

## ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΙΣ ΠΡΟΣΕΔΡΟΥ ΜΕΛΟΥΣ ΚΑΙ ΜΗ ΜΕΛΟΥΣ

ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ.— **Μελέτη τῆς ὑπογείου ροῆς ἐντὸς τῶν ἀνομοιογενῶν καὶ ἀνισοτρόπων παχυστρωματωδῶν ἀσβεστολιθικῶν ὑδροφόρων τῆς ζώνης Παρνασσῶ - Γκιώνας καὶ ὑπολογισμὸς τῆς εἰδικῆς παροχῆς τούτων, ὑπὸ Γ. Γεωργαλά καὶ Κ. Μάστορη\*.**

Εἰς τὴν παροῦσαν ἐργασίαν ἐρευνᾶται τὸ εἶδος ροῆς ἐντὸς τῶν ἀνομοιογενῶν καὶ ἀνισοτρόπων παχυστρωματωδῶν ἀσβεστολιθικῶν ὑδροφόρων πετρωμάτων τῆς ζώνης Παρνασσῶ - Γκιώνας. Ἡ ἐρευνα αὕτη ἐπραγματοποιήθη δι' ἀντλήσεων ἐπὶ τεσσάρων γεωτρήσεων ἐκτελεσθεισῶν ὑπὸ τοῦ Ἰνστιτούτου Γεωλογίας καὶ Ἐρευνῶν Ὑπεδάφους ἐν συνεργασίᾳ μετὰ τοῦ Ὄργανισμοῦ Τροφίμων καὶ Γεωργίας τῶν Ἠνωμένων Ἐθνῶν (σχ. 1).

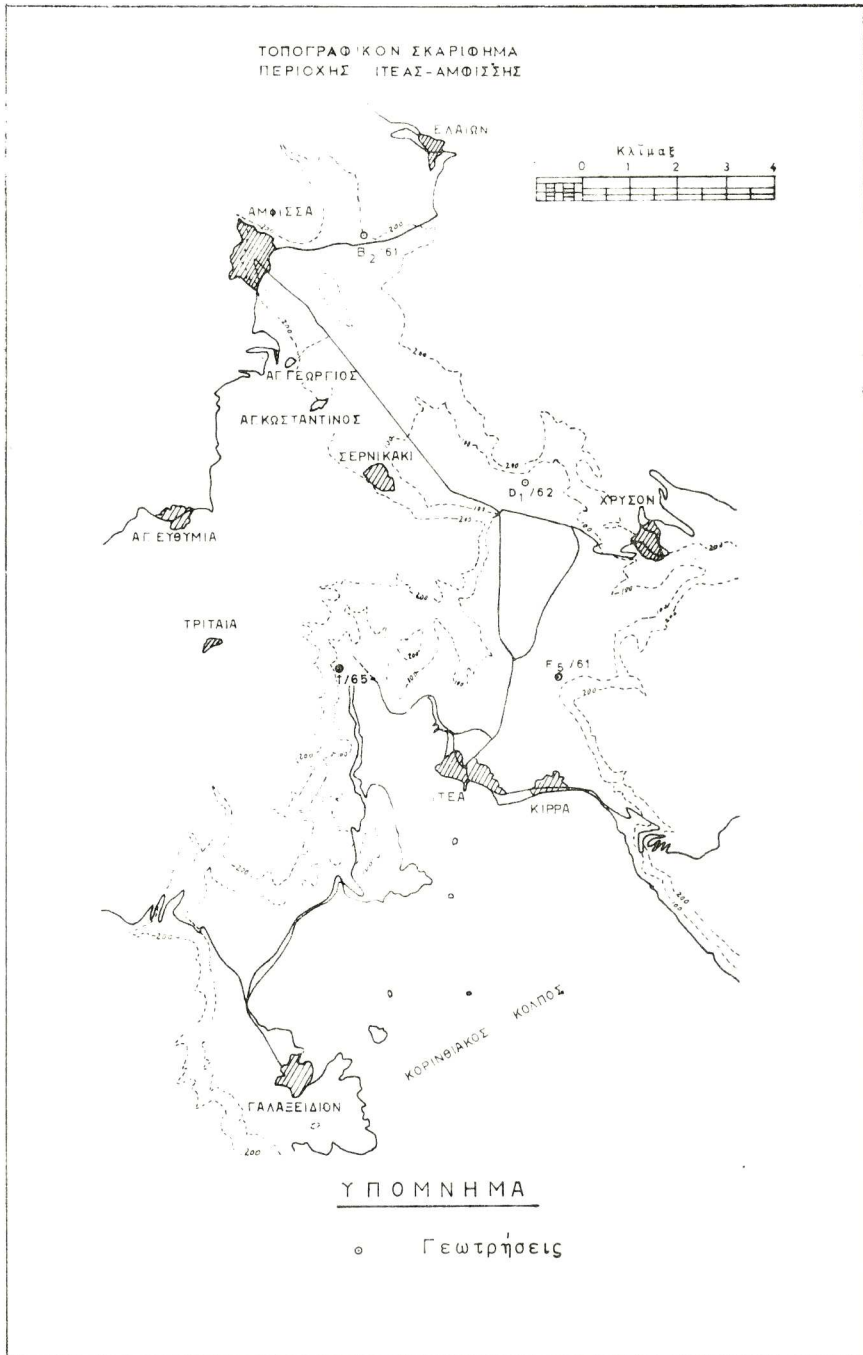
**Εἰσαγωγή.**

Ἡ κίνησις τοῦ ὑπογείου ὕδατος ἐντὸς τῶν ὑπογείων ὑδροφόρων πετρωμάτων ὑπόκειται εἰς τοὺς γνωστοὺς νόμους τῆς ὑδραυλικῆς. Ὡς γνωστόν, ἡ κίνησις τῶν ὑγρῶν ἐντὸς κλειστῶν ἀγωγῶν λαμβάνει χώραν ὑπὸ δύο μορφάς, γραμμικὴν καὶ στροβιλώδη. Ἡ γραμμικὴ ροὴ εἶναι συνήθως βραδεῖα καὶ σταθερά. Ἐκαστον ἐπίπεδον τῶν μορίων ὀλισθαίνει ὁμαλῶς ἐπὶ τοῦ ὑποκειμένου, κινούμενον μὲ διαφορετικὴν ταχύτητα. Εἰς τὸ εἶδος τῆς ροῆς ταύτης ἡ ἀντίστασις τῆς κινήσεως προσδιορίζεται κυρίως ἀπὸ τὴν τριβὴν μεταξὺ τῶν διαδοχικῶν ἐπιπέδων τῶν μορίων. Δι' ἐν ὑγρὸν δεδομένης πυκνότητος καὶ ἰξώδους ἡ ταχύτης τῆς ροῆς καὶ ἡ ὑδραυλικὴ κλίσις εἶναι εὐθέως ἀνάλογοι, δηλαδὴ ἡ σχέσις συνδέσεώς των εἶναι γραμμική.

