

An impressionistic painting of a landscape with several trees in the foreground and a hazy background. The colors are muted and blended, typical of the Impressionist style.

Μ.Σ.

Πλημμυρικός κίνδυνος, τρωτότητα
και διακυνδίνευση

*Department of Civil Engineering, School of Engineering, Democritus University of Thrace,
Greece*



Διακινδύνευση πλημμυρικών φαινομένων

Καταστρο φές

- Η καταστροφή δεν ταυτίζεται με το φαινόμενο ή το συμβάν που αποτελεί το έναυσμά της
- Η καταστροφή προκαλείται όταν η εκδήλωση ενός επικίνδυνου συμβάντος ή φαινομένου συνυπάρξει με συνθήκες ευπάθειας και τρωτότητας της κοινωνίας καθώς και με την ανεπαρκή ικανότητα αυτής να μετριάσει τις ενδεχόμενες επιπτώσεις και να ανακάμψει από αυτές
- Οι θεμελιώδεις αιτίες που υποθάλπουν μια καταστροφή υποβόσκουν πολύ πριν αυτή συμβεί και, κατά κανόνα, συνεχίζουν και μετά από αυτήν να καλλιεργούν τις συνθήκες για μια νέα καταστροφή
- Ο όρος φυσική καταστροφή (natural disaster) χρησιμοποιείται συνήθως προκειμένου να αναφερθούμε σε μια καταστροφή, έναυσμα της οποίας είναι ένα ακραίο φυσικό φαινόμενο ή κίνδυνος (Kelman, 2010)

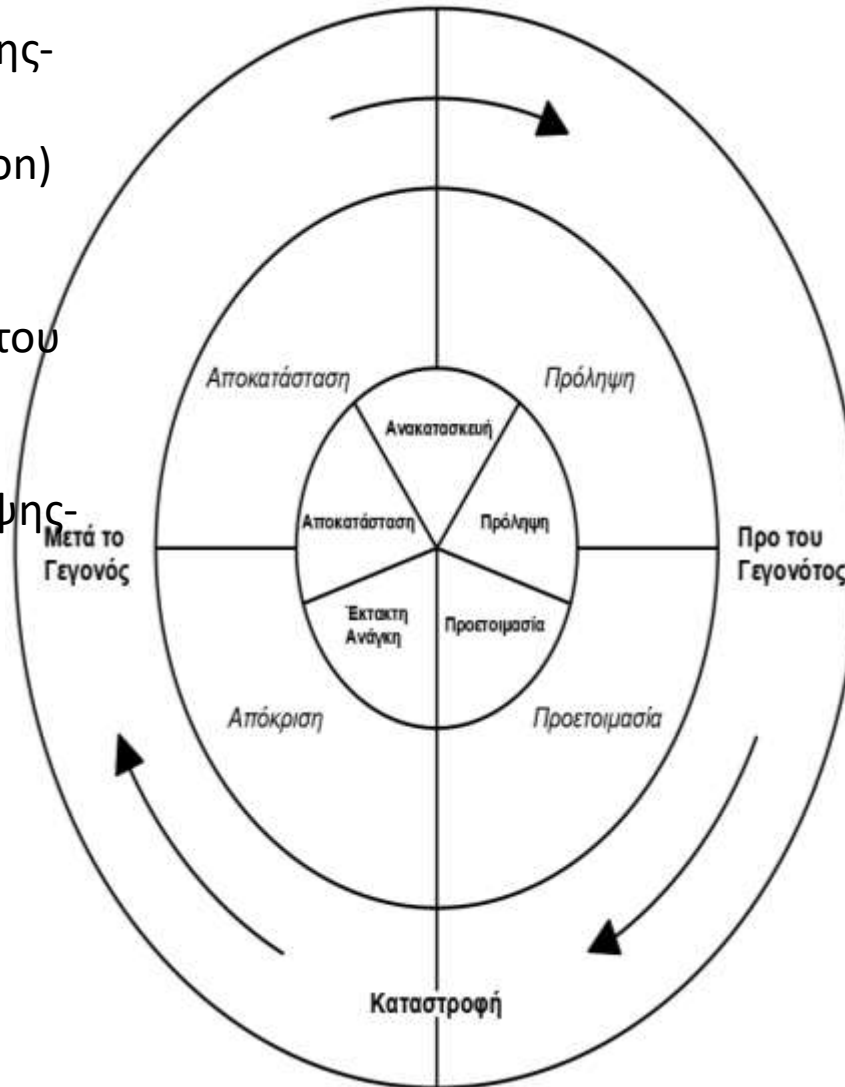
Φάσεις εκδήλωσης των καταστροφών



Καδόγλου 2020, διπλωματική

Ο κύκλος της καταστροφής, Alexander 2000

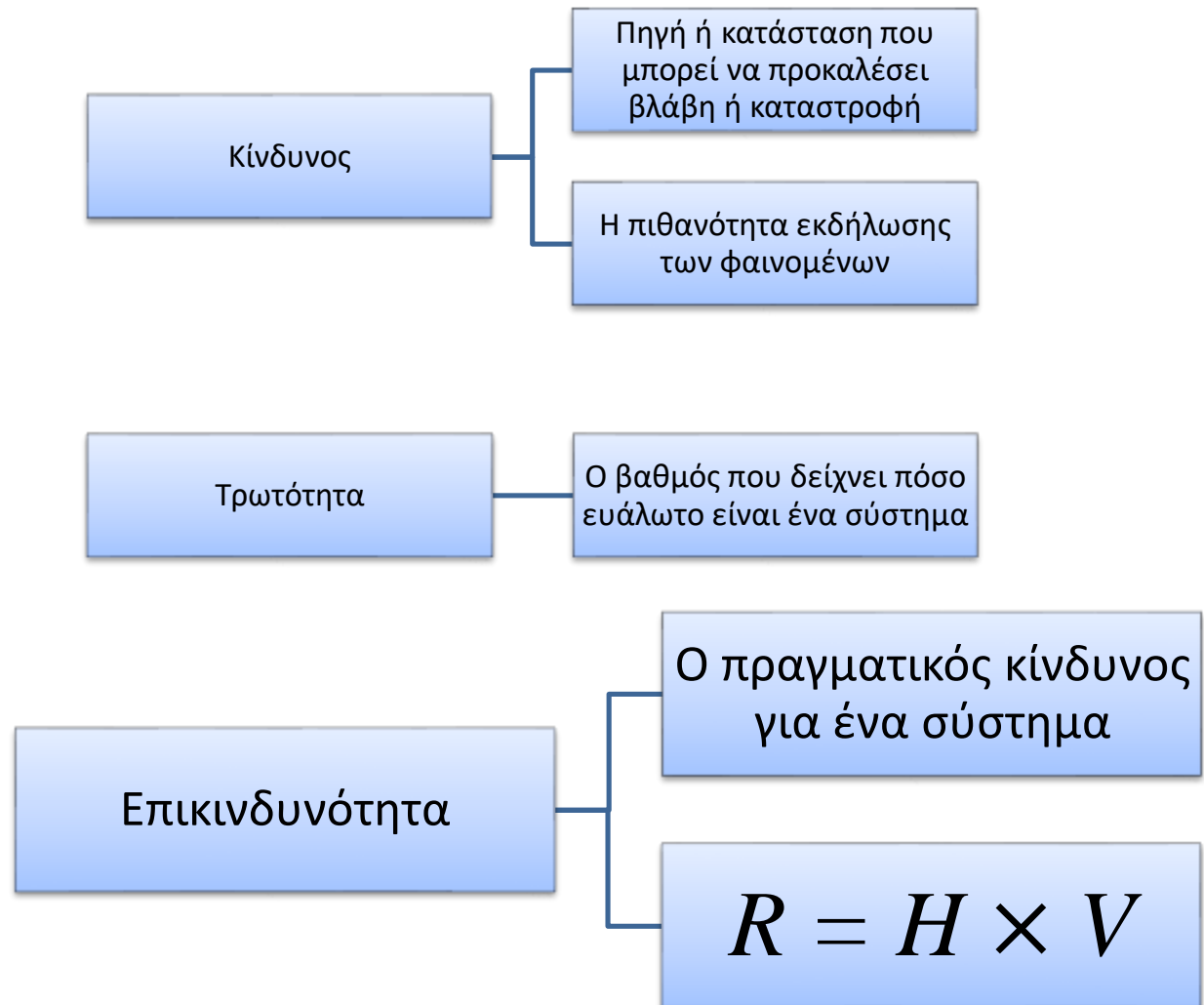
- Η φάση της πρόληψης-προστασίας (prevention-mitigation)
- Η φάση ετοιμότητας (preparedness)
- Η φάση εκδήλωσης του φαινομένου και απόκρισης
- Η περίοδος ανάκαμψης-ανασυγκρότησης



Η καταστροφή, δεν αποτελεί μια απόκλιση από τις κανονικές λειτουργίες των ανθρώπων και τις αποφάσεις που λαμβάνονται για αυτούς

