

Μελέτη Προέγκρισης Χωροθέτησης του Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού Βαλορέματος

Υδρολογική μελέτη

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	1
Γενικά χαρακτηριστικά	1
Παραγωγή ημερήσιων παροχών στη θέση Σμίξη	2
Καμπύλες διάρκειας παροχών	5
Ελάχιστες παροχές	6
Αναφορές	8

Μελέτη Προέγκρισης Χωροθέτησης του Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού Βαλορέματος

Υδρολογική μελέτη

Εισαγωγή

Η παρούσα υδρολογική μελέτη αποτελεί μέρος της μελέτης χωροθέτησης του μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού στο Βαλόρεμα. Κύριο αντικείμενό της αποτελεί η εκτίμηση των ελάχιστων παροχών στη θέση του υπό μελέτη έργου. Η μελέτη αυτή βασίζεται σε δεδομένα και αναλύσεις των Παπαϊωάννου & συν. (2000α, β), η οποία με τη σειρά της είχε βασιστεί πρωτίστως σε δεδομένα παροχών της ΔΕΗ στη θέση Σιδηροδρομική Γέφυρα Γοργοποτάμου. Ωστόσο, για την κατά το δυνατό ακριβέστερη εκτίμηση των ελάχιστων παροχών, στην παρούσα μελέτη έγιναν νέες αναλύσεις των δεδομένων και εκτιμήθηκαν εκ νέου οι ημερήσιες παροχές στη θέση του υπό μελέτη έργου χρησιμοποιώντας ως βάση αφενός τα δεδομένα ημερήσιων παροχών της ΔΕΗ στη θέση Σιδηροδρομική Γέφυρα Γοργοποτάμου και αφετέρου τις ταυτόχρονες μετρήσεις παροχών στις δύο θέσεις που πραγματοποιήθηκαν από τους Παπαϊωάννου & συν. (2000α, β).

Γενικά χαρακτηριστικά

Το Βαλόρεμα αποτελεί παραπόταμο του Γοργοποτάμου που με τη σειρά του είναι παραπόταμος του Σπερχειού. Η θέση υδροληψίας του υπό μελέτη υδροηλεκτρικού έργου βρίσκεται αμέσως κατάντη της συμβολής του Βαλορέματος με το ρέμα Αγίου Πνεύματος και είναι γνωστή με το τοπωνύμιο «Σμίξη». Η έκταση της λεκάνης ανάντη της εν λόγω θέσης είναι 31.3 km² και το μέσο υψόμετρό της είναι 1637 m. Ο πλησιέστερος υδρομετρικός σταθμός βρίσκεται κατάντη της εν λόγω θέσης, στη θέση Σιδηροδρομική Γέφυρα Γοργοποτάμου και ανήκει στη ΔΕΗ. Η έκταση της λεκάνης ανάντη της αυτής θέσης είναι 49.2 km².

Σύμφωνα με τους Παπαϊωάννου & συν. (2000β) η μέση ετήσια βροχόπτωση στις λεκάνες Βαλορέματος και Γοργοποτάμου είναι 1451.2 mm και 1305.2 mm, αντίστοιχα (περίοδος 1987-96). Τα μεγέθη αυτά έχουν προκύψει από επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών Κρίκελο, Υπάτη, Δυο Βουνά, Συκέα, Διάκος, Καλοσκοπή και Πυρά, στην οποία συμπεριλαμβάνεται και υψομετρική διόρθωση.

