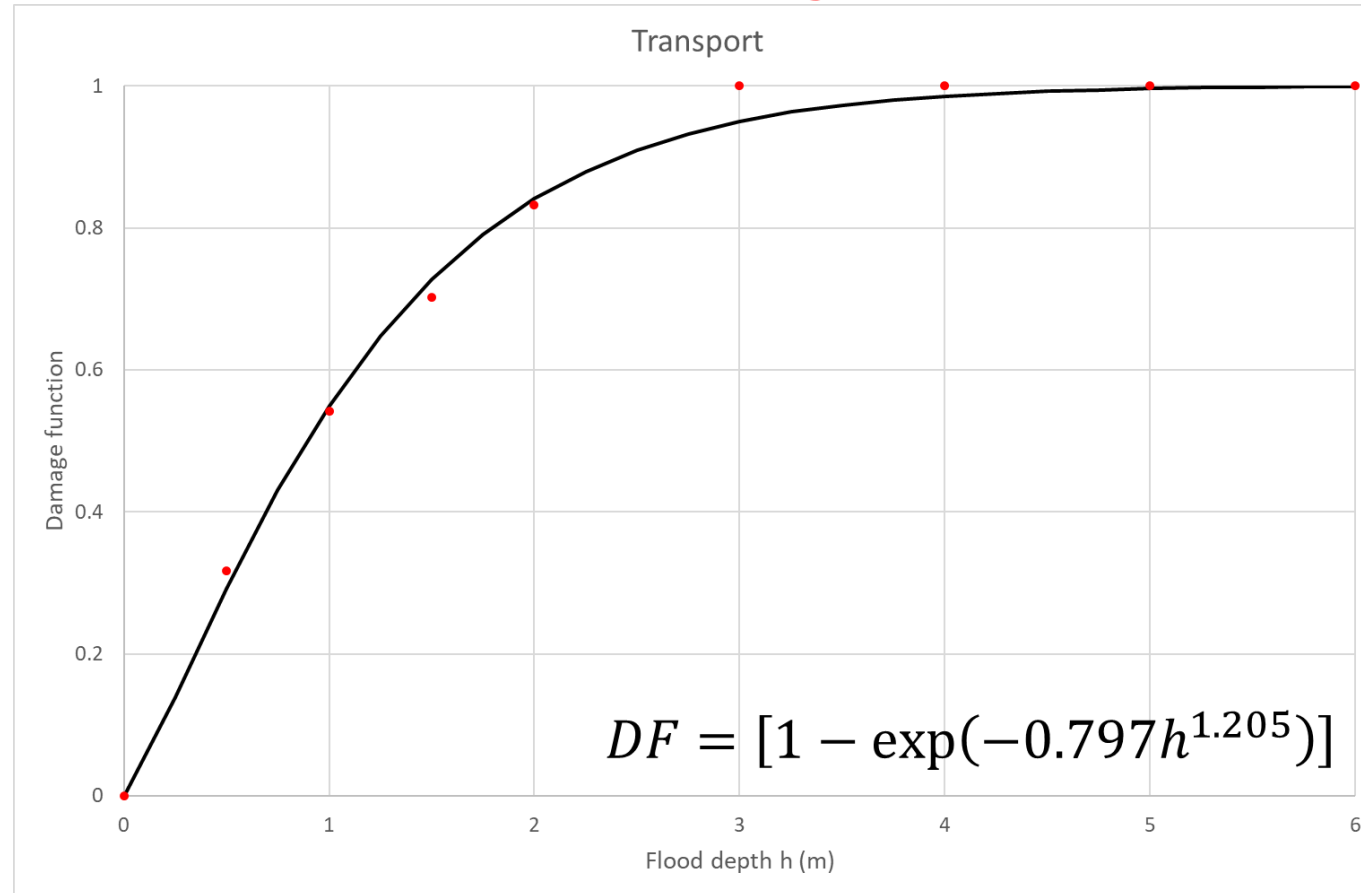
# Καμπύλες καταστροφής

## βιομηχανική χρήση



Πηγή: Huizinga, J., de Moel, H., Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions. JRC Technical Reports.

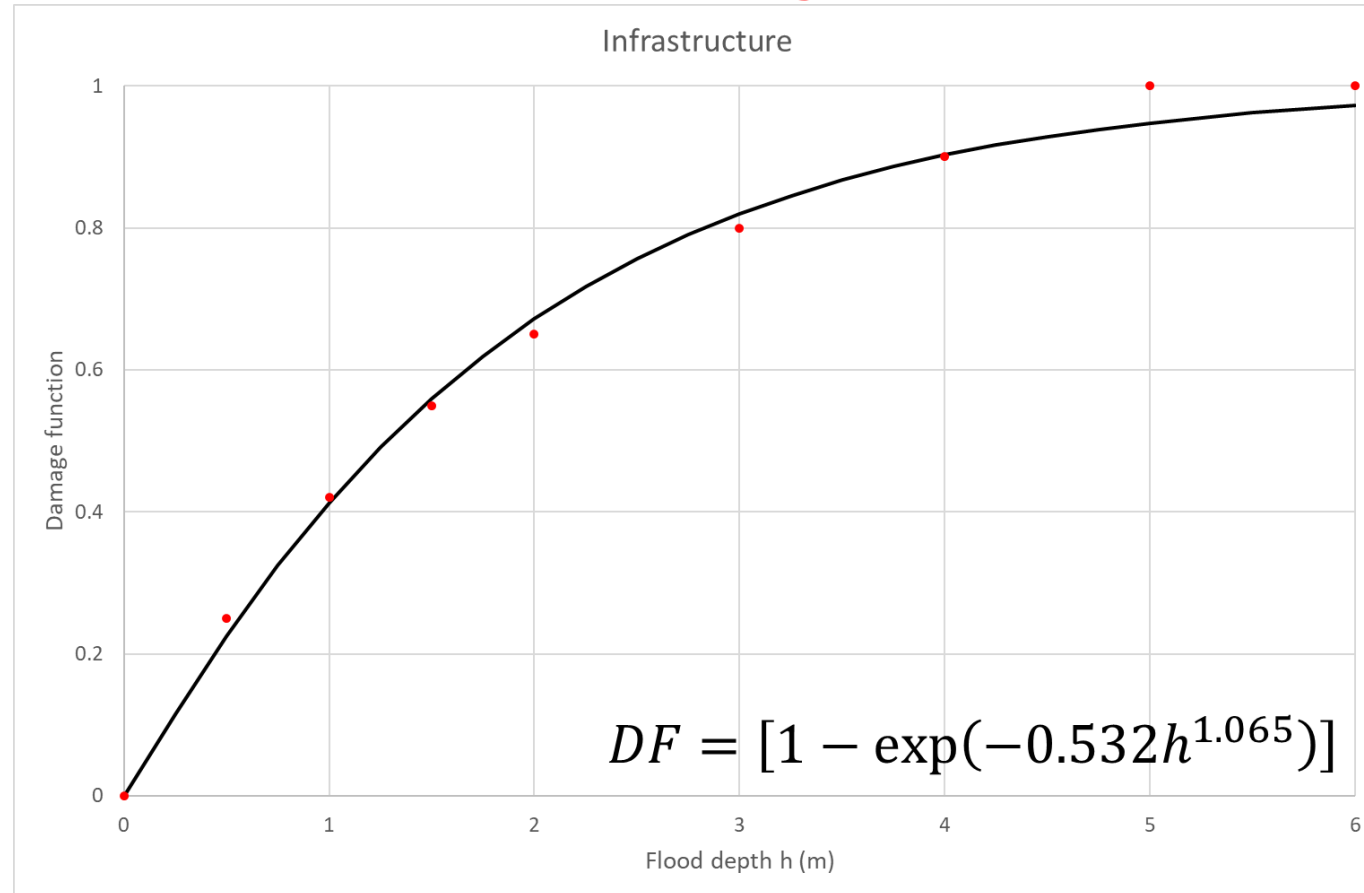
# Καμπύλες καταστροφής μεταφορές



Πηγή: Huizinga, J., de Moel, H., Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions. JRC Technical Reports.

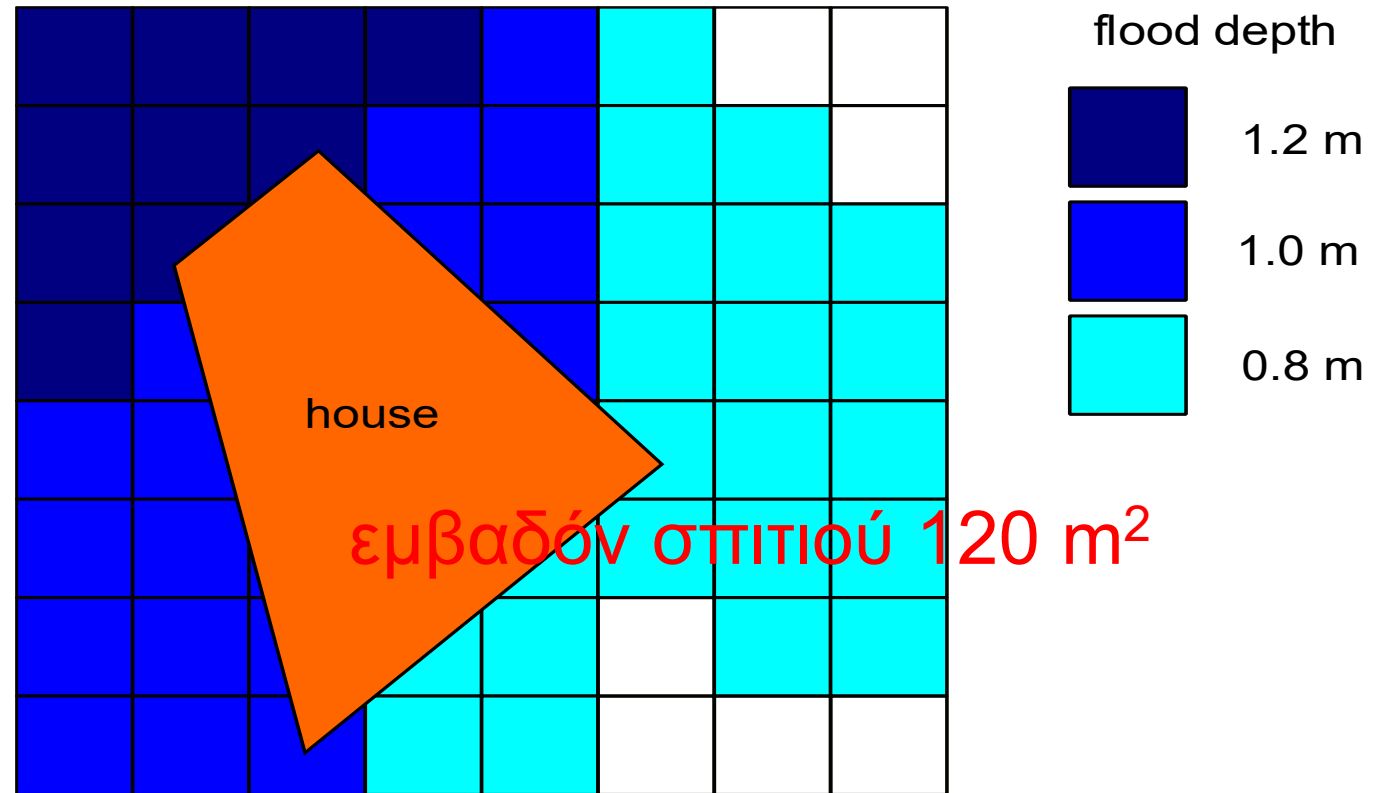
# Καμπύλες καταστροφής

## υποδομές



Πηγή: Huizinga, J., de Moel, H., Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions. JRC Technical Reports.

# ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

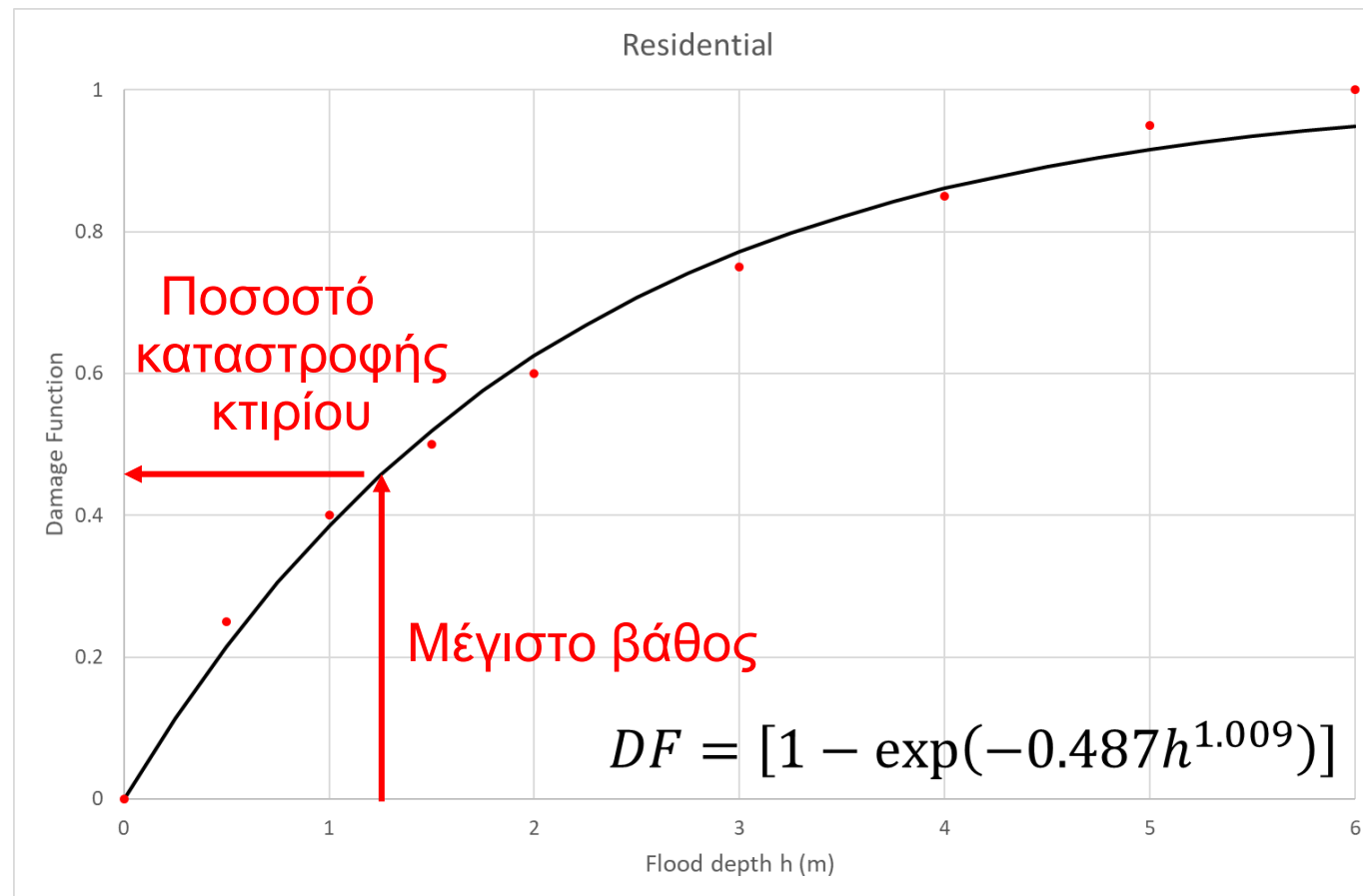


# Έκθεση

	Κατοικίες	Εμπορική χρήση	Βιομηχανική χρήση	Μεταφορές	Υποδομές
Στοιχείο (€/m <sup>2</sup> )	767	1076	885	478	16
Χρήση γης (€/m <sup>2</sup> )	153	323	265	-	-

**Πηγή:** Huizinga, J., de Moel, H., Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions. JRC Technical Reports.

# Τρωτότητα



Source: Huizinga, J., de Moel, H., Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions. JRC Technical Reports.

