



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ανάπτυξη μοντέλου συνδυασμένης διαχείρισης λεκανών απορροής Αχελώου και Πηνειού

Διονύσης Νικολόπουλος

Επιβλέπων: Δ. Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

Συνεπιβλέπων: Α. Ευστρατιάδης, ΕΔΙΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2015

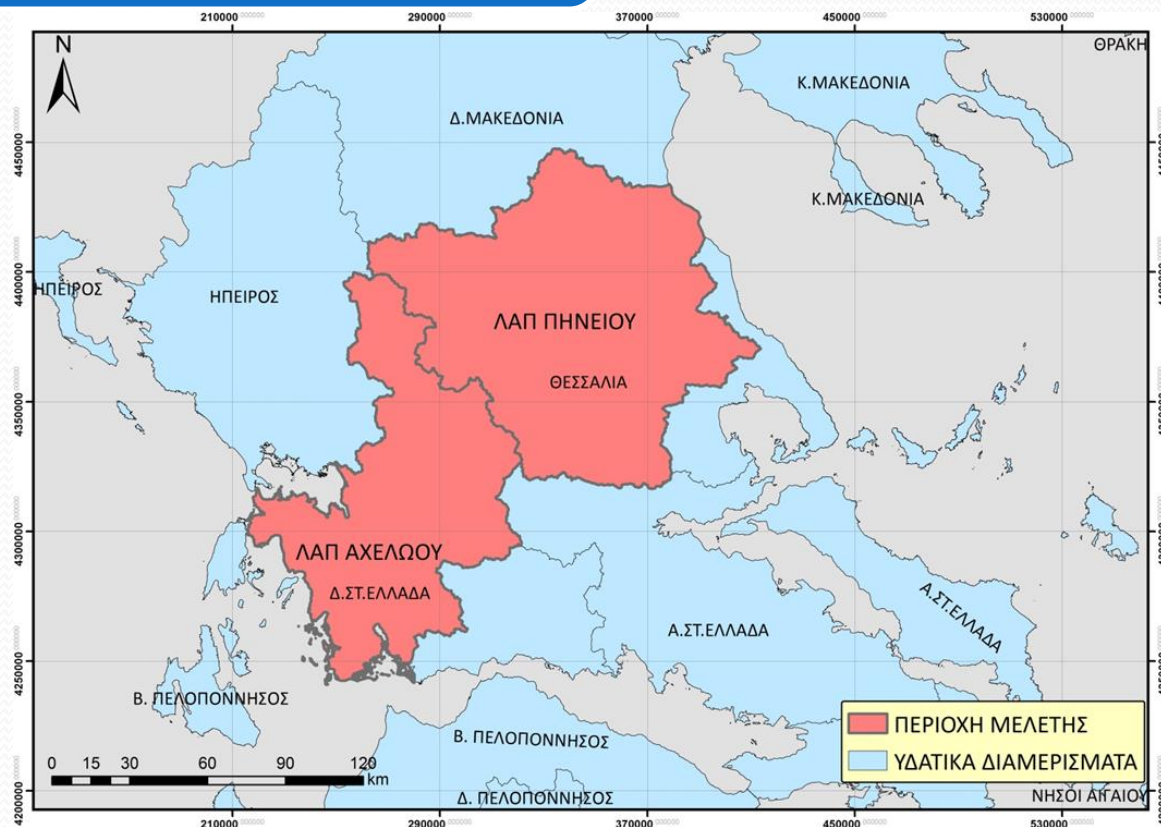
Αντικείμενο της εργασίας

Διερεύνηση προοπτικών βέλτιστης συν-διαχείρισης
ΛΑΠ Αχελώου – Πηνειού, μέσω προσομοίωσης

Αντικείμενο της εργασίας

Διερεύνηση προοπτικών βέλτιστης συν-διαχείρισης
ΛΑΠ Αχελώου – Πηνειού, μέσω προσομοίωσης

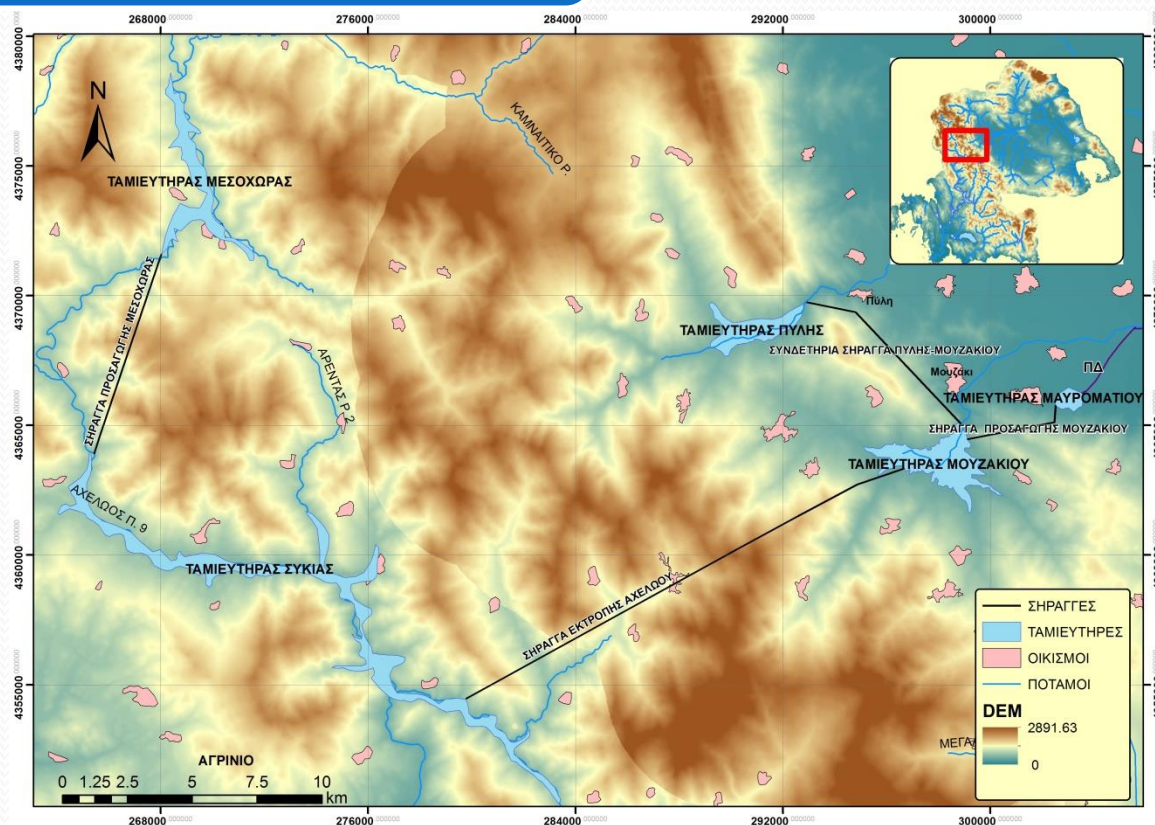
- ❑ Μεγαλύτερο υδrosύστημα που έχει μελετηθεί (17%)



Αντικείμενο της εργασίας

Διερεύνηση προοπτικών βέλτιστης συν-διαχείρισης
ΛΑΠ Αχελώου – Πηνειού, μέσω προσομοίωσης

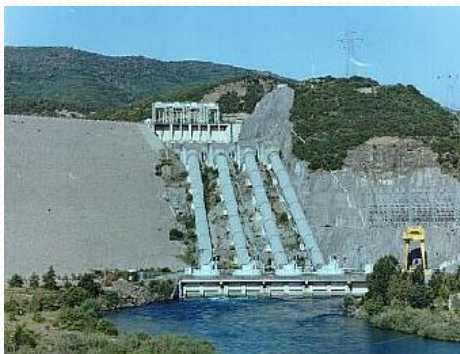
- ❑ Μεγαλύτερο υδrosύστημα που έχει μελετηθεί (17%)
- ❑ Διασύνδεση μέσω έργων εκτροπής (γενική διάταξη έργων ΜΠΕ 1995)



Αντικείμενο της εργασίας

Διερεύνηση προοπτικών βέλτιστης συν-διαχείρισης
ΛΑΠ Αχελώου – Πηνειού, μέσω προσομοίωσης

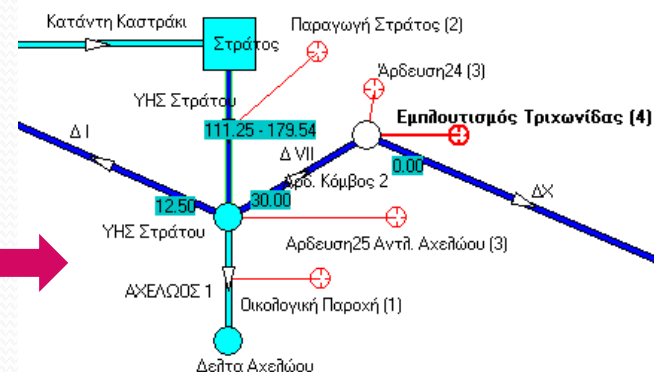
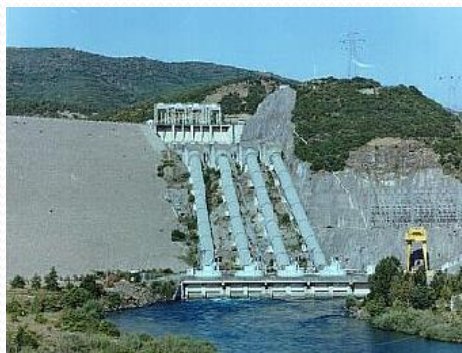
- ❑ Μεγαλύτερο υδrosύστημα που έχει μελετηθεί (17%)
- ❑ Διασύνδεση μέσω έργων εκτροπής (γενική διάταξη έργων ΜΠΕ 1995)
- ❑ Το σύστημα μελετάται ως προς την ενεργειακή, αρδευτική και περιβαλλοντική του διάσταση (πολυκριτηριακή ανάλυση)



Αντικείμενο της εργασίας

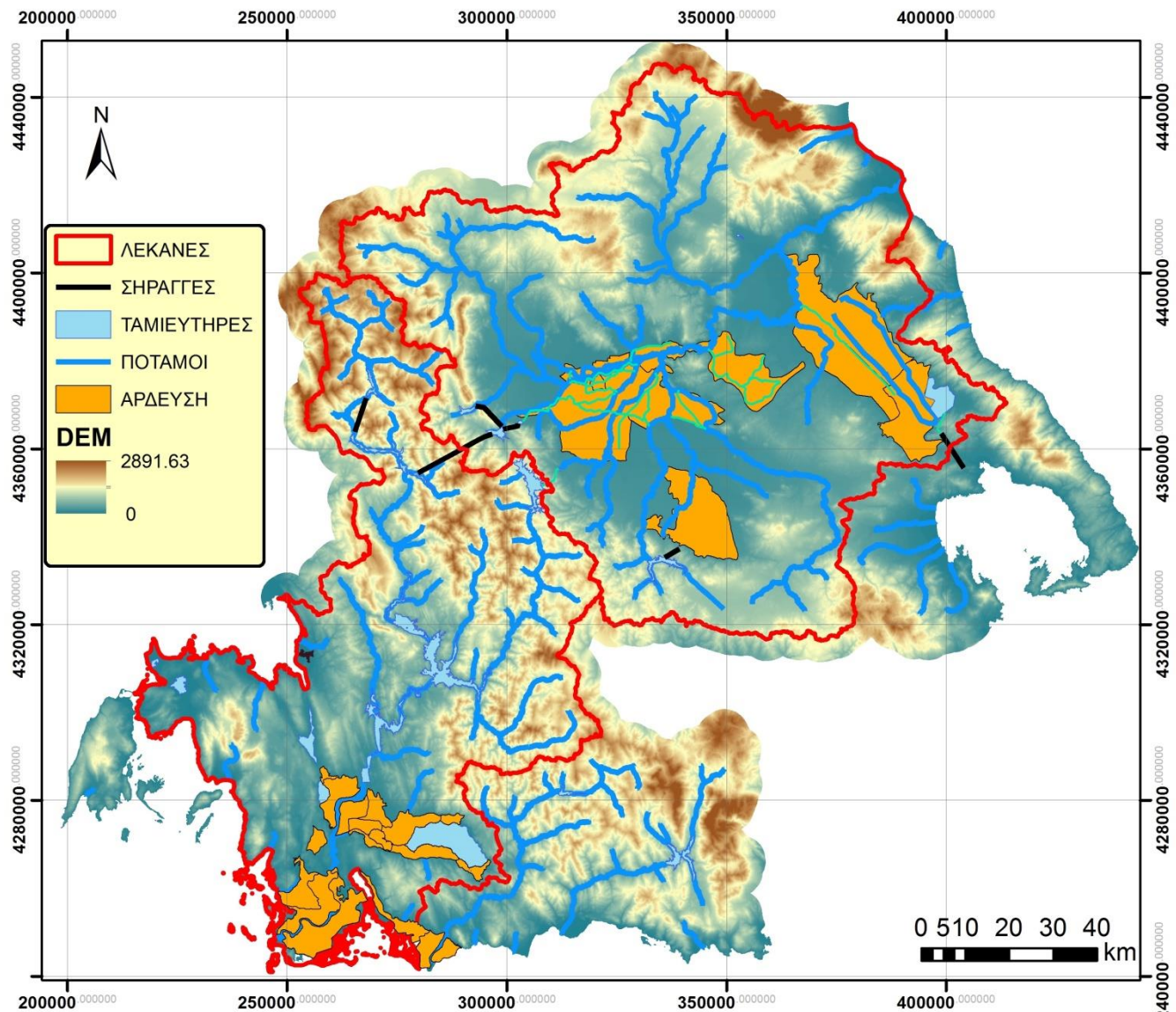
Διερεύνηση προοπτικών βέλτιστης συν-διαχείρισης
ΛΑΠ Αχελώου – Πηνειού, μέσω προσομοίωσης

