

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ
(Ε.Γ.Μ.Ε.)

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

3^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Επιμέλεια Έκδοσης

Β. Αντωνόπουλος,
Κ. Ακριτίδης και Κ. Τσατσαρέλης

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

29-31 Μαΐου 2003

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (Ε.Γ.Μ.Ε.) ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 1993 με έδρα την Αθήνα και είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης Γεωργικών Μηχανικών (EurAgEng). Η επωνυμία της αποδίδεται στην αγγλική ως "Hellenic Society of Agricultural Engineers" (HelAgEng). Τα μέλη της σήμερα φθάνουν τα 140.

Το παρόν τεύχος των πρακτικών περιέχει 60 επιστημονικές ανακοινώσεις που παρουσιάστηκαν στο 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, το οποίο έλαβε χώρα στη Θεσσαλονίκη από 29-31 Μαΐου 2003. Όλες οι εργασίες κρίθηκαν από μέλη της Επιστημονικής Επιτροπής και άλλους ειδικούς επιστήμονες. Το συνέδριο οργανώθηκε υπό την αιγίδα του Τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Το συνέδριο δίνει την ευκαιρία στο επιστημονικό δυναμικό της χώρας μας να παρουσιάσει την πρόοδο της Επιστήμης και τις νέες μεθόδους προσέγγισης που αφορούν τη διαχείριση των υδάτινων και εδαφικών πόρων, τα γεωργικά μηχανήματα, τις αγροτικές κατασκευές, την επεξεργασία γεωργικών προϊόντων, την ενέργεια, τις νέες τεχνολογίες και ως επιστέγασμα όλων το περιβάλλον. Απευθύνεται σε πτυχιούχους θετικών επιστημών, οι οποίοι είτε λόγω μεταπτυχιακής εκπαίδευσης, είτε λόγω μακράς ενασχόλησης σε σχετικά αντικείμενα απέκτησαν ειδικές γνώσεις σε ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω γνωστικά πεδία.

Η συζήτηση και τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από το Συνέδριο πιστεύουμε ότι θα εδραιώσουν το ρόλο του Γεωργικού Μηχανικού στη χώρα μας. Εκφράζονται θερμές ευχαριστίες προς τα μέλη της Οργανωτικής και Επιστημονικής Επιτροπής του συνεδρίου, τους συγγραφείς και τους κριτές των εργασιών που αφιέρωσαν πολύτιμο χρόνο για την επιστημονικά αρτιότερη εμφάνιση του συνεδρίου.

Προς την Πρυτανεία, την Επιτροπή Ερευνών του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, το Υπουργείο Πολιτισμού, την Asprofos καθώς και τους άλλους χορηγούς και εκθέτες απευθύνονται ειλικρινείς ευχαριστίες για την οικονομική ενίσχυση που προσέφεραν ώστε να πραγματοποιηθεί με επιτυχία το παρόν συνέδριο.

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2003

Καθηγητής, Κων/νος Β. Ακριτίδης
Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής

Οργανωτική Επιτροπή Συνεδρίου

Ακριτίδης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ., Πρόεδρος ΕΓΜΕ

Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Γεωργίου Π., Γεωπόνος Α.Π.Θ.

Γιαννόπουλος Σ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μήτσιου Κ., Γεωπόνος Δημ. Υπ.

Μπαλουκτσής Σ., Πρόεδρος Ε.Κ.Γ.Μ.Β.Ε.

Παυλάτου-Βε Α., Επ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Σακελλαρίου Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.

Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ., ΔΣ ΕΓΜΕ

Κωνσταντινίδου Μ. γραμματέας συνεδρίου

Επιστημονική Επιτροπή

Ακριτίδης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Γέμτος Θ., Καθηγητής Π.Θ.

Γιαννόπουλος Στ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Ζήσης Θ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Καραμούζης Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ.

Κυρίτσης Σ., Ομ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

Μαρτζόπουλος Γ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μισοπολινός Ν., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μπριασούλης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.

Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Παναγιωτόπουλος Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Παπαδάκης Γ., Επ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

Παπαμιχαήλ Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Παρισόπουλος Γ., ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.

Παυλάτου-Βε Α., Επ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.

Συγριμής Ν., Καθηγητής Γ.Π.Α.

Τερζίδης Γ., Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.

Τζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Κριτές Επιστημονικών Εργασιών

Ακριτίδης Κων/νος, Αντωνόπουλος Βασίλης, Βουγιούκας Σταύρος, Γαλανοπούλου Στέλλα, Γέμτος Θεοφάνης, Γεωργακάκης Δημήτριος, Γιαννόπουλος Σταύρος, Δαλέζιος Νικόλαος, Δαναλάτος Νικόλαος, Ζήσης Θωμάς, Καραμούζης Διαμαντής, Κερκίδης Πέτρος, Κίττας Κων/νος, Κυρίτσης Σπύρος, Κωστοπούλου Σοφία, Ελευθεροχωρινός Ηλίας, Λαζαρίδης Χαράλαμπος, Λαμπρινός Γεώργιος, Μαρτζόπουλος Γεράσιμος, Μαυρογιαννόπουλος Γεώργιος, Μαντόγλου Αριστοτέλης, Μισοπολινός Νικόλαος, Μπαλτάς Ευάγγελος, Μπαμπατζιμόπουλος Χρήστος, Μπαρμπαγιάννης Νικόλαος, Μπριασούλης Δημήτρης, Νάνος Γεώργιος, Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χρυσούλα, Οικονόμου Αθανάσιος, Παναγιωτόπουλος Κυριάκος, Πανώρας Αθανάσιος, Παπαδάκης Γεώργιος, Παπαμιχαήλ Δημήτριος, Παπουτσή-Ψυχουδάκη Σοφία, Παυλάτου-Βε Αθηνά, Πιτσικής Ιωάννης, Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μαρία, Συλλαίος Νικόλαος, Σφακιωτάκης Ευάγγελος, Τερζίδης Γεώργιος, Τζιμόπουλος Χρήστος, Τσατσαρέλης Κων/νος, Τσιούρης Σωτήρης, Ψυχουδάκης Ασημάκης

Επικοινωνία - αλληλογραφία – πληροφορίες

Αντωνόπουλος Βασίλης
Καθηγητής Α.Π.Θ.
Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
54124 Θεσσαλονίκη
Τηλ. 2310 998745, 2310 998743, 2310 998744
Fax: 2310 998767
E-mail: vasanton@agro.auth.gr
Internet: www.egme.gr
EurAgEng: www.eurageng

ΧΟΡΗΓΟΙ

(Μέχρι 15 Απριλίου 2003)

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται από μέρους της Οργανωτικής Επιτροπής του Συνεδρίου στους χορηγούς και τους εκθέτες που βοήθησαν στην υλοποίησή του.

- Ασπροφός Α.Ε.
- Υπουργείο Πολιτισμού
- Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσσαλονίκης – Επιτροπή Ερευνών

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Υδατικοί Πόροι - Υδρολογία

	Σελ
«Η πλήρης ανάκτηση κόστους για τις υπηρεσίες ύδατος στην οδηγία 2000/60 για τα νερά» Σ. Γιαννόπουλος, Χ. Τζιμόπουλος	3
«Συγκριτική ανάλυση των εκτιμήσεων των αιχμών απορροής με συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα και με εμπειρικές σχέσεις» Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Μ. Παπαμιχαήλ, Δ. Ν. Καραμούζης	11
«Εκτίμηση καμπυλών διάρκειας παροχών στον ποταμό Αλιάκμονα» Ε.Α. Μπαλτάς	20
«Εμπειρίες από την ανάλυση τεσσάρων ισχυρών επεισοδίων βροχής στην Αττική την περίοδο Μαΐου-Νοεμβρίου 2002» Ε.Α. Μπαλτάς,	29
«Μοντέλο Νευρωνικού Δικτύου για την εκτίμηση της μέσης ετήσιας στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδος» Α. Σπυρίδης, Β. Κουτάλου, Ν. Γκιτσάκης	36
«Δυνατότητες εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα Κρασιάς Ελασσόνας, Θεσσαλία» Α. Κ. Μανάκος, Γ. Χ. Δημόπουλος	43

Υδατικοί Πόροι - Αρδεύσεις

«Εκτίμηση της ειδικής παροχής άρδευσης σε ένα προτεινόμενο σχέδιο διαχείρισης των ταμιευτήρων Ολυνθίου, Χαβρία και Πετρένια Χαλκιδικής» Δ. Μ. Παπαμιχαήλ, Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Ν. Καραμούζης	53
«Επίδραση της συχνότητας άρδευσης με σταγόνες στην απόδοση βιομάζας αραβοσίτου» Θ. Λέλλης, Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Γ. Μαρτζόπουλος	61
«Παραγωγικότητα καλλιέργειας αραβοσίτου συναρτήσει του εύρους άρδευσης με σύστημα στάγδην» Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Θ. Λέλλης, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη	69
«Σχέσεις νερού και ποιοτικών χαρακτηριστικών βαμβακιού» Δ. Καλφούντζος, Ι. Αλεξίου, Π. Βύρλας, Σ. Κωτσόπουλος, Γ. Ζέρβα	77

Γεωργικά Μηχανήματα

«Ανάπτυξη βαμβακιού κάτω από κατεργασία υπεδαφοκαλλιεργητή με αβαθή στελέχη» Ι. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Χρ. Καβαλάρης, Δ. Παπαμιχαήλ, Θ. Γέμτος	87
«Ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας υπεδαφοκαλλιεργητή με προσθήκη υνίων για αβαθή κατεργασία» Ι. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Χρ. Καβαλάρης, Θ.Α. Γέμτος	95
«Αυτοκινούμενα οχήματα στη γεωργία» Σ. Φουντάς, Θ.Γέμτος, S. Blackmore	103
«Πειραματική μελέτη του μηχανικού εξοπλισμού για σπορά βαμβακιού υπό κάλυψη» Θ. Σταθάκος και Θ. Γέμτος	111
«Επίδραση καλλιεργητικών τεχνικών στην απόδοση και το ενεργειακό κόστος επίσπορου αραβοσίτου» Α.Σ. Λιθουργίδης, Κ.Α. Τσατσαρέλης	119
«Ελκυστήρες με σύγχρονο εξοπλισμό σε εργασίες κατασκευής δασικών δρόμων και μετατόπισης ξύλου» Πλ. Καραρίζος, Ε. Καραγιάννης, Π. Εσκίογλου	127
«Μελέτη των φθορών δασικών δρόμων που προκαλούνται από μέσα μεταφοράς» Π. Εσκίογλου, Ε. Καραγιάννης, Πλ. Καραρίζος	136
«Αριστος χρόνος αντικατάστασης βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών» Ε. Μυγδάκος, Γ. Κιτσοπανίδης, Θ.Α. Γέμτος	144

Επεξεργασία Γεωργικών Προϊόντων

«Μέτρηση της αναπνοής οπωροκηπευτικών συντηρουμένων με τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Εφαρμογή στο μανιτάρι» Δ. Γεωργακοπούλου, Π. Δημαρέλη, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου, Δ. Μητρόπουλος	153
«Επίδραση της θερμοκρασίας και της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στην ποιότητα της πιπεριάς» Σ. Χαρίτση, Ι. Μαρίτσα, Ν. Παυλίκου, Ε. Μανωλοπούλου	159
«Επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης στο ρυθμό και στη θερμότητα αναπνοής καλλιεργουμένων μανιταριών» Π. Δημαρέλη, Γ. Βαρζακάκος, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου	167

«Μεταβολή του ρυθμού και της θερμότητας αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης δύο ποικιλιών μήλων» Μ. Κανάκη, Γ. Λαμπρινός, Δ. Μητρόπουλος, Ε. Μανωλοπούλου	174
«Επίδραση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στην αναπνευστική δραστηριότητα μήλων Pilafa Delicious» Ι. Καμβύση, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου, Δ. Μητρόπουλος	180
«Συγκριτική διερεύνηση της παραγωγικότητας καλλιέργειας τρανταφυλλιάς σε ανοικτό και κλειστό υδροπονικό σύστημα» Α. Μπιμπή, Χ. Λύκας, Γ. Νάνος, Κ. Κίττας	188

Νέες Τεχνολογίες στη Γεωργία

«Σχεδιασμός ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ανεμογεννήτρια και Φωτοβολταϊκά» Ε. Mohamed, Γ. Παπαδάκης	199
«Τεχνική εισαγωγής λάθους στο λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή στροφών των γεωργικών ελκυστήρων» Ι. Γράβαλος	207
«Ανάπτυξη ενός φωτοβολταϊκού αντλητικού συγκροτήματος με κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίς συσσωρευτές» Μ. Predescu, Α. Cracinescu, Α. Καλλιβρούσης, Γ. Παπαδάκης	214
«Γεωργία ακριβείας στο βαμβάκι: Συσχέτιση χαρτών παραγωγής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας» Αθ. Μαρκινός, Θ. Γέμτος, Α. Τούλιος, Δ. Πατέρας, Γ. Ζέρβα, Μ. Παπαοικονόμου	222
«Γεωργία ακριβείας: Προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στην Νότια Ευρώπη» Θ.Α. Γέμτος, Σπ. Φουντάς, Α. Μαρκινός, S. Blackmore	230
«Τράπεζα δοκιμών για τον καθορισμό της ευστάθειας γεωργικών μηχανημάτων» Θ. Γιαλαμάς, Ζ. Κουτσοφίτης, Αγ. Φιλίντας	238

Γεωργία και Περιβάλλον

- «Σύγκριση της απόδοσης δεξαμενών σταθεροποίησης και συμβατικής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων»
Α. Παπαδόπουλος, Γ. Παρισσόπουλος, Φ. Παπαδόπουλος 249
- «Ορισμένα στοιχεία της λειτουργίας του συστήματος Remos στο Δέλτα του Νέστου για τον ποσοτικό και ποιοτικό έλεγχο των υδατικών πόρων μετά τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών έργων»
Α. Ψιλοβίκος, Κ. Αλμπανάκης, Σ. Μαργώνη, Αρ. Ψιλοβίκος, Χ. Μακρυγιώργος 257
- «Αρδευση πρασίνου με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα»
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Ι. Τέντας, Α. Κολιού, Δ. Καλφούντζος, Ν. Παπανίκος. 265
- «Παράμετροι ποιότητας νερού των υδροτόπων Ν. Φώκαιας Χαλκιδικής»
Σ. Καλπάκης, Σ.Ε. Τσιούρης 273
- «Η επίδραση κομπόστας (φυτικής προέλευσης) στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος καλαμποκιού (*Zea mays* L)»
Β. Ντούπη, Α. Παυλάτου-Βε, Σ. Σακελλαριάδης 282
- «Επίδραση τρόπου – χρόνου κατεργασίας του εδάφους και εφαρμογής ζιζανιοκτόνων στην εμφάνιση των ζιζανίων»
Σ. Δ. Σουϊπας, Π. Χ. Λόλας, Θ. Α. Γέμτος 290

Μαθηματικά μοντέλα στη Γεωργία

- «Προσομοίωση του νερού και της θερμοκρασίας με το μοντέλο WANISIM, σε έδαφος με φυτά»
Β.Ζ. Αντωνόπουλος, Δ.Δ. Μιχαηλίδου 301
- «Μελέτη ενός εκθετικού μοντέλου πρόσληψης νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών»
Χ. Γεωργούσης, Χ. Μπαμπατζιμόπουλος 309
- «Συμπεριφορά φυτοφαρμάκων μετά την εφαρμογή τους στο έδαφος»
Π. Κερκίδης, Ι. Αργυροκαστρίτης, W.O. Ochola 318
- «Διακοπτικός ελεγκτής εδαφικής υγρασίας»
Ι. Γράβαλος 327

Αγροτικές κατασκευές

«Η χιονοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους ευρωκώδικες» Μ. Θεοχάρης	337
«Μελέτη ολοκληρωμένου προγράμματος διαχείρισης θερμοκηπίων» Θ. Κωτσόπουλος, Γ. Μαρτζόπουλος, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου	345
«Επίδραση δύο νέων φωτοεκλεκτικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίων στο περιβάλλον και στην καλλιέργεια τομάτας» Χ. Παπαϊωάννου, D. Obeid, Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας	354
«Επίδραση φύλλων κάλυψης θερμοκηπίου απορροφητικών στη UV ακτινοβολία στη δραστηριότητα εντόμων σε καλλιέργεια τομάτας» Α. Βατσανίδου, Ι. Μαργαριτόπουλος, Χ. Παπαϊωάννου, Ι.Α. Τσιτσιπής, Κ. Κίττας	362
«Αριθμητική και πειραματική διερεύνηση του φυσικού αερισμού θερμοκηπίου» Θ. Μπαρτζάνας, Κ.Κίττας.	370
«Διερεύνηση της κατανομής θερμοκρασίας και υγρασίας σε μερικά σκιασμένο θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα υγρής παρειάς» Κ.Κίττας, Α. Κοντές, Θ. Μπαρτζάνας	379
«Επίδραση διάφορων τεχνικών ελέγχου των υπερθερμάνσεων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου» Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας.	387
«Συγκριτική μελέτη της επίδρασης του αερισμού, της σκίασης και του δροσισμού των θερμοκηπίων σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς» Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας	395
«Θέρμανση θερμοκηπίων με γεωθερμική ενέργεια: Επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης» Ι. Χοτζακιάνης, Γ. Μαρτζόπουλος, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου	403
«Εμπλουτισμός θερμοκηπίων με CO ₂ σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών για εξοικονόμηση ενέργειας» Δ. Βαφειάδης, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου, Γ. Μαρτζόπουλος	413
«Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης της αντλίας θερμότητας στο χοιροστάσιο» Ν. Οικονόμου, Γ. Λαμπρινός	421

Ενέργεια στη Γεωργία

«Δυναμικό μοντέλο και έλεγχος συστήματος ανάκτησης ενέργειας σε διεργασίες ξήρανσης» Σ. Βουγιούκας, Α. Δημητριάδης, Κ. Ακριτίδης	431
«Υπολείμματα καλλιέργειας βαμβάκος και παραγωγή βιομάζας στο Νομό Καρδίτσας» Θ. Λέλλης, Γ. Μαρτζόπουλος, Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Αν. Μπλούκα, Μ. Λιναρδοπούλου	441
«Ενεργειακό και θρεπτικό δυναμικό των Ζωϊκών Αποβλήτων στην Ελλάδα» Μ. Μαρδίκης	449
«Δυναμικό γεωργικών υπολειμμάτων για παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα» Α. Νικολάου, Ι. Παπαμιχαήλ, Β. Λυχνάρας, Κ. Πανούτσου	457
«Ενεργειακό ισοζύγιο συμβατικής και ολοκληρωμένης διαχείρισης της μηλοκαλλιέργειας» Α. Στραπάτσα, Γ.Δ. Νάνος, Ν. Σκρέτα, Ι. Πέτκου, Η. Παπακωνσταντίνου, Ε.Μ. Σφακιωτάκης, Κ.Α. Τσατσαρέλης	465
«Προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας κατά την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας του εδάφους στο σιτάρι» Χρ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Ι. Παπαθανασίου, Θ.Α. Γέμτος	473
«Υπολογισμός συνολικών εισροών και εκροών ενέργειας στα ζαχαρότευτλα για 5 μεθόδους κατεργασίας εδάφους» Χρ. Καβαλάρης, Θ.Α. Γέμτος	481
«Ελαιοκράμβη (<i>Brassica</i> sp.) μία υποσχόμενη καλλιέργεια για την παραγωγή βιοντήζελ στην Ελλάδα» Ε.Νάματοβ, Α. Νικολάου, Μ. Μαρδίκης, Κ. Πανούτσου	489
«Τα πολυμέσα Η/Υ ως εργαλείο ενίσχυσης της εκπαιδευτικής διαδικασίας στη γεωργική μηχανική» Αγ. Φιλίντας, Κ. Δούκας, Θ. Γιαλαμάς, Β. Στανιός	497
«Απλή και ακριβής μέθοδος σταθερής στράγγισης διαστρωμένων εδαφών» Γ.Τερζίδης	505
Ευρετήριο συγγραφέων	515

Υδατικοί Πόροι Υδρολογία

Η ΠΛΗΡΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΥΔΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ 2000/60 ΓΙΑ ΤΑ ΝΕΡΑ

Στ. Γιαννόπουλος και Χρ. Τζιμόπουλος

Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, 54124 Θεσσαλονίκη, Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Οδηγία 2000/60 θεωρεί το νερό «κοινωνικό» και «οικονομικό» αγαθό. Ο σημαντικότερος, ίσως, στόχος της οδηγίας και ο πιο αμφιλεγόμενος, που επηρεάζει, όμως, όλους τους παραγωγικούς στόχους, αλλά και όλες τις χρήσεις νερού είναι η *ανάκτηση του συνολικού κόστους των υπηρεσιών νερού* (άρθρο 9.1). Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συνοπτική παρουσίαση των απαραίτητων βημάτων για την υλοποίηση της ανάκτησης του συνολικού κόστους των υπηρεσιών νερού, των διαθέσιμων εργαλείων και μεθόδων για τον αναλυτικό υπολογισμό του διαφόρων κοστών που ορίζει η Οδηγία (οικονομικό, περιβαλλοντικό και φυσικών πόρων) και τέλος, των βασικών αρχών και των απαιτήσεων για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση των πολιτικών τιμολόγησης των υπηρεσιών νερού.

Λέξεις κλειδιά: νερό, πολιτική νερού της Ε.Ε., πλήρης ανάκτησης κόστους νερού, υπηρεσίες ύδατος

THE FULL RECOVERY COST IN WATER SERVICES SECTOR AFTER DIRECTIVE 2000/60/EC

St. Yannopoulos and Ch. Tzimopoulos

Department of Rural and Surveying Engineering, GR 54124, Thessaloniki, Aristotle University, Greece.

ABSTRACT

The 2000/60/EC Water Framework Directive considers water as “social” and “economic” good. Full recovery cost is, perhaps, the most important and the most ambiguous goal of the directive, since it affects all the productive plans and the water uses (article 9.1). The present paper aims to the brief presentation of the necessary steps for the full recovery cost of the water services implementation, the available tools and the processes for the analytical calculation of the different costs according to the directive (economic, environmental and natural resources). Finally, it also aims to the presentation of the basic principles and requirements for the design and the realization of policies concerning water services pricing.