Ἡ στροβιλώδης ροὴ εἶναι περισσότερον ταχεῖα ἀπὸ τὴν γραμμικὴν, τὰ δὲ ἐπίπεδα τῶν μορίων δὲν κινοῦνται ὁμαλῶς καὶ ἐντὸς τοῦ ὑγροῦ σχηματίζονται δῖναι. Συνέπεια τῶν ἀνωτέρω εἶναι ἡ αὔξησις τῆς ὀφειλομένης εἰς τὴν τριβὴν ἀντιστάσεως. Εἰς τὸ εἶδος τοῦτο τῆς κινήσεως ἡ σχέσις ταχύτητος καὶ ὑδραυλικῆς κλίσεως δὲν εἶναι πλέον γραμμικὴ. Αἱ μεταβολαὶ τῆς ταχύτητος εἶναι ἀνάλογοι τῶν μεταβολῶν τῆς τετραγωνικῆς ῥίζης τῆς ὑδραυλικῆς κλίσεως.

Ὁ REYNOLDS (1893) μελετῶν πρῶτος τὴν φύσιν τῶν ἀνωτέρω δύο τύπων ροῆς διὰ σειρᾶς πειραμάτων, χρησιμοποιῶν ὑαλίνοὺς σωλήνας ὁμοιομόρφου διαμέτρου, ἔδειξεν, ὅτι δι' ἐν ὑγρὸν δεδομένης πυκνότητος ὑπάρχει ἀπ' εὐθείας

\* G. GEORGALAS and K. MASTORIS, **A study of ground water flow in anisotropic and inhomogeneous thick bedded limestone aquifers of Parnassos - Ghiona Zone and the estimation of specific yield of these aquifers.**



Σχ. 1.

σχέσις μεταξύ ταχύτητος ροῆς καὶ διαμέτρου τοῦ σωλήνος. Ἐπὶ πλέον διὰ τῶν πειραμάτων τούτων ἀπέδειξεν, ὅτι εἰς τὰς χαμηλὰς ταχύτητας ἡ ροὴ εἶναι γραμμική, ἀλλὰ ὅταν ἡ ταχύτης αὐξάνεται πέραν ὄρισμένου σημείου ἡ ροὴ μεταβάλλεται εἰς στροβιλώδη. Γενικῶς παρεδέχθη, ὅτι ἡ κίνησις τῶν ὑγρῶν ἐντὸς σωλήνων εὐρείας διαμέτρου ἢ ἀγωγῶν λαμβάνει χώραν ὑπὸ στροβιλώδη μορφήν, ἐνῶ ἐντὸς σωλήνων μικρᾶς διαμέτρου ἡ ροὴ εἶναι γραμμική.

Ὁ TOLMAN ὅμως (1937) διεπίστωσεν, ὅτι ἡ γραμμικὴ ροὴ δὲν λαμβάνει χώραν ἀπαραιτήτως μόνον ἐντὸς σωλήνων μικρᾶς διαμέτρου, ἀλλὰ τὸ εἶδος ροῆς ἐξαρτᾶται ἐκ τῆς σχέσεως μεταξύ τῆς ταχύτητος ἐνὸς ὑγροῦ δεδομένης πυκνότητος καὶ τῆς διαμέτρου τοῦ σωλήνος ἢ ἀγωγοῦ ἐντὸς τῶν ὁποίων τοῦτο κινεῖται. Ἦτοι ἡ γραμμικὴ ροὴ δύναται νὰ λαμβάνῃ χώραν ἐντὸς οἴουδήποτε μεγέθους σωλήνων ἢ ἀγωγῶν ὑπὸ τὴν προϋπόθεσιν, ὅτι ἡ ταχύτης εἶναι ἀρκούντως μικρά. Ἐὰν αἱ ἀρχαὶ αὗται μεταφερθῶν εἰς τὴν κίνησιν τοῦ ὕδατος ἐντὸς ὁμοιογενῶν ὑδροφόρων πετρωμάτων, ἀντιμετωπίζονται αἱ δυσχέρειαι, ὅτι τὰ κενὰ τῶν ἀνοιγμάτων, ἐντὸς τῶν ὁποίων κινεῖται τὸ ὕδωρ, δὲν εἶναι σωλήνες ὁμοιομόρφου διαμέτρου, ἀλλὰ ἐν σύνολον ἀπεριορίστου ἀριθμοῦ μικρῶν σωλήνων μὲ ἀνωμάλους ἐπιφανείας καὶ ἀνομοιομόρφων διαμέτρων συνδεομένων εἰς πλεῖστα σημεῖα μεταξύ των καὶ ἐντὸς τῶν ὁποίων αἱ δυνάμεις τριβῆς λαμβάνουν ὑψηλὰς τιμὰς.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω αἰτίων εἶναι δυσχερὲς νὰ ὑπολογισθῇ ἡ ταχύτης ὑπὸ δεδομένην ὑδραυλικὴν κλίσιν ἐντὸς δεδομένων διαμέτρων ἀνοιγμάτων, διότι αἱ δυνάμεις ἀντιστάσεως ἐντὸς τοῦ ὑδροφόρου πετρώματος ἐξαρτῶνται εἰς ἐκάστην περίπτωσιν ἐκ τοῦ εἴδους τούτων. Οὕτω μία μεγαλυτέρα κλίσις εἶναι ἀναγκαία διὰ νὰ προκαλέσῃ τὴν αὐτὴν ταχύτητα ροῆς τὴν ὁποίαν θὰ εἶχομεν θεωρητικῶς ἐντὸς σωλήνων.