- ❑ Μεγαλύτερο υδrosύστημα που έχει μελετηθεί (17%)
- ❑ Διασύνδεση μέσω έργων εκτροπής (γενική διάταξη έργων ΜΠΕ 1995)
- ❑ Το σύστημα μελετάται ως προς την ενεργειακή, αρδευτική και περιβαλλοντική του διάσταση (πολυκριτηριακή ανάλυση)
- ❑ Κατάστρωση μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης (Υδρονομέας)

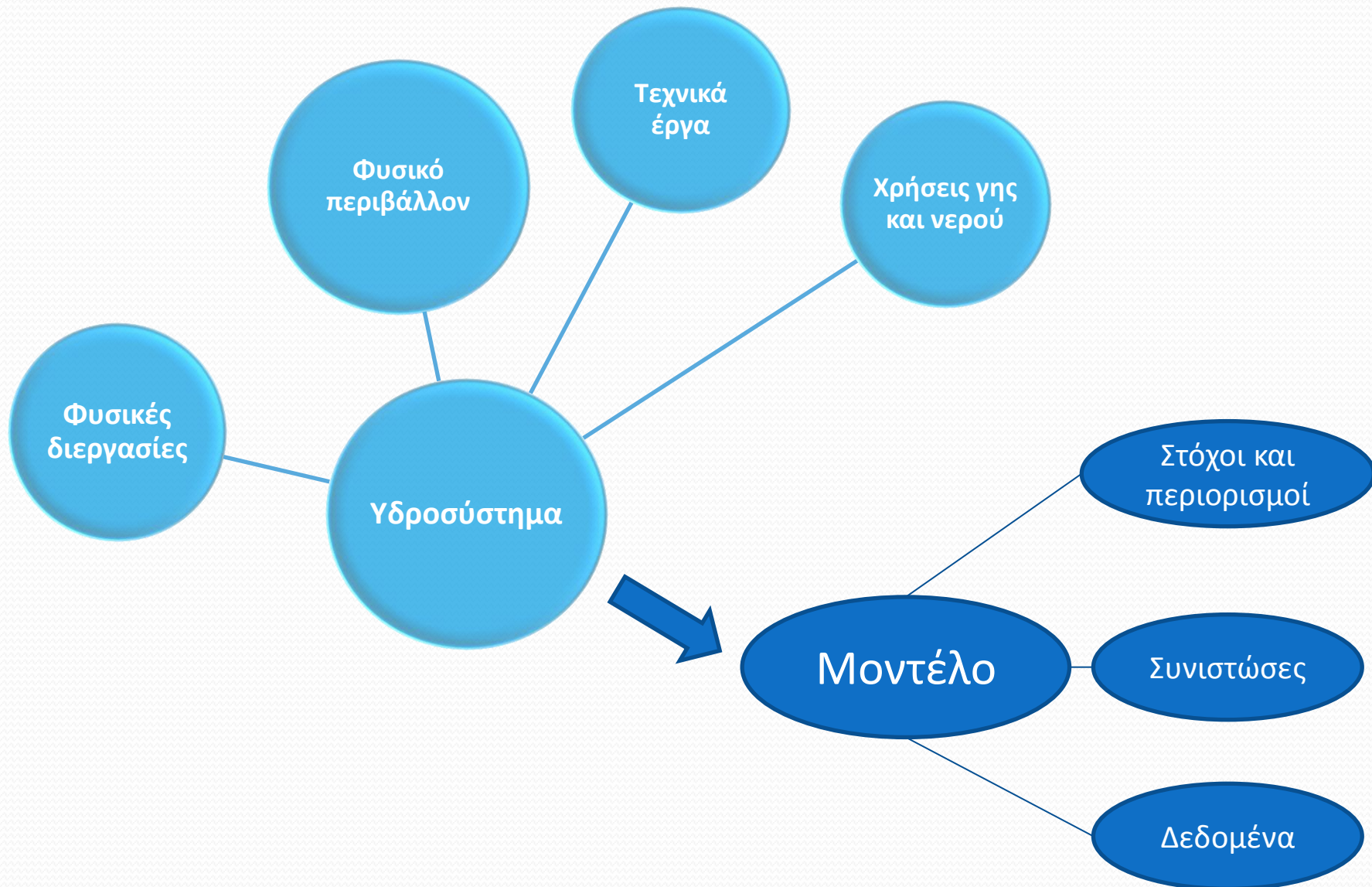


Περιοχή μελέτης

- Εξέταση σε μεγάλη κλίμακα
- Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά
- Φυσικά υδάτινα σώματα
- Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (ταμιευτήρες, αρδευτικά έργα)

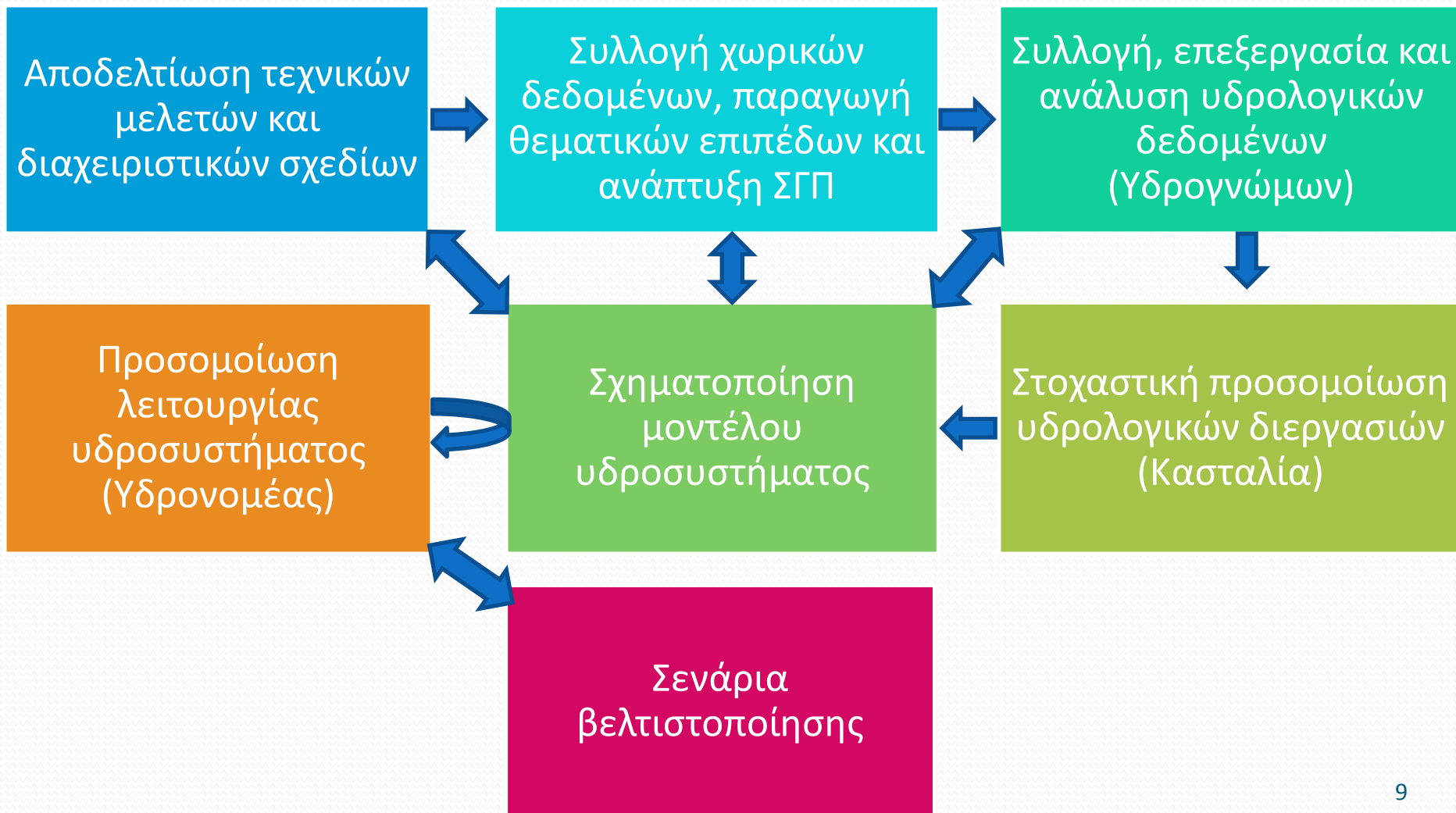


Γενική μεθοδολογική προσέγγιση



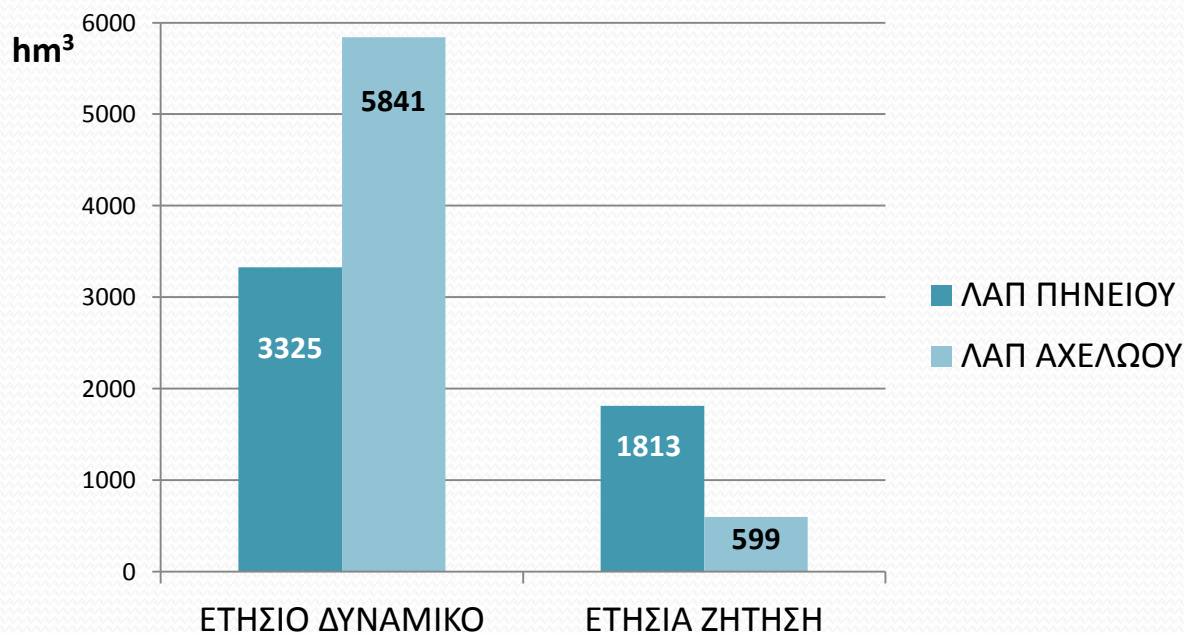
Πορεία εξέτασης θέματος

Δυναμική διαδικασία, σαφώς όχι σειριακή, εξαιρετικά απαιτητική και χρονοβόρα



Διαχειριστικό πρόβλημα

- Κρίσιμο υδροσύστημα για την εθνική οικονομία
 - **ΛΑΠ Αχελώου:** 40% εγκατεστημένης Υ/Η ισχύος, ετήσια παραγωγή 2900 GWh
 - **ΛΑΠ Πηνειού:** 4 500 000 στρέμματα καλλιεργειών, τα 2 500 000 αρδεύονται
- Ανισοκατανομή προσφοράς-ζήτησης νερού
 - **ΛΑΠ Αχελώου:** Πολύ πλούσια υδροφορία, σχετικά μικρές υδατικές ανάγκες
 - **ΛΑΠ Πηνειού:** Φτωχότερη υδρολογικά, έλλειψη σημαντικών έργων ταμίευσης, πολύ μεγάλες ζητήσεις, υπεράντληση υπόγειων υδροφορέων



Ερωτήματα

Η εκτροπή Αχελώου είναι ένα αμφιλεγόμενο έργο...

