

«Η οικολογική παροχή των ποταμών και η σημασία της ορθής εκτίμησής της», Κτήριο Κωστής Παλαμάς, Αθήνα 26/5/2014

Εκτίμηση και υλοποίηση περιορισμών οικολογικής παροχής σε μεγάλα Υ/Η έργα: Η περίπτωση του Αχελώου

**Αριστοτέλης Τέγος^{1,2}, Ανδρέας Ευστρατιάδης¹, Αναστάσιος Βαρβέρης²,
Νίκος Μαμάσης¹, Αντώνιος Κουκουβίνος¹ & Δημήτρης Κουτσογιάννης¹**

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο¹

ECOS Μελετητική Α.Ε²

Ιστορική αναδρομή

- Πρώτη αναφορά της έννοιας της οικολογικής ροής σε απόσπασμα από επιγραφή του 5ου αιώνα πΧ, που βρέθηκε στη Γόρτυνα και αναφέρεται στον ποταμό Ληθαίο (σημερινή ονομασία Μητροπολιάνος), ο οποίος διατρέχει της πεδιάδα της Μεσσαράς της Κρήτης (Mamassis & Koutsoyiannis, 2014):

«Θιοί· τὸ ποταμὸ αἶ κα κατὰ τὸ μέττον τὰν ῥοὰν
θιθῆι ῥῆν κατὰ το ρὸν αυτὸ, θιθεμένῳι ἄπατον
ἤμην. Τὰν δὲ ῥοὰν λείπεν ὄπτον κατέκει ἀ ἐπ’
ἀγορᾶι δέπυρα ἢ πλίον, μείον δὲ μῆ.»

(Θεοί. Αν κάποιος κατευθύνει τη ροή του ποταμού στην ιδιοκτησία του δεν τιμωρείται. Πρέπει όμως, να αφήσει τόση ροή ώστε να καλύπτει σε πλάτος τη γέφυρα της αγοράς ή περισσότερη, όχι όμως λιγότερη).



- Η προβληματική για την πολιτική εκροών κατάντη υδραυλικών έργων ξεκινάει το 18ο αιώνα, δίχως να έχει βεβαίως οριστεί η έννοια της περιβαλλοντικής παροχής, η οποία τυποποιείται το 1963 (U.K Water Resources Act) και το 1972 (U.S Clean Water Act).
- Την τελευταία εικοσαετία έχει αναδειχθεί ως ένα διεπιστημονικό αντικείμενο αιχμής της διαχείρισης των υδατικών πόρων (Acreman *et al.*, 2014).

Τοποθέτηση του προβλήματος

- Η υγεία και βιωσιμότητα των ποτάμιων οικοσυστημάτων εξαρτάται από το καθεστώς ροής, τα υδραυλικά (ταχύτητες ροής) και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κύριας κοίτης και της παρόχθιας ζώνης, την πραγματοποίηση απολήψεων, την ύπαρξη φυσικών ή τεχνητών φραγμών στη συνέχεια του ποταμού, κτλ.
- Η οικολογική παροχή εισάγει επιπλέον περιορισμούς στη λειτουργία των ταμιευτήρων:
 - είτε επειδή μειώνει το απολήψιμο δυναμικό τους, καθώς μέρος του αποθηκευμένου όγκου δεσμεύεται για περιβαλλοντική χρήση
 - είτε επειδή επιβάλλει διαφορετικό χρονοδιάγραμμα εκροών (π.χ. σε σχέση με τον προγραμματισμό της ενεργειακής παραγωγής σε Υ/Η ταμιευτήρες).
- Η υλοποίηση της οικολογικής παροχής περιλαμβάνει δύο στάδια:
 - την εκτίμηση των «θεωρητικών» αναγκών των οικοσυστημάτων που αναπτύσσονται κατά μήκος ποταμών και στις εκβολές τους, σε όρους ποσότητας, ποιότητας και χρονικής διαθεσιμότητας της ροής – συνήθως αναφέρεται ως *εκτίμηση περιβαλλοντικών παροχών* (environmental flow assessment, EFA).
 - την προσαρμογή της λειτουργίας των έργων, ώστε να ικανοποιούνται οι εν λόγω ανάγκες, υπό τους υφιστάμενους τεχνικούς περιορισμούς και χρήσεις νερού.

Η υλοποίηση των (θεωρητικών) περιβαλλοντικών αναγκών σε υφιστάμενα συστήματα Υ/Η ταμιευτήρων αποτελεί, κατά κύριο λόγο, πρόβλημα «μηχανικού»!

Μέθοδοι εκτίμησης οικολογικής παροχής

- Στη βιβλιογραφία αναφέρονται τέσσερις μεθοδολογικές προσεγγίσεις:
 - **Υδρολογικές μέθοδοι:** Χρησιμοποιούν υδρολογικά, και μόνο, δεδομένα (ήτοι χρονοσειρές παροχής, σε διάφορες χρονικές κλίμακες – κατά κανόνα ημερήσια δείγματα μήκους τουλάχιστον 20 ετών), με το σκεπτικό ότι η παροχή αποτελεί την ουσιώδη πληροφορία που επηρεάζει όλες τις ποτάμιες διεργασίες.
 - **Υδραυλικές μέθοδοι:** Χρησιμοποιούν υδραυλικά, μορφολογικά και γεωμετρικά μεγέθη που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα των ενδιαιτημάτων και, συνακόλουθα, τη βιωσιμότητα των αντίστοιχων οικοσυστημάτων.
 - **Μέθοδοι προσομοίωσης ενδιαιτημάτων:** Χρησιμοποιούν υδραυλικά, μορφολογικά και γεωμετρικά μεγέθη που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα των ενδιαιτημάτων και, συνακόλουθα, τη βιωσιμότητα των αντίστοιχων οικοσυστημάτων.
 - **Ολιστικές μέθοδοι:** Χρησιμοποιούν υδρολογικά, υδραυλικά και βιολογικά δεδομένα και μαθηματικά μοντέλα που αναπαριστούν λεπτομερώς τη συμπεριφορά επιλεγμένων ποτάμιων οργανισμών (συνήθως κάποιων ειδών ψαριών), για διάφορες συνθήκες ροής (π.χ. DRIFT, BBM).