Ἀποτέλεσμα τῶν ὑψηλῶν τιμῶν τῶν δυνάμεων ἀντιστάσεως εἶναι ἐπίσης τὸ γεγονός, ὅτι αἱ τιμαὶ τῶν δυνάμεων ἀδρανείας σπανίως εἶναι μεγαλυτέραι τῶν τιμῶν τῶν δυνάμεων ἀντιστάσεως καὶ συνεπῶς ἡ ροὴ εἶναι συνήθως γραμμική. Εἰς ὄρισμένα ὅμως κοκκώδη πετρώματα συνιστάμενα ἐκ χονδροκόκκου ὑλικοῦ ἢ εἰς ἀσβεστολίθους μὲ μεγάλα καρστικὰ ἀνοίγματα καὶ γενικῶς εἰς ρωγματώδη πετρώματα ἡ ροὴ εἶναι δυνατὸν νὰ εἶναι στροβιλώδης καὶ ὑπὸ φυσικὰς συνθήκας ροῆς.

#### **Μελέτη τοῦ εἴδους τῆς ὑπογείου ροῆς δι' ἀντλήσεως.**

Ὅταν ἐν φρέαρῳ ἀντλήται, ἡ στάθμη τοῦ ὕδατος ἐντὸς αὐτοῦ ταπεινοῦται καὶ τὸ ὕδωρ μετακινεῖται ἀπὸ τὴν πέριξ περιοχὴν πρὸς τὸ ἀντλούμενον φρέαρ. Ὁ βαθμὸς ταπεινώσεως ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν φύσιν τοῦ ὑδροφόρου πετρώματος.

Εἰς ὁμοιογενὲς καὶ ἰσότροπον κοκκῶδες ὑδροφόρον πέτρωμα ἢ καμπύλη ὑποπίεσεως εἶναι συμμετρικὴ πρὸς ὅλας τὰς διευθύνσεις, σχηματίζουσα οὕτω ἓνα κῶνον, ὅστις καλεῖται κῶνος ὑποπίεσεως.

Ἡ ἐξίσωσις DUPUIT (1) δίδει τὴν σχέσιν παροχῆς καὶ πτώσεως στάθμης ὑπὸ συνθήκας μονίμου ροῆς :

$$Q = C(2H - \Delta) \cdot \Delta \quad (1)$$

ὅπου  $Q =$  παροχή,  $C =$  σταθερὸς συντελεστής,  $H =$  πάχος ὑδροφόρου στρώματος, καὶ  $\Delta =$  πτώσις στάθμης. Αὕτη ἀνταποκρίνεται εἰς τὴν γενικὴν μορφήν ἐξίσωσεως  $\Psi = \alpha\chi^2 - \beta\chi$ , ἥτις παριστᾷ παραβολικὴν συνάρτησιν δευτέρου βαθμοῦ.

Ἐκ τῆς ἐξίσωσεως (1) παρατηρεῖται, ὅτι διὰ μικρὰς πτώσεις στάθμης αὕτη πρακτικῶς εἶναι ἐξίσωσις εὐθείας. Πράγματι εἰς τὴν περίπτωσιν μικρῶν πτώσεων στάθμης, αὗται εἶναι ἀμελητέαι ἐν σχέσει μὲ τὸ πάχος τοῦ ὑδροφόρου καὶ ἡ σχέσις (1) γίνεται :

$$Q = C \cdot 2H\Delta$$

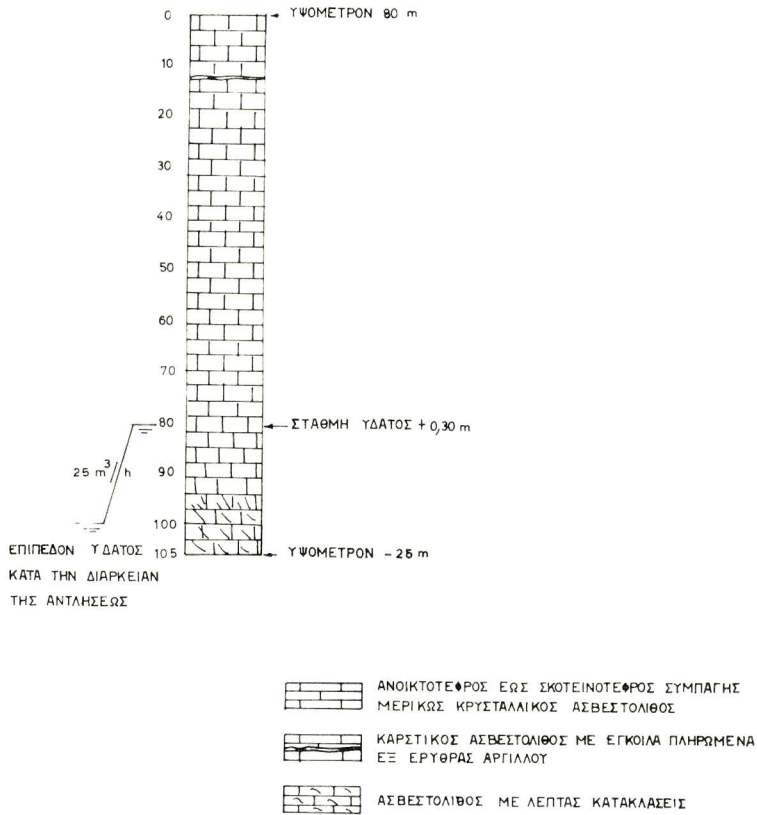
ἥτις εἶναι ἐξίσωσις εὐθείας γραμμῆς.

Ἦτοι εἰς τὰς πρώτας βαθμίδας τῆς ἀντλήσεως, ὅταν ἡ ροὴ τοῦ ὕδατος πρὸς τὸ φρέαρ εἶναι γραμμικὴ, τότε ἡ ἐξίσωσις τοῦ DUPUIT ἀντιπροσωπεύεται ὑπὸ εὐθείας γραμμῆς, διὰ μεγαλυτέρας ὅμως πτώσεις τῆς στάθμης, κατὰ τὰς ὁποίας ἡ ροὴ πρὸς τὸ φρέαρ καθίσταται στροβιλώδης, ἢ συνάρτησις γίνεται παραβολικὴ.

#### **Καμπύλαι παροχῆς - πτώσεως στάθμης.**

Γ ε ὠ τ ρ η σ ι ς 1/65.