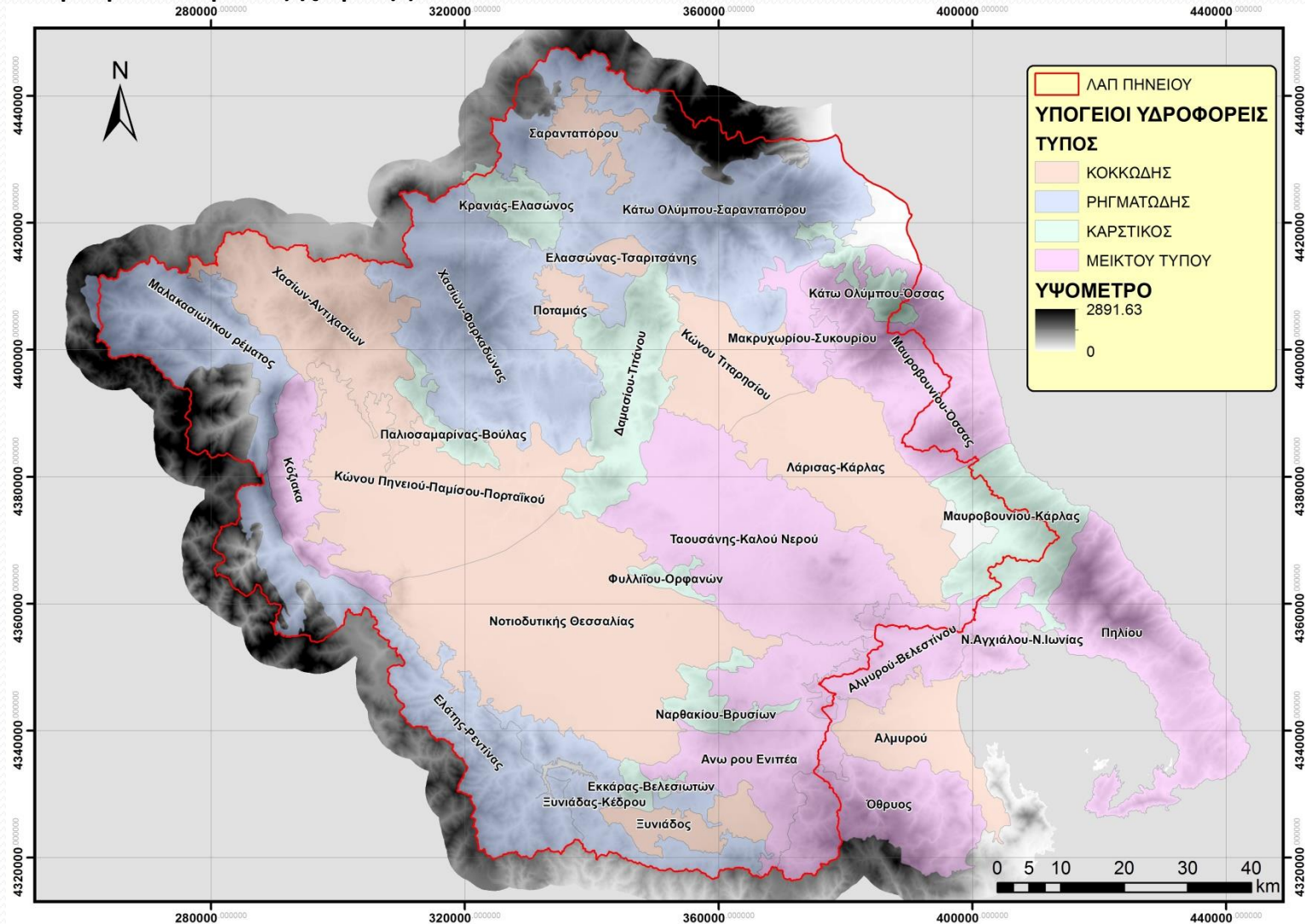
- Η εκτροπή μπορεί να δώσει πραγματική λύση στο πρόβλημα της Θεσσαλικής πεδιάδας;
 - Μειώνεται η Υ/Η παραγωγή του υδροσυστήματος;
 - Περιβαλλοντικό κόστος στη ΛΑΠ Αχελώου;
- } Δικαιολογημένες οι αντιδράσεις;

Οι απαντήσεις δεν είναι εύκολες...

- Μέχρι τώρα το πρόβλημα εξεταζόταν σε επίπεδο μιας λεκάνης, ανάλογα την οπτική γωνία της εκάστοτε πλευράς, ή εστιάζόταν στα έργα εκτροπής μόνο.
- Η συνδυασμένη διαχείριση μπορεί ενδεχομένως να επιφέρει μεγάλο όφελος και ως προς την παραγωγή ενέργειας (έργα αντλησιοταμίευσης).
- Δεδομένου ότι η ροή του κάτω ρου του Αχελώου είναι πλήρως ρυθμιζόμενη από τα υφιστάμενα Υ/Η έργα της ΔΕΗ, οι διαχειριστικές επιλογές είναι πολύ περιορισμένες.
- Είναι απαραίτητο να εξεταστεί ενδελεχώς το σύστημα και η λειτουργία του ως σύνολο, με ολοκληρωμένη μελέτη σκοπιμότητας των έργων.

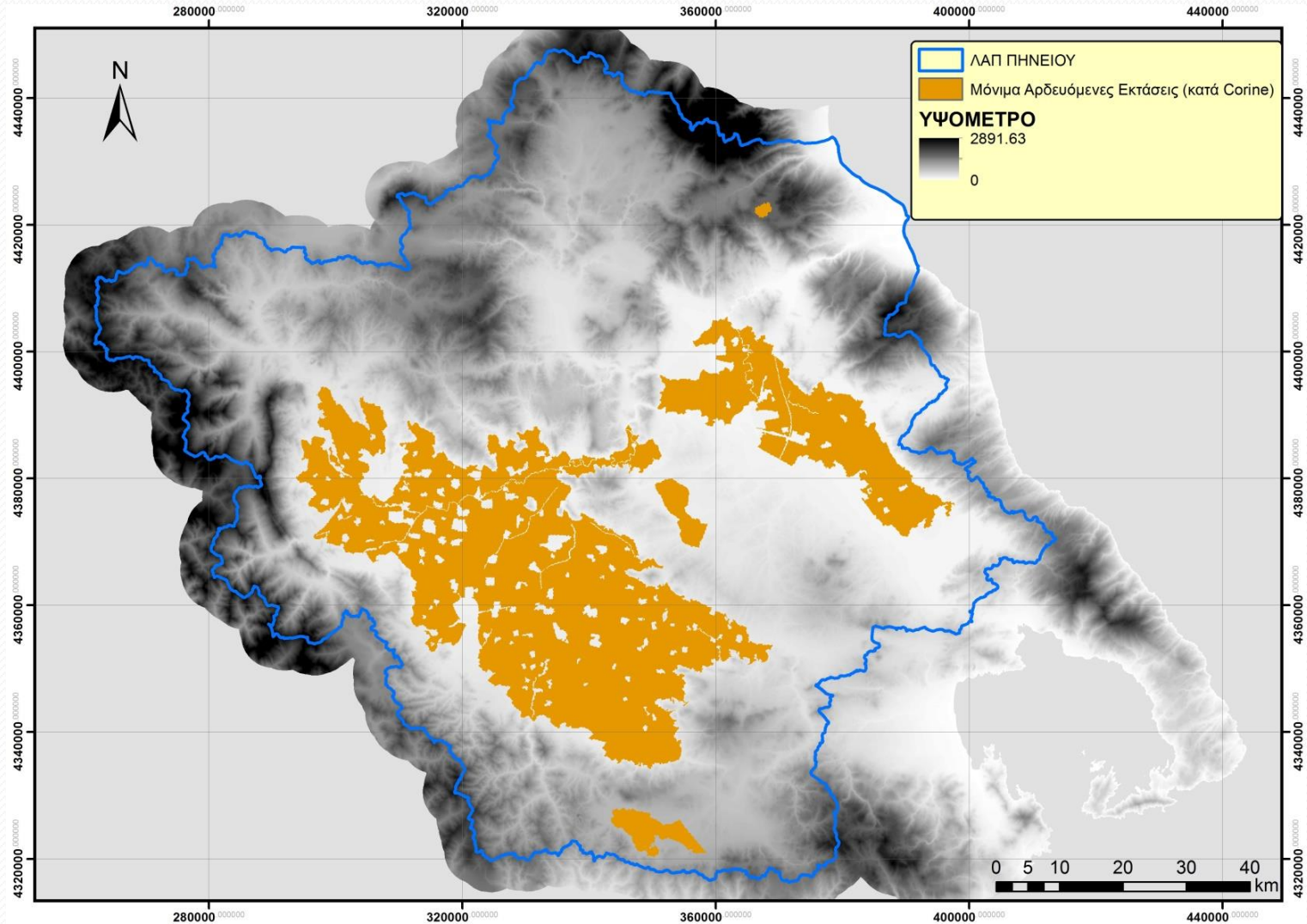
ΛΑΠ Πηνειού – Υδρογεωλογία

Υδρογεωλογικός χάρτης

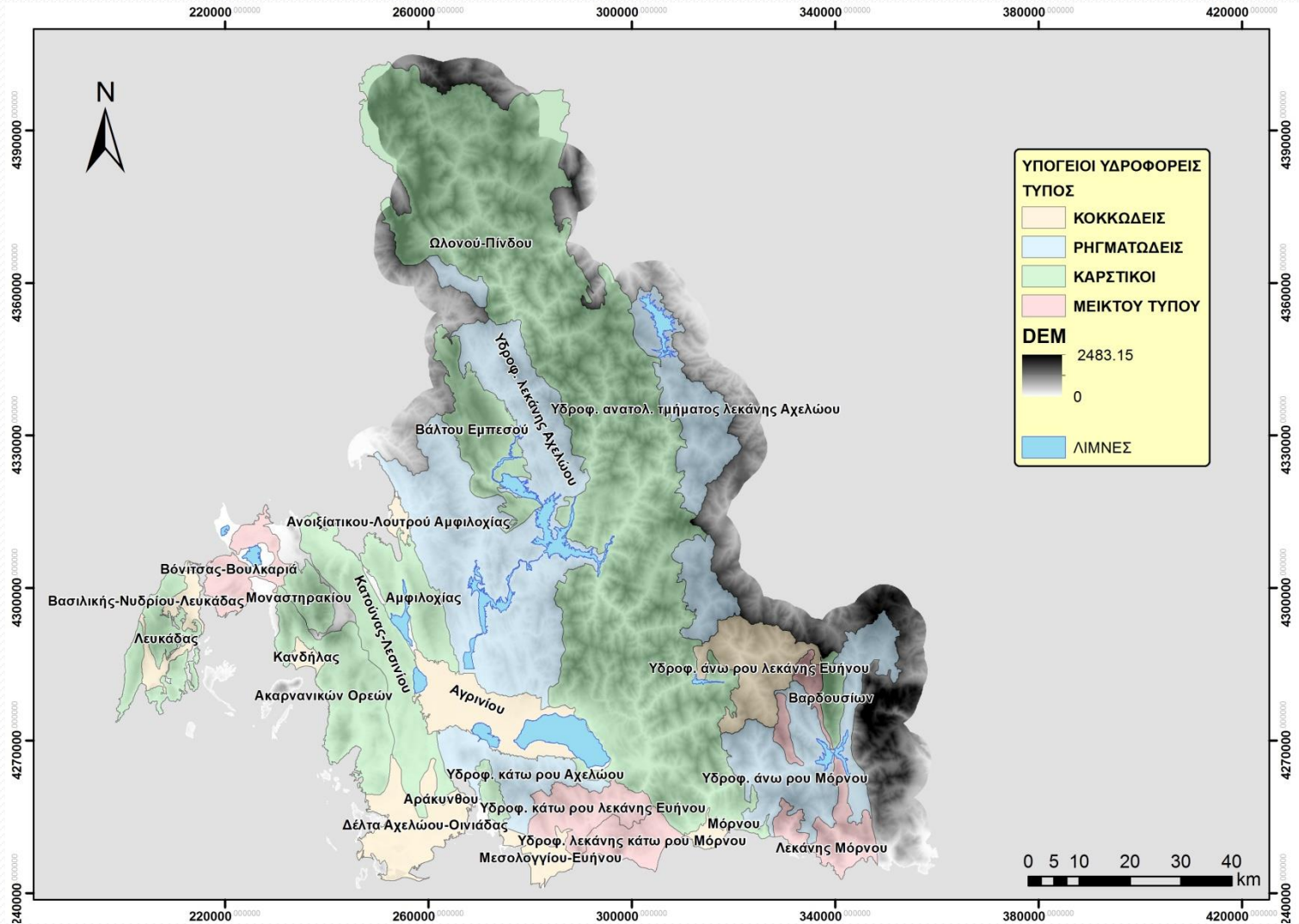


ΛΑΠ Πηνειού – Αρδευόμενες εκτάσεις

Αρδευόμενες εκτάσεις στη ΛΑΠ Πηνειού κατά CORINE 2000



ΛΑΠ Αχελώου – Υδρογεωλογία



Εκτίμηση υδατικών αναγκών μοντέλου

❖ Αρδευτική ζήτηση:

- Θεωρητικές ανάγκες κατά ΚΥΑ Φ.16/6631/2.6.1989, με χρήση φυτικών συντελεστών
- Πραγματικές ανάγκες, με προσθήκη απωλειών από δίκτυα και μεθόδους άρδευσης, και αφαίρεση ενεργού βροχόπτωσης
- Ετήσια ζήτηση: **1343 hm³**
- Τυπικό στρέμμα: **~700 m³/αρδευτική περίοδο** και στις δύο λεκάνες
- Μηνιαία κατανομή αρδευτικής ζήτησης με τυπικά ποσοστά

❖ Υδρευτική ζήτηση:

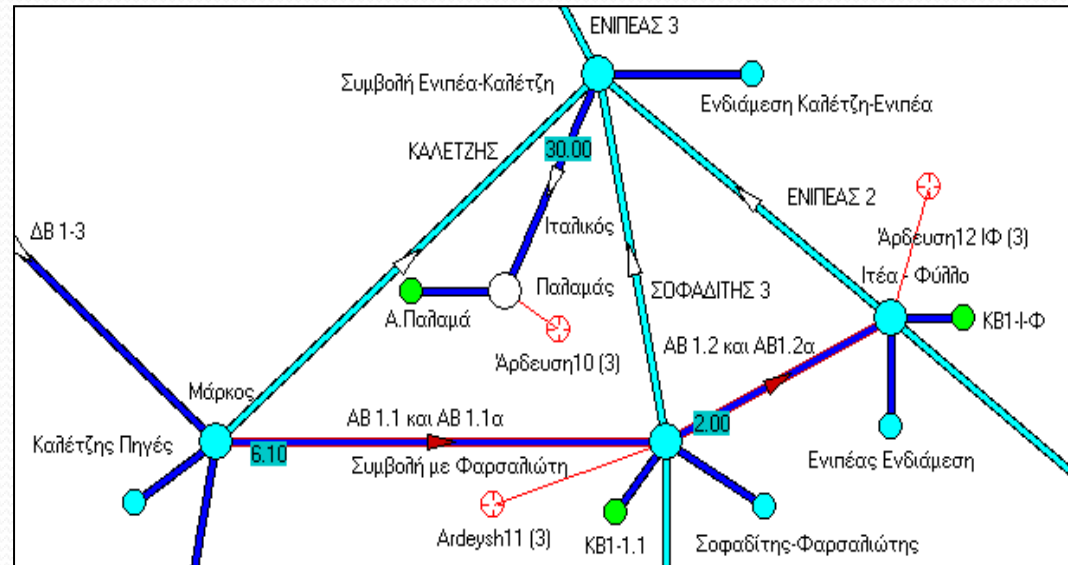
- Ετήσια ζήτηση: **36.5 hm³** (κυρίως γεωτρήσεις, μικρές απολήψεις από ταμιευτήρες)