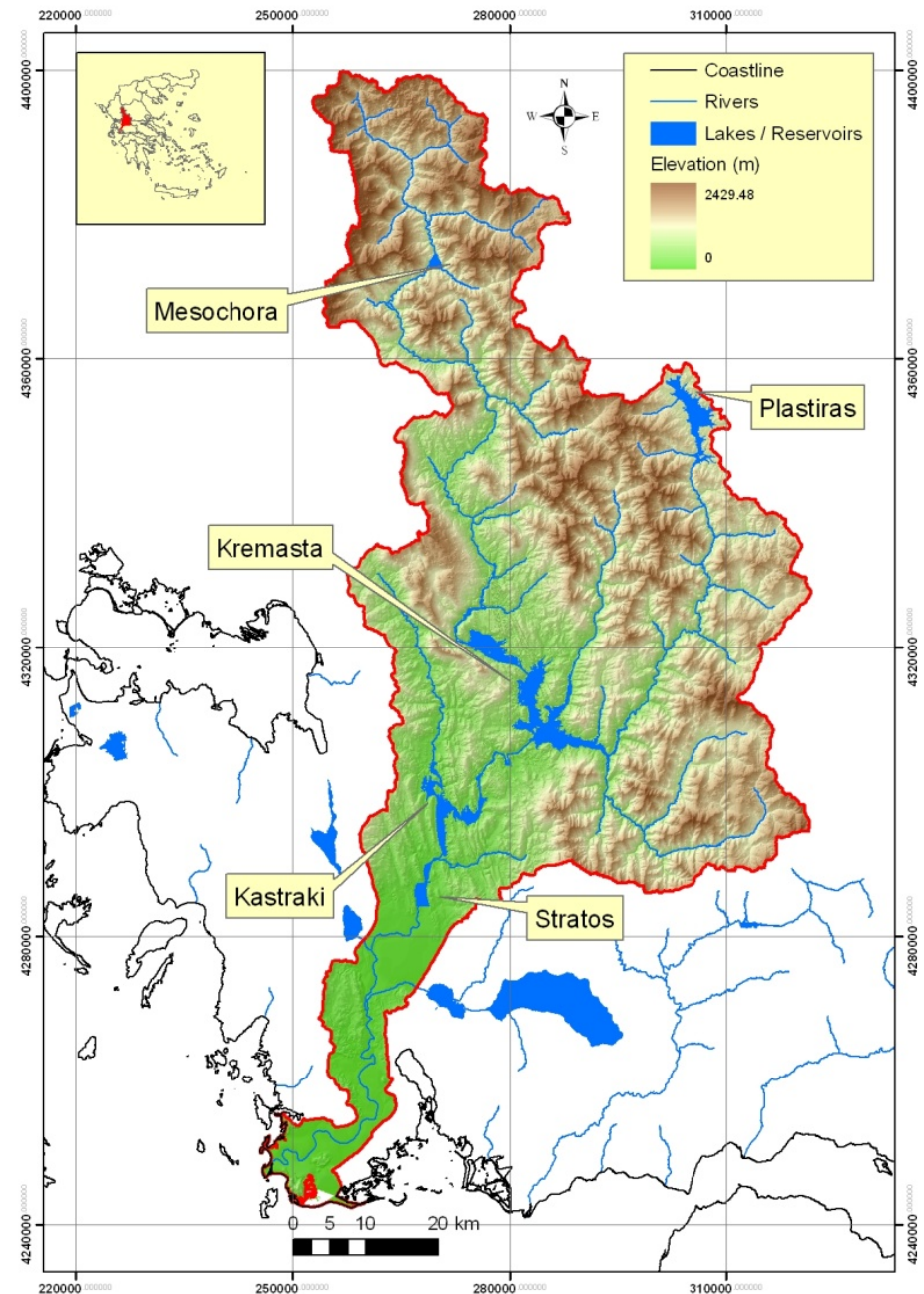
Βασική βιβλιογραφία: Tharme, 2003· Acreman & Dunbar, 2004· Petts, 2009
Special issue “Hydrological Science for Environmental Flows”, *Hydrological Sciences Journal* (Acreman *et al.*, 2014)

Ελληνική εμπειρία και ιδιαιτερότητες

- ❑ Η τεχνική, νομική και περιβαλλοντική έννοια της οικολογικής ροής δεν έχει τυποποιηθεί στη χώρα μας, εκτός από μία πρόβλεψη ενσωμάτωσης περιβαλλοντικών όρων λειτουργίας σε μικρά Υ/Η έργα.
- ❑ Σε υπό μελέτη έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων στη χώρα μας χρησιμοποιούνται οι απλούστερες υδρολογικές μέθοδοι, που συνήθως προτείνουν μια σταθερή και μόνιμη εκροή κατάντη των έργων ταμίευσης/αξιοποίησης.
- ❑ Μείζον πρόβλημα αποτελεί η έλλειψη δεδομένων, που καθιστά τις λοιπές μεθόδους της βιβλιογραφίας μη εφαρμόσιμες.
- ❑ Ακόμα και τα θεμελιώδη δεδομένα που απαιτούν οι υδρολογικές προσεγγίσεις, ήτοι δείγματα ημερήσιων παροχών ικανού μήκους, στις λίγες περιπτώσεις που είναι διαθέσιμα, είναι αμφίβολης αξιοπιστίας.
- ❑ Δεν υπάρχει ικανοποιητική εμπειρία (ακόμα και σε διεθνές επίπεδο) για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών παροχών σε ποτάμια διαλείπουσας ή εφήμερης ροής.
- ❑ Στα περισσότερα από τα υφιστάμενα φράγματα της Ελλάδας, η υλοποίηση περιορισμών περιβαλλοντικής ροής είναι αδύνατη, καθώς για κανένα φράγμα που κατασκευάστηκε προ του 1995 δεν προβλέφθηκαν κατάλληλες διατάξεις εκροής (στα έργα αυτά υπάρχει πλήρης διακοπή της ροής κατάντη).
- ❑ Μόνο σε Υ/Η έργα είναι δυνατή η εκ των υστέρων θέσπιση περιορισμών οικολογικής παροχής, μετά από προσαρμογή της υφιστάμενης πολιτικής λειτουργίας τους.

Το υδροσύστημα Αχελώου

- ❑ Ο ποταμός με τη μεγαλύτερη ετήσια παροχή της χώρας ($137 \text{ m}^3/\text{s}$).
- ❑ Περιλαμβάνει 4 ταμιευτήρες, με Υ/Η σταθμούς που διαθέτουν το 43% της εγκατεστημένης ισχύος της χώρας.
- ❑ Όλα τα έργα λειτουργούν ως πολλαπλού σκοπού (παραγωγή Υ/Η ενέργειας, ύδρευση, άρδευση, αντιπλημμυρική προστασία, οικότουρισμός).
- ❑ Έχουν ολοκληρωθεί (ή βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο) δύο ακόμη Υ/Η ταμιευτήρες (Μεσοχώρα, Συκία), και η σήραγγα μεταφοράς υδάτων στο ΥΔ Θεσσαλίας, για περιβαλλοντικές, ενεργειακές και αρδευτικές χρήσεις.
- ❑ Πρόκειται για το πρώτο υδροσύστημα που μελετήθηκε με συνδυαστικά υδρολογικά, περιβαλλοντικά και ενεργειακά κριτήρια (Κουτσογιάννης, 1996).