Ἡ γεώτρησης αὕτη διέτρησεν ἕξ ὀλοκλήρου ἀσβεστολιθικὰ πετρώματα. Τὸ σχῆμα 2 δίδει τὴν γεωλογικὴν τομὴν αὐτῆς. Ἡ καμπύλη παροχῆς - πτώσεως στάθμης ἐμελετήθη διὰ τῆς μεθόδου ἰσοροπίας, ἥτοι ἡ ἀντλήσις ἐγένετο ὑπὸ διαφορετικᾶς παροχᾶς προκαλοῦσα διαδοχικὰς πτώσεις τῆς φυσικῆς στάθμης ἐπὶ μακρὸν χρονικὸν διάστημα. Διὰ τῆς ἀξήσεως τῆς παροχῆς ἡ στάθμη ὑπεβιβάζετο καὶ παρέμενε σταθερὰ μέχρι νεωτέρας ἀξήσεως. Ὁ πίναξ 1 δίδει τὰς διαφόρους παροχὰς καὶ ἀντιστοίχους πτώσεις ὡς καὶ τὴν διάρκειαν ἀντλήσεως ὑπὸ ἐκάστην παροχήν.



Σχ. 2.— Γεωλογική τομή τῆς γεωτρύσεως 1/65.

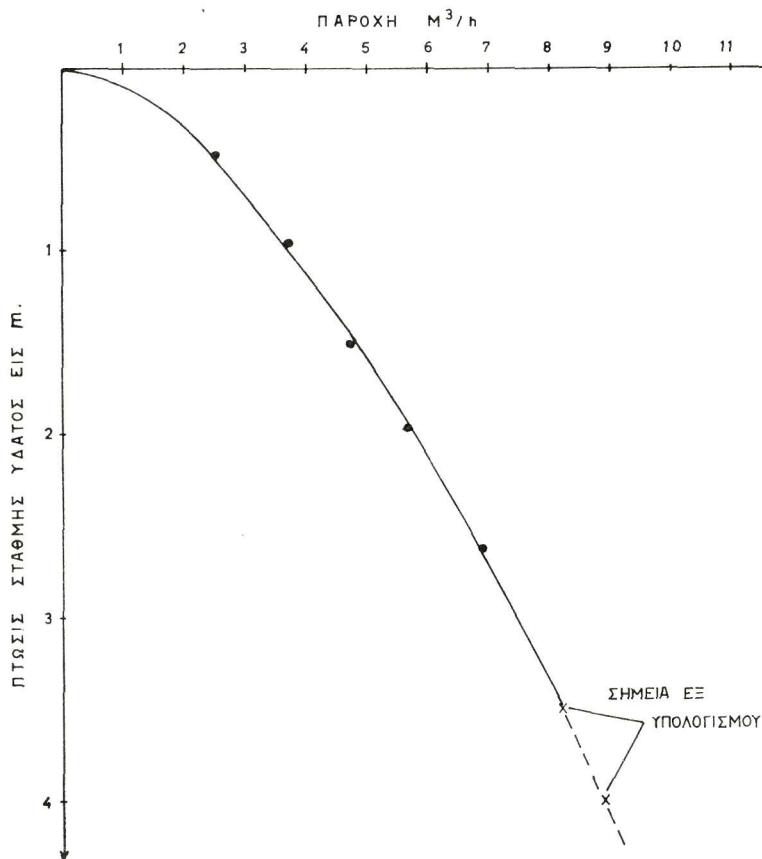
Π Ι Ν Α Κ 1.

Ἀποτελέσματα μετρήσεως παροχῆς - πτώσεως στάθμης κατὰ τὴν ἀντλήσιν εἰς γεώτρησιν 1/65.

Ἀριθμὸς παρατηρήσεων	Δ πτώσις στάθμης M	Q παροχὴ M <sup>3</sup> h	Διάρκεια σταδίων ἀντλήσεως
1	0,50	2,5	48
2	1.00	3,8	24
3	1,5	4,9	24
4	2.00	5,8	24
5	2,50	6,5	24
6	3,1	7,7	24

Ἐκ τοῦ πίνακος παρατηρεῖται ὅτι, καὶ διὰ μικρὰς παροχὰς ἀκόμη, αἱ τιμαὶ τούτων δὲν εἶναι εὐθέως ἀνάλογοι τῆς πτώσεως στάθμης, ἴτοι οὔτε κατὰ τὴν ἀρχὴν τῆς ἀντλήσεως ἡ ροὴ ἦτο γραμμική.

Τὸ σχῆμα 3 δίδει τὴν καμπύλην παροχῆς - πτώσεως στάθμης, ἐκ τῆς ὁποίας



Σχ. 3.— Καμπύλη πτώσεως στάθμης συναρτήσει τῆς παροχῆς εἰς γεώτρησιν 1/65.

συνάγεται, ὅτι ἡ σχέσης μεταξὺ τῶν παραμέτρων δύναται νὰ ἐκφρασθῇ ὑπὸ ἐξίσωσης τῆς μορφῆς

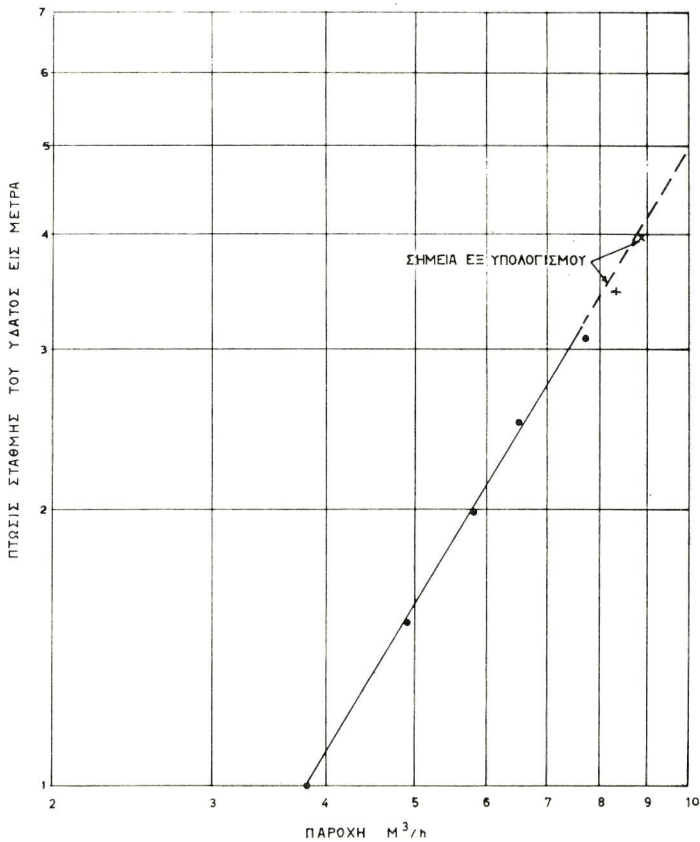
$$\Delta = CQ^{C_1} \quad (2)$$

ὅπου  $Q$  = παροχή,  $\Delta$  = πτώσις στάθμης,  $C$  καὶ  $C_1$  σταθεροὶ συντελεσταί.