Keywords: water, EU water policy, full cost recovery, water services

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Οδηγία 2000/60 [1] για τα Νερά ορίζει το πλαίσιο για την ποιοτική και την ποσοτική προστασία των υδατικών πόρων της Ευρωπαϊκής Ένωσης και θεσπίζει τις βασικές αρχές μιας ενιαίας ευρωπαϊκής υδατικής πολιτικής. Ο βασικός στόχος της οδηγίας είναι η επίτευξη *καλής κατάστασης υδάτων* για όλα τα υδάτινα σώματα των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το έτος 2015 με την εφαρμογή κατάλληλων προγραμμάτων ορθής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Μια εκτεταμένη αναλυτική παρουσίαση της Οδηγίας ως προς τα μέτρα που προβλέπει και τις επιπτώσεις από την εφαρμογή τους δίνεται από τους Kalis and Buttler [4].

Σκοπός της Οδηγίας είναι η θέσπιση πλαισίου για την προστασία όλων των υδάτινων σωμάτων (εσωτερικών επιφανειακών, μεταβατικών, παράκτιων και υπόγειων), ώστε:

- α. Να αποτρέπεται η περαιτέρω επιδείνωση, να προστατεύεται και να βελτιώνεται η κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων και των αμέσως εξαρτωμένων από αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων σε ότι αφορά τις ανάγκες τους σε νερό.
- β. Να προωθείται η βιώσιμη διαχείριση του νερού μέσω της μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατικών πόρων.
- γ. Να προστατεύεται και να βελτιώνεται το υδάτινο περιβάλλον με ειδικά μέτρα για την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, των εκπομπών και των διαρροών ρύπων ή ομάδων ρύπων, που αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για το περιβάλλον.
- δ. Να εξασφαλίζεται η προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και να αποτρέπεται η περαιτέρω μόλυνση τους.
- ε. Να περιορίζονται οι επιπτώσεις από πλημμύρες και ξηρασίες.
- στ. Να βελτιωθεί η αποδοτικότητα και η αποτελεσματικότητα της πολιτικής επί των υδατικών πόρων με συγκεκριμένους στόχους και μειωμένο κόστος.

Βασικές αρχές της οδηγίας είναι ότι: α) Το νερό δεν αποτελεί εμπορικό προϊόν, αλλά κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει της κατάλληλης μεταχείρισης. β) Ο ρυπαίνων πληρώνει. γ) Η ύδρευση είναι υπηρεσία κοινής ωφέλειας. δ) Η διατήρηση της ποιότητας αποτελεί προϋπόθεση για την προφύλαξη και την προληπτική προστασία των υδατικών πόρων. ε) Οι λεκάνες απορροής ποταμού αποτελούν το διαχειριστικό μοντέλο, ενώ στις λεκάνες απορροής που εκτείνονται πέρα από τα σύνορα του κράτους-μέλους καθορίζεται η συνδιαχείριση με τα οικεία τρίτα κράτη.

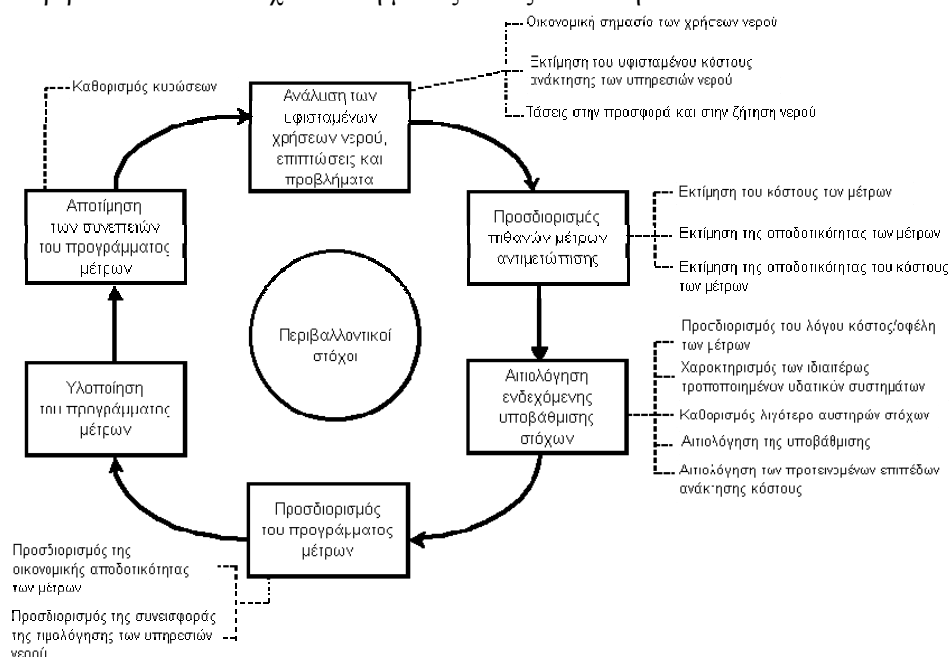
Η άποψη ότι το νερό αποτελεί οικονομικό αγαθό αντιμετωπίζει το πρόβλημα της ορθολογικής κατανομής των περιορισμένων υδατικών πόρων σε ανταγωνιστικές χρήσεις, όμως, εγκυμονεί κινδύνους για αυτούς που δεν μπορούν να πληρώσουν την αξία του για να το αποκτήσουν. Η Οδηγία συνθέτει μεν το σύνολο των αρχών που διέπουν την ορθολογική και ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων, θέτει, όμως, ένα ιδιαίτερα φιλόδοξο αλλά και αμφιλεγόμενο στόχο δηλαδή να ληφθούν υπόψη στην πολιτική διαχείρισης των υδατικών πόρων τα κόστη για το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους.

Επομένως, σύμφωνα με την Οδηγία η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων εξαρτάται όχι μόνο από περιβαλλοντικούς, αλλά και από οικονομικούς και κοινωνικούς περιορισμούς ανεξάρτητα από την κατάσταση των υδατικών πόρων.

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Η Οδηγία αναγνωρίζει την οικονομική διάσταση του νερού και καθιστά λειτουργική την βασική αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», η οποία είναι μια καινοτομία στην νομοθεσία για την προστασία του περιβάλλοντος στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Αν και τα θέματα της οικονομικής ανάλυσης είναι διάσπαρτα στην Οδηγία, παρά ταύτα αλληλοσυνδέονται αυτά μεταξύ τους. Στο σχήμα 1 απεικονίζονται τα οικονομικά στοιχεία που καθορίζει η Οδηγία για την εφαρμογή των περιβαλλοντικών στόχων και η μεταξύ τους σύνδεση.



Σχήμα 1. Αλληλοσύνδεση των οικονομικών στοιχείων της Οδηγίας

Για την άσκηση πολιτικής νερού και την ανάπτυξη ολοκληρωμένων σχεδίων διαχείρισης της λεκάνης απορροής ποταμού για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που καθορίζει, η Οδηγία βασίζεται στην εφαρμογή οικονομικών αρχών («ο ρυπαίνων πληρώνει») και στην χρήση οικονομικών μεθόδων και μέσων (ανάλυση αποτελεσματικότητας του κόστους) και οικονομικών μέτρων (τιμολόγηση νερού). Συγκεκριμένα τα κράτη μέλη:

- Οφείλουν να εκπονήσουν μελέτες οικονομικής ανάλυσης των χρήσεων του νερού σε καθεμία λεκάνη απορροής ποταμού, οι οποίες θα οδηγούν στην

εκτίμηση των κατάλληλων μέτρων για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της Οδηγίας με το χαμηλότερο κόστος. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης θα αναφέρονται στα σχέδια διαχείρισης της λεκάνης.

- Οφείλουν να προωθήσουν πολιτικές τιμολόγησης, οι οποίες θα παρέχουν ικανοποιητικά κίνητρα για την βιώσιμη χρήση των υδατικών πόρων και θα ενθαρρύνουν τους χρήστες να χρησιμοποιούν λιγότερο νερό και να μειώνουν την ρύπανση.
- Οφείλουν να εξασφαλίζουν ένα ικανοποιητικό κόστος ανάκτησης των υπηρεσιών νερού από τις διάφορες χρήσεις αυτού, το οποίο πρέπει να κατανέμεται τουλάχιστον στην βιομηχανία, στην γεωργία και στα νοικοκυριά.
- Μπορούν να καθορίσουν με οικονομικά κριτήρια τα υδάτινα συστήματα, τα οποία είναι ιδιαιτέρως τροποποιημένα λόγω φυσικών αλλοιώσεων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.
- Μπορούν να δικαιολογήσουν με οικονομικά κριτήρια τον χρόνο για την βελτίωση της κατάστασης υδατικών συστημάτων.

3. Η ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΝΕΡΟΥ

Σύμφωνα με την Οδηγία (άρθρα 4, 5.1, 9.1, 11 και παράρτημα ΙΙΙ) η εκτίμηση της ανάκτησης του συνολικού κόστους των υπηρεσιών ύδατος περιλαμβάνει: α) Τον ορισμό των υπηρεσιών ύδατος, των χρήσεων ύδατος, των φορέων παροχής και των ρυπαντών. β) Την εκτίμηση του συνολικού κόστους των υπηρεσιών ύδατος. γ) Την εκτίμηση του μηχανισμού ανάκτησης του κόστους και της κατανομής του στους χρήστες. δ) Την εκτίμηση του βαθμού ανάκτησης του οικονομικού κόστους.

3.1. Οι υπηρεσίες ύδατος και οι χρήσεις νερού

Στην Οδηγία γίνεται διαχωρισμός μεταξύ των υπηρεσιών ύδατος και των χρήσεων ύδατος. Συγκεκριμένα, ως «υπηρεσίες ύδατος» (άρθρο 2 παρ. 38) καθορίζονται όλες οι διεργασίες που παρεμβάλλονται μεταξύ των φυσικών υδατικών πόρων και των χρήσεων ύδατος χωρίς να περιλαμβάνεται η κατανάλωση ύδατος, αλλά μόνο η διαφοροποίηση των βασικών χαρακτηριστικών αυτού πριν και μετά την χρήση του. Επομένως, μια υπηρεσία ύδατος δεν καταναλώνει νερό και δεν παράγει ρύπανση, αν και θα μπορούσε να προκαλέσει μορφολογικές μεταβολές στο υδάτινο οικοσύστημα, όπως για παράδειγμα στην χωρική κατανομή του νερού (μεταφορά νερού από την θέση της υδροληψίας σε θέση που θα είναι διαθέσιμο σε όλους τους χρήστες π.χ. δίκτυα ύδρευσης), στην χρονική κατανομή του νερού (αποθήκευση, έλεγχος ροής του νερού π.χ. φράγματα, λιμνοδεξαμενές για άρδευση, ύδρευση κ.λπ.), στο ύψος νερού (μεταβολή της δυναμικής ενέργειας του νερού π.χ. φράγματα, εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας), στην χημική σύσταση του νερού (επεξεργασία αποβλήτων, επεξεργασία νερού για ύδρευση κ.λπ.) και στην

θερμοκρασία του νερού (ψύξη του νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πριν από την απόρριψη του στους φυσικούς αποδέκτες).

Κατ' αυτή την έννοια, λοιπόν, στην έννοια των υπηρεσιών ύδατος περιλαμβάνονται: α) Η άντληση, η αποθήκευση, η μεταφορά, η επεξεργασία, η διανομή επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. β) Η αποχέτευση, η μεταφορά, η επεξεργασία και η διάθεση των αποβλήτων. γ) Η κατασκευή και η συντήρηση των εγκαταστάσεων αποθήκευσης νερού, των δικτύων μεταφοράς και των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. δ) Η παρακολούθηση και ο έλεγχος της ποιότητας και της ποσότητας των υδατικών πόρων. ε) Η διαχείριση των πλημμυρών. στ). Η τεχνητή επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων.

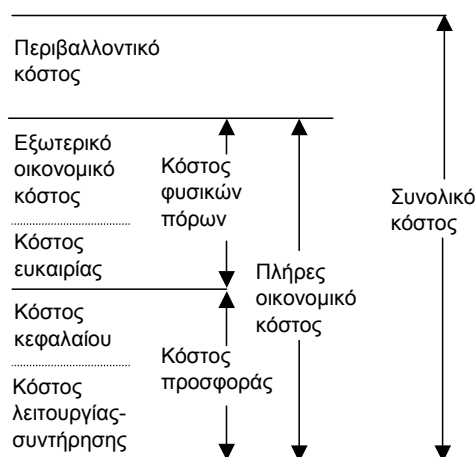
Ο ρόλος των υπηρεσιών ύδατος, σύμφωνα με την Οδηγία, είναι πολύ σημαντικός, αφού πρέπει να εξασφαλίζουν την προμήθεια πόσιμου νερού και την κατάλληλη αποχέτευση, κατά τρόπο τέτοιο που να προστατεύεται το υδάτινο περιβάλλον. Στην πραγματικότητα, οι υπηρεσίες νερού αποτελούν τον συνδετικό κρίκο μεταξύ των χρηστών νερού, των ρυπαντών και των φυσικών υδάτινων συστημάτων. Συνεπώς, οι υπηρεσίες ύδατος αναλαμβάνουν τεράστιες περιβαλλοντικές ευθύνες για την προστασία των υδάτινων πόρων από την υπερεκμετάλλευση και την ρύπανση.

Ως «χρήσεις ύδατος» (άρθρο 2 παρ. 39) καθορίζονται το σύνολο των υπηρεσιών νερού και των δραστηριοτήτων που έχουν σημαντική επίπτωση στην κατάσταση του νερού. Η έννοια αυτή είναι ευρύτερη και περιλαμβάνει εκτός από τις υπηρεσίες νερού και κάθε άλλη δραστηριότητα που έχει σημαντικές επιπτώσεις στην κατάσταση του νερού. Σε αντίθεση με τις υπηρεσίες νερού, για τις χρήσεις νερού η Οδηγία δεν δίνει μια λίστα με τις χρήσεις νερού που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Με τον ορισμό, όμως, που δίνει η Οδηγία θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι καλύπτονται σχεδόν όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες δηλαδή τα νοικοκυριά, η γεωργία, η βιομηχανία, η ναυσιπλοΐα, η αντιπλημμυρική προστασία, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η αναψυχή. Σημειώνεται, πάντως, ότι μερικές δραστηριότητες μπορούν να μην έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην κατάσταση του νερού, αλλά και να μην είναι υπηρεσίες ή χρήσεις νερού. Για παράδειγμα, η αλιεία σε ένα ποτάμι ή σε μια λίμνη δεν έχει επιπτώσεις στην κατάσταση του νερού, όμως, μπορεί η υπεραλιεία να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις στην οικολογία του ποταμού ή της λίμνης και στην κατάσταση της ποιότητας του νερού τους.

3.2. Η τιμολόγηση του πλήρους κόστους των υπηρεσιών νερού

Η οικονομική αξία του νερού έχει συστηματικά υποβαθμιστεί σχεδόν σε όλο τον κόσμο με αποτέλεσμα την υποτιμολόγηση του ή ακόμη και την δωρεάν παροχή του. Αυτό έχει προκαλέσει όχι μόνο μεγάλα οικονομικά ελλείμματα στους φορείς διαχείρισης των υδατικών πόρων, αλλά έδωσε στους χρήστες το δικαίωμα να υποτιμούν την πραγματική αξία του νερού και να το κατασπαταλούν με άμεση συνέπεια την καταστροφική διαχείριση του. Η Οδηγία αναφέρεται στην ανάκτηση του συνολικού κόστους των υπηρεσιών ύδατος και στην εκτίμηση όλων των συνιστωσών του. Όπως αναφέρουν οι Rogers et al. [6]

δεν υπάρχει ένας ακριβής ορισμός της έννοιας της «τιμολόγησης του πλήρους κόστους του νερού». Οι επιστήμονες είχαν προσπαθήσει, κατά το παρελθόν, να ερμηνεύσουν τον όρο αυτό, πλην όμως, δεν κατάφεραν να καταλήξουν σε ένα κοινά αποδεκτό ορισμό. Έτσι, ανάλογα με τις συνεπαγόμενες επιδιώξεις σε καθεμία περίπτωση, οι ορισμοί που δινότουσαν ήταν εντελώς διαφορετικοί και κανένας από αυτούς δεν ήταν πραγματικά πλήρης [7]. Το *πλήρες κόστος προσφοράς νερού* αποτελείται από το *πλήρες οικονομικό κόστος* και το *περιβαλλοντικό κόστος* που αφορά στην δημόσια υγεία, στην ποιότητα, στην βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων και στις ζημιές που προκαλούνται από την χρήση του νερού στο περιβάλλον και στα υδατικά συστήματα [3],[6]. Το *πλήρες οικονομικό κόστος προσφοράς* αποτελείται από το *κόστος προσφοράς* που είναι το *κόστος κεφαλαίου* και το *κόστος λειτουργίας και συντήρησης*, το *κόστος ευκαιρίας* που προέρχεται από τις εναλλακτικές χρήσεις ύδατος και το *εξωτερικό οικονομικό κόστος* που προκαλείται από μεταβολές των οικονομικών δραστηριοτήτων των έμμεσα επηρεαζόμενων τομέων (σχήμα 2).



Σχήμα 2. Συνιστώσες του συνολικού κόστους των υπηρεσιών νερού.

3.3. Ο επιμερισμός του συνολικού κόστους στους χρήστες νερού

Η Οδηγία (άρθρο 9.1 και παράρτημα III) καθορίζει τον επιμερισμό του κόστους των υπηρεσιών νερού στους διάφορους τομείς με βάση την οικονομική ανάλυση των χρήσεων νερού και την αρχή ο «ρυπαίνων πληρώνει». Ο επιμερισμός αυτός θα πρέπει να γίνει στους χρήστες και στους ρυπαντές ανάλογα με την ποσότητα των υπηρεσιών που χρησιμοποιούν και το κόστος που προκαλούν. Η συμμετοχή των χρηστών νερού στο κόστος των υπηρεσιών μειώνεται από τις επιχορηγήσεις που παρέχονται είτε στους παροχείς των υπηρεσιών είτε στους χρήστες. Οι επιχορηγήσεις αυτές δρουν ανασταλτικά στην βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων, που αποτελεί το βασικό στόχο της Οδηγίας. Οι επιχορηγήσεις μπορούν να είναι είτε άμεσες κρατικές, όπως π.χ. συμμετοχή στις επενδύσεις των παροχών νερού (επιδότησεις δανείων,

κεφαλαίου κ.λπ.), επιδότηση των τιμών και των τελών που πληρώνουν οι χρήστες, επιχορήγηση του κόστους λειτουργίας κ.λπ., είτε έμμεσες επιχορηγήσεις με την κάλυψη μέρους του κόστους των υπηρεσιών που προκαλείται από άλλους χρήστες. Τέτοιου είδους επιχορηγήσεις μπορούν να προκληθούν ανάμεσα σε διαφορετικούς χρήστες υπηρεσιών νερού (νοικοκυριά, γεωργία, βιομηχανία), σε περιοχές με επαρκείς και περιορισμένους υδατικούς πόρους και σε μικρούς και μεγάλους καταναλωτές.

Σημειώνεται ότι στην κατανομή του κόστους των υπηρεσιών νερού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι επιχορηγήσεις, των οποίων, όμως, η κατανομή στους χρήστες δεν είναι μια εύκολη υπόθεση [5]. Συγκεκριμένα, σε μια περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού συνήθως υπάρχουν διάφορες υπηρεσίες ύδατος, που μπορούν να εξυπηρετούν μια σειρά οικονομικών στόχων. Για παράδειγμα, μπορεί να κατασκευαστεί μια σειρά από φράγματα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία, όμως, συγχρόνως ρυθμίζουν τις απορροές του ποταμού, ώστε να αποφεύγονται οι καταστροφικές πλημμύρες, ενώ το νερό των ταμιευτήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποθήκη νερού για την κάλυψη των αναγκών της ύδρευσης, της άρδευσης, της βιομηχανίας κ.λπ. Η οικονομική επιχορήγηση σε μια από τις ανωτέρω υπηρεσίες νερού θα διευκόλυνε τις δραστηριότητες της, πλην όμως από πρακτική άποψη θα μπορούσε να ωφελήσει και τις υπόλοιπες. Για την επιχορήγηση αυτή, που θα πρέπει να κατανεμηθεί και στις άλλες υπηρεσίες νερού, το ερώτημα που τίθεται είναι: «Ποια είναι ωφέλεια για καθεμία υπηρεσία νερού και πόσο θα πρέπει να είναι το μερίδιο της από την οικονομική επιχορήγηση;».

3.4. Τιμολόγηση του νερού και περιβαλλοντικοί στόχοι

Η Οδηγία (άρθρο 9.1) ορίζει ότι οι πολιτικές τιμολόγησης πρέπει να παρέχουν στους χρήστες τα κατάλληλα κίνητρα για να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τους υδάτινους πόρους και κατά συνέπεια να συμβάλλουν στους περιβαλλοντικούς στόχους αυτής. Μια συνετή τιμολόγηση του νερού θα αποσκοπούσε στην ανάκτηση μεν του πλήρους κόστους, συμπεριλαμβανομένων του κόστους των φυσικών πόρων και του περιβαλλοντικού κόστους, συγχρόνως, όμως θα λάμβανε υπόψη της και το κοινωνικό συμφέρον.