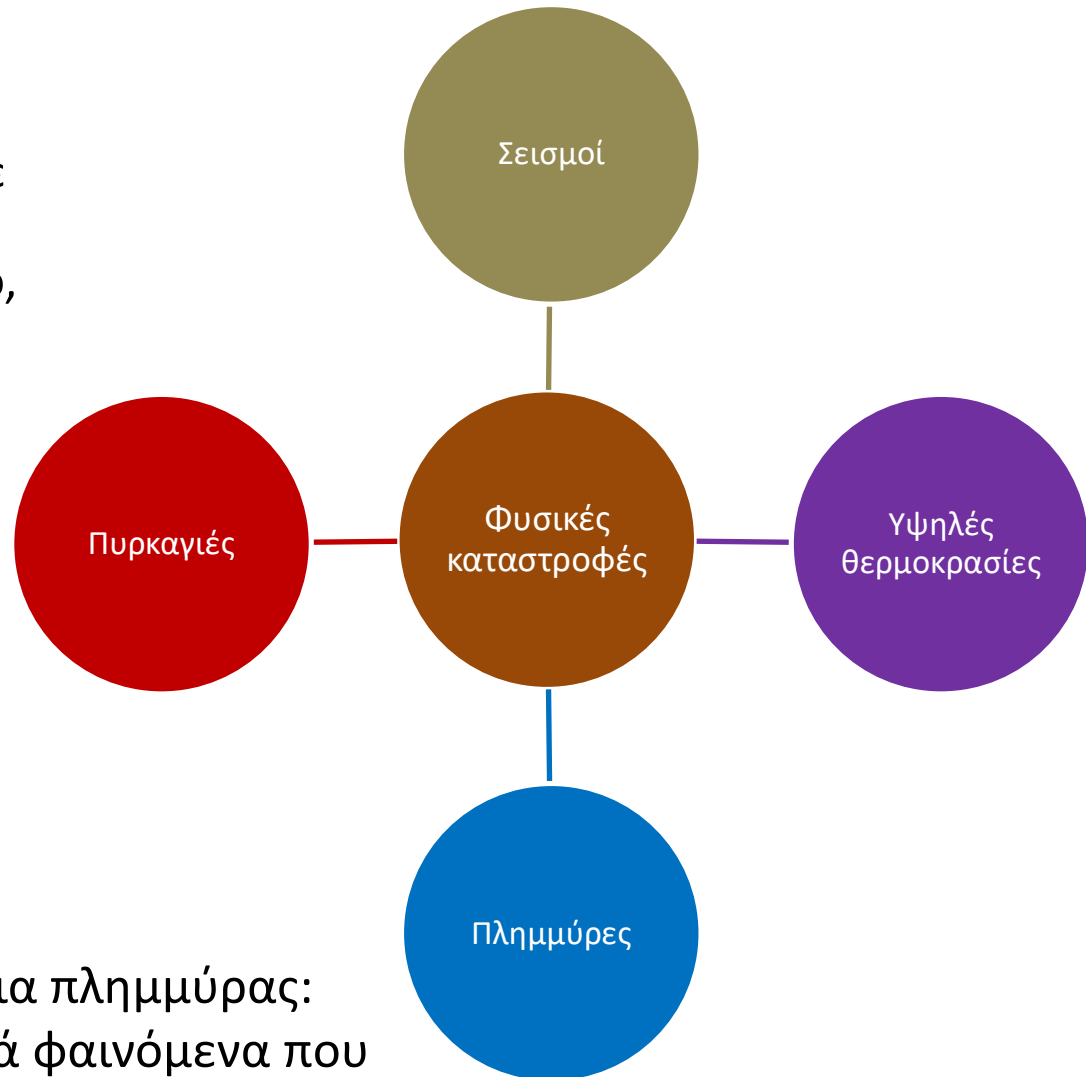
Η σύγχρονη αντίληψη για την αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών

- Κίνδυνος, H
- Τρωτότητα, V
- Επικινδυνότητα, R



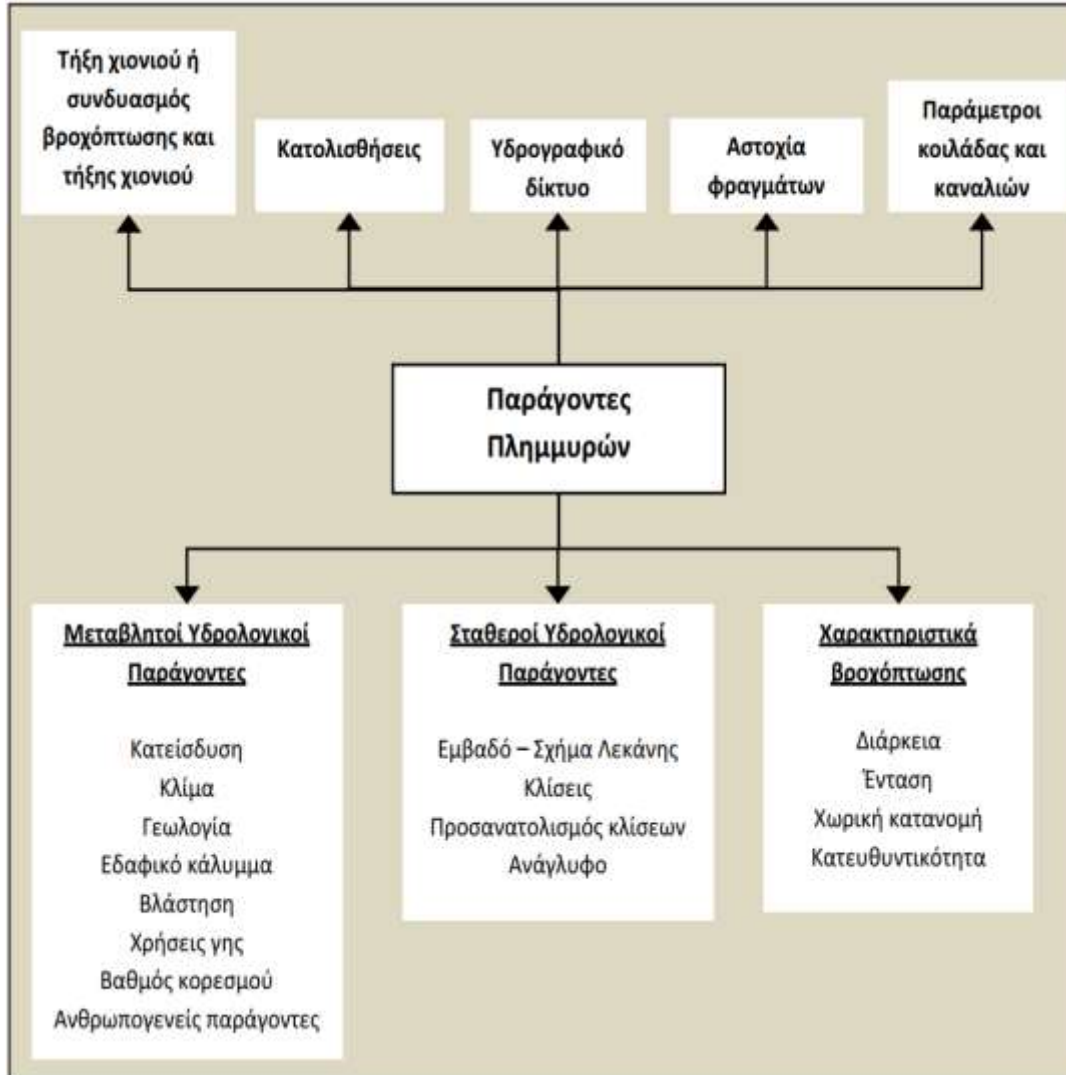
Φυσικές καταστροφές στην Ελλάδα και Πλημμύρες

- Οι φυσικές καταστροφές στον ελλαδικό χώρο αποτελούν τα συμβάντα με το μεγαλύτερο κόστος (κοινωνικό, περιβαλλοντικό, οικονομικό)
- 1980-2018: 156 θάνατοι σε 56 πλημμυρικά επεισόδια
- Οι υπόλοιπες φυσικές καταστροφές συμβάλλουν στη εκδήλωση πλημμύρων
- Κίνδυνος πλημμύρας
- Τρωτότητα έναντι πλημμύρας
- Πλημμυρική Επικινδυνότητα



- Αίτια πλημμύρας: Φυσικά φαινόμενα που δεν γίνεται να ελεγχθούν

Αίτια και παράγοντες Πλημμύρας



Επιπτώσεις πλημμύρας

Άμεσες
Επιπτώσεις

Θάνατος

Τραυματισμός

Εγκλωβισμός

Καταστροφές στα κτίρια

Καταστροφές στα μέσα μεταφοράς

Καταστροφές στα τεχνικά έργα

Καταστροφές στο οδικό δίκτυο

Καταστροφές στα συστήματα επικοινωνίας

καταστροφή γεωργικών εκτάσεων και
καλλιεργειών

διάβρωση εδαφών

Έμμεσες
Επιπτώσ
εις

μολύνσεις των υδάτινων
συστημάτων

πείνα και λοιμούς

μόνιμη ή παροδική
απομάκρυνση κατοίκων

πυρκαγιές λόγω
βραχυκυκλωμάτων στο
δίκτυο ηλεκτροδότησης
καταστροφή υφιστάμενων και
μείωση βιοποικιλότητας

- Σε πολλά μέρη του κόσμου, οι πλημμύρες αποτελούν φαινόμενα τα οποία συμβαίνουν σε ετήσια βάση και θεωρείται ότι έχουν πολλές θετικές πτυχές διότι συμβάλλουν στην γονιμότητα των εδάφους και κατά συνέπεια θεωρούνται ωφέλιμα (Moss & Monstadt, 2008).
- Ο αντίκτυπος των πλημμυρών στην γεωργία εξαρτάται κυρίως από τον κύκλο των καλλιεργειών, δηλαδή την φάση ανάπτυξής τους, αλλά και από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής.
- Οι πλημμύρες όμως μετατρέπονται σε καταστροφές όταν συμβαίνουν σε ασυνήθιστη έκταση και ένταση, σε ιδιαίτερα γεωγραφικά σημεία και με απροσδόκητο τρόπο, με αποτέλεσμα να υπερβαίνεται η ικανότητα της πληττόμενης κοινωνίας να ανταποκριθεί στο εν λόγω φαινόμενο.

- Οι βαθύτερες αιτίες των πλημμυρών (βροχόπτωση και στάθμη της θάλασσας) είναι φυσικά φαινόμενα τα οποία δεν μπορούν στην πραγματικότητα να ελεγχθούν.
- Ωστόσο, εάν μία βροχόπτωση προκαλέσει ζημιές λόγω πλημμύρας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό όχι μόνο από φυσικούς παράγοντες (Ward & Robinson, 2000) αλλά και από ανθρωπογενείς (Smith & Ward, 1998).

Βασικές έννοιες

- Κίνδυνος: μία κατάσταση που μπορεί να προκαλέσει βλάβη σε φυσικό ή τροποποιημένο σύστημα
- Τρωτότητα έναντι πλημμύρας (Flood Vulnerability) είναι ο βαθμός επιδεκτικότητας ή το πόσο είναι ευάλωτο ένα σύστημα του φυσικού ή ανθρωπογενούς περιβάλλοντος σε έναν κίνδυνο πλημμύρας, καθώς επίσης σύμφωνα με τους Wisner et al., 2004 και της ικανότητας του συστήματος αυτού να προβλέψει, να αντιμετωπίσει, να ανακάμψει και να αντισταθεί στις επιπτώσεις μίας καταστροφής.
- Διακινδύνευση: ο πραγματικός κίνδυνος για ένα σύστημα που προκύπτει με βάση τον κίνδυνο, την τρωτότητα
- Οδηγία 2007/60/EC
 - Μείωση της διακινδύνευσης, επομένως των συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία και ζωή, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά, οικονομική δραστηριότητα, και γενικότερη υποδομή.
 - Χάρτες κινδύνου: βάθη και ταχύτητες ροής
 - Χάρτη τρωτότητας: =f(δραστηριοτήτων)→καταγραφή δραστηριοτήτων
 - Χάρτης διακινδύνευσης...σε λεκάνη απορροής (κλίμακα)

τύποι πλημμυρών

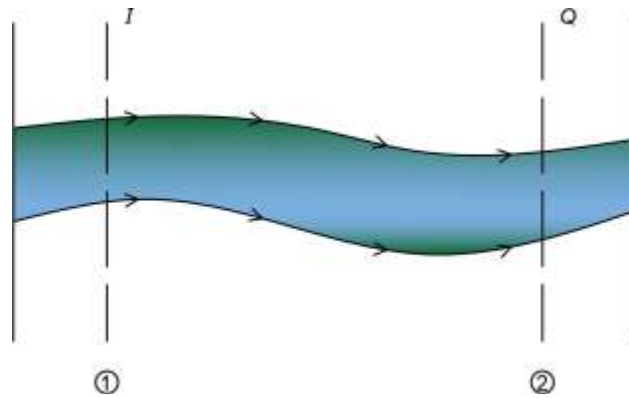
- οι ποτάμιες πλημμύρες (river floods)
- οι παράκτιες πλημμύρες (coastal flooding)
- οι πλημμύρες κατάκλισης ή από βροχή (pluvial floods)
- οι αστικές πλημμύρες (urban floods)
- οι πλημμύρες του αποχετευτικού δικτύου (sewer flooding)
- οι πλημμύρες υπόγειων υδάτων ή υδροφόρου ορίζοντα (groundwater flooding)
- οι αιφνίδιες ή στιγμιαίες πλημμύρες (flash floods)(Kourgialas & Karatzas, 2016).

Ποτάμιες πλημμύρες

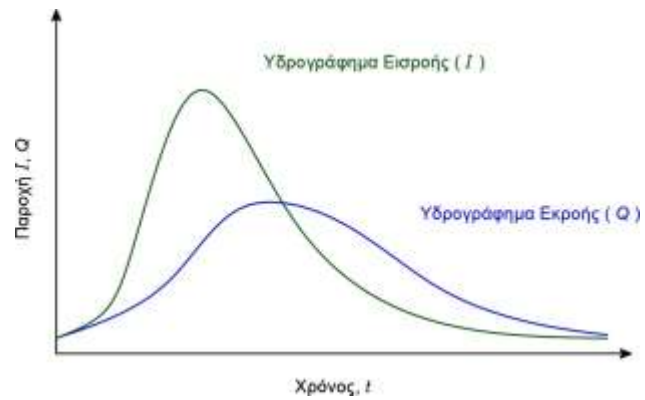
- Οι εκτενείς, μεγάλης διάρκειας πλημμύρες χαρακτηρίζουν την πλημμύρα περιοχών μεγάλης έκτασης οι οποίες δημιουργούνται σχεδόν πάντοτε από βροχοπτώσεις οι οποίες διαρκούν μερικές ημέρες ή εβδομάδες, σε άμεση συνάρτηση με ένα έδαφος το οποίο είναι κορεσμένο υδατικώς από προγενέστερη χρονική φάση (όπως για παράδειγμα από λιώσιμο πάγων και χιονιού). Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου πλημμύρας είναι ότι συχνά εκδηλώνεται με αργό ρυθμό, οπότε δίνεται η δυνατότητα της έγκαιρης προειδοποίησης και προετοιμασίας του μηχανισμού ανταπόκρισης στο φαινόμενο.

Τύπος Πλημμύρας	Ενδεικτικά Αίτια	Ενδεικτικές Επιπτώσεις
Ποτάμιες πλημμύρες	Έντονη βροχόπτωση, βροχόπτωση μακράς διαρκείας, λιώσιμο χιονιού, αστοχία αντιπλημμυρικών	Πλημμυρικά ύδατα κατά μήκος πλημμυρικών πεδίων (στάσιμα ή ρέοντα)
Παράκτιες πλημμύρες	Υψηλές παλίρροιες, καταιγίδες, τσουνάμι, συνδυασμός των παραπάνω με έντονη βροχόπτωση	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα κοντά στην ακτή, υποχώρηση της ακτής, υφαλήρηση της αγροτικής γης κοντά στο παραλιακό μέτωπο
Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων	Καταιγίδες, αστάθεια πρανών	Λασπορροές, έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα και μεταφερόμενο υλικό, δημιουργία αλλουβιακού ριπιδίου
Αιφνίδιες πλημμύρες σε εφήμερους χειμάρρους	Ιδιαίτερα έντονη βροχόπτωση	Έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα πολλές φορές εμπλουτισμένα με εδαφικό υλικό, λασπορροές
Πλημμύρες που συνδέονται με το υπεδαφικό νερό	Υψηλή στάθμη υπεδαφικού νερού, κορεσμός υδροφόρου ορίζοντα	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στο πλημμυρικό πεδίο
Πλημμύρες λιμνών	Ταχεία αύξηση των υδατικών αποθεμάτων	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα πέραν της ακτής

Διόδευση



Σχήμα 3.1: Διόδευση διαμέσου τμήματος ποταμού από την θέση 1 στη θέση 2.



Σχήμα 3.2: Μετασχηματισμός του υδρογραφήματος εισροής σε υδρογράφημα εκροής λόγω της διόδευσης.

Τρωτότητα

- ❑ Πολυδιάστατη έννοια
- ❑ Εκτίμηση
- ❑ Αλγεβρικοί δείκτες ή πολυκριτηριακή θεωρία

Συνιστώσες της τρωτότητας

ΕΚΘΕΣΗ



Η καταγραμμένη εμπειρία (π.χ. θάνατοι ανθρώπων η κοινωνικό –οικονομική καταπόνηση) (Marshall et al., 2010, Jun et al., 2013).

ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ



Ο βαθμός που ένα σύστημα επηρεάζεται από διαταραχές (Weis et al., 2016).

ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

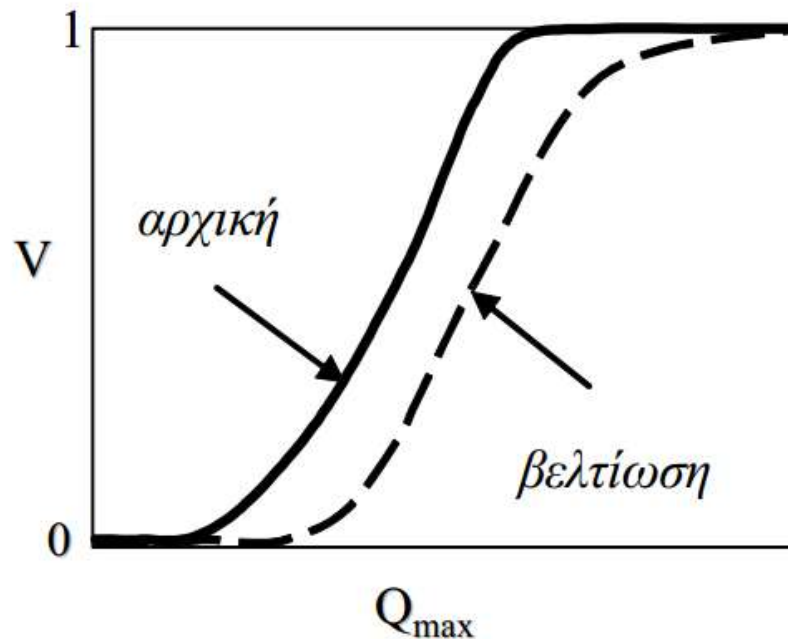


Η δυνατότητα ενός συστήματος να προσαρμοστεί στο φυσικό κίνδυνο και να διευρύνει το εύρος της μεταβλητότητας που μπορεί να αντιμετωπίσει (Jun et al., 2013).

(Spiliotis and Skoulikaris, 2021)

Τρωτότητα
εξαρτάται από το σύστημα, υποδομή αλλά και
από τις ακολοθούμενες πολιτικές

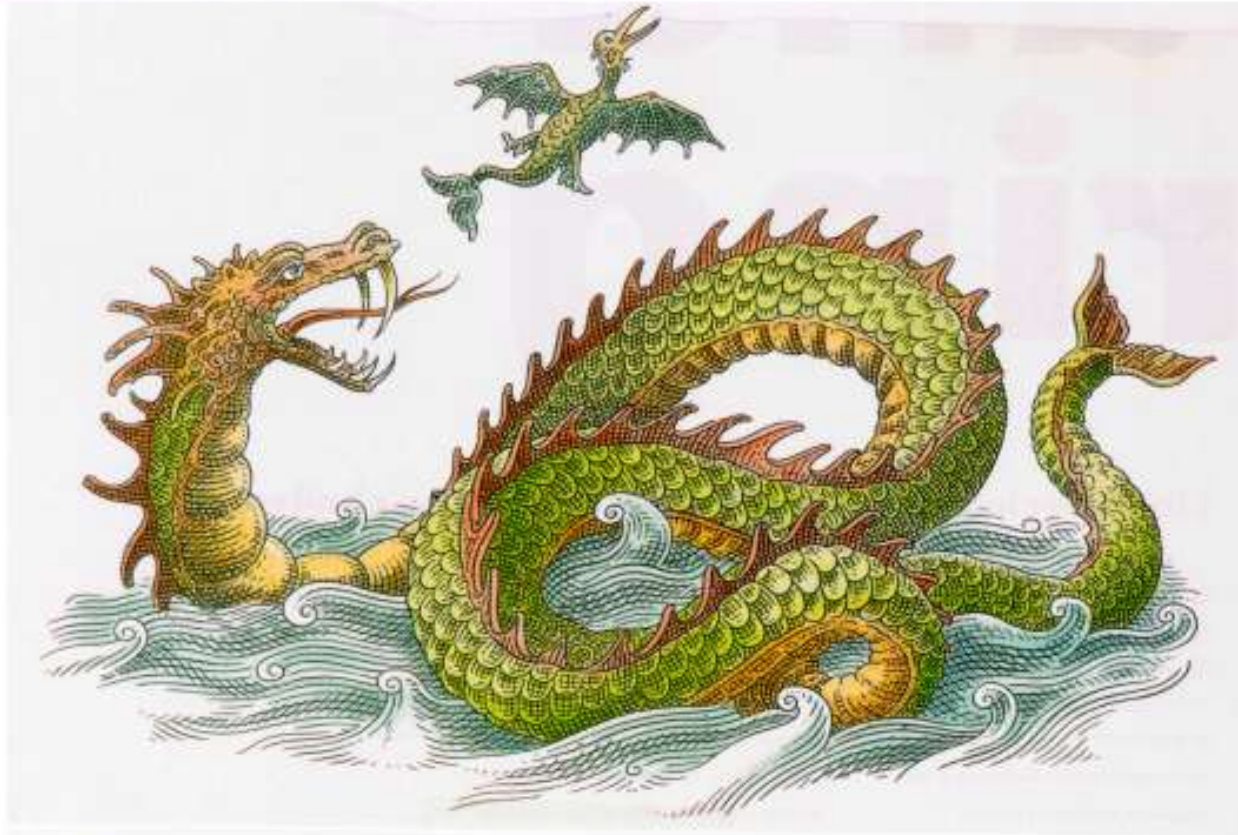
Τρωτότητα – Μέγεθος φαινομένου



Διακινδύνευση, R

- $\{R\} = \{H\} \times \{V\}$ ή $\{R\} = \{H\} \times \{V\} \times \{C\}$
- H : κίνδυνος, πιθανότητα ...αλλάζει με κλιματική αλλαγή
- V τρωτότητα, μεταβαλλόμενο μέγεθος χαρακτηρίζει το σύστημα Υ.Π.
- C κόστος, η άλλο μέγεθος με βάση τις χρ.μονάδες

Αβεβαιότητα



Μεθοδολογία

- **Για διάφορες περιόδους επαναφοράς , T**
Υδραυλική προσομοίωση
- Με βάση την επίλυση προσδιορισμός του *κινδύνου*
- Εκτίμηση **τρωτότητας** (πολυπλοκότητα,
"φεύγουμε» από την αυστηρή υδραυλική.
- Σύνθεση των δύο εννοιών

HAZARD CLASSIFICATION - FLOOD RISK-with respect of the return period

- Περίοδοι επαναφοράς
- For $T = 5, 10, 20, 50, 100, 1000$ and 10000

Βάθος-ταχύτητα-κίνδυνος

$d \times (v + 0.5)$	Βαθμός κινδύνου	Περιγραφή
<0.75	Χαμηλό	Προσοχή "Ζώνη πλημμύρας με ρηχά νερά που ρέουν ή βαθιά στάσιμα νερά"
0.75-1.25	μέτριο	Επικίνδυνο για ειδικές κατηγορίες (π.χ. παιδιά) "Κίνδυνος: Ζώνη πλημμύρας με βαθιά ή ταχέως ρέοντα νερά"
1.25-2.5	Σημαντικό	Επικίνδυνο για τους περισσότερους ανθρώπους "Κίνδυνος: ζώνη πλημμύρας με βαθιά ταχέως ρέοντα νερά"
>2.5	ακραίο	Κίνδυνος για όλες τις κατηγορίες

- Ένας παράγων για τα συντρίμια μπορεί να προστεθεί για $d > 0.25$ m

Giurponi et al. (2015)

Κελί, 500×500 m

Πίνακας 5.2 : Κλάσεις κατάταξης επικινδυνότητας πλημμύρας

ΒΑΘΟΣ d (m)	Ταχύτητα ροής v (m/sec)			
	v < 0,5	0,5 < v < 2,0	2,0 < v < 4,0	v > 4,0
d < 0,2	VL	VL	VL	L
0,2 < d < 0,5	L	L	M	M
0,5 < d < 1,0	L	M	H	H
1,0 < d < 1,5	M	M	H	VH
1,5 < d < 2	H	H	VH	VH
d > 2	VH	VH	VH	VH

όπου : VL : verylow (πολύ χαμηλή)

L : low (χαμηλή)

M : medium (μέτρια)

H : high (υψηλή)

VH : very high (πολύ υψηλή)

Σε κάθε μια από τις πέντε κλάσεις επικινδυνότητας πλημμύρας, αποδόθηκε ένας βαθμός επιρροής (Score) σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα :

Πίνακας 5.3 : Βαθμός επιρροής επικινδυνότητας πλημμύρας

Κατηγορία Επικινδυνότητας	Score
VL - πολύ χαμηλή	0.2
L - χαμηλή	0.4
M - μέτρια	0.6
H - υψηλή	0.8
VH - πολύ υψηλή	1



Τρωτότητα

Για την αποτίμηση της μέγιστης πιθανής επίπτωσης από πλυμμύρα E_k^c σε κάθε κελί αθροίζονται:

- για κάθε κατηγορία επίπτωσης οι δείκτες των επί μέρους επιπτώσεων κατά τα ανωτέρω, π.χ.

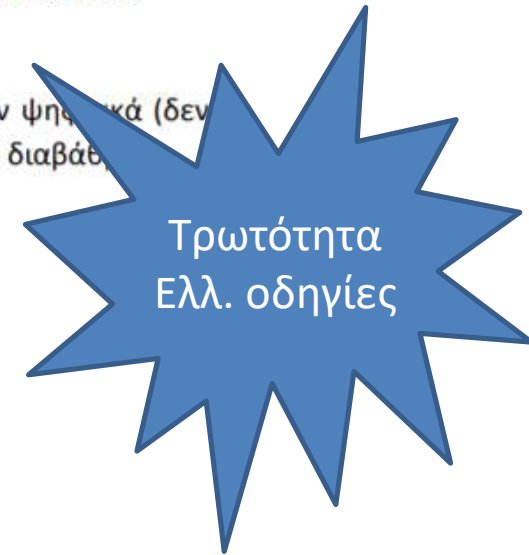
$$E_k^c = \sum E_{kA_i^c}$$

- οι δείκτες των κατηγοριών επίπτωσης για τον προσδιορισμό της συνολικής έκθεσης του κελιού:

$$E_k^c = E_{kA^c} + E_{kO^c} + E_{kΠε^c} + E_{kΠΟ^c}$$

Η τιμή αυτή είναι χαρακτηριστική για το κάθε κελί. Αυτά θα πρέπει να αποτυπωθούν ψηφιακά (δεν απαιτείται η υποβολή σε έντυπη μορφή) σε θεματικό χάρτη με τη παρακάτω χρωματική διαβάθμιση.

Πιθανή μέγιστη επίπτωση	Κατηγορία κινδύνου
<50	πολύ χαμηλός
50-125	χαμηλός
125-200	μέτριος
200-400	υψηλός
>400	πολύ υψηλός



Το εύρος των κλάσεων της τρωτότητας (πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή, πολύ υψηλή), καθορίστηκε ύστερα από αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εκτίμησης του κινδύνου που προέκυψαν κατά την εφαρμογή στα ΥΔ GR01, 02, 03, 13 και τα ΥΔ GR11 και 12.

σύνθεση

Διακινδύνευση
risk
Ελλ. οδηγίες

$$EπA(T)^c = Eκ^c \times BA(T)^c$$

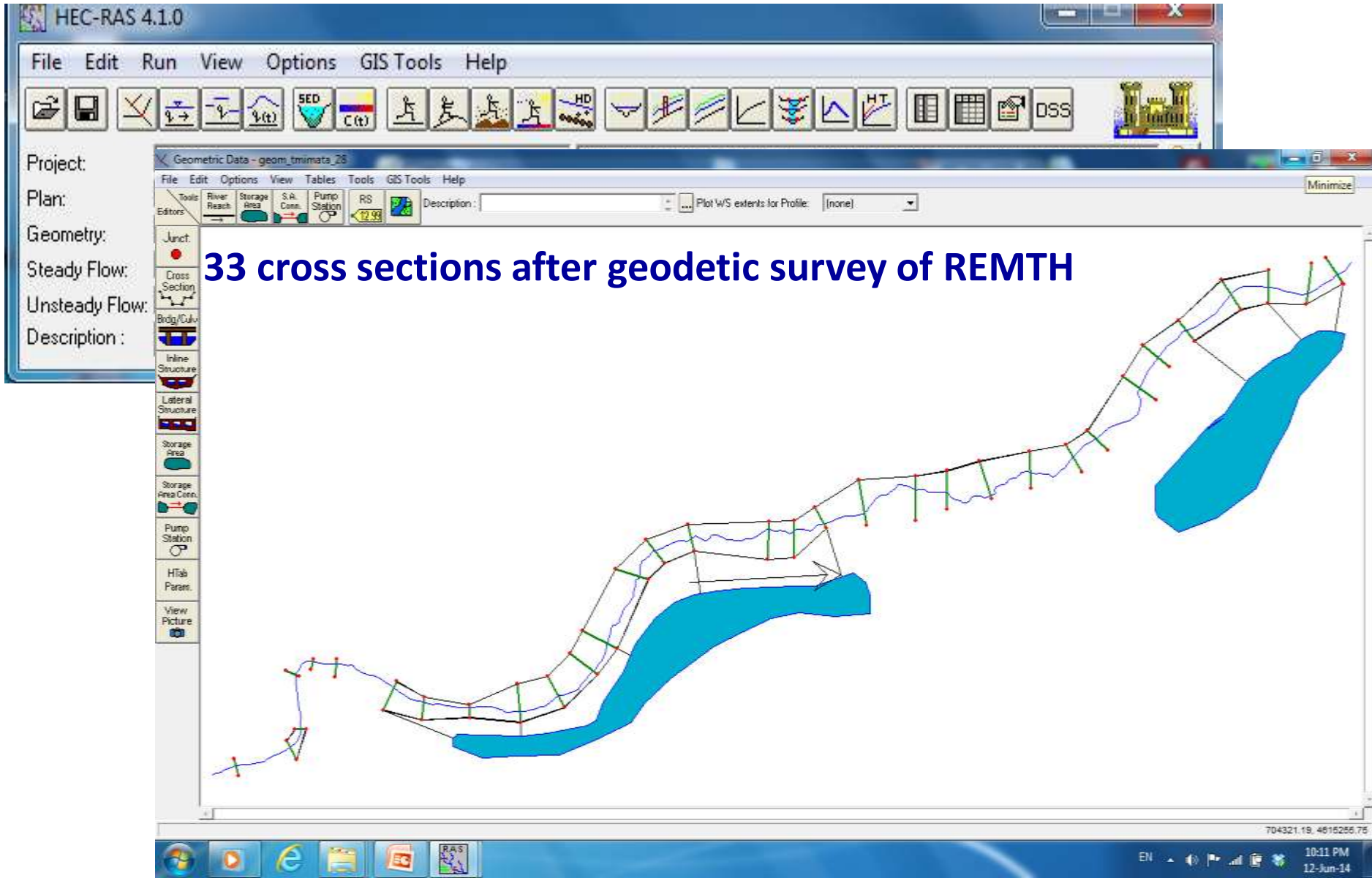
Τα παραπάνω θα αποτυπωθούν για τις τρεις περιόδους επαναφοράς σε ψηφιακούς χάρτες και αντίστοιχα σχήματα (“Αξιολόγηση Επιπτώσεων πλημμύρας”) που θα ενσωματωθούν στα παραδοτέα Τεύχη, με τη παρακάτω χρωματική διαβάθμιση. Θα αποτυπώνεται μόνο η πληροφορία που αφορά στην περιοχή που κατακλύζεται σε κάθε σενάριο.

Πιθανή επίπτωση	Κατηγορία κινδύνου
<50	πολύ χαμηλός
50-125	χαμηλός
125-200	μέτριος
200-400	υψηλός
>400	πολύ υψηλός

ARDA ποταμός-διασυνοριακός



HEC-RAS



St. Venant's 1D equations

$$\text{Momentum: } \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g(s - s_f) = 0$$

$$\text{Continuity: } T_w \frac{\partial h}{\partial x} + u T_w \frac{\partial h}{\partial x} + A \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

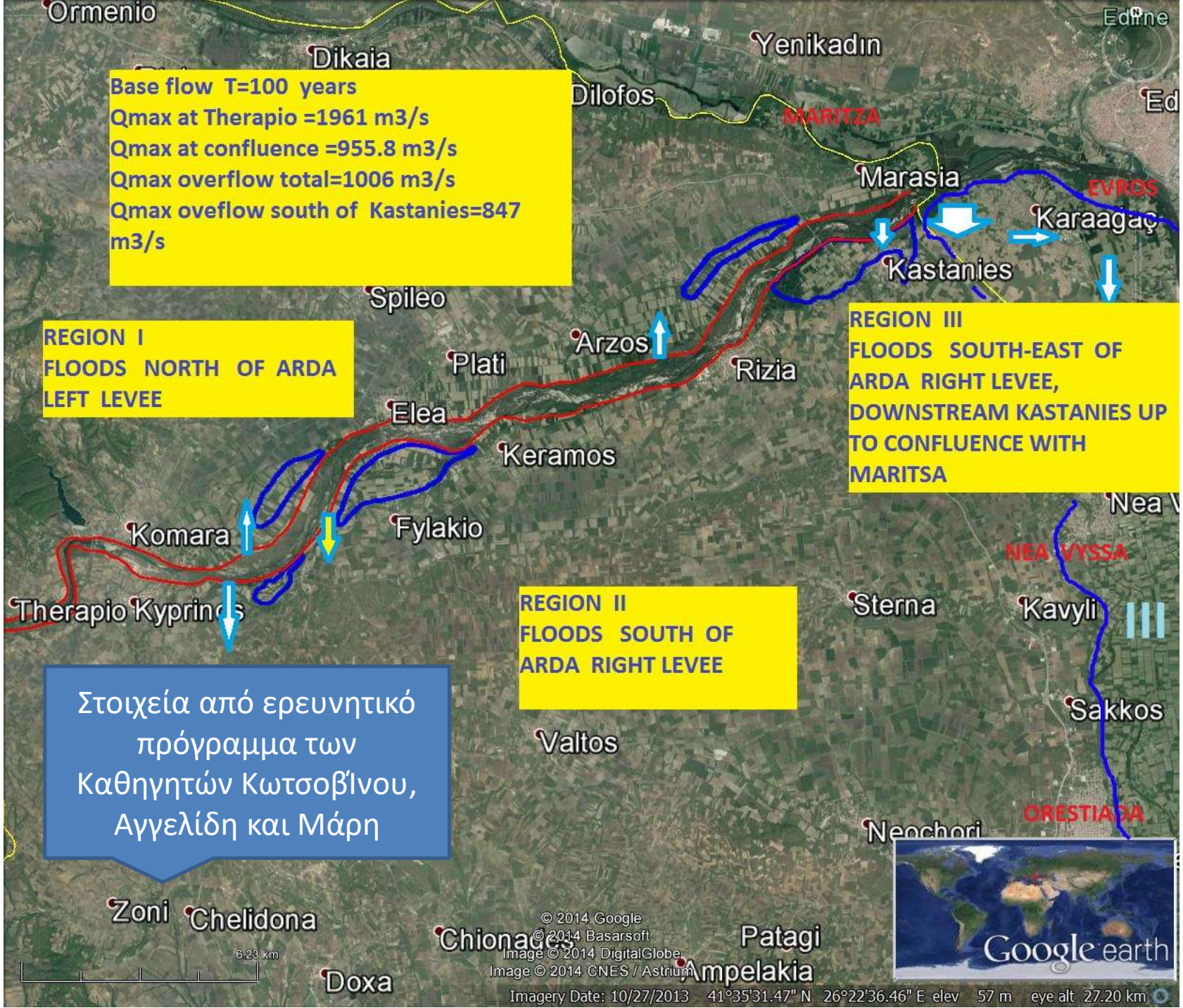
Base flow T=100 years
 Qmax at Therapio =1961 m3/s
 Qmax at confluence =955.8 m3/s
 Qmax overflow total=1006 m3/s
 Qmax overflow south of Kastanies=847 m3/s

REGION I
 FLOODS NORTH OF ARDA
 LEFT LEVEL

REGION III
 FLOODS SOUTH-EAST OF
 ARDA RIGHT LEVEL,
 DOWNSTREAM KASTANIES UP
 TO CONFLUENCE WITH
 MARITSA

REGION II
 FLOODS SOUTH OF
 ARDA RIGHT LEVEL

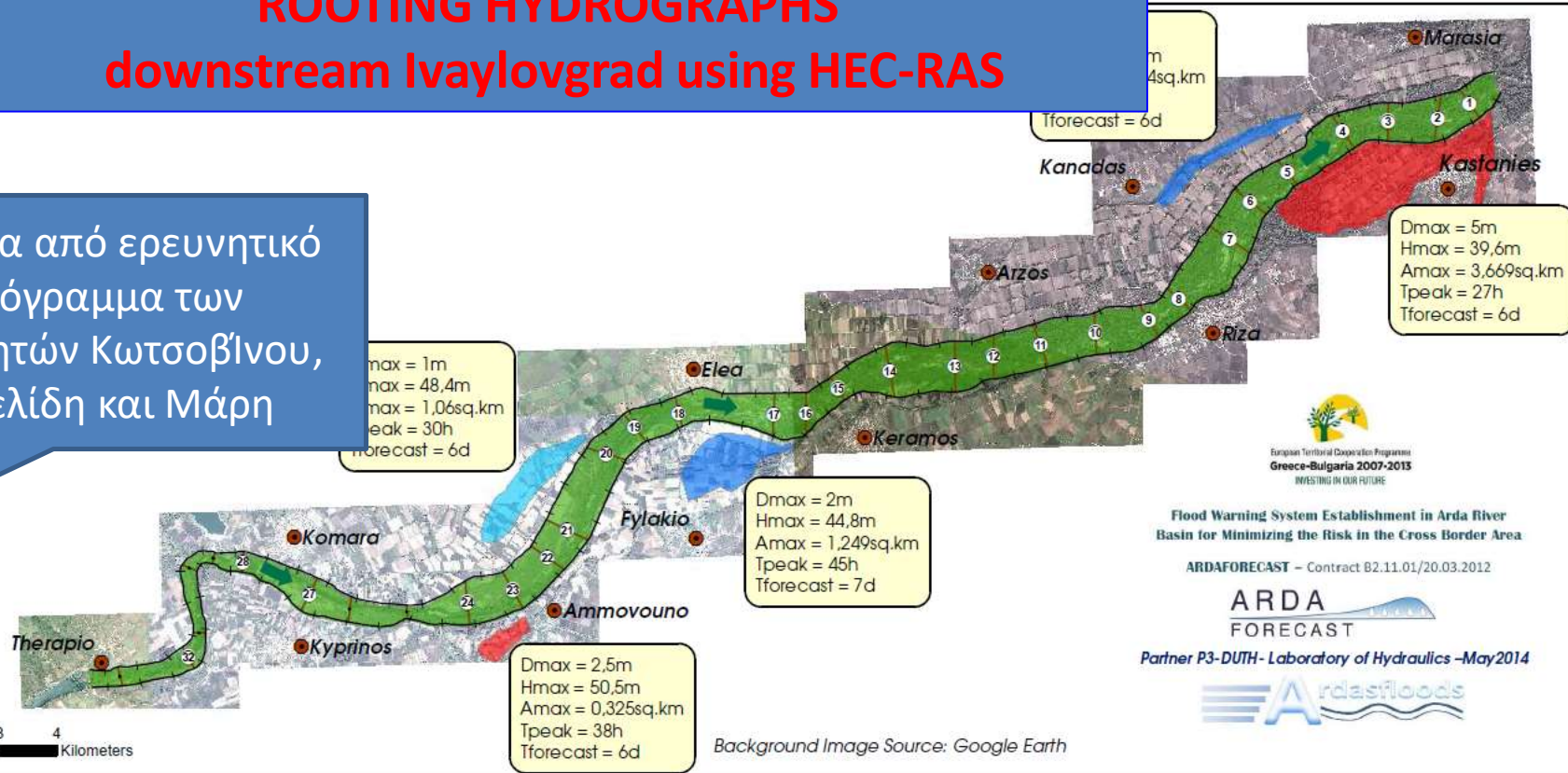
Στοιχεία από ερευνητικό
 πρόγραμμα των
 Καθηγητών Κωτσοβίνου,
 Αγγελίδη και Μάρη



ROOTING HYDROGRAPHS downstream Ivaylovgrad using HEC-RAS



Στοιχεία από ερευνητικό
πρόγραμμα των
Καθηγητών Κωτσοβίνου,
Αγγελίδη και Μάρη



Flood Warning System Establishment in Arda River Basin for Minimizing the Risk in the Cross Border Area

ARDAFORECAST - Contract B2.11.01/20.03.2012



Partner P3-DUTH - Laboratory of Hydraulics - May 2014



INUNDATION MAP FLOOD HYDROGRAPH WITH RETURN PERIOD T = 50 yrs

Maximum Discharge of Hydrograph at Therapio:
1.735 cu.m/s

MAP LEGEND

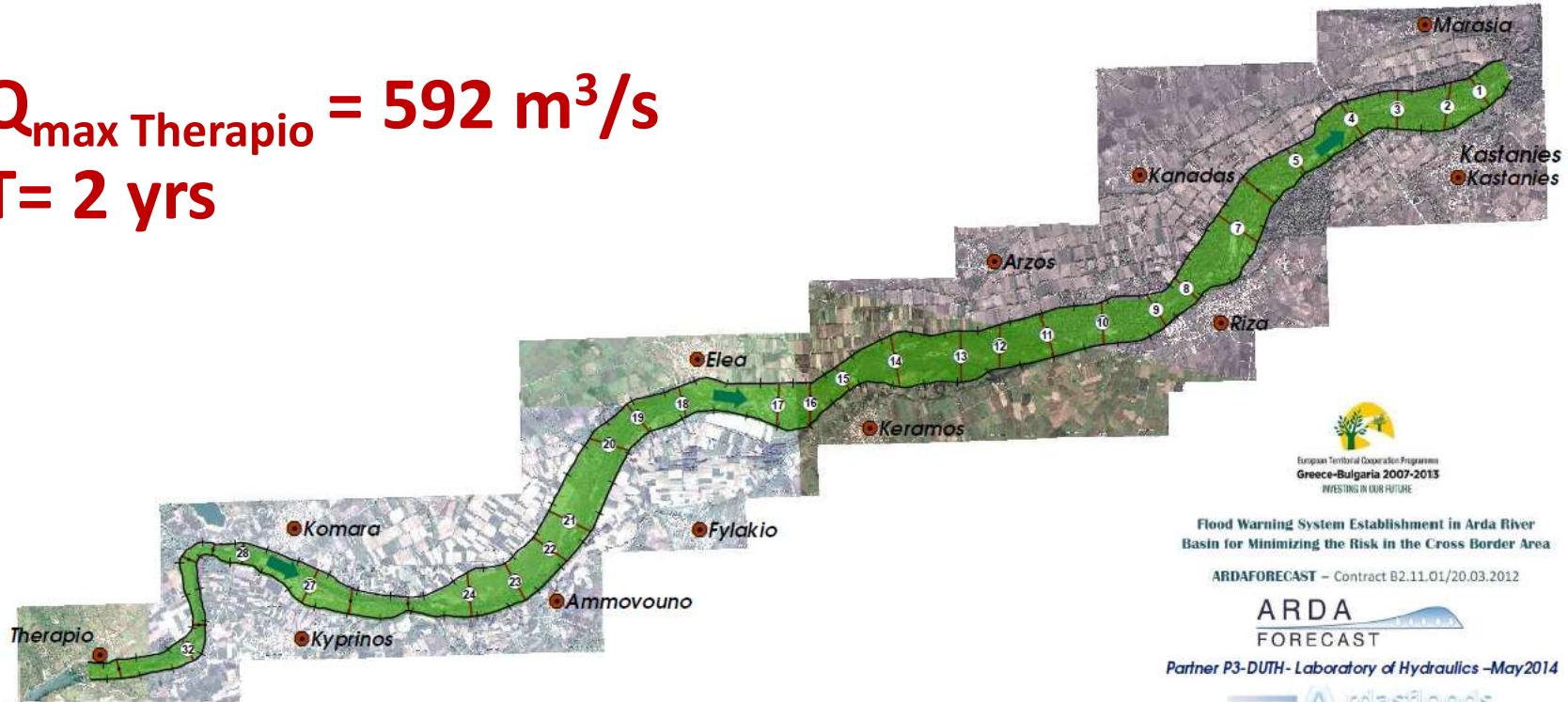
- Settlement
 - Ardas river banks
 - River cross-section
 - Flow between Arda's levees
- Maximum depth (D_{max})
- <1m
 - 1m - 2m
 - 2m - 4m
 - 4m - 6m

FLOOD AREAS DETAILS LEGEND

SYMBOL	PARAMETER
D _{max}	Max depth in the inundated area, in m
H _{max}	Max free surface elevation in the inundated area, in m
T _{peak}	Time to peak water depth, measured from the time of flood hydrograph arrival at Therapio Dam, hours
T _{forecast}	Forecasted time of max Depth, in days
A _{max}	Max inundation area, km ²



$Q_{\text{max Therapio}} = 592 \text{ m}^3/\text{s}$
 $T = 2 \text{ yrs}$



Flood Warning System Establishment in Arda River Basin for Minimizing the Risk in the Cross Border Area

ARDAFORECAST – Contract B2.11.01/20.03.2012

ARDA
FORECAST

Partner P3-DUTH- Laboratory of Hydraulics –May2014



Background Image Source: Google Earth

INUNDATION MAP
FLOOD HYDROGRAPH WITH RETURN PERIOD
 $T = 2 \text{ yrs}$

Maximum Discharge of Hydrograph at Therapio:
 592 cu.m/s

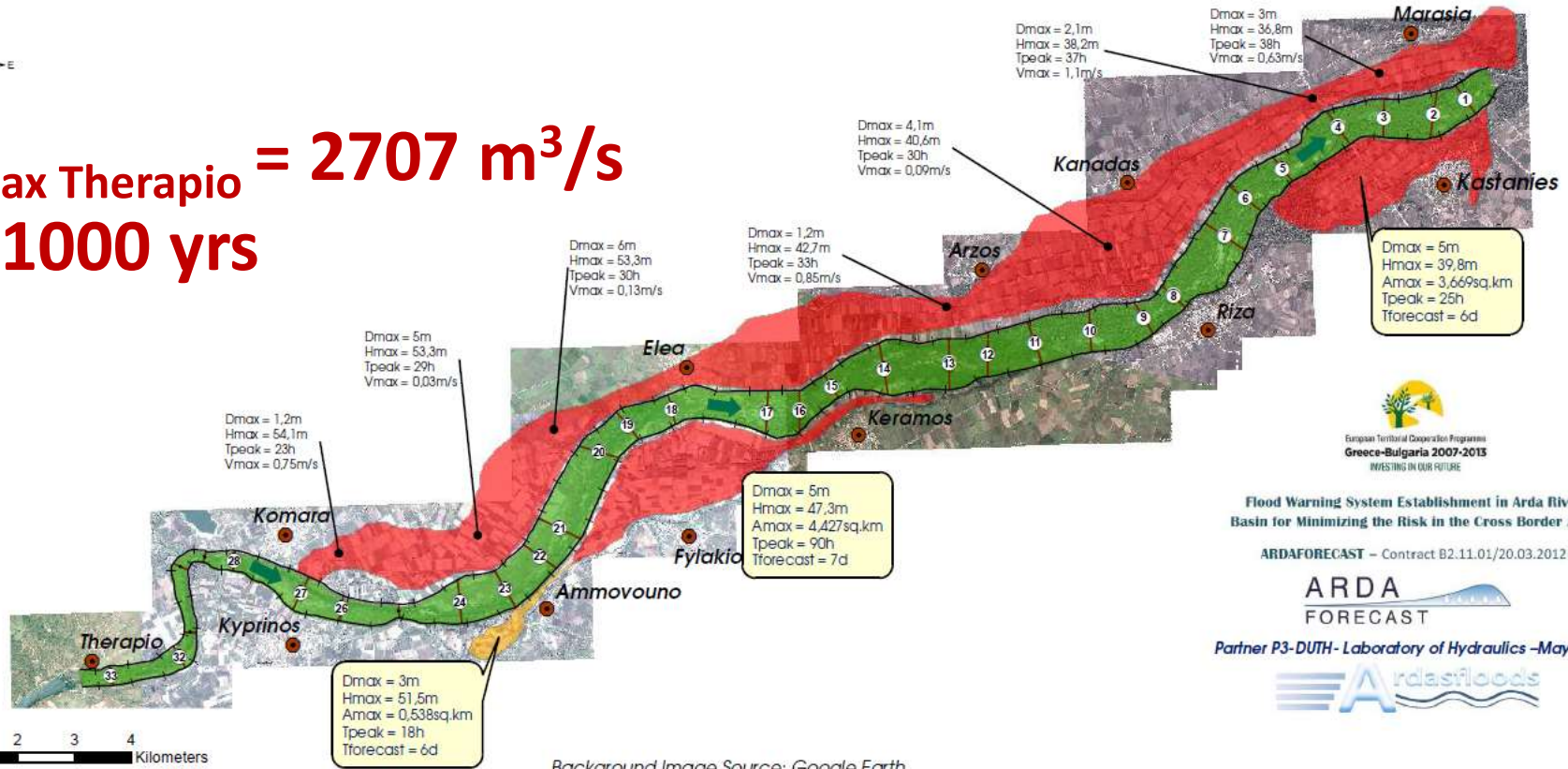
Flow within the Arda river levees - No overflow from Arda levees

MAP LEGEND

- | | | |
|--|----------------------------|-----------------------------|
| | Settlement | Maximum depth (Dmax) |
| | Ardas river banks | <1m |
| | River cross-section | 1m - 2m |
| | Flow between Arda's levees | 2m - 4m |
| | | 4m - 6m |



$Q_{\text{max Therapio}} = 2707 \text{ m}^3/\text{s}$
 $T = 1000 \text{ yrs}$



Flood Warning System Establishment in Arda River Basin for Minimizing the Risk in the Cross Border Area

ARDAFORECAST – Contract B2.11.01/20.03.2012

ARDA FORECAST

Partner P3-DUTH - Laboratory of Hydraulics - May 2014



Background Image Source: Google Earth

**INUNDATION MAP
 FLOOD HYDROGRAPH WITH RETURN PERIOD
 $T = 1.000 \text{ yrs}$**

Maximum Discharge of Hydrograph at Therapio:
 2.707 cu.m/s

MAP LEGEND

- Settlement
 - +— Ardas river banks
 - River cross-section
 - Flow between Arda's leaves
- Maximum depth (Dmax)**
- <1m
 - 1m - 2m
 - 2m - 4m
 - 4m - 6m

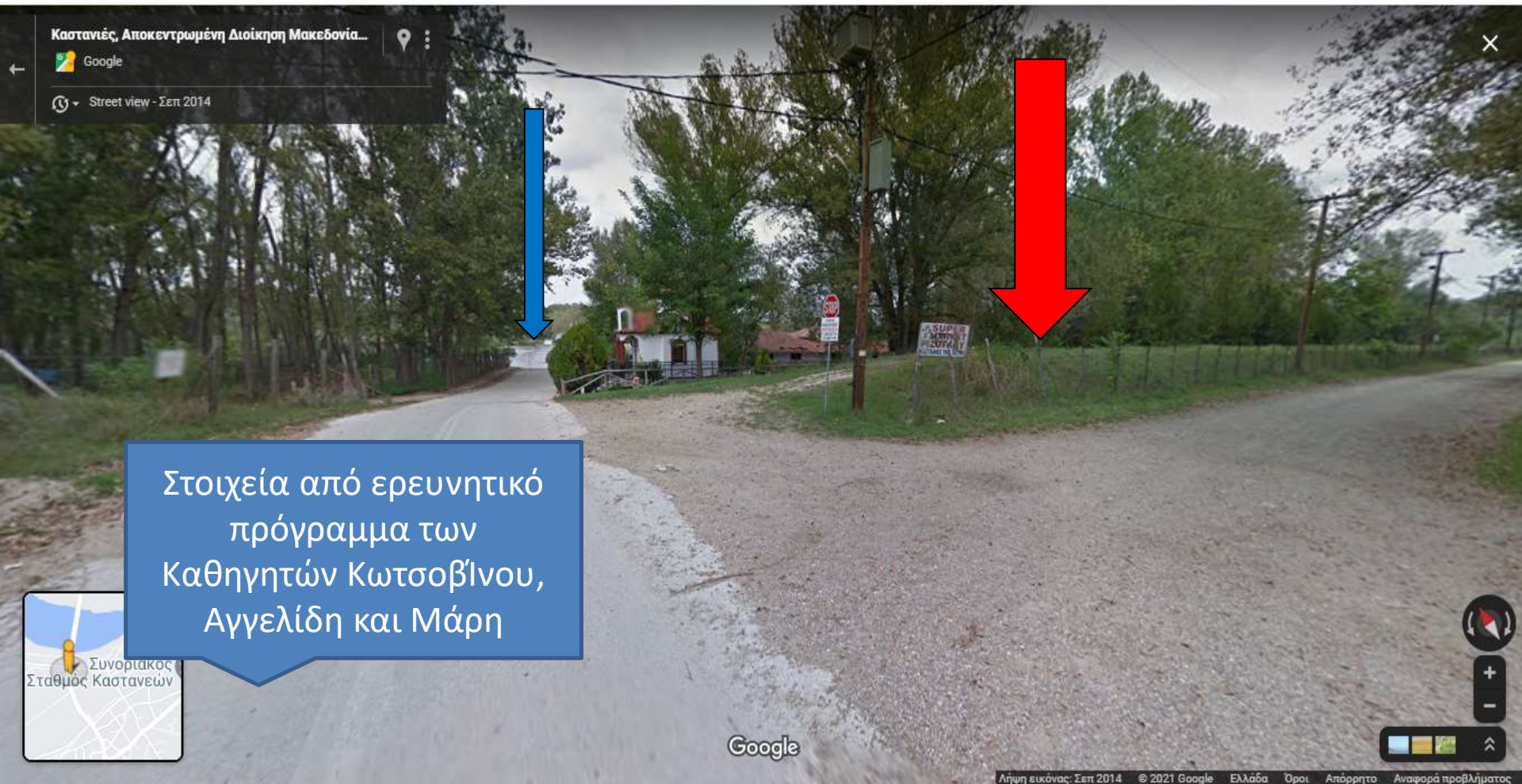
FLOOD AREAS DETAILS LEGEND

SYMBOL	PARAMETER
Dmax	Max depth in the inundated area , in m
Hmax	Max free surface elevation in the inundated area , in m
Tpeak	Time to peak water depth, measured from the time of flood hydrograph arrival at Therapio Dam , hours
Tforecast	Forecasted time of max Depth , in days
Amax	Max inundation area, km ²

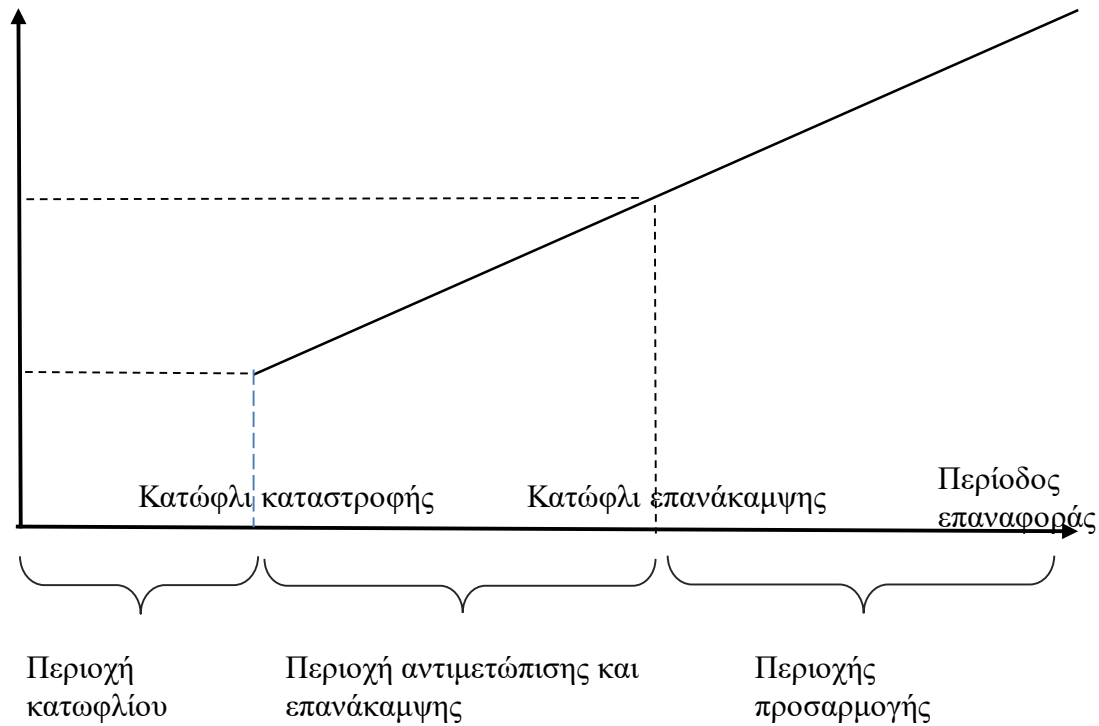
Hazard to People Classification Ground at Kastanies Church (ground elevation= 38.6 m) using Hazard Rating (HR= d x (v + 0.5) + DF)

RETURN PERIOD T (years) , AND MAX Q (m ³ /s)AT THERAPIO	MAX WATER ELEVATION AT KASTANIES	d , max WATER DEPTH AT CHURCH GROUND , m	v , max VELOCITY ,m/s	max Debris Factor (DF)	HAZARD RATING HR= d * (v + 0.5) + DF	Degree of Flood Hazard
T=5 , Q _{peakTherapio} =958	38.9	0.3	0.2	0	0.21	Low
T=10 , Q _{peakTherapio} =1201	39.2	0.6	0.4	0.5	1.04	Moderate
T=20 , Q _{peakTherapio} =1434	39.4	0.8	0.6	0.5	1.38	Significant
T=50 , Q _{peakTherapio} =1735	39.6	1	0.7	0.5	1.7	Significant
T=100 , Q _{peakTherapio} =1961	39.8	1.2	0.8	1	2.56	Extreme
T=1000 ,Q _{peakTherapio} =2707	39.9	1.3	1	1	2.95	Extreme
T=10000 ,Q _{peakTherapio} =3452	39.9	1.3	1	1	2.95	Extreme

Πτώση στάθμης λόγω ιρλανδικής γέφυρας 1.0 – 1.5 m.



Τρωτότητα – μπορεί να βελτιωθεί



Ανακούφιση της διακινδύνευσης

G. Tsakiris: Flood risk assessment

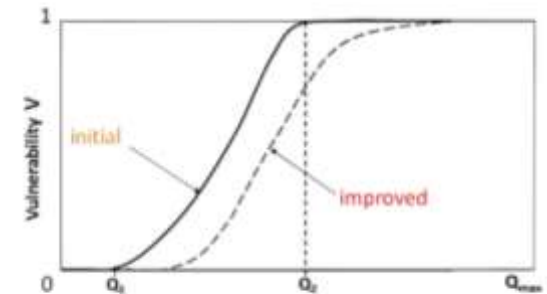


Figure 1. The vulnerability of a system (initial and improved) as a function of the magnitude of the phenomenon.

Συστατικό	Τύπος	χρόνος	Αβεβαιότητα κινδύνου
Ικανότητα κατωφλίου	Αποτροπή ζημιάς	παρελθόν	χαμηλή
Ικανότητα αντιμετώπισης	Μείωση ζημιών	άμεσα	χαμηλή
Ικανότητα επαναφοράς	Αντίδραση στις ζημιές	άμεσα / μέλλον	Χαμηλή?
Ικανότητα (μελλοντικής) ευελιξίας	Προσαρμογή ζημιών	μέλλον	υψηλή

	Πιθανά μέτρα (μερικά) για τη μείωση της τρωτότητας σε πλημμύρα σε αστικές περιοχές
Ικανότητα κατωφλίου (αποφυγή ζημιών)	Βελτίωση αναχωμάτων
	Βελτίωση διοχετεύτηκης ικανότητας ποταμού
	Υπόγειοι αγωγοί ομβρίων
	Βελτίωση υπάρχοντος δικτύων
	Κατάλληλη χρήση της γης
	Ύψωση βασικής υποδομής
	Νομοθετική χωροταξική παρέμβαση σε περιοχές που πλημμυρίζουν
Ικανότητα ζημιών (μείωση ζημιών)	δημόσιες υπηρεσίες και προμήθειες υποδομής για ενέργειες έκτακτης
	Υπηρεσίες εκκένωσης και διάσωσης
	Σχέδια έκτακτης ανάγκης και έγκαιρη προειδοποίηση για πλημμύρες
	Βελτιωμένη επικοινωνία κινδύνου στους κατοίκους
Ικανότητα ανάκαμψης (αντίδραση στις ζημιές)	ΑΣΦΑΛΙΣΗ
	Ταμεία καταστροφών
	Δημιουργία οργανώσεων αντιμετώπισης πλημμυρών
	Αναγέννηση του περιβάλλοντος
	Ανακατασκευή κατεστραμμένων χώρων
	Ταμείο χρηματοδότησης
	Δημιουργία οργανισμών
	Ανάκαμψη αναδημιουργία περιβάλλοντος (π.χ. επαναδημιουργία υδατορευμάτων)
Ανακατασκευή κατεστραμμένων χώρων	
Προσαρμογή σε μελλοντικές συνθήκες	Ολοκληρωμένος χωροταξικός σχεδιασμός με τη συμπερίληψη του πλημμυρικού κινδύνου
	Νέα μοντέλα και τρόποι αστικοποίησης-νέες τεχνολογίες

Vulnerability

- Hazard= V *risk, if exist....
- e.g. Remote island without people, **risk for people = 0**
- **Area Vulnerability** describes the characteristics of an area of the floodplain that affect the chance of being exposed to the flood hazard.
- more vulnerable in areas: low rise, single-storey buildings, campsites and open floodplain areas compared with areas of two-storey or high-rise buildings
- **People Vulnerability** describes the characteristics of the people affected by flooding and their ability to respond to ensure their own safety and that of their dependants during a flood

(Defra, 2006)

For instance:

- (use of simple algebraic indices) The People Vulnerability score (Y expressed as a percentage) is simply:

$$Y = \text{\%residents suffering from long-term illness} + \text{\%residents aged 75 or over}$$

(Defra, 2006)

- **Multicriteria** composition of vulnerability based on sensitivity-adaptive capacity-exposure criteria (Skoulikaris et al., 2021 & Jun, K.-S.; Chung, E.-S.; Kim, Y.-G.; Kim, Y, 2013)

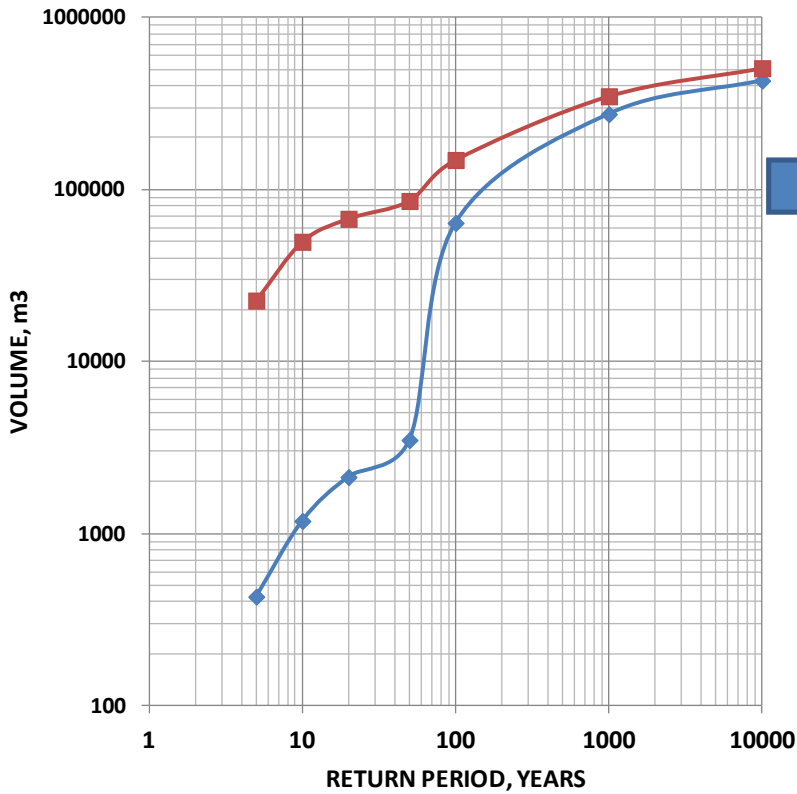
Overview of vulnerability decreasing options for flood control classified according to the four components of vulnerability

	Possible measures to reduce flood vulnerability of urban areas
Threshold capacity (damage prevention)	1. The restoration of levees due to minor local interventions is relatively easy, since typically the local lowering of levee is a couple of meters and the width of opening about 10 to 20 m (see below).
	2. Increasing river capacity by removing vegetation and shrub from the river bed in order to increase the river capacity
	3. Better management of the existing three dams which control almost the total runoff in order to reduce large flood discharges

Increasing threshold capacity

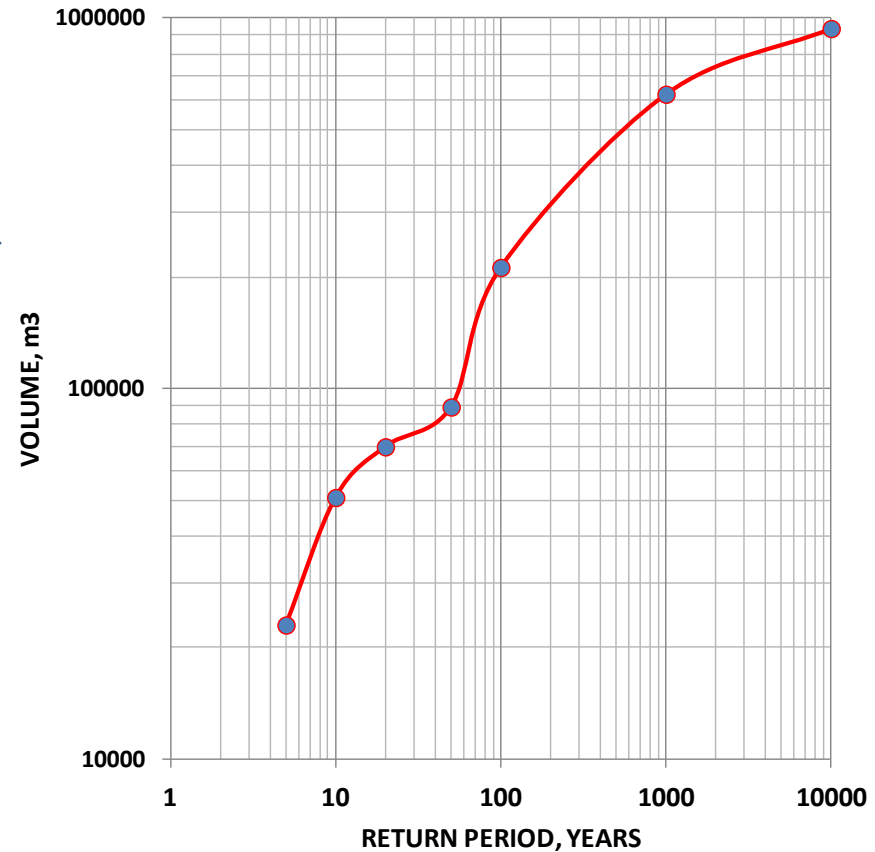
VOLUME OF EARTHWORKS FOR LEVEES RESTORATION TO AVOID OVERFLOWS

◆ VOLUME OF EARTHWORKS FOR LEFT (NORTH) LEEVE RESTORATION
■ VOLUME OF EARTHWORKS FOR SOUTH (RIGHT) LEEVE RESTORATION



VOLUME OF EARTHWORKS FOR LEVEES RESTORATION TO AVOID OVERFLOWS

● TOTAL VOLUME OF EARTHWORKS FOR BOTH LEEVES



To protect the agricultural area from floods, levees have been constructed 40 years ago, to keep flood discharges up to 2000 m³/s between Arda levees, from the Bulgarian _Greek frontier up to Greek-Turkey frontier (see bellow near Kastanies village).



However, running HEC-RAS for the routing of flood hydrographs using recent in situ geodetic measurements of the elevation of levees and the topography of Arda cross section, revealed that the discharge capacity between levees at various sites along the Greek part of river Arda is much lower, e.g. at Kastanies is about 750 m³/s.

The basic reason for this are various interventions to levees:

- a) construction of Irish bridges along the river with simultaneous action of lowering the elevation of levee to lower the slope of the entrance to bridge
- b) Arbitrary interventions to lower the elevation of levees in order to enter the very wide section of Arda and take sediments
- c) Undetermined interventions and mistakes either in the design or in the construction of levees

For example, for easy entrance to Irish bridge at Kastanies, it is clear the lowering the elevation of levee about 1.0 – 1.5 m.




So, the restoration of levees due to these minor local interventions is relatively easy, since typically the local lowering of levee is a couple of meters and the width of openings about 10 to 20 m, and will increase considerably the THRESHOLD CAPACITY.



Overview of vulnerability decreasing options for flood control classified according to the four components of vulnerability

	Possible measures to reduce flood vulnerability of urban areas
Coping capacity (damage reduction)	1. Emergency plans and timely flood warning
	2. Improved communication of risks to inhabitants
	3. Urban planning regulation for elevated major infrastructures in suffering areas
	4. Urban planning regulation for Flood proof infrastructure and buildings



Not only strengthening and raising dikes, but also investing in risk communication, emergency plans... (Graaf, 20089)

Overview of vulnerability decreasing options for flood control classified according to the four components of vulnerability

	Possible measures to reduce flood vulnerability of urban areas
Recovery capacity (damage reaction)	1. Insurance
	2. Disaster funds (national and european)
	3. Forming flood relief organisations

**Overview of vulnerability decreasing options for flood control
classified according to the four components of vulnerability**

	Possible measures to reduce flood vulnerability of urban areas
Adaptive capacity (damage anticipation)	1. Integrating flood management and spatial planning, especially by operating the dams