Ἡ ἐξίσωσις τῆς ἀνωτέρω μορφῆς δύναται νὰ ἀποδοθῇ ὡς εὐθεῖα ἐπὶ

λογαριθμικοῦ χάρτου (σχῆμα 4) καὶ νὰ ὑπολογισθῇ μαθηματικῶς διὰ τῆς μεθόδου τῶν ἐλαχίστων τετραγώνων.

Ὁ ὑπολογισμὸς ἔδωσε τιμὰς  $C = 0,113$  καὶ  $C_1 = 1,63$  ἴτοι ἡ σχέσηις παροχῆς πτώσεως στάθμης ἀντιπροσωπεύεται ὑπὸ τῆς ἐξισώσεως  $\Delta = 0,113Q^{1,63}$  (3).



Σχ. 4.— Εὐθεῖα συναρτήσεως  $\Delta = f(Q)$ .

Ἡ μέθοδος τῶν ἐλαχίστων τετραγώνων δίδει πάντοτε τὴν καλυτέραν ἐξίσωσιν, ἢ ὁποία συνδέει δύο μεταβλητάς. Αὕτη ὁμως χρήζει περαιτέρω διερευνήσεως, ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὸν βαθμὸν συσχετίσεως, ἴτοι ἐὰν δι' ἐκάστην τιμὴν τῆς μιᾶς μεταβλητῆς ἢ ἀντίστοιχος λαμβανομένη ἐκ τῆς ἐξισώσεως τιμὴ εἶναι πλησίον τῆς πραγματικῆς.

Ἡ διασκόρπισις τῶν σημείων περὶ τὴν εὐθεῖαν δίδει μίαν ιδέαν τοῦ βαθμοῦ

συσχετίσεως, ὁ ἀκριβὴς βαθμὸς ὅμως δίδεται ὑπὸ τοῦ συντελεστοῦ τούτου, ὅστις ὑπολογίζεται ἐκ τῆς κάτωθι σχέσεως :

$$r = \frac{\frac{1}{N} \Sigma X\Psi - \overline{X}\overline{\Psi}}{\sigma\psi \cdot \sigma\chi} \quad (4)$$

ὅπου  $\Sigma X\Psi$  = ἄθροισμα ὄλων τῶν τιμῶν τῶν γινομένων  $X\Psi$

$\overline{X}\overline{\Psi}$  = τὸ γινόμενον τῶν μέσων τιμῶν  $X$  καὶ  $\Psi$

$\sigma\psi$  = σταθερὰ ἀπόκλισις τῶν τιμῶν  $\psi$

$\sigma\chi$  = σταθερὰ ἀπόκλισις τῶν τιμῶν  $X$

$N$  = ἀριθμὸς παρατηρήσεων.

Ὅταν ὁ συντελεστὴς οὗτος εἶναι ἴσος μὲ τὴν μονάδα, τότε ὅλα τὰ σημεῖα κεῖνται ἐπὶ τῆς εὐθείας, δηλαδὴ ὑπάρχει πλήρης συσχετισμὸς, ὅταν ὅμως ἡ τιμὴ αὕτη εἶναι ἴση μὲ μηδέν, σημαίνει ὅτι οὐδεμία σχέσις ὑπάρχει μεταξὺ τῶν παραμέτρων. Τέλος, ὅταν αἱ ἐνδιάμεσοι τιμαὶ πλησιάζουν τὴν μονάδα, δεικνύουν ὑψηλὸν συσχετισμὸν ἢ, ὅταν πλησιάζουν τὸ μηδέν, χαμηλὸν τοιοῦτον.

Δι' ἀντικαταστάσεως τῶν τιμῶν  $\Sigma X\Psi$ ,  $\overline{X}\overline{\Psi}$ ,  $\sigma\psi$  καὶ  $\sigma\chi$  εἰς τὴν ἐξίσωσιν (4), ὑπελογίσθη ὁ συντελεστὴς συσχετίσεως  $r = 0,96$ . Ἡ τιμὴ αὕτη δεικνύει ἕνα ὑψηλὸν συσχετισμὸν. Διὰ τῆς αὐτῆς μεθόδου ὑπελογίσθησαν αἱ ἐξισώσεις ἐκ τῶν ἀντλήσεων τῶν γεωτρήσεων  $F_5/61$ ,  $D_1/62$  καὶ  $B_2/61$ , αἱ ὁποῖα καθ' ὄλον τὸ βάθος των διέτρησαν ἀσβεστολιθικὰ πετρώματα.

Αἱ ἐξισώσεις αὗται ἔχουν ὡς κάτωθι :

$$B_2/61 \quad \Delta = 0,006Q^{1,74}, \quad D_1/62 \quad \Delta = 0,0026Q^{1,95}, \quad F_5/61 \quad \Delta = 0,0015Q^{1,96}.$$

Οἱ συντελεσταὶ συσχετίσεως τῶν ἀνωτέρω ἐξισώσεων εἶναι ἐπίσης λίαν ἰκανοποιητικοί, κυμαινόμενοι ἀπὸ 0,84 ἕως 0,94.

Τὸ σχῆμα 5 δίδει τὴν γραφικὴν παράστασιν τῶν καμπυλῶν τούτων.

#### Ἑρμηνεία τῶν ἀποτελεσμάτων.

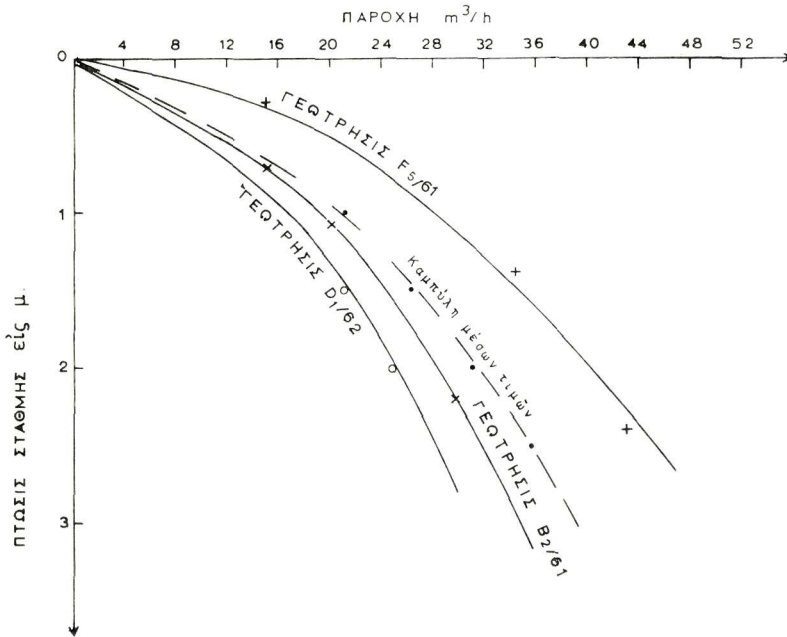
Ἡ ἀναλυτικὴ μελέτη τῶν μεταβολῶν τῆς παροχῆς συναρτήσεται τῆς πτώσεως στάθμης ἔδειξεν, ὅτι αἱ ὡς ἄνω παράμετροι συνδέονται δι' ἐξισώσεως τῆς μορφῆς  $\Delta = CQ^c$  μὲ ὑψηλὸν συντελεστὴν συσχετίσεως.