Τέλη για το νερό θα μπορούσαν να επιβληθούν για λόγους βιωσιμότητας των υδατικών πόρων και προστασίας του περιβάλλοντος. [2]. Για τις υπηρεσίες ύδατος και αποχέτευσης, λοιπόν, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν οι εξής αρχές: α) Οι επιβαρύνσεις να είναι κοινωνικά αποδεκτές. β) Οι τιμές, σε γενικές γραμμές, να αντικατοπτρίζουν το πραγματικό κόστος συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού κόστους χωρίς άλλες πρόσθετες επιβαρύνσεις. γ) Να μειώνεται το κόστος με την αύξηση της αποτελεσματικότητας, αλλά χωρίς συμβιβασμούς ως προς την προστασία και την ποιότητα του περιβάλλοντος και χωρίς υπέρβαση των αποδεκτών επιπέδων κινδύνου (risk). δ) Οι επιδοτήσεις μεταξύ χαμηλών και υψηλού εισοδήματος νοικοκυριών είναι αναπόφευκτη και αναγκαία, ώστε να καταστεί το νερό οικονομικά αποδεκτό από όλους.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Οδηγία 2000/60 εισάγει νέα πρότυπα, κριτήρια, θεσμούς και διαδικασίες για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού, ώστε να επιτευχθεί καλή κατάσταση για όλα τα ύδατα των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το έτος 2015. Για τον σκοπό αυτό θέτει σημαντικούς όρους για την προστασία της ποιότητας και της ποσότητας των υδατικών πόρων, υπόγειων και επιφανειακών, εισάγει την πολιτική της τιμολόγησης του νερού, την ολοκληρωμένη διαχείριση της λεκάνης απορροής ποταμού και την ενίσχυση της ενεργούς συμμετοχής όλων των φορέων, συμπεριλαμβανομένων των μη κυβερνητικών οργανισμών και των τοπικών κοινοτήτων στις δραστηριότητες διαχείρισης των υδάτων. Η υλοποίηση της Οδηγίας απαιτεί την τήρηση αυστηρών χρονοδιαγραμμάτων και την ενσωμάτωση της στις εθνικές νομοθεσίες. Η εμπειρία και η ικανότητα στην ανάπτυξη οικονομικής ανάλυσης για την υποστήριξη οικονομικών αποφάσεων σε κλίμακα λεκάνης απορροής ποταμού είναι περιορισμένη όχι μόνο στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και στις υποψήφιες προς ένταξη χώρες. Βασικοί περιορισμοί στην οικονομική ανάλυση είναι μια μέτρια βάση σχετικών πληροφοριών, περιορισμένη ικανότητα και όγκος πληροφοριών, περιορισμένη ενημέρωση μεταξύ των εμπειρογνομόνων νερού και των οικονομολόγων γύρω από τον ρόλο της οικονομίας στην διαχείριση και στην πολιτική των υδατικών πόρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. EC, 2000. *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*. L327/1 Official Journal of the European Communities.
2. European Environmental Bureau (EEB), 2002. *Environmental Principles for Water Services in the EU*. EEB Position Paper on Private Versus Public Water Services. EEB Publ. No: 2002/006.
3. Global Water Partnership (GWP), 2000. *Integrated water resources management*. SE-105 25. Stockholm, Sweden.
4. Kallis, G. and Butler, D., 2001. The EU water framework directive: measures and implications. *Water Policy*. 3:125-142.
5. OECD, 1997. *Water subsidies and the environment*. OECD. Paris
6. Rogers, P., Radhika de Silva and Bhatia, R., 2002. Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. *Water Policy*. 4: 1-17
7. Roth, W., 2001. *Water pricing in the EU. A review*. European Environmental Bureau. Publ. No. 2001/002.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΑΙΧΜΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΜΟΝΑΔΙΑΙΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

Π.Ε. Γεωργίου*, Δ.Μ. Παπαμιχαήλ και Δ.Ν. Καραμούζης

Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων
Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη, * e-mail: pantaz@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή, συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα και εμπειρικοί τύποι χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των αιχμών απορροής, σε υπό σχεδιασμό θέσεις φραγμάτων, σε τέσσερα υδατορεύματα της Χαλκιδικής. Οι αιχμές της απορροής για τις τέσσερις θέσεις των φραγμάτων υπολογίσθηκαν χρησιμοποιώντας την απορροϊκή βροχή μέγιστων βροχοπτώσεων συγκεκριμένης διάρκειας και διαφόρων περιόδων επαναφοράς. Οι μέγιστες απορροϊκές βροχές για τις βροχοπτώσεις σχεδιασμού εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας τις καμπύλες έντασης – διάρκειας – συχνότητας γειτονικών μετεωρολογικών σταθμών, τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) και την κατανομή τους με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής. Με τη βοήθεια των εκτιμήσεων των παραπάνω πλημμυρικών αιχμών έγινε η συγκριτική ανάλυση των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων και των εμπειρικών τύπων.

Λέξεις κλειδιά: Πλημμυρική αιχμή, εμπειρικές σχέσεις, συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PEAK FLOWS ESTIMATES WITH SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPHS PROCEDURES AND EMPIRICAL FORMULAS

P.E. Georgiou, D.M. Papamichail and D.N. Karamouzis

Laboratory of General and Agricultural Hydraulics and Land Reclamation
School of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

In this paper, synthetic unit hydrograph procedures and empirical formulas were used to estimate the peak flows for suggested dam locations on the four streams in Halkidiki. Peak flows for the four dam locations were computed by using maximum effective rainfall for given duration and return period design storms. The maximum effective rainfall for the design storms was estimated by using the intensity-duration-frequency curves of neighboring meteorological stations, the Curve Number infiltration loss rates and its distribution with alternating block method. By using the peak flow estimates it was done the comparative analysis of the synthetic unit hydrographs procedures and the empirical formulas.

Keywords: Peak flows, empirical formulas, synthetic unit hydrographs

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πιο σημαντικό στοιχείο ενός υδρογραφήματος, που είναι βασικό στις υδρολογικές μελέτες αλλά και στις μελέτες υδραυλικών κατασκευών, που ως σκοπό έχουν την αντιπλημμυρική προστασία, είναι η εκτίμηση του μεγέθους της αιχμής του. Η ιστορία είναι γεμάτη από περιστατικά πλημμυρών τα οποία προκάλεσαν και προκαλούν μεγάλες υλικές ζημιές και ανθρώπινα θύματα. Για το λόγο αυτό προκύπτει η ανάγκη διαστασιολόγησης νέων έργων ή επαναδιαστασιολόγησης ήδη υπαρχόντων έργων. Για να γίνει αυτό πρέπει να εκτιμηθούν οι αιχμές πλημμυρικών απορροών που προέρχονται από βροχοπτώσεις διαφόρων διαρκειών και περιόδων επαναφοράς. Οι πρώτες μέθοδοι που διερευνήθηκαν για το σκοπό αυτό ήταν εμπειρικές, ενώ στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα και τα μοντέλα βροχής–απορροής. Στην εργασία αυτή, γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των αιχμών απορροής που εκτιμώνται με δύο εμπειρικούς τύπους (ορθολογική μέθοδος και τύπος του Fuller) [1,2], που προτείνονται από το Π.Δ. 696/8-10-1974 για την εκτίμηση πλημμυρικών παροχών κατά την μελέτη υδραυλικών έργων και με δύο συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα (Sierra Nevada και S.C.S.) [1,3,4]. Η εκτίμηση των πλημμυρικών αιχμών γίνεται σε τέσσερις υδρολογικές λεκάνες του Ν. Χαλκιδικής (λεκάνη του χειμάρρου των Σημάντρων, λεκάνη του χειμάρρου της Ν. Τρίγλιας, λεκάνη του χειμάρρου Πετρένια και λεκάνη του Βατόνια) των οποίων η έκταση ποικίλλει και αφορά βροχοπτώσεις συγκεκριμένης διάρκειας ίσης με τον χρόνο συγκέντρωσης t_c και διαφόρων περιόδων επαναφοράς, που υπολογίζονται από καμπύλες έντασης – διάρκειας – συχνότητας γειτονικών μετεωρολογικών σταθμών. Η εκτίμηση της απορροϊκής βροχής γίνεται με τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) [1] και η κατανομή της βροχόπτωσης γίνεται με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής [1,5].

2. ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης

Η μέγιστη απορροή εμφανίζεται όταν το νερό από όλα τα σημεία της λεκάνης φθάσει στην έξοδο της δηλαδή η διάρκεια της βροχής πρέπει να είναι ίση με το χρόνο συγκέντρωσης t_c της υδρολογικής λεκάνης. Ο χρόνος συγκέντρωσης σύμφωνα με το Π.Δ. 696/8-10-1974 [2] υπολογίζεται με τη σχέση του Giandotti που έχει τη μορφή:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_m} - H_{\min}} \quad (1)$$

όπου: t_c είναι ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής σε hrs, A είναι η έκταση της λεκάνης σε km^2 , L είναι το μέγιστο μήκος διαδρομής της λεκάνης σε km, H_m είναι το μέσο υψόμετρο της λεκάνης σε m και $H_{\min}$ είναι το υψόμετρο της εξόδου της λεκάνης σε m.

2.2. Εμπειρικοί τύποι εκτίμησης των αιχμών απορροής

2.2.1. Ορθολογική μέθοδος

Η αιχμή της απορροής σύμφωνα με το Π.Δ. 696/8-10-1974 [2] υπολογίζεται από τον εμπειρικό τύπο της ορθολογικής μεθόδου που έχει τη μορφή [1,2]:

$$Q_p = 0,278CIA \quad (2)$$

όπου: Q_p είναι η αιχμή της απορροής, C είναι μία παράμετρος γνωστή σαν συντελεστής απορροής [2], I είναι η ένταση της βροχής και A είναι η επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης. Αν το I εκφράζεται σε mm/hr και το A σε στρέμματα το Q_p εκφράζεται σε l/sec, ενώ, αν το A είναι σε km^2 , το Q_p θα είναι σε m^3/sec . Η μέθοδος έχει δώσει αξιόπιστες εκτιμήσεις αιχμών απορροής για υδρολογικές λεκάνες της Αυστραλίας με έκταση μέχρι $250 km^2$.

2.2.2. Τύπος του Fuller

Μία άλλη μέθοδος εκτίμησης της αιχμής των απορροών είναι ο εμπειρικός τύπος του Fuller που επίσης προτείνεται από το Π.Δ. 696/8-10-1974 [2] και έχει τη μορφή:

$$Q_p = Q_1 \left(1 + \beta * \log T \right) \left(1 + \frac{2,66}{A^{0,30}} \right) \quad (3)$$

όπου: Q_p είναι η αιχμή της απορροής (m^3/sec), Q_1 είναι η μέση ημερήσια παροχή της μέγιστης πλημμύρας με περίοδο επαναφοράς ενός έτους (m^3/sec), β είναι συντελεστής ο οποίος ισούται με 0,80, T είναι η περίοδος επαναφοράς σε έτη και A είναι η επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης (km^2). Το Q_1 μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$Q_1 = 1,80A^{0,80} \quad (4)$$

Αντικαθιστώντας τη σχέση (4) στη σχέση (3) προκύπτει η σχέση:

$$Q_p = 1,80A^{0,80} \left(1 + 0,8 * \log T \right) \left(1 + \frac{2,66}{A^{0,30}} \right) \quad (5)$$

2.3. Συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα

2.3.1. Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα (Σ.Μ.Υ.) της Sierra Nevada (SN)

Η μέθοδος του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada περιγράφεται στο Design of Small Dams και βασίζεται στο αδιάστατο Μ.Υ. της Sierra Nevada [3]. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο χρόνος υστέρησης του Σ.Μ.Υ. υπολογίζεται με τη σχέση:

$$L_g = 0,1776C \left[LL_c / \sqrt{S} \right]^N \quad \text{ή} \quad L_g = 0,5541 \left[LL_c / \sqrt{S} \right]^{0,33} \quad (6)$$

όπου: L_g = χρόνος υστέρησης του Σ.Μ.Υ. σε ώρες, C = σταθερά που παίρνεται ίση με 26 K_n , K_n = συντελεστής του Manning που παίρνεται ίσος με 0,12, L = μέγιστο μήκος διαδρομής του κυρίως ρεύματος σε km, L_c = μήκος του κυρίως ρεύματος από τη θέση του φράγματος μέχρι την προβολή του κέντρου βάρους της λεκάνης πάνω στο κύριο ρεύμα σε km, S = κλίση του κυρίως ρεύματος σε m/m και N = σταθερά ίση με 0,33.

Η διάρκεια της μοναδιαίας βροχής, D από την οποία προέρχεται το Σ.Μ.Υ. δίνεται από τη σχέση

$$D = L_g / 5,5 \quad (7)$$

Η τετμημένη του Σ.Μ.Υ. (χρόνος), η οποία προέρχεται από απορροϊκή βροχή 1 mm υπολογίζεται με τη σχέση

$$t_m = T/100 * (L_g + D/2) \quad (8)$$

όπου: t_m = χρόνος του Σ.Μ.Υ. σε ώρες, T = παίρνεται από τον Πίνακα του αδιάστατου Μ.Υ. της Sierra Nevada [3], L_g και D όπως υπολογίζονται από τις σχέσεις (6) και (7), αντίστοιχα.

Η τεταγμένη του Σ.Μ.Υ. (παροχή), η οποία προέρχεται από απορροϊκή βροχή 1 mm υπολογίζεται με τη σχέση:

$$Q = 0,01157 * \left\{ (A * q) / \left(L_g + D / 2 \right) \right\} \quad (9)$$

όπου: Q = παροχή του Σ.Μ.Υ. σε m^3/sec , A = έκταση της υδρολογικής λεκάνης σε km^2 και q = αδιάστατη παροχή που παίρνεται από τον Πίνακα του αδιάστατου Μ.Υ. της Sierra Nevada [3].

2.3.2. Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα (Σ.Μ.Υ.) της S.C.S.

Η μέθοδος του Σ.Μ.Υ. της S.C.S. βασίζεται στο αδιάστατο Μ.Υ. της S.C.S. [1]. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η παροχή αιχμής ενός υδρογραφήματος που προέρχεται από βροχή διάρκειας D ωρών δίνεται από τη σχέση:

$$Q_p = (0,75AP_r) / (3600t_p) \quad (10)$$

όπου: Q_p = παροχή αιχμής σε m^3/sec , A = έκταση της υδρολογικής λεκάνης σε στρέμματα, $P_r = 1$ mm εφόσον πρόκειται για Μ.Υ. και t_p είναι ο χρόνος αιχμής σε ώρες, που υπολογίζεται με τη σχέση [1]:

$$t_p = L_g + D/2 \quad (11)$$

Οι τεταγμένες του Μ.Υ. υπολογίζονται με τις σχέσεις:

$$Q = Q_d * Q_p \quad (12)$$

$$t = t_d * t_p \quad (13)$$

όπου: Q = παροχή Μ.Υ. σε m^3/sec , Q_p = παροχή αιχμής σε m^3/sec , t = χρόνος μοναδιαίου υδρογραφήματος, t_p = χρόνος αιχμής σε ώρες, Q_d = αδιάστατη παροχή και t_d = αδιάστατος χρόνος που παίρνονται από Πίνακα [1].

2.4. Εκτίμηση απορροϊκής βροχής και κατανομή της

Τα ύψη βροχής διαφόρων διαρκειών και διαφόρων περιόδων επαναφοράς, που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των πλημμυρογραφημάτων, υπολογίζονται με τη βοήθεια των σχέσεων έντασης-διάρκειας-συχνότητας. Η απορροή κατά τη διάρκεια της πλημμύρας εξαρτάται από την τοπογραφική διαμόρφωση της λεκάνης, τη διαπερατότητα των εδαφών, το είδος φυτοκάλυψης και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Σύμφωνα με τη S.C.S.[1] η απορροϊκή βροχή Pe δίνεται από τη σχέση :

$$Pe = (P - 0,2S)^2 / (P + 0,8S) \quad (14)$$

όπου: Pe = απορροϊκή βροχή (mm), P = βροχόπτωση (mm) και S = μέγιστη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας του εδάφους ή αποθηκευτικότητα (mm).

Το S σε mm υπολογίζεται με τη σχέση [1]:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (15)$$

Για τις συνθήκες των πλημμυρικών απορροών η εκτίμηση της αποθήκευσης S γίνεται με τη βοήθεια του απορροϊκού συντελεστή (CN), που αντιστοιχεί σε υγρασιακή κατάσταση τύπου III και υπολογίζεται ως συνάρτηση του CN_{II} , με την παρακάτω σχέση [1]:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,4036 + 0,0059CN_{II}} \quad (16)$$

Οι απορροϊκές βροχές διαφόρων διαρκειών και διαφόρων περιόδων επαναφοράς που υπολογίζονται με τις παραπάνω σχέσεις, θεωρούνται ότι κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλη τη διάρκεια της βροχόπτωσης. Για τον υπολογισμό όμως των υδρογραφημάτων πλημμύρας πρέπει η βροχόπτωση αυτή να κατανεμηθεί μέσα στη διάρκειά της με κάποιο τρόπο. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των εναλλασσόμενων υψών βροχής (Alternating Block Method) [1,5].

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η εφαρμογή αφορά την εκτίμηση των αιχμών απορροής σε τέσσερις υδρολογικές λεκάνες του Νομού Χαλκιδικής (λεκάνη του χειμάρρου των Σημάντρων, λεκάνη του χειμάρρου της Ν. Τρίγλιας, λεκάνη του χειμάρρου Πετρένια και λεκάνη του Βατόνια). Στις τέσσερις αυτές λεκάνες μελετάται η κατασκευή φραγμάτων είτε αντιπλημμυρικής προστασίας (λεκάνες Σημάντρων και Ν. Τρίγλιας) είτε αποθήκευσης νερού για ύδρευση και άρδευση (λεκάνες Πετρένια και Βατόνια). Σε όλες τις λεκάνες γίνεται η εκτίμηση των αιχμών απορροής για βροχοπτώσεις διάρκειας ίσης περίπου με το χρόνο συγκέντρωσης και περιόδων επαναφοράς 5, 20, 500 και 1000 ετών. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων λεκανών δίνονται στον Πίνακα 1 [6,7,8,9].

Με τη βοήθεια της σχέσης (1) βρέθηκε ο χρόνος συγκέντρωσης και είναι για τις λεκάνες των Σημάντρων, του Πετρένια, της Ν. Τρίγλιας και του Βατόνια 3,62 ώρες, 3,56 ώρες, 4,25 ώρες και 4,99 ώρες, αντίστοιχα, ενώ η διάρκεια της βροχόπτωσης πάρθηκε ίση με 3,50 ώρες, 3,50 ώρες, 4,50 ώρες και 5,00 ώρες, αντίστοιχα.

Με βάση τη διάρκεια βροχόπτωσης υπολογίζονται για διάφορες περιόδους επαναφοράς οι μέγιστες εντάσεις βροχόπτωσης με τις παρακάτω σχέσεις:

$$i = 17,1317T^{0,2042} / t^{0,65} \quad (17)$$

και

$$i = 20,5069T^{0,1613} / t^{0,64} \quad (18)$$

όπου: i = ένταση βροχής (mm/hr), T = περίοδος επαναφοράς (έτη) και t = η διάρκεια της βροχής (hrs). Η σχέση (17) αναφέρεται στις καμπύλες έντασης-διάρκειας-συχνότητας του σταθμού του Πολυγύρου [6] και χρησιμοποιείται για τις λεκάνες των Σημάντρων, του Βατόνια και της Ν. Τρίγλιας, ενώ η σχέση (18) αναφέρεται στις καμπύλες έντασης-διάρκειας-συχνότητας του σταθμού της Μ. Παναγιάς [8] και χρησιμοποιείται για τη λεκάνη του Πετρένια. Τα μέγιστα ύψη

βροχόπτωσης για περιόδους επαναφοράς 5, 20, 500 και 1000 ετών και διάρκεια βροχόπτωσης την αντίστοιχη κάθε λεκάνης δίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1. Μορφολογικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων υδρολογικών λεκανών της Χαλκιδικής

Λεκάνη απορροής	Εμβαδόν (km ²)	Μέγιστο μήκος διαδρομής (km)	Μήκος από προβολή Κ.Β. L _c (km)	Μέσο υψόμετρο (m)	Ελάχιστο υψόμετρο (m)	Κλίση του κυρίως ρεύματος (m/m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Σημάντρων	18,33	12,97	6,62	221,27	61,65	0,07
Πετρένια	41,45	13,88	7,75	296,77	29,00	0,06
Ν. Τρίγλια	54,50	17,60	9,32	330,89	60,00	0,02
Βατόνια	131,50	21,00	6,45	611,60	236,00	0,03

Πίνακας 2. Μέγιστα ύψη βροχόπτωσης για διάφορες περιόδους επαναφοράς των τεσσάρων λεκανών της Χαλκιδικής

Περίοδος Επαναφοράς	Υδρολογική Λεκάνη			
	Σημάντρων	Πετρένια	Ν. Τρίγλιας	Βατόνια
5	36,89	41,74	40,29	41,80
20	48,97	52,19	53,47	55,48
500	94,48	87,72	103,17	107,05
1000	108,85	98,10	118,86	123,32

Οι αντίστοιχες μέγιστες απορροϊκές βροχές εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια της διαδικασίας του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) της S.C.S., που περιγράφηκε στην Παράγραφο 2.4. Ο απορροϊκός συντελεστής (CN), για υγρασιακή κατάσταση τύπου II, εκτιμήθηκε με τη βοήθεια της διαπερατότητας των εδαφών και της φυτοκάλυψης και βρέθηκε για τη λεκάνη των Σημάντρων ίσος με 74 [6], για τη λεκάνη του Πετρένια ίσος με 57 [8], για τη λεκάνη της Ν.Τρίγλιας ίσος με 66 [9] και για τη λεκάνη του Βατόνια ίσος με 65 [7]. Κατόπιν υπολογίσθηκε το CN_{III} με τη σχέση (16). Στη συνέχεια με την εφαρμογή της σχέσης (15) για CN=CN_{III} βρέθηκε η αποθήκευση S για τις συνθήκες των πλημμυρικών απορροών. Στον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό, στις συνθήκες των πλημμυρικών απορροών, για την εκτίμηση της αποθήκευσης χρησιμοποιείται η υγρασιακή κατάσταση τύπου III δηλαδή το CN_{III}, είτε αυτές αναφέρονται σε χειμερινή περίοδο, οπότε η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους είναι αρκετά ικανοποιημένη, είτε σε θερινή περίοδο, οπότε λόγω της ραγδιότητας των θερινών βροχών δεν μπορεί να ικανοποιηθεί η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους, στο σύνολό της. Με τη βοήθεια της αποθήκευσης S, των μέγιστων υψών βροχής (P) του Πίνακα 2 και της σχέσης (14) υπολογίζεται η απορροϊκή βροχή των βροχοπτώσεων του Πίνακα 2, για κάθε λεκάνη τα ύψη της οποίας κατανεμήθηκαν μέσα στη διάρκεια της βροχόπτωσης με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής (Alternating Block Method).