❖ Περιβαλλοντικοί περιορισμοί

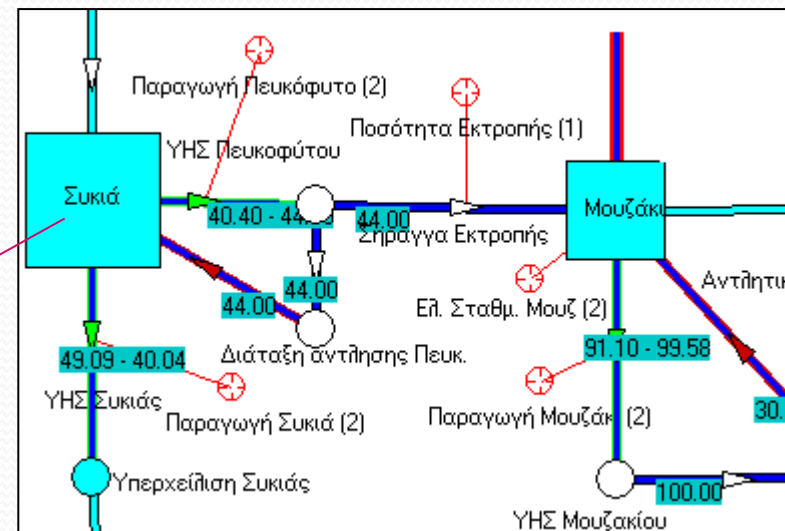
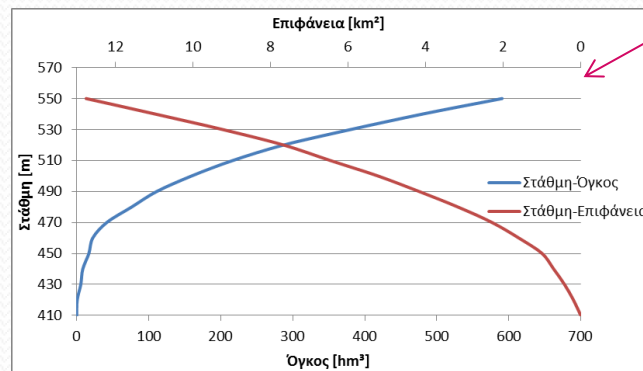
- Ετήσια ζήτηση για οικολογική παροχή ποταμών: **1348 hm³**
 - Αχελώος: **798 hm³**, με μηνιαία διακύμανση για την διατήρηση των χαρακτηριστικών εποχικότητας της φυσικής παροχής του ποταμού
 - Πηνειός: εξασφάλιση παροχής τουλάχιστον **10 m³/s** το καλοκαίρι
- Διατήρηση ελάχιστου αποθέματος **160 hm³** στον ταμιευτήρα Πλαστήρα
- Εμπλουτισμός λίμνης Τριχωνίδας με **47 hm³** ετησίως.

Διαδικασία σχηματοποίησης

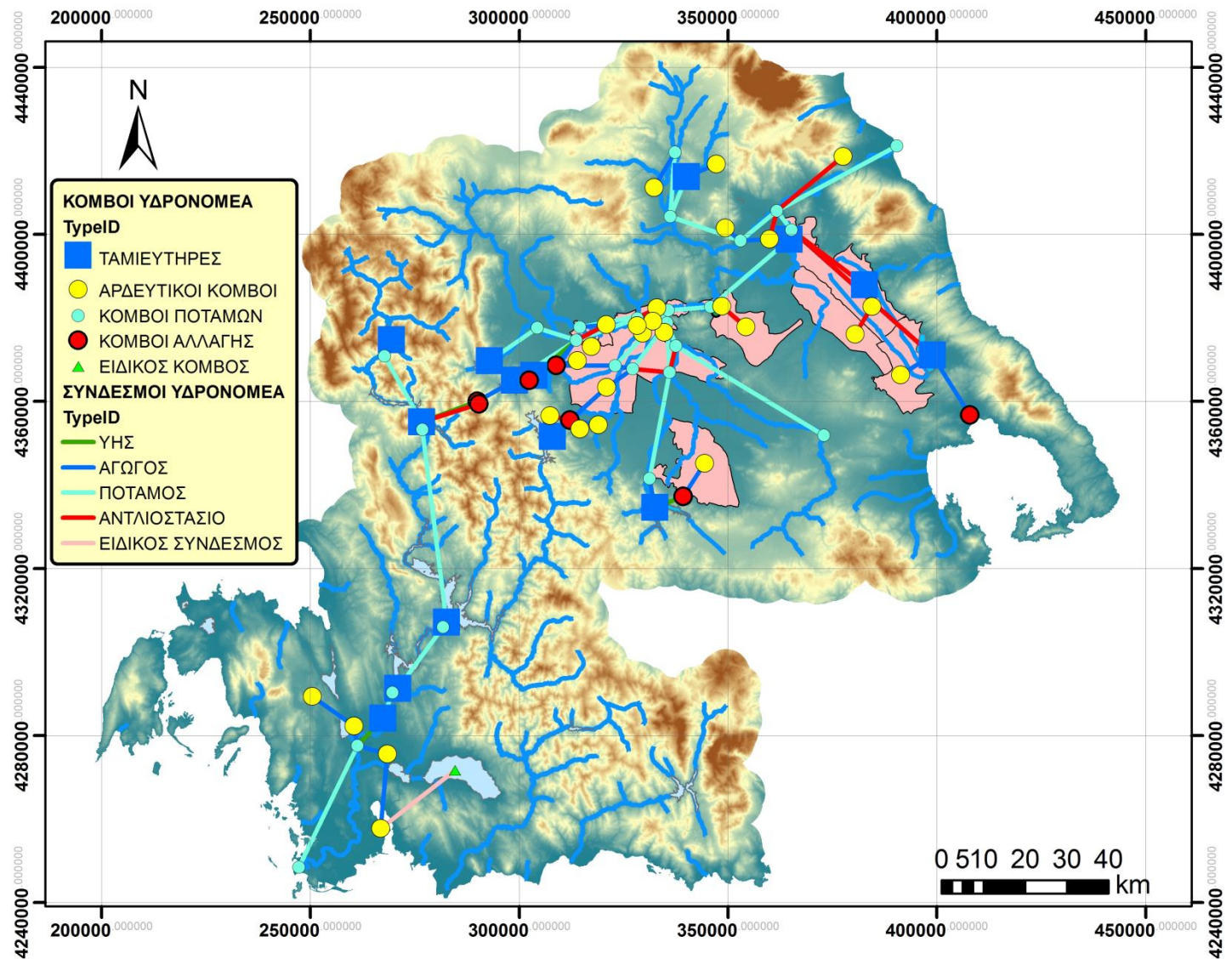
Αρδευτικοί κόμβοι: αρδευόμενη έκταση, θέσεις απόληξης, παροχετευτικότητες αγωγών και γεωτρήσεων, χρονοσειρές απορροής κόμβων ποταμών



Ταμιευτήρες: Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων, αγωγών πτώσης και ΥΗΣ, χρονοσειρές απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης

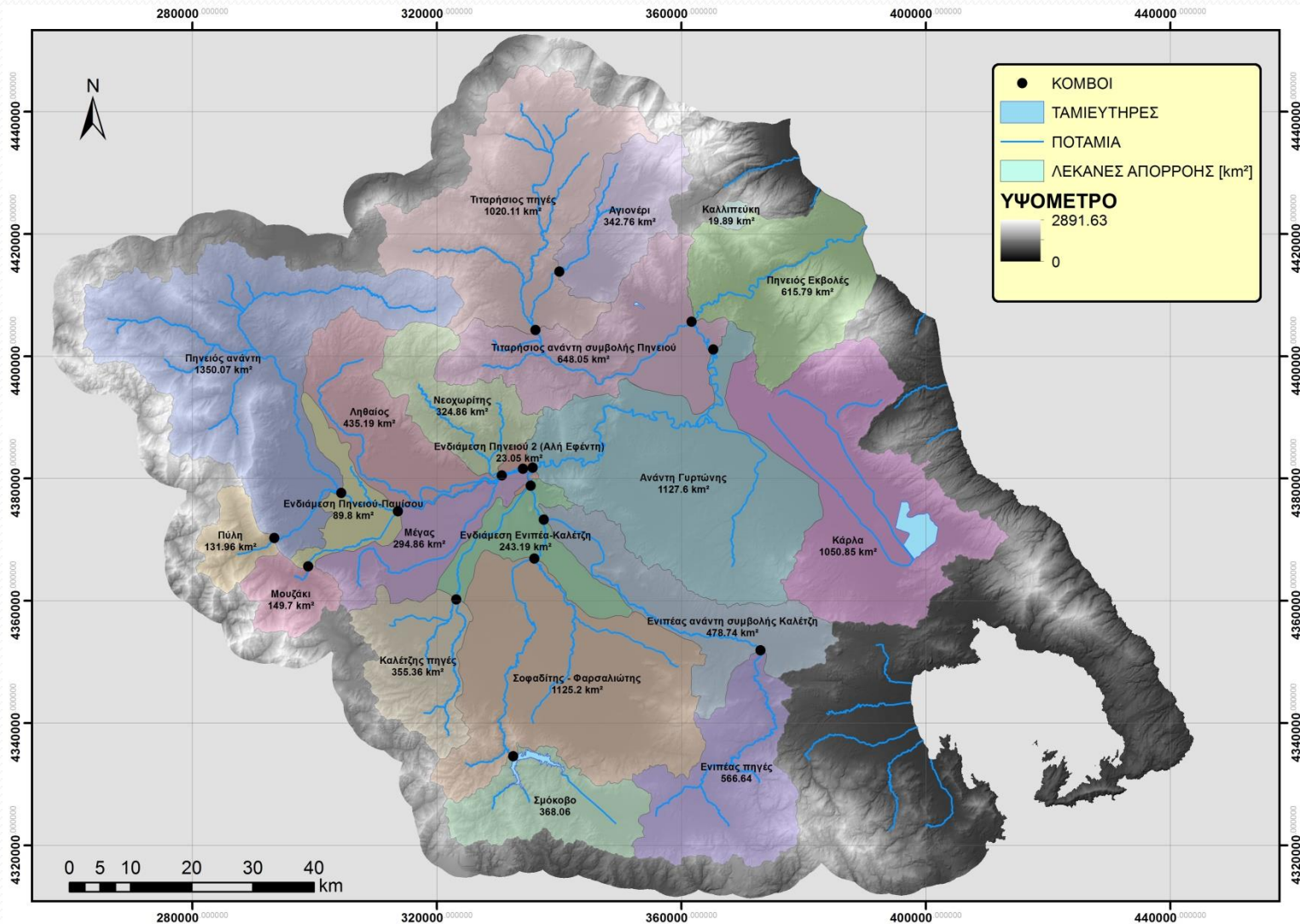


Απεικόνιση μοντέλου υδροσυστήματος σε ΣΓΠ



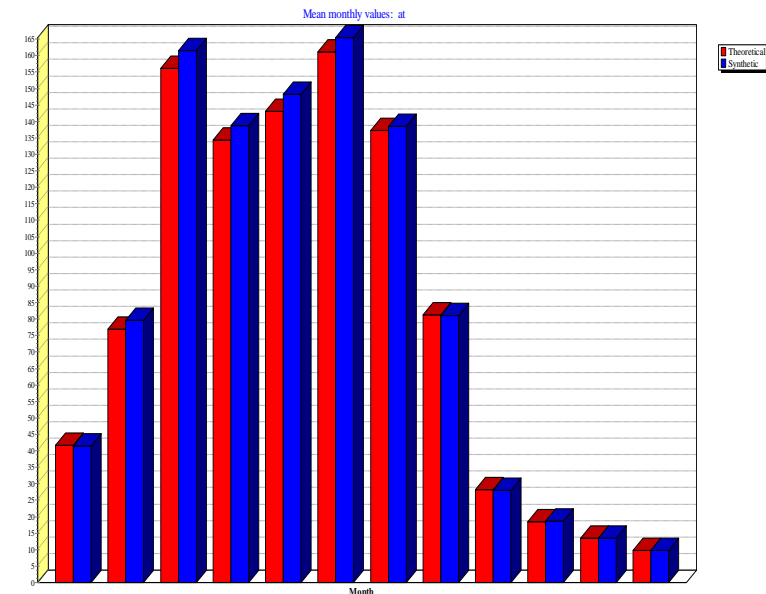
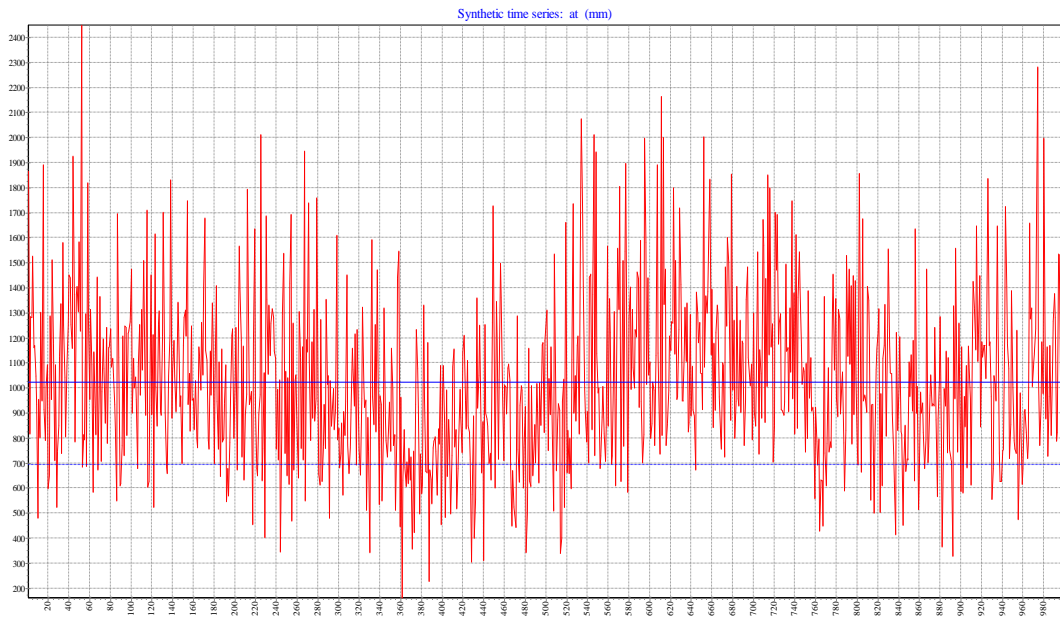
Καθορισμός λεκανών απορροής

- Καθορισμός μόνο στη ΛΑΠ Πηνειού, στη ΛΑΠ Αχελώου πλήρως ρυθμισμένη η ροή (φράγματα μέσου ρου).