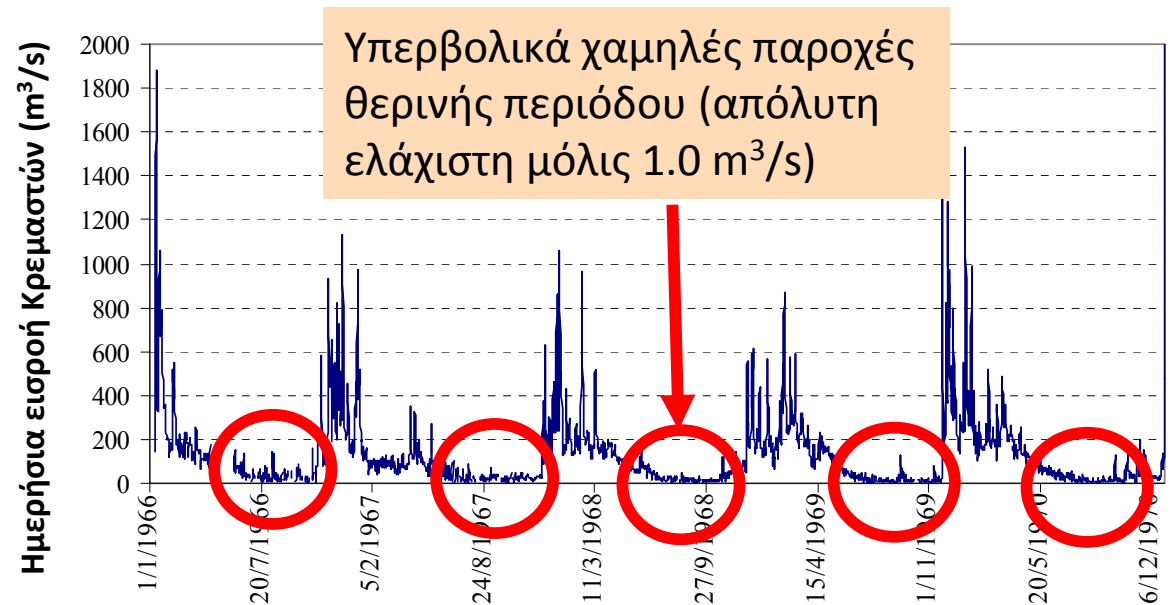
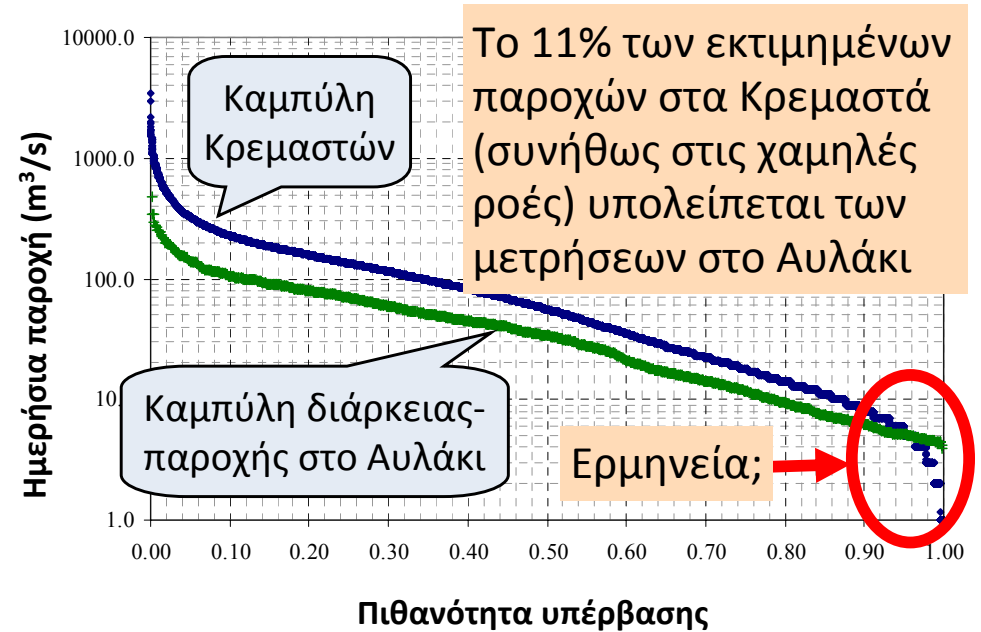
Περιβαλλοντική αξία υγροβιότοπου

- ❑ Ο υγροβιότοπος κατάντη του φράγματος Στράτου προστατεύεται από τη συνθήκη Ramsar.
- ❑ Σημαντικής οικολογικής αξίας παραποτάμια βλάστηση με δέντρα ύψους 15 m.
- ❑ Σύμφωνα με τη βάση δεδομένων για την Ελληνική Φύση ΦΙΛΟΤΗΣ, φιλοξενεί 41 είδη ψαριών, 259 είδη πτηνών, 20 είδη αμφιβίων
- ❑ Καταγράφεται μοναδικότητα ειδών, π.χ. το ψάρι (*Silurus Aristotelis*) και διάφορα είδη βίδρας.



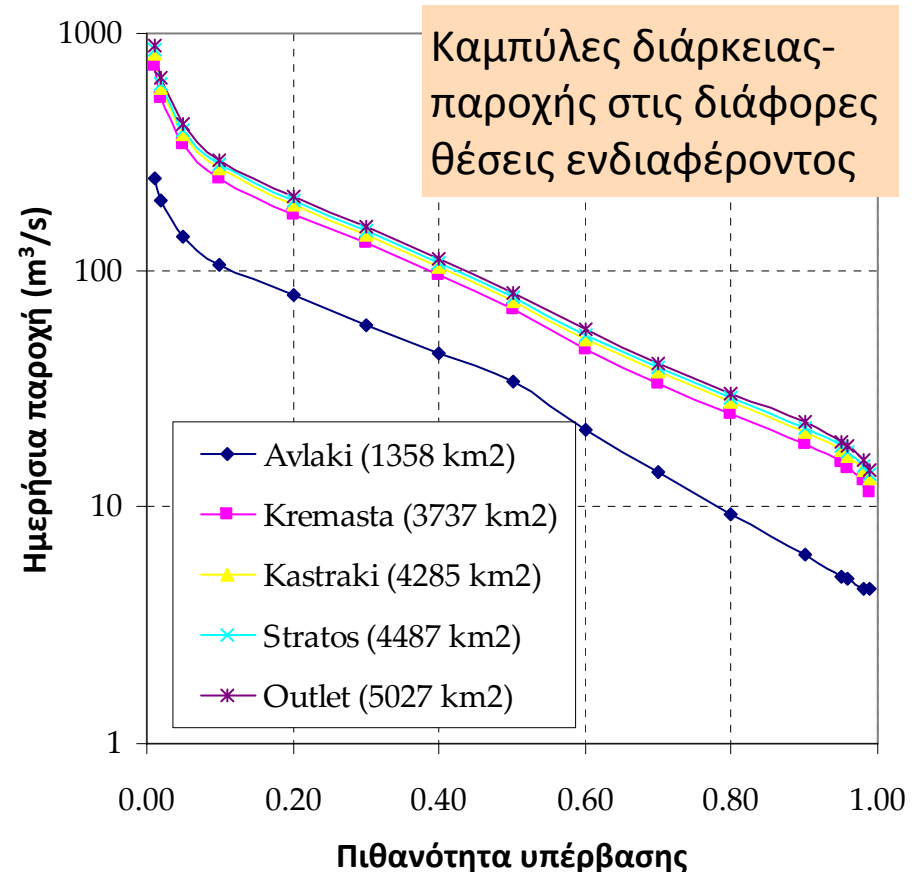
Εκτίμηση φυσικοποιημένων ημερήσιων παροχών (1)

- ❑ **Βασικό ζητούμενο:** χρονοσειρά ημερήσιων παροχών στις εκβολές του Αχελώου
- ❑ **Πρωτογενή δεδομένα:** συστηματικές (3-5 ανά μήνα) μετρήσεις παροχών στον άνω ρου (σταθμός Αυλάκι, 28% της λεκάνης), καθημερινές παρατηρήσεις εκροών και αποθεμάτων ταμιευτήρων (1966-2008)
- ❑ **Μεθοδολογία:** Εκτίμηση ημερήσιων φυσικοποιημένων παροχών στις θέσεις των τριών φραγμάτων και στις εκβολές (από ανάντη προς κατάντη).
- ❑ **Παρατήρηση:** Η εξίσωση ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου των ταμιευτήρων διέπεται από πολλαπλές αβεβαιότητες (στα Κρεμαστά προέκυψε έντονη υποεκτίμηση των χαμηλών ροών, ενώ στο Καστράκι και τον Στράτο τα αποτελέσματα ήταν εντελώς αναξιόπιστα).