Η κύρια παροχομετρική πληροφορία για τη μελέτη προέρχεται από μετρήσεις στη θέση Σιδηροδρομική Γέφυρα Γοργοποτάμου, βάσει των οποίων έχει καταρτιστεί χρονοσειρά ημερήσιων παροχών που καλύπτει την περίοδο 1988-96. Από την εν λόγω χρονοσειρά προκύπτει ότι η μέση υπερετήσια παροχή για την εν λόγω περίοδο είναι 2.554 m³/s, τιμή που αντιστοιχεί σε απορροή 80.6 hm³ ετησίως ή σε ισοδύναμο ύψος απορροής 1638 mm ετησίως. Παρατηρούμε ότι η τελευταία τιμή υπερβαίνει σημαντικά το ύψος βροχής στη λεκάνη (1305

mm), γεγονός που κατ' αρχάς δημιουργεί αμφιβολίες για την αξιοπιστία της χρονοσειράς της απορροής αλλά εν τέλει μπορεί να οφείλεται σε υπόγεια τροφοδοσία της επιφανειακής υδρολογικής λεκάνης. Σε κάθε περίπτωση το γεγονός αυτό επιβάλλει την λεπτομερή εξέταση τόσο των τιμών της χρονοσειράς, όσο και των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής, δεδομένου ότι, όπως σημειώνεται στη μελέτη Παπαϊωάννου & συν. (2000α), η υδρογεωλογική λεκάνη του Γοργοποτάμου ανάντη της θέσης μέτρησης είναι πολύ μεγαλύτερη από την επιφανειακή υδρολογική λεκάνη. Αυτή η εξέταση είναι εκτός του αντικειμένου της παρούσας μελέτης, όπου θα δεχτούμε ότι η ημερήσια χρονοσειρά παροχών στη Σιδηροδρομική Γέφυρα Γοργοποτάμου είναι αξιόπιστη και ότι η υπερβολικά μεγάλη τιμή της υπερετήσιας απορροής οφείλεται σε πλευρικές υπόγειες εισροές, εξωτερικές της επιφανειακής υδρολογικής λεκάνης.

Παραγωγή ημερήσιων παροχών στη θέση Σμίξη

Στα πλαίσια της μελέτης των Παπαϊωάννου & συν. (2000α, β), εκτελέστηκαν 19 ταυτόχρονες υδρομετρήσεις στις θέσεις Σμίξη και Γέφυρα Γοργοποτάμου, ενώ πρόσφατα (Σεπτέμβριος 2001) προστέθηκε και μία ακόμη. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον Πίν. 1. Παρατηρούμε ότι ο λόγος των παροχών στις δύο θέσεις δεν είναι σταθερός αλλά κυμαίνεται από 10% έως 39%. Ο λόγος αυτός είναι πολύ μικρότερος από την αναλογία των εκτάσεων των δύο λεκανών η οποία είναι $31.3 / 49.2 = 63.6\%$. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να αποδοθεί στην κυριαρχία της υπόγειας απορροής (πηγές στην ενδιάμεση λεκάνη) αντί της επιφανειακής απορροής.

Στο Σχ. 1 έχει απεικονιστεί ο συντελεστής αναλογίας της παροχής στη Σμίξη προς την παροχή στη Γέφυρα Γοργοποτάμου συναρτήσει της παροχής στη Γέφυρα Γοργοποτάμου. Παρατηρούμε ότι συντελεστής αναλογίας είναι σαφώς αύξουσα συνάρτηση της παροχής στη Γέφυρα Γοργοποτάμου, γεγονός που είναι εύλογο, δεδομένου ότι στις μεγάλες παροχές συμμετέχει κατά μεγαλύτερο ποσοστό η επιφανειακή απορροή. Είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι για πολύ μεγάλες τιμές της παροχής στη Γέφυρα Γοργοποτάμου ο συντελεστής αναλογίας θα τείνει ασυμπτωτικά στην αναλογία των εμβαδών των λεκανών απορροής, οπότε ένα κατάλληλο μοντέλο για την περιγραφή του συντελεστή αναλογίας $\alpha := Q_S/Q_G$, όπου Q_S και Q_G οι παροχές στη Σμίξη και τη Γέφυρα Γοργοποτάμου, αντίστοιχα, θα είναι

$$\alpha = \beta [1 - e^{-\lambda(Q_G - c)}] \quad (1)$$

όπου $\beta = 0.636$ η αναλογία των εκτάσεων των δύο λεκανών και λ και c παράμετροι προς εκτίμηση. Χρησιμοποιώντας μέθοδο μη γραμμικής παλινδρόμησης και ελαχιστοποιώντας το ελάχιστο σχετικό τετραγωνικό σφάλμα των εκτιμήσεων της μεταβλητής α από τα διαθέσιμα 20 σημεία προέκυψε ότι $\lambda = 0.20 \text{ s/m}^3$ και $c = 0.77 \text{ m}^3/\text{s}$, οπότε

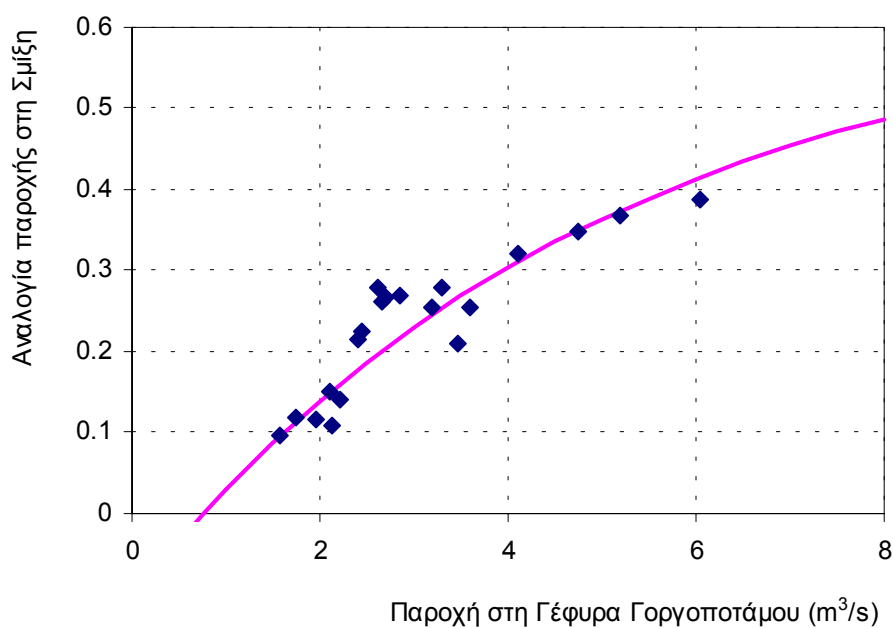
$$\alpha = 0.636 [1 - e^{-0.2(Q_G - 0.77)}] \quad (Q_G \text{ σε } \text{m}^3/\text{s}) \quad (2)$$

Κατά συνέπεια,

$$Q_{\Sigma} = 0.636 [1 - e^{-0.2(Q_{\Gamma} - 0.77)}] Q_{\Gamma} \quad (Q_{\Sigma} \text{ και } Q_{\Gamma} \text{ σε } m^3/s) \quad (3)$$

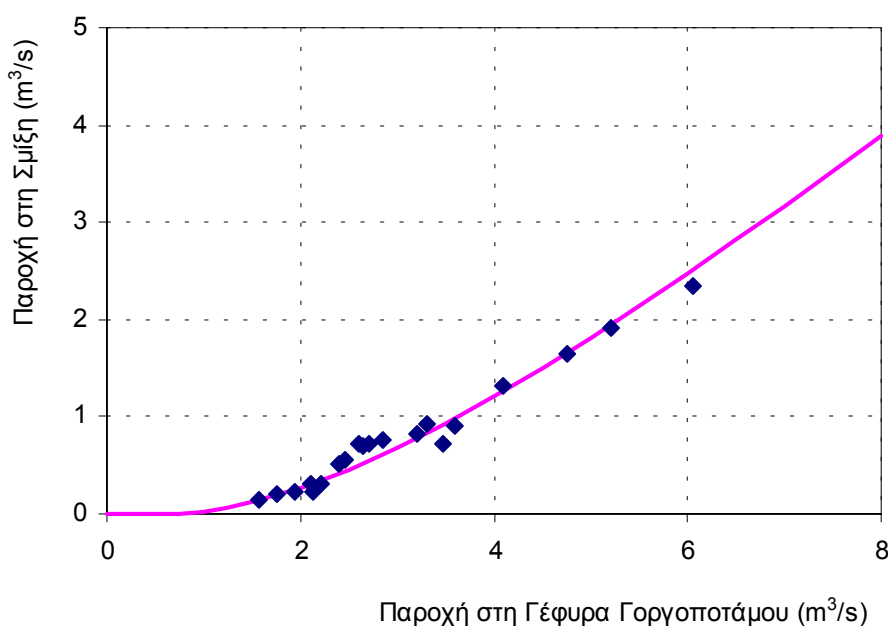
Πίν. 1 Ταυτόχρονες υδρομετρήσεις στις θέσεις Σμίξη και Γέφυρα Γοργοποτάμου

Ημερομηνία	Μετρήσεις παροχής		Αναλογία παροχών
	Σμίξη	Γέφυρα Γοργοποτάμου	
07-Ιαν-99	0.728	3.470	21%
03-Φεβ-99	0.912	3.600	25%
02-Μαϊ-99	0.730	2.610	28%
02-Ιουν-99	0.550	2.450	22%
25-Ιουν-99	0.310	2.220	14%
30-Ιουλ-99	0.230	2.130	11%
25-Αυγ-99	0.208	1.750	12%
12-Σεπ-99	0.225	1.950	12%
24-Οκτ-99	0.315	2.100	15%
11-Νοε-99	0.815	3.200	25%
02-Δεκ-99	0.923	3.300	28%
20-Ιαν-00	0.765	2.850	27%
08-Φεβ-00	0.692	2.650	26%
16-Μαρ-00	1.650	4.750	35%
30-Μαρ-00	2.350	6.050	39%
05-Απρ-00	1.910	5.200	37%
13-Απρ-00	1.320	4.100	32%
04-Μαϊ-00	0.720	2.700	27%
17-Μαϊ-00	0.515	2.400	21%
04-Σεπ-01	0.152	1.580	10%



Σχ. 1 Αναλογία της παροχής στη Σμίξη προς την παροχή στη Γέφυρα Γοργοποτάμου συναρτήσει της παροχής στη Γέφυρα Γοργοποτάμου.

Οι εξισώσεις (2) και (3) έχουν απεικονιστεί στο Σχ. 1 και το Σχ. 2, αντίστοιχα, σε σύγκριση και με τα σημεία που αντιστοιχούν στις υδρομετρήσεις. Στα δύο σχήματα είναι εμφανής η καλή προσαρμογή και των δύο μοντέλων. Κατά συνέπεια η εξίσωση (3) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των ημερήσιων παροχών στη Σμίξη με βάση τις αντίστοιχες παροχές στη Γέφυρα Γοργοποτάμου. Με συνάθροιση των ημερήσιων παροχών προέκυψαν οι μηνιαίες παροχές που φαίνονται στον Πίν. 1.



Σχ. 2 Παροχή στη Σμίξη συναρτήσεως της παροχής στη Γέφυρα Γοργοποτάμου.

Πίν. 2 Μέσες μηνιαίες παροχές στη θέση Σμίξη (m^3/s).

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1987-88	0.126	0.189	0.413	0.623	0.475	0.730	1.814	0.685	0.273	0.289	0.170	0.102	0.493
1988-89	0.124	0.350	0.450	0.346	0.450	2.164	0.898	0.609	0.256	0.137	0.128	0.120	0.501
1989-90	0.194	0.108	0.094	0.078	0.141	0.165	0.326	0.106	0.082	0.050	0.094	0.012	0.121
1990-91	0.031	0.509	1.018	0.595	0.674	2.135	1.676	1.280	0.642	0.440	0.418	0.272	0.808
1991-92	0.200	0.429	0.204	0.183	0.368	0.266	0.937	0.628	0.457	0.260	0.124	0.062	0.344
1992-93	0.040	0.030	0.024	0.073	0.059	0.571	1.362	1.177	0.416	0.277	0.161	0.171	0.367
1993-94	0.075	0.235	0.466	0.611	0.892	1.690	1.570	1.312	0.328	0.326	0.244	0.133	0.660
1994-95	3.975	1.542	0.342	1.188	1.125	0.939	1.784	0.802	0.491	0.558	0.333	0.238	1.110
1995-96	0.391	0.374	0.674	1.146	2.110	1.787	2.008	1.328	0.865	0.617	0.553	0.403	1.024
ΜΤ	0.573	0.418	0.409	0.538	0.699	1.161	1.375	0.881	0.423	0.328	0.247	0.168	0.603

Από τον Πίν. 1 προκύπτει ότι η μέση υπερετήσια παροχή στη θέση Σμίξη είναι $0.603 m^3/s$ που αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο όγκο απορροής $19.0 hm^3$ και ετήσιο ισοδύναμο ύψος απορροής $608 mm$. Ο συντελεστής απορροής στην εν λόγω θέση προκύπτει ίσος με $608 /$

1451 = 0.42, τιμή που είναι εύλογη για τη συγκεκριμένη λεκάνη. Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι η περίοδος 1987-88 μέχρι 1995-96 περιέχει υδρολογικά έτη που είναι από τα πλέον ξηρά που έχουν παρατηρηθεί στον ελληνικό χώρο (1989-90, 1991-92) και είναι πολύ πιθανό ότι το μέγεθος της μέσης ετήσιας παροχής έχει υπεκτιμηθεί.

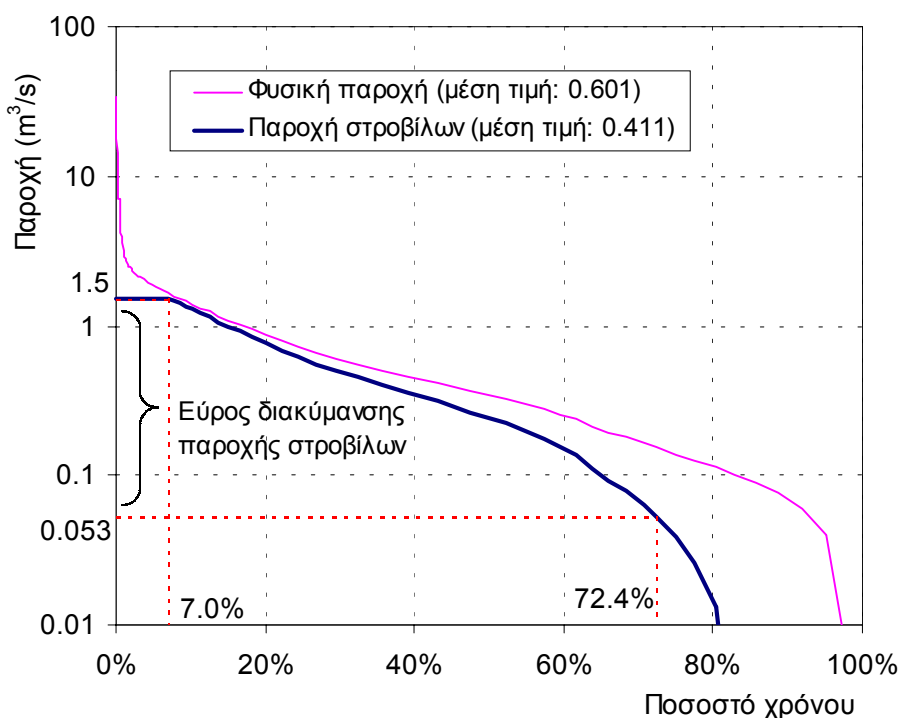
Εξάλλου, από τον Πίν. 1 προκύπτει επίσης ότι η μέση θερινή παροχή¹ είναι 0.333 m³/s. Το 30% της τιμής αυτής, δηλαδή παροχή 0.1 m³/s θεωρείται ως παροχή περιβαλλοντικής διατήρησης, η οποία θα πρέπει να αφήνεται μονίμως στο υδατόρευμα χωρίς να διέρχεται από το υδροηλεκτρικό έργο.

Καμπύλες διάρκειας παροχών

Με βάση τη χρονοσειρά των ημερήσιων παροχών στη θέση Σμίξη, κατασκευάστηκε η καμπύλη διάρκειας της φυσικής παροχής που φαίνεται στο Σχ. 3. Στο ίδιο σχήμα έχει κατασκευαστεί και η καμπύλη διάρκειας της παροχής που διέρχεται από τους στροβίλους, η οποία βασίστηκε στις παραδοχές (Παπαϊωάννου & συν., 2000α, β) ότι (α) η μέγιστη παροχή στροβίλων είναι 1.5 m³/s· (β) η ελάχιστη παροχή στροβίλων είναι 0.053 m³/s· και (γ) η παροχή περιβαλλοντικής διατήρησης που δεν δεσμεύεται από το υδροηλεκτρικό έργο είναι 0.1 m³/s. Από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι η μέση υπερετήσια παροχή που διέρχεται απ' τους στροβίλους είναι 0.411 m³/s. Το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό στη θέση του έργου, δηλαδή η φυσική παροχή μείον την παροχή περιβαλλοντικής διατήρησης, εκφραζόμενο ως μέση υπερετήσια παροχή, είναι 0.509 m³/s. Κατά συνέπεια η μέση υπερετήσια παροχή που διέρχεται απ' τους στροβίλους αποτελεί ποσοστό 82% του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού.

Στο Σχ. 3 παρατηρούμε ότι στο 7% του χρόνου η διαθέσιμη παροχή ξεπερνά το 1.5 m³/s, οπότε το υδροηλεκτρικό έργο θα λειτουργεί με τη μέγιστη παροχή στροβίλων (1.5 m³/s). Εξάλλου, στο 72.4% του χρόνου η παροχή ξεπερνά την ελάχιστη παροχή στροβίλων (0.53 m³/s). Στο υπόλοιπο διάστημα (27.6% του χρόνου) που η διαθέσιμη παροχή θα είναι μικρότερη της ελάχιστης παροχής στροβίλων, το υδροηλεκτρικό δεν θα λειτουργεί. Όπως προκύπτει από το διαθέσιμο δείγμα ημερήσιων παροχών, η μέγιστη διάρκεια συνεχόμενων ημερών με παροχή κάτω από την ελάχιστη παροχή στροβίλων, στο συνολικό χρονικό διάστημα των 9 ετών, είναι 63 ημέρες. Τέλος, ο ανά υδρολογικό έτος αριθμός ημερών που η παροχή είναι μικρότερη από το εν λόγω ελάχιστο όριο κυμαίνεται από 0 (έτος 1995-96) μέχρι 305 (έτος 1989-90).

¹ Εδώ θεωρείται για ασφάλεια αλλά και για συμφωνία με την απαίτηση του σχετικού νόμου, ότι η θερινή παροχή αντιστοιχεί στους μήνες Ιούνιο-Αύγουστο, ενώ κανονικά θα έπρεπε να ληφθεί για τους μήνες Ιούλιο-Σεπτέμβριο που από υδρολογική άποψη κατά κανόνα αποτελούν θερινή εποχή στην Ελλάδα.



Σχ. 3 Καμπύλες διάρκειας φυσικής παροχής και παροχής στροβίλων.

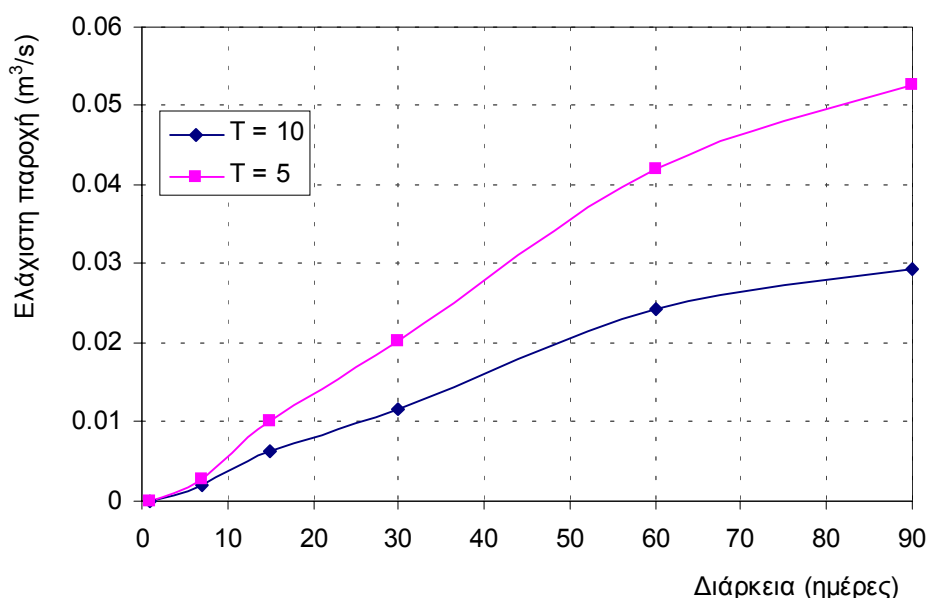
Ελάχιστες παροχές

Το σχετικά μικρό μέγεθος δείγματος παροχών (9 χρόνια) δεν επιτρέπει την αξιόπιστη προσαρμογή αναλυτικών συναρτήσεων κατανομής για τις ελάχιστες παροχές. Ωστόσο, είναι δυνατό να εκτιμηθούν με απλό τρόπο οι εμπειρικές ελάχιστες μηνιαίες παροχές δεκαετίας και πενταετίας χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίν. 2. Συγκεκριμένα, εφαρμόζοντας τη σχέση εμπειρικής πιθανότητας του Weibul (Κουτσογιάννης, 1997), συμπεραίνουμε ότι η απολύτως μικρότερη τιμή αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 10 ετών και η δεύτερη μικρότερη τιμή σε περίοδο επαναφοράς 5 ετών. Οι σχετικές αριθμητικές τιμές φαίνονται στον Πίν. 3, όπου εκτός από τις τιμές που αντιστοιχούν στον ξηρότερο μήνα κάθε έτους φαίνονται και οι τιμές του δεύτερου και τρίτου ξηρότερου μήνα. Σημειώνεται ότι ως επί το πλείστον, οι τρεις ξηρότεροι μήνες εντοπίζονται στην περίοδο από τον Αύγουστο έως και τον Ιανουάριο, ενώ ο απολύτως ξηρότερος μήνας εντοπίζεται στην περίοδο από Σεπτέμβριο έως και Δεκέμβριο.

Πίν. 3 Ελάχιστες μηνιαίες παροχές.

Περίοδος επαναφοράς	Παροχή ξηρότερου μήνα	Παροχή δεύτερου ξηρότερου μήνα	Παροχή τρίτου ξηρότερου μήνα
$T = 10$ έτη	0.012	0.030	0.040
$T = 5$ έτη	0.024	0.050	0.078