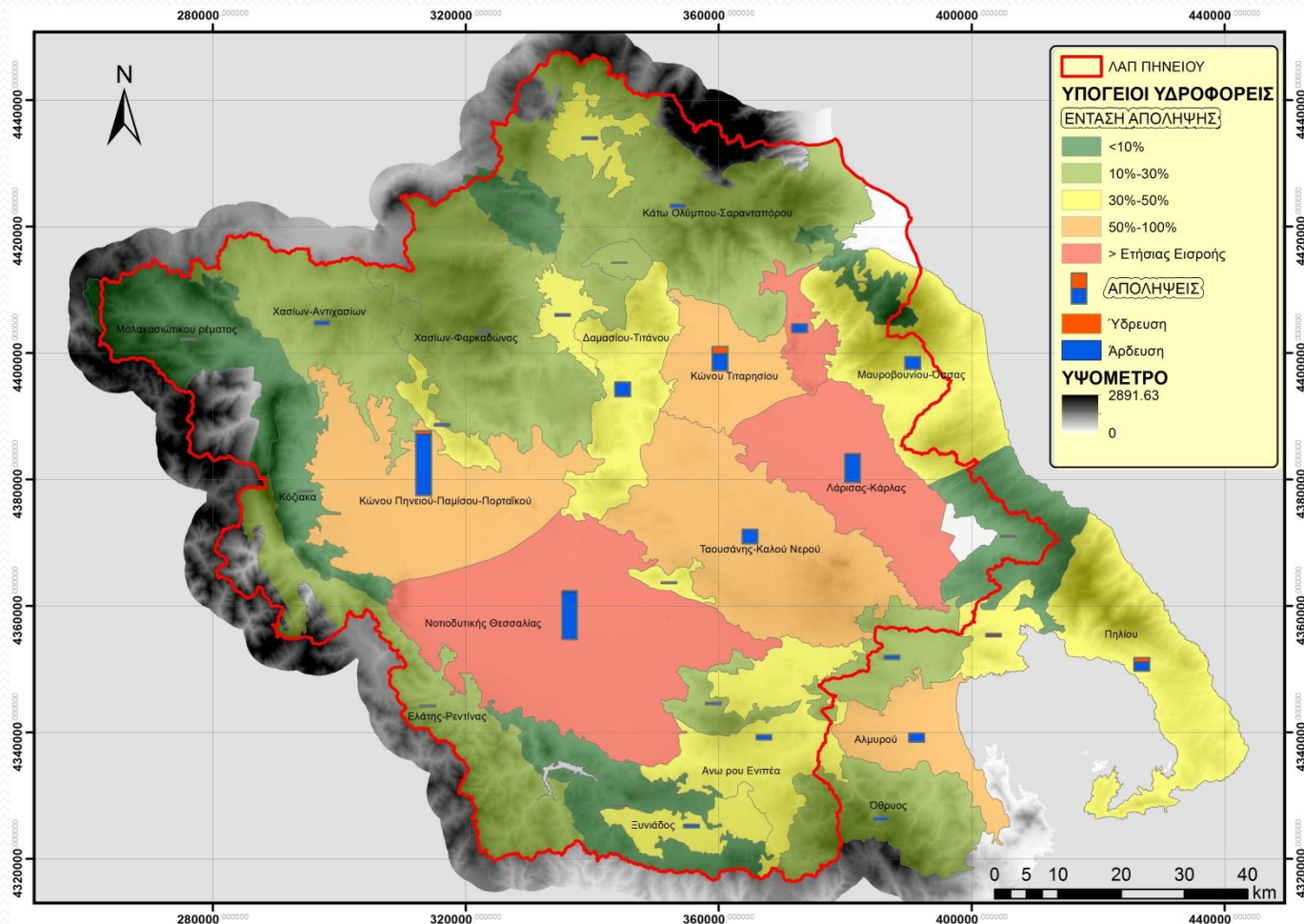
Υδρολογικές μεταβλητές

- Συλλογή ιστορικών δειγμάτων βροχόπτωσης και απορροής διαφόρων σταθμών με εγγύτητα στις λεκάνες του μοντέλου – καταρτίστηκαν 26 δείγματα διαφορετικού μήκους, μικρά, ανεπαρκή, όχι πάντα αξιόπιστα (συμπληρώσεις)
- Κατασκευή αντίστοιχων συνθετικών χρονοσειρών (1000 ετών) με το λογισμικό Κασταλία με διατήρηση της ετεροσυσχέτισης τους και των στατιστικών χαρακτηριστικών τους.
- Αναγωγή των συνθετικών δεδομένων στις λεκάνες του μοντέλου (παραδοχές)
- Για την εξάτμιση από επιφάνεια ταμιευτήρων χρησιμοποιήθηκε μια ημιεμπειρική παραμετρική μέθοδος, με είσοδο τη θερμοκρασία (αναγωγή στη στάθμη των ταμιευτήρων)



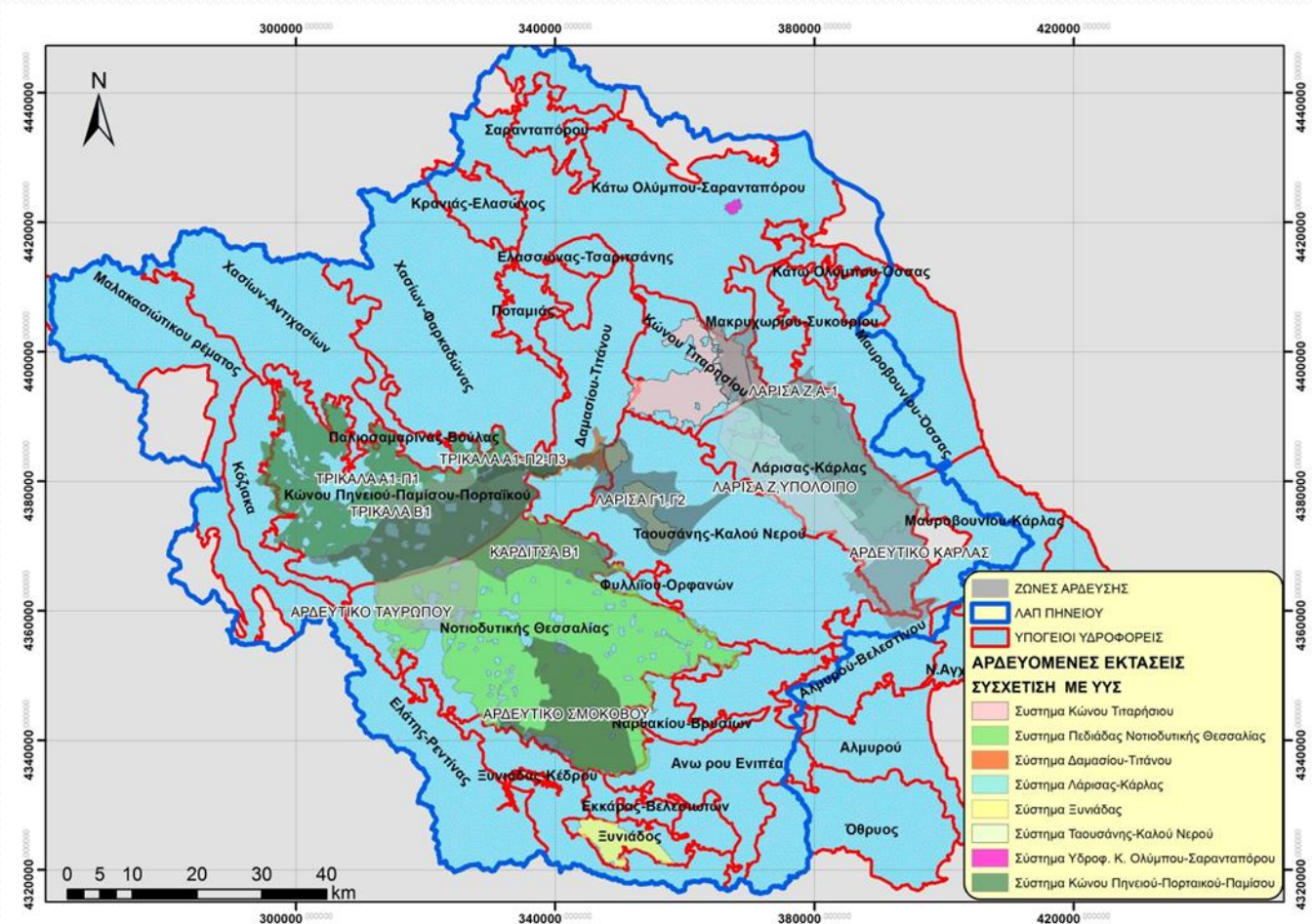
Σχηματοποίηση γεωτρήσεων (1)

- Γνωστά όρια υπόγειων υδροφορέων και εκτιμήσεις απολήψεων
- Ετήσιες αρδευτικές απολήψεις **705 hm³**, κυρίως στη Δυτική και Ανατολική Πεδιάδα



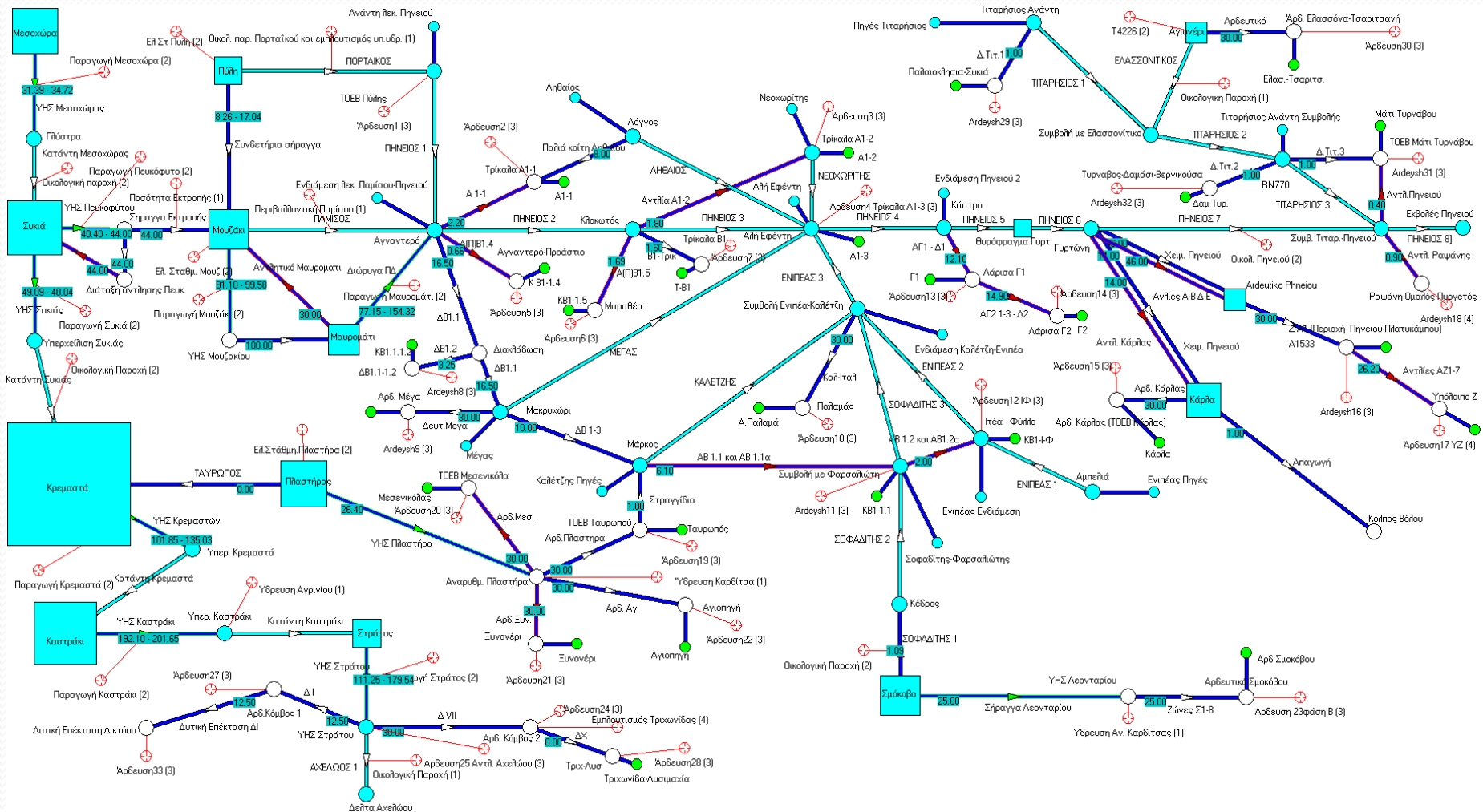
Σχηματοποίηση γεωτρήσεων (2)

