

ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ  
ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΞΑΦΝΙΚΗΣ  
ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ  
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΙΚΩΝ

Αναστάσιος Ι. Στάμου

ΝΕΡΟ 2018: ΖΩΗ-ΕΠΙΣΤΗΜΗ-ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
Σύγχρονες Τάσεις και Προκλήσεις στην Ελλάδα και την Κύπρο  
28 Ιουνίου 2018



# 1. Μέρη της παρουσίασης

**Μέρος Α:** Χαρακτηριστικά των ξαφνικών πλημμυρών.  
Κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τη συμπεριφορά τους.  
Η περίπτωση της Μάνδρας.

**Μέρος Β:** Βασικές αρχές μεθοδολογίας σχεδιασμού συστημάτων Παρακολούθησης της Πλημμύρας και Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμύρας για γρήγορη αποτελεσματική εφαρμογή Γενικού Σχεδίου Πολιτικής Προστασίας και τελικά τη διάσωση ανθρώπινων ζωών και τον περιορισμό υλικών ζημιών.

**Βέλτιστος σχεδιασμός επιτυγχάνεται συνδυάζοντας**  
Σύγχρονα ραντάρ καιρού.

Κλασικές μεθόδους παρακολούθησης υδρολογικών (βροχογράφοι) και υδραυλικών (μετρητές στάθμης νερού) παραμέτρων.

Εξελιγμένα μαθηματικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού.  
Υδρολογικά μοντέλα.

Υδραυλικά μοντέλα, και σύγχρονα εργαλεία σχεδιασμού και υποστήριξης επιχειρησιακών αποφάσεων.



## 2. Χαρακτηριστικά ξαφνικών πλημμυρών

**Ξαφνικές Πλημμύρες (ΞΠ)** Απότομες και ακραίες ροές νερού. Μεγάλα βάθη και μεγάλες ταχύτητες ροής σε επιφάνειες που σε κανονικές συνθήκες είναι ξηρές ή απότομες ανυψώσεις της στάθμης του νερού σε ρέματα που υπερβαίνουν μια προκαθορισμένη στάθμη.

Περισσότερες ΞΠ **προκαλούνται από καταιγίδες**. Ξεκινούν μετά από < 6 ώρες από τη βροχόπτωση. Ακολουθούν 3 διεργασίες:

- 1. Απορροή** νερών της βροχής στο έδαφος της λεκάνης απορροής.
- 2. Ροή στο ορεινό ρέμα** με εξαιρετικά μεγάλες ταχύτητες ροής (μεγάλες κλίσεις).
- 3. Ροή στην επίπεδη περιοχή του ρέματος.** Υπερχείλιση ρέματος-πλημμύρισμα δρόμων, βρίσκοντας συχνά τους ανθρώπους απροετοίμαστους. Απώλεια ανθρώπινων ζωών και υλικές ζημιές.



# 3. Διαχείριση πλημμυρών

- ✓ **Μέτρα πρόληψης.** «Καθαρές» κοίτες των ρεμάτων να είναι «καθαρές», δηλ. χωρίς επιχωματώσεις και κτίσματα.
- ✓ **Μέτρα προστασίας.** Αναγκαία τεχνικά έργα σε όλες τις διεργασίες της ΞΠ. Έργα ανάσχεσης στις ορεινές εκτάσεις (φράγματα συγκράτησης φερτών, κορμοδέματα και κορμοπλέγματα), έργα στην κύρια (διευθέτηση) και πλημμυρική (φύτευση) κοίτη των ρεμάτων. Έργα διαχείρισης όμβριων υδάτων.
- ✓ **Μέτρα ετοιμότητας.** Ενημέρωση και ετοιμότητα των ενδιαφερομένων. Πρόγνωση της πλημμύρας. Έγκαιρη προειδοποίηση του κοινού πριν από την πλημμύρα. Εφαρμογή σχεδίου δράσεων έκτακτης ανάγκης κατά την πλημμύρα.
- ✓ **Μέτρα αποκατάστασης.** Ατομική και κοινωνική. Στη συνέχεια περιβαλλοντική και άλλων μορφών αποκατάσταση.