Η παραπάνω ανάλυση βασίζεται στις μέσες παροχές των ημερολογιακών μηνών. Καλύτερη προσέγγιση στο θέμα των ελάχιστων παροχών μπορεί να γίνει αν αποδεσμευτούμε από τους ημερολογιακούς μήνες και χρησιμοποιήσουμε τα ημερήσια δεδομένα προκειμένου να εντοπίσουμε σε κάθε έτος εκείνη την περίοδο διάρκειας ενός μήνα (30 ημερών) στην οποία ελαχιστοποιείται η μέση παροχή της περιόδου. Αυτό μπορεί να επαναληφθεί για ένα σύνολο χαρακτηριστικών διαρκειών ξεκινώντας από μία ημέρα και φτάνοντας μέχρι π.χ. μια τρίμηνη περίοδο (90 ημέρες). Αφού προσδιοριστούν οι ελάχιστες παροχές για όλες τις χαρακτηριστικές διάρκειες και για όλα τα έτη, μπορεί στη συνέχεια να γίνει κατάλληλη στατιστική ανάλυση. Τα αποτελέσματα της εμπειρικής στατιστικής ανάλυσης για την υπόψη χρονοσειρά έχουν απεικονιστεί στο Σχ. 4. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι τιμές 10ετίας και 5ετίας για διάρκεια ενός μήνα είναι 0.012 και 0.020 m³/s, αντίστοιχα, τιμές πολύ κοντά στις αντίστοιχες του Πίν. 3.



Σχ. 4 Ελάχιστη παροχή πενταετίας και δεκαετίας συναρτήσει της θεωρούμενης διάρκειας.

Γενικώς, οι ελάχιστες παροχές που προκύπτουν από την πιο πάνω ανάλυση είναι εξαιρετικά χαμηλές, γεγονός που θα πρέπει να αποδοθεί στα εξαιρετικώς ξηρά έτη (1989-90, 1991-92) που εμπεριέχονται στο μόλις 9 ετών ιστορικό δείγμα. Ακόμη, όπως έδειξε η ανάλυση ευαισθησίας, οι τιμές των ελάχιστων παροχών που εκτιμήθηκαν είναι εξαιρετικά ευαίσθητες ως προς τις τιμές των παραμέτρων λ και c (και κυρίως της δεύτερης) του μοντέλου (1), το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την αναγωγή των παροχών της Γέφυρας Γοργοποτάμου. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι αν η παράμετρος c μηδενιστεί, η ελάχιστη παροχή πενταετίας του Σχ. 4 υπερδιπλασιάζεται, αν θεωρηθεί διάρκεια αναφοράς 3 μηνών, έως και τετραπλασιάζεται, αν θεωρηθεί διάρκεια αναφοράς 1 μήνα. Κατά συνέπεια, οι πιο πάνω τιμές των ελάχιστων παροχών θα πρέπει να θεωρηθούν ως υπεκτιμημένες και θα πρέπει

να αναθεωρηθούν μετά τη λειτουργία του έργου, οπότε και θα υπάρχουν ακριβή δεδομένα παροχών σε συνεχή χρόνο.

Αναφορές

Κουτσογιάννης, Δ., *Στατιστική Υδρολογία*, Έκδοση 4, 312 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.

Παπαϊωάννου, Π. Π. & συνεργάτες, Υδρολογική μελέτη, Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός Βαλόρεμα, ΥΔΡΟΒΑΤ, Αθήνα, 2000α.

Παπαϊωάννου, Π. Π. & συνεργάτες, Συμπληρωματική υδρολογική μελέτη, Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός Βαλόρεμα, ΥΔΡΟΒΑΤ, Αθήνα, 2000β.

Ομάδα μελέτης

Η έκθεση αυτή συντάχθηκε στα πλαίσια της Μελέτης προέγκρισης χωροθέτησης μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού Βαλορέματος, η οποία ανατέθηκε από την Κοινοπραξία ΥΔΡΟΣΑΡ, και εκπονείται από το γραφείο Δ. Αργυρόπουλου. Η υδρολογική μελέτη εκπονήθηκε από τον Δ. Κουτσογιάννη. Συνεργάστηκε ο Δ. Αργυρόπουλος.

Αθήνα, Ιούλιος 2001

Για τη σύνταξη της μελέτης

Για τον Ανάδοχο

Δ. Κουτσογιάννης

Δ. Αργυρόπουλος