

Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΕΩΣ ΣΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

Υπό

ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ

(Εργαστήριο Γεωλογίας-Παλαιοντολογίας Ἀριστ. Παν/μίου Θεσ/νίκης)

(Received 5.11.81)

Abstract: The description of the geological conditions of the springs «Agia Paraskevi» of Moustheni village, «P₁-Platanotopos» and «Kainaki vrissi» of Moustheni-Domatia villages are studied. The springs are into the valley, formed between the mountains Pagon and Symvolon.

Based upon the draining curve of the springs, taken after a summer rain the draining index (constant a) is calculated. The quantity of the absorbed water (Mv) and the spring's water reserves (M) at anytime are also calculated.

Finally the spring's water reserves are correlated with the karst's condition and the constant a . So we find the way with which the ground water aquifer acts to the spring's draining.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

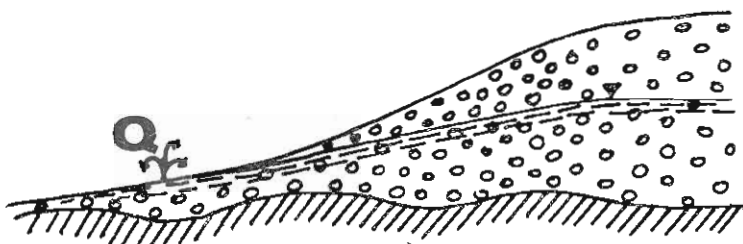
Γιὰ νά μωρέσουμω νά ἐξηγήσουμω τῆ συμπεριφορὰ τοῦ συντελεστῆ ἀποστραγγίσεως (a) στὴν ἀποστράγγιση τῶν πηγῶν, ποὺ ἔχουν διαφορετικὴ γεωλογικὴ δομὴ καὶ ἐπομένως διαφορετικὴ συμπεριφορὰ τῶν ὑδροφόρων στρωμάτων ποὺ τὶς τροφοδοτοῦν, κάναμω ἀνάλυση τῶν καμπύλων ἀποστραγγίσεως στὶς πηγές «Ἀγίας Παρασκευῆς» Μουσθένης, Π₁-Πλατανότοπου: καὶ τῆς πηγῆς «Καϊνάκι βρύση» Δωματίων-Μουσθένης.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΣΗ

Οἱ πηγές ποὺ ἐξετάσαμε βρίσκονται στὴν κοιλάδα ποὺ σχηματίζεται ἀνάμεσα στὰ ὄρη Παγγαῖο καὶ Σύμβολο καὶ παρουσιάζουν τὴν παρακάτω γεωλογικὴ δομὴ:

α. Πηγή 'Αγίας Παρασκευής

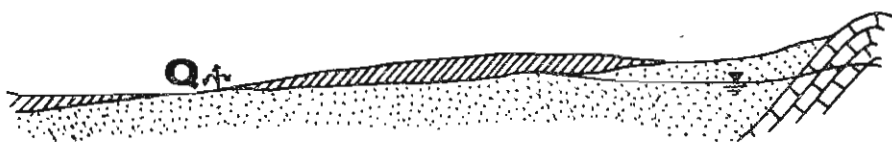
Πρόκειται για έναν τύπο πηγής «Verengungsquelle» που παρουσιάζεται όχι και τόσο συχνά στη φύση, αλλά παρουσιάζεται σε διαφορετικές μορφές. Οί πηγές αυτές δημιουργούνται, όταν στον πόδα ενός περισσότερο ή λιγότερο κεκλιμένου στρώματος ή ελαττώνεται ή διατομή και το πάχος του υδροφόρου στρώματος ή η διαπερατότητά του ξαφνικά γίνεται πολύ μικρή (Σχ. 1).



Σχ. 1. Γεωλογική κατασκευή της περιοχής, όπου εμφανίζεται η πηγή «Αγίας Παρασκευής» Μουσθένης.

β. Πηγή Π₁-Πλατανότοπου

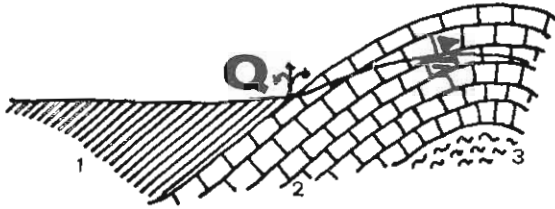
Πρόκειται για μια ανερχόμενη πηγή που σχηματίζεται κυρίως μέσα σε πλειστοκαινικά ιζήματα, όταν ένα υδροφόρο στρώμα που αποτελείται από πλειστοκαινικούς άμμοχάλικες είναι κεκλιμένο και καλύπτεται από πλειστοκαινικές άργιλους (Σχ.2).



Σχ. 2. Γεωλογική κατασκευή της περιοχής, όπου εμφανίζεται η πηγή Π₁-Πλατανότοπου.

γ. Πηγή «Καϊνάκι βρύση» Δωματίων-Μουσθένης

Η πηγή αυτή είναι καρστική πηγή, που προκύπτει όταν ένα μακροδιαπερατό πέτρωμα (όπως οί ασβεστόλιθοι και τὰ μάρμαρα) επικαλύπτει ένα έντελως αδιαπέρατο στρώμα (σχιστόλιθοι). Στην επαφή τών δύο αυτών σχηματισμών εμφανίζονται οί πηγές αυτές και γι' αυτό ονομάζονται «πηγές έπαφής» (Σχ. 3).



Σχ. 3. Γεωλογική κατασκευή τής περιοχής, όπου εξέρχεται ή καρστική πηγή «Καινάκι βρύση» Δωματίων-Μουσθένης. 1. Μάργες, 2. Ασβεστόλιθοι, 3. Σχιστόλιθοι.

3. Προσδιορισμός του συντελεστή άποστραγγίσεως

Η καμπύλη άποστραγγίσεως μιᾶς πηγῆς, πού ἐκφράζεται με τήν καμπύλη τῆς μειώσεως τῆς παροχῆς μιᾶς πηγῆς μετὰ ἀπό μιᾶ θερινῆ βροχόπτωση, δηλαδή τῶν παροχῶν σέ συνάρτηση με τὸ χρόνο, ἐκφράζει τὸ νόμο τῶν ἐκνωσεων τοῦ ὑδροφόρου στρώματος. Ἡ καμπύλη αὐτὴ μᾶς ἐπιτρέπει νὰ ὑπολογίσουμε τὸ συντελεστὴ άποστραγγίσεως (α), ὅταν ἡ ἀρχὴ αὐτῆς τῆς καμπύλης ἐκφράζει τὴν παροχὴ (Q_0) κατὰ τὴν ἀρχὴ τῆς άποστραγγίσεως καὶ τὸ τέλος τῆς τὴν παροχὴ τῆς βάσεως, δηλαδή τὴ μικρότερη παροχὴ πού μπορεῖ νὰ δώσει μιᾶ πηγὴ ὅταν δὲν ἔχουμε βροχοπτώσεις, ἢ σέ μερικὲς περιπτώσεις τῆ συνολικῆ άποστράγγιση, ἐφόσον τὰ ἀποθέματα εἶναι πολὺ φτωχά.

Ἔτσι σύμφωνα με τὰ παραπάνω, ἡ καμπύλη άποστραγγίσεως ἐπηρεάζεται ἀπὸ τὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ ὑδροφόρου στρώματος καὶ ἀπὸ τὴν ἀποροή.

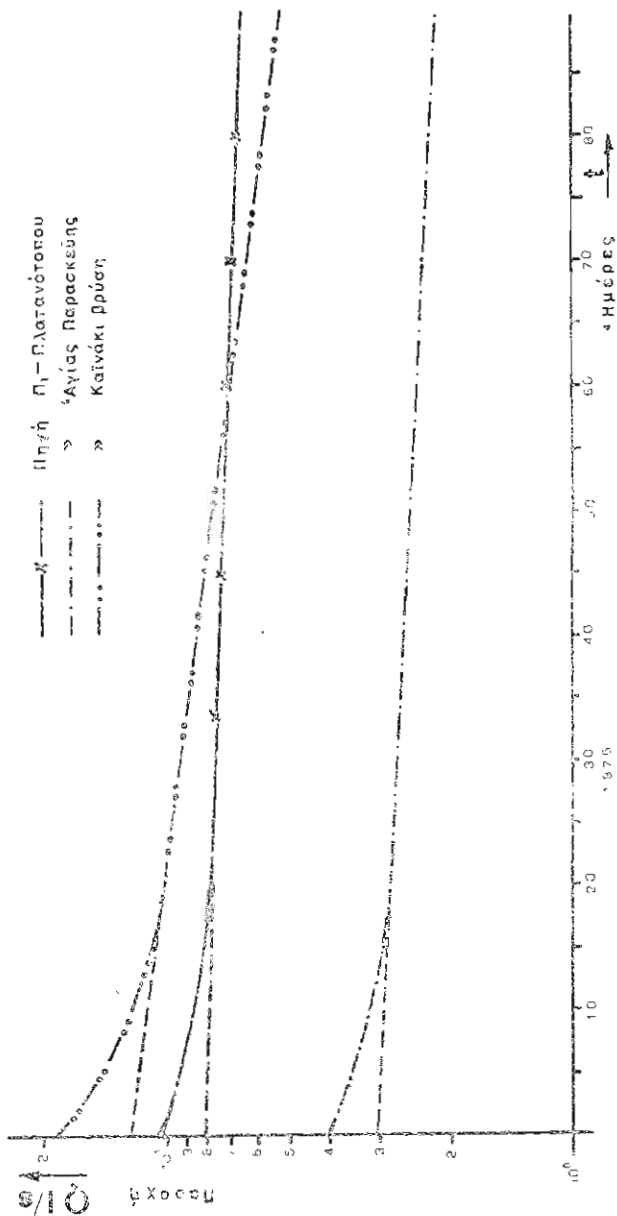
Ἡ καμπύλη άποστραγγίσεως κατασκευάζεται ἂν μεταφέρουμε σέ ἓνα ἡμιλογαριθμικὸ σύστημα συντεταγμένων, στὴν τετμημένη τὸ χρόνο σέ ἡμέρες καὶ στὴν τεταγμένη τὴν παροχὴ σέ $1/s$ (Σχ. 4).

Με βάση αὐτὴ τὴν καμπύλη μπορούμε νὰ ὑπολογίσουμε τὸ συντελεστὴ άποστραγγίσεως (α), πού εἶναι ὑδρογεωλογικὸς παράγοντας τῶν ὑδροφόρων στρωμάτων καὶ πού χαρακτηρίζει τὴν κένωσή τους καὶ τὴν ἱκανότητα ἀποθηκεύσεώς τους σέ ὑπόγειο νερὸ (Castany, 1967).

Γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τοῦ συντελεστῆ άποστραγγίσεως ἔχουν προταθεῖ κατὰ καιροὺς διάφοροι τύποι. Αὐτοὶ ὅμως πού χρησιμοποιοῦνται πιδ συχνά εἶναι ὁ τύπος τοῦ Maillet καὶ ὁ τύπος τοῦ Tison. Πιδ συχνά χρησιμοποιεῖται ὁ τύπος τοῦ Maillet, πού παραδέχεται τὴν ἐκθετικὴ μείωση τῆς παροχῆς σέ συνάρτηση με τὸ χρόνο. Ὁ τύπος αὐτὸς εἶναι:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad (1)$$

$$\text{ἢ} \quad Q_t = Q_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (2)$$



Σχ. 4. Ημολογαριθμική παράσταση της καμπύλης αποστραγγίσεως στις πηγές Αγίας Παρασκευής, Πι, Καϊνάκι βρύση.

όπου $Q_t =$ ή παροχή σε χρόνο t (l/s)

$Q_0 =$ ή παροχή κατά την αρχή τής αποστραγγίσεως κατά το χρόνο t_0 σε l/s.

$\alpha = \delta$ συντελεστής αποστραγγίσεως

$T =$ ό χρόνος που χρειάζεται για να μειωθεί ή αρχική παροχή σε διάστημα από 1 μέχρι $1/e = 0,368e$ μέρος τής αρχικής του τιμής.

$t =$ ό χρόνος που κύλισε από την αρχή τής αποστραγγίσεως σε ήμέρες.

‘Η εξίσωση (1) μάς επιτρέπει να υπολογίσουμε το συντελεστή αποστραγγίσεως (α), όπως επίσης και τον όγκο του νερού που αντιστοιχεί στην αποστράγγιση.

‘Άλλοι συγγραφείς (Narbe 1968, Liebscher 1968) έκαναν εξισώσεις του ίδιου τύπου:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (3)$$

‘Ο τύπος του Mailliet, που είναι έκφραση ενός ολοκληρώματος μιās έκθετικής συναρτήσεως, μπορεί να γραφτεί με δεκαδικούς λογάριθμους:

$$\begin{array}{ll} \lg Q_t = \lg Q_0 - (\alpha \cdot \lg e) \cdot t & (4) \\ \text{μὲ} & \lg e = 2,718 = 0,434 & (5) \\ \text{γίνεται} & \lg Q_t = \lg Q_0 - (0,434\alpha) \cdot t & (6) \\ \text{ἢ} & y = \alpha \cdot mx & (7) \end{array}$$

‘Η εξίσωση (7) σε ήμιλογαριθμικό σύστημα συντεταγμένων δίνει εὐθεία γραμμή. ‘Αν μεταφέρουμε στο ήμιλογαριθμικό αυτό διάγραμμα τὰ δεδομένα τής καμπύλης, με τετμημένη αριθμητική, το χρόνο t σε ήμέρες και στη λογαριθμική τεταγμένη τις παροχές Q σε l/s (Σχ. 4), τότε παίρνουμε την αντιπροσωπευτική για την πηγή καμπύλη αποστραγγίσεως. Για τις πηγές που εξετάζουμε (Σχ. 4) υπολογίσαμε για μιὰ σειρά παρατηρήσεων 10 ἐτῶν (1958-1966 και 1976), τον αντιπροσωπευτικό για κάθε πηγή συντελεστή αποστραγγίσεως (α). Οι τιμές του συντελεστή αποστραγγίσεως α για τις τρεις πηγές δίνονται από τον παρακάτω πίνακα.

Οι παρακάτω τιμές του συντελεστή αποστραγγίσεως (α) ἔδωσαν για κάθε πηγή τις παρακάτω μέσες τιμές:

1. Πηγή ‘Αγίας Παρασκευής: $\bar{\alpha} = 0,0029$ ἄρα $Q_t = Q_0 \cdot e^{-0,0029t}$
2. Πηγή Π₁-Πλατανότοπου: $\bar{\alpha} = 0,0030$ ἄρα $Q_t = Q_0 \cdot e^{-0,003t}$
3. Πηγή Καϊνάκι βρύση: $\bar{\alpha} = 0,0062$ ἄρα $Q_t = Q_0 \cdot e^{-0,0062t}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Τιμές του συντελεστή αποστραγγίσεως α στις πηγές 'Αγίας Παρασκευής, Π-Γ και Καϊνάκι βρύση για μιὰ σειρά παρατηρήσεων 1958-1966 και 1976.

Έτη Παρατηρ.	Πηγή 'Αγίας Παρασκ α	t (ήμέρες)	Πηγή Π1-Πλατανότοπου α	t (ήμέρες)	Πηγή Καϊνάκι βρύση α	t (ήμέρες)
1958	—	—	0,0020	57,5	—	—
1959	0,0031	65	0,0033	47,5	—	—
1960	0,0012	60	0,0027	52,5	0,0068	63
1961	0,0027	42	0,0042	52,5	0,0031	46
1962	0,0038	54	0,0015	37,5	0,0033	30
1963	0,0053	45,5	0,0029	55,0	0,0027	46
1964	0,0019	35,0	0,0029	55,0	0,0085	57,5
1965	0,0039	30,0	0,0042	25,0	0,0081	40,0
1966	0,0024	30,0	0,0045	40,0	0,0090	49,0
1976	0,0025	60,0	0,0024	30,0	0,0086	59,0

4. Παράγοντες που επηρεάζουν τὸ συντελεστή αποστραγγίσεως (α)

Σὲ ἓνα ὑδρολογικὰ κλειστὸ σύστημα στρωμάτων, δηλαδή σὲ μιὰ λεκάνη ὅπου τὰ ὑδροφόρα στρώματα τροφοδοτοῦνται μόνο ἀπὸ τὰ ἀτμοσφαιρικὰ κατακρημνίσματα χωρὶς νὰ ἀπορρέουν ὑπόγεια νερὰ σὲ ἄλλες λεκάνες ἢ ἀντίθετα νὰ προσρέουν μέσα σ' αὐτή, τότε ὁ συντελεστής αποστραγγίσεως επηρεάζεται εἰδικότερα ἀπὸ τοὺς παρακάτω παράγοντες (G. Castany 1967).

1. Ἀπὸ τὴν τιμὴ τοῦ ἐνεργοῦ πορώδους καὶ τῆς ἐνεργοῦ διήθησεως
2. Ἀπὸ τὶς διαστάσεις τοῦ ὑδροφόρου στρώματος
3. Ἀπὸ τὸ συντελεστὴ διαπερατότητας τοῦ Darcy.

Ἔτσι προσδιορίζεται ὅτι ὁ συντελεστής αποστραγγίσεως εἶναι εὐθεία συνάρτηση τοῦ ἐνεργοῦ πορώδους καὶ τῆς ἐνεργοῦ διήθησεως· δηλαδή εἶναι:

$$\alpha = \frac{I}{H} \quad (8)$$

ὅπου: I = ἡ ἐνεργὸς διήθηση στὴ μονάδα ἐπιφάνειας καὶ χρόνου σὲ $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$.

H = τὸ πάχος τοῦ ὑδροφόρου στρώματος σὲ μ .

Ἄπ' αὐτὸ συνάγεται ὅτι, ὅταν ἡ ἐνεργὴ διήθηση εἶναι σταθερὴ, τότε ὁ συντελεστὴς ἀποστραγγίσεως μεταβάλλεται ἀντιστρόφως ἀνάλογα πρὸς τὸ πάχος H καὶ τὸ μῆκος τοῦ ὑδροφόρου στρώματος, ἐπομένως τοῦ ὄγκου ποῦ ἀποθηκεύει ὑπόγειο νερό. Ὁ συντελεστὴς ἀποστραγγίσεως εἶναι τόσο μικρότερος, ὅσο ὁ ὄγκος τοῦ ὑπόγειου νεροῦ ποῦ εἶναι ἀποθηκευμένο στὸ στρώμα εἶναι μεγαλύτερος καὶ ὅσο οἱ διαστάσεις τοῦ ὑδροφόρου στρώματος εἶναι μεγαλύτερες.

Ὁ συντελεστὴς ἀποστραγγίσεως εἶναι ἐπίσης εὐθεία συνάρτηση τῆς διαπερατότητας. Αὐτὸς εἶναι τόσο μεγαλύτερος, ὅσο πιὸ μεγάλη εἶναι ἡ διαπερατότητα τοῦ ὑδροφόρου στρώματος. Ἐτσι συνοψίζοντας ὁ συντελεστὴς ἀποστραγγίσεως εἶναι:

1. Τόσο μεγαλύτερος, καὶ ἐπομένως ἡ ἐκκένωση περισσότερο γρήγορη, ὅσο ὁ ὄγκος τῆς ἀποθήκης τοῦ νεροῦ εἶναι μικρότερος, τὸ ἐνεργὸ πορῶδες μικρότερο καὶ ἡ διαπερατότητα μεγαλύτερη.

2. Τόσο μικρότερος καὶ ἐπομένως ἡ ἐκκένωση πιὸ ἀργή, ὅσο ὁ ὄγκος τῆς ἀποθήκης τοῦ νεροῦ εἶναι μεγαλύτερος, τὸ ἐνεργὸ πορῶδες μεγαλύτερο καὶ ἡ διαπερατότητα μικρότερη.

5. Ὑπολογισμὸς τῆς ποσότητας τῶν κατακρημνισμάτων ποῦ κατεισδύουν καὶ τῶν ἀποθεμάτων τοῦ ὑδροφόρου στρώματος.

Ἡ ποσότητα τοῦ νεροῦ ποῦ κατεισδύει μέσα στὸ πέτρωμα (M_v) ὕστερα ἀπὸ μιὰ θερινὴ βροχόπτωση, ἐξαρτᾶται ἀπὸ πολλοὺς παράγοντες, ὅπως τὴ μορφολογία, τὴ βλάστηση, τὸ πάχος καὶ τὴ διαπερατότητα τοῦ ἐδάφους, τὴ ξηρὴ περίοδο κ.ἄ. Ἡ ποσότητα τοῦ νεροῦ ποῦ κατείσδυσε, ὑπολογίζεται σύμφωνα μὲ τὸ Σχ. 5 (Dimopoulos 1978). Ἡ ποσότητα τοῦ νεροῦ ποῦ κατείσδυσε ὑπολογίζεται κατὰ προσέγγιση σύμφωνα μὲ τὸ Σχ. 5, ὅπου:

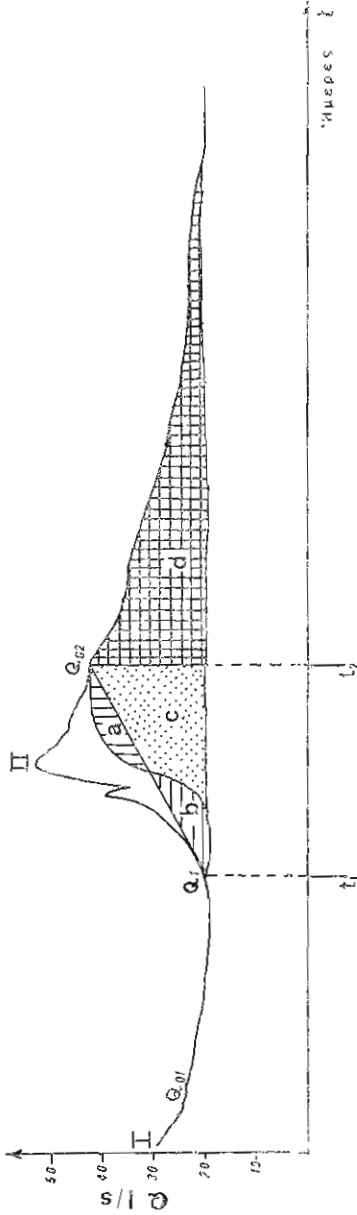
Q_{01} = Ἀρχὴ τῆς ὑπόγειας ἀπορροῆς (λαμβάνεται ἀπὸ ἡμιλογαριθμικὴ παράσταση) κατὰ τὴ χρονικὴ στιγμή t_0 .

Q_1 = Ἀπορροή κατὰ τὸ χρόνο t_1 .

Q_{02} = Ἀρχὴ τῆς ὑπόγειας ἀπορροῆς (λαμβάνεται ἀπὸ ἡμιλογαριθμικὴ παράσταση) κατὰ τὴ χρονικὴ στιγμή t_2 .

Ἡ ποσότητα τοῦ νεροῦ ποῦ κατείσδυσε (M_v) ὑπολογίζεται, σύμφωνα μὲ τὸ Meyer (1971), ἂν προστέσουμε τὶς τρεῖς ἐπιφάνειες $b+c+d$ σέ:

$$M_v = \frac{Q_{02}}{a_2} \cdot e^{-a_2 t_2} - \frac{Q_{01}}{a_1} \cdot e^{-a_1 t_1} + \frac{Q_0 + Q_{02}}{2} \cdot (t_2 - t_1) \quad (9)$$



Σχ. 5. Γραφική παράσταση για τον ύπολογισμό της ποσότητας του νερού (ΜΝ) που κατεισθύνει και τροφοδοτεί την πηγή.

Έτσι για τις τρεις πηγές που εξετάζουμε υπολογίσαμε τις παρακάτω τιμές (M_V) που κατείδυσαν σε καθορισμένες χρονικές περιόδους μετά από την πτώση μιᾶς θερινῆς βροχοπτώσεως:

α) Πηγή Ἀγίας Παρασκευῆς: $M_V = 1,202 \cdot 10^7 \text{m}^3$ ἀπὸ 1/5/76 - 5/7/76

β) Πηγή Π₁-Πλατανότοπου: $M_V = 5,805 \cdot 10^7 \text{m}^3$ ἀπὸ 4/4/76 - 15/7/76

γ) Πηγή Καινάκι βρύση: $M_V = 9,735 \cdot 10^6 \text{m}^3$ ἀπὸ 15/5/76 - 25/7/76

Με βάση τοὺς τύπους τῶν Maillet καὶ Tison πού μᾶς δίνουν τὶς καμπύλες ἀποστραγγίσεως τῆς πηγῆς, μπορούμε νὰ υπολογίσουμε τὸν ὄγκο τοῦ νεροῦ Q_0 πού εἶναι ἀποθηκευμένο μέσα στὸ ὑδροφόρο στρώμα κατὰ τὸ χρόνο t_0 καὶ πού τροφοδοτεῖ τὴν παροχὴ τῆς πηγῆς σὲ περίοδο πού δὲν ἔχουμε καμιά βροχόπτωση. Ἄν ὁλοκληρώσουμε τὸν τύπο (1) παίρουμε:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-at}$$

$$Q_t = M = Q_0 \cdot \int_0^{t_1} e^{-at} \cdot dt$$

$$M = Q_0 \cdot \left(-\frac{1}{a}\right) \cdot [e^{-at}]_0^{t_1}$$

$$M = \frac{Q_0}{a} \cdot (1 - e^{-at_1}) \quad (10)$$

ὅπου t_1 ὁ χρόνος πού μεσολαβεῖ ἀνάμεσα στὶς χρονικὲς στιγμὲς t_0 μέχρι t_1 . Ὁ χρόνος t δίνεται σὲ δευτερόλεπτα. Ὁ τύπος (10) μᾶς δίνει τὰ ἀποθέματα τοῦ νεροῦ πού μπορούν νὰ ἐκκενωθοῦν ἀνάμεσα σὲ δυὸ χρονικὲς στιγμὲς t_0 μέχρι t_1 , ὅταν δὲ λαμβάνει χώρα καμιά ἐνόχληση ἢ διακοπὴ τῆς κανονικῆς ἀπορροῆς τῆς πηγῆς, δηλαδὴ ὅταν δὲν πέφτει πλέον καμιά βροχόπτωση. Γιὰ t_1 τείνοντας στὸ ∞ ὁ τύπος (10) γίνεται:

$$M = \frac{Q_0}{a} \quad (11)$$

Ἀλλὰ ἐπειδὴ ὁ a ἐξελίσσεται σὲ μέρες, ἡ ἐξίσωση (11) γίνεται:

$$M = \frac{86400 Q_0}{a} \quad (12)$$

"Έτσι για τις τρεις πηγές: που εξετάζουμε, κατά την αρχή της αποστραγίσεως όπου έχουμε παροχή Q_0 , τα αποθέματά τους θα είναι:

- α) Πηγή 'Αγίας Παρασκευής: $M = 2,62 \cdot 10^5$ για $Q_0 = 7,6 \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ στις 13/6/1976
 β) Πηγή Π₁-Πλατανότοπου: $M = 5,04 \cdot 10^5$ για $Q_0 = 14,0 \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ στις 3/5/1976
 γ) Πηγή Καϊνάκι βρύση: $M = 1,5 \cdot 10^5$ για $Q_0 = 15,0 \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ στις 30/5/1976

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς μας μπορούμε να κάνουμε τις παρακάτω παρατηρήσεις μας: Είναι δυνατόν κατά την περίοδο που έχουμε τελεία έλλειψη βροχοπτώσεων, να υπολογίσουμε τα αποθέματα της πηγής σε υπόγειο νερό. Τη διαδικασία αυτή μπορούμε να την επαναλάβουμε πολλές φορές, συγχρόνως με τη σταδιακή μείωση της παροχής. Έτσι επιτυγχάνουμε τη πρόβλεψη της μειώσεως των αποθεμάτων της πηγής και το θεωρητικό υπολογισμό της κενώσεως της πηγής όπως και του χρόνου που επιτυγχάνεται αυτό.

"Έτσι π.χ. για τις πηγές που εξετάζουμε τα αποθέματά τους κατά το χρόνο που θεωρητικά έχουμε $Q_0 = 1,0 \text{ l/ήμέρα}$, δηλαδή σχεδόν μηδενική παροχή ανά δευτερόλεπτο, μειώνονται αντίστοιχα σε:

- α) Πηγή 'Αγίας Παρασκευής: $M = 0,34 \text{m}^3$ για $Q_t = 1,0 \text{ l/ήμ.}$
 β) Πηγή Π₁-Πλατανότοπου: $M = 0,33 \text{m}^3$ για $Q_t = 1,0 \text{ l/ήμ.}$
 γ) Πηγή Καϊνάκι Βρύση: $M = 0,16 \text{m}^3$ για $Q_t = 1,0 \text{ l/ήμ.}$

Ο αντίστοιχος χρόνος, όποτε και θα έχουμε τα παραπάνω αποτελέσματα ξεκινώντας από το χρόνο που έχουμε μετρήσει την παροχή Q_0 , με την υπόθεση πάντα ότι δεν πέφτουν κατά το χρόνο αυτό βροχοπτώσεις, χρησιμοποιώντας τον τύπο του Maillet $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$ έχουμε:

- α) Πηγή 'Αγίας Παρασκευής: $t = 2211,0$ ημέρες για $\alpha = 0,0029$
 β) Πηγή Π₁-Πλατανότοπου: $t = 2136,0$ ημέρες για $\alpha = 0,0030$
 γ) Πηγή Καϊνάκι βρύση: $t = 1034,0$ ημέρες για $\alpha = 0,0062$

Χρησιμοποιώντας ως παροχή $Q_t = 1,0 \text{ l/ήμέρα}$ και $Q_0 = \text{σταθερό}$ για όλες τις πηγές και ίση με $7,0 \text{ l/s} = 604,8 \text{m}^3/\text{ημέρα}$.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό, πως η πηγή της 'Αγίας Παρασκευής για να μειώσει την παροχή της στο ελάχιστο χρειάζεται 6,0 χρόνια, η Πηγή Π₁-Πλατανότοπου χρειάζεται 5,85 χρόνια και η πηγή Καϊνάκι βρύση 2,83

χρόνια. Τα παραπάνω ισχύουν τότε μόνο, όταν η λεκάνη απορροής της πηγής αποτελεί κλειστό σύστημα ροής, δεν παρουσιάζεται δηλαδή καμιά τροφοδοσία της λεκάνης σε υπόγειο νερό από παράπλευρες λεκάνες, ή αντίθετα απορροή υπόγειου νερού από τη λεκάνη που εξετάζουμε προς άλλες λεκάνες και φυσικά όταν δεν πέφτουν καθόλου βροχοπτώσεις.

Ο G. Tison εξάλλου δημιούργησε τον παρακάτω τύπο (G. Castany 1967) για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σε μια οποιαδήποτε χρονική στιγμή

$$W = \frac{Q_0}{\alpha(1+\alpha t)} \quad (13)$$

$$\text{και} \quad W_0 = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (14)$$

$$\text{όποτε} \quad W = \frac{W_0}{1+\alpha t} \quad (15)$$

$$\text{και} \quad W - W_0 = \frac{Q_0}{\alpha} \left(1 - \frac{1}{1+\alpha t}\right) \quad (16)$$

Επειδή ο (α) προσδιορίζεται σε ημέρες με το χρόνο σε δευτερόλεπτα οι εξισώσεις (13) και (14) γίνονται:

$$W = \frac{86400 Q_0}{\alpha(1+\alpha t)} \quad (17)$$

$$\text{και} \quad W_0 = \frac{86400 Q_0}{\alpha} \quad (18)$$

Ο χρόνος t μπορεί να είναι οποιοσδήποτε μετά από μια μέτρηση της παροχής Q_0 της πηγής, που λαμβάνει χώρα μετά από μια θερινή βροχόπτωση κατά τη χρονική στιγμή t_0 . Ο τύπος (16) υπολογίζει τα αποθέματα της πηγής που εξαντλήθηκαν ανάμεσα στις δυο χρονικές στιγμές t_0 και t_1 .

Από όλα τα παραπάνω βγαίνει το συμπέρασμα, πώς υπολογίζοντας τις ποσότητες του νερού που έχουν κατεισδύσει (Mv) κατά τη χρονική στιγμή t_2 , μετά από το σταμάτημα μιας θερινής βροχοπτώσεως όποτε και μετρούμε την παροχή Q_{02} και υπολογίζοντας επίσης τα αποθέματα της πηγής κατά τη

χρονική στιγμή t_2 , μπορούμε να υπολογίσουμε την τροφοδοσία των αποθεμάτων της πηγής σε υπόγειο νερό που προέρχεται από τη βροχόπτωση. Στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε την απώλεια της πηγής σε υπόγειο νερό, δηλαδή την εξάντληση των αποθεμάτων της σε μια οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να ελέγχουμε συνεχώς την πορεία μιας πηγής και να προβλέπουμε την κατάστασή της σε οποιοδήποτε χρόνο.

6. Σχέση ανάμεσα στο συντελεστή αποστραγγίσεως α και στη γενική συμπεριφορά του υδροφόρου στρώματος.

Από τις τρεις πηγές που εξετάσαμε, η πηγή «Καινάκι βρύση» έχει χαρακτηριστεί ως καρστική πηγή. Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε ότι η τροφοδοσία της πηγής προέρχεται μόνο από τα κατακρημνίσματα που πέφτουν απ' ευθείας στο ασβεστολιθικό πέτρωμα.

Γνωρίζουμε ότι το νερό που πέφτει στο Karst διανέμεται μέσα σ' αυτό με δύο τρόπους:

α) Αφ' ενός μετά τη βροχόπτωση, τα νερά που τρέχουν άφθονα στα κανάλια, συγκεντρώνονται σε μεγαλύτερους συλλέκτες, που γρήγορα επανεμφανίζονται.

β) Αφ' άλλου το νερό που περνάει από τις ρωγμώσεις και τη μικροδιαπερατότητα και που η ταχύτητα διαμετακομής του είναι περισσότερο μειωμένη.

Σε πρώτη προσέγγιση μπορούμε να δεχτούμε, ότι η ευθεία Β μεταφράζει (Σχ. 6):

α) Την υπόγεια ροή που τροφοδοτεί τις απώλειες σε σχέση με την πηγή,

β) Την ξήρανση των ρωγμών και των διάκων της ασβεστολιθικής μάζας.

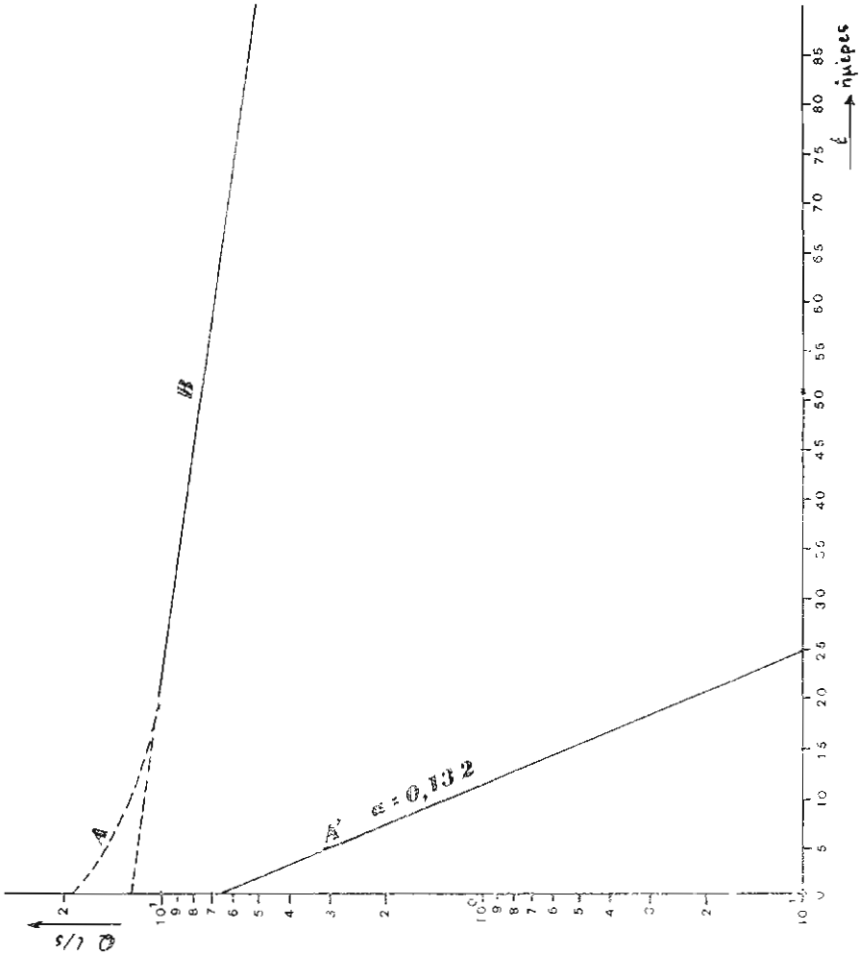
Η καμπύλη της μείωσης της πλημμύρας των υδάτων των ρυακίων που ρέουν επιφανειακά προς τις απώλειες και η κένωση των καναλιών θα παρθεϊ (καμπύλη Α'), αν αφαιρέσουμε τις τεταγμένες της καμπύλης (Β), προεκτεινόμενες προς τα αριστερά των τεταγμένων του παρατηρηθέντος υδρογράμματος (Α). Τα αντιπροσωπευτικά σημεία συγκεντρώνονται αρκετά καλά σε μια ευθεία με συντελεστή $\alpha=0,132$ για την πηγή «Καινάκι βρύση».

Έτσι η τροφοδοσία της πηγής είναι δύο ειδών

— Η κένωση των υδροροών (καμπύλη Α')

— Η κένωση των σχισμών (καμπύλη Β)

Οι δγκοι του νερού που αδειάζονται αντίστοιχα με κάθε συνιστώσα του υδρογράμματος κατά τη διάρκεια του χρόνου t_1-t_0 που αναφέρεται σε διάστημα στιγμιαίων παροχών Q_0-Q_t με $Q_t=Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$



Σχ. 6. Συνισταμένες του υδρογράμματος της πηγής «Καϊνάκι βρόση» (Μάιος-Ιούλιος (1976)).

$$\text{θα είναι} \quad V = \frac{Q_0 - Q_1}{\alpha} \quad (19)$$

Ἡ ἰκανότητα ἀποθηκείσεως τῶν σχισμῶν καὶ τῆς μικροδιαπερατότητας (V_f) θὰ εἶναι μεταξὺ τῆς τετμημένης ποῦ ἀντιστοιχεῖ στὴν ἀκμὴ τοῦ ὑδρογράμματος (Σχ. 6)· δηλαδή: $Q_0 = 10,5$ l/s (γιά τὴ μείωση τῆς πλημμύρας τῶν σχισμῶν) καὶ τῆς παροχῆς $Q_1 = 1$ l/s δηλαδή:

$$V_f = \frac{907,2 - 86,4}{0,0086} = 9,5 \cdot 10^4 \text{m}^3$$

Ἡ ἰκανότητα ἀποθηκείσεως τῶν καναλιῶν (V_c), ποῦ ἀντιστοιχεῖ στὴν καμπύλη (Α') λαμβάνεται μὲ τὸν ἴδιο τρόπο, ὀλοκληρώνοντας τὸ ἀντίστοιχο διάστημα τοῦ χρόνου ποῦ βρίσκεται μεταξὺ $Q_0 = 7,0$ l/s καὶ $Q_1 = 0$:

$$V_c = \frac{604,8}{0,132} = 4,58 \cdot 10^3 \text{m}^3$$

7. Συμπεράσματα

Ἀπὸ ὅλους τοὺς παραπάνω ὑπολογισμοὺς μας μποροῦμε νὰ βγάλουμε ὀρισμένα συμπεράσματα σχετικά μὲ τὴν τροφοδοσία τῆς πηγῆς καὶ τὴ γενικὴ τῆς πορεία, ἀπὸ τίς μετρήσεις τῶν παροχῶν τῆς κατὰ τὴ διάρκεια τῆς ξηρῆς περιόδου, δηλαδή μετὰ ἀπὸ μιὰ θερινὴ βροχόπτωση.

Ἔτσι μποροῦμε νὰ προβλέψουμε καὶ νὰ ὑπολογίσουμε τὴ διάρκεια ζωῆς μιᾶς πηγῆς ἀπὸ τοὺς ὑπολογισμοὺς τῶν ποσοτήτων νεροῦ ποῦ κατεισδύουν στὴν ὑπόγεια λεκάνη ἀπορροῆς τῆς πηγῆς, ὅπως καὶ τῶν ἀποθεμάτων τῆς πηγῆς σὲ διάφορες χρονικὲς στιγμές. Ἀπὸ τὴν ἀνάλυση τῶν ὑδρογραμμάτων μποροῦμε νὰ προσδιορίσουμε τὰ εἶδη ροῆς μιᾶς καρστικῆς πηγῆς καὶ τίς ποσότητες νεροῦ ποῦ τροφοδοτοῦν τὴν πηγὴ καὶ ποῦ προέρχονται ἀπὸ τὸ νερὸ τῶν σχισμῶν καὶ τῶν καναλιῶν.

Ἀπὸ τοὺς ὑπολογισμοὺς τοῦ συντελεστῆ ἀποστραγγίσεως (α) στὶς πηγές ποῦ ἐξετάσαμε παρατηροῦμε, ὅτι αὐτὸς μεταβάλλεται λίγο ἢ πολὺ ἀπὸ τὴ μιὰ χρονιά στὴν ἄλλη. Ἡ μεταβλητότητα αὐτὴ τοῦ συντελεστῆ ἀποστραγγίσεως θὰ μποροῦσε νὰ εἶναι συνέπεια μιᾶς ἑτερογένειας τῆς λεκάνης καὶ μιᾶς μὴ κανονικῆς τροφοδοσίας τῶν ἀποθεμάτων μέσα στὸ χρόνο καὶ στὸ χῶρο. Οἱ διάφορες τιμές τοῦ (α) θὰ μποροῦσαν π.χ. νὰ ἀντιστοιχοῦν σὲ μιὰ καλύτερη τροφοδοσία, στὸ ἓνα ἢ στὸ ἄλλο μέρος τῆς λεκάνης, ἀλλὰ ἡ ἔλλειψη σημείων

παρατηρήσεως δὲ μᾶς ἐπιτρέπει νὰ βγάλουμε συμπεράσματα πάνω σ' αὐτὸ τὸ θέμα.

Εἰδικότερα γιὰ τὴν καρστική πηγὴ «Καϊνάκι βρύση», οἱ συντελεστῆς, ἀποστραγγίσεως (α) αὐξάνουν, θὰ μπορούσαμε νὰ ποῦμε, χονδρικά ἀπὸ τὸ 1960 πρὸς τὸ 1976. Ἡ αὐξηση αὐτὴ θὰ μπορούσε νὰ συνδεθεῖ μὲ τὴν καρστική ἐξέλιξη τοῦ συστήματος, δηλαδή μὲ τὴν αὐξηση καὶ τὴ μεγέθυνση τῶν ὑδροροῶν.

Τέλος κάνοντας μιὰ σύγκριση τῶν συντελεστῶν ἀποστραγγίσεως τῆς πηγῆς «Καϊνάκι βρύση» ποὺ ἔχει συντελεστὴ ἀποστραγγίσεως 0,0062 καὶ τῆς πηγῆς «Σάκοβα» (Dimopoulos 1978) ποὺ βρίσκεται στὴν ἴδια λεκάνη καὶ ἔχει $\alpha=0,0410$, διαπιστώνουμε ὅτι δὲν ὑπάρει καμιὰ ταυτότητα ὑπόγειας κυκλοφορίας στοὺς καρστικοὺς σχηματισμοὺς τοῦ Παγγαίου καὶ τοῦ Σύμβολου. Ὁ συντελεστὴς ἀποστραγγίσεως τῆς πηγῆς Σάκοβα, ποὺ βρίσκεται στὴ βάση τοῦ Σύμβολου, εἶναι ἐπτὰ περίπου φορές μεγαλύτερος ἀπὸ ἐκεῖνον τῆς πηγῆς Καϊνάκι βρύση, ποὺ βρίσκεται στὴ βάση τοῦ Παγγαίου. Αὐτὸ δηλώνει πὺς στὴν περιοχὴ αὐτὴ ἔχουμε μιὰ κατάσταση τοῦ Karst λιγότερο προχωρημένη καὶ ποὺ ἔχει σὰν συνέπεια ἢ παροχὴ τῆς πηγῆς νὰ εἶναι μικρότερη καὶ κατὰ συνέπεια μεγαλύτερη ἢ ἀποθήκη σὲ ὑπόγειο νερό. Τέλος μὲ τὸ Q_0 χαρακτηρίζονται οἱ διαστάσεις τοῦ ὑδροφόρου ὀρίζοντα, ἐνῶ μὲ τὸ (α) οἱ χαρακτηριστικὲς ὑδραυλικὲς του σχέσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- CASTANY, G. (1967): Introduction à l' étude des courbes de tarissement.-Chr. d'hydrogeologie, No 10, Paris.
- ΔΙΜΟΠΟΥΛΟΣ, G. (1978): Die Grundwasserabflussverhältnisse im kleinen Einzugsgebiet der Sakovakarstquelle (Pieria Becken). Sci. Annals, Fac. Phys. & Mathem. Univ. Thessaloniki, 18.
- DROGUE, C. (1967): Essai de détermination des composantes de l' écoulement des sources karstiques Evaluation de la capacité de rétention par chenaux et fissures. Chr. d' hydrogeologie, No 10, Paris.
- KESSLER, H. (1959): Lineare Messwehre für Quellschüttungen. Steirische Beiträge zur Hydr, Jg 1959, Graz.
- MATTHESS, G. (1970): Beziehungen zwischen geologischen Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. - Abh. hess. L-Amt, Bodenforschung, 58, Wiesbaden.
- WEYER, U. K. (1972): Ermittlung der Grundwassermengen in den Festgesteinen der Mittelgebirge aus Messungen des Trockenwetterabflusses. Geol. Jb. C 3, Hannover.
- WUNDT, W. (1967): Eine Schätzung des frei abflussfähigen Grundwasservorrates. gwf. 108, München.

ERMITTLUNG DER GRUNDWASSERMENGEN UND GRUNDWASSERVORRÄTE AUS DER GRUNDWASSERAB- FLUSSMESSUNGEN IN QUELLEN

Von
GEORG DIMOPOULOS

Zusammenfassung:

In dieser Arbeit wird die geologische Situation der Quellen «Agia Paraskevi» von Mousteni, «P₁-Platanotopos» und «Kainaki vrisi» von Mousteni-Domatia untersucht. Die obengenannten Quellen fließen in das Becken zwischen den Gebirgen Pangäon und Symvolon in Nord-Griechenland aus.

Dann nach dem Ende eines sommerlichen Niederschlages ist der Trockenwetterabflussrückgang der Quellen untersucht und die Konstante (a) ermittelt. Weiter konnten wir die Menge des Grundwassers (M_v), die im Untergrund versickert wurde und die Grundwasservorräte der Quellen berechnen.

Endlich haben wir versucht die Grundwasservorräte mit der Karstsituation und der Konstanta (a) in Verbindung zu bringen, um ein klares Bild des Grundwasseraquifersverhalten geben zu können.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΕΩΣ ΣΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

Υπό

ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ

Έργαστήριο Γεωλογίας-Παλαιοντολογίας Άριστ. Πανεπιστήμιον Θεσσαλονίκης)

Στην εργασία αυτή γίνεται ανάλυση τής γεωλογικῆς θέσεως τῶν πηγῶν «Άγίας Παρασκευῆς» Μουσθένης, «Π₁-Πλατανότοπου» καὶ «Καϊνάκι βρύση» Μουσθένης-Δωματίων, πού βρίσκονται στήν κοιλάδα ανάμεσα στά ὄρη Παγγαῖο καὶ Σύμβολο.

Στή συνέχεια ὑπολογίζεται ὁ συντελεστής ἀποστραγγίσεως (α) τῶν παραπάνω πηγῶν, ἀπό τήν ανάλυση τῆς καμπύλης ἀποστραγγίσεως αὐτῶν τῶν πηγῶν πού λαμβάνουμε ἀπό μιὰ θερινή βροχόπτωση καὶ ὅταν δὲ βρέχει πλέον, ὅπως ἐπίσης τίς ποσότητες τοῦ νεροῦ πού κατεΐσδυσαν (M_v) καὶ τὰ ἀποθέματα τῆς πηγῆς (M) σὲ ὁποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Τέλος συνδέουμε τὰ ἀποθέματα αὐτὰ τῶν πηγῶν μὲ τήν κατάσταση τοῦ Karst καὶ τὸ συντελεστή ἀποστραγγίσεως (α) τῶν πηγῶν καὶ δίνουμε μιὰ εἰκόνα τῆς συμπεριφορᾶς τοῦ ὑδροφόρου ὀρίζοντα στήν ἀποστράγγιση τῆς πηγῆς.