Με τη βοήθεια των κατανεμημένων απορροϊκών βροχών και των στοιχείων των Πινάκων 1 και 2, με τις διαδικασίες των Συνθετικών Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων που περιγράφηκαν στην παράγραφο 2.3, υπολογίζονται τα στοιχεία των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων και τα πλημμυρογραφήματα των αντίστοιχων απορροϊκών βροχών των διαφόρων περιόδων επαναφοράς. Από τα πλημμυρογραφήματα αυτά βρίσκεται η μέγιστη πλημμυρική αιχμή. Για την εκτίμηση των πλημμυρικών αιχμών κάθε λεκάνης και για όλες τις περιόδους επαναφοράς, στη σχέση (2) της ορθολογικής μεθόδου χρησιμοποιήθηκε η αντίστοιχη μέγιστη ένταση βροχής I που προκύπτει είτε από τη σχέση (17) είτε από τη σχέση (18) (Πίνακας 2) και ο συντελεστής απορροής C πάρθηκε ίσος με 0,5 για όλες τις λεκάνες. Τέλος, η εκτίμηση των πλημμυρικών αιχμών κάθε λεκάνης, για όλες τις περιόδους επαναφοράς έγινε με την εφαρμογή του εμπειρικού τύπου (5) του Fuller. Στον Πίνακα 3 δίνονται οι πλημμυρικές αιχμές κάθε λεκάνης, για διάφορες περιόδους επαναφοράς, που υπολογίστηκαν με την ορθολογική μέθοδο, τον τύπο του Fuller, το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της Sierra Nevada και το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της S.C.S..

Πίνακας 3. Πλημμυρικές αιχμές των τεσσάρων λεκανών της Χαλκιδικής υπολογισμένες με την ορθολογική μέθοδο, τον τύπο του Fuller, το Σ.Μ.Υ. της S.N. και το Σ.Μ.Υ. της S.C.S.

T (έτη)	Ορθολογική (m ³ /sec)	Fuller (m ³ /sec)	S.N. (m ³ /sec)	S.C.S. (m ³ /sec)	Σφάλμα (S.N.- S.C.S.)/S.N.	Σφάλμα (S.N.- Ορθολ.)/S.N.	Σφάλμα (S.N.- Fuller)/S.N.
Σήμαντρα							
5	26,86	60,72	13,22	12,22	7,56%	-103,16%	-359,27%
20	35,65	79,47	22,02	20,31	7,77%	-61,88%	-260,91%
500	68,78	123,02	59,89	55,30	7,66%	-14,84%	-105,41%
1000	79,24	132,40	72,51	67,02	7,57%	-9,28%	-82,59%
Πετρίνιας							
5	68,70	103,29	13,78	12,92	6,24%	-398,57%	-649,60%
20	85,92	135,20	24,12	22,63	6,18%	-256,22%	-460,55%
500	144,40	209,29	70,34	65,52	6,85%	-105,29%	-197,55%
1000	161,49	225,25	86,09	79,88	7,21%	-87,58%	-161,64%
N. Τρίγλια							
5	67,82	123,86	20,40	18,53	9,17%	-232,45%	-507,18%
20	90,01	162,13	36,43	33,11	9,11%	-147,08%	-345,04%
500	173,68	250,97	111,39	101,01	9,32%	-55,92%	-125,31%
1000	200,09	270,10	137,42	124,61	9,32%	-45,60%	-96,55%
Βατόνιας							
5	152,81	224,70	55,92	52,35	6,38%	-173,26%	-301,83%
20	202,81	294,11	102,08	94,30	7,62%	-98,67%	-188,12%
500	391,33	455,29	316,92	289,53	8,64%	-23,48%	-43,66%
1000	450,83	489,99	391,31	357,89	8,54%	-15,21%	-25,22%

Από τα στοιχεία του Πίνακα 3, προκύπτει ότι οι πλημμυρικές αιχμές που υπολογίζονται με τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα έχουν παραπλήσιες τιμές για όλες τις περιόδους επαναφοράς, με απόκλιση γύρω στο 8%, με τις τιμές της S.C.S. να είναι μικρότερες από αυτές τη S.N. Η ορθολογική μέθοδος συγκρινόμενη με το Σ.Μ.Υ. της S.N. και κατά συνέπεια και της S.C.S. υπερεκτιμά τις αιχμές σε όλες τις περιόδους επαναφοράς με μικρότερη την υπερεκτίμηση στις μεγάλους περιόδους επαναφοράς. Ο εμπειρικός τύπος του Fuller υπερεκτιμά υπερβολικά τις πλημμυρικές αιχμές για όλες τις περιόδους επαναφοράς και οι πιθανοί λόγοι αυτής της υπερεκτίμησης είναι το ότι δεν παίρνει υπόψη της την ένταση της βροχής, τη διάρκειά της και την κατανομή της στο χρόνο. Επίσης, οι σημαντικές υπερεκτιμήσεις των πλημμυρικών αιχμών στην περίπτωση της ορθολογικής μεθόδου πιθανόν να οφείλονται στο ότι ο υπολογισμός του συντελεστή απορροής είναι αρκετά δύσκολος και εμπειρικός και η βροχόπτωση δεν κατανέμεται στο χρόνο αλλά παίρνεται ολόκληρη.

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι οι εμπειρικοί τύποι υπολογισμού των αιχμών απορροής πρέπει να χρησιμοποιούνται με πολύ μεγάλη επιφύλαξη μιας και παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα σε σχέση με τα Σ.Μ.Υ. τα οποία εκτός από τις αιχμές εκτιμούν όλο το υδρογράφημα πλημμύρας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή έγινε η εκτίμηση των αιχμών απορροής με τους εμπειρικούς τύπους της ορθολογικής μεθόδου και του Fuller και τα Σ.Μ.Υ. της S.N. και της S.C.S. σε τέσσερις λεκάνες του Νομού Χαλκιδικής για βροχοπτώσεις διάρκειας ίσης περίπου με το χρόνο συγκέντρωσης κάθε λεκάνης και περιόδους επαναφοράς 5, 20, 500 και 1000 ετών. Στις τέσσερις αυτές λεκάνες μελετάται η κατασκευή φραγμάτων είτε αντιπλημμυρικής προστασίας (λεκάνες Σημάντρων και Ν. Τρίγλιας) είτε αποθήκευσης νερού για ύδρευση και άρδευση (λεκάνες Πετρίνια και Βατόνια). Οι μέγιστες απορροϊκές βροχές για τις βροχοπτώσεις σχεδιασμού εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας τις καμπύλες έντασης – διάρκειας – συχνότητας γειτονικών μετεωρολογικών σταθμών, τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) και την κατανομή τους με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής. Από την ανάλυση προκύπτει ότι οι πλημμυρικές αιχμές που υπολογίζονται με τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα έχουν παραπλήσιες τιμές για όλες τις περιόδους επαναφοράς, με απόκλιση γύρω στο 8%, με τις τιμές της S.C.S. να είναι μικρότερες από αυτές τη S.N. Η ορθολογική μέθοδος συγκρινόμενη με το Σ.Μ.Υ. της S.N. και κατά συνέπεια και της S.C.S. υπερεκτιμά τις αιχμές σε όλες τις περιόδους επαναφοράς με μικρότερη την υπερεκτίμηση στις μεγάλους περιόδους επαναφοράς. Ο εμπειρικός τύπος του Fuller υπερεκτιμά υπερβολικά τις πλημμυρικές αιχμές για όλες τις περιόδους επαναφοράς και οι πιθανοί λόγοι αυτής της υπερεκτίμησης είναι το ότι δεν παίρνει υπόψη της την ένταση της βροχής, τη διάρκειά της και την κατανομή της στο χρόνο. Επίσης, οι σημαντικές υπερεκτιμήσεις των πλημμυρικών αιχμών στην περίπτωση της ορθολογικής μεθόδου πιθανόν να οφείλονται στο ότι ο υπολογισμός του συντελεστή απορροής είναι αρκετά δύσκολος και εμπειρικός και η βροχόπτωση δεν

κατανέμεται στο χρόνο αλλά παίρνεται ολόκληρη. Τέλος, προκύπτει ότι οι εμπειρικοί τύποι υπολογισμού των αιχμών απορροής πρέπει να χρησιμοποιούνται με πολύ μεγάλη επιφύλαξη μιας και παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα σε σχέση με τα Σ.Μ.Υ. τα οποία εκτός από τις αιχμές εκτιμούν όλο το υδρογράφημα πλημμύρας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., 2001. *Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων*. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, 394 σελ.
2. Π.Δ. 696/8-10-1974. *Περί αμοιβών μηχανικών δια σύνταξιν μελετών, επίβλεψιν, παραλαβή κ.λ.π. Συγκοινωνιακών, Υδραυλικών και Κτιριακών Έργων, ως και Τοπογραφικών, Κτηματογραφικών και Χαρτογραφικών Εργασιών και σχετικών τεχνικών προδιαγραφών μελετών*.
3. U.S.D.I., 1987. *Design of small dams*. A Water Resources Technical Publication, pp. 23-57.
4. Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., Γεωργίου, Π.Ε. και Καραμούζης, Δ.Ν., 2000. Σύγκριση Συνθετικών Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων με τη Βοήθεια Εκτιμήσεων Πλημμυρικών Απορροών. *Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής*. Βόλος.
5. Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., 1988. *Applied hydrology*. Mc-Graw-Hill, 572 pp.
6. Καραμούζης, Δ.Ν., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Γεωργίου, Π.Ε., 2002. *Υδρολογική μελέτη*. Πακέτο εργασίας στο Ερευνητικό Πρόγραμμα Φράγμα Ανάσχεσης Ροής και Συγκράτησης Φερτών Υλών Χειμάρρου Σημάντρων-Πορταριάς Ν. Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη.
7. Καραμούζης, Δ., Παρισόπουλος, Γ., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Γεωργίου, Π.Ε., 2001. *Χωροθέτηση και προκαταρκτική διερεύνηση φράγματος Βατόνια (Οlynθίου) Χαλκιδικής*. Πακέτο εργασίας στο Ερευνητικό Πρόγραμμα Διαχείριση Υδατικών Πόρων Υδρολογικής Λεκάνης Οlynθίου Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη.
8. Καραμούζης, Δ.Ν., Παρισόπουλος, Γ., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Γεωργίου, Π.Ε., 1999. *Χωροθέτηση και προκαταρκτική διερεύνηση φράγματος Πετρένια Γοματίου Χαλκιδικής*. Πακέτο εργασίας στο Ερευνητικό πρόγραμμα Διαχείριση Υδατικών Πόρων Υδρολογικής Λεκάνης Οlynθίου Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη.
9. Καραμούζης, Δ., Παρισόπουλος, Γ., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., Παπουτσή-Ψυχουδάκη, Σ., Γεωργίου, Π.Ε. και Τρανός, Μ., 2001. *Χωροθέτηση και Προκαταρκτική Διερεύνηση Φράγματος Ν. Τρίγλιας Χαλκιδικής (Αντιπλημμυρικό, Προστασίας από Ρύπανση της Θάλασσας, Ταμίευσης Νερού)*. Πακέτο εργασίας στο Ερευνητικό Πρόγραμμα Διαχείριση Υδατικών Πόρων Υδρολογικής Λεκάνης Οlynθίου Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΠΑΡΟΧΩΝ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ

Ε. Α. Μπαλτάς

Ηρακλείτου 20, Αγία Παρασκευή, 15343

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι καμπύλες διάρκειας παροχών σε μία θέση ποταμού είναι πολύ χρήσιμο στοιχείο για τον υδρολογικό σχεδιασμό των υδροενεργειακών έργων, ιδιαίτερα μάλιστα για τα έργα με μικρό ή χωρίς ταμιευτήρα. Στην εργασία αυτή αναπτύχθηκε ένα εντοπικό μοντέλο μέσω της ανάλυσης πολλαπλής συσχέτισης με μορφοκλιματικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής του ποταμού Αλιάκμονα στις θέσεις των υδρομετρικών σταθμών για την εκτίμηση ημερήσιων καμπυλών διάρκειας παροχών. Οι σχέσεις που προσαρμόστηκαν στα δεδομένα διάρκειας και παροχών είναι η εκθετική, υπερβολική, λογαριθμική, πολυωνυμική 2^{ου} βαθμού και πολυωνυμική 3^{ου} βαθμού.

Λέξεις κλειδιά: καμπύλες διάρκειας παροχών, ταμιευτήρας, υδρομετρικός σταθμός, βελτιστοποίηση.

ESTIMATION OF DURATION DISCHARGE CURVES FOR THE ALIAKMON RIVER

E.A. Baltas

Irakleitou 20, Agia Paraskevi, 15343

ABSTRACT

The duration discharge curves in a river are important for the hydrological design of hydroelectric production projects especially for hydraulic works with small or without reservoir. In this paper a regional model was developed using multiple regression analysis with the geomorphologic and climatic characteristics of the Aliakmon river subbasins in the hydrometric stations for the estimation of daily duration discharge curves. The relationships adjusted in the data of duration and discharge, are the exponential, hyperbolic, logarithmic, polynomial 2nd degree and polynomial 3rd degree.

Key words: duration discharge curves, reservoir, hydrometric station, optimization.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

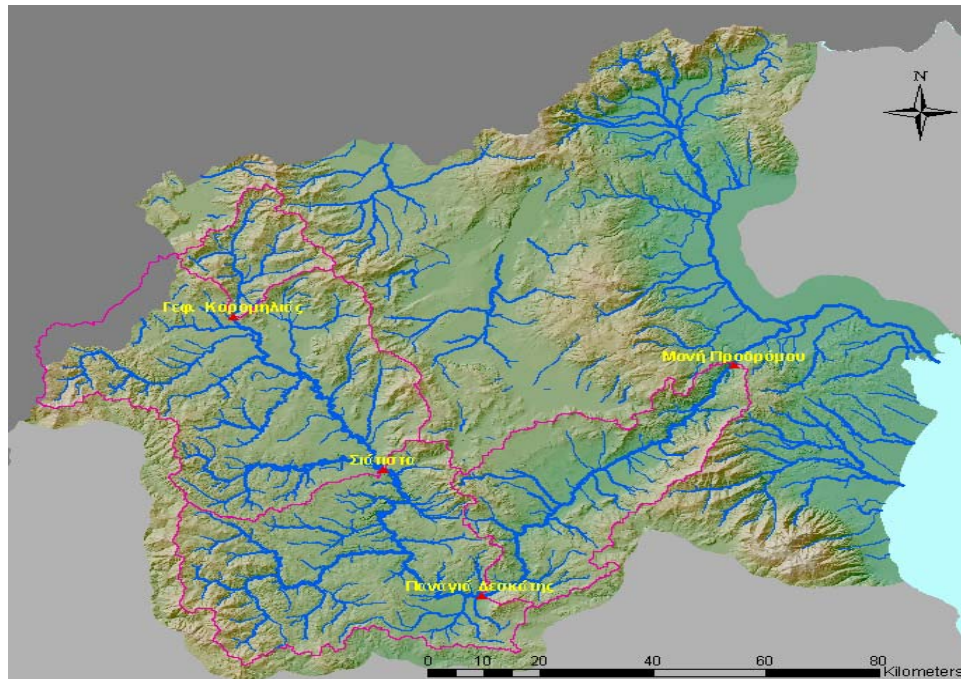
Ένα από τα προβλήματα που συχνά συναντώνται είναι η έλλειψη μετρήσεων παροχής στη θέση υδρολογικού ενδιαφέροντος άρα και η έλλειψη της καμπύλης διάρκειας – παροχής. Η καμπύλη διάρκειας - παροχής που ορίζεται ως η σχεδίαση της παροχής Q προς το ποσοστό του χρόνου D κατά τη διάρκεια της περιόδου παρατηρήσεων όπου εμφανίζονται παροχές που είναι ίσες ή υπερβαίνουν την Q σε μία θέση ποταμού, είναι πολύ χρήσιμο στοιχείο για τον υδρολογικό σχεδιασμό υδροηλεκτρικών έργων ιδιαίτερα για τα έργα με μικρό ή χωρίς καθόλου ταμιευτήρα. Η έλλειψη μετρήσεων παροχής είναι συχνή, αφού οι θέσεις για αξιοποίηση είναι είτε απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες είτε για τα μικρά ΥΗΕ βρίσκονται σε δευτερεύοντες κλάδους ποταμών ή σε μικρά ποτάμια όπου δεν υπάρχει δίκτυο μέτρησης της παροχής. Ως εκ τούτου γεννάται πολλές φορές η ανάγκη μεταφοράς της πληροφορίας της καμπύλης διάρκειας παροχών από άλλη θέση όπου υπάρχουν μετρήσεις μέσα στην ίδια υδρολογικά ομοιογενή περιοχή. Ο ασφαλέστερος και καλύτερος τρόπος για να γίνει αυτή η μεταφορά είναι η εντοπική ανάλυση, δηλαδή η ανάπτυξη μέσα σε μία υδρολογικά ομοιογενή περιοχή εντοπικής μεταβολής των παραμέτρων της καμπύλης διάρκειας χρησιμοποιώντας ως στοιχεία εισόδου κλιματικά, μορφολογικά κλπ χαρακτηριστικά της περιοχής τα οποία εύκολα μπορούν να εξαχθούν από χάρτες. Με την εντοπική ανάλυση διασφαλίζεται η μεταφορά της πληροφορίας ακόμα και σε σημαντικά απομακρυσμένες περιοχές ενώ λαμβάνονται υπόψη και τα χαρακτηριστικά της κάθε θέσης στο βαθμό που επηρεάζουν την καμπύλη διάρκειας παροχών. Τόσο στο διεθνή χώρο [4,5], όσο και στον Ελληνικό [2,3], έχουν αναπτυχθεί εντοπικά μοντέλα μεταφοράς της καμπύλης διάρκειας παροχών από θέση μέτρησης σε άλλη θέση χωρίς μετρήσεις.

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα εντοπικό μοντέλο εκτίμησης καμπυλών διάρκειας παροχών στον ποταμό Αλιάκμονα στη Δυτική Μακεδονία. Αρχικά υπολογίστηκαν οι ημερήσιες παροχές για τις θέσεις με διαθέσιμα υδρομετρικά δεδομένα. Για την εκτίμηση των ημερησίων παροχών καταρτίστηκαν οι καμπύλες στάθμης παροχής στις αντίστοιχες θέσεις για την μετατροπή της στάθμης σε παροχή. Επίσης εκτιμήθηκαν οι επιφανειακές βροχοπτώσεις για κάθε λεκάνη απορροής. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής εξήχθησαν από ψηφιοποίηση χαρτών ΓΥΣ κλίμακας 1:50000. Οι θέσεις που εξετάστηκαν βρίσκονται στη Γέφυρα Κορομηλιάς, στην Παναγιά Δεσκάτης, στη Μονή Προδρόμου και στη Σιάτιστα.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η περιοχή μελέτης αφορά το υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας και ειδικότερα τις θέσεις υδρομέτρησης στον ποταμό Αλιάκμονα, η οποία βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα μεταξύ των παραλλήλων $39^{\circ} 30'$ Νότια έως $40^{\circ} 30'$ Βόρεια και $20^{\circ} 30'$ Δυτικά έως 22° Ανατολικά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Το σύνολο των δεδομένων που απαιτήθηκαν είναι οι υδρομετρήσεις που

γίνονται περιοδικά σε επιλεγμένες θέσεις του ποταμού καθώς και οι χάρτες της ΓΥΣ κλίμακας 1:50000 για τον υπολογισμό των γεωγραφικών χαρακτηριστικών των επιμέρους λεκανών απορροής.



Σχήμα 1. Οι θέσεις υδρομέτρησης στο Υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας.

Οι ημερήσιες παροχές σε m^3/sec για 4 θέσεις προέκυψαν από επεξεργασία σταθμημετρικών/σταθμηγραφικών δεδομένων και καμπυλών στάθμης-παροχής. Τα ονόματα των σταθμών μαζί με τα μορφοκλιματικά τους χαρακτηριστικά (περίμετρος, υψομετρική διαφορά της θέσης υδρομέτρησης από το μέγιστο υψόμετρο, μήκος του κυρίως ρεύματος και ετήσια βροχόπτωση) των 4 θέσεων δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και η ετήσια βροχόπτωση.

Σταθμός	Περίμετρος (km)	Ετήσιο ύψος βροχής (mm)	Υψομετρική διαφορά (m)	Μήκος κύριου υδατορεύματος (km)
Γεφ. Κορομηλιάς	137.60	627	1437.1	38.90
Παναγία Δεσκάτης	558.00	767	2152.6	175.90
Μονή Προδρόμου	710.80	733	2459	268.30
Σιάτιστα	368.00	724	2007.7	123.50

3. ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

Για τη ρύθμιση των καμπυλών διάρκειας παροχής χρησιμοποιήθηκαν τρεις θέσεις (Γεφ. Κορομηλιάς, Παναγία Δεσκάτης, Μονή Προδρόμου) που γίνονται υδρομετρήσεις στη Δυτική Μακεδονία στον ποταμό Αλιάκμονα. Τα μοντέλα που εξετάστηκαν για την καλύτερη περιγραφή των ημερήσιων καμπυλών διάρκειας – παροχής είναι τα εξής:

$$Q=a \exp(-bD) \quad (1)$$

$$Q=aD^{-b} \quad (2)$$

$$Q=a-b\ln D \quad (3)$$

$$Q=a-bD+cD^2 \quad (4)$$

$$Q=a-bD+ cD^2-dD^3 \quad (5)$$

όπου: Q η παροχή,

D το ποσοστό του χρόνου που οι παροχές είναι ίσες ή μεγαλύτερες από την παροχή Q και

a, b, c, d σταθερές.