# Κίνδυνος

ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ	1.2 m	→	44%
			×
	έκθεση		92040 €
			=
	<b>κίνδυνος</b>		<b>40500 €</b>

# Ταξινόμηση μεθόδων εκτίμησης

- Κλίμακα
- Δομή
- Έξοδος
- Πολυπλοκότητα

# Κλίμακα

- **Μικρή κλίμακα**
  - Σε επίπεδο μικρής περιοχής
  - Ανάλυση για κάθε στοιχείο (κτίριο, δρόμος, κ.λπ.)
- **Μεσαία κλίμακα**
  - Σε επίπεδο δήμων
  - Ανάλυση με βάση τις χρήσεις γης
- **Μεγάλη κλίμακα**
  - Σε επίπεδο περιφέρειας/χώρας

# Δομή

- **Εμπειρικά μοντέλα**

- Δεδομένα πεδίου έπεται από πλημμύρα
- *Ad hoc* προσέγγιση → δύσκολη η γενίκευση

- **Συνθετικά μοντέλα**

- Ανάλυση κόστους με βάση εκτιμήσεις πραγματογνωμόνων

# Έξοδος

- **Απόλυτη καταστροφή**
  - Δυαδική κατάσταση **0 1**
  - Το κτίριο είτε καταστρέφεται ή όχι
- **Σχετική καταστροφή**
  - Κάθε φυσικό μέγεθος επηρεάζει ανάλογα
  - Βασικό εργαλείο ανάλυσης → καμπύλες καταστροφής

# Πολυπλοκότητα

- **Αδρομερή μοντέλα**
  - Απαιτείται μικρός αριθμός παραμέτρων
  - Απλή δομή μοντέλου
- **Πολύπλοκα μοντέλα**
  - Απαιτείται μεγάλος αριθμός παραμέτρων
  - Σύνθετη δομή μοντέλου

# Μεθοδολογίες

Model	Country and year of development	Hazard context of development	Considered explicative variables	Type of model	Type of results	Economic evaluation	Exposure estimation	Other features
Arrighi et al.	Italy, 2018	Riverine floods	$h$ , FA, BA, economic value of the building	Synthetic	Relative damage	Recovery (based on market value)	Flooded floors, (considering also FL and LM)	– Zero-damage threshold at water depth 0.25 m – The model also estimates absolute damage
Carisi et al.-MV	Italy, 2018	Riverine floods	$h$ , $v$ , FA, BS, economic value of the building	Empirical	Relative damage	Market value	Flooded floors (considering also FL and LM)	
Carisi et al.-mono	Italy, 2018	Riverine floods	$h$ , FA, economic value of the building	Empirical	Relative damage	Market value	Flooded floors (considering also FL and LM)	
CEPRI	France, 2014	Riverine, coastal floods	$h$ , BT, FA, BA, NF	Synthetic	Absolute damage	Replacement value	Flooded floors	– The model also estimates damage to contents (not considered here)
Dutta et al.	Japan, 2003	Riverine floods	$h$ , FA, economic value of the building	Empirical	Relative damage	Replacement value	Whole building	
FLEMO-ps	Germany, 2008	Riverine floods	$h$ , $q$ , BT, FL, economic value of the building	Empirical	Relative damage	Replacement value	Whole building	– The model is also capable of estimating damage to household contents (not considered here)
Fuchs et al.	Austria/ Switzerland, 2019	Mountain (high velocity) floods, debris flows	$h$ , FA, economic value of the building	Empirical	Relative damage	Replacement value	Whole building	
INSYDE	Italy, 2016	Riverine floods	$h$ , $v$ , $q$ , FA, EP, BA, BT, FL, BS, NF, LM	Synthetic	Absolute damage	Replacement value	Flooded floors (considering FL and LM)	– The model also estimates relative damage
Jonkman	The Netherlands, 2008	Riverine floods	$h$ , FA, economic value of the building	Empirical	Relative damage	Replacement value	Whole building	

**Πηγή:** Molinari, D., Scorzini, A.R., Arrighi, C., Carisi, F., Castelli, F., Domeneghetti, A., Gallazzi, A., Galliani, M., Grelot, F., Kellermann, P., Kreibich, H., Mohor, G.S, Mosimann, M., Natho, S., Richert, C., Schroeter, K., Thieken, A.H., Zischg, A.P., Ballio F. (2020). Are flood damage models converging to reality? Lessons learnt from a blind test. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 2997–3017.

# Παράδειγμα

μικρή κλίμακα, συνθετικό, απόλυτης καταστροφής, πολύπλοκο

Data	Variable	Description
Area (m <sup>2</sup> )	FA	Footprint area of the building
Perimeter (m)	EP	External perimeter of the building
Basement	BA	Presence of basement (yes/no)
Building type	BT	Type of building (apartment, detached or semi-detached house) according to the cadastral data
Finishing level	FL	Quality of the building (low, medium, or high) according to the cadastral data
Building structure	BS	Type of building structure (masonry or reinforced concrete), calculated as the most frequent value for the buildings in the census block it occupies
Floors	NF	Number of floors, calculated as the most frequent value for the buildings in the census block it occupies
Level of maintenance	LM	State of conservation (low, medium, or high) of the building, calculated as the most frequent value for the buildings in the census block
Water depth (m)	$h$	Mean value of water depth in the building area
Flow velocity (m s <sup>-1</sup> )	$v$	Mean value of flow velocity in the building area
Presence of pollutants	$q$	Presence of fuel spillage or other pollutants
Replacement value (EUR m <sup>-2</sup> )	RV	Reconstruction value of residential building given as a function of the building type and building structure based on existing literature and official studies
Market value (EUR m <sup>-2</sup> )	MV	Market value of residential buildings as a function of building type, finishing level, and building location

→ έκθεση

→ επικινδυνότητα

→ τρωτότητα

**Πηγή:** Molinari, D., Scorzini, A.R., Arrighi, C., Carisi, F., Castelli, F., Domeneghetti, A., Gallazzi, A., Galliani, M., Grelot, F., Kellermann, P., Kreibich, H., Mohor, G.S., Mosimann, M., Natho, S., Richert, C., Schroeter, K., Thieken, A.H., Zischg, A.P., Ballio F. (2020). Are flood damage models converging to reality? Lessons learnt from a blind test. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 2997–3017.

Η οδηγία 2007/60

# Θεσμικό πλαίσιο

- **Οδηγία 2000/60**

- «Καλή» κατάσταση των υδάτων
- Έμφαση σε ποιοτικά μεγέθη → ποιότητα νερού

- **Οδηγία 2007/60**

- Πρώτη φάση → προκαταρκτική αξιολόγηση
- Δεύτερη φάση → χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας (hazard)
- Τρίτη φάση → Χάρτες πλημμυρικού κινδύνου (risk)

# Οδηγία 2007/60

- **Πρώτη φάση**

- Προκαταρκτική αξιολόγηση των περιοχών που κινδυνεύουν από πλημμύρες σε κάθε λεκάνη απορροής ποταμού ή τμήμα διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού

- **Δεύτερη φάση**

- Χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας (hazard) → μέγιστα βάθη και ταχύτητες

- **Τρίτη φάση**

- Χάρτες πλημμυρικού κινδύνου (risk) → δυνητικές αρνητικές συνέπειες (οικονομικά μεγέθη)

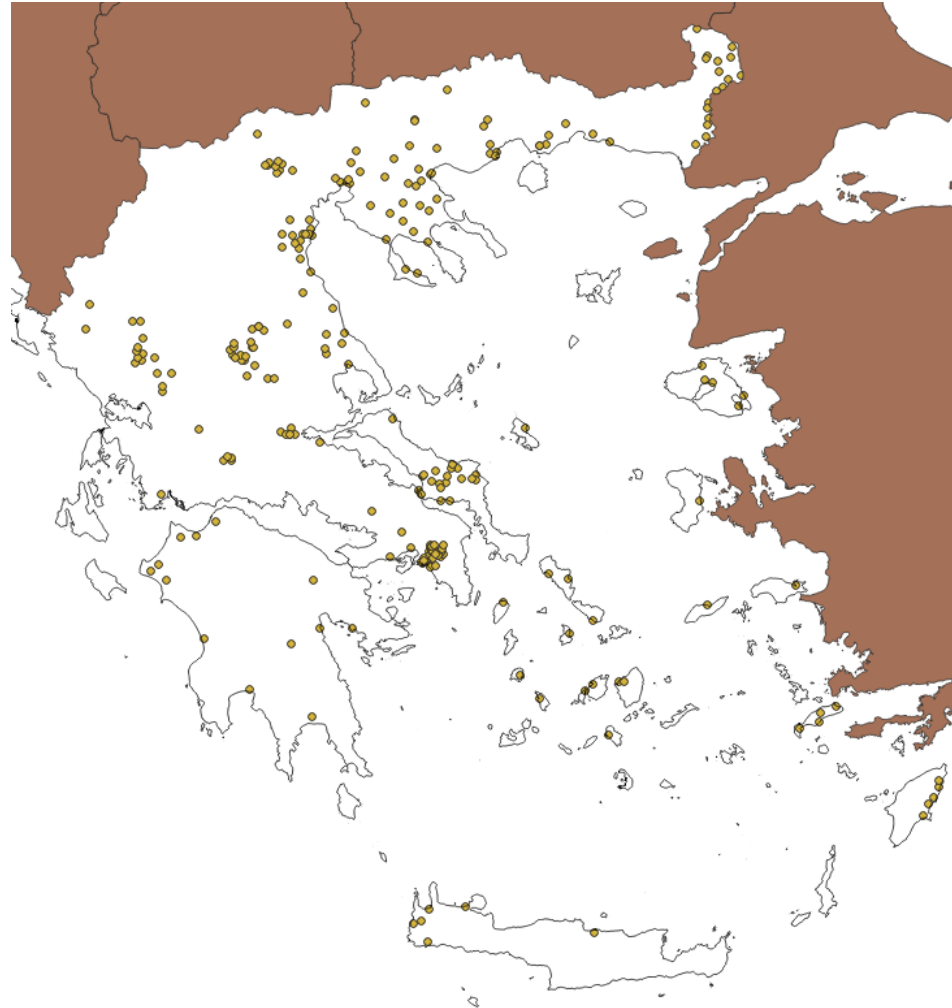
# ΣΚΟΠΟΣ

- Θέσπιση πλαισίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες που συνδέονται με τις πλημμύρες στην Κοινότητα.