- ❑ Αναγωγή των απολήψεων στις αρδεύσιμες εκτάσεις και έπειτα στις αρδευτικές ζώνες
- ❑ Εκτίμηση δυναμικότητας ως το 30% των απολήψεων σε κάθε αρδευτικό κόμβο



Απεικόνιση μοντέλου στον Υδρονομέα

Συνιστώσες μοντέλου: 14 ταμειευτήρες, 32 αρδευτικοί κόμβοι, 14 κόμβοι εισροής, 57 στόχοι (35 αρδευτικοί, 3 υδρευτικοί, 9 περιβαλλοντικοί, 10 ενεργειακοί)



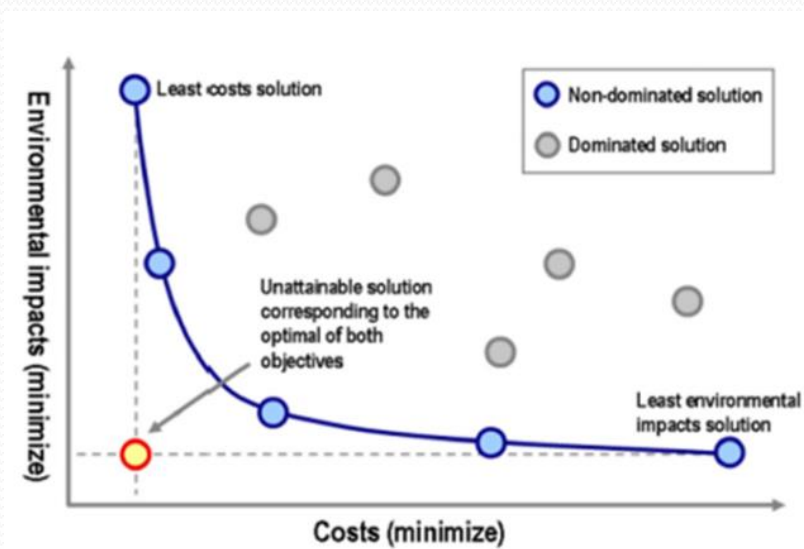
Διαχειριστικά σενάρια-βελτιστοποίηση

- Διατύπωση προβλήματος βελτιστοποίησης:
 - Μεταβλητές ελέγχου: στόχοι παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας ΥΗΣ (σταθεροί)
 - Κριτήρια επίδοσης:
 - ❖ Παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια (επίπεδο αξιοπιστίας 99%)
 - ❖ Μέση ετήσια αστοχία επιλεγμένων αρδευτικών στόχων
 - ❖ Μέσο ετήσιο αρδευτικό έλλειμμα
 - Στοχική συνάρτηση:
 - ❖ Στάθμιση κριτηριών, με βάρη ανάλογα της τάξης μεγέθους

Μέτωπα Pareto

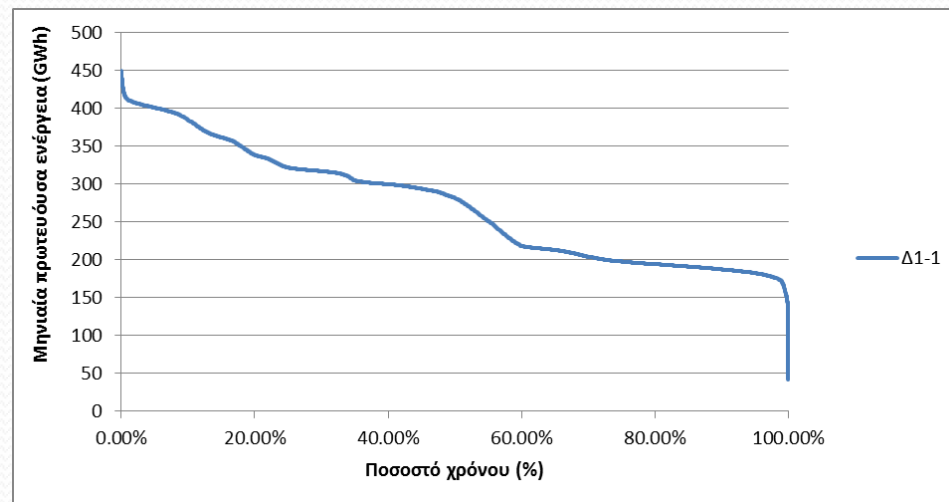
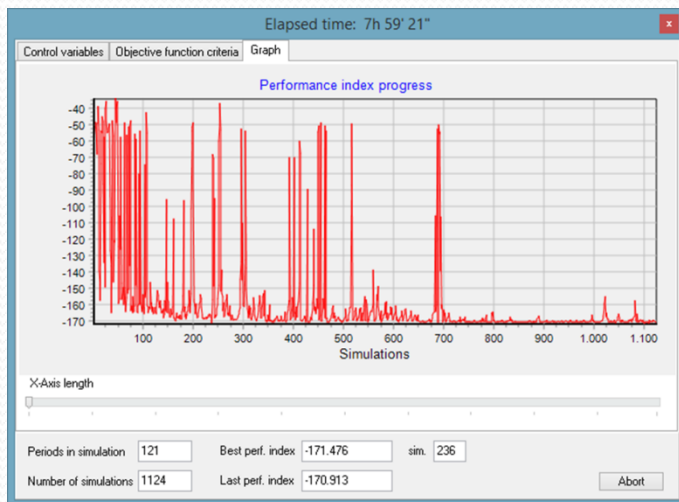
- Βασικές διατάξεις συστήματος που εξετάστηκαν:

- ❑ Πλήρες σχήμα έργων με εκτροπή 250 hm³ (Δ1 – βασικό σενάριο αναφοράς)
- ❑ Πλήρες σχήμα έργων με εκτροπή 600 hm³ (Δ2)
- ❑ Πλήρες σχήμα έργων, χωρίς εκτροπή (Δ3)
- ❑ Πλήρες σχήμα έργων, χωρίς αντλησιοταμίευση (Δ4)
- ❑ Σενάρια μειωμένης κατανάλωσης με και χωρίς εκτροπή (Δ5)



Διάταξη Δ1 – Σενάριο Δ1-1

- Διερεύνηση σεναρίων με διαφορετικούς συνδυασμούς κριτηρίων :
 - ❖ Δ1-1 :Σενάριο βελτιστοποίησης ως προς την παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας



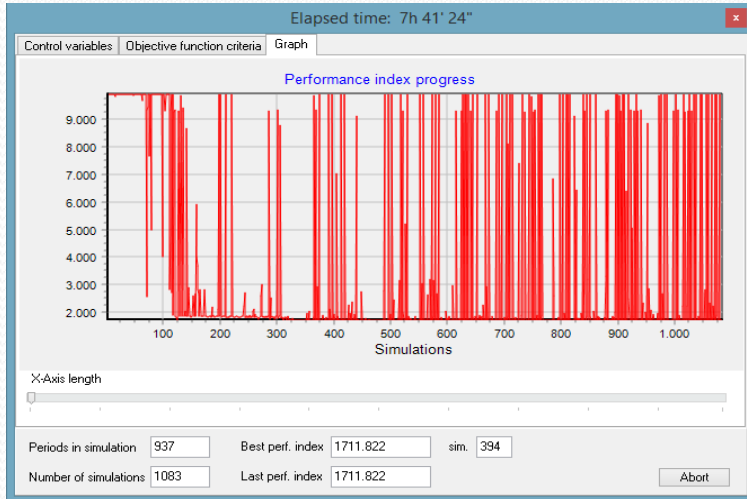
Αστοχίες

Υδρευση	Περιβαλλοντικά	Άρδευση	Έλλειμμα Άρδευσης
0.0793	0.2064	0.146148	89.937

Ενεργειακό Ισοζύγιο	ΜΟ Μήνα	ΜΟ Έτους
Συνολική παραγωγή ενέργειας (GWh)	271.457	3257.484
Συν. Παραγωγή με αξιοπιστία 99% (GWh)	171.31	2055.72
Κατανάλωση αντλιών (GWh)	46.186	554.232
Κατανάλωση γεωτρήσεων (GWh)	44.784	537.408
Απώληση από γεωτρήσεις (hm ³)	18.02	216.24

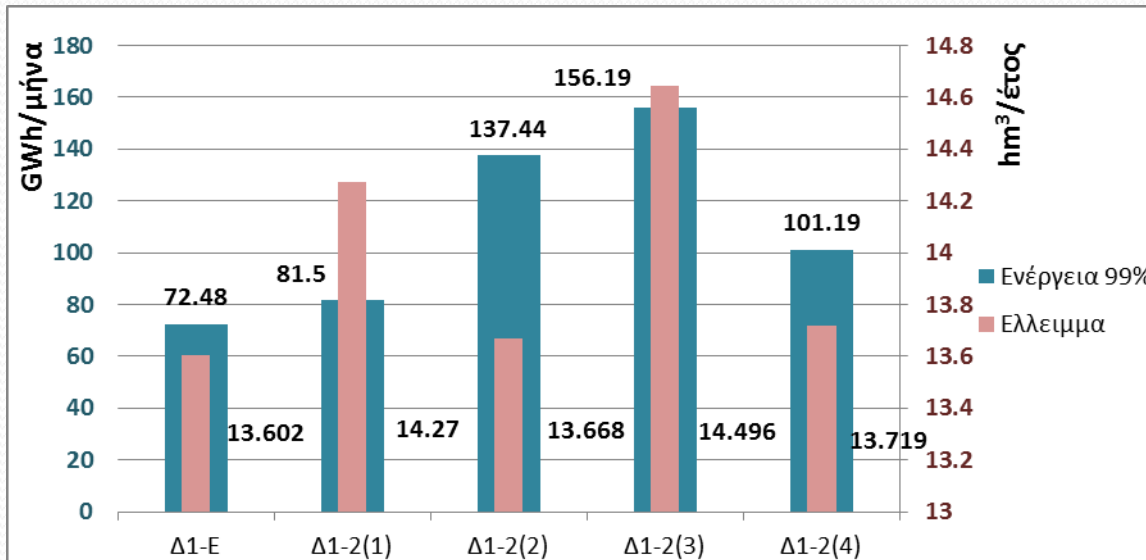
Διάταξη Δ1 – Σενάρια Δ1-2 και Δ1-E

❖ Δ1-2 :Σενάριο βελτιστοποίησης ως προς την μέση ετήσια αστοχία των αρδευτικών στόχων:



- Η ύπαρξη πολλών τοπικών ακροτάτων οδηγεί σε δοκιμές υποσεναρίων βελτιστοποίησης Δ1-2(2), Δ1-2(3), Δ1-2(4) διαφορετικού εύρους στον χώρο των μεταβλητών ελέγχου.
- Λύσεις με ίδια επίδοση ως προς την αστοχία, διαφορετική επίδοση σε άλλα μεγέθη.

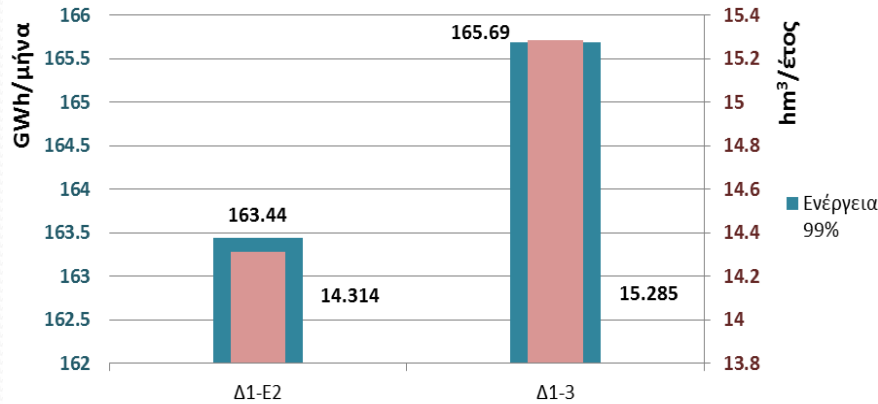
Εισαγωγή κριτηρίου ελλείμματος και Δ1-E σεναρίου



Αξιολόγηση ως προς συνδυασμό κριτηρίων ενέργεια-έλλειμμα

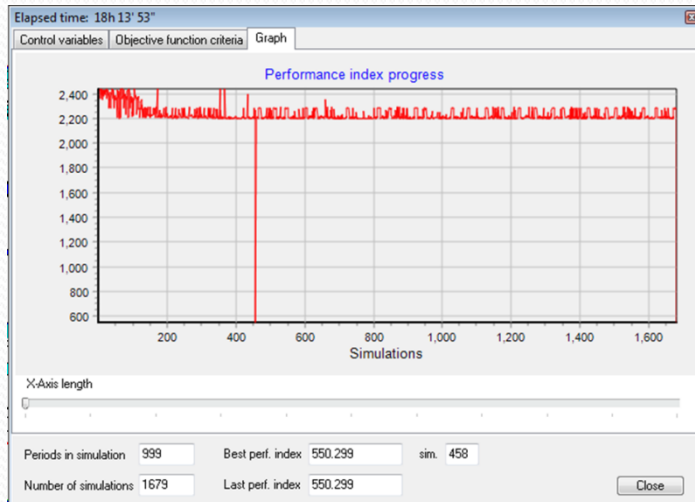
Διάταξη Δ1 – Σενάρια Δ1-3, Δ1-E2, Δ1-4

- ❖ Δ1-3, Δ1-E2: Σενάρια βελτιστοποίησης με ίδια βαρύτητα στα κριτήρια ενέργειας και αστοχίας/ελλείμματος αντίστοιχα