Η εκτίμηση των παραμέτρων a, b, c και d έγινε με μεθόδους βελτιστοποίησης [1] χρησιμοποιώντας τις 3 θέσεις (ρύθμιση του μοντέλου), ενώ η τέταρτη θέση (Σιάτιστα) χρησιμοποιήθηκε για επαλήθευση. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τους σταθμούς Γέφυρα Κορομηλιάς, Παναγία Δεσκάτης, Μονή Προδρόμου και Σιάτιστας κυμαίνονται από το 1979-1993, 1985-1994, 1962-1973 και 1964-1996 αντίστοιχα. Το κριτήριο που επιλέγεται για τη βελτιστοποίηση του συστήματος, είναι το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης (R^2) και η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων της διαφοράς (Root Mean Square Error), που είναι ένας δείκτης της απόκλισης της υπολογισμένης χρονοσειράς από την πραγματική, αυτή δηλαδή που υπολογίστηκε με χρήση καμπυλών στάθμης-παροχής. Το RMSE δίνεται από την εξίσωση:

$$rmse = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Q_{πραγμ} - Q_{υπολ})^2} \quad (6)$$

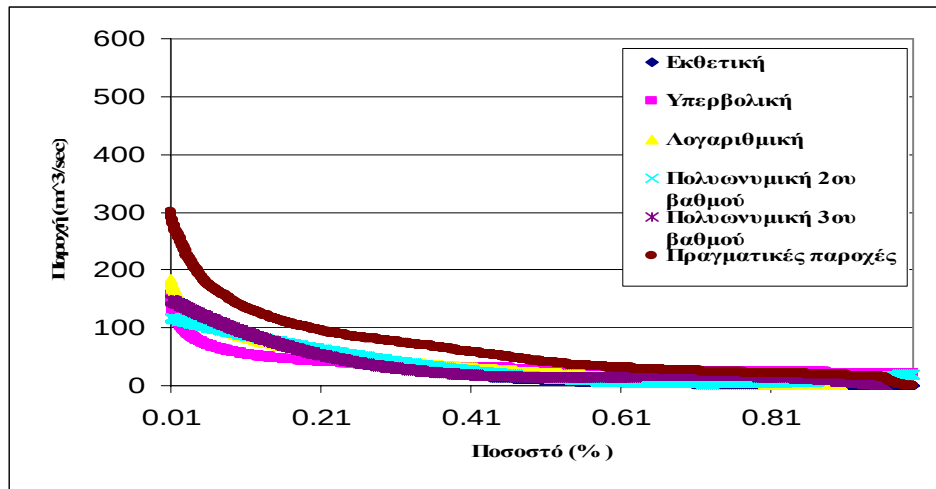
όπου: n το πλήθος των τιμών κάθε χρονοσειράς και $Q_{πραγμ}$, $Q_{υπολ}$, οι πραγματικές και υπολογισμένες τιμές της παροχής αντίστοιχα.

Αρχικά εκτιμήθηκαν οι τιμές των συντελεστών a, b, c και d, όπως προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση καθεμίας από τις 3 θέσεις ξεχωριστά (Γεφ. Κορομηλιάς, Παναγία Δεσκάτης, Μονή Προδρόμου) και κατόπιν εκτιμήθηκαν συνδυάζοντας και τις 3 θέσεις, επιδιώκοντας σε αυτήν την περίπτωση την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τριών RMSE. Η τελευταία είναι και η βέλτιστη λύση του συστήματος και οι παράμετροι της λύσης χρησιμοποιούνται στην τέταρτη θέση (Σιάτιστα) όπου και πάλι δίνονται οι δείκτες ταύτισης των χρονοσειρών. Σε κάθε περίπτωση εξετάζονται και τα 5 μοντέλα (Εκθετικό, Υπερβολικό, Λογαριθμικό Πολυωνυμικό 2^{ου} βαθμού και Πολυωνυμικό 3^{ου} βαθμού). Ενδεικτικά στον Πίνακα 2 και στο Σχήμα 2, δίνεται το γράφημα προσαρμογής των 5 μοντέλων στα δεδομένα διάρκειας-παροχής της Μονής Προδρόμου. Ανάλογα είναι και τα γραφήματα και για τις άλλες θέσεις. Στον

Πίνακα 3 δίνονται οι τιμές βελτιστοποίησης χρησιμοποιώντας και τις τρεις θέσεις ταυτόχρονα, ενώ στον Πίνακα 4 δίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη θέση Σιάτιστα.

Πίνακας 2. Βελτιστοποίηση παραμέτρων για τη Μονή Προδρόμου.

	a	b	c	d	R ²	RMSE
Εκθετική	212.75	3.1595			0.7483	19.45937
Υπερβολική	19.349	0.8183			0.6251	373.3012
Λογαριθμική	4.0831	61.554			0.9937	4.860051
Πολυων 2	211.37	517.99	339.61		0.8715	22.02835
Πολυων 3	250.56	987.87	1513.9	782.68	0.9294	16.3238



Σχήμα 2. Προσαρμογή των 5 μοντέλων στη Μονή Προδρόμου.

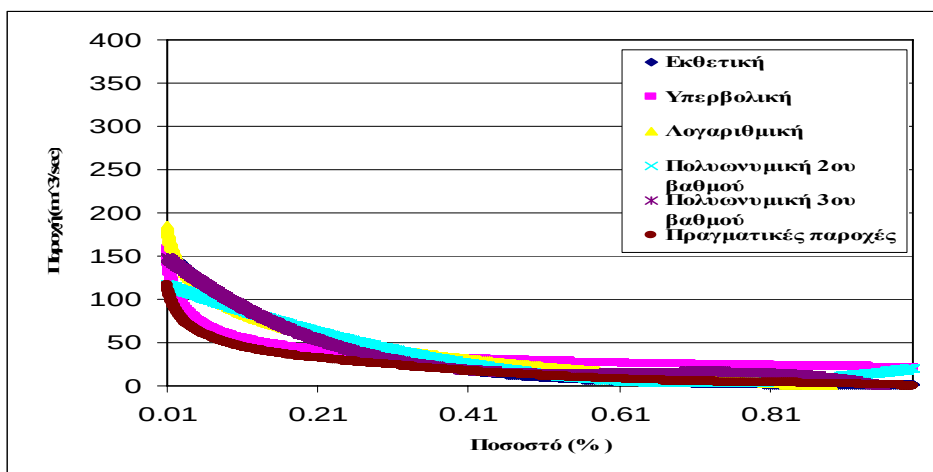
Πίνακας 3. Βελτιστοποίηση παραμέτρων για τις 3 θέσεις συγχρόνως.

	a	b	c	d	R ²	ΣRMSE
Εκθετική	164.4985	5.408917			0.92167	102.47
Υπερβολική	21.56509	0.421141			0.78484	108.03
Λογαριθμική	-5.30839	40.352			0.97355	94.68
Πολυων 2	119.8676	320.5672	220.92		0.83580	108.21
Πολυων 3	154.8655	693.5125	1123.775	593.6365	0.90463	102.52

Πίνακας 4. Αποτελέσματα προσομοίωσης θέσης Σιάτιστα με βάση τις παραμέτρους βελτιστοποίησης του συστήματος.

	a	b	c	d	R ²	RMSE
Εκθετική	164.4985	5.408917			0.90836	21.242
Υπερβολική	21.56509	0.421141			0.77207	22.480
Λογαριθμική	-5.30839	40.352			0.98653	22.507
Πολύων 2	119.8676	320.5672	220.92		0.83172	19.770
Πολύων 3	154.8655	693.5125	1123.775	593.6365	0.88393	21.461

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι τα μοντέλα που προσομοιώνουν καλύτερα τις απορροές στις συγκεκριμένες θέσεις είναι το Λογαριθμικό, η δε βελτιστοποίηση του συστήματος επιτυγχάνεται με το λογαριθμικό μοντέλο και τέλος η χρησιμοποίηση των παραμέτρων βελτιστοποίησης στη θέση Σιάτιστα έδωσε αρκετά καλή προσομοίωση, με παραπλήσιους δείκτες RMSE για όλα τα μοντέλα. Η προσαρμογή των πέντε μοντέλων στη θέση Σιάτιστα η οποία αποτελεί τη θέση για την επαλήθευση των μοντέλου, με χρήση των παραμέτρων βελτιστοποίησης, δίνονται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Προσομοίωση για τα 5 μοντέλα στη θέση Σιάτιστα.

4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ a, b, c ΚΑΙ d

Η εντοπική (γεωγραφική) μεταβολή των τεσσάρων παραμέτρων a,b,c και d των πέντε μοντέλων από θέση σε θέση περιγράφεται μέσα από ένα εντοπικό μοντέλο που προκύπτει από την ανάλυση πολλαπλής συσχέτισης της κάθε παραμέτρου (εξαρτημένη μεταβλητή) με μορφολογικά χαρακτηριστικά (ανεξάρτητες μεταβλητές) των λεκανών απορροής στις θέσεις των σταθμών μέτρησης. Η σχέση που συνδέει τις σταθερές a, b, c, d με τα μορφολογικά και

κλιματικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των σταθερών είναι η εξής:

$$V=b_0P^{b_1}A^{b_2}H^{b_3}L^{b_4} \quad (7)$$

όπου: b_0, b_1, b_2, b_3 , και b_4 είναι σταθερές

V είναι η εξαρτημένη μεταβλητή που παριστάνει τα a, b, c, d

P το ετήσιο ύψος βροχής,

A η περίμετρος της λεκάνης απορροής,

H η υψομετρική διαφορά στην έξοδο της λεκάνης από το μέγιστο υψόμετρο και L το μήκος του κυρίως ρεύματος.

Με μεθόδους βελτιστοποίησης [1] έγινε ο υπολογισμός των παραμέτρων της σχέσης (7) για τα πέντε μοντέλα προσαρμογής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 5,6,7,8 και 9.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις παραμέτρους a και b του Εκθετικού μοντέλου.

Εκθετική						
V	RMSE	b0	b1	b2	b3	b4
a	0.1123	9.674508	1.131024	-1.243101	-1.587873	2.843239
b	0.0009	9.668057	2.743183	-0.015015	-3.077689	0.877482
Άθροισμα	0.1132					

Πίνακας 6. Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις παραμέτρους a και b του Υπερβολικού μοντέλου.

Υπερβολική						
V	RMSE	b0	b1	b2	b3	b4
a	1.8050	9.532230	2.790628	6.009322	-8.498240	1.8855548
b	0.0001	9.613711	2.863316	0.068876	-3.393202	0.8406383
Άθροισμα	1.8051					

Πίνακας 7. Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις παραμέτρους a και b του Λογαριθμικού μοντέλου.

Λογαριθμική						
V	RMSE	b0	b1	b2	b3	b4
a	0.0044	9.57880	5.83906	4.52396	-7.24862	-2.04829
b	0.0508	10.30275	2.872262	-0.69907	-3.595250	2.742123
Άθροισμα	0.0552					

Πίνακας 8. Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις παραμέτρους a, b και c του Πολυωνυμικού μοντέλου 2^{ου} βαθμού.

Πολυωνυμική 2 ^{ου} βαθμού						
V	RMSE	b0	b1	b2	b3	b4
a	0.03802	9.03058	0.67083	0.14266	-1.34832	1.49241

b	0.02689	9.47780	2.12309	0.54355	-2.77289	1.46533
c	0.02160	9.61234	2.62074	0.87731	-3.41042	1.31202
Άθροισμα	0.08650					

Πίνακας 9. Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις παραμέτρους a, b, c και d του Πολυωνυμικού μοντέλου 3^{ου} βαθμού.

Πολυωνυμική 3^{ου} βαθμού						
V	RMSE	b₀	b₁	b₂	b₃	b₄
a	0.1137	10.348	2.753	-0.911	-3.160	2.766
b	0.2264	8.812	0.206	3.291	-1.404	-1.170
c	0.5951	8.769	1.398	3.111	-2.486	-0.785
d	0.0430	8.974	2.010	2.855	-3.129	-0.439
Άθροισμα	0.9782					

Οι τιμές των παραμέτρων a και b του λογαριθμικού μοντέλου φάνηκαν να προσομοιώνονται καλύτερα από το αντίστοιχο σετ παραμέτρων b₀ έως b₄ (μικρότερο άθροισμα διαφοράς τετραγώνων). Χρησιμοποιώντας αυτήν την ομάδα παραμέτρων b₀ έως b₄ (Πίνακας 7) έγινε και επαλήθευσή του χρησιμοποιώντας στοιχεία της θέσης Σιάτιστα που δεν είχε χρησιμοποιηθεί στη ρύθμιση του μοντέλου, εκτιμώντας ως εκ τούτου τις τιμές των παραμέτρων a και b που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιαδήποτε άλλη θέση χωρίς μετρήσεις παροχής μέσα στην υδρολογικά ομοιογενή περιοχή ανάλυσης στη Δυτική Μακεδονία. Οι όποιες αποκλίσεις ανάμεσα στις τιμές των παραμέτρων οφείλονται αποκλειστικά στην διαφορετική μορφή του μοντέλου (εκθετικό, υπερβολικό, λογαριθμικό, πολυωνυμικό 2^{ου} και πολυωνυμικό 3^{ου} βαθμού) που κάθε φορά χρησιμοποιείται.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής επικεντρώνονται στα εξής:

- Το μοντέλο που προσομοιώνει καλύτερα τις απορροές στις συγκεκριμένες θέσεις είναι το Λογαριθμικό.
- Η βελτιστοποίηση του συστήματος επιτυγχάνεται με το Λογαριθμικό μοντέλο.
- Η χρησιμοποίηση των παραμέτρων βελτιστοποίησης στη θέση Σιάτιστα έδωσε αρκετά καλή προσομοίωση, με παραπλήσιους δείκτες RMSE για όλα τα μοντέλα.
- Το εντοπικό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για οποιαδήποτε άλλη θέση χωρίς μετρήσεις παροχής μέσα στην υδρολογικά ομοιογενή περιοχή ανάλυσης στη Δυτική Μακεδονία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Haan, T. C., 1977. Statistical methods in Hydrology. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
2. Mimikou, A.M. and Kaemaki, S., 1985. Regionalization of flow duration characteristics. Journal of Hydrology. No 82, 77-91.
3. Μιμίκου Α.Μ., 1990. Τεχνολογία Υδατικών Πόρων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
4. Quimbo, R.G., Alejandrino, A.A., and Mc Nally, T.A., 1983. Regionalized Flow Duration for Philippines. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 19, No 4 , 320-330.
5. Singh, K.P., 1971. Model for flow duration and stream flow variability. Water Resources Research. Vol. 7, No 4, 1031-1036.

ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΙΣΧΥΡΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΜΑΙΟΥ-ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2002

Ε. Α. Μπαλτάς

Ηρακλείτου 20, Αγία Παρασκευή, 15343

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά την περίοδο Μαΐου – Νοεμβρίου του 2002 στην Αττική κατεγράφησαν και αναλύθηκαν τέσσερα επεισόδια βροχής τα οποία σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό προκάλεσαν πλημμύρες στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής. Τρία από τα επεισόδια είχαν μικρή σχετικά διάρκεια και οι περίοδοι επαναφοράς αυτών για διαφορετικές διάρκειες βροχής κυμάνθηκαν από 3 έως 44 χρόνια. Το χρονικό βήμα ανάλυσης των επεισοδίων βροχής είναι 10 λεπτά. Ο μετεωρολογικός σταθμός που μέτρησε τα τέσσερα επεισόδια βροχής βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου με συντεταγμένες 37° 58' 47.4'' N 23° 46' 46.6'' E και υψόμετρο 200 m. Από την ανάλυση των τεσσάρων επεισοδίων διαπιστώθηκε ότι η βροχή και ιδιαίτερα εκείνη, που η διάρκεια της είναι μικρή, έχει έντονη χωρική και χρονική διαφοροποίηση με συνέπεια την πρόκληση ζημιών σε διαφορετικές κάθε φορά περιοχές. Οι μεγαλύτερες ζημιές διαπιστώθηκαν στην περιοχή του Κηφισού κατά το επεισόδιο με την μικρότερη περίοδο επαναφοράς και τη μεγαλύτερη διάρκεια.

Λέξεις κλειδιά: επεισόδια βροχής, περίοδος επαναφοράς, ένταση και διάρκεια βροχής, όμβριες καμπύλες.

EXPERIENCE FROM THE ANALYSIS OF FOUR RAINFALL EVENTS IN ATTICA FROM MAY TO NOVEMBER 2002

E.A. Baltas

Irakleitou 20, Agia Paraskevi, 15343

ABSTRACT

During the period May-November of 2002 four rainfall events which created severe problems in the Attiki region were recorded and analysed. Three of the events had short duration and the return periods for different rainfall durations range from 3 to 44 years. The time resolution is 10 minutes. The meteorological station which recorded the events is located in the campus of the NTUA with coordinates 37° 58' 47.4'' N 23° 46' 46.6'' E and elevation 200 m. Based on the analysis, it was found that the events with short duration rainfall presented intense spatial and time variability and created problems in different urban areas. However the most severe problems were recorded in the lowland areas of Kifissos for the event of smaller return period and the longest duration.

Key words: rainfall events, return period, rainfall intensity and duration, idf curves.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πλημμύρες στην Ελλάδα τα τελευταία 100 χρόνια έχουν προκαλέσει τις μεγαλύτερες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες από κάθε άλλη φυσικό φαινόμενο (π.χ. σεισμοί, κατολισθήσεις κλπ). Ο κυριότερος παράγοντας στη γένεση πλημμυρών είναι οι ισχυρές καταιγίδες που δημιουργούνται από μέτωπα που προσεγγίζουν από Δυτικά, Βορειοδυτικά ή Νοτιοδυτικά [3]. Κατά τη θερινή περίοδο κρύες μάζες αερίων παράγουν δυναμική αστάθεια που είναι υπεύθυνη για αρκετές ισχυρές καταιγίδες. Αρκετές αστικές περιοχές στην Ελλάδα και κυρίως η Αττική υποφέρουν συχνά από πλημμύρες καθώς η αστικοποίηση δεν συνδυάστηκε με τα κατάλληλα προστατευτικά μέτρα όπως επέκταση και βελτίωση του υφιστάμενου αποχετευτικού δικτύου κλπ [5].

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η ευρύτερη περιοχή της Αττικής είναι η πλέον αστικοποιημένη περιοχή στην Ελλάδα με πληθυσμό περίπου τεσσάρων εκατομμυρίων. Η Αττική βρίσκεται στην Ανατολική πλευρά της χώρας και είναι επιρρεπής σε δημιουργία πλημμυρών εξαιτίας κλιματικών, ανθρωπογενών και γεωμορφολογικών παραγόντων. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην Αττική είναι περίπου 300 mm η οποία θεωρείται χαμηλή σε σχέση με τη βροχή στα Δυτικά της χώρας που ξεπερνά τα 1800 mm. Ωστόσο το ύψος βροχής για διάρκεια 24 ώρες και περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια δεν διαφέρει σημαντικά για τις δύο περιοχές και όσο η διάρκεια της βροχής μικραίνει τόσο η διαφορά εξαλείφεται [2].

Οι γεωμορφολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη γένεση πλημμυρών στην Αττική σχετίζονται με την απουσία ικανοποιητικού δικτύου αποχέτευσης και την ανεπάρκεια των διατομών στις πλημμυρικές απορροές του υφιστάμενου δικτύου. Οι πλέον βασικοί παράγοντες είναι ανθρωπογενείς όπου τα τελευταία 50 χρόνια η περιοχή της Αττικής αστικοποιήθηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό. Οι πλημμυρικές παροχές αυξήθηκαν εξαιτίας της αύξησης της κατοικημένης και βιομηχανικής περιοχής με ταυτόχρονη μείωση της αγροτικής περιοχής. Το δίκτυο αποχέτευσης μειώθηκε και πολλά ρέματα καλύφθηκαν ή μετατράπηκαν σε δρόμους. Έργα αντιπλημμυρικής προστασίας δεν σχεδιάστηκαν και το υφιστάμενο δίκτυο σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε για άλλες συνθήκες.

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΒΡΟΧΗΣ

Τέσσερα αξιοσημείωτα επεισόδια βροχόπτωσης σημαντικού ύψους, που παρατηρήθηκαν το έτος 2002 στην περιοχή της Αττικής, είναι αυτά της 21/05, της 08/07, της 18/08 και της 07/11.

Ξεκινώντας από το παλαιότερο, η βροχόπτωση της 21/05 είχε διάρκεια ογδόντα λεπτών, με ώρα έναρξης στις 12:16 και ώρα λήξης στις 13:36. Το συνολικό ύψος βροχής του επεισοδίου ήταν 47 mm. Το μέγιστο ύψος βροχής δεκαλέπτου ήταν 17.6 mm και παρατηρήθηκε στο δεύτερο μισάωρο, στο δεκάλεπτο 12:46 – 12:56. Ο κύριος όγκος της βροχής (42.8 mm) σε σύνολο 47 mm, έπεσε μισή ώρα μετά την έναρξη της βροχόπτωσης, μόλις σε σαράντα λεπτά (12:46 - 13:26).

Το δεύτερο επεισόδιο βροχόπτωσης είναι αυτό της 08/07, το οποίο είχε διάρκεια σχεδόν πέντε ώρες (12:16 – 17:06). Το συνολικό ύψος βροχής του επεισοδίου ανήλθε στα 52.6 mm, με μέγιστο ύψος δεκαλέπτου 8.6 mm, που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της τρίτης ώρας της βροχόπτωσης (15:06 – 15:16). Ο κύριος όγκος της βροχής (30.4 mm) από τα συνολικά 52.6 mm, έπεσε κατά τη διάρκεια της τρίτης ώρας (14:16 – 15:16).

Το επόμενο επεισόδιο βροχόπτωσης συνέβη στις 18/08 και είχε διάρκεια 100 λεπτά (12:20 - 14:00). Το συνολικό ύψος βροχής του επεισοδίου ήταν 41.2 mm. Το μέγιστο ύψος βροχής δεκαλέπτου ήταν 9 mm και παρατηρήθηκε στο δεκάλεπτο 12:30 – 12:40, που ανήκει στο πρώτο μισάωρο του επεισοδίου όπου έπεσε η μεγαλύτερη ποσότητα βροχής 23 mm, σε σύνολο 41.2 mm.

Το τέταρτο και πιο πρόσφατο επεισόδιο βροχόπτωσης ήταν αυτό της 07/11 και είχε διάρκεια δέκα ώρες και είκοσι λεπτά (13:59 – 00:19). Το συνολικό ύψος βροχής του επεισοδίου ανήλθε στα 65.2 mm, με μέγιστο ύψος δεκαλέπτου 6.8 mm, που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του πρώτου δώρου της βροχόπτωσης, στο δεκάλεπτο 15:19 – 15:29. Ο κύριος όγκος της βροχής, δηλαδή 35.4 mm από τα συνολικά 65.2 mm, έπεσε κατά τη διάρκεια του πρώτου δώρου (13:59 – 15:59). Το επεισόδιο αυτό μολονότι είχε το μικρότερο ύψος βροχής δεκαλέπτου προκάλεσε συγκριτικά τις μεγαλύτερες καταστροφές εξαιτίας της συνεισφοράς στην πλημμυρική απορροή ολόκληρης της λεκάνης απορροής και των μειωμένων απωλειών λόγω προηγούμενων μικρότερων επεισοδίων βροχής με συνέπεια την αύξηση της πλημμυρικής αιχμής και του πλημμυρικού όγκου.

Κάνοντας μια σύγκριση των παραπάνω επεισοδίων βροχής, είναι φανερό ότι το επεισόδιο της 21/05 είναι εκείνο με την μεγαλύτερη ένταση. Ενδεικτικά το μέγιστο δεκάλεπτο έχει ύψος βροχής ίσο με 17.6 mm και 42.8 mm έπεσαν μόλις σε σαράντα λεπτά. Στο εν λόγω επεισόδιο το αποχετευτικό σύστημα της Αττικής άντεξε χωρίς σοβαρά προβλήματα. Τα άλλα τρία επεισόδια προκάλεσαν σημαντικές καταστροφές στις περιοχές Φαλήρου, Μοσχάτου και Ρέντη δίπλα στον Κηφισό με συνέπεια πολλοί κάτοικοι να μετακινηθούν από τα σπίτια τους και η συγκοινωνία να διακοπεί για αρκετές ώρες. Τα επεισόδια αυτά προκάλεσαν προβλήματα ενδεχομένως λόγω της έναρξης των έργων οδοποιίας στον Κηφισό με συνέπεια την μείωση της επάρκειας του ποταμού καθώς και της κατάστασης του δικτύου όπου υπήρχαν συσσωρευμένα σκουπίδια. Να σημειωθεί ότι στα επεισόδια βροχής υπήρχε μεγάλη χωρική και χρονική μεταβλητότητα εξαιτίας του επαγωγικού αιτίου πρόκλησης αυτών.

4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Ο προσδιορισμός της συχνότητας των παραπάνω επεισοδίων επιτεύχθηκε με βάση τη στατιστική ανάλυση ιστορικών επεισοδίων βροχής όπου γίνεται ανάλυση των μεγίστων ετησίων διαφορετικής διάρκειας βροχής. Τα δεδομένα των σταθμών που διαθέτουν αξιόπιστες μετρήσεις αναλύθηκαν για την περίοδο από το 1961 μέχρι το 1995. Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την κατάρτιση των επιφανειακών ομβρίων καμπυλών (idf) είναι ο σταθμός της Νέας Φιλαδέλφειας, του Αστεροσκοπείου και του Ελληνικού (Σχήμα 1). Οι όμβριες καμπύλες σχετίζουν την ένταση (i , mm/hr), τη διάρκεια (d , hours) και την περίοδο επαναφοράς (T , έτη) της βροχής υπό την εξής παραμετρική σχέση:

$$i = k T^a d^{-m} \quad (1)$$

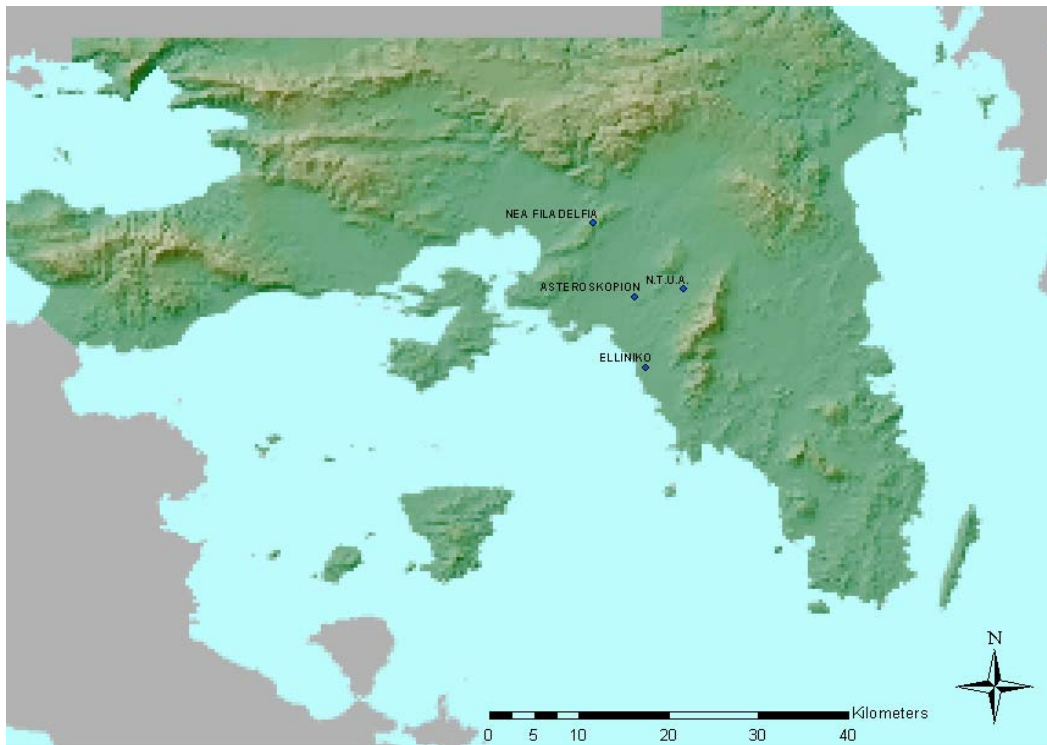
όπου k , m και a είναι σταθερές.

Η κατάρτιση των ομβρίων καμπυλών (idf) βασίζεται στην στατιστική ανάλυση των μεγίστων ετησίων βροχοπτώσεων διαφορετικής διάρκειας για κάθε σταθμό. Η επιφανειακή βροχόπτωση για κάθε διάρκεια υπολογίστηκε με βάση χρήση μεθόδων GIS. Λεπτομερής περιγραφή της εξαγωγής των ομβρίων καμπυλών δίνονται στο βιβλίο «Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» [1].

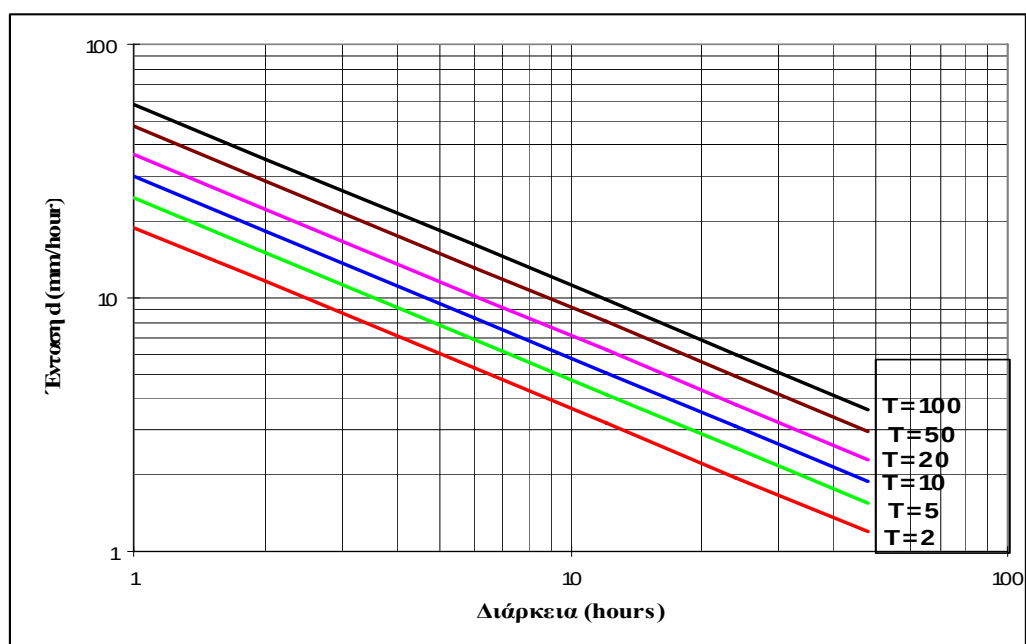
Η αναλυτική έκφραση idf που εξήχθη για την περιοχή της Αττικής δίνεται από την παρακάτω εξίσωση [4]:

$$i = 15.56 T^{0.286} d^{-0.715} \quad (2)$$

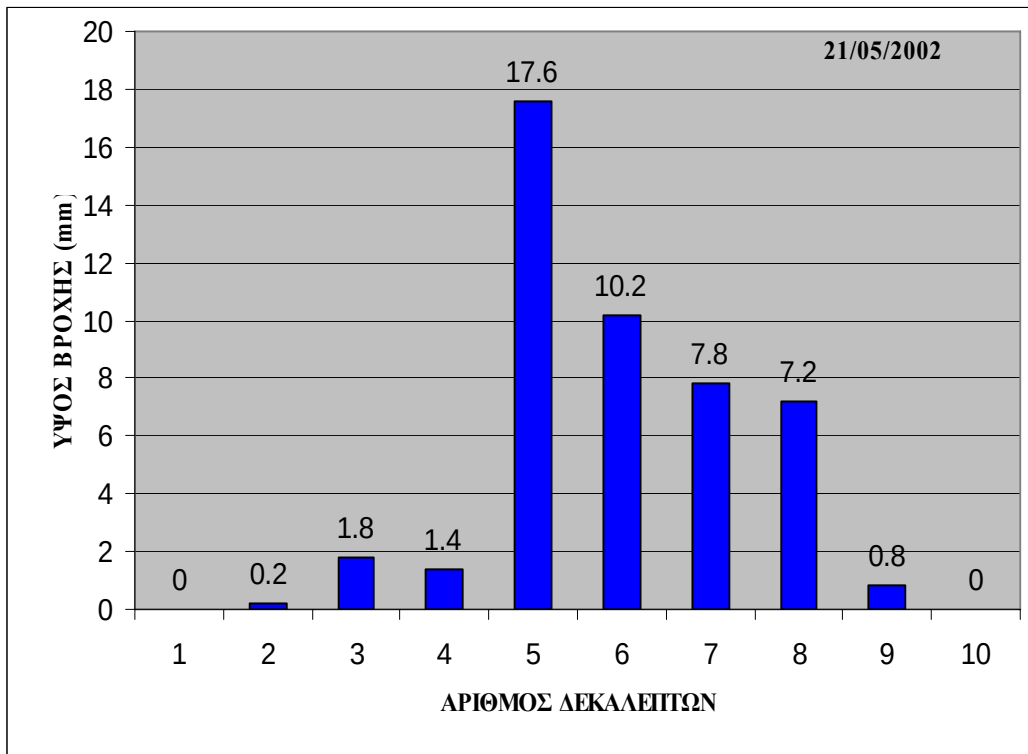
Η παραπάνω εξίσωση προέκυψε από ανάλυση μεγίστων ετησίων βροχοπτώσεων διαφορετικής διάρκειας (μισής ώρας, μίας ώρας, 2, 6, 12, 24 και 48 ωρών) για τα υδρολογικά έτη 1961/62 μέχρι 1993/94. Τα δεκάλεπτα βροχογραφήματα των τεσσάρων επεισοδίων βροχής δίνονται στα Σχήματα 2,3,4 και 5. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2), οι περίοδοι επαναφοράς για διάρκεια βροχής μία ώρα, 30 λεπτά και δύο ώρες με την μεγαλύτερη ένταση βροχής για κάθε επεισόδιο δίνονται στον Πίνακα 1.



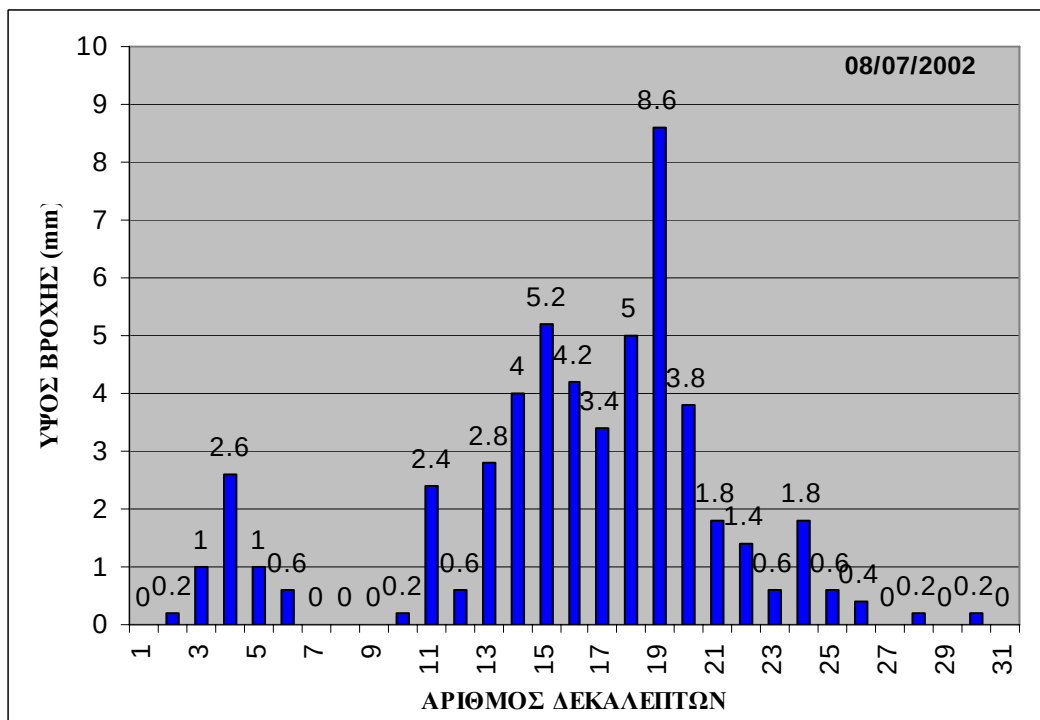
Σχήμα 1. Η περιοχή μελέτης με τους υδρομετεωρολογικούς σταθμούς.



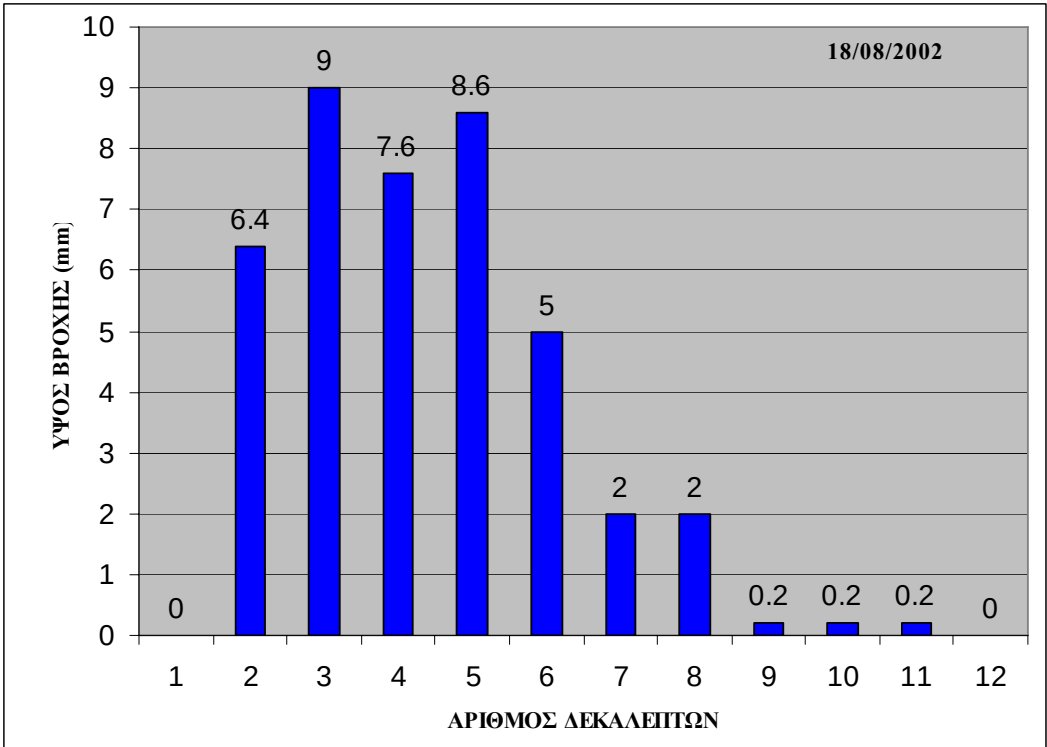
Σχήμα 2. Οι όμβριες καμπύλες για την περιοχή της Αττικής.



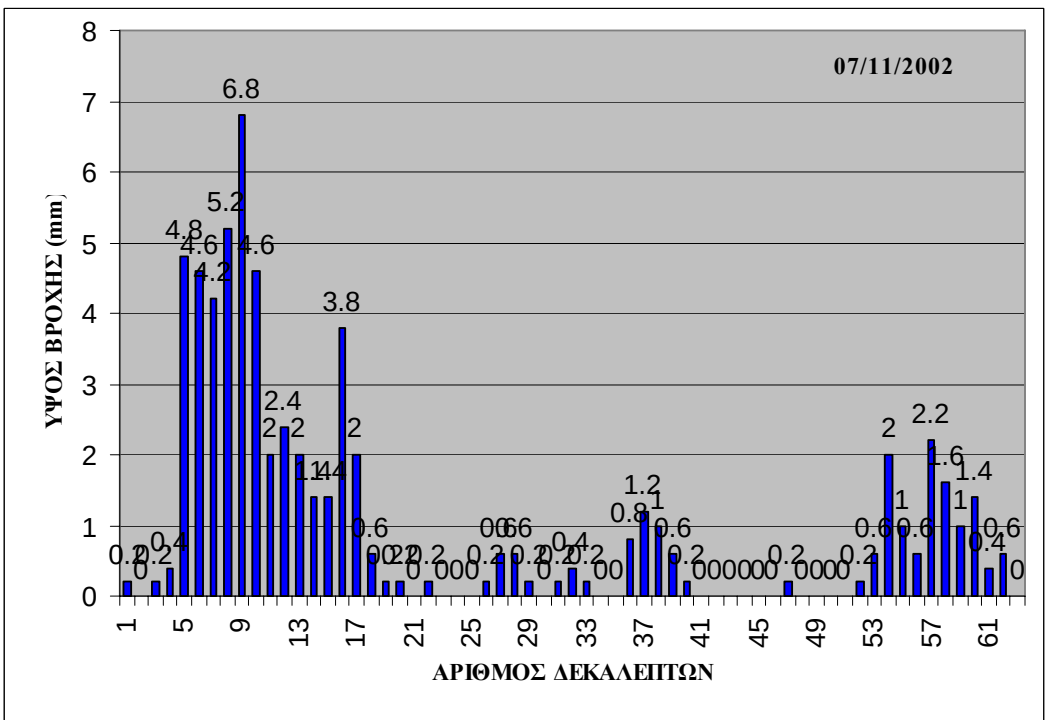
Σχήμα 2. Βροχογράφημα της 21/06/2002 με χρονική ανάλυση δεκαλέπτου.



Σχήμα 3. Βροχογράφημα της 08/07/2002 με χρονική ανάλυση δεκαλέπτου.



Σχήμα 4. Βροχογράφημα της 21/06/2002 με χρονική ανάλυση δεκαλέπτου.



Σχήμα 5. Βροχογράφημα της 07/11/2002 με χρονική ανάλυση δεκαλέπτου.

Πίνακας 1. Περίοδοι επαναφοράς για κάθε επεισόδιο βροχής

A/A	Ημερομηνία Επεισοδίου	Περίοδος επαναφοράς για διάρκεια βροχής 1 ώρα (έτη)	Περίοδος επαναφοράς για διάρκεια βροχής 0.5 ώρα (έτη)	Περίοδος επαναφοράς για διάρκεια βροχής 2 ώρες (έτη)
1	21/05/2002	44	36	12
2	08/07/2002	10	3	18
3	18/08/2002	24	11	15
4	07/11/2002	10	3	18

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα από την ανάλυση των τεσσάρων επεισοδίων βροχής επικεντρώνονται στα εξής:

- Το σύνολο των επεισοδίων βροχής έδειξαν μεγάλη χωρική και χρονική ανομοιομορφία.
- Τα τρία από τα τέσσερα επεισόδια βροχής προκάλεσαν σημαντικές καταστροφές σε κατοικημένες περιοχές στην περιοχή του Κηφισού. Ωστόσο το επεισόδιο της 21/05/2002 όπου είχε τη μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς δεν δημιούργησε προβλήματα.
- Το επεισόδιο της 7/11/2002 είχε σχετικά μεγάλη διάρκεια με το μικρότερο ύψος δεκαλέπτου και δημιούργησε τα σημαντικότερα προβλήματα.

REFERENCES

1. Μιμίκου, Μ. (1995). Τεχνολογία Υδατικών Πόρων. Βιβλίο, (Εκδ.) Παπασωτηρίου, 564 σελ.
2. Mimikou, M. and Koutsoyiannis, D. (1995). *Extreme floods in Greece: The case of 1994*. Proc. Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts and Management of Extreme Floods, US-NSF and Italian Research Council, Nov' 95, Perugia, Italy.
3. Mimikou, M. and Baltas, E. (1996). *Flood Forecasting Based on Radar Rainfall Measurements*. Journal of Water Resources Planning and Management ASCE, Vol. 122, No. 3, ISSN0733-9496, JWRMD5: 151-156.
4. Mimikou, M. Baltas, E. and Varanou, E. (2000). A Study of Extreme Events in the Athens Greater Area. Int. Symposium on the Extraordinary Floods, 17-19 July 2000, Reykjavic, Iceland.
5. Xanthopoulos, Th., Christoulas, D., Mimikou, M., Koutsoyiannis D. and Aftias, E (1995). *A strategy for the problem of floods in Athens*. Proc. Workshop on the Flood Protection of Athens, Technical Chamber of Greece, Athens, Greece, (in Greek).

ΜΟΝΤΕΛΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑΣ

Σπυρίδης Α.¹, Κουτάλου Β.¹, Γκιτσάκης Ν.²

1. ΥΕΤΟΣ Μελετητική Εταιρεία, Πλ.Ναυαρίνου 3, 54622 Θεσσαλονίκη

2. Εργαστήριο Βιομετρίας, Τμήμα Γεωπονίας, Π.Θ. 38446 Βόλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο παρόν άρθρο παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης ενός μοντέλου νευρωνικού δικτύου για την εκτίμηση της μέσης ετήσιας στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδας. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μετρήσεων 97 ετών. Επιλέχθηκε το μοντέλο με τη μέγιστη ακρίβεια πρόβλεψης, το οποίο παρουσίασε κατά τη διαδικασία εκπαίδευσης συσχέτιση 99% και τυπικό σφάλμα 0,38 μέτρα στάθμης, ενώ κατά την πρόβλεψη συσχέτιση 97% με τις πραγματικές τιμές.