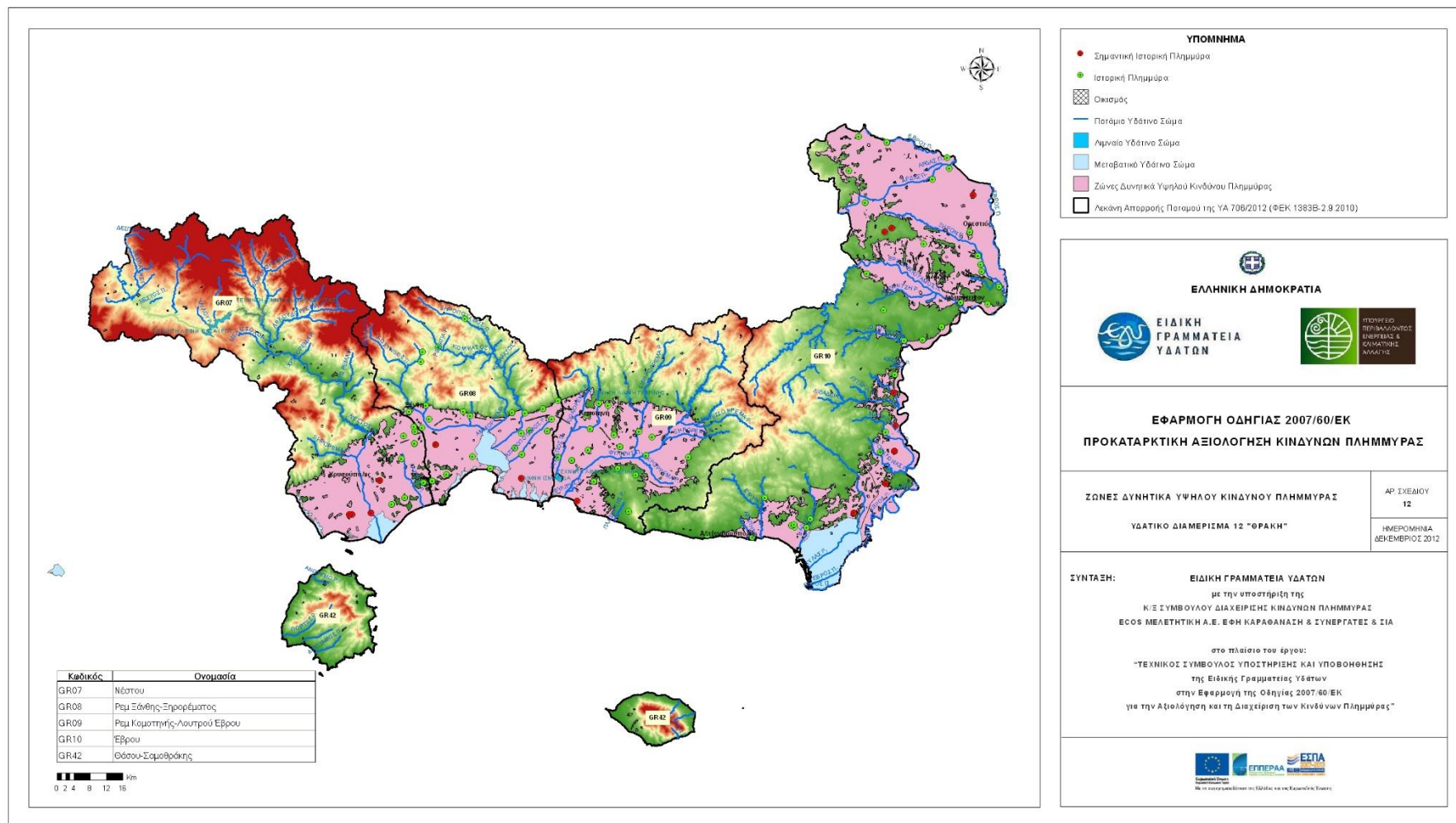
# Προκαταρκτική αξιολόγηση

- Χάρτες λεκανών και υπολεκανών → τοπογραφικά χαρακτηριστικά και τη χρήση γης
- Περιγραφή των πλημμυρών οι οποίες σημειώθηκαν κατά το παρελθόν και είχαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στις ανθρώπινες ζωές, στις οικονομικές δραστηριότητες και στο περιβάλλον
- Περιγραφή των σημαντικών πλημμυρών οι οποίες σημειώθηκαν κατά το παρελθόν, εκ των οποίων θα μπορούσαν, ενδεχομένως, να προβλεφθούν οι σημαντικές αρνητικές συνέπειες παρόμοιων φαινομένων στο μέλλον
- Αξιολόγηση των δυνητικών αρνητικών συνεπειών των μελλοντικών πλημμυρών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα

# Ιστορικά γεγονότα



# ΥΔ Αν. Μακεδονίας και Θράκης



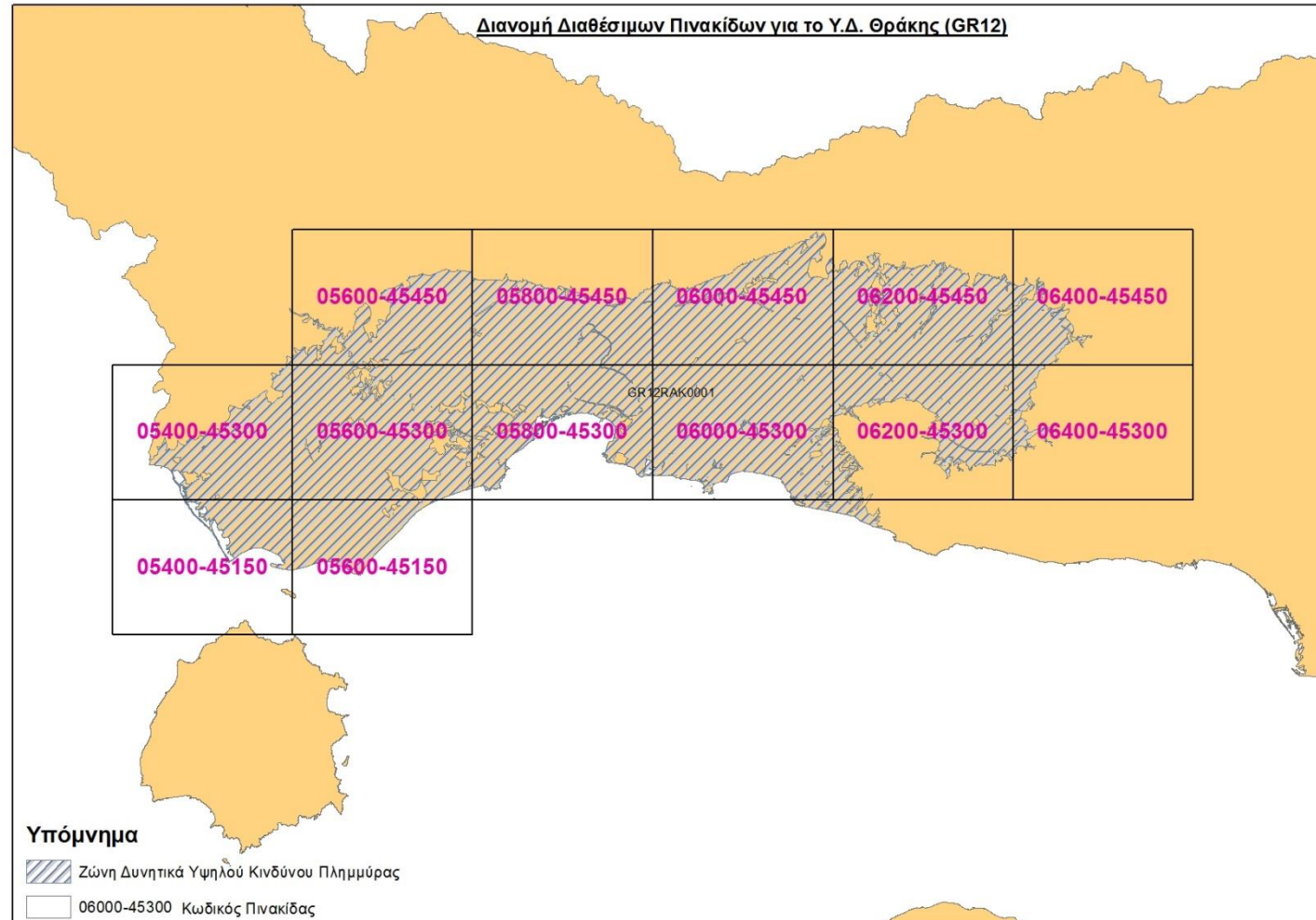
# Έβρος



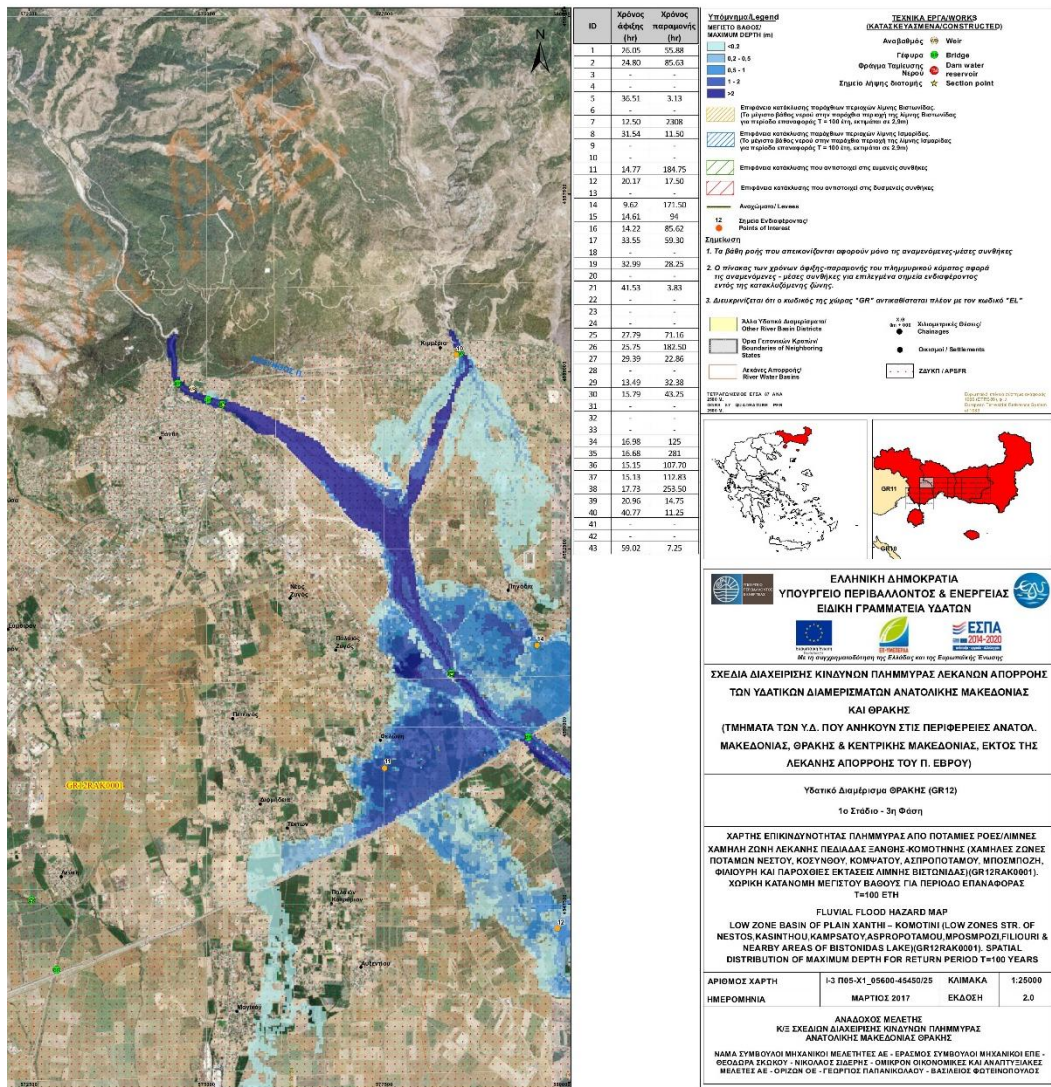
# Χάρτες επικινδυνότητας

- **Πιθανότητα καταιγίδας**
  - Χαμηλή πιθανότητα (T=1000 χρόνια)
  - Μέση πιθανότητα (T=100 χρόνια)
  - Υψηλή πιθανότητα (T=50 χρόνια)
- **Καταγράφονται**
  - Έκταση πλημμύρας
  - Βάθη νερού
  - Ταχύτητες ροής