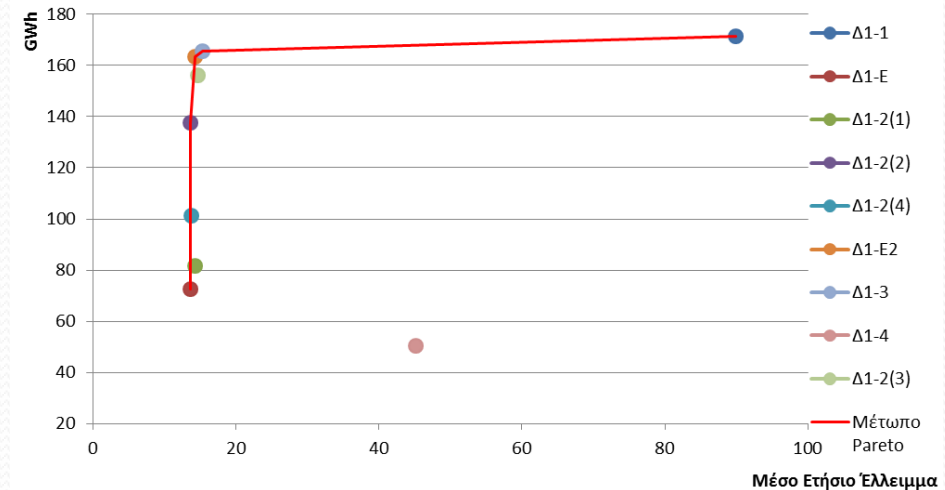
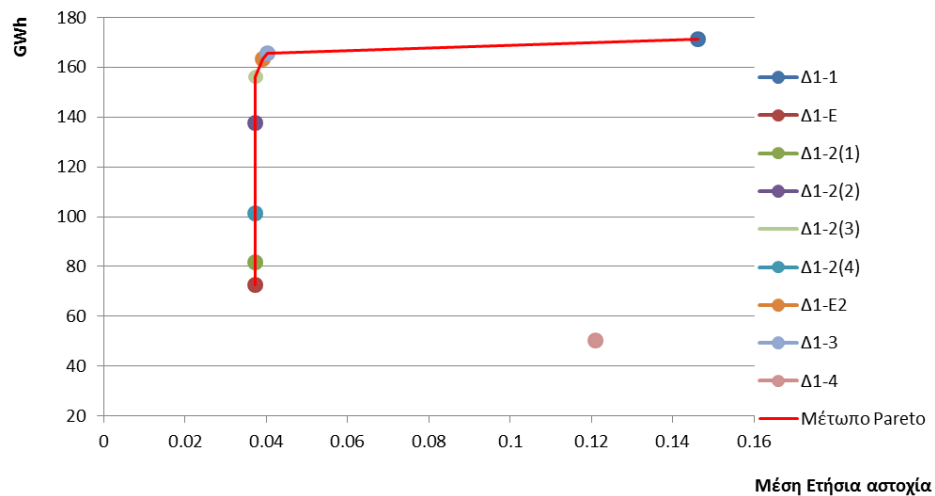
Δ1-E2 μικρότερη αστοχία, άρα Ενδιάμεσα σημεία των μετώπων Pareto

- ❖ Δ1-4: Σενάριο με μεγαλύτερη βαρύτητα στην παραγωγή ενέργειας από ότι στην αστοχία

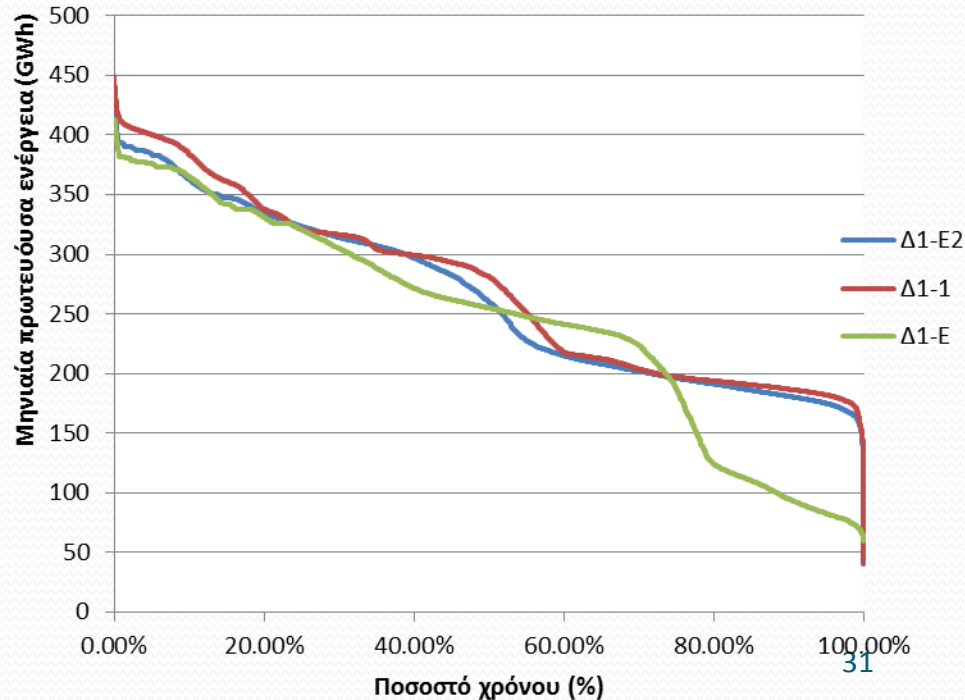


- Μοναδικό ολικό ακρότατο, ταλάντωση γύρω από άλλα τοπικά με ίδια απόδοση
- Μη εύρωστη λύση (πιθανόν)
- Κακός συνδυασμός αποτελεσμάτων ως προς όλα τα κριτήρια

Διάταξη Δ1 – Μέτωπα Pareto

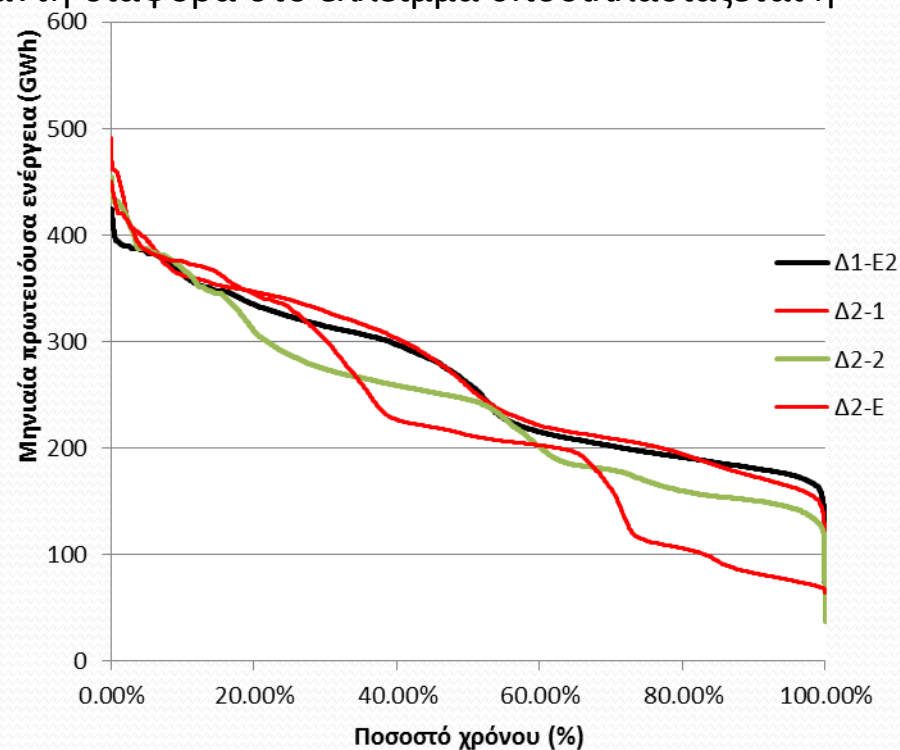
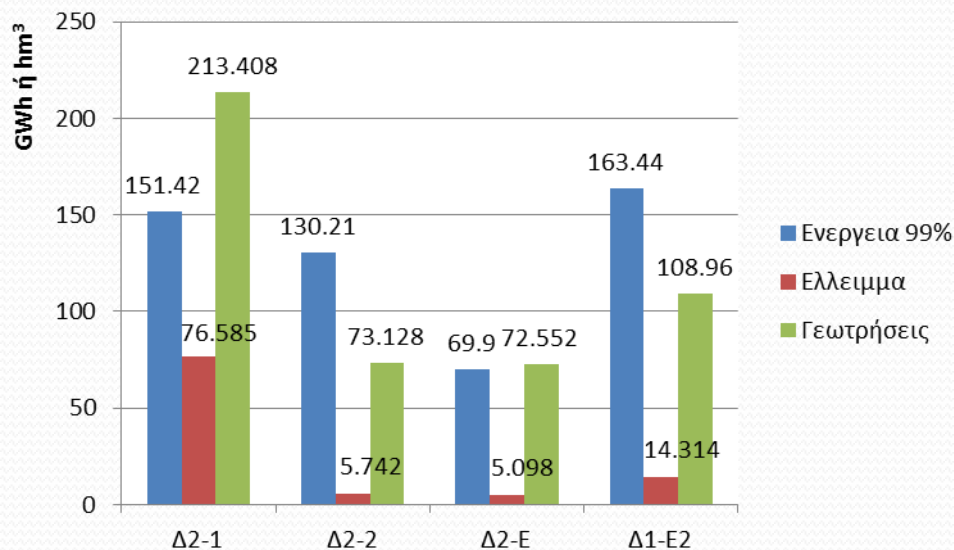


- Καλές λύσεις όσες ανήκουν και στα δύο Pareto (επιφάνεια στην πραγματικότητα)
- Καλύτερη συμβιβαστική λύση στο σημείο αλλαγής κλίσης. Για την απόφαση μεταξύ Δ1-E2 και Δ1-3 εισάγεται πρόσθετη πληροφορία η απόληψη από γεωτρήσεις.
- Καλύτερη λύση προκρίνεται η Δ1-E2 (109 hm³ έναντι 112 hm³ του Δ1-3)



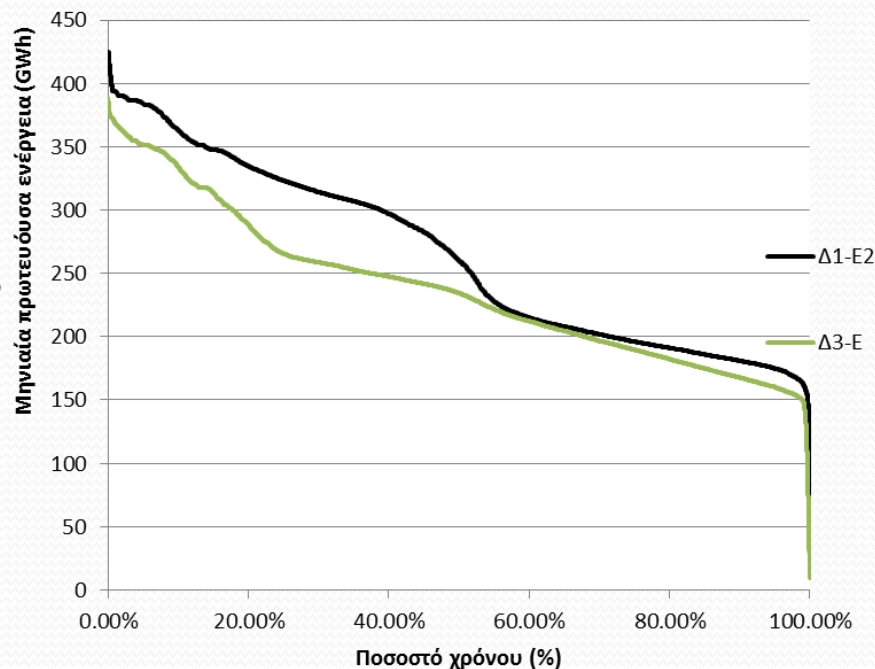
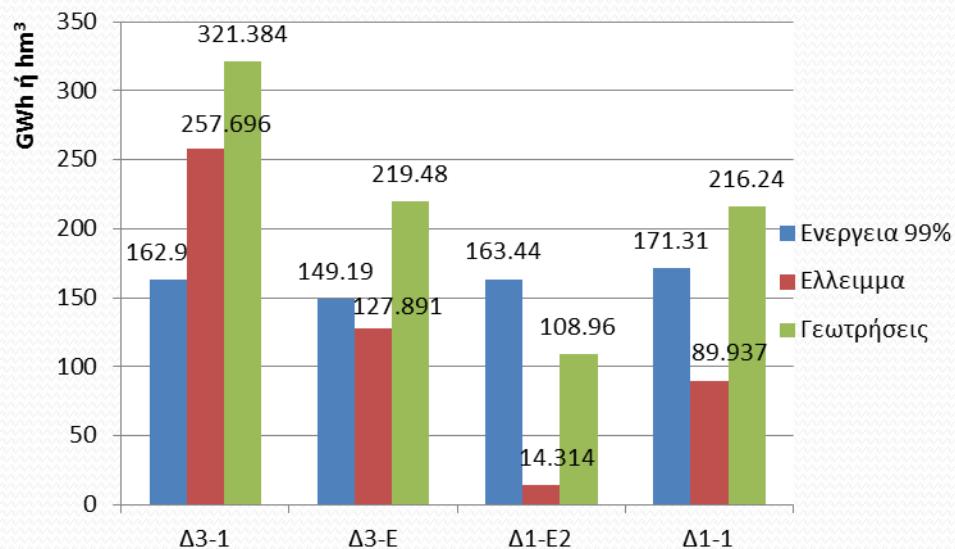
Διάταξη Δ2 – Εκτροπή 600 hm³