Λέξεις κλειδιά: Νευρωνικά δίκτυα, λίμνη Βεγορίτιδα, πρόβλεψη στάθμης.

A NEURAL NETWORK MODEL FOR CALCULATING THE AVERAGE ANNUAL WATER LEVEL OF LAKE VEGORITIS

Spiridis A.¹, Koutalou V.¹, Gitsakis N.²

1. HYETOS Consulting Engineer Firm, Pl.Navarinou 3, 54622 Thessaloniki

2. Biometry Lab, Dept.of Agriculture, Crop Production, University of Thessaly, 38446 Volos

ABSTRACT

The formation of a neural network model is been presented for the estimation of the average annual water level of lake Vegorititis. Measurements of 97 years time series were used for the model development. The final selected model has performed the maximum forecasting precision and presented 99% correlation with 0.38m error standard deviation during the training stage. The model presented 97% correlation during forecasting of the real water level values.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λίμνη Βεγορίτιδα αποτελεί έναν από τους βασικότερους υδάτινους όγκους στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Μακεδονίας και γενικότερα της Ελλάδας. Είναι γνωστή σαν λίμνη Βεγορίτιδα, ή Οστρόβου, ή Άρνισσας, ή Κέλλης (αρχαϊκά). Περιβάλλεται από τα βουνά Βέρνο, Βόρα και Βέρμιο και αποτελεί το χαμηλότερο σημείο του συμπλέγματος των λιμνών Ζάζαρης, Χειμαδίτιδας και Πετρών, των οποίων δέχεται τα νερά μέσα από σύστημα διωρύγων και σήραγγας. Η επιφάνειά της μοιράζεται στους νομούς Πέλλας, Κοζάνης και Φλώρινας και απλώνεται σε ένα υψίπεδο σε υψόμετρο περί τα +600m. Στην επίσημη ιστοσελίδα του Υπουργείου Γεωργίας (<http://www.minagric.gr/greek/2.9.3.BEGORITIDA.html>) αναφέρεται ότι η λίμνη παλιότερα κάλυπτε έκταση 68km² και ήταν η βαθύτερη λίμνη της χώρας με μέγιστο βάθος 65m. Σήμερα, με την πτώση της στάθμης της, η επιφάνεια της έχει περιοριστεί στα 45km² και το βάθος της έχει μειωθεί στα 50m. Στη λεκάνη απορροής της Βεγορίτιδας, βρίσκεται σημαντικός αριθμός οικισμών, μεταξύ των οποίων η πόλη της Πτολεμαΐδας με 35.000 κατοίκους, οι βιομηχανικές μονάδες της ΔΕΗ, τα λιγνιτωρυχεία αυτής, παλαιότερα το εργοστάσιο αζωτούχων λιπασμάτων της ΑΕΒΑΛ και παράλληλα ασκούνται γεωργικές, κτηνοτροφικές και αλιευτικές δραστηριότητες. Στο παρελθόν τα νερά της τροφοδοτούσαν και τη μικρότερη λίμνη του Νησιού, από την οποία πηγάζει ο Εδεσσαίος ποταμός και σχηματίζει τους καταρράκτες της Έδεσσας.

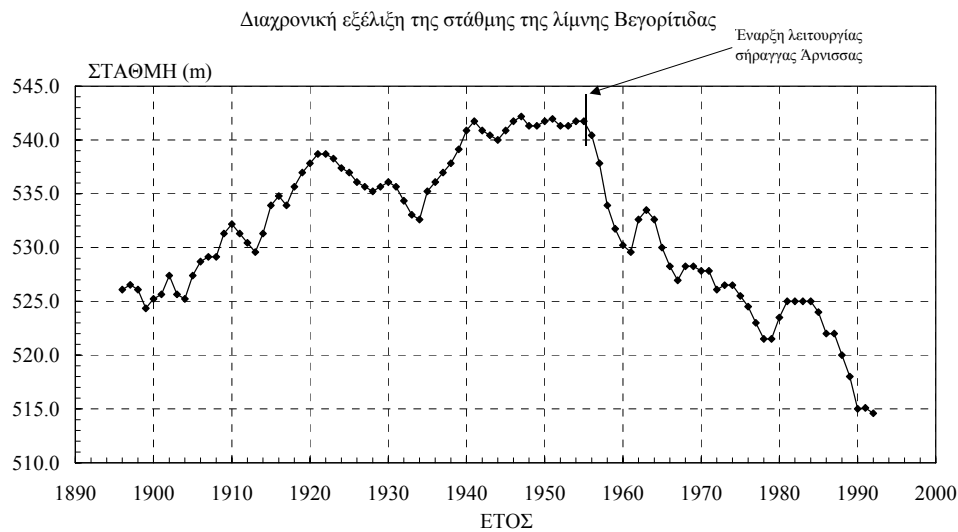
Οι αναπτυξιακές και γεωργικές δραστηριότητες στην ευρύτερη γεωγραφική περιοχή της λίμνης οδήγησαν σε βαθμιαία υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων της, αλλά και σε σταδιακή ταπείνωση της στάθμης της.

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που αφορούν τις μέσες ετήσιες στάθμες της λίμνης, από το 1896 μέχρι το 1992, που σχηματίζουν τη χρονοσειρά παρατηρήσεων που φαίνεται στο Διάγραμμα 1.

Στα δεδομένα αυτά έχουν γίνει προσπάθειες να προσαρμοστούν τόσο ντετερμινιστικά όσο και στοχαστικά μοντέλα χρονοσειρών σε διάφορες χρονικές βάσεις (8). Οι ανωτέρω προσπάθειες αντιμετωπίζουν το εγγενές πρόβλημα των ανθρωπογενών επιδράσεων στη χρονοσειρά των στάθμων της λίμνης, οδηγώντας τους ερευνητές σε προσομοιώσεις μέρους της χρονοσειράς και όχι του συνόλου αυτής.

Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια ανάπτυξης ενός αυτοσυσχετιστικού μοντέλου νευρωνικού δικτύου, κυρίως για να διαπιστωθεί ο βαθμός στον οποίο ανάλογα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της στάθμης της λίμνης, για χρονικό βήμα ενός έτους, με ανεκτό επίπεδο σφάλματος.



Διάγραμμα 1. Μέσες ετήσιες στάθμες της λίμνης Βεγορίτιδας (1896-1992).

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν υπολογιστικές αλγοριθμικές δομές για την περιγραφή μη ρητών συναρτησιακών μορφών συσχέτισης πολλών ανεξάρτητων με πολλές δυνητικά εξαρτημένες μεταβλητές. Γενικά, θα μπορούσαν να περιγραφούν σαν δομές επιπέδων υπολογιστικών κόμβων-νευρώνων, οι οποίοι τροφοδοτούνται από τα υποκείμενα επίπεδα και τροφοδοτούν τα επόμενα με αριθμητικές τιμές. Το κατώτερο επίπεδο κόμβων αποτελείται από τις τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών ενώ το ανώτερο αποτελεί το υπολογιστικό αποτέλεσμα των εξαρτημένων. Κάθε ενδιάμεσο κρυφό επίπεδο μπορεί να αποτελείται από οποιοδήποτε αριθμό κόμβων οι οποίοι τροφοδοτούν το επόμενο επίπεδο ανάλογα με μια τιμή κατωφλίου. Για τον καθορισμό των τιμών κατωφλίου κάθε κόμβου στο νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιείται κάποιος αλγόριθμος, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του οποίου χαρακτηρίζεται και το ανάλογο μοντέλο δικτύου. Γίνεται προφανές, πως για την ανάπτυξη μοντέλων νευρωνικών δικτύων απαιτείται μια επαρκής διαδικασία εκπαίδευσης, στην οποία ουσιαστικά διαμορφώνονται οι τιμές κατωφλίου των εσωτερικών κόμβων του δικτύου. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα νευρωνικά δίκτυα σε σχέση με τις συμβατικότερες μεθόδους συσχέτισης, είναι πως απαιτείται μόνο ο καθορισμός της μορφής του μοντέλου του νευρωνικού δικτύου, ενώ η εκπαίδευσή του πραγματοποιείται από το υπολογιστικό σύστημα. Γενικά, τα νευρωνικά δίκτυα σαν δομές επάλληλα τροφοδοτούμενων επιπέδων, που αποτελούνται από κόμβους, αποτελούν δομές καθορισμού τοπικών και ολικών ελαχίστων στην πολυδιάστατη επιφάνεια μιας συνάρτησης σφάλματος και είναι ανεξάρτητα από τη θεώρηση κάποιου ντετερμινιστικού ή στοχαστικού αλγεβρικού

μοντέλου. Το θεωρητικό υπόβαθρο και οι λειτουργικές ιδιαιτερότητες των μοντέλων νευρωνικών δικτύων μπορούν να αναζητηθούν στη βιβλιογραφία. (1), (2), (3), (4), (5), (6).

Στη δεδομένη περίπτωση εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι διάχυσης (back propagation) (7) για την εκπαίδευση ενός δικτύου αποτελούμενο από δύο κρυφά επίπεδα κόμβων. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του μοντέλου ήταν το Statistica Neural Networks και επικουρικά το Excel σαν πλατφόρμα άμεσης αριθμητικής επεξεργασίας.

3. ΜΟΡΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Θεωρώντας μια ακολουθία N τιμών, που συνιστά τη χρονοσειρά, το πρόβλημα της προσαρμογής κάποιου μοντέλου αυτοσυσχέτισης ανάγεται στον καθορισμό μιας συναρτησιακής σχέσης της μορφής:

$$f(y_{n+1}, y_{n+2}, \dots, y_{n+t}) = y_{n+t+1} \quad (1)$$

Η συναρτησιακή σχέση (1) καθορίσθηκε από ένα νευρωνικό δίκτυο σε άρρητη μορφή. Η διαδικασία της ανάπτυξης του νευρωνικού μοντέλου αφορούσε τον καθορισμό δύο παραμέτρων του:

- I. το πλήθος των κόμβων του δικτύου σε κάθε κρυφό, εσωτερικό επίπεδό του και
- II. το πλήθος των ετών που θα αποτελούσαν το διάστημα επαναφοράς

Δεν υπάρχει σαφής υπολογιστική διαδικασία για τον καθορισμό του πλήθους των κόμβων σε κάθε κρυφό επίπεδο. Από τους κατασκευαστές του λογισμικού (7) συνιστάται απλά μια διαδικασία δοκιμών για τη διαμόρφωση της βέλτιστης μορφής. Το τελικό δίκτυο είχε τη δομή 21-16-5-1, με πλήθος κόμβων στα κρυφά επίπεδα 16 και 5 αντίστοιχα.

3.1. Εκπαίδευση του μοντέλου

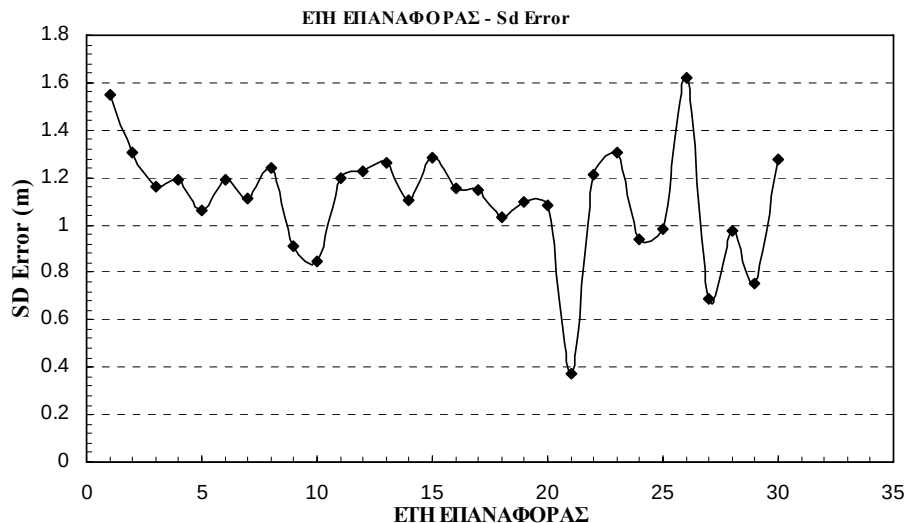
Για τον καθορισμό της βέλτιστης περιόδου επαναφοράς ακολουθήθηκε μια διαδικασία δοκιμής-σφάλματος. Τα δεδομένα των τριών τελευταίων ετών (1990, 1991, 1992) του Διαγράμματος 1. χρησιμοποιήθηκαν στο τέλος της διαδικασίας για την πιστοποίηση της ακρίβειας πρόβλεψης του επιλεγμένου μοντέλου, ενώ οι υπόλοιπες τιμές χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα εκπαίδευσης.

Σαν παράμετροι ακρίβειας της πρόβλεψης του κάθε υπό δοκιμή μοντέλου θεωρούνται κατά κύριο λόγο το τυπικό σφάλμα (Error S.D.) και ο συντελεστής συσχέτισης (Corr. Coef.) μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών. Υπολογίστηκαν ακόμα, ο μέσος όρος των τιμών εισόδου (Data Mean), το τυπικό σφάλμα των δεδομένων (Data S.D.), ο μέσος όρος (Error Mean) του σφάλματος πρόβλεψης, η απόλυτη τιμή του μέσου σφάλματος (AbsE.Mean) καθώς και ο λόγος της τυπικής απόκλισης του σφάλματος προς την τυπική απόκλιση των δεδομένων ($S.D.Ratio = (ErrorS.D.) / (DataS.D.)$). Τα αποτελέσματα των δοκιμών με τη μορφή των παραμέτρων ακρίβειας κάθε δοκιμαστικού μοντέλου δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Έτη επαναφοράς και παράμετροι ακρίβειας κάθε μοντέλου.

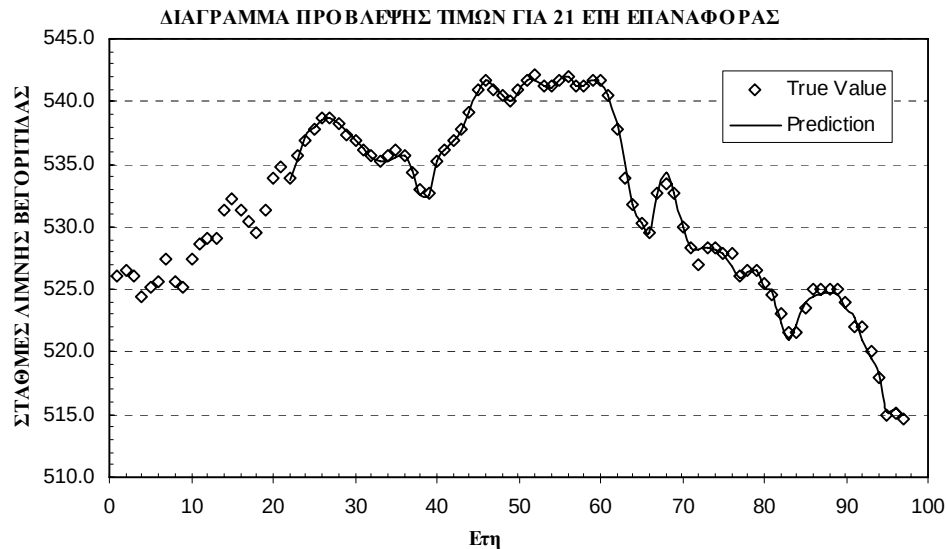
Years	Data Mean	Data S.D.	Error Mean	Error S.D.	Abs E. Mean	S.D. Ratio	Corr. Coef.
5	532,8594	6,320566	0,0028790	1,064067	0,794853	0,1683499	0,9857662
10	532,9070	6,460393	-0,0173700	0,848980	0,648006	0,1314131	0,9914958
15	534,4179	6,190684	-0,0946000	1,287049	1,035308	0,2079009	0,9783768
20	533,4708	7,585204	0,2841363	1,084001	0,879983	0,1429100	0,9898395
21	533,1501	7,180125	-0,0152000	0,374141	0,412152	0,0730000	0,9988549
25	533,7229	7,754534	-0,0679300	0,982646	0,780709	0,1267189	0,9920650
29	531,7019	7,810683	-0,0236400	0,755787	0,290024	0,0480900	0,9973372
30	533,3278	7,494324	-0,1100000	1,275039	0,991027	0,1701340	0,9855242

Η κάθε δοκιμή πραγματοποιήθηκε σε δίκτυο ανάλογο με το πλήθος των ετών επαναφοράς, ενώ η σημαντικότερη παράμετρος ελέγχου του βαθμού καλής προσομοίωσης του μοντέλου θεωρήθηκε η τυπική απόκλιση του σφάλματος πρόβλεψης (Error S.D). Στο Διάγραμμα 2. δίνεται η γραφική παράσταση των τιμών αυτής της παραμέτρου και διακρίνονται δύο σημαντικά χαρακτηριστικά της χρονοσειράς, που προκύπτουν κατά τη διαδικασία ανάπτυξης νευρωνικού μοντέλου, με πρώτο ότι η μικρότερη τιμή της τυπικής απόκλισης στην πρόβλεψη εμφανίζεται στα 21 χρόνια επαναφοράς και δεύτερο πως υπάρχει μια γενική τάση της χρονοσειράς να παρουσιάζει ελάχιστα ως προς αυτήν την παράμετρο περίπου κάθε δεκαετία.



Διάγραμμα 2. Έτη επαναφοράς σε σχέση με την τυπική απόκλιση των σφαλμάτων

Με τον τρόπο αυτό επιλέχθηκε σαν βέλτιστο μοντέλο αυτό που αντιστοιχεί στα 21 έτη επαναφοράς. Στο Διάγραμμα 3 παρουσιάζονται οι πραγματικές τιμές της χρονοσειράς μαζί με τις προβλεπόμενες από το μοντέλο.



Διάγραμμα 3. Πραγματικές τιμές και πρόβλεψη του μοντέλου με 21 χρόνια επαναφοράς

3.2. Ακρίβεια πρόβλεψης του μοντέλου

Στον Πίνακα 2 δίνονται οι τιμές πρόβλεψης του μοντέλου για τα τρία έτη που χρησιμοποιήθηκαν για πρόβλεψη. Οι απόλυτες αποκλίσεις της στάθμης κυμαίνονται από 29–45 εκατοστά νερού και ενώ η ποσότητα αυτή δεν είναι αμελητέα φαίνεται πως αποτελεί και το ανώτερο όριο ακρίβειας της μεθόδου.

Πίνακας 2. Στάθμες και πρόβλεψη τιμών του τελικού μοντέλου

ΕΤΗ	ΣΤΑΘΜΗ (+m)	ΠΡΟΒΛΕΨΗ (+m)	ΣΦΑΛΜΑ (m)	ΟΛΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
1990	515,000	515,290	0,290	0,04066
1991	515,100	515,550	0,450	0,01847
1992	514,600	515,000	0,400	0,01136

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κύρια συμπεράσματα της παρούσας ερευνητικής προσπάθειας μπορούν να διαχωριστούν σε μεθοδολογικά και πρακτικά. Τα μεθοδολογικά συμπεράσματα είναι πως μοντέλα νευρωνικών δικτύων μπορούν να χρησιμοποιηθούν με

ικανοποιητική ακρίβεια για τη μοντελοποίηση χρονοσειρών, που παρουσιάζουν σε έντονο βαθμό ανθρωπογενή επίδραση. Η μεγάλη ικανότητα προσαρμογής τους, σαν συσχετιστικές δομές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προβλέψεις μιας περιόδου. Η επαναεκπαίδευση του μοντέλου, σε κάθε νέα περίοδο, μπορεί να το καθιστά δυναμικά εφαρμόσιμο για προβλέψεις.

Σε πρακτικό επίπεδο, από τη διαδικασία βελτιστοποίησης του μοντέλου εμφανίζεται πως η περίοδος επαναφοράς της αυτοσυσχέτισης των τιμών της στάθμης είναι πολλαπλάσιο ή υποπολλαπλάσιο της εικοσαετίας, μια πληροφορία που μπορεί να είναι χρήσιμη σε εφαρμογές μοντέλων πρόβλεψης με άλλες μεθόδους ανάπτυξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Deco G., Obradovic D., 1997 *An Information-theoretic Approach to Neural Computing*, Springer, N. York.
2. Haykin S., 1999 *Neural Networks*, Prentice-Hall, N. Jersey
3. Hertz J., Krogh A., Palmer R., 1991 *Introduction to the theory of Neural Computation*, Addison-Wesley, USA
4. Neal R., 1996. *Bayesian learning for Neural Networks*, Springer, N. York
5. Pearson D. W., Steele N. C., Albrecht R. F., 1995 *Artificial Neural nets and Genetic Algorithms. Proceedings of the International Conference in Ales, France*, Springer, Wien.
6. Wasserman P., 1989. *Neural Computing*, Van Nostrand Reinhold, N. York
7. StatSoft, 1999, *Statistica Neural Networks user manual*, StatSoft, USA
8. Αντωνόπουλος Β. – Παπαμιχαήλ Δ., 1997, *Έλλειμμα στο Ισοζύγιο του νερού της λίμνης Βεγορίτιδας – Διερεύνηση με στοχαστικές διαδικασίες*, 7^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ε.Υ.Ε., 14-18 Οκτωβρίου Πάτρα.