# Χάρτες επικινδυνότητας

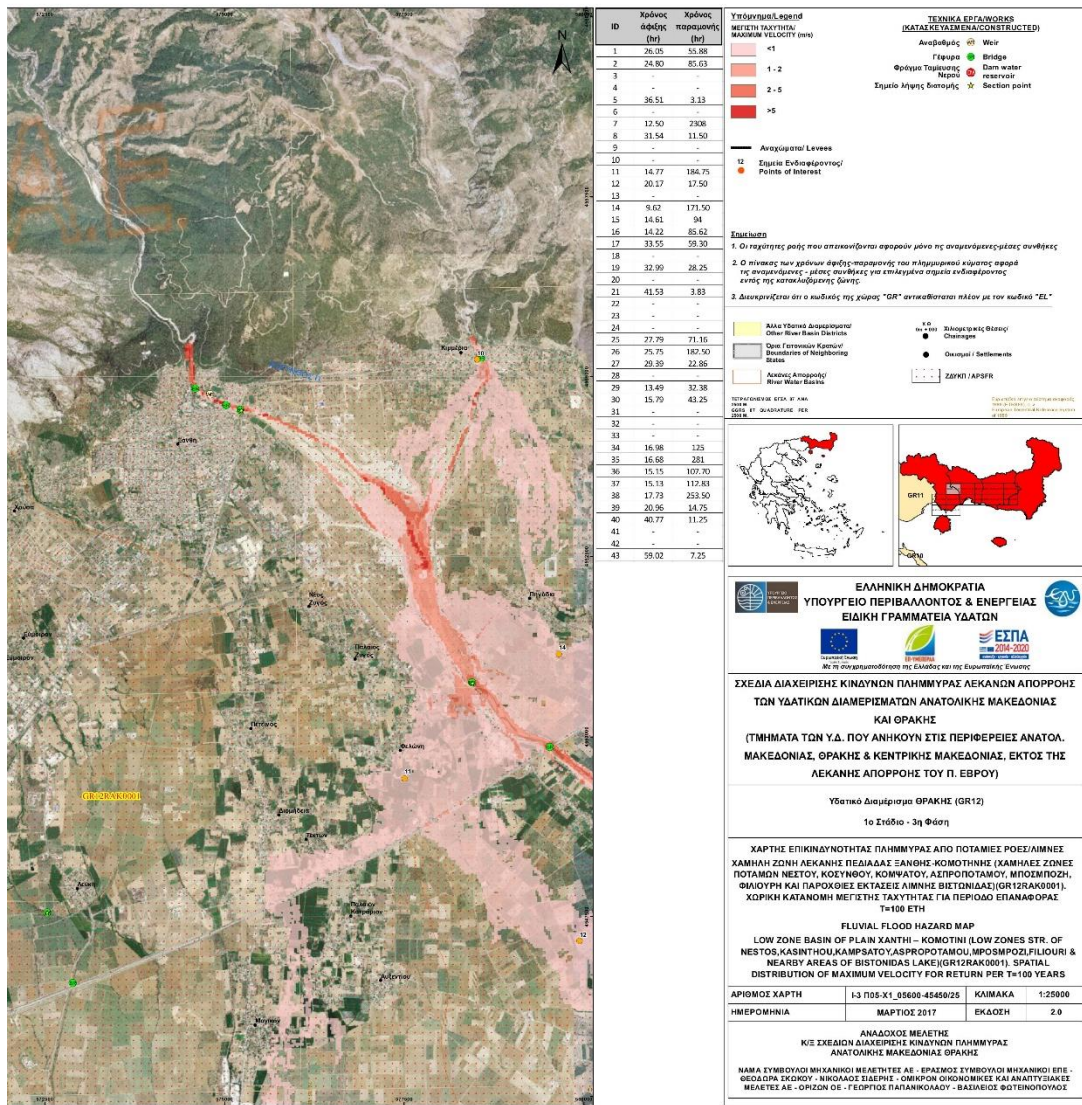


# Χάρτες επικινδυνότητας



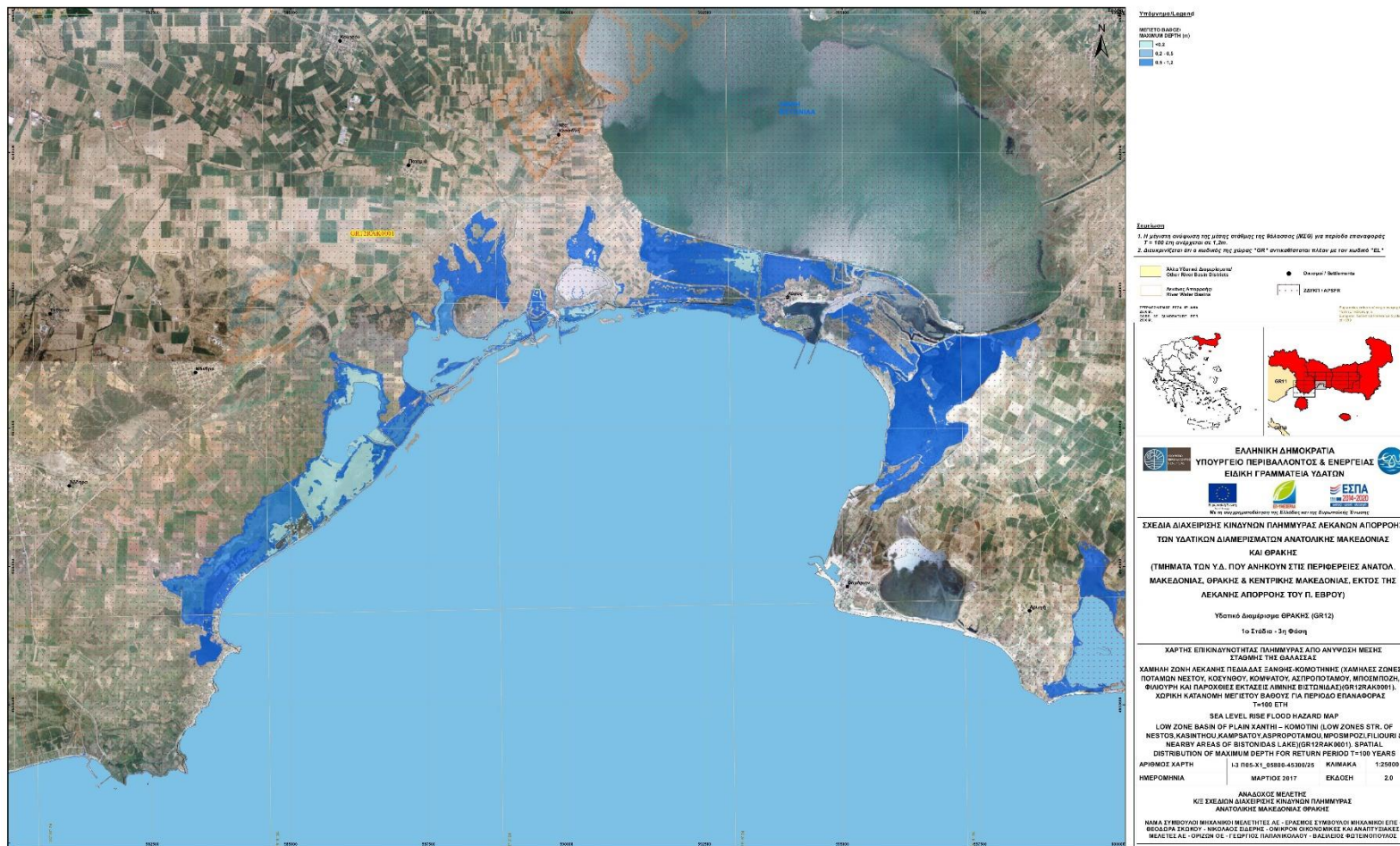
Βάθη νερού για T=100 έτη

# Χάρτες επικινδυνότητας



Ταχύτητες ροής για T=100 έτη

# Χάρτες επικινδυνότητας



Επικινδυνότητα από θάλασσα για T=100 έτη

# Χάρτες κινδύνου

- **Δυνητικές αρνητικές συνέπειες που συνδέονται με τον πλημμυρικό κίνδυνο**
  - Ενδεικτικός αριθμός κατοίκων που ενδέχεται να πληγεί
  - Οικονομική δραστηριότητα της περιοχής
  - Εγκαταστάσεις οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν τυχαία ρύπανση σε περίπτωση πλημμύρας και προστατευόμενες περιοχές που ενδέχεται να πληγούν
  - Άλλες πληροφορίες (ιζήματα, ρύπανση, κ.λπ.)

# Παραγωγή χαρτών

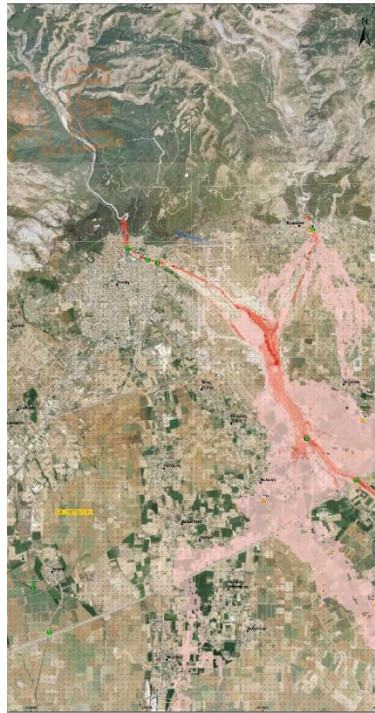
- **Χάρτες επικινδυνότητας = Επικινδυνότητα × Έκθεση**
  - *Μέγιστα βάθη & ταχύτητες ροής* σε μορφή χάρτη (έκθεση), τα οποία έχουν μετατραπεί σε τάξεις επικινδυνότητας (**επικινδυνότητα**) για μία Περίοδο Επαναφοράς (**πιθανότητα**)
- **Χάρτες τρωτότητας**
  - Δυνητικές επιπτώσεις σε πληθυσμό, οικονομία, περιβάλλον, πολιτιστική κληρονομία
- **Χάρτες κινδύνου**
  - Χάρτες επικινδυνότητας × Χάρτες τρωτότητας

# ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ × Έκθεση

*βάθη*



*ταχύτητες*



*βαθμοί επικινδυνότητας*



**Περίοδος επαναφοράς 100 έτη (καταιγίδα)**

# Βαθμοί τρωτότητας

- Πολύ χαμηλή **50**
- Χαμηλή **100**
- Μέτρια **150**
- Σημαντική **250**
- Πολύ σημαντική **400**

# Κατηγορίες επιπτώσεων

- Πληθυσμός
- Οικονομικές επιπτώσεις
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- Πολιτιστικές επιπτώσεις

# Πληθυσμός

Δείκτης	Σκορ
Επιπτώσεις στην <b>ασφάλεια των πολιτών</b>	- επιπτώσεις σε αστικές συγκεντρώσεις <sup>1</sup> με πυκνότητα $\geq 80$ άτομα/ha <sup>2</sup> : 500 - επιπτώσεις σε αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα $< 80$ άτομα/ha και σε «εξωαστικές συγκεντρώσεις» <sup>3</sup> (ανεξάρτητα αριθμού): 250
Επιπτώσεις σε <b>υποδομές υγείας</b> (νοσοκομεία, κλινικές, κ.λπ.) λόγω πιθανής κατάκλυσης υποδομών λειτουργίας τους	- επιπτώσεις σε νοσοκομεία: 250 - επιπτώσεις σε κλινικές και κέντρα υγείας: 150
Επιπτώσεις σε <b>άλλες υποδομές</b> (κοινωνικές υποδομές, υποδομές κοινής ωφελείας, υποδομές του μηχανισμού πολιτικής προστασίας)	- επιπτώσεις σε άλλες κοινωνικές υποδομές (νηπιαγωγεία, σχολεία, πανεπιστήμια): 150 - επιπτώσεις σε υποδομές κοινής ωφελείας, (ΕΕΝ, γεωτρήσεις ύδρευσης, υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας: 100 - επιπτώσεις σε υποδομές του μηχανισμού πολιτικής προστασίας (αστυνομία ή πυροσβεστική και δομές πολιτικής προστασίας): 250

# Οικονομικές Επιπτώσεις

Δείκτης	Σκορ
Επιπτώσεις σε αστικές συγκεντρώσεις	- επιπτώσεις σε αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα $\geq 80$ άτομα/ha: 250 - επιπτώσεις σε αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα $< 80$ άτομα/ha και σε «εξωαστικές συγκεντρώσεις»: 100
Επιπτώσεις σε αγροτικές περιοχές/ γεωργία	- επιπτώσεις σε αγροτικές περιοχές με θερμοκήπια: 150 - επιπτώσεις σε αγροτικές περιοχές με καλλιέργειες (περιλαμβανομένων ρυζοκαλλιεργειών σε πλημμύρες από τη θάλασσα και εκτός ρυζοκαλλιεργειών σε όλες τις άλλες περιπτώσεις): 100 - επιπτώσεις σε αγροτικές περιοχές με ρυζοκαλλιέργειες (σε όλες τις περιπτώσεις πλημμυρών πλην θαλάσσιας): 0
Επιπτώσεις στην κτηνοτροφία	- επιπτώσεις σε κτηνοτροφικές μονάδες (σταβλικές εγκαταστάσεις): 50
Επιπτώσεις στον τουρισμό	- επιπτώσεις σε αναπτυσσόμενες τουριστικές περιοχές, σύμφωνα με το Ειδικό Πλαίσιο για τον Τουρισμό (Άρθρο 4 του ΦΕΚ 1138 Β/2009): 250 - επιπτώσεις σε αναπτυσσόμενες τουριστικές περιοχές, σύμφωνα με το Ειδικό Πλαίσιο για τον Τουρισμό (Άρθρο 4 του ΦΕΚ 1138 Β/2009): 50
Επιπτώσεις στη βιομηχανία	- επιπτώσεις σε «βιομηχανικές συγκεντρώσεις» (θεσμοθετημένες ΒΙΠΕ και άλλες «άτυπες βιομηχανικές συγκεντρώσεις»): 250 - επιπτώσεις σε βιομηχανίες SEVESO, IPPC εκτός βιομηχανικών συγκεντρώσεων: 150 - επιπτώσεις σε λοιπές μεμονωμένες βιομηχανικές μονάδες εκτός βιομηχανικών συγκεντρώσεων: 50
Επιπτώσεις στις συγκοινωνίες/ μεταφορές	- επιπτώσεις διακοπής διευρωπαϊκού και πρωτεύοντος εθνικού οδικού δικτύου (σε αυτοκινητόδρομους), ενεργούς σιδηροδρομικούς άξονες και αεροδρόμια: 150 - επιπτώσεις διακοπής δευτερεύοντος εθνικού και επαρχιακού οδικού δικτύου: 100