Ὡς ἐκ τούτου ἐκάστη τιμὴ τῆς παροχῆς, λαμβανομένης ἐξ τῆς ἐξισώσεως διὰ κάθε τιμὴν τῆς πτώσεως στάθμης, εἶναι πλησίον τῆς πραγματικῆς.

Εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ μελετωμένου ὑδροφόρου στρώματος τὸ ὕδωρ κινεῖται ἐντὸς μεγάλων ἀνοιγμάτων ἕως σχεδὸν τριχοειδῶν τοιούτων.



Ἐὰν θεωρήσωμεν τὸ σύνολον τῆς ροῆς ἐντὸς τοῦ ὄγκου τοῦ ὑδροφόρου στρώματος τοῦ ἐπηρεαζομένου ὑπὸ τοῦ ἀντλουμένου φρέατος καὶ ὑποθέσωμεν ὁμοιογένειαν ἐντὸς τῆς περιοχῆς ταύτης, τότε δυνάμεθα νὰ θεωρήσωμεν ἕνα συντελεστὴν  $K'$  ἀνταποκρινόμενον εἰς τὴν μέσην τιμὴν ἀνὰ μονάδα ἐπιφανείας. Ὁ συντελεστὴς οὗτος εἶναι ταυτόσημος μὲ τὸν συντελεστὴν τοῦ DARCEY.



Σχ. 5.— Καμπύλαι μεταβολῶν πτώσεως στάθμης - παροχῆς εἰς γεωτρήσεις B<sub>2</sub>/61, D<sub>1</sub>/62 καὶ F<sub>5</sub>/61.

Ἡ μᾶζα τοῦ ὑδροφόρου στρώματος, φυσικά, εἶναι ἀνομοιογενῆς καὶ ἐπομένως ὁ συντελεστὴς τοῦ DARCEY μεταβάλλεται συνεχῶς εἰς τὸν χῶρον. Ἐντὸς τοῦ ὑδροφόρου συνυπάρχουν δύο εἶδη κινήσεων, μία βραδεία ροὴ διὰ μέσου τῶν μικρῶν ἀνοιγμάτων, ὅπου ἡ σχέση μεταξύ ταχύτητος καὶ ὑδραυλικῆς κλίσεως εἶναι γραμμική, καὶ μία ταχεῖα ροὴ ἐντὸς τῶν εὐρέων ἀνοιγμάτων, στροβιλώδης, ὅπου ἡ ταχύτης εἶναι ἀνάλογος τῆς τετραγωνικῆς ρίζης τῆς ὑδραυλικῆς κλίσεως. Τὸ ὕδωρ ἐντὸς ὄλων τῶν ἀνοιγμάτων τούτων, εὐρισκομένων ἐντὸς τοῦ αὐτοῦ ὑδραυλικοῦ συστήματος, ἔχει τὴν αὐτὴν ὑδραυλικὴν κλίσειν.

Οὕτω ἡ γραμμικὴ ροὴ ἐντὸς τῶν μικρῶν ἀνοιγμάτων ἐκφράζεται διὰ τῆς σχέσεως τοῦ H. DARCEY.

$$Q_1 = K_1 S_1 I$$

Ἡ στροβιλώδης ροὴ διὰ τῆς ἔξισώσεως

$$Q_2 = K_2 S_2 \sqrt{I}$$

καὶ διὰ τὸ σύνολον τῆς ροῆς θὰ ἰσχύη ἡ σχέσις

$$Q' = K_1 S_1 I + K_2 S_2 \sqrt{I}$$

$$\text{ὅπου } Q' = Q_1 + Q_2$$

Ἐὰν  $S' = S_1 + S_2$ , τότε θὰ ἰσχύη ἡ σχέσις

$$Q' = K' S' I^{1/n} \quad (5)$$

καὶ ὁ συντελεστὴς  $n$  θὰ λαμβάνη τιμὰς μεταξὺ 1 καὶ 2.

Διὰ μετασχηματισμοῦ τῆς ἔξισώσεως (5) λαμβάνομεν  $I = \frac{1}{K'^n \cdot S'^n} Q'^n$  (6)

ἥτοι ἐκ τῶν ἔξισώσεων (2) καὶ (6) ἔχομεν τὴν ἀντιστοιχείαν  $\frac{1}{K'^n \cdot S'^n} = C$  καὶ  $n = C_1$ . Πράγματι αἱ εὐρεθεῖσαι τιμαὶ τοῦ συντελεστοῦ  $C_1$  ὑπελογίσθησαν μεταξὺ 1,63 καὶ 1,96, ἥτοι ἡ ροὴ ἐντὸς τοῦ ὑδροφόρου στρώματος εἶναι μεικτὴ. Παρατηρεῖται ἐπίσης, ὅτι, ὅσον ἡ παροχὴ εἶναι μεγαλυτέρα, τόσον ὁ συντελεστὴς  $C_1$  πλησιάζει τὴν τιμὴν 2, ἥτοι ἡ στροβιλώδης ροὴ εἶναι ἐπικρατεστέρα τῆς γραμμικῆς.

#### Εἰδικὴ ἱκανότης τοῦ ὑδροφόρου πετρώματος.

Τὸ πηλίκον τῆς παροχῆς διὰ τῆς πτώσεως στάθμης δίδει τὴν εἰδικὴν ἱκανότητα τοῦ ἀντλουμένου φρέατος. Κατὰ τὴν ἀντλῆσιν τῶν φρεάτων ἡ σχέσις παροχῆς - πτώσεως στάθμης ἐπηρεάζεται ἀπὸ τὰς ἀπωλείας ἐνεργείας κατὰ τὴν εἴσοδον τοῦ ὕδατος μέσφ τῶν φίλτρων τοῦ φρέατος.

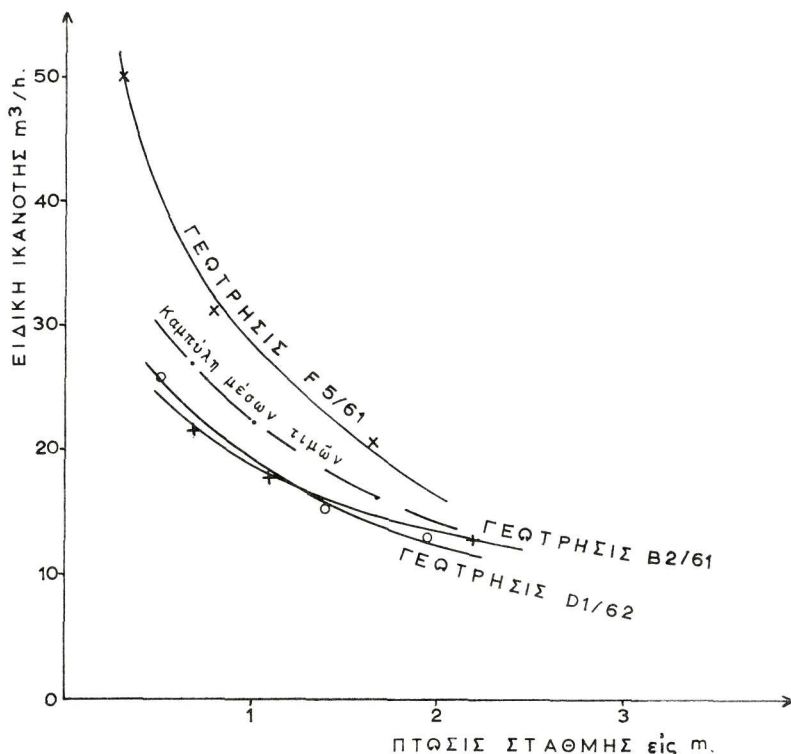
Οὕτω λόγφ τῶν ἀνωτέρω ἀπωλειῶν ἡ πτώσις στάθμης αὐξάνεται ταχύτερον ἀπὸ τὴν ἀντίστοιχον παροχὴν.

Εἰς τὴν μελετηθεῖσαν περιοχὴν τὰ φρέατα ἀντλήσεως διηνοίχθησαν ἐξ ὀλοκλήρου ἐντὸς συμπαγῶν πετρωμάτων καὶ ὡς ἐκ τούτου δὲν ἐτοποθετήθησαν σωλῆνες διὰ τὴν συγκράτησιν τοῦ ὑδροφόρου ὕλικοῦ. Αἱ προαναφερθεῖσαι ἐπομένως ἀπώλειαι δὲν ἔλαβον χώραν κατὰ τὴν ἀντλῆσιν.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω καὶ ἐφ' ὅσον θεωρήσωμεν ἀμελητέας τὰς μικρὰς ἀπωλείας ἐνεργείας κατὰ τὴν εἴσοδον τοῦ ὕδατος ἐντὸς τῆς ἀντλίας, ἡ εἰδικὴ παροχὴ τοῦ φρέατος δύναται νὰ θεωρηθῆ ἀνταποκρινομένη εἰς τὴν εἰδικὴν ἱκανότητα τοῦ ὑδροφόρου στρώματος εἰς τὴν περιοχὴν ἐπιδράσεως τῶν κῶνων ὑποπίεσεως. Εἰς τὴν περίπτωσιν ταύτην ἡ χρῆσις τῆς σχέσεως παροχῆς - πτώσεως στάθμης δύναται ἀφ' ἑνὸς νὰ ὀδηγήσῃ εἰς συμπεράσματα ἀφορῶντα εἰς τὴν σχετικὴν περατότητα τοῦ

υδροφόρου και άφ' ετέρου να επιτρέψη τὸν ὑπολογισμὸν τῆς εἰδικῆς ἰκανότητος τούτου.

Ἐχομεν ἤδη ἀναφέρει, ὅτι αἱ μετρήσεις παροχῆς καὶ πτώσεως στάθμης προσδιώρισαν τυπικὰς καμπύλας ὡς καὶ ἐξισώσεις μὲ ὑψηλοὺς συντελεστὰς συσχέτισεως. Ἐκ τῶν καμπυλῶν τούτων γραφικῶς (σχῆμα 6) ἢ ἐκ τῶν ἐξισώσεων ἀναλυτικῶς, δύνανται νὰ ληφθῇ ἡ καμπύλη ἢ ἐξίσωσις δίδουσα τὴν εἰδικὴν ἰκανότητα



Σχ. 6.— Καμπύλαι εἰδικῆς ἰκανότητος συναρτήσεαι τῆς πτώσεως στάθμης εἰς γεωτρήσεις F<sub>5</sub>/61, B<sub>2</sub>/61 καὶ D<sub>1</sub>/62.

τοῦ ὑδροφόρου εἰς τὴν περιοχὴν τοῦ ἀντλουμένου φρέατος. Ἐκ τῶν ἀνωτέρω καμπυλῶν φαίνεται ὅτι ἡ εἰδικὴ ἰκανότης δὲν εἶναι σταθερὰ, ἀλλὰ μεταβάλλεται μετὰ τῆς πτώσεως στάθμης. Οὕτως, αὐξανομένης τῆς πτώσεως στάθμης ἡ εἰδικὴ ἰκανότης ἐλαττοῦται, διδομένη ὑπὸ τῆς ἐφαπτομένης τῆς καμπύλης «παροχῆ - πτώσις στάθμης» εἰς ἕκαστον σημεῖον ταύτης ἀνταποκρινόμενον εἰς τὴν ἀντίστοιχον πτώσιν στάθμης.

Τὸ ἀνωτέρω φαινόμενον ὀφείλεται εἰς τὴν συμμετοχὴν τῆς στροβιλώδους

ροής εντός του υδροφόρου πετρώματος, κατά την οποίαν η αύξησης της παροχής είναι ανάλογος της τετραγωνικῆς ρίζης της υδραυλικῆς κλίσεως, ἤτοι, εἰς τὴν προκειμένην περίπτωσιν, τῆς πτώσεως στάθμης.