# 4. Η πλημμύρα της Μάνδρας -1

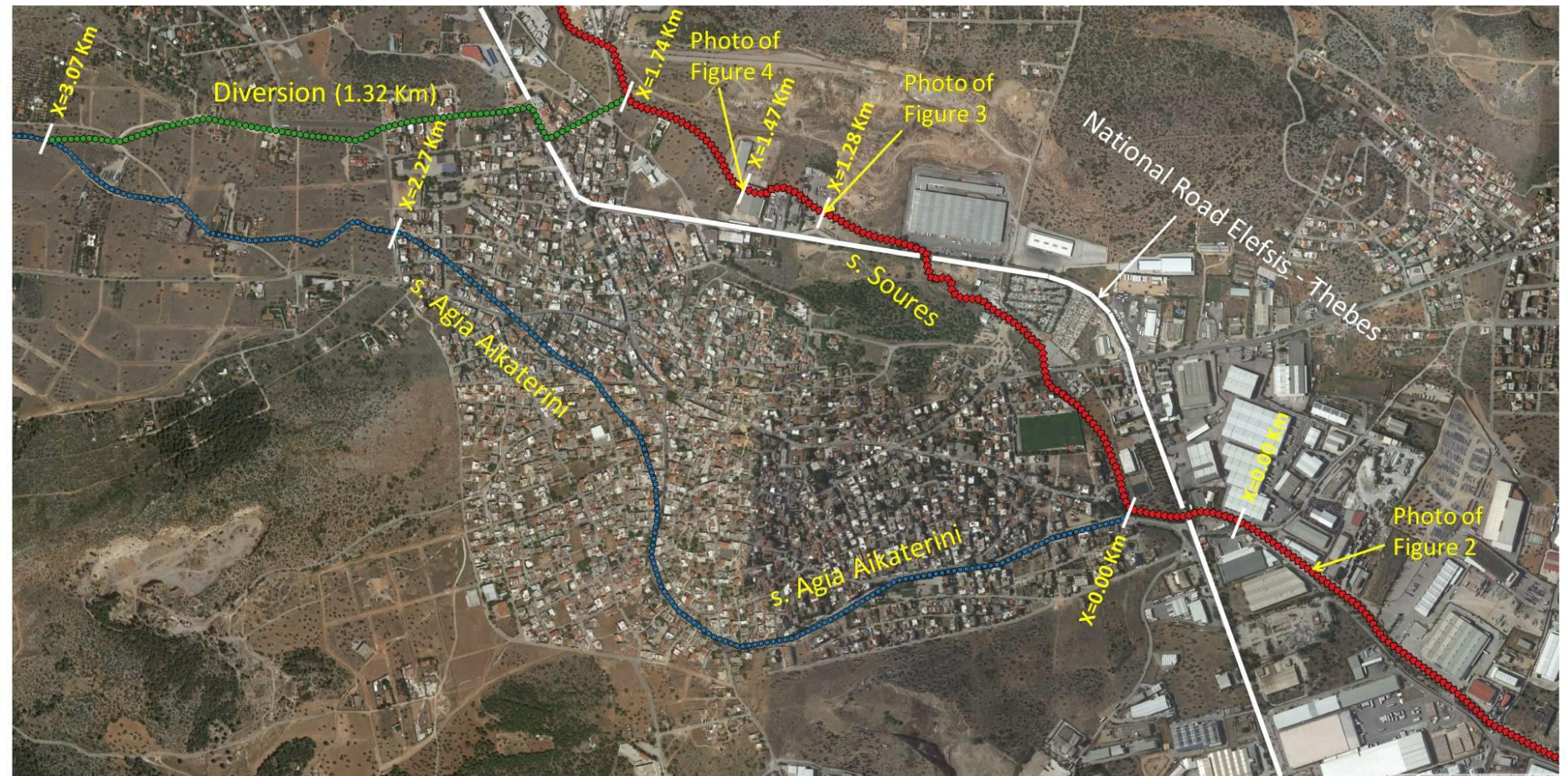
Νοέμβριος 2017. ΞΠ με 23 νεκρούς και άλλα καταστροφικά αποτελέσματα.  
6 Ερωτήματα τεχνικής φύσης->Απαντήσεις->Τι πρέπει να κάνουμε.

I. Ποια είναι τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας που προβλέπονται στη Μάνδρα; Σύμφωνα με την οριστική μελέτη. T=50 έτη.

1. Διευθέτηση ρ. Σούρες (L=1.74 km,  $Q=91-125 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $A=24.0-34.4 \text{ m}^2$ ).
1. Μερική εκτροπή ρ. Αγίας Αικατερίνης (L=1.52 km,  $Q=47 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $A=12.5-24.0 \text{ m}^2$ ) προς το ρ. Σούρες. Κατόντη της εκτροπής, το ρ. Αγίας Αικατερίνης συνεχίζει την πορεία του μέσα στην πόλη της Μάνδρας με υφιστάμενο αγωγό (L=2.27 km,  $Q=10 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $A=3.4 \text{ m}^2$ ) μέχρι να συναντήσει το ρ. Σούρες, το οποίο καταλήγει σε υφιστάμενο αγωγό ( $A=24.0 \text{ m}^2$ ) ανάντη της Αττικής Οδού.



# 4. Η πλημμύρα της Μάνδρας-2



# 4. Η πλημμύρα της Μάνδρας-3

II. Πως συμπεριφέρθηκαν τα ρέματα κατά τη διέλευση της πλημμύρας;

Κύριο χαρακτηριστικό των ρεμάτων: Πολύ μικρή  $A$ , εξαιτίας διάφορων κατασκευών στα ρέματα.

Με δεδομένα ότι

1. Ελάχιστη  $A$  για τη διοχέτευση της παροχής σχεδιασμού στα ρέματα (χωρίς εκτροπή) είναι μεταξύ 20 και 40  $m^2$ ,
2. Ρ. Σούρες ρέει σε χαμηλά υψόμετρα κοντά στην Εθνική Οδό Ελευσίνας – Θηβών.
3. Το ρ. Αγίας Αικατερίνης διέρχεται μέσα από την πόλη, ήταν αναμενόμενο να χρησιμοποιήσει η ροή της πλημμύρας τους δρόμους της πόλης ως κοίτες.



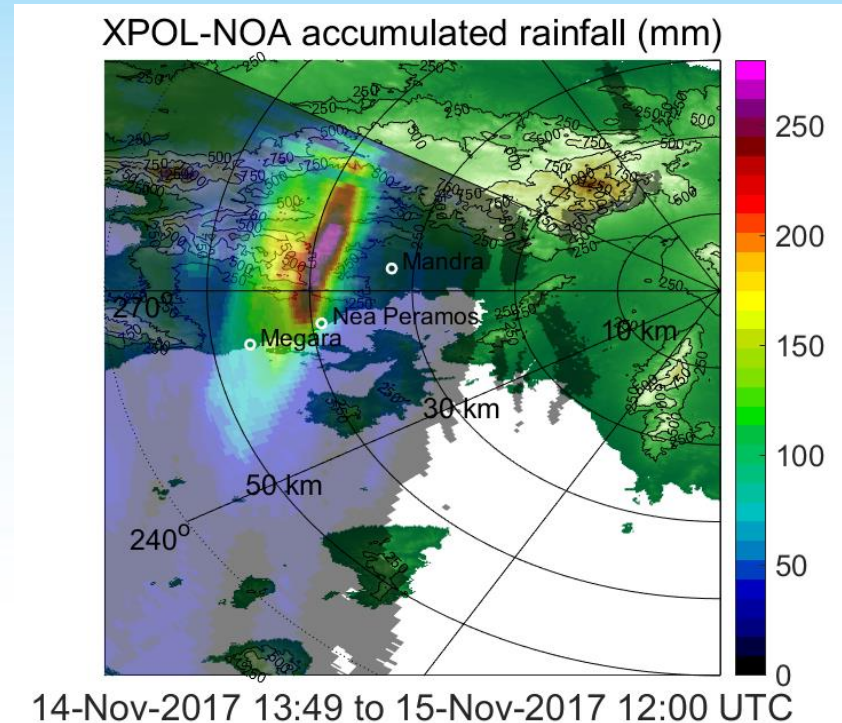
# 4. Η πλημμύρα της Μάνδρας-4

III. Μπορούσαμε να προγνώσουμε την επικίνδυνη βροχόπτωση που προκάλεσε τη ξαφνική πλημμύρα;

Η πρόγνωση της επικίνδυνης βροχόπτωσης που προκάλεσε τη ΞΠ είναι εντελώς απαραίτητη και χωρίς αυτή οι πιθανότητες να διαχειριστούμε μια ΞΦ είναι πρακτικά μηδενικές.

Δελτίο τύπου του ΕΑΑ στις 17-11-2017

«το κινητό μετεωρολογικό ραντάρ ΧΡΟΛ κατέγραψε την Τετάρτη 15 Νοεμβρίου 2017 ζώνη πολύ ισχυρής βροχόπτωσης πάνω από τη λεκάνη απορροής των ρεμάτων που συρρέουν στη Μάνδρα, της οποίας το συνολικό ύψος βροχής ξεπέρασε τα 200 mm σε 6 ώρες».





## 4. Η πλημμύρα της Μάνδρας-5

Επιστήμονες του ΕΚΠΑ ανακοίνωσαν: Το Σύστημα «Ποσειδών» του ΕΛΚΕΘΕ «είχε δείξει ότι στο όρος Πατέρα θα έπεφταν πάνω από 50 mm βροχής 48 ώρες πριν από τις καταιγίδες».

Εκτιμήσεις επιστημόνων του ΕΚΠΑ. Χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες της NASA: «η περιοχή ανάντη της Μάνδρας δέχθηκε περίπου 150 mm βροχόπτωσης μέσα σε περίπου 7 ώρες, μια ποσότητα που αντιστοιχεί περίπου στο 40% της ετήσιας βροχόπτωσης της περιοχής».

Επιστήμονες του ΕΕΑ: Η ευρύτερη περιοχή είχε δεχτεί βροχές τις δύο προηγούμενες ημέρες με το ύψος βροχής να μετρείται ίσο με 35 mm στην Ελευσίνα, 35 mm στα Βίλια, και 22 mm στους Αγ. Θεοδώρους.

Με βάση τα παραπάνω δημοσιεύματα ειδικών επιστημόνων σε θέματα μετεωρολογίας, φαίνεται ότι είχαμε τη δυνατότητα από τεχνικής άποψης να προγνώσουμε την επικίνδυνη βροχόπτωση, η οποία ήταν σαφώς ακραία με εξαιρετικά μεγάλη περίοδο επαναφοράς (>150-200 έτη).



# 4. Η πλημμύρα της Μάνδρας-6

IV. Μπορούσαμε να επιβεβαιώσουμε την επικίνδυνη βροχόπτωση με μετρήσεις στην περιοχή;

Όχι, γιατί δεν υπήρχαν βροχογράφοι στη λεκάνη απορροής ή μετρητές στάθμης νερού στο ρέμα.

Σύμφωνα με επιστήμονες του ΕΕΑ, τα ύψη βροχής στους κοντινούς στην περιοχή σταθμούς ήταν σχετικά μικρά (από 0 μέχρι 25 mm).

- ✓ Τοπικός χαρακτήρα της ξαφνικής πλημμύρας.
- ✓ Ανάγκη δημιουργίας ενός αρκετά «πυκνού» δικτύου σταθμών παρακολούθησης της βροχόπτωσης (τουλάχιστον στις περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ως ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας στα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας).



## 4. Η πλημμύρα της Μάνδρας-7

V. Αν είχαν κατασκευαστεί τα αντιπλημμυρικά έργα, θα ήταν μικρότερες οι επιπτώσεις της πλημμύρας;

Με βάση αρχικές εκτιμήσεις, οι παροχές αιχμής των υδρογραφημάτων στο ανάντη άκρο των δυο ρεμάτων, που το καθένα έχει λεκάνη απορροής εμβαδού 22-23 km<sup>2</sup>, ήταν μεγαλύτερες από 220 m<sup>3</sup>/s, δηλ. ήταν πολύ μεγαλύτερες από την περίοδο επαναφοράς σχεδιασμού των έργων.

Κατά συνέπεια, **ακόμα και να υπήρχαν τα έργα, θα υπήρχαν επιπτώσεις εξαιτίας της ακραίας βροχόπτωσης**, οι οποίες όμως θα ήταν σημαντικά μικρότερες, ιδίως αν τα έργα αυτά συνδυάζονταν με ένα **Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης (ΣΕΠ)** για την ενεργοποίηση των σχεδίων δράσεων έκτακτης ανάγκης που προβλέπονται στο Γενικό Σχέδιο Πολιτικής Προστασίας της ΓΓΠΠ για τις πλημμύρες



# 4. Η πλημμύρα της Μάνδρας-8

VI. Θα είχαμε αποφύγει την τραγωδία αν υπήρχε ένα ΣΕΠ;

Με βάση τη διεθνή εμπειρία που αναφέρει «**Μερικά δευτερόλεπτα μπορεί να έχουν σημασία στην προειδοποίηση ΞΠ**», η απάντηση είναι σαφώς καταφατική.

Μια πρώτη προειδοποίηση του ΣΕΠ μερικά λεπτά πριν από την άφιξη της πλημμύρας στην πόλη θα ήταν αρκετά

- ✓ για να κάνουν οι κάτοικοι τη βασικότερη ενέργεια που είναι «**Πήγαινε γρήγορα σε υψηλότερη θέση. Σώσε τον εαυτό σου και όχι την περιουσία σου. Το σημαντικότερο πράγμα είναι η ασφάλειά σου**», και
- ✓ να διακοπεί η κυκλοφορία των οχημάτων προς το βόρειο άκρο της Εθνικής Οδού Ελευσίνας – Θηβών, όπου υπήρξαν τα περισσότερα θύματα.



# 4. Η πλημμύρα της Μάνδρας-9

Απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα δείχνουν τι πρέπει να κάνουμε!

1. **Κατασκευή των απαραίτητων έργων** όχι μόνο στην πόλη, αλλά και στην ορεινή περιοχή (έργα ορεινής υδρονομίας).

Απομάκρυνση όλων των κατασκευών που μειώνουν την Α. Επικαιροποίηση του σχεδιασμού έργων λαμβάνοντας υπόψη την κλιματική αλλαγή, σε συνδυασμό με ένα **Ολοκληρωμένο Σχέδιο Διαχείρισης Όμβριων Υδάτων** με βάση την οικοσυστημική προσέγγιση και **Βέλτιστες Πρακτικές Διαχείρισης** που συνδυάζουν τα προτεινόμενα έργα με «ήπιες» επεμβάσεις για την προστασία από πλημμύρες και διάβρωση, το σχεδιασμό χρήσεων γης και την περιβαλλοντική προστασία, κυρίως την ποιότητα των νερών.

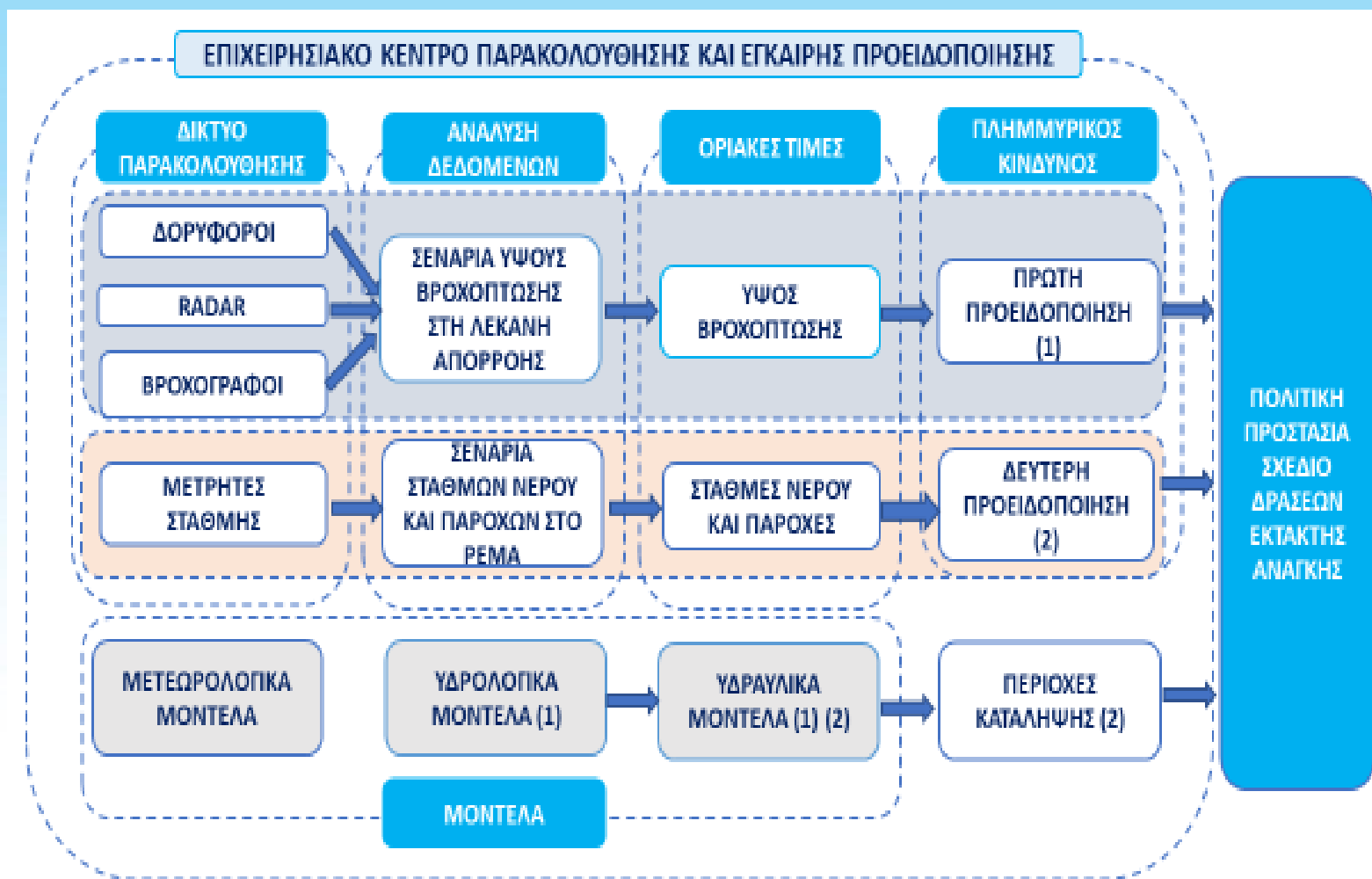
2. **Δόμηση και εφαρμογή ενός ΣΕΠ, κυρίως στις περιοχές υψηλού πλημμυρικού κινδύνου.** Το ΣΕΠ πρέπει να λειτουργεί σε μικρά χρονικά βήματα της τάξης των 5-10 λεπτών για να μπορεί να ανταποκριθεί στις εξαιρετικά γρήγορες ΞΠ.



# 5. Σχεδιασμός ΣΕΠ -1



# 5. Σχεδιασμός ΣΕΠ -2



## 5. Σχεδιασμός ΣΕΠ - 3

Κρίσιμες τιμές βροχόπτωσης και η σημασία τους στην πρόγνωση μιας ξαφνικής πλημμύρας.

Το κύριο ερώτημα που πρέπει να απαντήσουμε για να μπορούμε να προγνώσουμε έγκαιρα μια ξαφνική πλημμύρα είναι **«από ποιες τιμές και πάνω του ύψους βροχής ή/και του ύψους απορροής ξεκινά μια ξαφνική πλημμύρα;»**.

Για να το απαντήσουμε... Πραγματοποιούμε υπολογισμούς προσομοίωσης για μεγάλο αριθμό συνδυασμό τιμών υψών και διάρκειας βροχόπτωσης κατά το στάδιο σχεδιασμού και μετά πηγαίνουμε «ανάποδα».

Για κάθε συνδυασμό που προκαλεί ξαφνική πλημμύρα, ξεκινάμε από την κατάντη περιοχή που πλημμυρίζει, ανεβαίνουμε το ρέμα, προσδιορίζουμε το κρίσιμο ύψος απορροής και τέλος το κρίσιμο ύψος βροχόπτωσης που είναι γνωστό διεθνώς ως Flash Flood Guidance (FFG).





# 5. Σχεδιασμός ΣΕΠ - 4

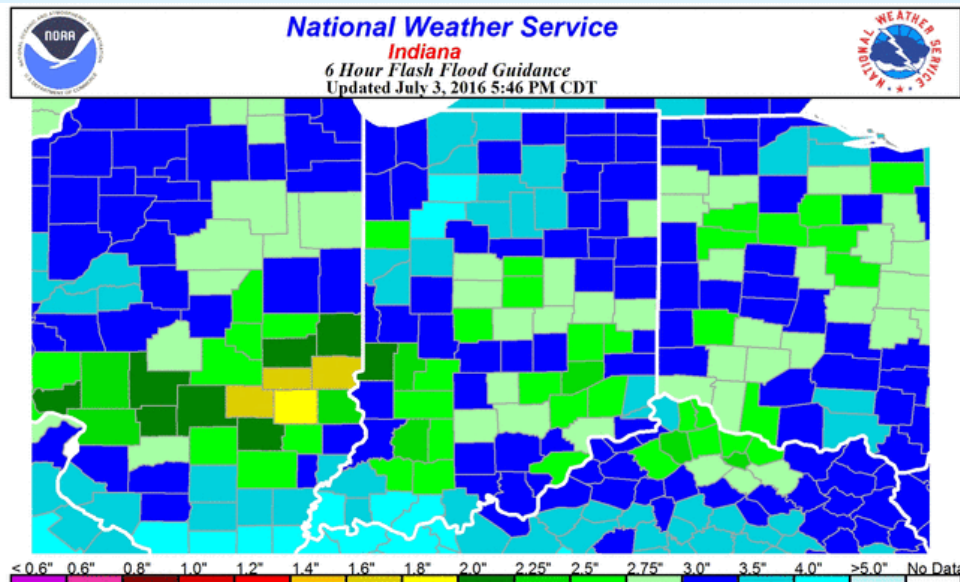
Για την πρόγνωση μιας ξαφνικής πλημμύρας εφαρμόζουμε την παραπάνω ή ανάλογη διαδικασία χρησιμοποιώντας συνήθως το FFG, μιας και εκτιμάμε ή μετράμε αρκετά νωρίτερα και ευκολότερα το ύψος βροχόπτωσης από το ύψος απορροής.

Για την πρόγνωση μιας ξαφνικής πλημμύρας εφαρμόζουμε την παραπάνω ή ανάλογη διαδικασία χρησιμοποιώντας συνήθως το FFG, μιας και εκτιμάμε ή μετράμε αρκετά νωρίτερα και ευκολότερα το ύψος βροχόπτωσης από το ύψος απορροής.

Στην απλούστερη περίπτωση -> μια μόνο τιμή FFG.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια -> τιμές FFG σε τετραγωνικά κελιά, π.χ. διάστασης 4 km.

Επειδή οι τιμές του FFG εξαρτώνται από τις τοπικές συνθήκες που μεταβάλλονται συνεχώς με το χρόνο, πρέπει αυτές να ανανεώνονται.



# 5. Σχεδιασμός ΣΕΠ - 5

Η διαδικασία πρόγνωσης -προειδοποίησης μιας ξαφνικής πλημμύρας.

Σε κάθε περιοχή **παρακολουθούμε** (εκτιμούμε ή μετρούμε) τακτικά τις τιμές του ύψους βροχόπτωσης για διάφορες διάρκειές της και τις συγκρίνουμε άμεσα με τις αντίστοιχες τιμές FFG.

**Όποτε διαπιστώνουμε υπέρβαση**, μπορεί να εκδηλωθεί μια ξαφνική πλημμύρα, ενδεχόμενο που ενεργοποιεί το Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης των ενδιαφερομένων που επηρεάζονται από την ξαφνική πλημμύρα (π.χ. υπηρεσίες, ΜΜΕ, κοινό).

Αυτό γίνεται **από την αρμόδια Υπηρεσία σε 3 επίπεδα** με βάση το σύνθημα «**Λάβετε θέσεις, έτοιμοι, πάμε!**».

**«Λάβετε θέσεις»**: αρκετές ημέρες πριν από μια ξαφνική πλημμύρα και εκφράζει την άποψη ότι μπορεί αυτή να εμφανιστεί.

**«Έτοιμοι»** δηλώνει επαγρύπνηση, όταν γίνεται πιθανότερη η εμφάνιση μιας ξαφνικής πλημμύρας, και παρέχει τη δυνατότητα προετοιμασίας μερικών ωρών για την αντιμετώπισή της.

Όταν η πιθανότητα εμφάνισης είναι πολύ μεγάλη, επίκειται ή ήδη συμβαίνει η ξαφνική πλημμύρα, τότε ενεργοποιείται το **«πάμε!»**.



# 5. Σχεδιασμός ΣΕΠ - 6

Μαθηματική προσομοίωση και σχέδια δράσεων έκτακτης ανάγκης.

Όταν γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης->

**προσδιορίζουμε με υδρολογικά μοντέλα** (βροχής-απορροής) το ύψος της απορροής του νερού και παροχή που καταλήγει στο ρέμα.

Στη συνέχεια, **με υδραυλικά μοντέλα** υπολογίζουμε

- i. τα βάθη και τις ταχύτητες ροής στο ορεινό ρέμα, και
- ii. τα βάθη και τις ταχύτητες ροής στην πεδινή κατοικημένη περιοχή του ρέματος, περιοχές που πλημμυρίζουν με τους αντίστοιχους χρόνους άφιξης και τέλους της πλημμύρας σε αυτές.

Γνωρίζοντας αυτά τα στοιχεία-> καταστρώνουμε τα **σχέδια δράσεων έκτακτης ανάγκης** και τις απαιτούμενες ενέργειες αντιμετώπισης της πλημμύρας σε επίπεδο Πολιτικής Προστασίας.

Επιπλέον, με τα παραπάνω μοντέλα **μπορούμε να εκτιμήσουμε την επίδραση καθενός μέτρου, έργου ή επέμβασης χωριστά**, όπως π.χ. την καθαίρεση ενός κτίσματος στην κοίτη ρέματος, τη διεύρυνση κοίτης κ.α.



## 6. Συμπεράσματα - Σημαντικά σημεία

- Ρόλος του ΣΕΠ εξαιρετικά σημαντικός.
- Ο σχεδιασμός ενός ΣΕΠ μπορεί να βελτιστοποιηθεί σε πολλά σημεία (βλ. διάγραμμα), όπως π.χ. παρακολούθηση, ανάλυση δεδομένων, συνδυασμός μαθηματικών μοντέλων.
- Μόνο το ΣΕΠ δεν αρκεί. Χρειάζονται και τα απαραίτητα έργα .
- Άλλα σημαντικά σημεία. Εκπαίδευση- Οργάνωση δράσεων εκπαίδευσης-ενημέρωσης των πολιτών, αλλά και των τοπικών Αρχών, σε θέματα αντιμετώπισης πλημμυρών, ιδιαίτερα στις πληγείσες περιοχές, καθώς και σε όσες περιοχές κρίνεται ότι διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο.
- Πολλές ειδικότητες - Ανάγκη συνεργασίας.