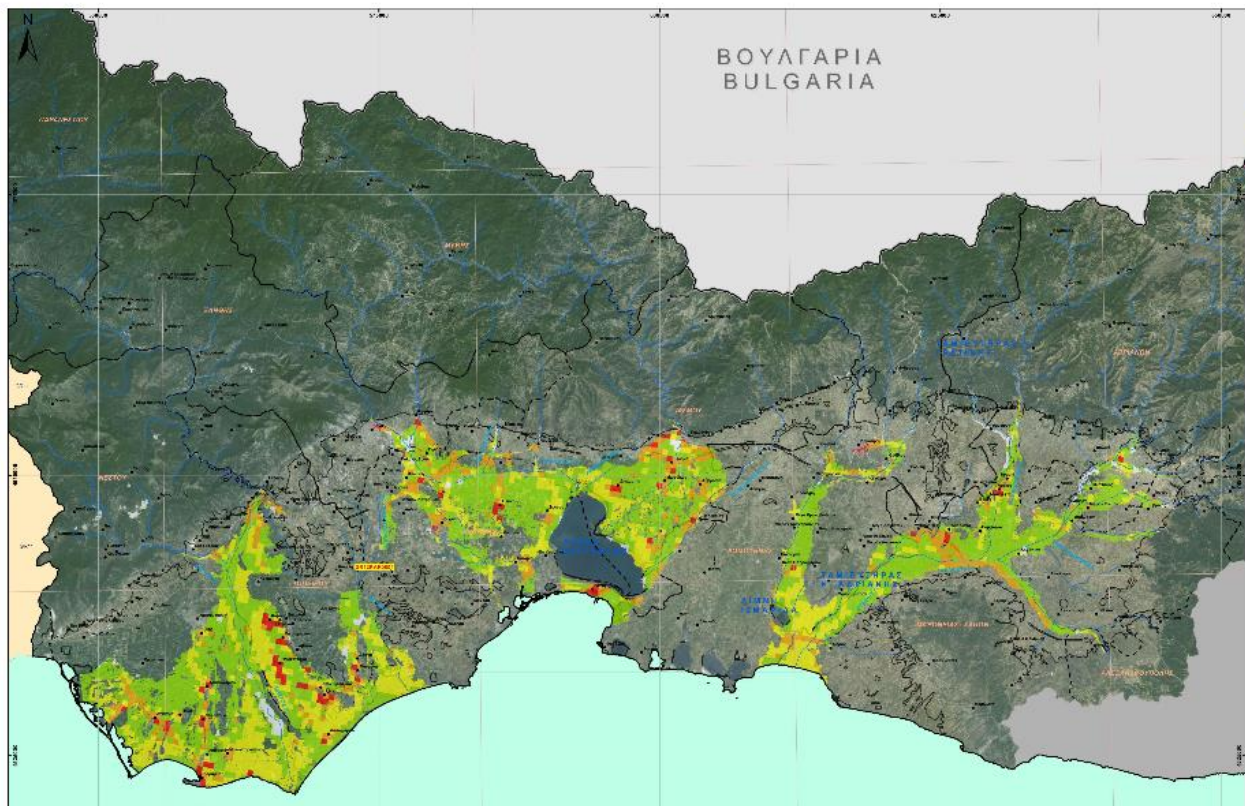
# Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Δείκτης	Σκορ
Επιπτώσεις σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις	- επιπτώσεις σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις IPPC ή Seveso: 500
Επιπτώσεις σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ)	- επιπτώσεις σε ΕΕΛ με δυναμικότητα > 100 000 λ.π.: 150 - επιπτώσεις σε μέσους ΕΕΛ με δυναμικότητα 10 000 – 100 000 λ.π.: 100 - επιπτώσεις σε μέσους ΕΕΛ με δυναμικότητα < 10 000 λ.π.: 50
Επιπτώσεις σε χώρους διαχείρισης και διάθεσης στερεών αστικών αποβλήτων	- επιπτώσεις σε χώρους διαχείρισης και διάθεσης στερεών αστικών αποβλήτων: 100
Επιπτώσεις σε προστατευόμενες περιοχές	- επιπτώσεις σε προστατευόμενες περιοχές ειδών και οικοτόπων (Παράρτημα IV, σημείο vi της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ): 50

# ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Δείκτης	Σκορ
Επιπτώσεις στην πολιτιστική κληρονομιά	- για μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς διεθνούς σημασίας (UNESCO κλπ.): 150 - για μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς εθνικής και περιφερειακής σημασίας: 50

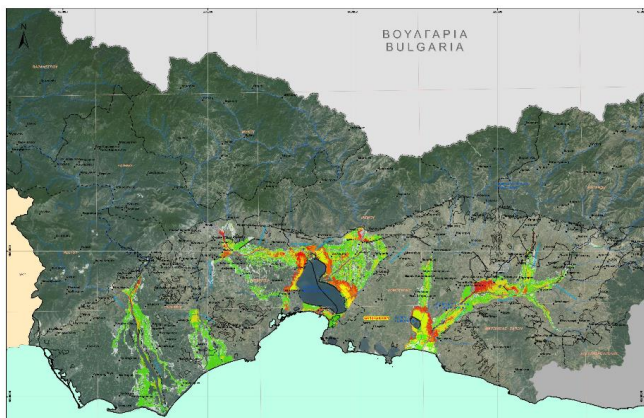
# Χάρτης τρωτότητας



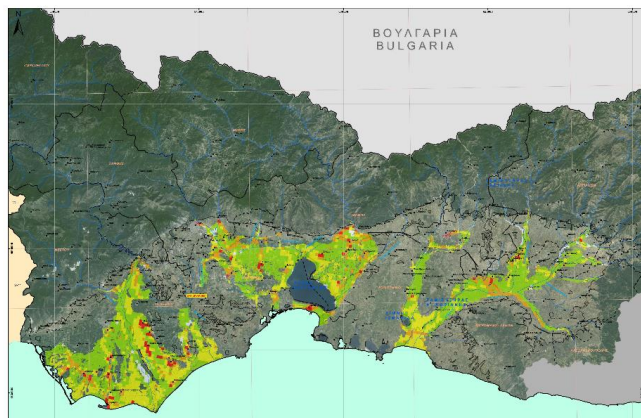
Vulnerability score	Label
50	Very low
100	Low
150	Moderate
250	Significant
400	Very significant

# Χάρτης κινδύνου

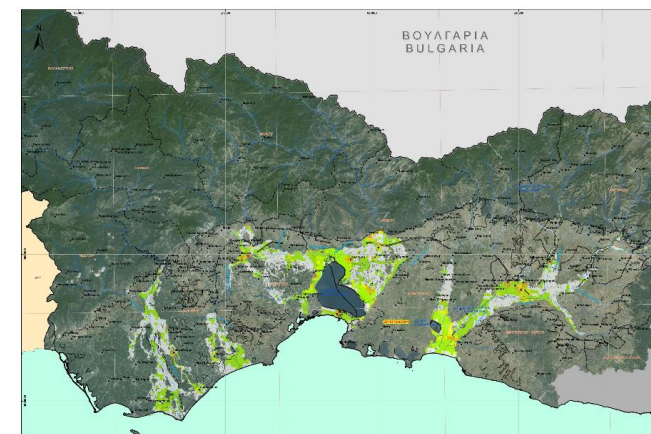
*Χάρτης επικινδυνότητας*



*Χάρτης τρωτότητας*

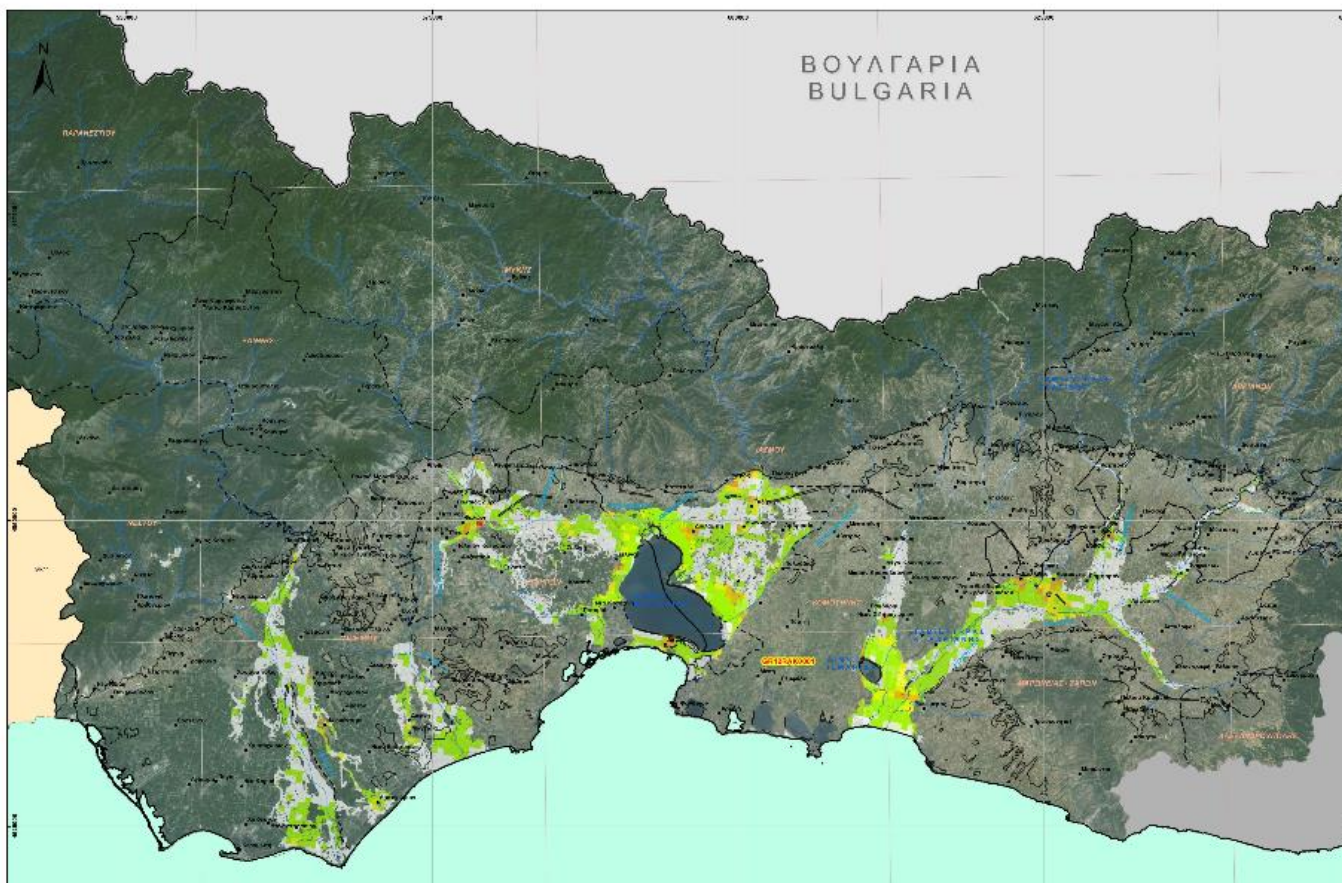


*Χάρτης κινδύνου*



Flood Risk	Label
<50	Very low
50-125	Low
125-200	Moderate
200-400	Significant
>400	Very significant

# Χάρτης κινδύνου



Vulnerability score	Label
50	Very low
100	Low
150	Moderate
250	Significant
400	Very significant

# Σχέδια διαχείρισης κινδύνου

- **ΣΔΚΠ σε επίπεδο λεκάνης απορροής**
- **Μείωση των δυνητικών αρνητικών συνεπειών**
  - Ανθρώπινη υγεία
  - Περιβάλλον
  - Πολιτιστική κληρονομιά
  - Οικονομική δραστηριότητα

# Μείωση κινδύνου

- **Πρόληψη** → μετριασμός έκθεσης
- **Προστασία** → μείωση πιθανότητας
- **Ετοιμότητα** → πληροφόρηση κοινού
- **Αποκατάσταση** → μετριασμός επιπτώσεων στις πληγείσες περιοχές

# Μείωση κινδύνου

- **Πρόληψη**

- Αποφυγή δραστηριότητας σε πλημμυρικές ζώνες
- Χρήσεις γης
- Ενσωμάτωση Οδηγίας σε άλλες πολιτικές του κράτους (χωρική διευθέτηση)

- **Προστασία**

- Κατασκευαστικά και μη κατασκευαστικά μέτρα

- **Ετοιμότητα**

- Πληροφόρηση και εκπαίδευση κοινού
- Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης

- **Αποκατάσταση**

- Μηχανισμός αποκατάστασης

# Άξονας/Τύπος δράσης/Μέτρα

- Πρόληψη
  - Αποφυγή
  - Μετεγκατάσταση
  - Μείωση επιπτώσεων
  - Άλλη πρόληψη

# Άξονας/Τύπος δράσης/Μέτρα

- **Προστασία**

- Φυσική διαχείριση πλημμύρας
- Ρύθμιση ροής
- Έργα σε υδατορέματα και πλημμυρικές κοίτες
- Διαχείριση ομβρίων υδάτων
- Άλλη προστασία

# Άξονας/Τύπος δράσης/Μέτρα

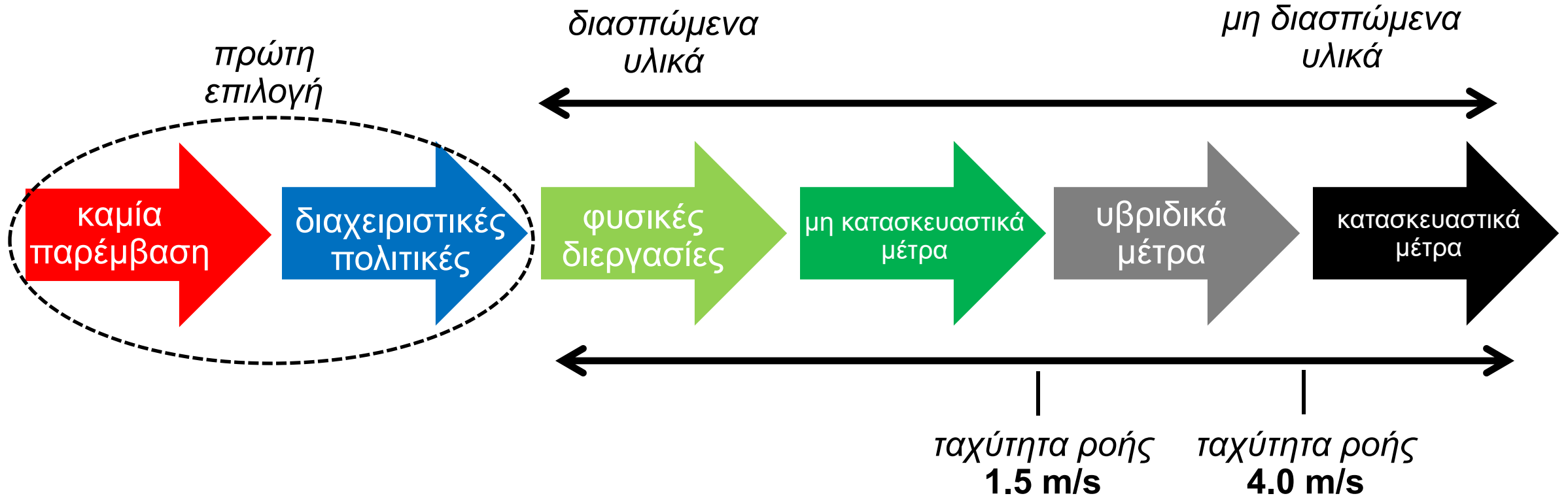
- **Ετοιμότητα**
  - Πρόγνωση και έγκαιρη προειδοποίηση
  - Σχέδια έκτακτης ανάγκης
  - Ενημέρωση και ετοιμότητα του κοινού
  - Άλλη ετοιμότητα