Ἡ ἐξίσωσις  $Q = q\Delta$  δίδει τὴν σχέσιν παροχῆς, εἰδικῆς ἱκανότητος τοῦ φρεάτου καὶ πτώσεως στάθμης, ὅπου  $q$  ἡ εἰδικὴ ἱκανότης τοῦ φρεάτου.

Ἐὰν εἰς τὴν ἐξίσωσιν τῆς γεωτρήσεως 1/65 (3) τοποθετηθῆ, ὅπου  $Q$ , τὸ γινόμενον  $q \cdot \Delta$ , ἡ ἐξίσωσις αὕτη γίνεται :

$$\Delta = 0.113 q^{1.63} \cdot \Delta^{1.63} \quad \text{ἢ} \quad \Delta^{-0.63} = 0.113 q^{1.63}$$

Ἡ ἀνωτέρω ἐξίσωσις δίδει τὴν σχέσιν «εἰδικῆς ἱκανότητος φρεάτου - πτώσεως στάθμης». Τὸ σχῆμα 6 δίδει τὰς καμπύλας τῶν εἰδικῶν ἱκανοτήτων τῶν ἀντληθέντων φρεάτων, ὡς καὶ τὴν μέσην ἱκανότητα τοῦ υδροφόρου στρώματος.

Ἡ ἐξίσωσις τῆς ὡς ἄνω μέσης ἱκανότητος δύναται νὰ ληφθῆ ἐπίσης ἀναλυτικῶς ἐκ τῶν ἐξισώσεων τῶν φρεάτων.

Ἡ ἀνωτέρω μέθοδος ὑπολογισμοῦ τῆς μέσης εἰδικῆς ἱκανότητος προϋποθέτει ἱκανὸν ἀριθμὸν γεωτρήσεων, ἡ ἐπίδρασις τῶν ὁποίων θὰ καλύπτῃ τὸ σύνολον τῆς ὑπὸ μελέτην περιοχῆς.

Εἰς περίπτωσιν ἐπιδράσεως τῶν ἀντλουμένων φρεάτων μεταξύ των εἶναι ἀπαραίτητος ἡ ἐφαρμογὴ τῆς συνθέσεως τῶν πτώσεων στάθμης τῶν ἀνεξαρκῆτων ἀντλήσεων καὶ τῆς ἐπιδράσεως λόγῳ γειτονικῶν φρεάτων.

### Συμπεράσματα.

1. Κατὰ τὴν μελέτην διεπιστώθη ὅτι καὶ τὰ δύο εἶδη ροῆς λαμβάνουν χώραν συγχρόνως, ἡ τιμὴ δὲ τοῦ συντελεστοῦ  $C_1$  προσδιορίζει τὴν συμμετοχὴν ἐκάστου εἴδους ροῆς. Ὁ συντελεστὴς οὗτος, κυμαινόμενος μεταξύ 1 καὶ 2, λαμβάνει τόσον ὑψηλότερας τιμὰς, ὅσον ἡ συμμετοχὴ τῆς στροβιλώδους ροῆς καθίσταται μεγαλυτέρα.

2. Διεπιστώθη ὅτι ἡ παροχὴ καὶ ἡ πτώσις στάθμης τοῦ υδροφόρου κατὰ τὴν ἀντλησιν συνδέονται διὰ τῆς σχέσεως  $\Delta = CQ^{C_1}$ . Αἱ ἐν λόγῳ μεταβληταί, εἰς ὅλας τὰς ἀντλήσεις τὰς ὁποίας ἐξετελέσαμεν, εὐρέθῃ ὅτι συσχετίζονται μὲ ὑψηλοὺς συντελεστὰς συσχετίσεως.

3. Ἐκ τῆς ἐγκαταστάσεως διὰ τῆς στατιστικῆς ἀναλύσεως ἀξιόπιστων σχέσεων παροχῆς - πτώσεως στάθμης κατὰ τὴν ἀντλησιν δύναται νὰ ὑπολογισθῆ ἡ εἰδικὴ παροχὴ τοῦ υδροφόρου πετρώματος παρακαμπτομένων τῶν δυσχερεῶν τῆς χρήσεως τῶν συνήθων τύπων τῆς υδρογεωλογίας, οἱ ὅποιοι ἄλλωστε δὲν ἰσχύουν

λόγω τῆς ἀνομοιογενείας καὶ ἀνισοτροπίας τοῦ μέσου, ἐντὸς τοῦ ὁποίου λαμβάνει χώραν ἡ διακίνησις τοῦ ὕδατος.

4. Ἐκ τοῦ σχήματος 6 παρατηροῦμεν ὅτι διὰ μεγαλυτέρας πιώσεις στάθμης ἢ μέση εἰδικὴ ἰκανότης πλησιάζει τὴν εἰδικὴν ἰκανότητα ἐκάστου φρέατος. Δηλαδή, ὅσον μεγαλύτερος ὄγκος πετρώματος θεωρεῖται, τόσον ἡ ἀνομοιογένεια τοῦ ὑδροφόρου ἐξαφανίζεται.

#### B I B Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

1. CROW, E. - DAVIS, F. - MAXFIELD, M. : Statistics Manual. Dover Publications, Inc. New York (1960).
2. BURDON, D. - ΠΑΡΑΚΙΣ, Ν. : The Karst Groundwater resources of Parnassos - Ghionas Greece. *I. G. S. R., Athens, Greece* (1963).
3. ΜΑΣΤΟΡΗΣ, Κ. : Ὑδρολογικὴ Ἔρευνα εἰς ἀσβεστολιθικὴν περιοχὴν Νοτίου Γκιώνας *I.G.E.Y., Athens 1968* (Διατριβὴ ἐπὶ Διδακτορίᾳ).
4. YAMANE, T. : Statistics-An introductory analysis. Harper & Row, New York, London (1964).

#### S U M M A R Y

At the present paper the kind of Ground Water flow in Karst aquifers of Parnassos - Ghiona zone is investigated.

This study carried out by pumping - tests on four boreholes executed by the Institute for Geology and Subsurface Research and the Food and Agriculture Organization of the United Nations.

The obtained, by pumping - test, values of drawdown for each corresponding discharge is found to be related by the function  $= CQ^c$ .

These equations were calculated by the least - squares procedure and its reliability is tested by the statistical analysis.

These tests showed that the two variables (discharge-drawdown) are related by the high coefficients of correlation. After the establishment of the above relationship, a method of calculation of the specific yield of the aquifers is proposed by using these equations, which it can't be calculated by classical formulas of hydrology because of the anisotropy and inhomogeneity of the aquifers.

---