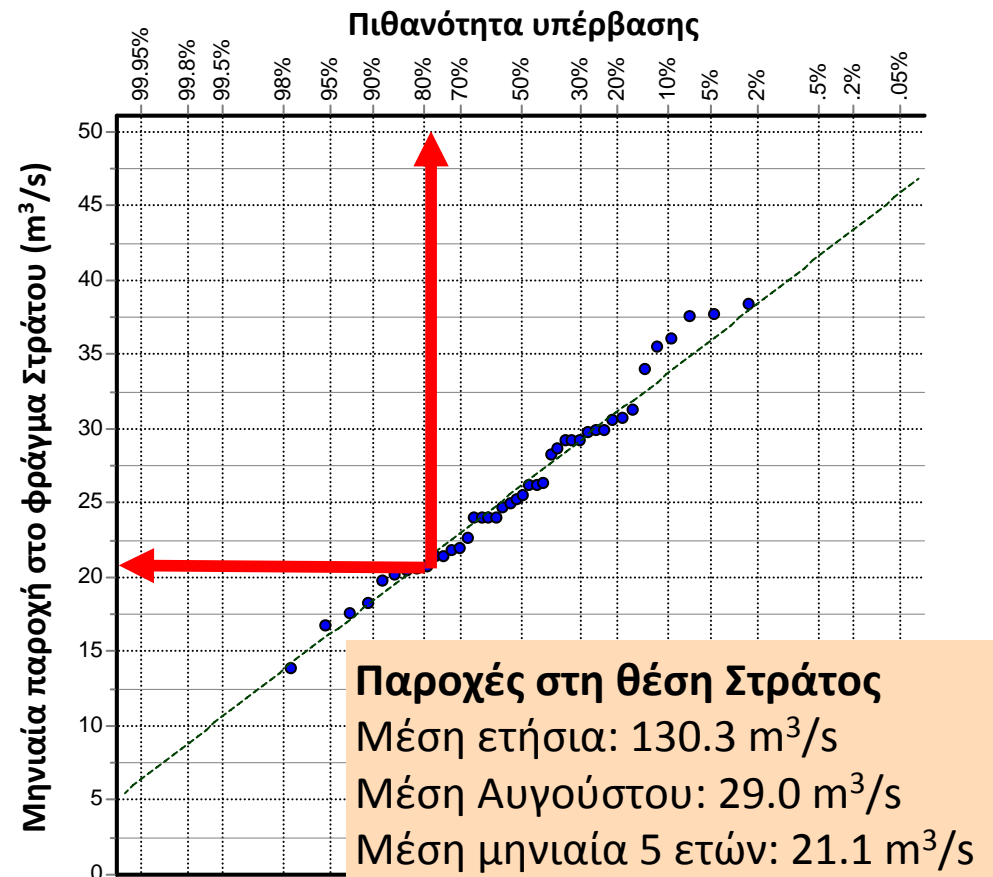
Εκτίμηση φυσικοποιημένων ημερήσιων παροχών (2)

- Η φυσική ασυνέπεια των παροχών στα **Κρεμαστά**, όπως εκτιμήθηκαν από την εξίσωση ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, οφείλεται στην παράλειψη των όρων επιφανειακής βροχόπτωσης, εξάτμισης και υπόγειων διαφυγών.
- Λαμβάνοντας υπόψη τις εν λόγω μεταβλητές, επαναπροσδιορίστηκε η χρονοσειρά των ημερήσιων παροχών, που κατά τη θερινή περίοδο αυξήθηκαν έως και $7.0 \text{ m}^3/\text{s}$, λόγω της προσθήκης του όρου εξάτμισης, και κατά άλλα $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$, λόγω των διαφυγών.
- Στο **Καστράκι** η εφαρμογή της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου ήταν σχετικά αξιόπιστη μόνο στη μηνιαία κλίμακα, και με βάση αυτή εκτιμήθηκε η απορροή της ενδιάμεσης (κατάντη Κρεμαστών) υπολεκάνης.
- Λόγω της πλήρους αναξιοπιστίας των δεδομένων ισοζυγίου στον Στράτο, και της εν γένει απουσίας υδρομετρικών δεδομένων στον κάτω ρου, η εκτίμηση των ημερήσιων φυσικοποιημένων παροχών στη θέση του φράγματος **Στράτου** και στις **εκβολές** έγινε με την εφαρμογή εμπειρικών σχέσεων, συναρτήσεως της έκτασης των αντίστοιχων υπολεκανών και της ετήσιας βροχόπτωσης.



Μεθοδολογία 1: Στατιστική ανάλυση χρονοσειράς ελάχιστων μηνιαίων παροχών

- ❑ Με βάση τη χρονοσειρά μηνιαίων παροχών στον Στράτος και τις εκβολές εντοπίστηκε η ελάχιστη τιμή κάθε υδρολογικού έτους, που συνήθως εμφανίζεται τον Αύγουστο και σε λίγες περιπτώσεις τον Σεπτέμβριο (συνολικά 42 έτη).
- ❑ Στα δύο δείγματα ελάχιστων παροχών προσαρμόστηκε η κανονική κατανομή, και εκτιμήθηκε η **ελάχιστη παροχή πενταετίας** (παροχή με πιθανότητα υπέρβασης 80%).
- ❑ Η ελάχιστη παροχή πενταετίας κατόντη του φράγματος Στράτου εκτιμάται σε **21.1 m³/s** (οι τιμές στις εκβολές προσαυξάνονται κατά 5%).
- ❑ **Σημείωση:** Ακριβώς η ίδια προσέγγιση εφαρμόστηκε στη ΜΠΕ του 1995, καταλήγοντας σε παρεμφερή αποτελέσματα (21.3 m³/s), παρά τη χρήση αρκετά μικρότερου δείγματος μηνιαίων παροχών.
- ❑ **Παρατήρηση:** Η προσέγγιση αυτή είναι αρκετά συντηρητική – η περιβαλλοντική παροχή που προκύπτει αντιστοιχεί στο 16.2% της μέσης ετήσιας τιμής στο Στράτο (130.3 m³/s).



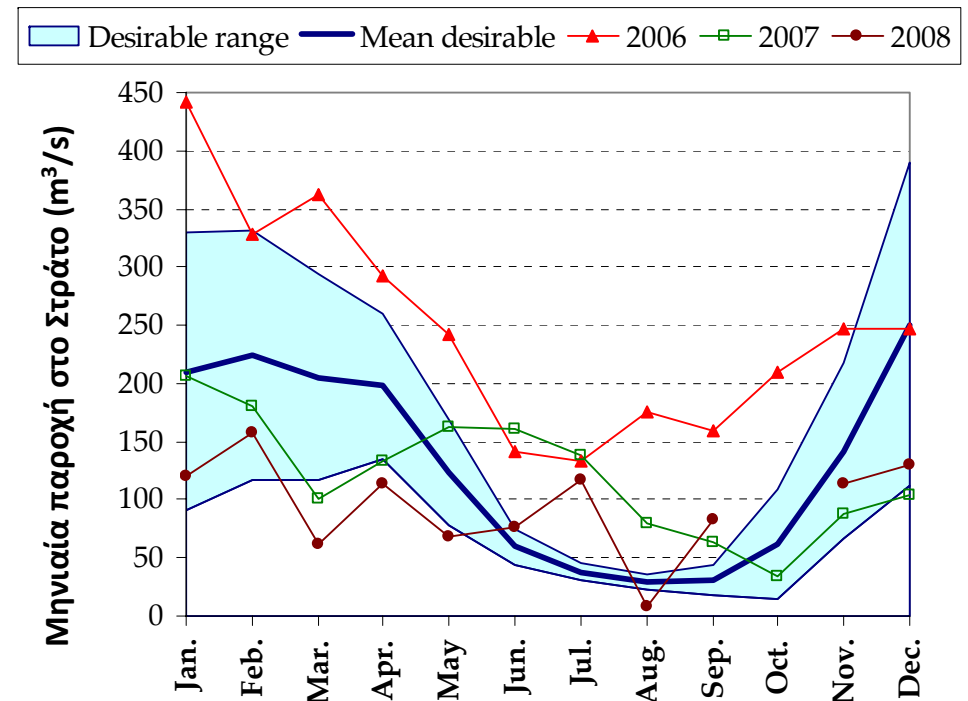
Μεθοδολογία 2: Απλοποιημένες υδρολογικές μέθοδοι

- Στον πίνακα συνοψίζονται τα αποτελέσματα απλοποιημένων υδρολογικών μεθόδων, με βάση την πρακτική διαφόρων χωρών, που εκτιμούν την ελάχιστη περιβαλλοντική ροή είτε ως **ποσοστό της μέσης ετήσιας παροχής** (mean annual flow, MAF) είτε ως χαρακτηριστικό **ποσοστημόριο Q_a της καμπύλης διάρκειας - παροχής**.
- Η ελάχιστη τιμή της οικολογικής παροχής ($3.4 \text{ m}^3/\text{s}$) βασίζεται στην πρόβλεψη του Γαλλικού Νόμου Αλίευσης (1984), που προβλέπει ότι για υφιστάμενα έργα η παροχή πρέπει να είναι τουλάχιστον το $1/40$ της MAF, και για νέα έργα το $1/10$ της MAF.
- Στο Ηνωμένο Βασίλειο εφαρμόζεται το ποσοστημόριο Q_{95} (παροχή πιθανότητας υπέρβασης 95%, Acreman *et al.*, 2008), ενώ σε άλλες χώρες υιοθετούν λιγότερο αυστηρές τιμές (ακόμα και την Q_{364}).
- Στις Μεσογειακές χώρες (Ιταλία, Ισπανία, Πορτογαλία) εφαρμόζονται τα όρια 2.5, 5.0 και 10% της MAF.
- Στην Αυστρία, Γερμανία και τον Καναδά, όπου επικρατεί πολύ διαφορετικό υδροκλιματικό καθεστώς, εμφανίζονται μη ρεαλιστικές (υψηλές) τιμές παροχών.
- Η υπόθεση σταθερής οικολογικής παροχής αποτυγχάνει να προσεγγίσει τα χαρακτηριστικά των φυσικών συνθηκών.

Χώρα	Παροχή (m^3/sec)
Ισπανία	13.7-27.5
Ιταλία	13.7
Ιρλανδία	1.4-13.7
Ηνωμένο Βασίλειο	18.9
Αυστρία	28.8
Γερμανία	41.2-82.4
Καναδάς	34.4
Γαλλία	3.4 (Υφιστάμενα έργα) 13.7 (Νέα έργα)
Πορτογαλία	3.4-6.9

Μεθοδολογία 3: Range of Variability Approach (RVA)

- Η μέθοδος προσδιορίζει χρονικά μεταβαλλόμενους στόχους οικολογικής ροής, με βάση ένα ολοκληρωμένο στατιστικό χαρακτηρισμό των οικολογικά σημαντικών χαρακτηριστικών καθεστώτων ροής (Richter *et al.*, 1996).
- Ανήκει στην κατηγορία των προχωρημένων υδρολογικών μεθόδων, καθώς συνδέει άμεσα την ροή με οικολογικούς και περιβαλλοντικούς δείκτες.
- Απαιτεί δεδομένα ημερήσιων παροχών, μήκους τουλάχιστον 20 ετών.
- Η δίαιτα της απορροής χαρακτηρίζεται από 32 οικολογικούς-στατιστικούς δείκτες (μέση μηνιαία παροχή, ακραίες τιμές, κλπ.), για τους οποίους προσδιορίζονται (με το λογισμικό IHA/RVA) οι τιμές-στόχοι και το εύρος τους, σε όρους τυπικής απόκλισης.
- Η μεθοδολογία παρέχει ένα εύρος μηνιαίων τιμών παροχής, που είναι συνεπές με την φυσική διακύμανση της ροής (εποχικότητα).
- Είναι προφανές ότι η εφαρμογή του συγκεκριμένου πλαισίου εισάγει έντονη πολυπλοκότητα στη διαχείριση υφιστάμενων συστημάτων ταμιευτήρων καθώς έρχεται συχνά σε σύγκρουση με την υφιστάμενη πολιτική εκροών, βάσει των διαφόρων χρήσεων νερού.



Μεθοδολογία 4: Basic Maintenance Flow (BMF)

- Η μεθοδολογία αναπτύσσεται από το 1996 στην Ισπανία αρχικά στη λεκάνη του ποταμού Έβρο και στην συνέχεια σε άλλες περιοχές (Palau & Alcazar, 1996, 2012).
- Ανήκει στην κατηγορία των προχωρημένων υδρολογικών μεθόδων και αναπτύσσεται διαρκών μέχρι σήμερα (Alcazar *et al.*, 2008).
- Η μεθοδολογία βασίζεται σε δύο βασικές αρχές:
 - Τα ενδιαυτήματα προσαρμόζονται στις υδρολογικές αλλαγές
 - Η βασική παροχή αποτελεί το ελάχιστο όριο για την επιβίωσή τους.
- Το μοντέλο χρησιμοποιώντας έναν κυλιόμενο μέσο όρο 100-ημερών εξαγει το μέγεθος και τη διάρκεια των χαμηλών ροών.
- Τελικός στόχος είναι ο μηνιαίος υπολογισμός της απαιτούμενης- βασικής ροής που υπολογίζεται με τον πολλαπλασιασμό της βασικής ροής με μηνιαίο συντελεστή που αντιπροσωπεύει την εποχική διακύμανση.
- Εκτός της οικολογικής παροχής, για ευαίσθητα οικοσυστήματα προτείνονται δύο ακόμη κρίσιμες ροές, ήτοι:
 - η ροή πλήρωσης (bankfull flow), που αντιπροσωπεύει την κυρίαρχη παροχή σε συνθήκες δυναμικής ισορροπίας, και εκτιμάται ως η πλημμυρική παροχή περιόδου επαναφοράς $T = 1.58-2.33$ ετών, και
 - η μέγιστη ροή (maximum flow), που εκτιμάται ως η πλημμυρική παροχή 25 ετών. Η πολιτική αυτή συμβάλλει στην έκπλυση των φερτών και την αναζωογόνηση και ανάταξη του οικοσυστήματος.

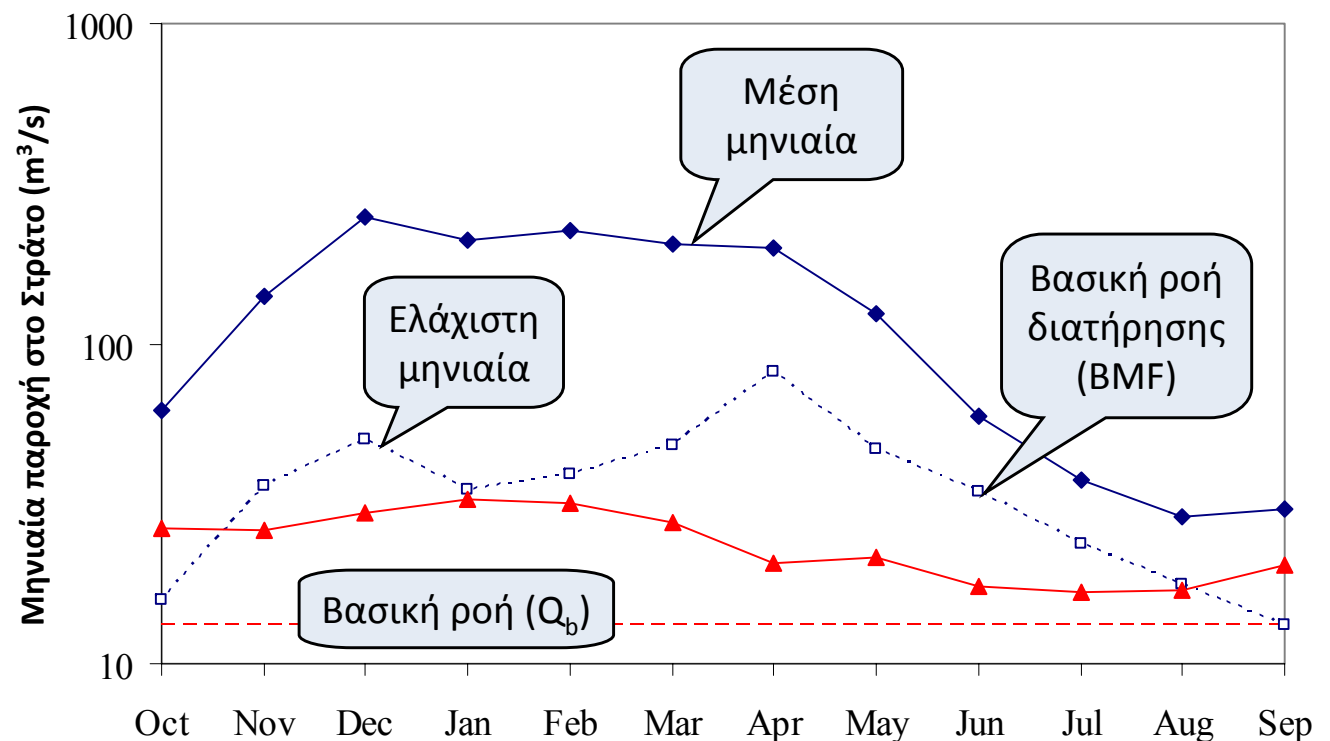
Αποτελέσματα μοντέλου BMF

- Λόγω της κλιματικής «συγγένειας» Ισπανίας και Ελλάδας καθώς της φειδωλής περιγραφής της, η μέθοδος είναι προτιμητέα στην περίπτωση του Αχελώου.
- Η ελάχιστη απαιτούμενη μόνιμη παροχή στις εκβολές υπολογίστηκε σε $Q_b = 14.1 \text{ m}^3/\text{s}$, μέσω της οποίας εκτιμήθηκε η **βασική ροή διατήρησης**, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\text{BMF}_j = Q_b (Q_{\text{mean},j} / Q_{\text{min},j})^{0.50}$$

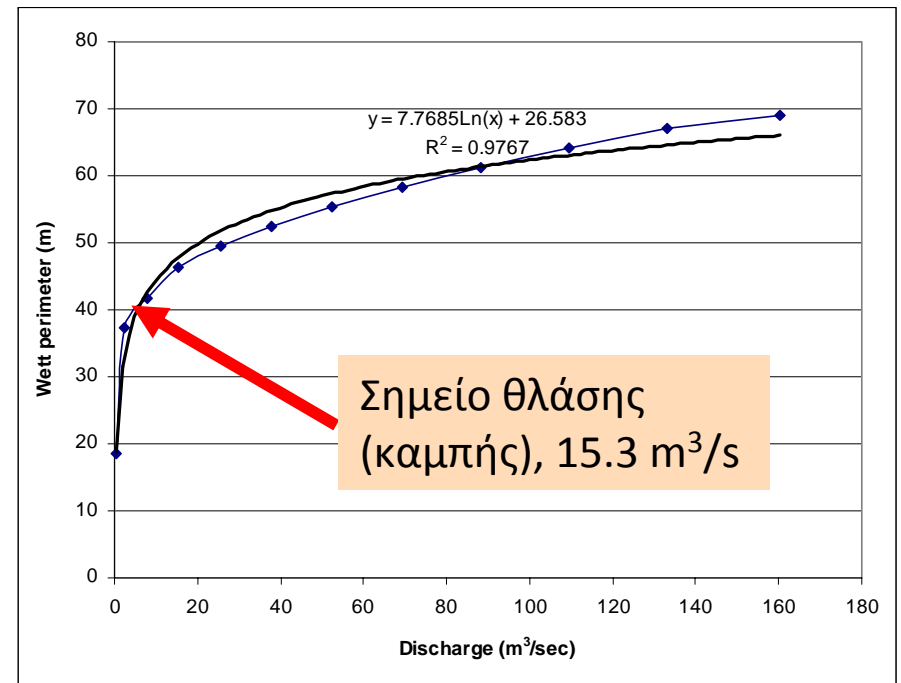
- Η μηνιαία απαιτούμενη παροχή κυμαίνεται από 17.8 (Ιούλιος) έως 34.7 m^3/s (Ιανουάριος), προσαρμοσμένη στην εποχική διακύμανση των φυσικών απορροών.

- Όσον αφορά στον **τεχνητό πλημμυρισμό** κατάντη του φράγματος Στράτου, αντί των τυπικών τιμών της μεθόδου BMF, προτάθηκαν η εκροή των μέγιστων ημερήσιων παροχών περιόδου επαναφοράς 2 και 5 ετών (1400 και 2000 m^3/s), μία φορά το χρόνο και ανά πέντε έτη, αντίστοιχα.



Μεθοδολογία 5: Υδραυλικές προσεγγίσεις

- Με εφαρμογή της σχέσης Manning, κατασκευάζεται η καμπύλη υγρής περιμέτρου-παροχής και υπολογίζεται το σημείο θλάσης της, που ορίζει την κρίσιμη παροχή (Giripel & Stewardson, 1998).
- Επιλέχθηκαν πέντε διατομές κατάντη του φράγματος Στράτου (τριγωνικές, τραπεζοειδής), και προέκυψαν παροχές από 13.1 έως 20.4 m³/s (αντίστοιχες τιμές με τις μεθόδους BFM και RVA).
- Συνεπώς, με ένα στοιχειώδες υδραυλικό μοντέλο που δεν απαιτεί δεδομένα παροχών, «επαληθεύονται» οι εκτιμήσεις των υδρολογικών προσεγγίσεων.



Ερώτημα: Μήπως η μείωση των πλημμυρικών κατακλύσεων, λόγω της λειτουργίας των φραγμάτων της ΔΕΗ, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη γεωργικών δραστηριοτήτων στην ευρύτερη κοίτη, έχουν τροποποιήσει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της;

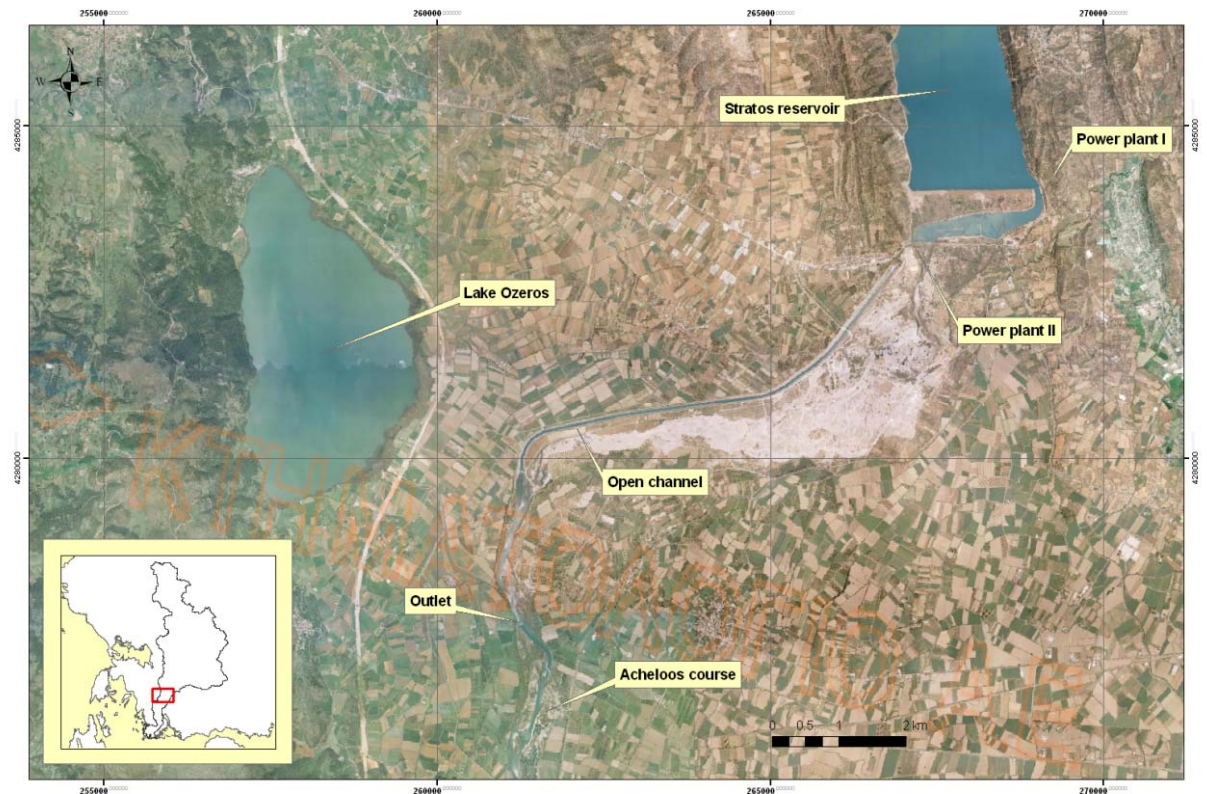
Σύνοψη αποτελεσμάτων διαφόρων μεθόδων

Μέθοδος	Στράτος	Εκβολές	Παρατηρήσεις
Ελάχιστη μηνιαία παροχή 5ετίας	–	21.3	Θεσμοθετημένη οικολογική ροή κατάντη φράγματος Στράτου (ΜΠΕ, 1995)
Επικαιροποιημένη παροχή 5ετίας	21.1	22.2	Στατιστική ανάλυση ελάχιστων μηνιαίων παροχών (1965-2008)
Μέθοδος Tennant (10-30% MAF, για ξηρούς και υγρούς μήνες)	13.0 – 39.1	13.7 – 41.1	Θεωρούνται φτωχές συνθήκες (ισχυρά τροποποιημένο σύστημα)
Γαλλική νομοθεσία (2.5% MAF)	3.3	3.5	Λαμβάνεται το όριο για υφιστάμενα έργα
Βρετανικά πρότυπα (Q_{95})	18.0	18.9	Εκτίμηση με βάση τις εμπειρικές καμπύλες διάρκειας-παροχής, σε ημερήσια κλίμακα
Q_{90}	21.8	22.9	
Q_{364}	11.3	11.9	
BFM, βασική ροή (Q_b)	13.3	14.0	Στατιστική ανάλυση δειγμάτων, για χρονικές κλίμακες από ημερήσια ως κινούμενο μέσος 100 ημερών
BFM, εποχιακά μεταβαλλόμενη	16.8 – 32.5	17.6 – 34.1	
RVA, 25% ποσοστημόριο	14.6 – 135.3	15.3 – 142.1	Βασικοί δείκτες που εκτιμώνται με το λογισμικό IHA/RVA 7.0
RVA, 75% ποσοστημόριο	35.3 – 390.1	37.1 – 409.6	
Υδραυλική προσέγγιση	13.1 – 20.4		Εκτίμηση σημείου καμπής σε 5 χαρακτηριστικές διατομές κατάντη Στράτου

Για αναλυτική τεκμηρίωση βλ. ECOS Μελετητική (2009) και Efstratiadis *et al.* (2014).

Επιχειρησιακή υλοποίηση περιβαλλοντικής παροχής

- Τη θερινή περίοδο, το Υ/Η έργο Στράτου λειτουργεί τις **ώρες αιχμής** της ενεργειακής ζήτησης, ήτοι 2 ώρες το πρωί και 2.5 ώρες το απόγευμα, επιτυγχάνοντας έτσι τη μέγιστη απόδοση των στροβίλων.
- Με τον παραπάνω προγραμματισμό, ικανοποιούνται τόσο η ημερήσια αρδευτική ζήτηση (4 100 000 m³) όσο και οι ημερήσιες περιβαλλοντικές ανάγκες (1 840 000 m³).
- Ωστόσο, η μη συνεχής λειτουργία των στροβίλων έρχεται σε σύγκρουση με την απαίτηση της υφιστάμενης ΜΠΕ, ήτοι την εξασφάλιση **σταθερής παροχής** 21.3 m³/s στις εκβολές του Αχελώου.
- Η υλοποίηση σταθερής ροής επιβάλλει τη χρήση κάποιας αναρρυθμιστικής διάταξης κατάντη του φράγματος.
- Εξετάστηκαν διάφορες λύσεις (π.χ. αποθήκευση στην κοντινή λίμνη Οζερός), και τελικά προτιμήθηκε η χρήση του καναλιού κατάντη του ΥΗΣ Στράτος I ως αναρρυθμιστή, με κατάλληλη ρύθμιση των θυροφραγμάτων του.



Σύνοψη – Συμπεράσματα (1)

- Για το κύριο υδρογραφικό δίκτυο της χώρας απαιτείται η ανάπτυξη και η μόνιμη συντήρηση ενός ολοκληρωμένου και σύγχρονου μετρητικού δικτύου ποσοτικών, ποιοτικών και οικολογικών παραμέτρων.
- Η ανάπτυξη, εφαρμογή και τυποποίηση μεθοδολογιών υπολογισμού της περιβαλλοντικής ροής απαιτεί ολοκληρωμένη μελέτη των διεθνών εφαρμογών, σημαντικό υπόβαθρο πρωτογενών πληροφοριών και ανάπτυξη νέων μεθόδων συμβατών με τα υδρολογικά, περιβαλλοντικά και κριτήρια χρήσεων νερού.
- Η υιοθέτηση και εφαρμογή πολιτικής οικολογικών ροών στη χώρα μας απαιτεί μια συστηματική διεπιστημονική συνεργασία απαλλαγμένη από ιδεοληπτικούς αφορισμούς και εμμονές.
- Οι τελικές τυποποιημένες τεχνικές προδιαγραφές μελέτης και εφαρμογής της έννοιας της περιβαλλοντικής παροχής πρέπει να αποτελούν ένα στρατηγικό και εφαρμοστικό πλαίσιο αναφοράς στη μελέτη και λειτουργία των υδραυλικών έργων και να αποφευχθεί ένα γενικό θεωρητικό σχήμα (προχωρημένο οικολογικό) που δεν θα έχει καμία τύχη εφαρμογής και αναβάθμισης.
- Σε ιδιαιτέρως τροποποιημένα υδροσυστήματα όπως του Αχελώου απαιτείται η ολοκληρωμένη προσομοίωση των φυσικών και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (παραγωγή Υ/Η) για το συμβιβασμό συχνά αντικρουόμενων στόχων (υδροηλεκτρική παραγωγή, ύδρευση, άρδευση και περιβαλλοντική ροή).

Σύνοψη – Συμπεράσματα (2)

- ❑ Τα απλοποιημένα υδρολογικά μοντέλα, που υποθέτουν τη διατήρηση μιας μόνιμης ελάχιστης οικολογικής ροής, δεν συμβαδίζουν με το υδροκλιματικό καθεστώς των Μεσογειακών περιοχών, όπου παρατηρείται σημαντική εποχική μεταβλητότητα των παροχών.
- ❑ Η μέθοδος RVA, αν και προσομοιώνει με μεγάλη ακρίβεια της υδρολογική δίαιτα του Αχελώου, είναι δύσκολα εφαρμόσιμη στο υφιστάμενο σύστημα ταμιευτήρων.
- ❑ Η μεθοδολογία BFM είναι φειδωλή σε δεδομένα, είναι συνεπής με το εποχιακό καθεστώς των Μεσογειακών ποταμών, και είναι σχετικά εύκολα προσαρμόσιμη στη λειτουργία υφισταμένων Υ/Η έργων.
- ❑ Οι υδραυλικές μέθοδοι δίνουν ικανοποιητικά προκαταρκτικά αποτελέσματα χωρίς να απαιτούν καθόλου υδρολογικά δεδομένα, υπό την αίρεση ότι σε έντονα τροποποιημένα υδάτινα σώματα, όπως του Αχελώου, που έχουν τροποποιηθεί έντονα τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, ενδεχομένως να οδηγήσουν σε παραπλανητικές εκτιμήσεις.
- ❑ Σημαντικά συνιστώσα μιας ορθολογικής περιβαλλοντικής πολιτικής είναι η περιοδική απελευθέρωση σημαντικών παροχών, που προσομοιάζουν πραγματικές συνθήκες πλημμύρας, ικανής περιόδου επαναφοράς.
- ❑ Για την υλοποίηση των οικολογικών παροχών σε συστήματα μεγάλων Υ/Η ταμιευτήρων, ενδεχομένως να απαιτείται η κατασκευή επιπρόσθετων έργων, ώστε να μην επηρεάζεται σημαντικά η υφιστάμενη λειτουργικότητά τους.

Βιβλιογραφία

- ❑ Acreman M. and M. J. Dunbar, Defining environmental river flow requirements – a review, *Hydrology and Earth System Sciences*, 8, 861-874, 2004.
 - ❑ Acreman, M., M. J. Dunbar, J. Hannaford, O. Mountford, P. Wood, N. Holmes, I. Cowx, R. Noble, C. Extence, J. Aldrick, J. King, A. Black, and D. Crookall, Developing environmental standards for abstractions from UK rivers to implement the EU Water Framework Directive, *Hydrological Sciences Journal*, 53(6), 1105-1120, 2008.
 - ❑ Acreman, M. C., I. C. Overton, J. King, P. Wood, I. G. Cowx, M. J. Dunbar, E. Kendy, and W. Young, The changing role of ecohydrological science in guiding environmental flows, *Hydrological Sciences Journal*, 59(3–4), 1–18, 2014
 - ❑ Alcazar, J., A. Palau, and C. Vega-Garcia, A neural net model for environmental flow estimation at the Ebro River Basin, Spain, *Journal of Hydrology*, 349(1-2), 44-55, 2008.
 - ❑ Efstratiadis, A., A. Tegos, A. Varveris, and D. Koutsoyiannis, Assessment of environmental flows under limited data availability – Case study of Acheloos River, Greece, *Hydrological Sciences Journal*, 59 (3-4), 2014,
 - ❑ Gippel, C.J. and Stewardson, M.J., Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows, *Regulated Rivers: Research and Management*, 14, 53-67, 1998.
 - ❑ Hughes, D. A., and V. Smakhtin, Daily flow time series patching or extension: a spatial interpolation approach based on flow duration curves, *Hydrological Sciences Journal*, 41(6), 851-871, 1996.
 - ❑ Mamassis, N., and D. Koutsoyiannis, Views on ancient Hellenic science and technology, *IWA Regional Symposium on Water, Wastewater & Environment: Traditions & Culture*, Patras, Greece, International Water Association, 2014.
 - ❑ Palau A., and J. Alcazar, The basic flow: an alternative approach to calculate minimum environmental instream flows, *Ecohydraulics 2000: Proceedings of the 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics*, Leclerc M., H. Capra, S. Valentin, A. Boudreault, and Y. Côté (eds), INRS-Eau, Québec, Canada, 1996.
 - ❑ Palau, A. and Alcázar, J., The Basic Flow method for incorporating flow variability in environmental flows, *River Research and Applications*, 28, 93–102, 2012.
 - ❑ Richter, B. D., J. V. Baumgartner, J. Powell, and D. P. Braun, A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems, *Conservation Biology*, 10, 1163-1174, 1996.
 - ❑ Tharme R. E., A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers, *River Research & Applications*, 19(5-6), 397-441, 2003.
-

Τεχνικές μελέτες

- ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO, *Συνολική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εκτροπής Αχελώου*, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, 1995.
- Κουτσογιάννης, Δ., *Μελέτη λειτουργίας ταμιευτήρων, Γενική διάταξη έργων εκτροπής Αχελώου προς Θεσσαλία*, Ανάδοχος: Ειδική Υπηρεσία Δημοσίων Έργων Αχελώου – Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων – Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Συνεργαζόμενοι: Γ. Καλαούζης, Π. Μαρίνος, Δ. Κουτσογιάννης, 1996.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ν. Μαμάσης, και Α. Ευστρατιάδης, *Απαιτούμενα έργα για την εξασφάλιση της θεσμοθετημένης οικολογικής παροχής, Ειδική Τεχνική Μελέτη για την Οικολογική Παροχή από το Φράγμα Στράτου*, Εργοδότης: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Ανάδοχος: ECOS Μελετητική Α.Ε., Αθήνα, Μάιος 2009.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ν. Μαμάσης, και Α. Ευστρατιάδης, *Διερεύνηση οικολογικής παροχής, Ειδική Τεχνική Μελέτη για την Οικολογική Παροχή από το Φράγμα Στράτου*, Εργοδότης: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Ανάδοχος: ECOS Μελετητική Α.Ε., Αθήνα, Μάιος 2009.

Η παρουσίαση είναι διαθέσιμη στη διεύθυνση:

<http://itia.ntua.gr/el/docinfo/1455/>