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΡΑΝΙΑΣ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ, ΘΕΣΣΑΛΙΑ

Αντώνης Κ. Μανάκος¹, Γεώργιος Χρ. Δημόπουλος²

1. Ι.Γ.Μ.Ε, Περ.Μον.Κεντρ.Μακεδονίας, Φράγκων 1, 546 26 Θεσ/νίκη
2. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, Τομέας Γεωλογίας, 541 24 Θεσ/νίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή εξετάζονται οι δυνατότητες εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας με βάση τις συνθήκες εκφόρτισής του μέσω της πηγής του Κεφαλόβρυσου και με τις χωροχρονικές διακυμάνσεις της στάθμης των γεωτρήσεων στο άμεσο περιβάλλον του. Προτείνονται δύο φάσεις εκμετάλλευσης. Η πρώτη θα έχει ως στόχο την απόληψη έως και $18 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού ετησίως, ενώ η δεύτερη την απόληψη $20 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Λέξεις κλειδιά: καρστικό σύστημα, εκφόρτιση, πηγή, διακυμάνσεις στάθμης, Κρανιά, Θεσσαλία

EXPLOITATION PERSPECTIVE OF KRANIA ELASSONA KARST SYSTEM, THESSALY

Antonis K. Manakos¹, Georgios Chr. Dimopoulos²

1. I.G.M.E, Branch of Central Macedonia, 1Fragon, 54 626 Thessaloniki
2. Aristotle University of Thessaloniki, Department of Geology, 541 24 Thessaloniki

ABSTRACT

This paper deals with the exploitation perspective of Krania Ellassona karst system based on the discharge of Kefalovryso spring and boreholes water level fluctuation. Progressive exploitation of the Krania karst system is thought to ensure optimised and long term water resources sustainability. A two stage exploitation plan is suggested the first of which will be targeting at discharging $18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, whilst the second one is projected to reach a maximum discharge of $20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$.

Key words: karst system, discharge, spring, water fluctuation, Krania, Thessaly

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ανθρακικό υδροφόρο σύστημα της Κρανιάς Ελασσόνας καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα της οροσειράς των Καμβουνίων στη Δυτ. Θεσσαλία, και ανήκει στην υδρολογική λεκάνη Κρανιάς Ελασσόνας, η οποία αποτελεί τμήμα της ευρύτερης λεκάνης απορροής του ποταμού Τιταρήσιου. Η περιοχή δομείται από μια υποκείμενη αυτόχθονη έως παραυτόχθονη, ελαφρά μεταμορφωμένη ανθρακική σειρά, γνωστή ως **“ανθρακική ενότητα της Κρανιάς”** [2, 3,9] καθώς και από μια -τεκτονικά- υπερκείμενη σειρά γνωστή ως **“τεκτονικό πελαγονικό κάλυμμα”** (Σχήμα 1) [11, 3, 4]

Η **Ανθρακική ενότητα Κρανιάς** έχει έκταση 92 Km² και πάχος πάνω από 1850 m. Παρουσιάζεται ως το υπόβαθρο της οροσειράς των Καμβουνίων, το οποίο σήμερα αποκαλύπτεται ως **“τεκτονικό παράθυρο”**. Διακρίνεται από την παρουσία τριών λιθοστρωματογραφικών οριζόντων [10, 8]. Το **“τεκτονικό Πελαγονικό κάλυμμα”** συνίσταται από προαλπικούς και αλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς (γνεύσιοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, σχιστόλιθοι με ενστρώσεις ορθογνευσίων και μαρμάρων) με παρενστρώσεις πλουτώνιων σωμάτων. Στην περιοχή εμφανίζονται επίσης **Τριαδικό-ιουρασικής** ηλικίας μάρμαρα του ανθρακικού καλύμματος της Πελαγονικής και οφιόλιθοι. Οι **Νεογενείς** και **Τεταρτογενείς** αποθέσεις συνίστανται από μάργες, αργίλους, κροκαλοπαγή και ασύνδετα αργιλοαμμώδη υλικά, οι οποίες πλήρωσαν τα τεκτονικά βυθίσματα, που δημιουργήθηκαν από την εφελκυστική (θραυσιγενή) τεκτονική, που έλαβε χώρα από το Μειόκαινο και μετά [4].

Το καρστικό υδροφόρο σύστημα της Κρανιάς αποτελεί το σημαντικότερο, από άποψη υδροδυναμικότητας, υδροφορέα της περιοχής. Αναπτύσσεται στα καρστοποιημένα μάρμαρα του κατώτερου ορίζοντα της ανθρακικής σειράς της Κρανιάς και η μέση απόλυτη υπόγεια στάθμη του νερού, για το χρονικό διάστημα 1988-93, εντοπίζεται στα 255,48 m. Ο εμπλουτισμός του συστήματος πραγματοποιείται με την απ' ευθείας κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακριμνησμάτων σε όλη την καρστική επιφάνεια του υδροφορέα και με τη συγκεντρωμένη διήθηση επιφανειακού νερού που προέρχεται από τα υδρορρέματα Δεσκάτης και Δασοχωρίου που το διαρρέουν.

Ο υδροφορέας θεωρείται υδρογεωλογικά ως ένα ανεξάρτητο υδροφόρο σύστημα χωρίς πλευρικές υπόγειες εισροές ή εκροές και η καρστική πηγή του Κεφαλόβρυσου αποτελεί τη μοναδική εκφόρτιση του καρστικού συστήματος της Κρανιάς Ελασσόνας [5, 7]. Για την διερεύνηση των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης των υπόγειων αποθεμάτων του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς εξετάστηκαν οι διαχρονικές συνθήκες εκφόρτισής του μέσα από μετρήσεις παροχής της πηγής του Κεφαλόβρυσου και ταυτόχρονες μετρήσεις των διακυμάνσεων της πιεζομετρικής στάθμης του υδροφορέα σε γεωτρήσεις που λειτουργούν στο άμεσο περιβάλλον του.

Σχήμα 1 : Υδρολιθολογικός χάρτης

2. ΥΔΙΚΑ- ΜΕΘΟΔΟΙ

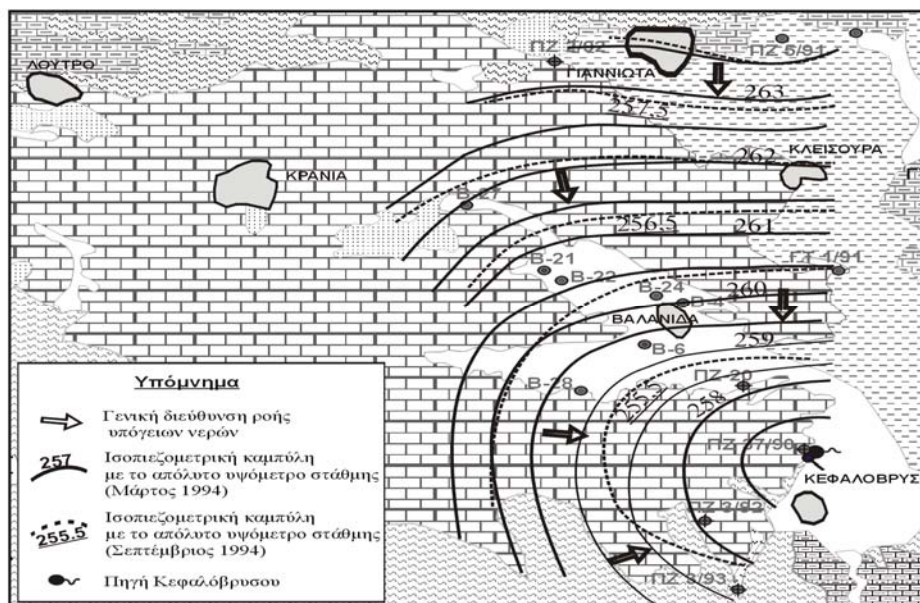
Για την διερεύνηση των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις παροχής της καρστικής πηγής του Κεφαλόβρυσου που διενεργήθηκαν από το ΙΓΜΕ στο σημείο ανάβλυσής της κατά τα υδρολογικά έτη 1988 έως 1992 και ταυτόχρονες μετρήσεις των διακυμάνσεων της πιεζομετρικής στάθμης 5 γεωτρήσεων.

Από την κατασκευή πιεζομετρικών χαρτών υγρής και ξηρής περιόδου διαπιστώνεται η διεύθυνση ροής και αποστράγγισης του καρστικού υδροφορέα, όπως και το κυμαινόμενο πάχος της κορεσμένης ζώνης, ενώ από τις συνθήκες εκφόρτισης της πηγής στα μελετούμενα υδρολογικά έτη, τα μέσα ετήσια ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα.

3. ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΡΑΝΙΑΣ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ ΚΑΙ Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΡΟΗΣ

Για τη μελέτη της πιεζομετρίας επιλέχθηκαν γεωτρήσεις και πιεζόμετρα που ανορύχτηκαν στον καρστικό υδροφορέα της Κρανιάς από το ΙΓΜΕ, την ΥΕΒ και από ιδιώτες. Συντάχθηκε πιεζομετρικός χάρτης που απεικονίζει την κατάσταση της υπόγειας υδροφορίας κατά την υγρή περίοδο (Μάρτιος) και την ξηρή (Σεπτέμβριος) του υδρολογικού έτους 1993/94, όπως αυτό εμφανίζεται στο Σχήμα 2.

Σχ. 2 : Ισοπιεζομετρικός χάρτης του καρστικού υδροφορέα Κρανιάς (Υδρολογικό έτος 1993/94)



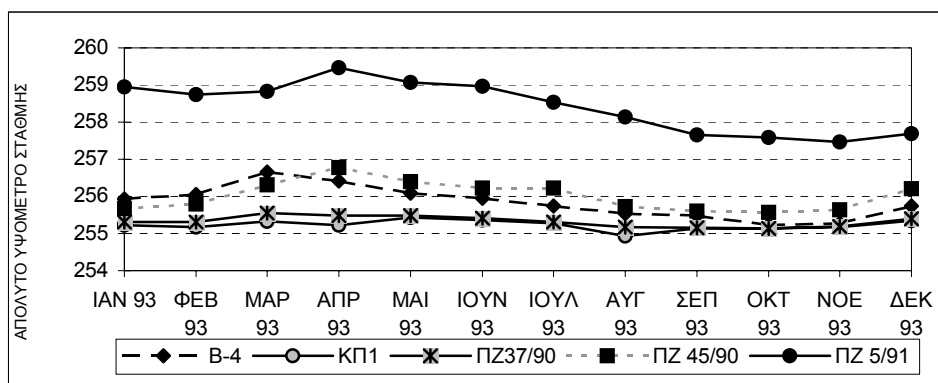
Από τη μελέτη των πιεζομετρικών καμπύλων προκύπτουν οι εξής βασικές διαπιστώσεις. Διακρίνουμε μία μικρή υδραυλική κλίση της καρστικής στάθμης από ΒΔ διεύθυνση προς την πηγή του Κεφαλόβρυσου, όπου κατευθύνονται οι υπόγειες ροές. Οι πρώτες ενδείξεις δηλώνουν μια ευκολία διακίνησης του νερού και καλή υδαταγωγιμότητα (T) [6]. Και στις δυο περιόδους εμφανίζεται η ίδια πιεζομετρική κατάσταση με μόνη διαφορά, ότι οι αποστάσεις μεταξύ των ισοδυναμικών καμπυλών κατά τη διεύθυνση ροής παρουσιάζεται μικρότερη κατά την υγρή περίοδο (Μάρτιος 1994) από τις αντίστοιχες της ξηρής περιόδου (Σεπτέμβριος 1994). Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερη υδραυλική κλίση, μεγαλύτερη μοναδιαία παροχή [1]. Η καμπυλότητα των ισοδυναμικών γραμμών προς τα κατάντη, δηλώνει ζώνη τροφοδοσίας από ΒΔ προς ΝΑ διεύθυνση, δηλ. προς την πηγή. Έτσι ο υδροφορέας μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ακτινωτός με συγκλίνουσες γραμμές ροής (ακτινωτός συγκλίνων με υπερβολικό προφίλ).

Οι υδραυλικές κλίσεις (i) είναι αρκετά μεγάλες στις παρυφές σε σχέση με την πεδινή ζώνη όπου εμφανίζεται να είναι της τάξης του $0,5-0,6 \cdot 10^{-3}$, γεγονός που δηλώνει υδροφορέα πολύ μεγάλης υδροδυναμικότητας [1].

4. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

Η γνώση της πορείας της πιεζομετρικής επιφάνειας ενός υδροφορέα είναι απαραίτητο στοιχείο γιατί α) προσδιορίζει τις διευθύνσεις ροής των υπογείων νερών β) μας δίνει πληροφορίες για τις επικρατούσες υδραυλικές κλίσεις στις διάφορες θέσεις του υδροφορέα και γ) δίνει την ανώτερη στάθμη κορεσμού του υδροφορέα. Στο διάγραμμα του Σχήματος 3 εμφανίζονται οι διακυμάνσεις της υπόγειας στάθμης σε γεωτρήσεις του καρστικού υδροφορέα Κρασιάς Ελασσόνας

Σχ. 3 : Διακύμανση της υπόγειας στάθμης σε γεωτρήσεις του καρστικού υδροφορέα Κρασιάς Ελασσόνας



Διαπιστώνει κανείς, ότι σε αντίθεση με ότι συμβαίνει συνήθως σε καρστικούς υδροφορείς, η μορφή των καμπύλων διακύμανσης της πιεζομετρικής επιφάνειας του συστήματος στις γεωτρήσεις παρατήρησης ΠΖ 37/90, ΚΠ-1, και ΠΖ 45/90 είναι απόλυτα ομαλή. Το γεγονός αυτό δηλώνει μια φυσιολογική φόρτιση-εκφόρτιση του καρστικού συστήματος χωρίς ακραία επεισόδια πρόσθετου εμπλουτισμού και εκμετάλλευσής του [5].

5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Προκειμένου να διαπιστώσει κανείς την υπάρχουσα κατάσταση και να διαχειριστεί ένα υδροφόρο στρώμα ή σύστημα, είναι απαραίτητη η γνώση του υδρολογικού ισοζυγίου. Αυτό σημαίνει, ότι πρέπει να υπάρχει ένα ισοζύγιο ανάμεσα στις ποσότητες του νερού που εισρέουν στο υδροφόρο στρώμα και αυτών που εκρέουν από αυτό.

Στην κατάρτιση του υδατικού ισοζυγίου του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς παίρνουν μέρος τα ακόλουθα μεγέθη: α) ο όγκος των κατακρημνισμάτων που δέχεται η ζώνη τροφοδοσίας του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας (V_P), β) ο συνολικός όγκος νερού, ο οποίος προέρχεται από την απευθείας κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων πάνω στην επιφάνεια της ζώνης τροφοδοσίας της πηγής Κεφαλόβρυσου (V_K) και γ) οι απώλειες νερού από την εξάτμιση και τη διαπνοή (E) πάνω στην επιφάνεια του κάρστ. Έτσι, η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου για τον καρστικό υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας παίρνει τη μορφή $V_P = V_K + E$ (1)

Πίνακας 1 : Στοιχεία υδρολογικού ισοζυγίου του καρστικού Υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας για τα έτη 1988/1992

	V_P	V_K	E
Υδρολ. Έτος	όγκος νερού $m^3/έτος$	όγκος νερού $m^3/έτος$	όγκος νερού $m^3/έτος$
1988/89	51,59E+06	27,84E+06	23,75E+06
1989/90	37,06E+06	18,77E+06	18,29E+06
1990/91	66,71E+06	42,22E+06	24,49E+06
1991/92	48,36E+06	24,84E+06	23,51E+06
Μέσ.όρος	50,93E+06	28,42E+06	22,51E+06
Ισοδύναμος όγκος νερού σε ποσοστό %			
1988/89	100	53,98	46,02
1989/90	100	50,86	49,14
1990/91	100	63,21	36,79
1991/92	100	51,37	48,63
Μέσ.όρος	100	54,86	45,14

Στον Πίνακα 1 δίνεται λυμένη η εξίσωση (1) του υδρολογικού ισοζυγίου με τους παράγοντες εκφρασμένους σε όγκους νερού, και σε συντελεστές % ως προς τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που δέχεται η ζώνη τροφοδοσίας του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας [5,6]. Ο συντελεστής E είναι ο άγνωστος παράγοντας της εξίσωσης.

Ο συντελεστής κατείσδυσης για το χρονικό διάστημα 1988/92 κυμάνθηκε μεταξύ 50,86 % και 63,21 % για ετήσιο ύψος βροχής 403,48 mm και 726,40 mm αντίστοιχα.

6. ΤΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΚΡΑΝΙΑΣ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ

Ο βασικός στόχος της αξιοποίησης του υδροφορέα της Κρανιάς πρέπει να είναι η εκμετάλλευσή του για ένα απεριόριστο χρονικό διάστημα, χωρίς την πρόκληση “ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων”.

Ο εμπλουτισμός του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς κατά το Υδρολογικό έτος 1989-90 με μέσο ύψος βροχής 403,48 mm ανήλθε στα $18,77 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η ποσότητα αυτή, η οποία αποτελεί τον ετήσιο εμπλουτισμό του υδροφορέα κάτω από τις πλέον δυσμενείς βροχομετρικές συνθήκες, μπορεί να αντλείται από τον καρστικό υδροφορέα της Κρανιάς με ευρύτατα περιθώρια ασφαλείας και να εξασφαλίζεται ταυτόχρονα η βέλτιστη διαχρονικά λειτουργία του [5]. Πιστεύουμε ότι μια περίοδος βαθμιαίας ανάπτυξης της εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα θα καθορίσει τις σωστές προϋποθέσεις και τα εχέγγυα για την ορθολογική διαχείρισή του, η οποία θα είναι ενταγμένη στο ευρύτερο πλαίσιο της βελτιστοποίησης του προγραμματισμού, του σχεδιασμού και της διαχείρισής του. Με δεδομένο ότι την τελευταία πενταετία παρατηρείται μια αισθητή μείωση του μέσου ύψους των βροχοπτώσεων σε σχέση με τους αντίστοιχους της 20-ετίας, θα μπορούσε κανείς να προτείνει δύο φάσεις εκμετάλλευσης. Η πρώτη φάση θα πρέπει να έχει ως στόχο την απόληψη έως και $18 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού ετησίως. Σε περίπτωση που δεν διαπιστωθούν αρνητικές επιπτώσεις στην δίαιτά του, τότε μπορεί να προχωρήσει η δεύτερη φάση, κατά την οποία ο συνολικός όγκος νερού που θα αντλείται θα είναι της τάξης των $20 \times 10^6 \text{ m}^3$, ποσότητα που ταυτίζεται με ύψος βροχής που πλησιάζει τη μέση ετήσια τιμή των βροχοπτώσεων της τελευταίας πενταετίας.

Τέλος, μια άλλη πρόταση, που μπορεί να συμβάλλει στην ορθολογική εκμετάλλευση του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς, είναι ο καθορισμός της χαμηλότερης υδροστατικής στάθμης στο σύνολό του. Από τα αποτελέσματα της έρευνάς μας προκύπτει ότι η στάθμη δεν πρέπει να υποβιβαστεί κάτω από το απόλυτο υψόμετρο των 255.00 m [5, 6].

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι αντλήσεις υπόγειου νερού από το καρστικό σύστημα της Κρανιάς για αρδευτικούς κυρίως σκοπούς και εν μέρει για την ύδρευση οικισμών της περιοχής είναι περιορισμένης έκτασης και ελεγχόμενες. Έτσι, με το υφιστάμενο καθεστώς αξιοποίησης των απορροών της πηγής, πάνω από το 70% του ετήσιου υδατικού δυναμικού του καρστικού υδροφορέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών. Ο ετήσιος εμπλουτισμός του καρστικού

υδροφορέα της Κρανιας Ελασσόνας κάτω από τις πλέον δυσμενείς συνθήκες βροχόπτωσης υπολογίστηκε σε $18 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η ποσότητα αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί χωρίς να προκληθούν ανεπιθύμητες ποσοτικά και ποιοτικά συνέπειες στο υδροφόρο σύστημα. Η βαθμιαία ανάπτυξη της εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα της Κρανιας είναι η πλέον ενδεδειγμένη και διασφαλίζει τη βέλτιστη και διαχρονική του λειτουργία. Προτείνονται δύο φάσεις εκμετάλλευσης. Η πρώτη θα έχει ως στόχο την απόληψη έως και $18 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού ετησίως, ενώ η δεύτερη την απόληψη $20 \times 10^6 \text{ m}^3$.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καλλέργης, Γ., 1986. Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία, Τόμος Α & Β, Τ.Ε.Ε.
2. Katsikatsos, G., Migiros, G. & Triantaphyllis, M. & Mettos, A., 1986. Geological structure of internal Hellenides (E. Thessaly – SW. Macedonia, Euboea – Attica –Northern Cyclades islands and Lesvos), Geol. & Geophys. Res. (Athens), special issue, 191-212.
3. Kilias, A. & Mountrakis, D., 1987. Zum tektonischen Bau der Zentral-peloponnischen Zone (Kamvounia-Gebirge, N. Griechenland), Z.d.t. geol.Ges. 138, 211-237.
4. Kilias, A. & Mountrakis, D., 1988. The Pelagonian Nappe. Tectonics, metamorphism and magmatism, in 4th Congr. Geol. Soc. Greece. XXIII, 16-38, Athens.
5. Μανάκος, Α., 1999 : Υδρογεωλογική συμπεριφορά και στοχαστική προσομοίωση του καρστικού υδροφόρου συστήματος Κρανιας Ελασσόνας. Διδακτορική διατριβή Α.Π.Θ, 214 σελ..
6. Μανάκος, Α. & Τασιός, Ν., 1999. Υδρογεωλογική έρευνα μεγάλων ανθρακικών μαζών Θεσσαλίας. Καρστικός υδροφορέας Κρανιας. Κοζάνη. Εσωτερική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε, 174 σελ..
7. Μανάκος, Α. & Δημόπουλος, Γ., 1999. Οριοθέτηση και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του καρστικού υδροφόρου συστήματος του τεκτονικού παράθυρου Κρανιας Ελασσόνας, Θεσσαλία. 5^ο Πανελλήνιο Υδρο-γεωλογικό Συνέδριο, Λευκωσία, Κύπρος, 323-336.
8. Σταμάτης, Α., 1983. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας 1:50.000, φύλλο Δεσκάτη, Ι.Γ.Μ.Ε.
9. Stamatis, A. and Migiros, G., 1993. Das tektonische Fenster von Kranea-Elasson (NW-Thessalien/Griechenland), N.Jb.Geol.Palaeont.Mh. Stuttgart, 49-64.
10. Τριανταφύλλης, Ε., 1982. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας 1: 50.000, φύλλο Ελασσόνα, Ι.Γ.Μ.Ε.
11. Yarwood, G. & Dixon, J., 1977. Lower Cretaceous and younger thrusting in the Pelagonian rocks of the High Pieria, Greece, in VI coll.Geol.Aegean region, 269-280.