- Διερεύνηση άνω και κάτω ορίων ως προς τα τρία κριτήρια, σύγκριση με τη Δ1 (250 hm³)
 - ❖ Δ2-1: Διερεύνηση ως προς την παραγωγή ενέργειας: Δεν επιτυγχάνεται ο στόχος εκτροπής 600hm³ ετησίως (501.18 hm³). Χειρότερα αποτελέσματα ως προς το Δ1-E2.
 - ❖ Δ2-2: Διερεύνηση με βάση την αστοχία: Αστοχία μόλις 1.88% -επιτυγχάνεται αμελητέο έλλειμμα, μικρές απολήψεις από υδροφόρο ορίζοντα
 - ❖ Δ2-E:Διερεύνηση με βάση το έλλειμμα: Για ασήμαντη διαφορά στο έλλειμμα υποδιπλασιάζεται η πρωτεύουσα ενέργεια



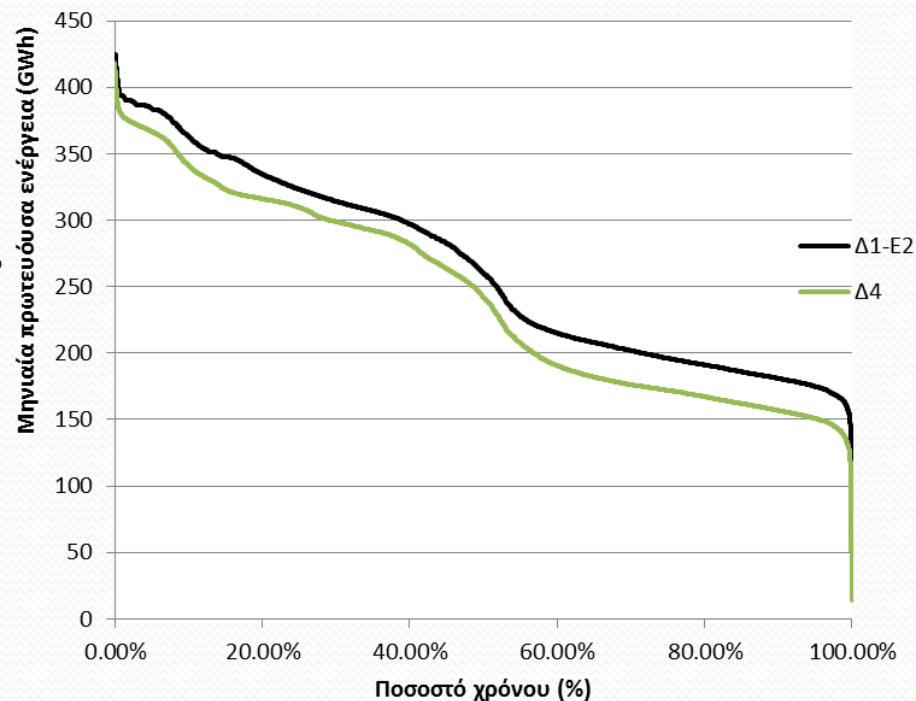
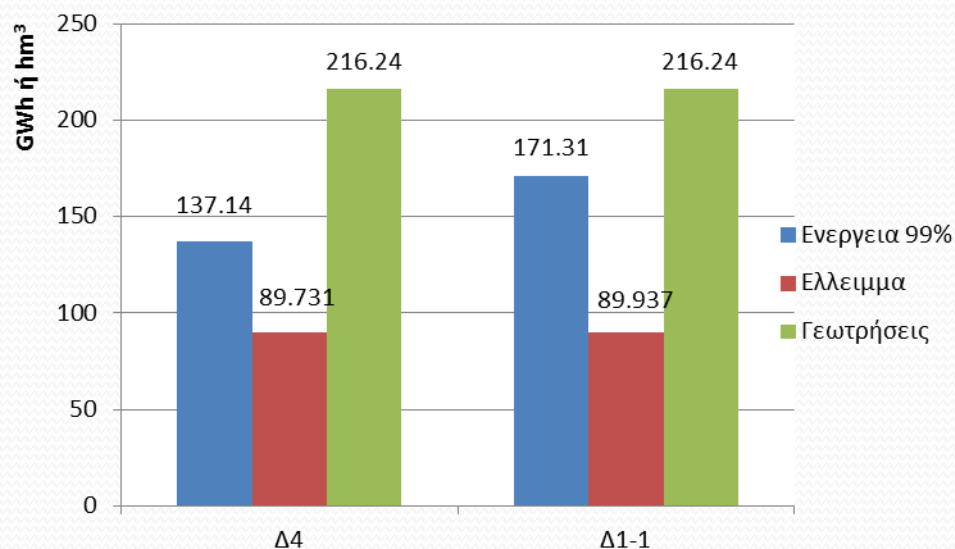
Διάταξη Δ3 – Χωρίς εκτροπή

- Διερεύνηση ως προς τα κριτήρια ενέργειας (Δ3-1) και ελλείμματος (Δ3-E), σύγκριση με τη Δ1 (250 hm³)
 - ❖ Δ3-1: Τα έργα Πύλη-Μουζάκι λειτουργούν ενεργειακά-Διερεύνηση με βάση την ενέργεια. Πρακτικά ίδια παραγωγή ενέργειας με το Δ1-E2. Σημαντική υπεροχή της διάταξης εκτροπής.
 - ❖ Δ3-E: Τα έργα Πύλη-Μουζάκι δεν λειτουργούν ενεργειακά-Διερεύνηση με βάση το έλλειμμα. Ουσιαστικά η πιθανή κατάσταση χωρίς την εκτροπή του Αχελώου προς Θεσσαλία.



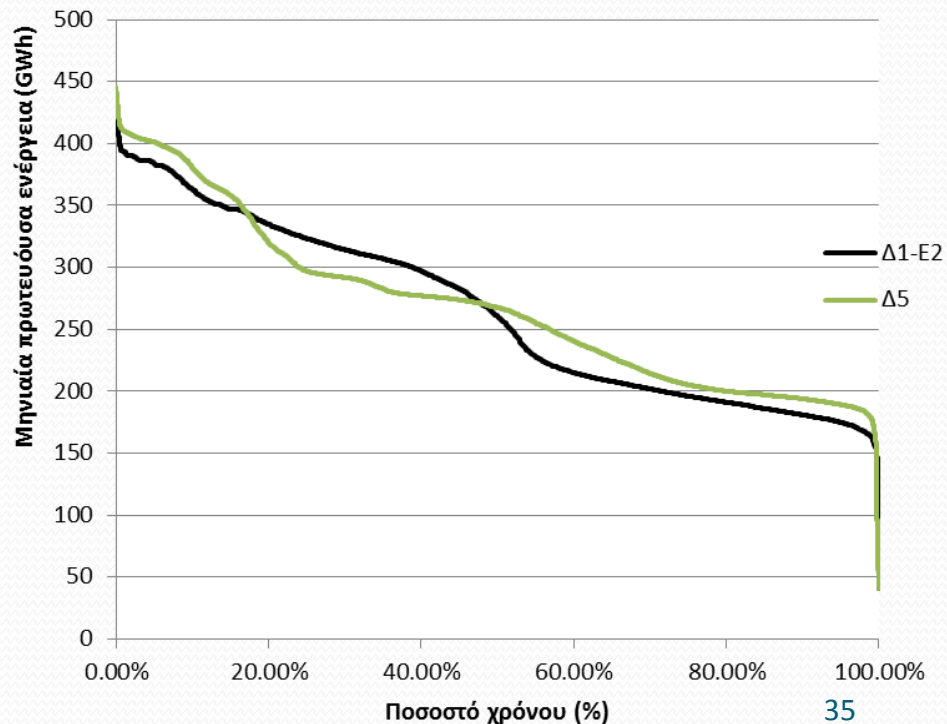
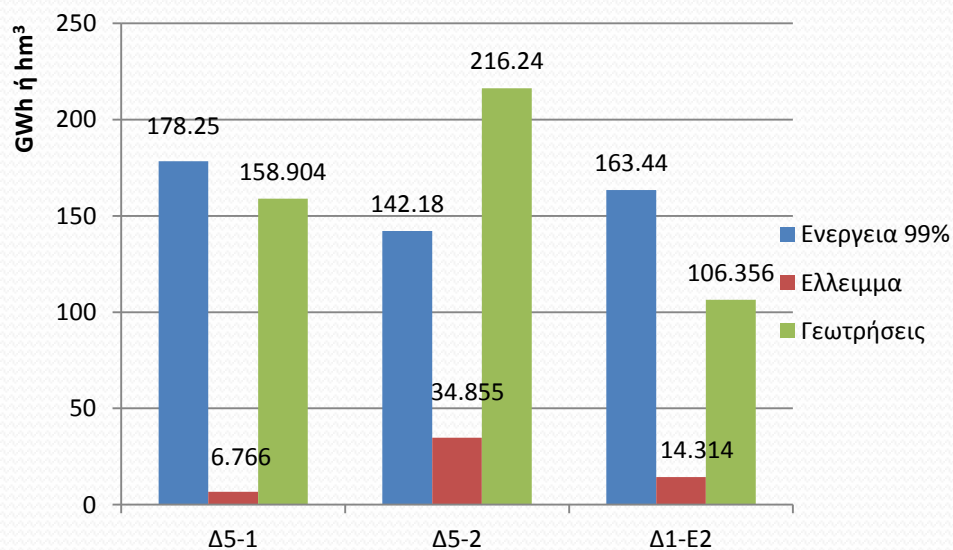
Διάταξη Δ4 – Εκτροπή χωρίς αντλησιοταμίευση

- Διερεύνηση ως προς το κριτήριο ενέργειας μόνο. Σύγκριση με το Δ1-1. Διερευνάται η σκοπιμότητα της αντλητικής διάταξης του ΥΗΣ Πευκοφύτου.
- Η αντιστρεπτή λειτουργία προσφέρει κατά μέσο όρο 34.17 GWh επιπλέον μηνιαία πρωτεύουσα ενέργεια. Σύγκριση με μέση μηνιαία παραγωγή Μεσοχώρας: 26.9 GWh.
- Σε σύγκριση με τη καλύτερη συμβιβαστική λύση Δ1-E2, παράγονται επιπλέον 26.3 GWh.



Διάταξη Δ5 – Σενάρια μειωμένης κατανάλωσης

- Διερευνάται αν με επίτευξη μειωμένης κατανάλωσης ($550 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}$) μπορεί να λειτουργήσουν με ενεργειακό πρόσημο τα έργα.
 - ❖ Δ5-1: Σενάριο με εκτροπή, με εξορθολογισμό χρήσεων και στις δύο λεκάνες. Έλλειμμα ελάχιστο με έργα Πύλης-Μουζακίου να λειτουργούν ενεργειακά, αύξηση παραγόμενης πρωτεύουσας ενέργειας κατά 14.81 GWh σε σχέση με καλύτερη συμβιβαστική λύση.
 - ❖ Δ5-2: Σενάριο χωρίς εκτροπή, με μειωμένη κατανάλωση μόνο στη Θεσσαλία. Μειώνεται σημαντικά το έλλειμμα.



Συμπεράσματα

- Δεν έχει σημασία μόνο η ποσότητα της εκτροπής, καθώς το σύστημα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο και ως προς την εφαρμοζόμενη διαχειριστική πολιτική, λόγω της εγγενούς πολυπλοκότητάς του.
- Χαρακτηριστικά παραδείγματα:
 - Ισχυρή ευαισθησία πολιτικών διαχείρισης έναντι κριτηρίων ενέργειας και ελλείμματος
 - Εκτροπή 600 hm³ με αποκλειστικό κριτήριο την ενεργειακή απόδοση μη αποδεκτή
- Η εκτροπή έχει σημαντική θετική επιρροή στην παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας, εφόσον συνδυάζεται με αντλησιοταμίευση, το οποίο παρέχει, επιπλέον, πρόσφορο έδαφος για την εκμετάλλευση της πλεονάζουσας ενέργειας από ΑΠΕ.
- Ακόμα και αν δεν υλοποιηθεί η εκτροπή, η κατασκευή των έργων Πύλης και Μουζακίου κρίνεται αναγκαία καθώς συμβάλλει σε σημαντική μείωση του ελλείμματος στη Θεσσαλία.
- Στη διάταξη χωρίς εκτροπή οι απολήψεις από τις γεωτρήσεις παραμένουν πολύ υψηλές, ακόμα και με την υπόθεση μείωσης της αρδευτικής ζήτησης, ενώ, αντίθετα, ακόμη και η μικρή εκτροπή των 250 hm³ ανακουφίζει τους υδροφορείς.
- Η εκτροπή δεν λύνει πλήρως το πρόβλημα των ελλειμμάτων στη Θεσσαλία, καθώς παραμένουν σημαντικές εκτάσεις (800 000 στρέμματα) που αρδεύονται μόνο από γεωτρήσεις.
- Οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί ικανοποιούνται επαρκώς (μέσο ετήσιο έλλειμμα <1%).
- Από τις αναλύσεις θεωρούμε πλέον πρόσφορο το σενάριο Δ1-E2 (πλήρες σχήμα έργων, με εκτροπή 250 hm³), που εξασφαλίζει ετήσια πρωτεύουσα ενέργεια 1960 GWh, με πολύ μικρή πιθανότητα αρδευτικών αστοχιών (4% σε ετήσια βάση).



Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας