

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΠΡΟΓΡ. ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ»

Συστήματα πρόβλεψης και έγκαιρης  
προειδοποίησης βροχοπτώσεων και  
Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT)

Αγγελίδης Π., Καθηγητής

ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΥΔΡΟΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕ  
ΦΡΑΓΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΑΡΔΑ

## Διακρατικές υδρολογικές λεκάνες και ποταμοί

- Οι ποταμοί δεν αναγνωρίζουν και ούτε ακολουθούν τα πολιτικά σύνορα
- 148 χώρες μοιράζονται διακρατικές υδρολογικές λεκάνες
- Υπάρχουν 276 διακρατικές υδρολογικές λεκάνες:
  - 64 στην Αφρική
  - 60 στην Ασία
  - 68 στην Ευρώπη
  - 46 στη Βόρεια Αμερική
  - 38 στη Νότια Αμερική
- Οι παραπάνω ποταμοί μοιράζονται σε δύο ή περισσότερες χώρες, όπως π.χ. ο Δούναβης που μοιράζεται σε 18 χώρες

# Διακρατικές υδρολογικές λεκάνες και ποταμοί

➤ Στην Ελλάδα έχουμε επίσης αρκετούς και μεγάλους διακρατικούς ποταμούς, όπως:

Έβρος  
Νέστος  
Αώος

Άρδας  
Στρυμόνας

Ερυθροπόταμος  
Αξιός

➤ Διεθνώς, έχουν θεσπιστεί αρχές (κανόνες) για τη διαχείριση διακρατικών υδάτινων πόρων:

➤ The Berlin Rules (2004)

➤ United Nations Convention on Non-Navigational Uses of International Watercourses (1997)

➤ Helsinki Rules (1966)

## Διακρατική υδρολογική λεκάνη Άρδα



- Συνολικό εμβαδό λεκάνης απορροής ΑΡΔΑ = 5.600 km<sup>2</sup>
- Μόλις 345 km<sup>2</sup> εντός του Ελληνικού εδάφους Βουλγαρικό.
- 3 μεγάλα φράγματα συνολικής χωρητικότητας 1085x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, που ελέγχουν πλήρως την απορροή, που είναι πολλαπλής σκοπιμότητας, αλλά κυρίως για παραγωγή ενέργειας

# Διακρατική υδρολογική λεκάνη Άρδα



Λόγω του **ορεινού** χαρακτήρα του μεγαλύτερου μέρους της υδρολογικής λεκάνης, του μεγάλου **μεγέθους** της, αλλά και των **κλιματικών** συνθηκών, προκαλούνται πολύ συχνά μεγάλες πλημμυρικές απορροές με τεράστιες οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνέπειες τόσο για τη Βουλγαρία, αλλά κυρίως για την Ελλάδα και την Τουρκία, που είναι οι κατάντη χώρες.

Στην λεκάνη του Άρδα προκαλούνται τις περισσότερες φορές ξαφνικές και επικίνδυνες πλημμύρες, που οφείλονται σε καταρρακτώδεις βροχές και απότομη τήξη χιονιού, ως συνέπεια του κλίματος

# Διακρατική υδρολογική λεκάνη Άρδα



Οι πλημμύρες συνήθως συμβαίνουν προς το τέλος του χειμώνα, αν και όχι σπάνια υπήρξαν πλημμυρικά γεγονότα μέσα στο καλοκαίρι καθώς και στις άλλες εποχές .

Παρά την ύπαρξη τριών μεγάλων ταμιευτήρων στο Βουλγαρικό τμήμα κυρίως για παραγωγή ενέργειας, αρκετά συχνά δημιουργούνται προβλήματα και πλημμύρες μετά τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα.

# Στρατηγικές αντιπλημμυρικής προστασίας

## 1. Ενέργειες πριν τις πλημμύρες με σκοπό τη μείωση της ευπάθειας έναντι των πλημμυρών

Σχεδιασμός χρήσεων γης, έλεγχος στην ανάπτυξη περιοχών με υψηλό κίνδυνο πλημμυρών, αντιπλημμυρική προστασία (μέσω υψομετρικής διαφοράς, αναχωμάτων, στεγανοποίησης, κ.λπ.), συστήματα πρόγνωσης και έγκαιρης προειδοποίησης, αύξηση επαγρύπνησης – πληροφόρησης - εκπαίδευσης στις πλημμύρες, πολιτική προστασία, ασφάλιση για τον κίνδυνο, νομοθεσία

## 2. Αντιπλημμυρικά Έργα

Φράγματα, ταμιευτήρες, τάφροι, αναχώματα, έργα εκτροπής, βελτίωση παροχετευτικότητας ποταμών, διαχείριση της υδρολογικής λεκάνης, αύξηση χώρων προσωρινής αποθήκευσης – κατάκλισης και υγροτόπων, αύξηση διήθησης και διαπερατών επιφανειών, διαχείριση φυτοκάλυψης, δασοκάλυψης, κ.λπ.

## 3. Ενέργειες μείωσης συνεπειών πλημμυρών (κατά τη διάρκεια και μετά τις πλημμύρες)

# Στρατηγικές αντιπλημμυρικής προστασίας

Τα μέτρα αντιπλημμυρικής προστασίας διακρίνονται σε:

- **Κατασκευαστικά – structural (“hard”)** ή
- **Μη κατασκευαστικά – ήπιες δράσεις (“soft”)**

Τα κατασκευαστικά μέτρα, όπως φράγματα, αναχώματα κ.λπ. έχουν μακρά παράδοση, καθώς κατασκευάζονται εδώ και 4000 χρόνια. Κατασκευάζοντας ταμιευτήρες, όπου το περίσσειμα του νερού μπορεί να αποθηκευτεί προσωρινά, ρυθμίζεται η κατανομή της πλημμυρικής παροχής, και αποφεύγεται η πλημμύρα με τη μείωση της αιχμής.

Στόχος μας είναι να διερευνηθεί ο ρόλος των ήπιων δράσεων, ώστε να αυξηθεί η ικανότητά μας στην πρόγνωση, στον μετριασμό των αρνητικών συνεπειών, και εδώ εντάσσεται η παρούσα εργασία.





European Territorial Cooperation Programme  
**Greece-Bulgaria 2007-2013**  
INVESTING IN OUR FUTURE

**ARDA**  
FORECAST



Co-funded by the European Union (ERDF)  
and National Funds of Greece and Bulgaria



Εγκατάσταση/Δημιουργία συστήματος προειδοποίησης  
πλημμυρών στη λεκάνη του Ποταμού Άρδα  
για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου  
στη διασυνοριακή περιοχή

Έ ρ γ ο υ  
**ARDAFORECAST**

<http://arda.hydro.bg/>



European Territorial Cooperation Programme  
**Greece-Bulgaria 2007-2013**  
INVESTING IN OUR FUTURE

ARDA  
FORECAST

# ARDAFORECAST

**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**



**DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE  
GREECE**

# ΔΙΑΚΡΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ARDAFORECAST

Η **Ελλάδα και η Βουλγαρία** συνεργάστηκαν στα πλαίσια του «Ευρωπαϊκού προγράμματος διασυνοριακής συνεργασίας Ελλάδας – Βουλγαρίας 2007-2013» σε ένα κοινό έργο με τίτλο «Εγκατάσταση συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης πλημμυρών στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Άρδα για τη μείωση του κινδύνου στη διασυνοριακή ζώνη – **ARDAFORECAST**», προκειμένου να αντιμετωπίσουν από κοινού το πλημμυρικό πρόβλημα.  
Προϋπολογισμός: 823,220.50 €  
Υλοποίηση: 2012 – 2014

## Εταίροι:



**NATIONAL INSTITUTE OF METEOROLOGY AND HYDROLOGY – BULGARIA**

Contact person: Dobri Dimitrov  
66, Tsarigradsko Chaussee, Sofia 1784, Bulgaria  
E-mail: ardaforecast@meteo.bg  
[www.meteo.bg](http://www.meteo.bg)



**EAST AEGEAN RIVER BASIN DIRECTORATE – BULGARIA**

Contact person: Eng. Gergana Georgieva  
35, Yanko Sakazov Str., Plovdiv 4000, Bulgaria  
E-mail: ardaforecast@abv.bg  
[www.earbd.org](http://www.earbd.org)



**DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE – SPECIAL ACCOUNT –  
DEP. OF CIVIL ENGINEERING – GREECE**

Contact person: Professor Nikolaos Kotsovinos  
University Campus – Dep. of Civil Engineering, Vas. Sofias 12, 67100 Xanthi, Greece  
E-mail: kotsovin@civil.duth.gr [www.duth.gr](http://www.duth.gr)



**REGIONAL DEVELOPMENT FUND OF EAST MACEDONIA – THRACE – GREECE**

Contact person: Christos Partsiaris  
D. Tsetine 7, Komotini, Greece  
E-mail: c.partsias@pta-emth.gr  
[www.pamth.gov.gr](http://www.pamth.gov.gr), [www.pta-emth.gr](http://www.pta-emth.gr)

## ΚΥΡΙΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ARDAFORECAST

- πρόβλεψη βροχόπτωσης
- εκτίμηση απορροής με βάση την πρόβλεψη βροχόπτωσης
- ανάπτυξη ειδικού λογισμικού διαχείρισης φραγμάτων και αποφυγής πλημμυρών
- διόδευση πλημμυρικού κύματος και χάρτες πλημμυρισμού
- σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και προστασία από τις πλημμύρες – πολιτική προστασία
- σύστημα υδρομετεωρολογικών πληροφοριών
- εγκατάσταση πρόσθετων υδρομετρικών και μετεωρολογικών σταθμών

# ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΤΙΜΗΤΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΣΗ

για το πρόγραμμα

# ARDAFORECAST

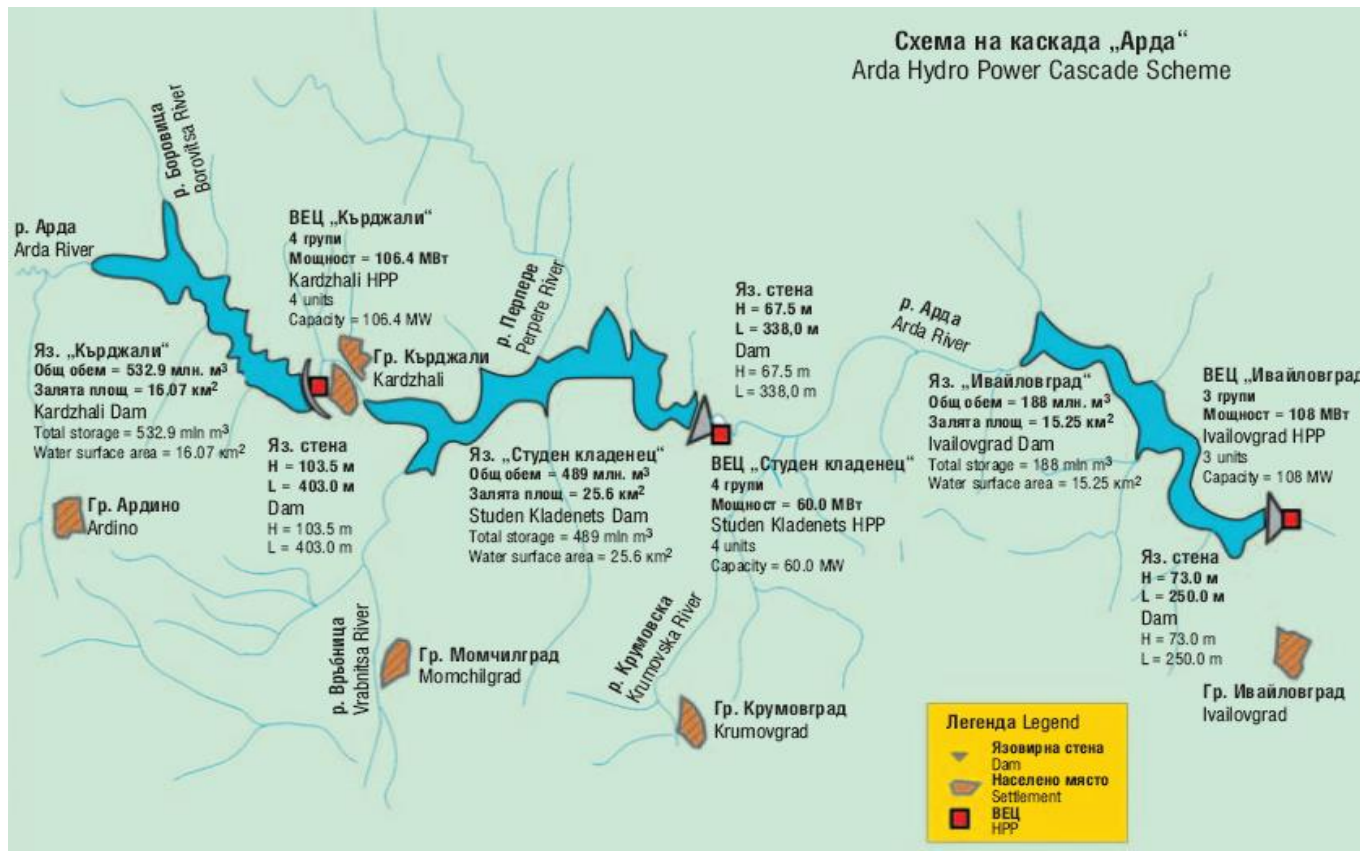
Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επέλεξε 28 έργα από όλα τα προγράμματα (όχι μόνο τα INTERREG), ως παραδείγματα για το πως τα Ευρωπαϊκά χρήματα «πιάνουν τόπο» για τους Ευρωπαίους πολίτες.

Μέσα σε αυτά βρίσκεται το ARDAFORECAST.

[http://ec.europa.eu/regional\\_policy/index.cfm/en/projects/bulgaria/ardaforecast-a-reliable-flood-warning-system-developed-for-the-cross-border-arda-river](http://ec.europa.eu/regional_policy/index.cfm/en/projects/bulgaria/ardaforecast-a-reliable-flood-warning-system-developed-for-the-cross-border-arda-river)

Στην υδρολογική λεκάνη του Άρδα έχουν γίνει μεγάλες κατασκευαστικές παρεμβάσεις με την κατασκευή 3 διαδοχικών φραγμάτων, που ελέγχουν σχεδόν το σύνολο της απορροής.

Για τον λόγο αυτό πρέπει να διερευνηθεί ο ρόλος ήπιων δράσεων (μη κατασκευαστικών παρεμβάσεων) στο πλημμυρικό φαινόμενο.



Η αντιμετώπιση των πλημμυρών γίνεται πολύ δυσκολότερη, όταν πρόκειται για **διακρατική** υδρολογική λεκάνη, όπου εμπλέκονται περισσότερες χώρες, όπως στην περίπτωση του διακρατικού ποταμού Άρδα, όπου η υδρολογική λεκάνη μοιράζεται σε δύο χώρες, τη Βουλγαρία που είναι η ανάντη χώρα και την Ελλάδα, που είναι η κατάντη χώρα, αλλά οι απορροές του Άρδα επηρεάζουν δυσμενώς και την Τουρκία.

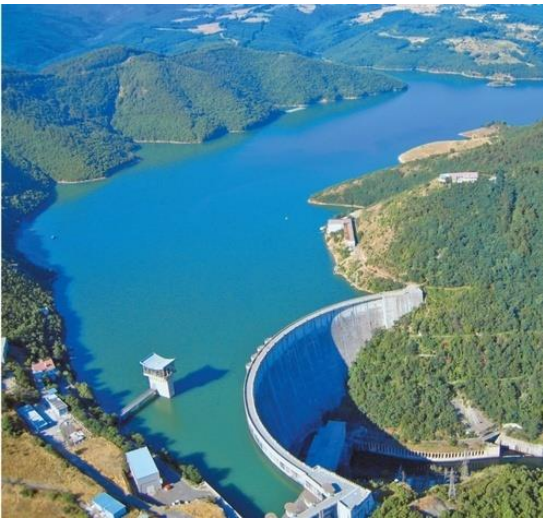


Ιδιαίτερα δε, όταν η ανάντη χώρα, που κατασκεύασε μεγάλα φράγματα, ενδιαφέρεται κύρια για την οικονομική τους εκμετάλλευση, η οποία αντιστρατεύεται την αντιπλημμυρική προστασία των κατάντη χωρών.

Τα φράγματα παρεμβαίνουν αποφασιστικά στις φυσικές ροές των ποταμών μεταβάλλοντας την παροχή αιχμής, τον χρόνο εμφάνισης και τη διάρκεια της πλημμύρας, έτσι ώστε να μειώνονται οι αρνητικές συνέπειες κατάντη.

Όμως όταν απελευθερώνονται γρήγορα μεγάλες ποσότητες νερού μέσω των υπερχειλιστών, είναι δυνατό να προκληθούν δυσμενείς πλημμυρικές συνέπειες στα κατάντη.

**Kardjali**



**Studen – Kladenets**



**Ivaylovgrad**





# Τι είναι το ARDAFORECAST;

<http://arda.hydro.bg/index.php?glaven=data>

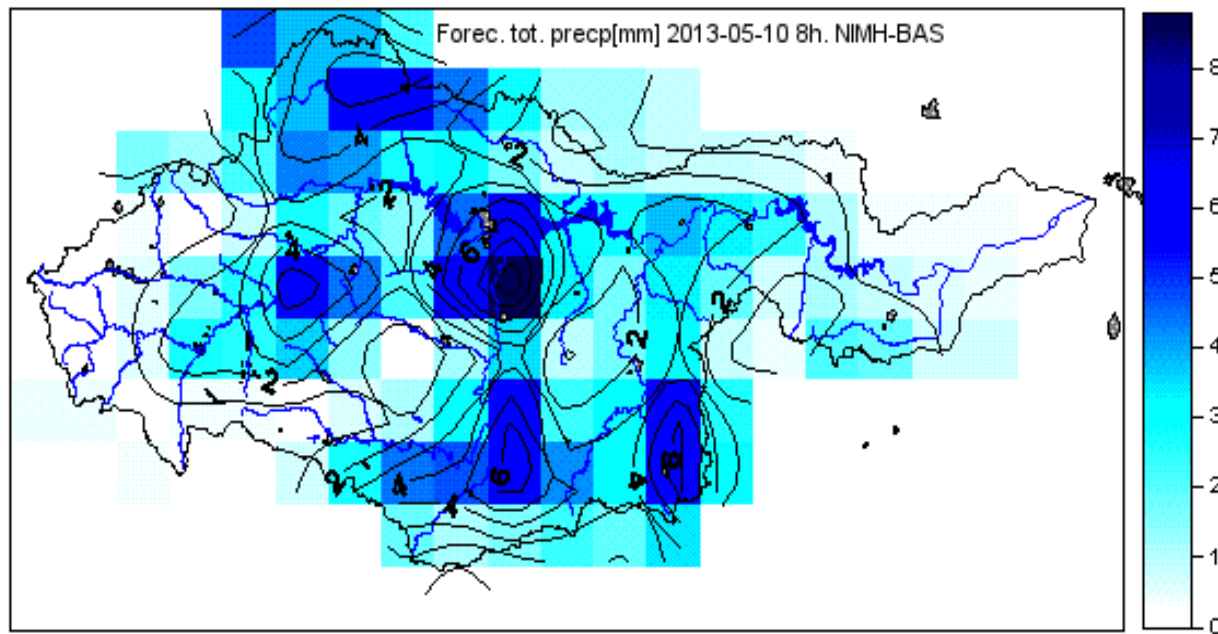
Το ARDAFORECAST είναι ένα σύνθετο σύστημα, που ενσωματώνει επιστημονική έρευνα και περίπλοκα μοντέλα προσομοίωσης φυσικών διαδικασιών (μετεωρολογικών, υδρολογικών και υδραυλικών), και που λαμβάνει υπόψη του μια σειρά από παραμέτρους (συμπεριλαμβανομένης και της οικονομικής διάστασης του θέματος).

Οι βασικές δράσεις του είναι:



# Πρόβλεψη βροχόπτωσης

Με βάση σύγχρονες μετεωρολογικές μεθόδους γίνεται πρόβλεψη βροχόπτωσης για τις επόμενες 5 μέρες, ανά 3ωρο, σε τετραγωνικά κελιά διαστάσεων 8 x 8 Km. (NIMH)



# Εκτίμηση απορροής με βάση την πρόβλεψη βροχόπτωσης

Με τη χρήση υδρολογικών μοντέλων (MODCOU και άλλων) γίνεται προσομοίωση της επιφανειακής και της υπόγειας απορροής. Η υδρολογική λεκάνη χωρίζεται σε κελιά ή σε υπολεκάνες. Γίνεται διόδευση της επιφανειακής απορροής μέσω του δικτύου υδατορρευμάτων. **(NIMH - DUTH)**

ISBA-MODCOU  
coupled model

Atmospheric forcing  
time step = 3hours

ISBA  
Surface scheme  
time step = 5min

Hydrological model  
time step = 1 day

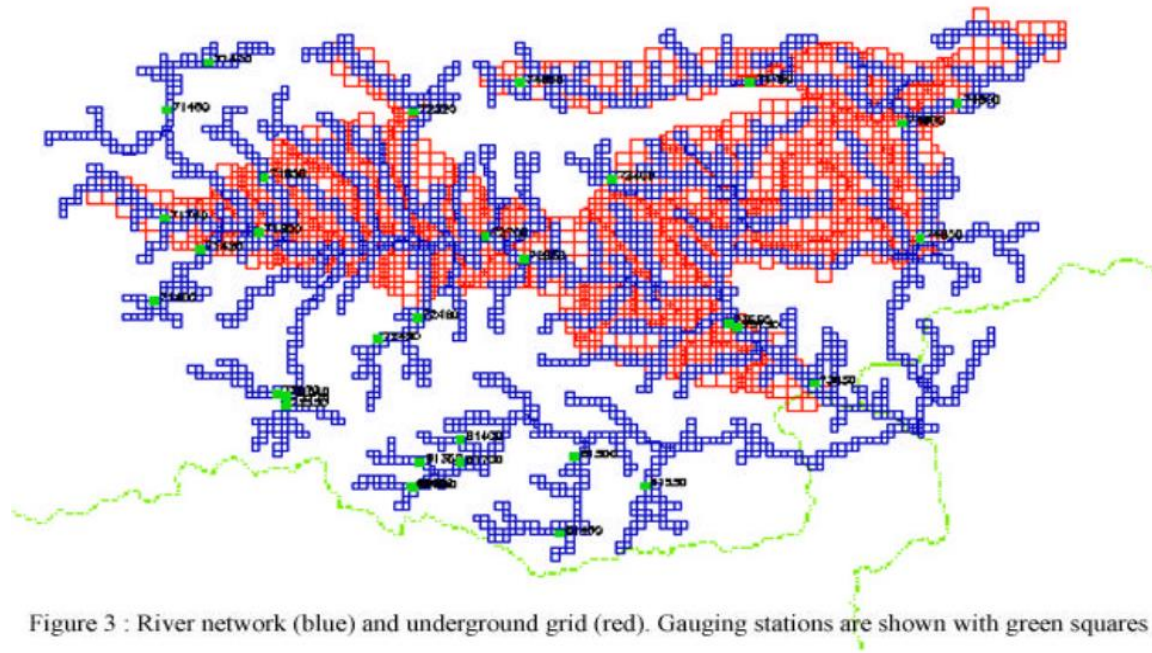
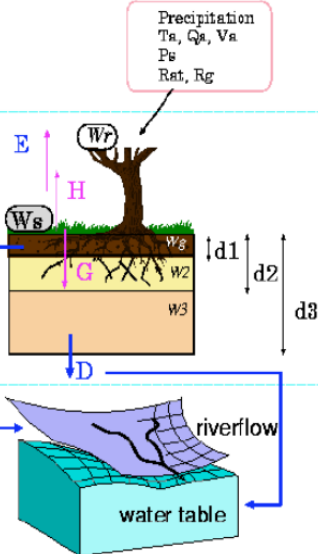


Figure 3 : River network (blue) and underground grid (red). Gauging stations are shown with green squares

# Ανάπτυξη ειδικού λογισμικού διαχείρισης φραγμάτων και αποφυγής πλημμυρών (DUTH)

Η βασική ιδέα, που προτείνουμε, είναι, ότι ο χρόνος των 5 ημερών για τις οποίες μπορεί να γίνει πρόβλεψη βροχόπτωσης και απορροής, είναι σημαντικός και κρίσιμος για να αμυνθούμε έναντι των πλημμυρών.

The screenshot displays the ARDAS FLOODS software interface. The main window shows a top menu bar with buttons for 'IMPORT RUNOFF FOR BULGARIAN DAMS', 'IMPORT INITIAL DATA (OPTIONAL)', 'IMPORT RAIN DATA (OPTIONAL)', 'RUN SIMULATION', 'VIEW RESULT', 'OUTPUT TABLES', 'HELP', 'CONFIGURE PARAMETERS', and 'EXIT'. Below the menu bar, there are tabs for 'ARDASFLOODS' and 'EvrosFloods'. The central part of the interface features a 3D topographic map of a river basin with four dams labeled: Kardzali Dam, St. Kladenets Dam, Ivaylovgrad Dam, and Therapio Dam. A 'Simulation Parameters' dialog box is open in the foreground, showing the following settings:

**Routing Parameters**

- Simulation space step (m): 1000
- Overall time of solution (hr): 0
- Simulation time step (sec):

**Initial Conditions - Simulation Duration**

- Use Imported Data
- Use Custom Data
- Kardzali reservoir initial water level (285 - 324.3m): 325
- St. Kladenets reservoir initial water level (204 - 225 m): 225
- Ivaylovgrad reservoir initial water level (74.5 - 120.2m): 120
- Start Time: 31/12/2012 Hour: 21
- End Time: 31/12/2012 Hour: 21

**Choose the type of simulation you would like to run**

- Run using predefined utilization factors for dam hydropower plants

Dam	Utilization Factor
Kardzhali	
Studen Kladenets	
Ivaylovgrad	

# Ανάπτυξη ειδικού λογισμικού διαχείρισης φραγμάτων και αποφυγής πλημμυρών (DUTH)

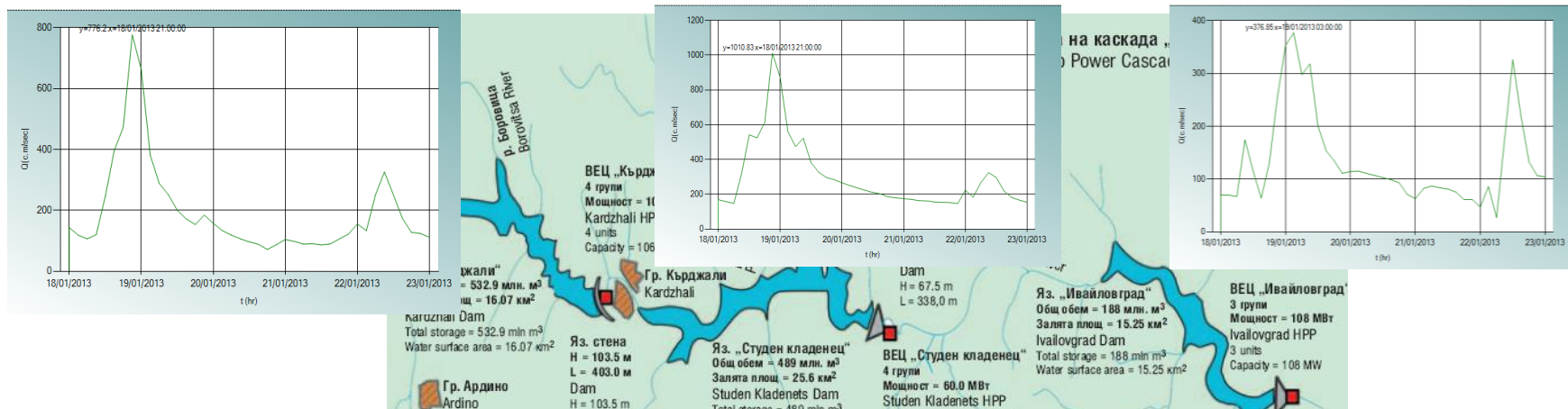
## Πως μπορούμε να αμυνθούμε;

- Γνωρίζοντας ποια θα είναι η βροχή και τελικά η εισροή σε κάθε ταμιευτήρα για τις επόμενες 5 ημέρες, μπορούμε να αδειάζουμε τους ταμιευτήρες, ώστε να μπορέσουν να χωρέσουν την επερχόμενη εισροή.
- Για να μη έχουμε οικονομική απώλεια, το άδειασμα των ταμιευτήρων θα γίνεται παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια ακόμα και σε ώρες που δεν τη χρειαζόμαστε (π.χ. όλο το 24ωρο), ώστε να εκμεταλλευτούμε όσο γίνεται καλύτερα το νερό.

# Ανάπτυξη ειδικού λογισμικού διαχείρισης φραγμάτων και αποφυγής πλημμυρών (DUTH)

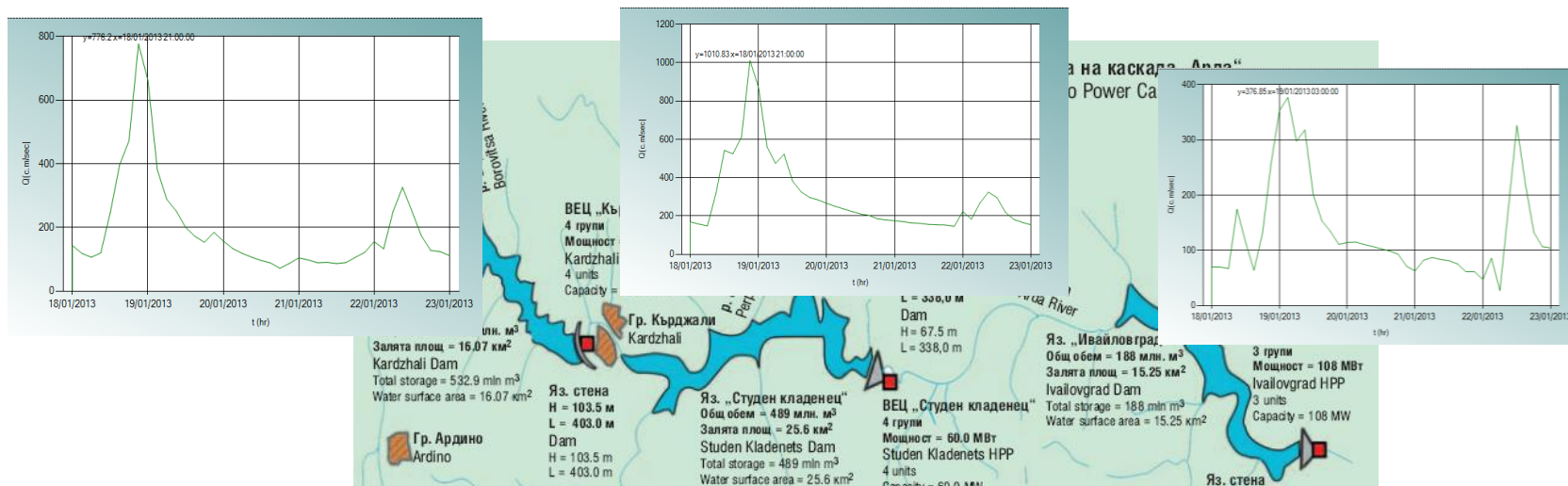
Όμως πόσο νερό πρέπει να αδειάσουμε από το κάθε φράγμα; Η απάντηση δεν είναι εύκολη, ούτε τετριμμένη, γιατί εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως:

- Πόση είναι η αναμενόμενη εισροή σε κάθε ταμιευτήρα και με ποια χρονική κατανομή;
- Ποια είναι η αρχική στάθμη του κάθε ταμιευτήρα; Μήπως χωρέσει το νερό που πρόκειται να εισέλθει;
- Ποια ποσότητα ενδέχεται να υπερχειλίσει από κάθε φράγμα, σε ποια χρονική στιγμή και πως θα επηρεάσει τα κατάντη φράγματα;



# Ανάπτυξη ειδικού λογισμικού διαχείρισης φραγμάτων και αποφυγής πλημμυρών (DUTH)

- Πόσο χρόνο θα κάνει για να φτάσει η εκροή από ένα φράγμα στο κατάντη φράγμα; Ο χρόνος αυτός δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες ροής.
- Πόσο γρήγορα ανεβαίνει ή κατεβαίνει η στάθμη του ταμιευτήρα, λόγω εισροής και εκροής;
- Πόσο χάνουμε ή κερδίζουμε οικονομικά;

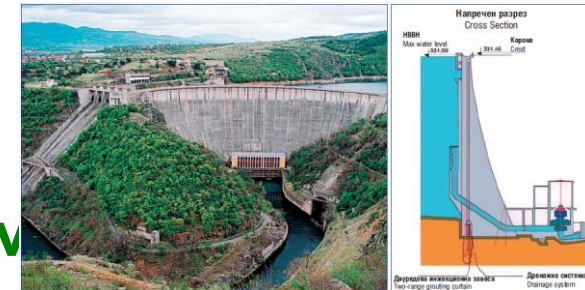


**Απάντηση:** Προσομοίωση στον Η/Υ της λειτουργίας των 3 φραγμάτων του Άρδα, με στόχο τη μεγιστοποίηση παραγωγής ενέργειας και της αποφυγής πλημμύρας

**Σκοπός:** Συνεχής προσομοίωση της ροής μέσω των ταμιευτήρων και μέσω του ποταμού με ένα πρόγραμμα Η/Υ για τις επόμενες 5 μέρες. Η προσομοίωση περιλαμβάνει όλους τους εναλλακτικούς τρόπους λειτουργίας των υδροηλεκτρικών εργοστασίων, τη διόδευση κάθε φορά της ροής μέσω του ποταμού και των ταμιευτήρων με στόχο τη μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας και την αποφυγή πλημμύρας.

**Εισαγωγή δεδομένων:**

- **Εκτίμηση απορροής των επόμενων 5 ημερών και αρχικές στάθμες ταμιευτήρων**

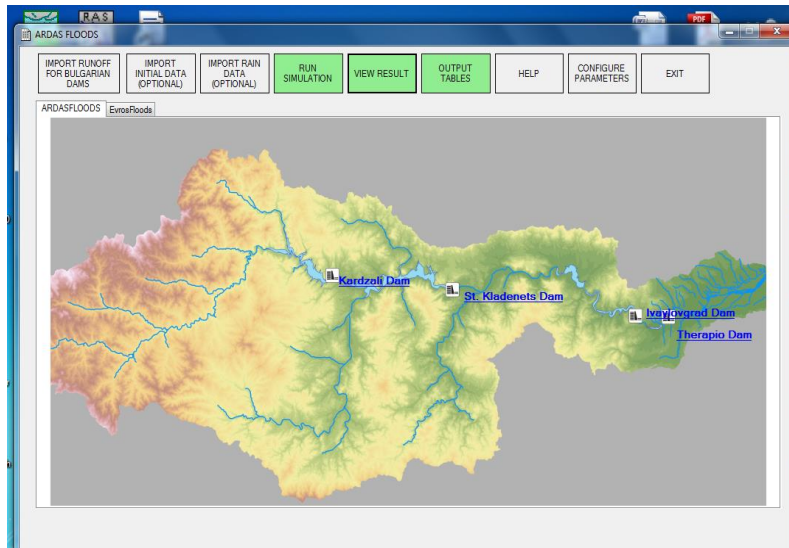


**Αποτέλεσμα:** Βέλτιστος χειρισμός απελευθερώσεων νερού από τα 3 φράγματα για μεγιστοποίηση παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας και αποφυγή πλημμυρών



**Περιορισμοί:**

**Μέγιστες επιτρεπόμενες παροχές κατάντη των φραγμάτων πέρα από τις οποίες δημιουργούνται πλημμύρες.**



**MaxQ<sub>Kardjali</sub>**

**MaxQ<sub>Stud.Klad.</sub>**

**MaxQ<sub>Ivailovgrad</sub>**



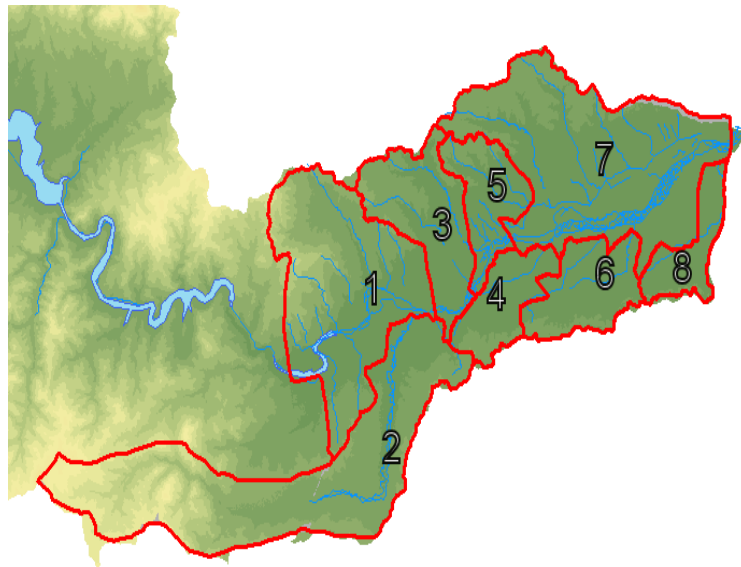
## Τι ακριβώς κάνει το λογισμικό;

- Εξετάζει όλους τους εναλλακτικούς τρόπους διαχείρισης στα τρία φράγματα και κάνει όλους τους υδραυλικούς υπολογισμούς για κάθε έναν από αυτούς.
- Για να προσομοιωθεί η λειτουργία των υδροηλεκτρικών εργοστασίων για συγκεκριμένες ώρες και όχι για 24ωρη λειτουργία εισήχθη ο συντελεστής χρησιμοποίησης (Utilization Factor), ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0% (για μηδενική λειτουργία) έως 100% (για 24ωρη λειτουργία). Ο συντελεστής χρησιμοποίησης υπολογίζεται από το αναπτυχθέν λογισμικό, όταν αναζητείται η βέλτιστη λύση.
- Ταυτόχρονα υπολογίζει την παραγόμενη κατά τη διάρκεια του πλημμυρικού επεισοδίου υδροηλεκτρική ενέργεια καθώς και τη δυνάμενη να παραχθεί με το αποθηκευμένο στους ταμιευτήρες νερό στο τέλος του επεισοδίου.

# Τι ακριβώς κάνει το λογισμικό;

## ➤ Υδρολογική προσομοίωση

Στο Ελληνικό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης και έχοντας πρόβλεψη βροχόπτωσης για τις επόμενες πέντε μέρες, ανά 3ωρο, σε τετραγωνικά κελιά διαστάσεων 8 x 8 Km προερχόμενη από το NIMH, μετασχηματίζει τη βροχή σε **άμεση απορροή** με τη μέθοδο του Συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος του **Snyder** σε συνδυασμό με την μέθοδο **Horton** για τον υπολογισμό των απωλειών λόγω διήθησης



# Τι ακριβώς κάνει το λογισμικό;

## ➤ Διόδευση υδρογραφημάτων διαμέσου υδατορευμάτων

Η διόδευση των υδρογραφημάτων διαμέσου των υδατορευμάτων γίνεται με τη διακριτοποίηση και αριθμητική επίλυση των εξισώσεων του **κινηματικού κύματος**.

Οι βασικές εξισώσεις που περιγράφουν τη γενική **μονοδιάστατη ασταθή ροή** του νερού σε ανοικτούς αγωγούς και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι η εξίσωση της **συνέχειας** και της **ορμής** (εξισώσεις St. Venant):

$$\text{Συνέχεια: } \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = q_L + (i - f)$$

Μετά από

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\text{Ορμή: } \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(S_0 - S_f) - q_L \frac{(u - v)}{y}$$

απλοποιήσεις:

$$Q = aA^m$$

## Τι ακριβώς κάνει το λογισμικό;

➤ **Διόδευση υδρογραφημάτων διαμέσου ταμιευτήρων**  
Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του υδατικού ισοζυγίου σε συνδυασμό τις σχέσεις «στάθμης νερού» – «όγκου νερού» στους ταμιευτήρες:

$$\frac{dS}{dt} = I - Q$$

όπου  $dS/dt$  είναι η μεταβολή του αποθηκευμένου όγκου νερού σε χρονικό διάστημα  $dt$ ,  $I$  είναι η εισροή νερού στον ταμιευτήρα,  $Q$  είναι η εκροή νερού από τον ταμιευτήρα είτε μέσω των υδροστροβίλων, είτε μέσω του υπερχειλιστή.

Για την εκροή από τον υπερχειλιστή χρησιμοποιήθηκε σχέση της μορφής:

$$Q_{\varepsilon} = C \cdot B \cdot d \cdot H^{1.5}$$

# Επιλογή βέλτιστου διαχειριστικού σχεδίου

➤ Επιλέγεται το βέλτιστο διαχειριστικό σχέδιο με 2 τρόπους:

➤ Τρόπος (α):

□ Κατατάσσει τις εναλλακτικές λύσεις με βάση το οικονομικό όφελος, δηλαδή με βάση την παραγόμενη ενέργεια. Η κατάταξη γίνεται κατά φθίνουσα σειρά από τη μεγαλύτερη ενέργεια προς τη μικρότερη.

□ Παράλληλα, με βάση τις πλημμυρικές αιχμές, που δημιουργούνται κατόπιν των τριών φραγμάτων, αποκλείονται τα σενάρια εκείνα που προκαλούν πλημμύρες.

□ Οπότε, ως βέλτιστη επιλογή προτείνεται εκείνο το σενάριο διαχείρισης, όπου παράγεται η μέγιστη ενέργεια (από τον κατάλογο κατά φθίνουσα σειρά), αλλά ταυτόχρονα δεν δημιουργεί πλημμύρα κατόπιν των φραγμάτων.

# Επιλογή βέλτιστου διαχειριστικού σχεδίου

Result Viewer

Optimum Solution | Graphs | Output Tables

Simulation for Viewing	Kardzali UF(%)	St. Kladenets UF (%)	Ivaylovgrad UF (%)	Total Energy Production plus the remaining energy (kWh)	Max flow downstream Kardzhali (m3/s)	Max flow downstream St. Kladenets (m3/s)	Max flow downstream Ivaylovgrad (m3/s)	Max flow downstream Ardas river (m3/s)
<input type="checkbox"/>	80	40	80	277,565	162.0	561.1	668.4	645.7
<input type="checkbox"/>	100	100	60	277,084	162.0	516.3	795.4	768.2
<input type="checkbox"/>	100	60	80	276,951	162.0	569.5	722.6	694.2
<input type="checkbox"/>	60	40	60	276,812	162.0	530.0	717.5	687.5
<input type="checkbox"/>	100	20	100	276,800	162.0	624.8	579.3	576.8
<input type="checkbox"/>	60	80	40	276,613	162.0	482.8	779.8	738.5
<input type="checkbox"/>	40	100	100	276,406	685.9	482.8	568.8	564.0
<input type="checkbox"/>	80	60	60	276,243	162.0	534.2	756.6	719.7

Flood Detected in Scenario  
Flood Danger Detected in Scenario  
No Flood Danger

Flood Limit At downstream of Ardas (m3/s): 800  
Flood Limit At downstream of Kardzali Dam (m3/s): 600  
Flood Limit At downstream of St. Kladenets Dam (m3/s): 600  
Flood Limit At downstream of Ivaylovgrad Dam (m3/s): 800

Export to .csv file

➤ Εάν η πρώτη επιλογή (μεγαλύτερη ενέργεια) δημιουργεί ροές στον Άρδα, που η αιχμή τους δεν ξεπερνάει τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια που τέθηκαν, τότε αυτή είναι η βέλτιστη λύση.

➤ Αλλιώς πάμε στη 2<sup>η</sup> επιλογή, ή στην 3<sup>η</sup>, κ.ο.κ.

# Επιλογή βέλτιστου διαχειριστικού σχεδίου

- Επιλέγεται το βέλτιστο διαχειριστικό σχέδιο με 2 τρόπους:
  - Τρόπος (β):
    - Βασίζεται σε ένα συνθετικό κριτήριο αξιολόγησης με στόχο τη συνολική βελτιστοποίηση του συστήματος, που ορίζεται ως εξής:
      - οικονομική αποτίμηση της παραγόμενης ενέργειας και παράλληλα οικονομική αποτίμηση των (ενδεχόμενων) ζημιών πλημμυρών από τη διόδευση των πλημμυρικών κυμάτων στον ποταμό Άρδα διαμέσου των τριών Βουλγάρικων φραγμάτων.
      - Έτσι η αξιολόγηση και η κατάταξη όλων των σεναρίων διαχείρισης των φραγμάτων γίνεται με βάση το όφελος από την παραγωγή ενέργειας μείον το αντιστοιχούν λόγω των απελευθερωμένων ποσοτήτων νερού από τα τρία φράγματα (ενδεχόμενο) κόστος πλημμυρών.



# Επιλογή βέλτιστης διαχείρισης με τον (β) τρόπο

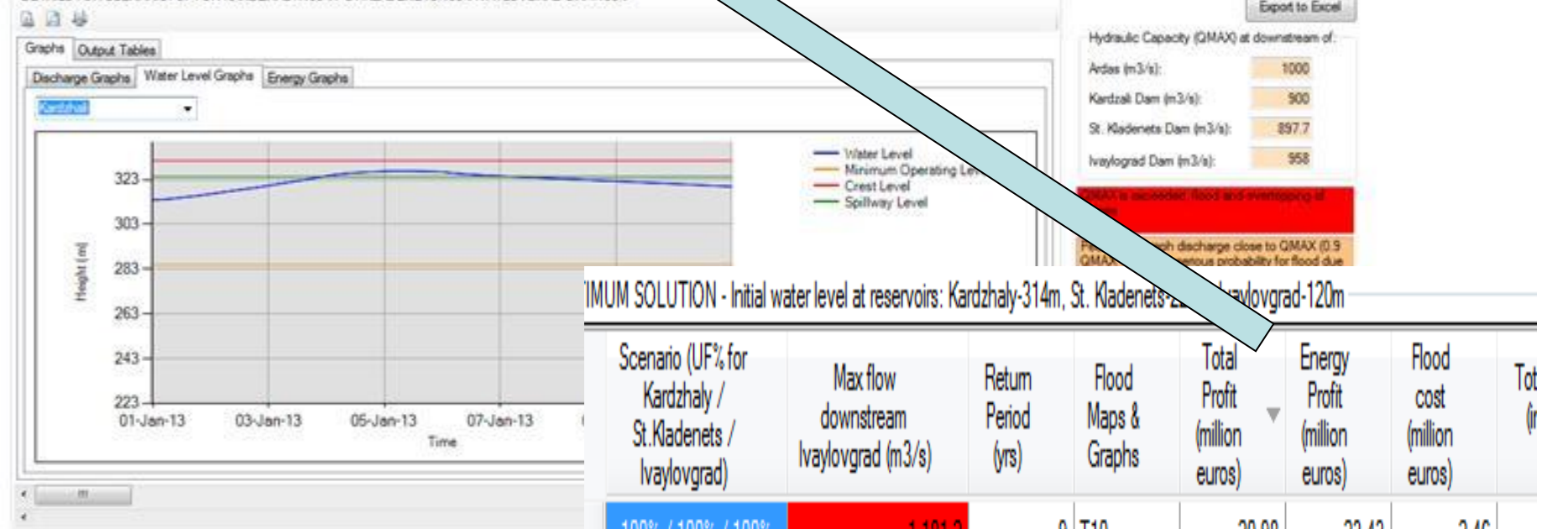
Result Viewer

OPTIMUM SOLUTION - Initial water level at reservoirs: Kardzhaly-314m, St. Kladenets-220m, Ivaylovgrad-120m

Scenario (UF% for Kardzhaly / St.Kladenets / Ivaylovgrad)	Max flow downstream Ivaylovgrad (m3/s)	Return Period (yrs)	Flood Maps & Graphs	Total Profit (million euros)	Energy Profit (million euros)	Flood cost (million euros)	Total Weighted Energy (including remaining energy)(MWh)	Total Energy Production plus the remaining energy (MWh)	Max flow downstream Kardzhaly (m3/s)	Max flow downstream St. Kladenets (m3/s)	Max flow at Ardas outlet (m3/s)	Total Es during c
100% / 100% / 100%	1,181.2	9	T10	20.98	23.43	2.46	334.762	341.439	532.3	877.5	1,181.2	
75% / 100% / 100%	1,187.9	10	T10	20.70	23.37	2.67	333.851	339.918	625.8	906.3	1,187.9	
50% / 100% / 100%	1,189.7	10	T10	20.53	23.28	2.75	332.540	337.675	687.4	932.6	1,189.7	

Choose Scenario from the above table selecting the appropriate row

DETAILS FOR SCENARIO: UF FOR KARDZHALLY:100% / ST.KLADENETS:100% IVAYLOVGRAD DAM:100%



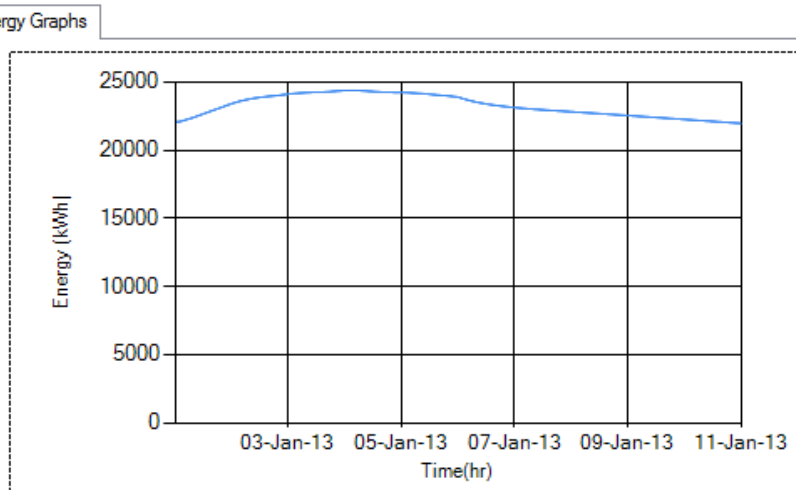
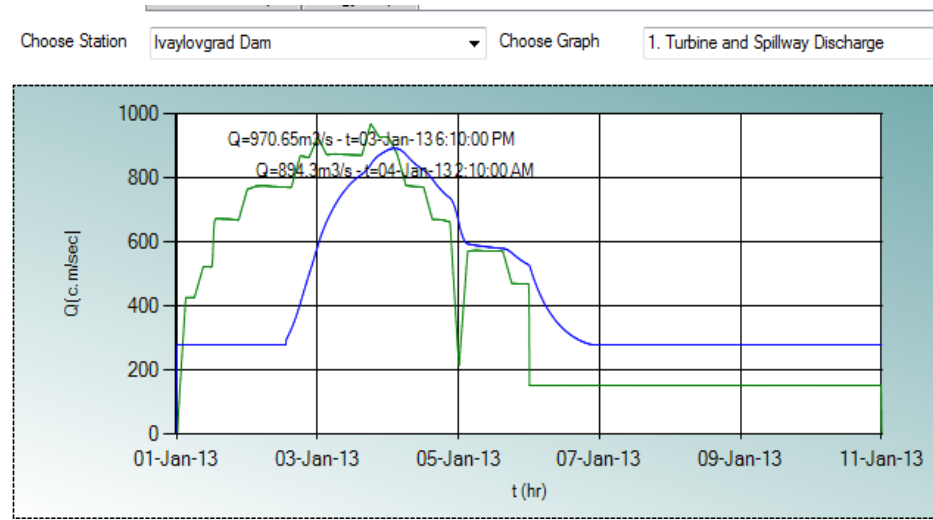
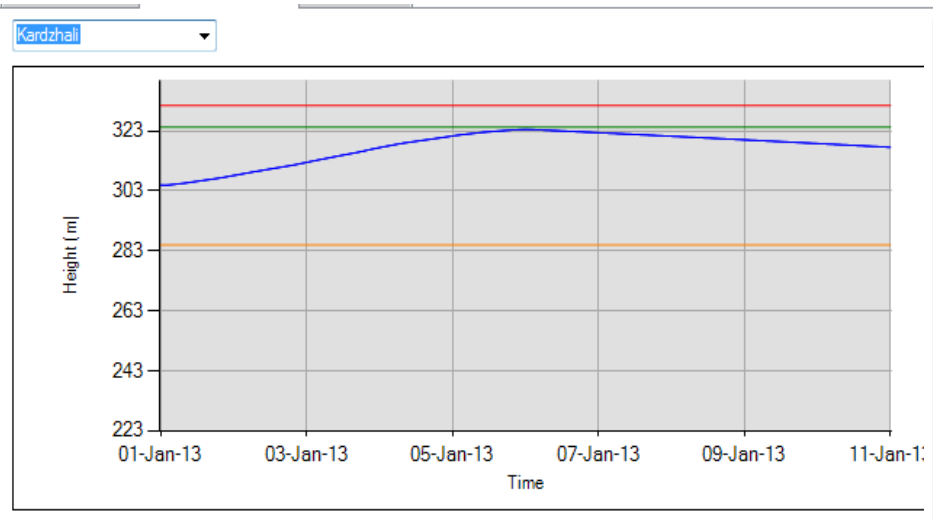
OPTIMUM SOLUTION - Initial water level at reservoirs: Kardzhaly-314m, St. Kladenets-220m, Ivaylovgrad-120m

Scenario (UF% for Kardzhaly / St.Kladenets / Ivaylovgrad)	Max flow downstream Ivaylovgrad (m3/s)	Return Period (yrs)	Flood Maps & Graphs	Total Profit (million euros)	Energy Profit (million euros)	Flood cost (million euros)	Tot (r
100% / 100% / 100%	1,181.2	9	T10	20.98	23.43	2.46	
75% / 100% / 100%	1,187.9	10	T10	20.70	23.37	2.67	
50% / 100% / 100%	1,189.7	10	T10	20.53	23.28	2.75	

# Ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος για την βέλτιστου διαχειριστικού σχεδίου;

- Η απάντηση στο ερώτημα ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος για την επιλογή του βέλτιστου διαχειριστικού σχεδίου έρχεται αμέσως μόλις εισαχθούν στο λογισμικό ρεαλιστικά δεδομένα.
- Και οι δύο τρόποι οδηγούν στο ίδιο αποτέλεσμα, καθώς το κόστος της πλημμύρας είναι συνήθως τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από το επιπλέον όφελος από την παραγωγή ενέργειας με διαφορετικούς χειρισμούς κατά τη διάρκεια της πλημμυρικής κρίσης.
- Συνεπώς, τα πραγματικά δεδομένα οδηγούν στη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, αλλά και στην αποφυγή πλημμύρας με κάθε τρόπο.

# Παράγεται ποικιλία γραφημάτων και πινάκων αναφορικά με τα υδρογραφήματα εισροής – εκροής στους ταμιευτήρες και στα υδατορεύματα, την παραγόμενη ενέργεια συναρτήσει του χρόνου, την εξέλιξη της στάθμης στους ταμιευτήρες



Graphs Output Tables

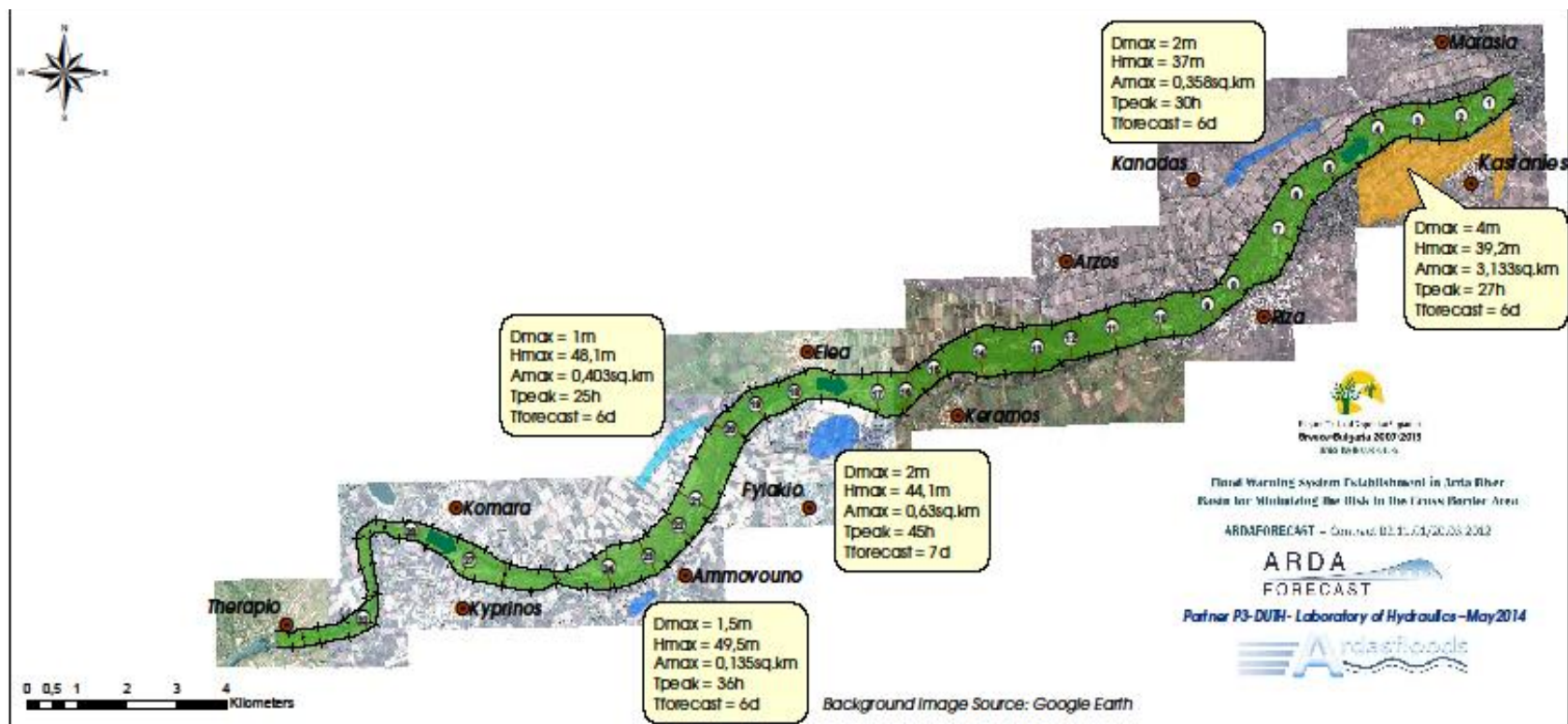
Discharge Tables Dams' Reservoir Water Balance

Kardzhali

Time	Initial Elevation (m)	Water in Reservoir (X 1,000,000 m <sup>3</sup> )	Total Reservoir Inflow (m <sup>3</sup> /s)	Plant Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Crest Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Outflow (m <sup>3</sup> /s)	Energy Produced
01-Jan-13 12:00:00	320.95	393.49	0	0	0	0	0
01-Jan-13 12:00:00	320.95	393.49	0	162	0	162	22087.69
01-Jan-13 12:00:00	320.94	393.39	29.77	162	0	162	22086.02
01-Jan-13 12:00:00	320.94	393.31	100.61	162	0	162	22085.27
01-Jan-13 12:00:00	320.93	393.28	151.87	162	0	162	22085.09
01-Jan-13 12:00:00	320.93	393.27	201.87	162	0	162	22085.65
01-Jan-13 12:00:00	320.93	393.29	251.22	162	0	162	22086.76
01-Jan-13 12:00:00	320.94	393.35	300.18	162	0	162	22088.43
01-Jan-13 12:00:00	320.95	393.43	348.87	162	0	162	22090.85

Export to Excel

# Με βάση την παροχή αιχμής στο Ελληνικό έδαφος εμφανίζεται πλημμυρικός χάρτης



**INUNDATION MAP  
 FLOOD HYDROGRAPH WITH RETURN PERIOD  
 T = 10 yrs**

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

**MAP LEGEND**

- Settlement
- +— Ardas river banks
- River cross-section
- Flow between Arda's levees

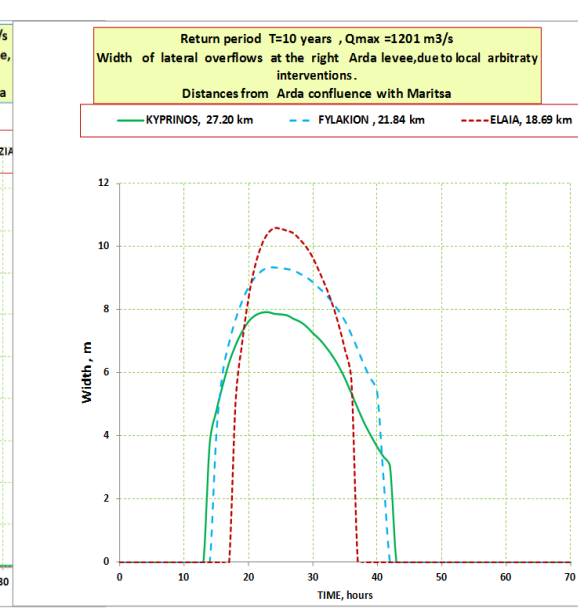
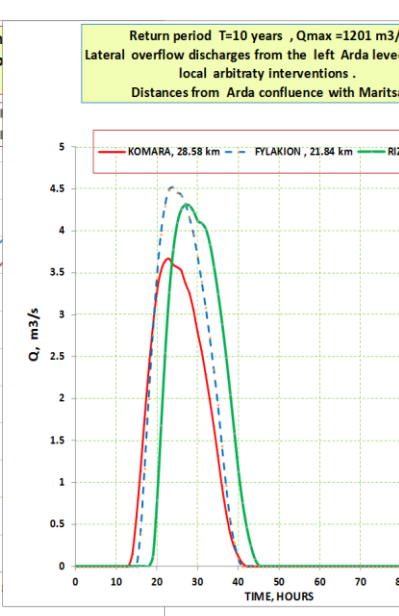
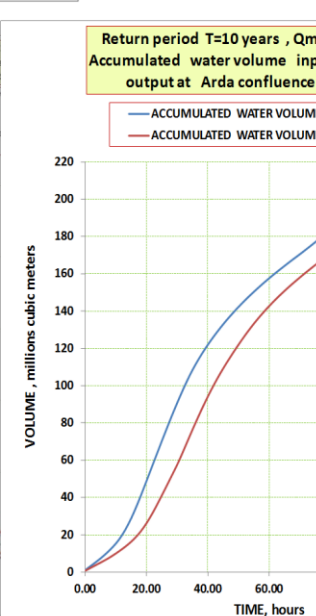
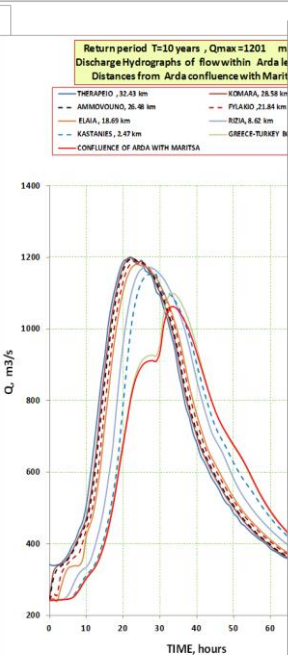
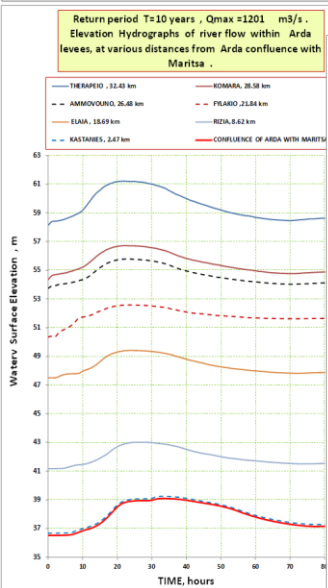
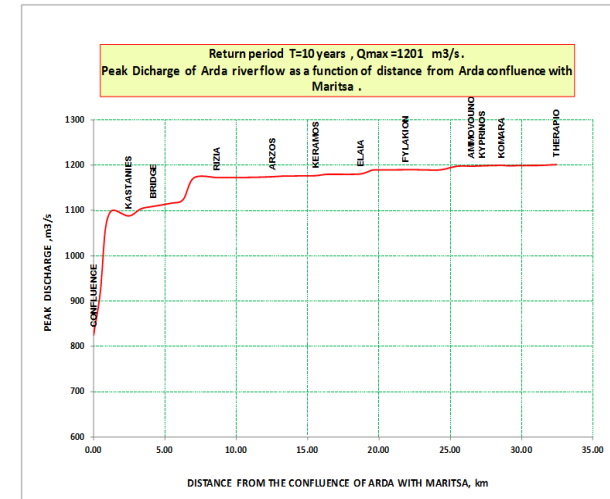
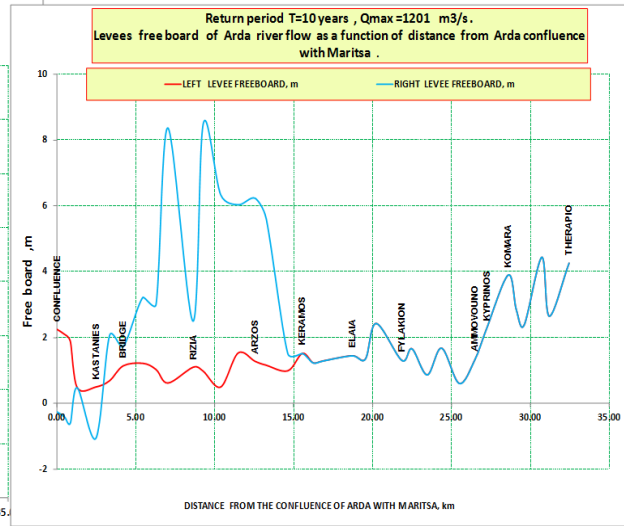
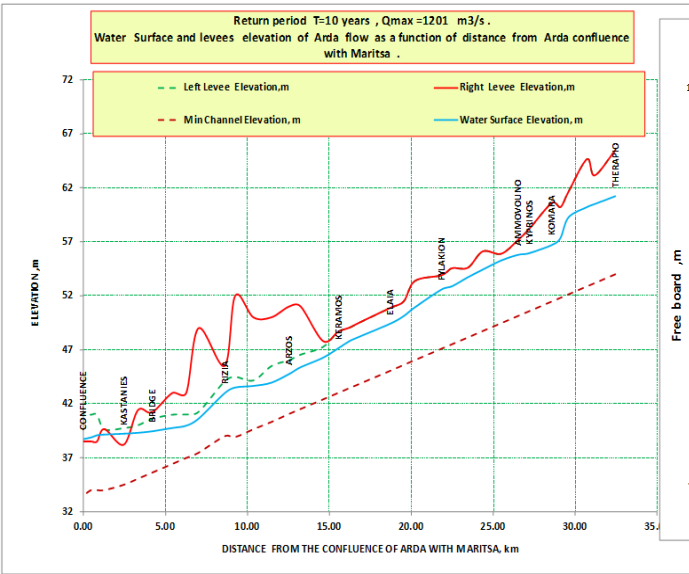
**Maximum depth (D<sub>max</sub>)**

- <1m
- 1m - 2m
- 2m - 4m
- 4m - 6m

**FLOOD AREAS DETAILS LEGEND**

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

# Με βάση την παροχή αιχμής στο Ελληνικό έδαφος εμφανίζεται πλήθος γραφημάτων εξέλιξης του πλημμυρικού υδρογραφήματος



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι δύο χώρες Ελλάδα και Βουλγαρία έχουν συνειδητοποιήσει τη σπουδαιότητα της συνεργασίας για την επίλυση του προβλήματος των πλημμυρών, που από τεχνική άποψη δεν είναι ούτε απλό, ούτε τετριμμένο.
- Έχει γίνει σημαντική επιστημονική ανάλυση και έρευνα και η παρούσα εργασία αποτελεί ένα μέρος της συνολικής αυτής συνεργατικής προσπάθειας
- Απομένει τώρα να προχωρήσουν περισσότερο αποφασιστικά στην εφαρμογή και στη χρήση όσων αναπτύχθηκαν σε ημερήσια βάση με πνεύμα ειλικρινούς συνεργασίας, αφήνοντας στο παρελθόν την καχυποψία και την μετάθεση ευθυνών.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

➤ Πιστεύουμε, πως ο καλύτερος τρόπος επίλυσης προβλημάτων διασυνοριακών λεκανών είναι:

➤ η εύρεση λύσεων και εναλλακτικών στρατηγικών σε τεχνικό επίπεδο από μικτές (κοινές) επιστημονικές ομάδες

➤ και στη συνέχεια με διαπραγματεύσεις σε διπλωματικό επίπεδο οι ενδιαφερόμενες χώρες θα επιλέξουν από κοινού τη βέλτιστη στρατηγική μοιραζόμενες από κοινού τα οφέλη αλλά και τα αναλογούντα κόστη.