# Άξονας/Τύπος δράσης/Μέτρα

- **Αποκατάσταση**
  - Ατομική και κοινωνική αποκατάσταση
  - Περιβαλλοντική αποκατάσταση
  - Άλλη αποκατάσταση

Αντιπλημμυρικά έργα και έργα διευθέτησης

# Περιβαλλοντική διάσταση



# Αντιπλημμυρική προστασία

- **Πολλαπλά επίπεδα**
  - Ποτάμιο σύστημα
  - Αποχετευτικό σύστημα
  - Αστικό περιβάλλον
- **Κατασκευαστικά μέτρα**
  - Έργα ανάσχεσης
  - Έργα διοχέτευσης
  - Ήπιες παρεμβάσεις
- **Μη κατασκευαστικά μέτρα**

# Κατασκευαστικά μέτρα

- Έργα ανάσχεσης

- φράγματα
- ελεγχόμενη ανάσχεση

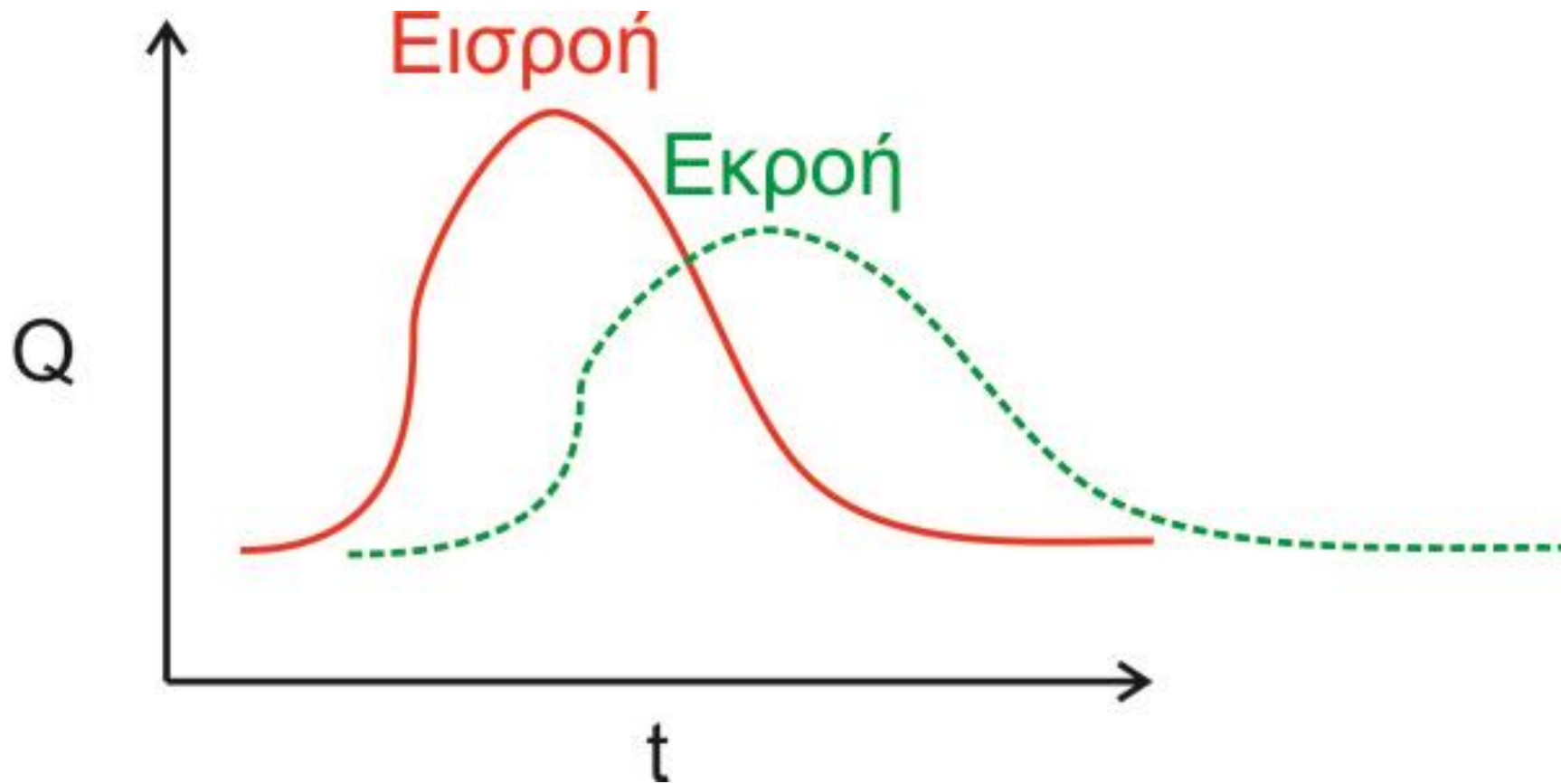


- Έργα διοχέτευσης

- αναχώματα
- μερική εκτροπή
- αποχετευτικό σύστημα ομβρίων



# Στόχος ανάσχεσης



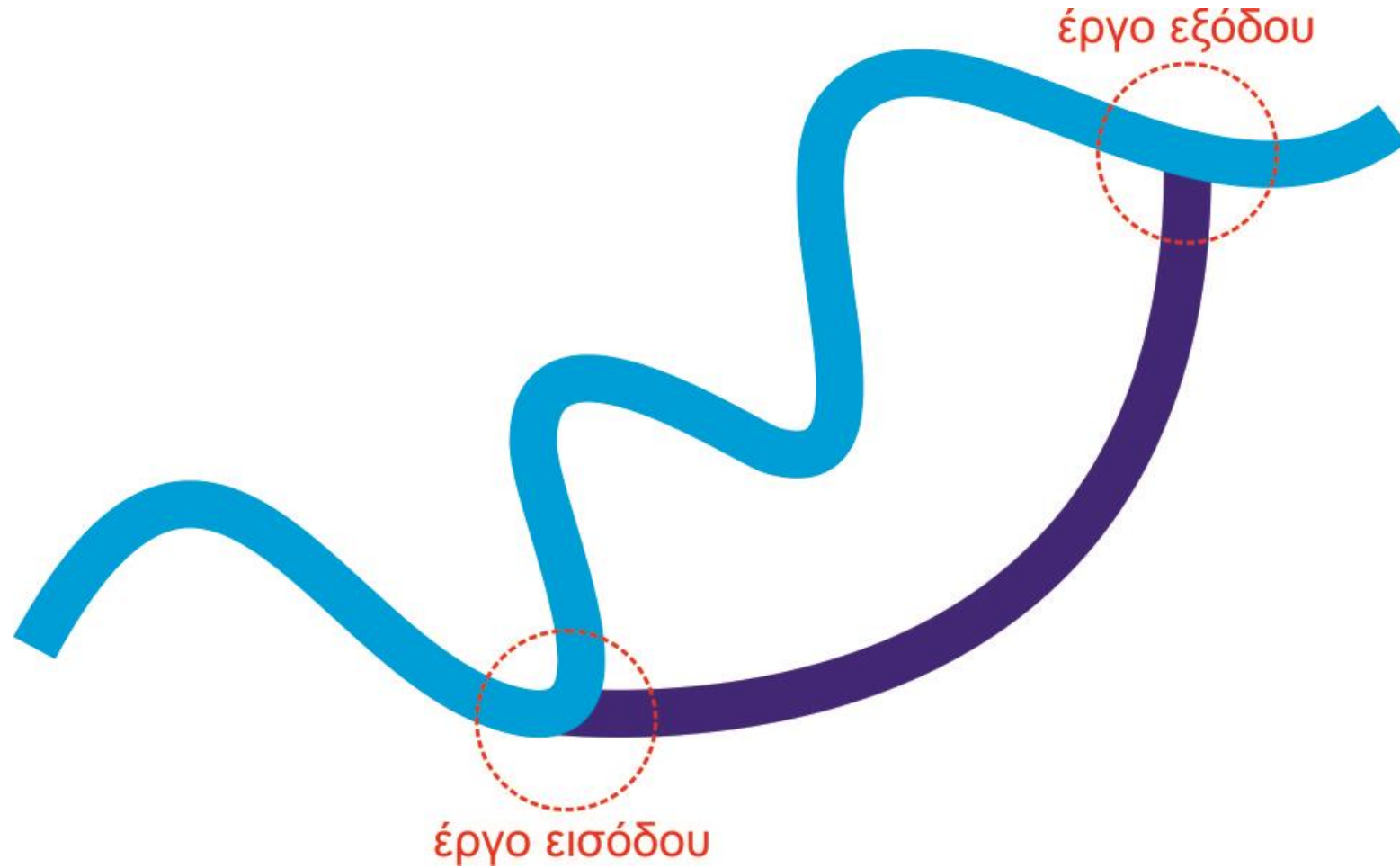
# Αναχώματα



# Αναχώματα



# Μερική εκτροπή



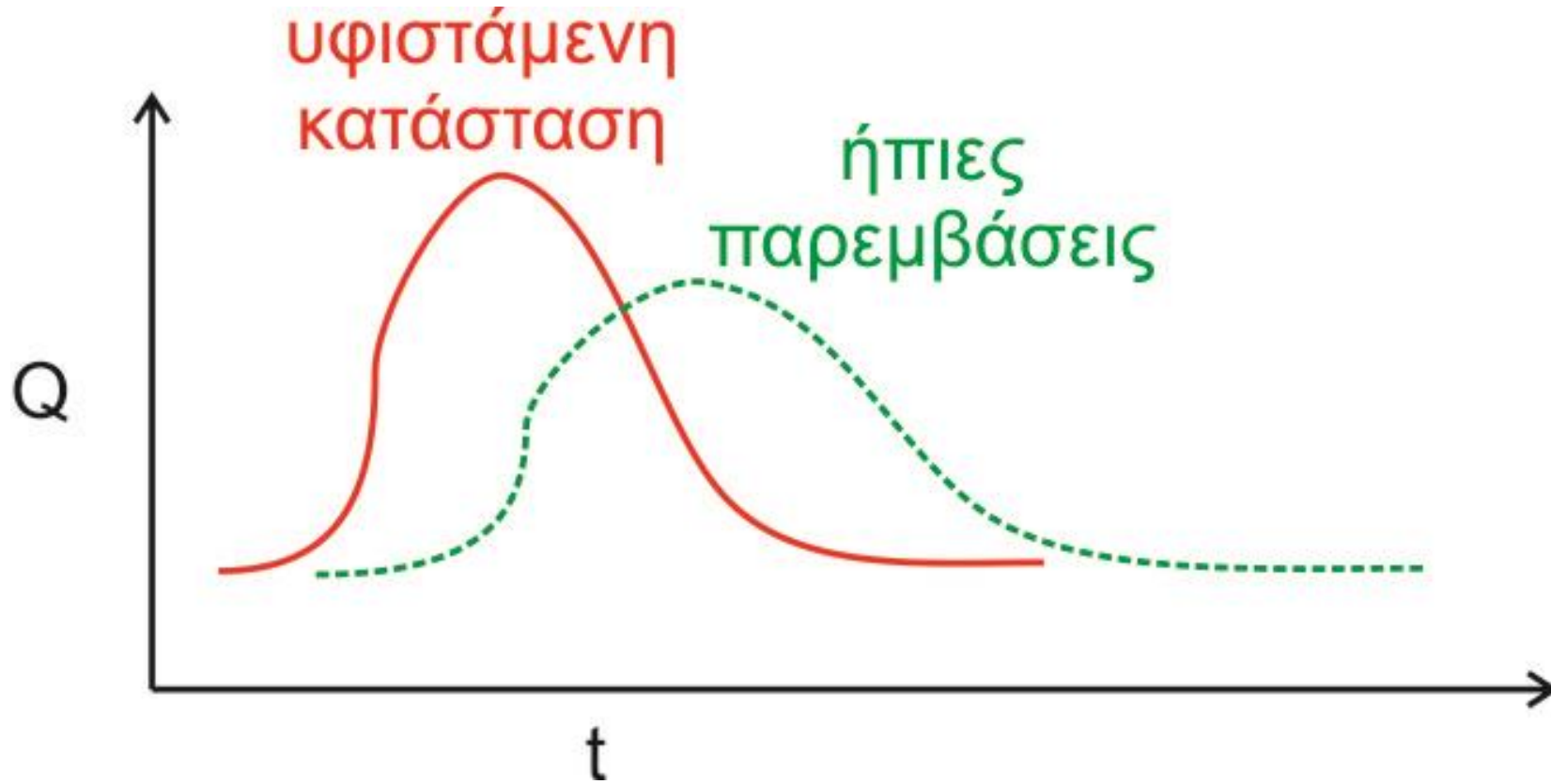
# Ήπιες παρεμβάσεις

- Αποκεντρωμένη αντιμετώπιση vs. «κεντρική» διαχείριση
- Μικρή κλίμακα → σπίτι
- Βελτίωση ποιότητας νερού

# Ιστορικό

- Έργα ορεινής υδρονομίας: αρχαιότητα έως σήμερα
- **Best Management Practices (ΗΠΑ):** δεκαετία '70
- **Low Impact Development (ΗΠΑ):** αρχές δεκαετίας '90
- **Sustainable Urban Drainage Systems (ΗΒ):** δεκαετία '90
- **Water Sensitive Urban Design (Αυστραλία):** δεκαετία '90
- **Green Infrastructure (ΗΠΑ, ΕΕ):** δεκαετία '00
- **Nature Based Solutions (ΕΕ):** δεκαετία '10
- **Sponge City (Κίνα):** 2013-2014

# Στόχος



# Στόχος



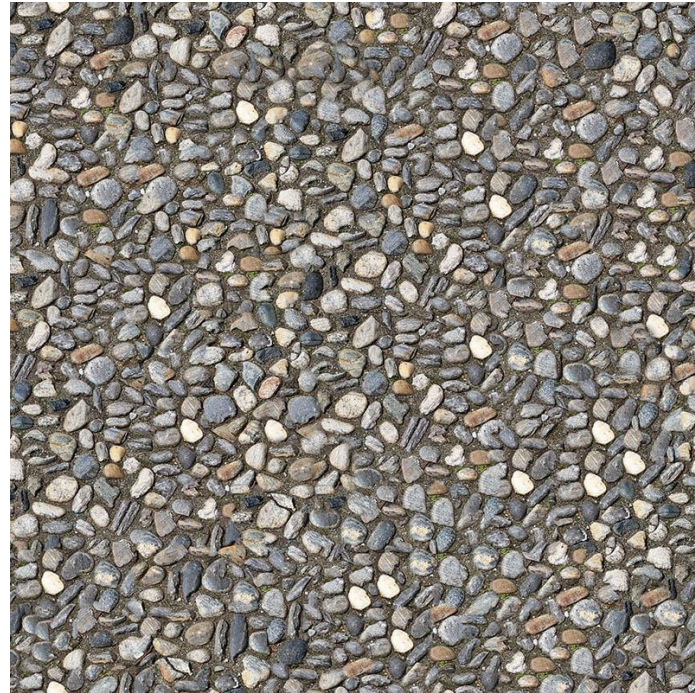
# Πρακτικές

- Πράσινες στέγες
- Πορώδη πεζοδρόμια
- Πράσινες τάφροι
- Δεξαμενές ανακούφισης/ανάσχεσης
  - Μικρή κλίμακα → στέρνα συλλογής βρόχινου νερού
  - Μεγάλη κλίμακα → επίπεδο γειτονιάς/συνοικίας

# Πράσινες στέγες



# Πορώδη πεζοδρόμια



# Πράσινες τάφροι



# Δεξαμενές ανακούφισης



Προσομοίωση πλημμύρας

# Διαφορικές εξισώσεις

- ΣΔΕ ενέργειας
  - Σύστημα ΜΔΕ, 1D-SWE
  - Σύστημα ΜΔΕ, 2D-SWE
  - 3D εξισώσεις Navier-Stokes
- υπερβολικού τύπου
- υπολογιστικό κόστος

# Πλημμυρικό πεδίο

- **Φυσικό περιβάλλον**

- Σύστημα ΜΔΕ, 1D-SWE → να αποφεύγεται
- Σύστημα ΜΔΕ, 2D-SWE

- **Αστικό περιβάλλον**

- Αστοχία ποταμού
- Άμεση πλημμύρα λόγω βροχής (pluvial flooding)
- Αστοχία φρεατίου

} μονόδρομος  
τα μοντέλα 2D-SWE

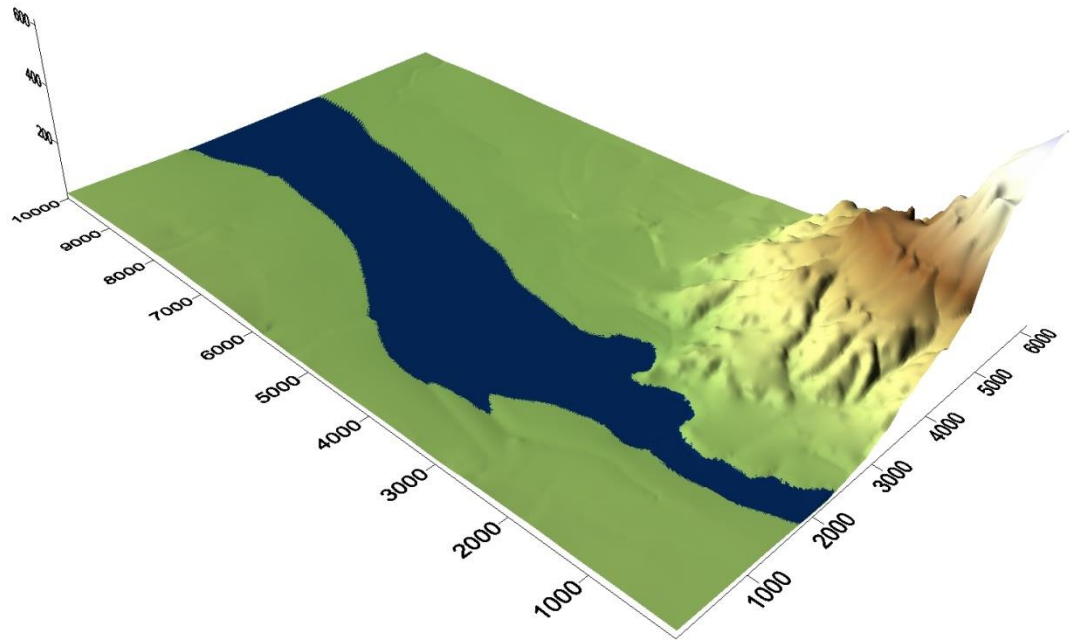
# Λογισμικά

- HEC-RAS
- TELEMAC
- MIKE
- Flood Modeller Pro
- FLO-2D
- LISFLOOD
- FullSWOF
- SWMM
- ...

- **Πληθώρα επιλογών**
  - ΣΔΕ ενέργειας
  - 1D
  - 1D+
  - 2D-
  - 1D/2D
- **Διάφορες αριθμητικοί μέθοδοι**
- **Διάφορα αριθμητικά σχήματα**
- **Πολλαπλά πεδία εφαρμογής**
  - Ποταμός/υδατόρεμα
  - Αποχετευτικό σύστημα
  - Πλημμυρικό πεδίο
  - Λεκάνη απορροής

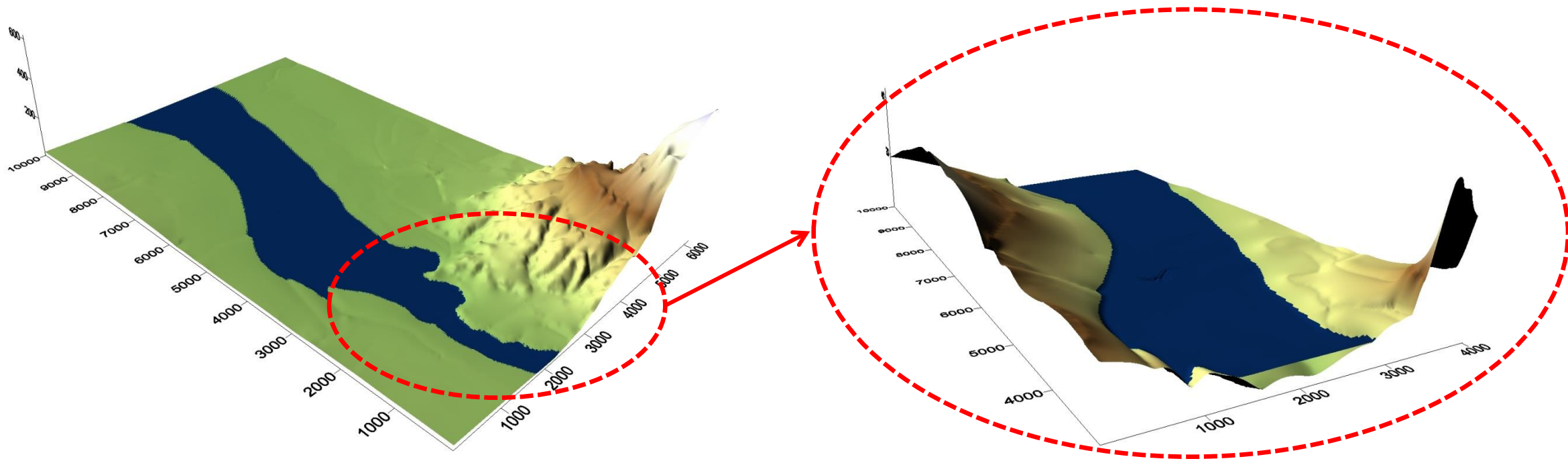
# Παραδείγματα

## λογισμικό FLOW-R2D



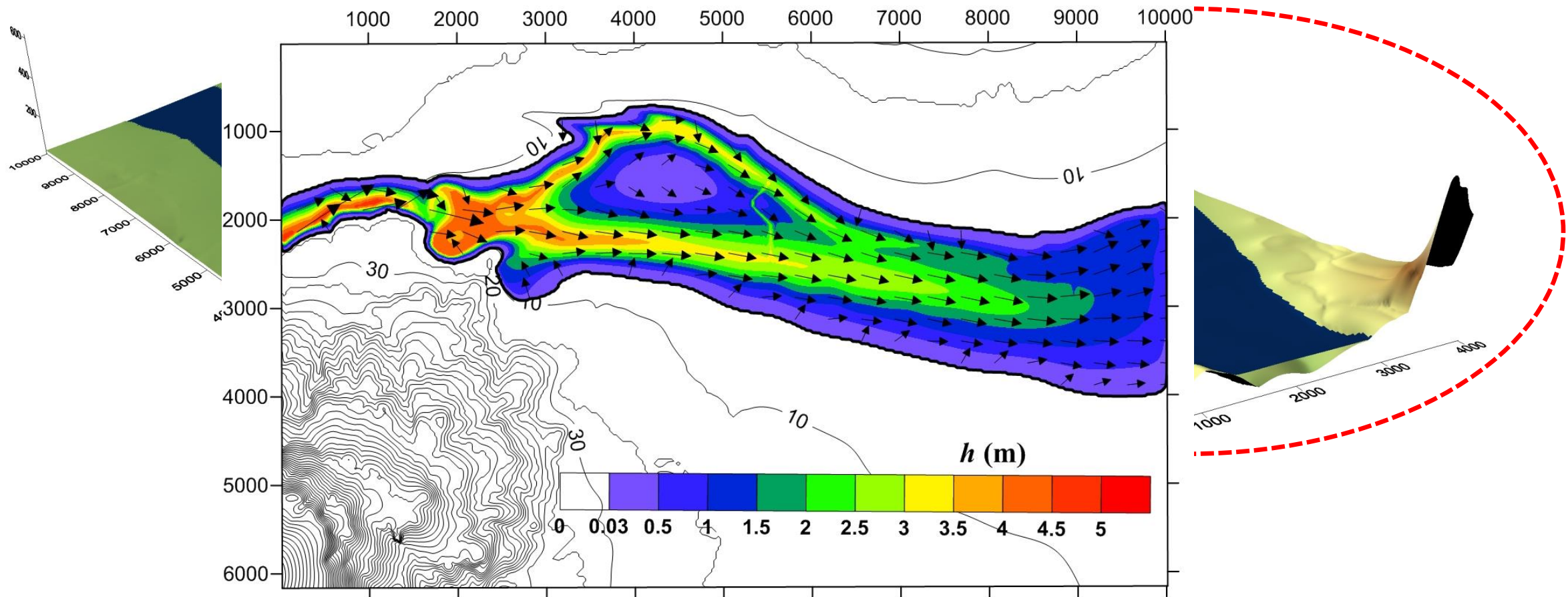
# Παραδείγματα

## λογισμικό FLOW-R2D



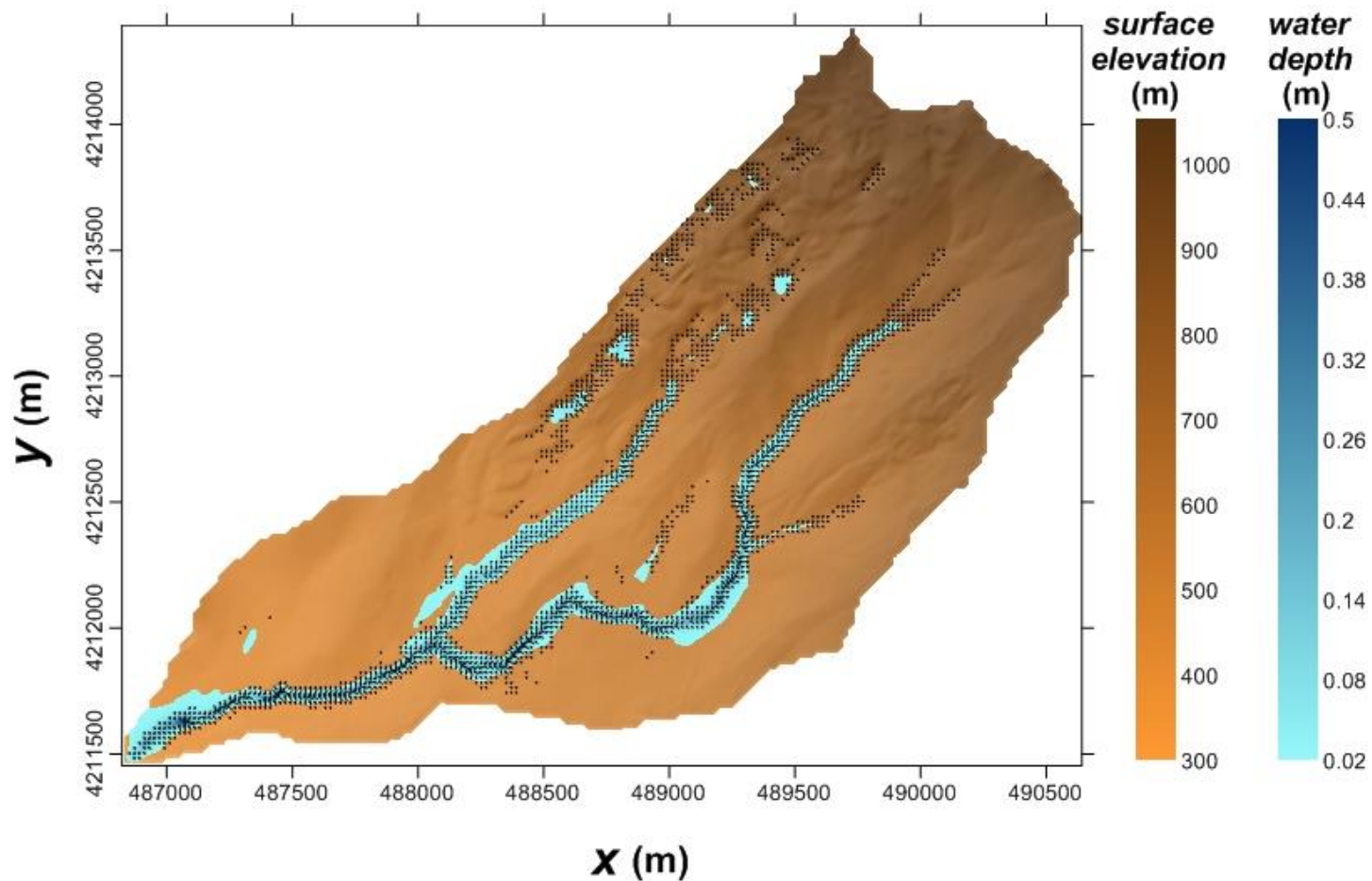
# Παραδείγματα

## Λογισμικό FLOW-R2D



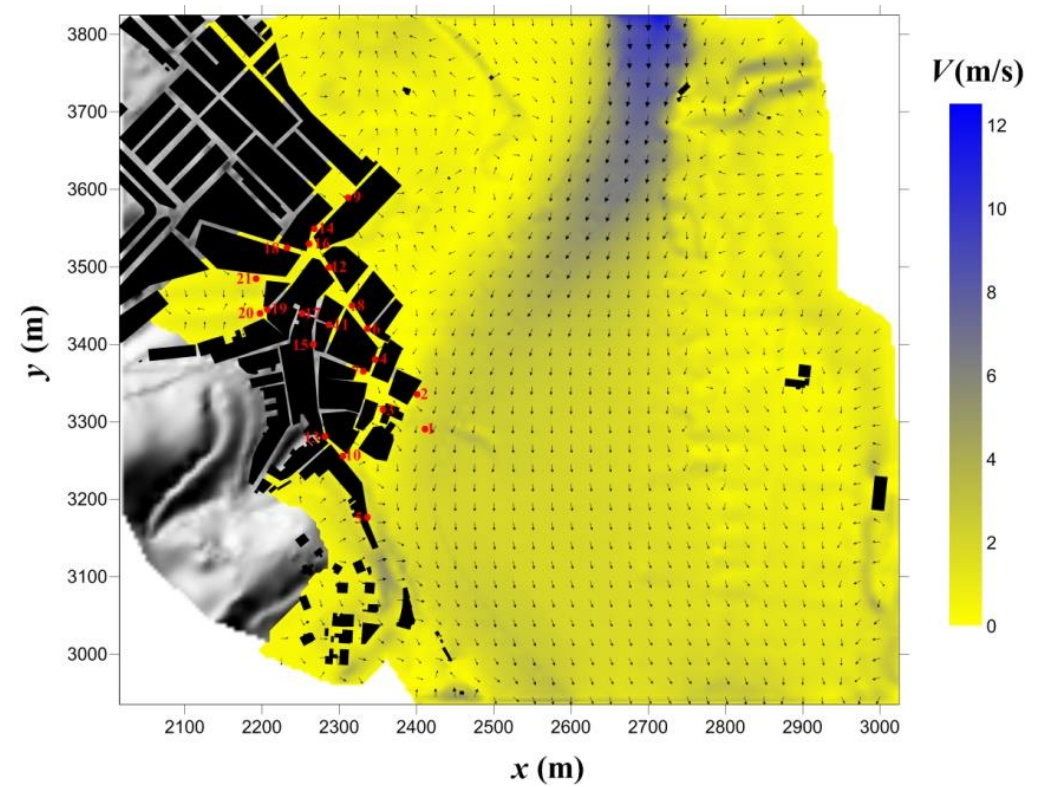
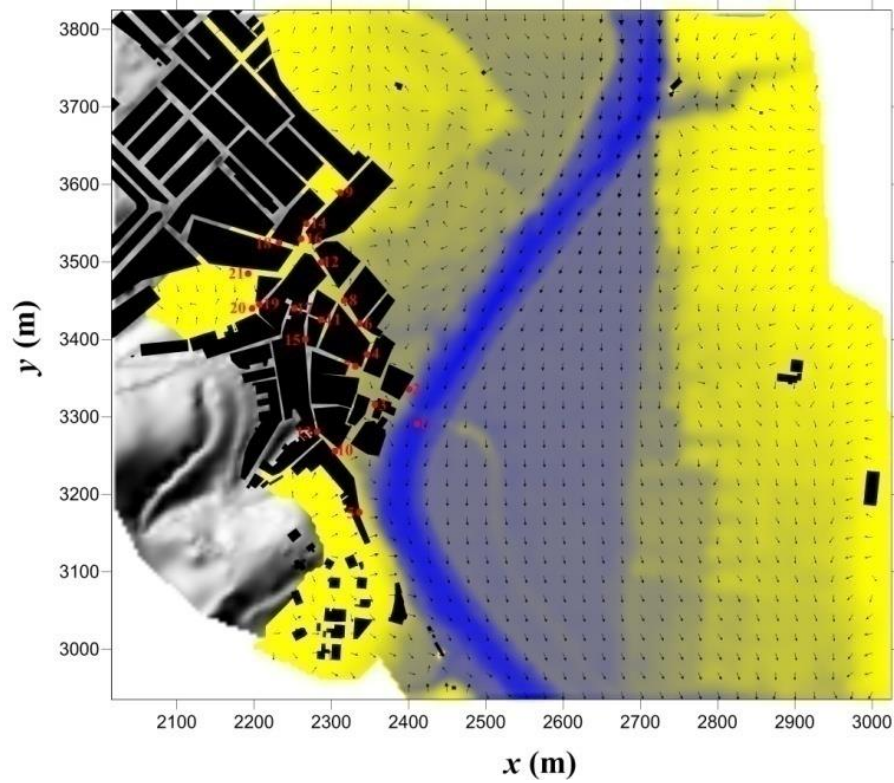
# Παραδείγματα

λογισμικό FLOW-R2D



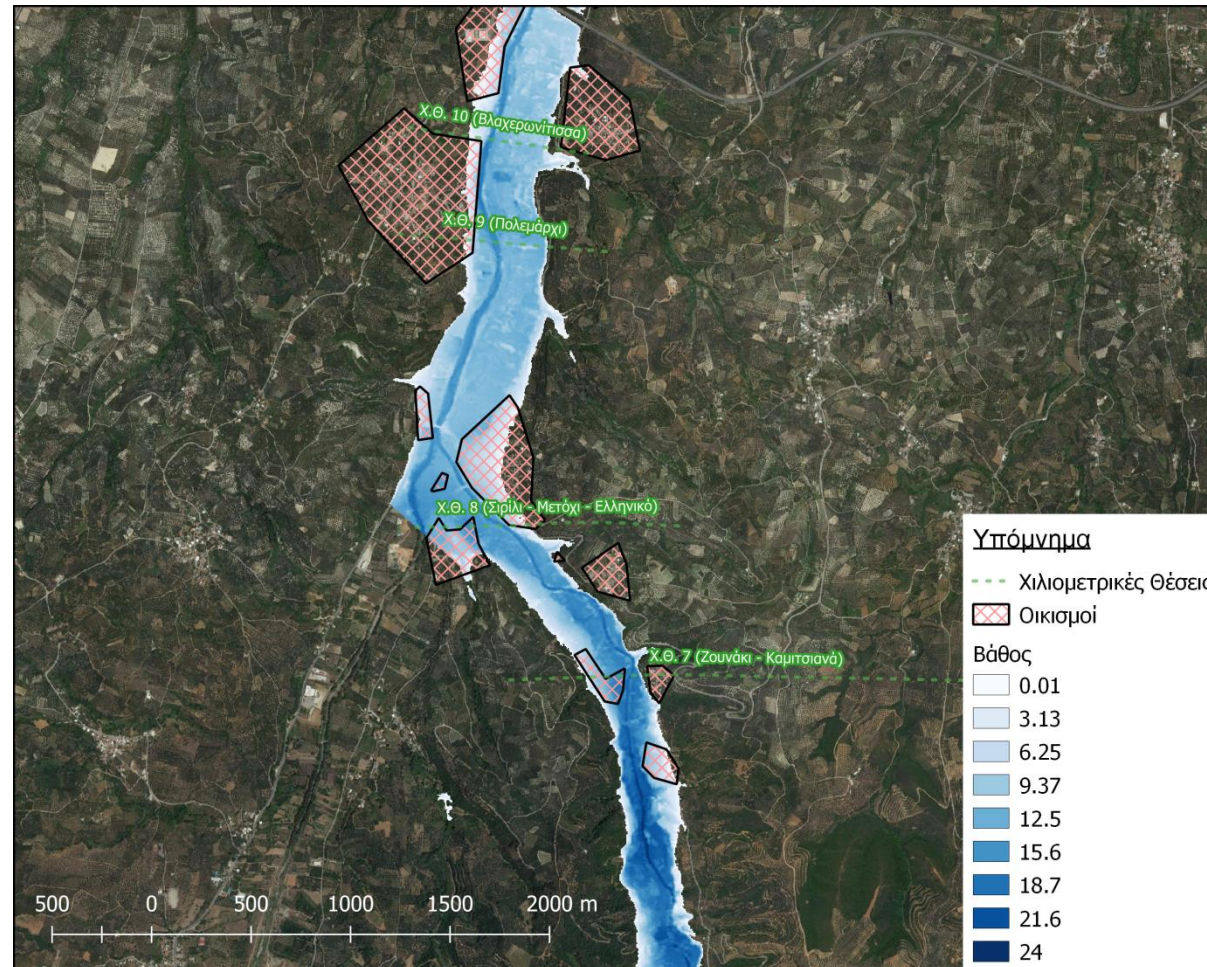
# Παραδείγματα

## Λογισμικό FLOW-R2D



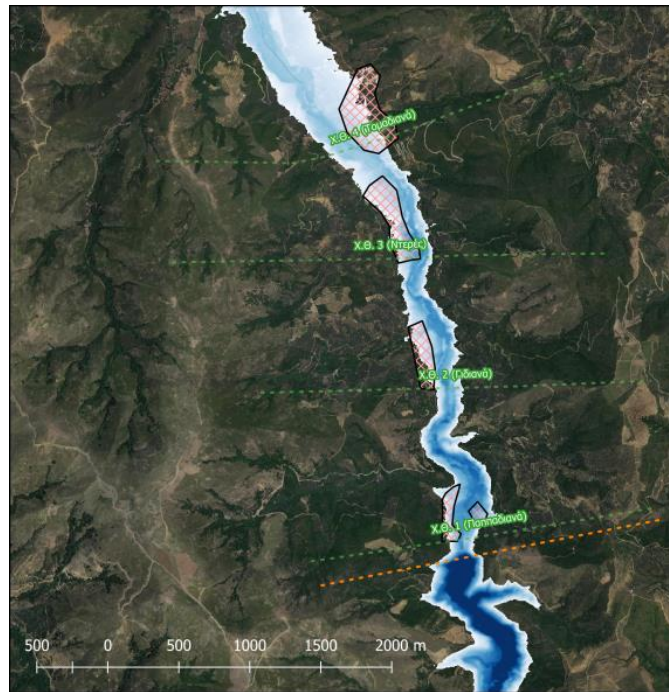
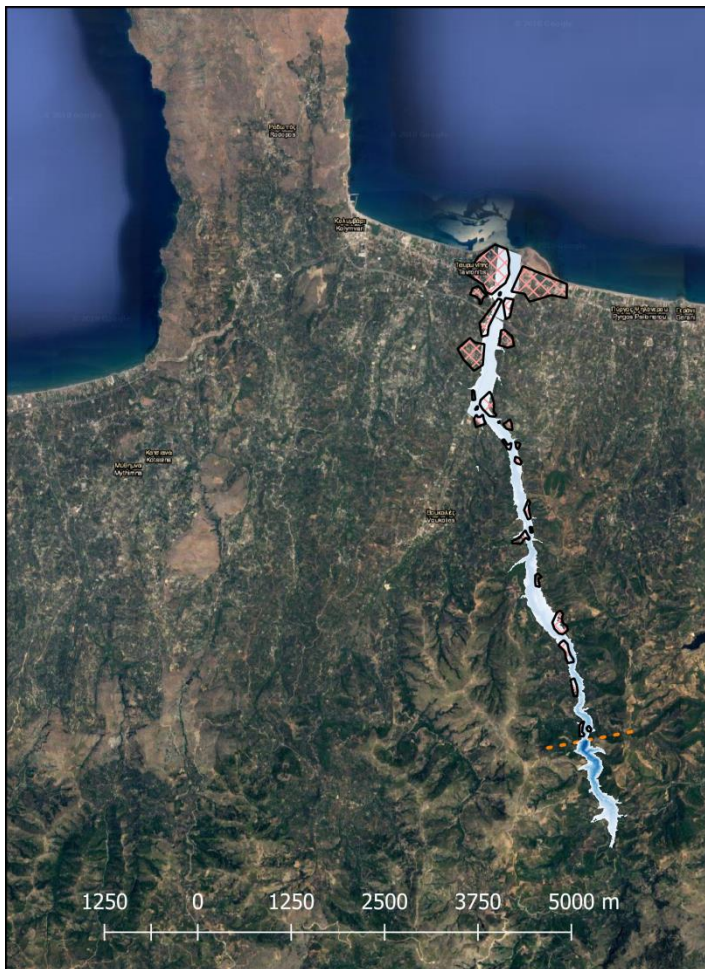
# Παραδείγματα

## λογισμικό HEC-RAS



# Παραδείγματα

## λογισμικό HEC-RAS



# Προετοιμασία για το επόμενο μάθημα

- Εγκατάσταση του plugin στο QGIS: <https://opentopography.org/>
- Διαλέγω μία λεκάνη περιοχής (~100-200 km<sup>2</sup>). Συμβουλεύομαι το αντίστοιχο ΣΔΚΠ για το ανάλογο ΥΔ: <https://floods.ypeka.gr/>
- Κατεβάζω τα DEM της περιοχής με το *opentopography*
- Εγκατάσταση HEC-HMS (υδρολογική προσομοίωση) και HEC-RAS (υδραυλική προσομοίωση): αλλάζουμε στις ρυθμίσεις τη μορφή της ημερομηνίας (ΗΠΑ)