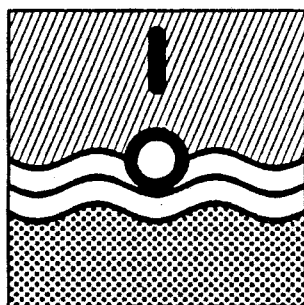


# ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ STRIDE ΕΛΛΑΣ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΘΝΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ  
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ  
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ

MINISTRY OF AGRICULTURE  
DIVISION OF GEOLOGY AND HYDROLOGY

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΑΙ  
ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΤΛΗΣΕΩΝ

DATA MANIPULATION LEVEL RELATED TO  
GROUNDWATER ELEVATION AND  
PUMPING TESTS

*Ε. Δρόσος  
Ζ. Μορφόπουλος  
Π. Περγιαλιώτης*

*E. Drosos  
Z. Morfopoulos  
P. Pergialiotis*

## HYDROSCOPE

STRIDE HELLAS PROGRAMME

DEVELOPMENT OF A NATIONAL DATA  
BANK FOR HYDROLOGICAL AND  
METEOROLOGICAL INFORMATION

Αριθμός τεύχους 7/11  
Report number

ΑΘΗΝΑ - ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1993  
ATHENS - NOVEMBER 1993

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

### Α. ΣΤΑΘΜΕΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

1. Γενικά	1
2. Το βάθος της στάθμης	2
3. Άλλοι υπολογισμοί	3
3.1. Υψόμετρο Σ.Ε.Ν.	3
3.2. Βάθος Σ.Ε.Ν.	3
3.3. Υψόμετρο πυθμένα Σ.Ε.Ν.	3
4. Πηγές	4
4.1. Παροχή πηγών	4
5. Χημικές αναλύσεις	6
5.1. Μονάδες έκφρασης	6
5.2. Βαθμοί σκληρότητας	6
5.3. Σύνολο διαλελυμένων στερεών	7
5.4. Υδροχημικές φάσεις	9
5.5. Σχέση $SO_4/Cl$	12
5.6. " $Mg/Cl$	12
5.7. " $Na/Cl$	12
5.8. " $Na/K$	12
5.9. " $(Ca+Mg)/(K+Na)$	13
5.10 " $Cl/Br$	13
5.11. " $HCO_3/Cl$ & $SO_4/Cl$	13
5.12 Συντελεστής S.A.R.	13
5.13. " REVELLE	13

	Σελίδα
ΣΧΗΜΑΤΑ	
Σχήμα 1	5
ΠΙΝΑΚΕΣ	
Πίνακας 1. Συντ/στών μετατροπής mgr/l σε meq/l	8
" 2. Ταξινόμησης υδροχημικών φάσεων	9
" 3. " αρδευτικού νερού ανάλογα με την ολική σκληρότητα κατά Sawyer-McCarty και κατά Hem.	10
Πίνακας 4. Διάφοροι βαθμοί σκληρότητας	10
" 5. Αντιστοιχία των μονάδων μέτρησης της σκληρότητας.	11
" 6. Χαρακτηρισμός των νερών σύμφωνα με τον συντελεστή REVELLE	14
<b>B. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ</b>	<b>15</b>
1. Καταγραφή των δεδομένων σε ειδικό έντυπο	15
2. Επιλογή κατάλληλης μεθόδου	15
3. Σύνθεση των δεδομένων υπό μορφή διαγραμμάτων	15
4. Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για τον υπολογισμό των υδραυλικών παραμέτρων	17
5. Υπολογισμός της εκμεταλλεύσιμης παροχής και της αντιστοίχου στάθμης άντλησης της γεώτρησης	17
6. Τυχόν παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων	23

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στο να παρουσιάσει μέχρι κάποιου βαθμού την επεξεργασία των πρωτογενών στοιχείων και ειδικότερα τις ενότητες ΣΤΑΘΜΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ.

Η με αυτό τον τρόπο παρουσίαση των δεδομένων δίνει την συνολική εποπτική εικόνα της περιοχής που μελετάται, εντοπίζοντας απλώς τα προβλήματα. Η βαθύτερη ερμηνεία των φαινομένων και η επίλυση των προβλημάτων είναι αντικείμενο της μελετητικής ομάδας που μελετάει το θέμα.

Η ενότητα ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ δεν αναπτύσσεται διότι δεν υπάρχει αναγκαιότητα να γίνει.

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε από τους Ευθ. Δρόσο, Ζαχαρία Μορφόπουλο και Παναγιώτη Περγαλιώτη γεωλόγους της Δ/νσης Γεωλογίας - Υδρολογίας και μέλη της ομάδας Υ.Υ.Υ.

## **ABSTRACT**

The present paper aims to the presentation at a certain level of the atment of primary data, especially relating to GROUNDWATER LEVELS and PUMPING TESTS.

This form of data presentation offers a global survey of the examined field, simply indicating the arising problems.

A deeper interpretation of the abservations and a solution of the relative problems is the target of our study group.

The field of GEOLOGICAL PROFILES is not examined because it is out of our intentions.

The present paper was drawn up by Efthymios Drossos, Zacharias Morfopoulos and Panagiotis Pergaliotis, Geologists of Geology - Hydrology Division, Ministry of Agriculture, and members of the Underground Hydrology - Hydrogeology Group (U.H.H.)

**A. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ  
ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ. ΣΤΑΘΜΕΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ**

**1 ΓΕΝΙΚΑ**

Όπως αναφέρθηκε και στο τεύχος 7/3 υπάρχουν δύο κατηγορίες παραμέτρων, αυτές που παραμένουν αμετάβλητες και αυτές που μεταβάλλονται διαχρονικά.

Η πρώτη κατηγορία των παραμέτρων μετριέται μία φορά και οι μετρήσεις δεν επιδέχονται περαιτέρω επεξεργασία.

Η δεύτερη κατηγορία που αποτελείται από τα μεταβλητά στοιχεία και τις παραμέτρους υφίστανται περαιτέρω επεξεργασία έτσι ώστε, αφού φθάσουν σε κάποιο επίπεδο, απ' εκεί και πέρα να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή χαρτών και διαγραμμάτων.

Πολλές φορές οι αμετάβλητες παράμετροι υπεισέρχονται στην επεξεργασία των μεταβλητών παραμέτρων και προσθαφαιρούνται ανάλογα.

Τα μεταβλητά στοιχεία ή παράμετροι είναι τα εξής

1. Το βάθος της στάθμης των υπόγειων νερών
2. Οι παράμετροι της χημικής ανάλυσης
3. Η ημερομηνία σταθμημέτρησης.
4. Το διάγραμμα του σταθμηγράφου.

## 2 ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

Η μέτρηση του βάθους της στάθμης, όπως ήδη έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα τεύχη αποτελεί την κατ' εξοχήν παράμετρο που μας δείχνει την μεταβολή της δόξαιτας των υπόγειων νερών.

Η τιμή του βάθους της στάθμης αφαιρείται από το  $z_{\text{ref}}$  και η διαφορά τους αποτελεί το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης των υπόγειων νερών.

Ο υπολογισμός του απόλυτου υψόμετρου της στάθμης των υπόγειων νερών είναι ο πιο απαραίτητος, δεδομένου ότι με βάση τις τιμές αυτές γίνεται δυνατή η κατασκευή των πιεζομετρικών κ.λ.π. χαρτών (Σχήμα 1).

### **3 ΑΛΛΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ**

#### **3.1 Υψόμετρο Σ.Ε.Ν.**

Σε πολλές περιπτώσεις ενδιαφέρει η γνώμη του υψομέτρου του Σ.Ε.Ν. και όχι το υψόμετρο του από το σημείο που χωροσταθμήθηκε, Στην περίπτωση αυτή αφαιρείται το υψόμετρο του στηθαίου από το *repere* και το αποτέλεσμα που παίρνουμε είναι το υψόμετρο του εδάφους στο σημείο που ανορύχθηκε το ΣΕΝ.

#### **3.2 Βάθος Σ.Ε.Ν.**

Πολλές φορές ενδιαφέρει το βάθος του πηγαδιού από το έδαφος. Στην περίπτωση αυτή αφαιρείται από το βάθος που μετρήθηκε στο σημείο του *repere* το ύψος του σημείου του *repere* από το έδαφος (σχ. 1).

#### **3.3 Υψόμετρο πυθμένα Σ.Ε.Ν.**

Για την κατασκευή των στερεοδιαγραμμάτων των γεωλογικών οριζόντων καθώς και στον διαχωρισμό των υδροφορέων ενδιαφέρει σημαντικά το υψόμετρο του βάθους του Σ.Ε.Ν. Στην περίπτωση αυτή αφαιρείται από το υψόμετρο του *repere* το βάθος του πυθμένα του πηγαδιού. Για την συμπλήρωση των στερεοδιαγραμμάτων με τους ενδιάμεσους οριζόντες θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης στο πρόγραμμα για να αφαιρείται συγκεκριμένο τμήμα της γεώτρησης. (Σχ. 1).

## 4 ΠΗΓΕΣ

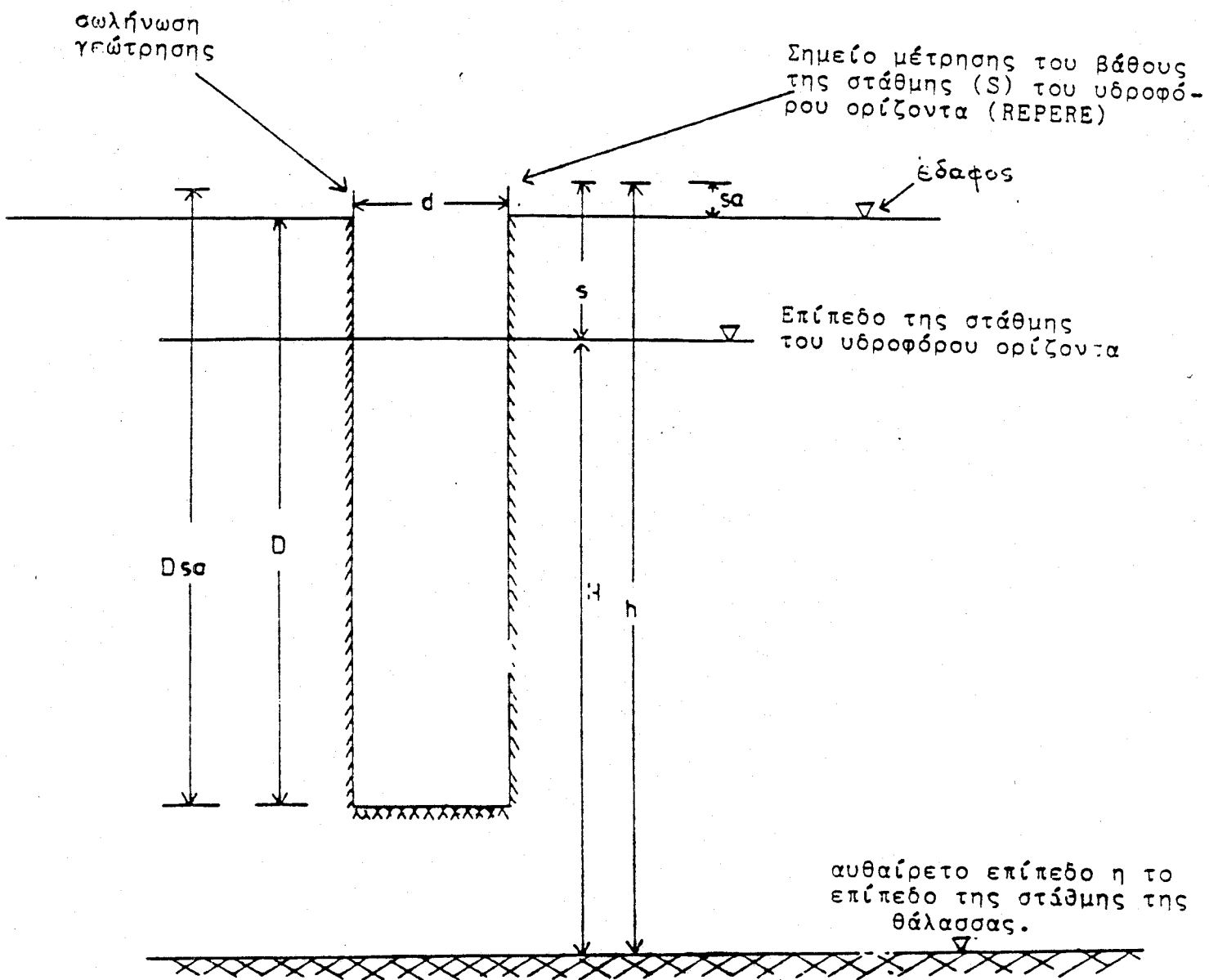
### 4.1 Παροχή πηγών

Οι μετρήσεις της παροχής των πηγών εκφράζονται συνήθως σε lt/sec. Για την χάραξη των διαφόρων καμπυλών όπως είναι το διάγραμμα παροχής-χρόνου σε ετήσια βάση ή σε υπερετήσια βάση απαιτείται η έκφραση της παροχής σε άλλες μονάδες μέτρησης όπως σε  $m^3/sec$  ή σε  $m^3/h$ . Για τον λόγο αυτό χρειάζεται να μετατρέπονται οι παροχές στη μονάδα που είναι επιθυμητή κατά περίπτωση.

Η σχέση μεταξύ των μονάδων είναι

$m^3/h$	$m^3/sec$	lt/sec
1	3,6.103	0,278
3600	1	1000
10	3,6	1





$$H = h - S$$

όπου

$H$  = Απόλυτο υψόμετρο της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα

$h$  = " " " του σημείου εκτέλεσης της σταθμημέτρησης (REPÈRE)

$S$  = Βάθος της στάθμης

$S_{\alpha}$  = υψος στηθαίου

$D$  = βάθος του ΣΕΝ  $D = D_{S_{\alpha}} - S_{\alpha}$

$d$  = διάμετρος

Σχήμα 1

## 5 ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

### 5.1 Μονάδες έκφρασης

Οι τιμές των παραμέτρων των χημικών αναλύσεων εκφράζονται σε P.P.M. 1\*, σε mgr/lt2\*, ή σε meq/lt4\*.

Οι τιμές πρέπει να μετατρέπονται στην επιθυμητή μονάδ. Ο πίνακας 1 μας δείχνει τους συντελεστές για την μετατροπή από mgr/lt ή PPM σε meq/lt. οι μονάδες mgr/lt & P.P.M. για θερμοκρασίες νερού 4-100 C και για TDS μικρότερο του 7000 mgr/lt είναι αριθμητικά ίσες.

Γενικά ισχύουν οι εξής σχέσεις

1  $\text{ερμ}^3$ \* = γραμμοίοντα.σθένος/10 gr.νερού = ppm/ισοδύναμο βάρος

1 meq/lt = mgr/lt/ισοδύναμο βάρος

όπου ισοδύναμο βάρος = ατομικό βάρος

### 5.2 Βαθμοί σκληρότητας

Ο υπολογισμός της ολικής σκληρότητας (Total hardness, Ht 5\*) εκφράζεται σε ισοδύναμα  $\text{CaCO}_3$  mgr/lt.

Αυτή υπολογίζεται από το τύπο:

$$\text{Ht} = \text{Ca} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{Ca}} + \text{Mg} \frac{\text{CaCO}_3}{\text{Mg}}$$

όπου οι συγκεντρώσεις Ca και Mg εκφράζονται σε mgr/lt.

Η πιο απλοποιημένη μορφή είναι η εξής

$$\text{Ht} = 2,5 \text{ Ca} + 4,1 \text{ Mg}$$

Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/l τότε

$$H_t = (Ca+MG) \cdot SO$$

Ανάλογα με την ολική σκληρότητα του νερού, εκφρασμένη σε ισοδύναμο  $CaCO_3$  σε mg/l, έχουν προταθεί οι ταξινομήσεις που φαίνονται στον πίνακα 2.

Αν η σκληρότητα σε  $CaCO_3$  ξεπερνά την αλκαλικότητα του νερού σε  $CaCO_3$ , η διαφορά ονομάζεται μόνιμη ή μη ανθρακική σκληρότητα H. Δηλαδή

$$H = H_t - Alk \text{ mg/l.}$$

### 5.3 Σύνολο διαλελυμένων στερεών

Με βάση το σύνολο διαλελυμένων στερεών (TDS) ο ΗΕΜ διατύπωσε την παρακάτω ταξινόμηση

Γλυκό νερό (fresh) : TDS < 1000 mg/l

Μέτρια αλατούχο νερό (moderate saline) : TDS 1000 - 10000 mg/l

Πολύ αλατούχο νερό (very saline) : TDS 10000 - 35000 mg/l

Υπεραλμυρό (σαλαμούρα, Brine): TDS > 35000 mg/l.

Νωρίτερα οι Davis-De Wiest είχαν προτείνει την παρακάτω ταξινόμηση:

Γλυκό νερό (fresh) : TDS 0-1000 mgr/h

Υφάλμυρο ή γλυκό νερό (brackish) : TDS 1000 - 10000 mgr/l

Αλμυρό (Salt of Saline) TDS 10000- 100000 mgr/l

Σαλαμούρα (brine) TDS > 100000 mgr/l

1\*. Μέρη ανά εκατομμύριο βάρους (parts per million)

2\*. Χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο

3\*. Ισοδύναμο ανά εκατομμύριο (equivalent per million).

4\*. Χιλιοστοϊσοδύναμο ανά λίτρο

5\*. Σύνολο διαλελυμένων στερεών (Total dissolved solids).

## ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Συντελεστές μετατροπής mg/l σε meq/l (Hem, 1970)

Στοιχείο ή ρίζα		Συντελεστής μετατροπής από mg/l σε meq/l
Αργίλιο	Al	0,11119
Αμμώνιο	NH <sub>4</sub>	0,05544
Βάριο	Ba	0,01456
Βηρύλλιο	Be	0,332288
Οξινη ανθρακική ρίζα	HCO <sub>3</sub>	0,01639
Βρώμιο	Br	0,01251
Κάδμιο	Cd	0,01779
Ασβέστιο	Ca	0,04990
Ανθρακική ρίζα	CO <sub>3</sub>	0,03333
Χλώριο	Cl	0,02821
Κοβάλτιο	Co	0,03394
Χαλκός	Cu	0,03148
Φθόριο	F	0,05264
Υδρογόνο	H	0,99209
Υδροξύλιο	OH	0,05880
Ιώδιο	I	0,00788
Σίδηρος	Fe <sub>+2</sub>	0,03581
Σίδηρος	Fe <sub>+3</sub>	0,05372
Λίθιο	Li	0,14411
Μαγνήσιο	Mg	0,08226
Μαγγάνιο	Mn	0,03640
Νιτρική ρίζα	NO <sub>3</sub>	0,01613
Νιτρώδης ρίζα	NO <sub>2</sub>	0,02174
Φωσφορική ρίζα	PO <sub>4</sub>	0,03159
" "	HPO <sub>4</sub>	0,02084
" "	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,01031
Κάλιο	K	0,02557
Νάτριο	Na	0,04350
Στρόντιο	Sr	0,02283
Θειική ρίζα	SO <sub>4</sub>	0,02082
Θιάφι	S	0,06238
Ψευδάργυρος	Zn	0,03060

#### 5.4 Υδροχημικές φάσεις

Οι υδροχημικές φάσεις αναπτύχθηκαν για να κατατάξουν τα υπόγεια νερά σε κατηγορίες νερού. Η κατάταξη αυτή βασίστηκε στις υποδιαίρεσεις του τριγραμμικού διαγράμματος.

Σύμφωνα με αυτά ο BACK πρότεινε τον παρακάτω πίνακα ταξινόμησης των υδροχημικών φάσεων.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Ταξινόμηση των υδροχημικών φάσεων

	% meq ιόντων			
	Ca+Mg	Na+K	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub>	Cl+SO <sub>4</sub>
Φάσεις κατιόντων				
Ασβεστομαγνησιακά	90-100	0-10		
Ασβεστονατριούχα	50-90	10-50		
Νατριοασβεστούχα	10-50	50-90		
Φάσεις ανιόντων				
Δισανθρακική	90-10	0-10		
Οξυανθρακική-χλωριοθειική			50-90	10-50
Χλωροθειική-οξυανθρακική			10-50	50-90
Χλωριοθειική			0-10	90-100

### ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Ταξινόμηση του αρδευτικού νερού ανάλογα με την ολική σκληρότητα κατά Sawyer-McCarty και κατά Hem.

Χαρακτηρισμός του νερού	Κατά Sawyer-McCarty (1967)		Hem 1970	
	Ισοδύναμο CaCO <sub>3</sub> σε mg/l	Γαλλικοί βαθμοί	Ισοδύναμο CaCO <sub>3</sub> σε mg/l	Γαλλικοί βαθμοί
Μαλακό	0-75	0-7,5	0-60	0-6
Μέτρια σκληρό	76-150	7,6-15	61-120	6,1-12
Σκληρό	150-300	15-30	121-180	12,1-18
Πολύ Σκληρό	>300	>30	>180	>18

### ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Οι διάφοροι βαθμοί σκληρότητας

Γαλλικός	βαθμός που ισοδυναμεί με	10 mg/l CaCO <sub>3</sub>
Γερμανικός	βαθμός που ισοδυναμεί με	17,9 mg/l Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Αγγλικός	βαθμός που ισοδυναμεί με	14,3 mg/l CaCO <sub>3</sub>
Αμερικανικός	βαθμός που ισοδυναμεί με	1 mg/l CaCO <sub>3</sub>
Ρωσικός	βαθμός που ισοδυναμεί με	0,001 gr/l Ca <sup>++</sup>

## ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Αντιστοιχία των μονάδων μέτρησης της σκληρότητας

	Γαλλικός βαθμός	Αγγλικός βαθμός	Γερμανικός βαθμός	Mimoles mgCa	Ca
Γαλλικός βαθμός	1	0,70	0,56	4,008	0,1
Αγγλικός βαθμός	1,43	1	0,80	5,73	0,143
Γερμανικός βαθμός	1,79	1,25	1	7,17	0,179
mgCa	0,25	0,175	0,1401	0,025	
Mimoles Ca	10	7	5,6	40,08	1

Με βάση τις υδροχημικές φάσεις του παραπάνω πίνακα διακρίνονται οι εξής τρεις υδροχημικές ζώνες:

- α) την ανώτατη υδροχημική ζώνη όπου το νερό είναι οξυανθρακικό και χαμηλής μεταλλικότητας.
- β) την ενδιάμεση υδροχημική ζώνη όπου το νερό είναι θειικό και η μεταλλικότητα του είναι υψηλότερη.

γ) την κατώτερη υδροχημική ζώνη όπου το νερό είναι σχεδόν στάσιμο η μεταλλικότητα του νερού είναι μεγάλη και η υδροχημική του φάση χλωριούχα.

### 5.5 Σχέση $SO_4^{--} / Cl^-$

Η σχέση αυτή μας δείχνει την διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού, διότι ελαττώνεται κατ' αυτήν:

### 5.6 Σχέση $Mg^{+2} / Ca^{-2}$

Στους ασβεστολιθικούς υδροφορείς - στο ασβεστολιθικό νερό κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 0,7.

Στους δολομιτικούς υδροφορείς - στα δολομιτικά νερά κυμαίνεται μεταξύ 0,7 και 0,9.

Στους πυριτικούς υδροφορείς - στα πυριτικά νερά είναι μεγαλύτερος του 0,9.

### 5.7 Σχέση $Na^{+1} / Cl^{-1}$

Στα κανονικά νερά ο λόγος είναι ίσος με 0,8761+-10%. Αυτό ισχύει και στο θαλασσινό νερό. Όταν ο λόγος είναι μεγαλύτερος της μονάδας το νερό προέρχεται από υδροφόρους σε αλκαλικά μαγματικά ή μεταμορφωμένα πετρώματα.

Όταν ο λόγος παίρνει πολύ μικρή τιμή σημαίνει ότι υπάρχουν φαινόμενα υπαλμύρωσης του υδροφόρου.

### 5.8 Σχέση $Na^{+1} / K^{+1}$

Στο θαλασσινό νερό ο λόγος είναι περίπου 47 και στο βρόχινο μικρότερος του 10. Στις περιοχές εμπλουτισμού κυμαίνεται μεταξύ 15-25 ενώ στις κατάντη περιοχές μεταβάλλεται και κυμαίνεται μεταξύ 50 - 70.



### 5.9 Σχέση (Ca+Mg)/(K+Na)

Στις περιοχές εμπλουτισμού των υδροφόρων είναι >1 ενώ στις κατάντη <1.

### 5.10 Σχέση Cl/Br.

### 5.11 Σχέση HCO<sub>3</sub>/Cl και SO<sub>4</sub>/Cl

### 5.12 Συντελεστής S.A.R.<sup>1</sup>

Ο συντελεστής δίνεται από την σχέση:

$$SAR = \frac{Na}{(Ca+Mg)/2}$$

όπου οι συγκεντρώσεις Na, Ca και Mg εκφράζονται σε MEQ/L.

### 5.13 Συντελεστής REVELLE

Ο συντελεστής δίνεται από την σχέση

$$R = \frac{Ca}{(CO_3+HCO_3)}$$

όπου Cl, CO<sub>3</sub> και HCO<sub>3</sub> εκφράζονται σε Meq/l

Ο εν λόγω συντελεστής μας δείχνει κατά πόσο το νερό έχει υποστεί ρύπανση από την διείσδυση της θάλασσας. Ο πίνακας 6 μας δείχνει αναλυτικό τα όρια του συντελεστή.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 6.

Χαρακτηρισμός των νερών σύμφωνα με τον  
συντελεστή REVELLE

Συντελεστής REVELLE

Συντελεστής REVELLE		Χαρακτηρισμός νερού
Προτεινόμενο όριο	Όριο SIMPSON	
<1	0,5	Καλό υπόγειο νερό χωρίς ρύπανση από την θάλασσα
1 - 2	1,3	Ελαφρά ρυπασμένο νερό
2 - 6	2,8	Μέτρια " "
6 - 10	6,5	Σοβαρό " "
10 - 150	15,5	Επικίνδυνα " "
>150	200	Θαλασσινό νερό

1. Συντελεστής προσρόφησης Νατρίου (Sodium adsorption Ratio).

## **Β. ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ**

Όταν τελειώσει η δοκιμαστική άντληση και όλες οι πληροφορίες έχουν συλλεχθεί, θα πρέπει να γίνει η επεξεργασία των δεδομένων.

Η επεξεργασία αυτή των δεδομένων θα πρέπει να περιλαμβάνει:

1. Καταγραφή των δεδομένων σε ειδικά έντυπα.  
Τα δεδομένα αυτά πριν καταγραφούν θα πρέπει να έχουν ελεγχθεί και διορθωθεί από διακυμάνσεις της στάθμης που δεν οφείλονται στην δοκιμαστική άντληση.
2. Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για τον υπολογισμό των υδραυλικών παραμέτρων. Στη φάση αυτή η επιλογή της μεθόδου θα γίνεται με βάση τις υπάρχουσες πληροφορίες για την γεωλογία και την υδρογεωλογία της περιοχής, του τρόπου που εκτελέστησαν οι αντλητικές δοκιμασίες, και των πρωτογενών πληροφοριών που συλλέχθηκαν από την προάντληση για την περιοχή. Στο στάδιο αυτό η επιλογή της μεθόδου είναι θέμα αποκλειστικά του μελετητή. Σημειώνεται ότι στη πράξη έχει βρεθεί ότι οι μέθοδοι Theis και Jacob - ιδίως η μέθοδος Jacob - δίνουν λύση στα κυριότερα προβλήματα που συναντά ο υδρογεωλόγος.
3. Σύνθεση των δεδομένων υπό μορφή διαγραμμάτων.  
Ανεξαρτήτως μεθόδου που θα επιλεγεί για τον υπολογισμό των υδραυλικών παραμέτρων είναι απαραίτητο σε κάθε δοκιμαστική άντληση να γίνονται τα παρακάτω διαγράμματα σε ημιλογαριθμικό ή λογαριθμικό ή αριθμητικό χαρτί ανάλογα με τη μέθοδο που θα έχει επιλεγεί όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.2.

Σημειώνεται ότι θα πρέπει ταυτόχρονα να γίνεται και ο μαθηματικός προσδιορισμός των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφόρου ή των παραμέτρων που έχουν σχέση με την γεώτρηση, στο τέλος δε κάθε διαγράμματος καλό είναι να ακολουθεί σχόλιο με παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων.

Τα απαραίτητα διαγράμματα είναι:

- i) Διάγραμμα χαρακτηριστικής καμπύλης γεωτρήσεως.
- ii) " πτώσης στάθμης  $\Delta s$  - χρόνου  $t$ .
- iii) " επαναφοράς στάθμης.
- iv) " πτώσης στάθμης & επαναφοράς  $\Delta s$  - χρόνου  $t$ .
- v) Διαγράμματα υπολογισμού απωλειών φορτίου εντός της γεώτρησης.

Αναλυτικά για τη σύνθεση των παραπάνω διαγραμμάτων έχουμε αναφερθεί στην έκθεση μας με τίτλο "Τρόπος επεξεργασίας και σχεδίασης διαγραμμάτων δοκιμαστικών αντλήσεων".

Συμπληρωματικά θα πρέπει να αναφέρουμε ότι: α) Στη καρτέλα κάθε διαγράμματος σε κλειστό τετράγωνο στην επάνω δεξιά γωνία του θα πρέπει να σημειώνονται οι σταθερές  $Q$ ,  $r$ ,  $t_{αντλ}$ . β) Κατά την κατασκευή της καμπύλης Theis ή της ευθείας Jacob δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πρώτες μετρήσεις. γ) Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου Jacob να γίνεται στις περιπτώσεις που είναι δυνατόν η χάραξη περισσότερων ευθειών και στο διάγραμμα  $\Delta s - t$  της μεθόδου αυτής να υπολογίζεται η τιμή  $t_0$ , όπου  $t_0$  η τομή της ευθείας με άξονα  $\Delta s=0$ , ως και η τιμή του  $C$ , όπου  $C$  η τιμή της πτώσης στάθμης σ' ένα λογαριθμικό κύκλο. δ) Σε κλειστό τετράγωνο στη κάτω αριστερή γωνία της καρτέλας κάθε διαγράμματος να γράφονται οι σταθερές του υδροφόρου  $T$  και  $S$  στην τοπική περιοχή που γίνεται η άντληση. ε) Στα διαγράμματα  $\Delta s - t$  να υπάρχει δυνατότης υπολογισμού των  $T$  και  $S$  για κάθε τμήμα της καμπύλης. Τα παραδεκτά  $T$  και  $S$  θα αποφασίζονται από το μελετητή - χρήστη και θα αναγράφονται στο κλειστό τετράγωνο που αναφέρθηκε στη (δ). Τα υπόλοιπα υπολογισθέντα  $T$  και  $S$  θα αναγράφονται απέναντη από το αντίστοιχο τμήμα της καμπύλης  $\Delta s - t$ . στ) Στο διάγραμμα της χαρακτηριστικής καμπύλης της γεώτρησης σε κλειστό τετράγωνο στην επάνω δεξιά γωνία του θα γράφεται σε σμίκρυνση ο πίνακας που αναφέρεται στο κεφ. 3.1.1 της έκθεσης " τρόπος επεξεργασίας και σχεδίασης διαγραμμάτων δοκιμαστικών αντλήσεων " ως και η παρατήρηση εάν η χαρακτηριστική καμπύλη προήλθε από δοκιμαστική άντληση με δοκιμές βαθμίδων με επαναφορά στάθμης ή προήλθε από δοκιμαστική άντληση με

δοκιμές συνεχόμενων βαθμίδων. Σε κλειστό τετράγωνο στη κάτω αριστερή γωνία θα γράφεται η κρίσιμος παροχή  $Q_{κρ}$  της γεώτρησης. ζ) Στο διάγραμμα (iv) στο κάτω αριστερό κλειστό τετράγωνο εκτός των T και S θα αναγράφεται και η υπολειπόμενη στάθμη. η) Στα διαγράμματα (v) και στην ευθεία απωλειών φορτίου θα γράφονται σε κλειστό τετράγωνο μόνο οι τιμές των σταθερών B και C.

3.1. Κρίνομε σκόπιμο να αναφέρουμε ότι πρέπει να δίδονται και τα διαγράμματα  $\Delta s=f(\log r)$  και  $\Delta s=f(\log t/r^2)$  που συνιστούν δυο παραλλαγές εφαρμογής της μεθόδου Jacob για τον υπολογισμό των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφόρου, με όλες τις προϋποθέσεις που αναφέρθησαν στην προηγούμενη παράγραφο 3.3.

4. Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για τον υπολογισμό των υδραυλικών παραμέτρων.

Μέχρι στιγμής έχει γίνει σύνθεση των δεδομένων υπό μορφή διαγραμμάτων και υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφόρου στη τοπική περιοχή ως και παραμέτρων που έχουν σχέση με τη γεώτρηση προεπιλέγοντας μια μέθοδο επεξεργασίας των δεδομένων.

Όπως, όμως, έχουμε προαναφέρει και σε άλλες εκθέσεις μας, στο σημείο αυτό ο "εκ των υστέρων" έλεγχος από τον H/Y θα μας δείξει εάν ισχύουν οι μαθηματικές προϋποθέσεις εφαρμογής της προεπιλεγούσης μεθόδου.

Αρα στο σημείο αυτό θα πρέπει ο μελετητής-χρήστης με τη βοήθεια του H/Y να έχει τη δυνατότητα να επιλέξει την κατάλληλο μέθοδο επεξεργασίας των δεδομένων της δοκιμαστικής άντλησης και να προχωρήσει στην επεξεργασία των δεδομένων του σύμφωνα με την ενδεδειγμένη πλέον μέθοδο.

5. Υπολογισμός της εκμεταλλεύσιμης παροχής και της αντιστοίχου στάθμης άντλησης της γεώτρησης.

Στο σημείο αυτό θεωρούμε ότι ο μελετητής - χρήστης θα πρέπει να δώσει, έχοντας υπόψη όλα τα προηγούμενα, στοιχεία για την εκμεταλλεύσιμη παροχή της γεώτρησης και της στάθμης άντλησης, στοιχεία που είναι εντελώς απαραίτητα τόσο για τη βιοσιμότητα των υδροφορέων και κατ' επέκταση του νερού λογιζομένου ως φυσικό αγαθό, όσο και από άποψη οικονομική.

Ο σωστός προσδιορισμός της παροχής εκμετάλλευσης και της αντίστοιχης στάθμης άντλησης (Σ.Α.) αποτελεί βασικό παράγοντα για την εύρυθμη λειτουργία μιας γεώτρησης. Τα στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη για τους υπολογισμούς είναι τα παρακάτω:

A) Στοιχεία της δοκιμαστικής άντλησης.

- 1) για την χαρακτηριστική καμπύλη της γεώτρησης ( $Q_{κρ}$ )
- 2) για την περιεκτικότητα σε άμμο του αντλούμενου νερού ( $A^0/_{00}$ )
- 3) για την υδροστατική στάθμη της γεώτρησης (Υ.Σ.)
- 4) για την πτώση στάθμης ( $\Delta s$ )

A1. Από τη χαρακτηριστική καμπύλη προσδιορίζεται η κρίσιμη παροχή της γεώτρησης ( $Q_{κρ}$ ), δηλ. η οριακή παροχή πάνω από την οποία η προκαλούμενη πτώση στάθμης είναι δυσανάλογα μεγάλη σε σχέση με την αύξηση της παροχής, καθιστώντας έτσι την εκμετάλλευση οικονομικά ασύμφορη και επισφαλή. Κατά συνέπεια, η επιλεγόμενη παροχή εκμετάλλευσης δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να υπερβαίνει το κρίσιμο σημείο της καμπύλης.

A2. Η παρουσία άμμου στο αντλούμενο νερό γίνεται αιτία καταστροφής των αντλιών και των γεωτρήσεων. Αν κατά την δοκιμαστική άντληση διαπιστωθεί ότι η γεώτρηση παρουσιάζει προβλήματα άμμου, σαν παροχή εκμετάλλευσης προτείνεται εκείνη στην οποία το φαινόμενο εξαφανίζεται ή μειώνεται σε ανεκτά επίπεδα (η περιεκτικότητα σε άμμο προσδιορίζεται με λήψη δειγμάτων νερού σε κώνους Imhoff). Πειραματικά δεδομένα από τις

γεωτρήσεις της Θεσσαλίας (Π.Α.Υ.Υ.Θ.) οδήγησαν στο σχ.1. Ετσι σε κάθε περίπτωση το ποσοστό της άμμου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια που δίνονται από το σχ.1. Τα όρια αυτά όμως πολλές φορές δεν εφαρμόζονται.

- A3. Η στάθμη άντλησης (Σ.Α.) είναι συνάρτηση της πτώσης στάθμης ( $\Delta s$ ), που προκαλείται από την άντληση ορισμένης παροχής και της Υ.Σ. της γεώτρησης. Για τον προσδιορισμό λοιπόν μιας Σ.Α. ασφαλείας, όπως γίνεται προφανές, είναι αναγκαίο να υπολογισθεί η μέγιστη οριακή τιμή (ελάχιστο ακρότατο) της Υ.Σ. της γεώτρησης. Αυτή υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$Υ.Σ. μέγιστη = Υ.Σ. μετρηθείσα + συντ. εποχιακής μεταβολής + πτώση στάθμης Ξηρού έτους \quad (1)$$

Οπου:

Υ.Σ. μετρηθείσα: όπως είναι γνωστό η δοκιμαστική άντληση περιλαμβάνει τις αντλήσεις κατά βαθμίδες και την άντληση σταθεράς παροχής. Επειδή, λοιπόν, η δοκιμαστική άντληση διαρκεί περισσότερο από μια μέρα, είναι ενδεχόμενο να παρατηρηθούν διαφορετικές τιμές Υ.Σ. κατά την έναρξη των δοκιμών. Σαν Υ.Σ. μετρηθείσα τίθεται η μεγαλύτερη Υ.Σ. που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής άντλησης.

Συντελεστής εποχιακής μεταβολής: Ο παράγοντας αυτός έχει να κάνει με την ετήσια διακύμανση της πιεζομετρικής επιφάνειας στην υδρογεωλογική λεκάνη που ανορύσσεται η γεώτρηση. Ετσι, γενικά, κατά τον Μάρτη - Απρίλη, πριν την έναρξη της αρδευτικής περιόδου, η Υ.Σ. βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο (μέγιστο ακρότατο), ενώ κατά τον Αύγουστο - Σεπτέμβρη (τέλος περιόδου Ξηρασίας και αρδεύσεων) εγγίζει τις χαμηλότερες τιμές της (ελάχιστο ακρότατο). Είναι λοιπόν αυτονόητο ότι η Υ.Σ., που παρατηρείται τον Αύγουστο - Σεπτέμβρη, βρίσκεται στα βαθύτερα σημεία και δεν χρειάζεται καμία διόρθωση, όσο αφορά την εποχιακή διακύμανση, ενώ η Υ.Σ. που παρατηρείται σε άλλη χρονική περίοδο χρειάζεται διόρθωση, που πρέπει να γίνεται μετά από τον προσδιορισμό της ανά μήνα διακύμανσης της πιεζομετρικής επιφάνειας σε σχέση με την περίοδο χαμηλών υδάτων (Αύγουστος - Σεπτέμβρης).

Για παράδειγμα δίνεται παρακάτω ο πίνακας με τον συντελεστή εποχιακής μεταβολής στην υδρογεωλογική λεκάνη της Θεσσαλίας, στην οποία η ετήσια διακύμανση της πιεζομετρικής επιφάνειας έχει υπολογιστεί ότι είναι της τάξης των 6 μέτρων.

Μήνας	Συντ. εποχιακής μεταβολής
Ιανουάριος	4.5 μ.
Φεβρουάριος	5.5 μ.
Μάρτιος	6.0 μ.
Απρίλιος	6.0 μ.
Μάϊος	4.0 μ.
Ιούνιος	2.5 μ.
Ιούλιος	1.5 μ.
Αύγουστος	0.0 μ.
Σεπτέμβριος	0.0 μ.
Οκτώβριος	1.5 μ.
Νοέμβριος	2.5 μ.
Δεκέμβριος	3.5 μ.

Είναι, λοιπόν, απαραίτητο για τον σωστό προσδιορισμό της Σ.Α των γεωτρήσεων να συνταχθούν ανάλογοι πίνακες για κάθε υδρογεωλογική λεκάνη από τα στοιχεία των παρατηρήσεων, που συλλέγονται στα πλαίσια παρακολούθησης της πιεζομετρικής στάθμης και της γενικότερης συμπεριφοράς των υπογείων υδροφορέων.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις καρστικές γεωτρήσεις, στις οποίες για λόγους ασφάλειας πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια ώστε να εκτελείται η δοκιμαστική άντληση κατά τον Αύγουστο - Σεπτέμβρη, ή εφόσον αυτό δεν γίνει αρχικά ν'ακολουθεί μια δοκιμαστική άντληση σ'αυτή την περίοδο για την αποφυγή δυσάρεστων εξελίξεων.

Πτώση στάθμης Ξηρού έτους: Αυτή είναι γενικά της τάξης των τριών (3) μέτρων.



Πρέπει εδώ ν'αναφερθεί ότι για την μελλοντική εξέλιξη της πιεζομετρικής επιφάνειας μιας υδρογεωλογικής λεκάνης είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα με την κατάρτιση μαθηματικών ομοιομάτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο παράγοντας Υ.Σ. μεγίστη προσδιορίζεται, χωρίς τους προαναφερόμενους υπολογισμούς, από χάρτες εξέλιξης της πιεζομετρικής επιφάνειας.

A4. Για λόγους ασφαλείας πρέπει να υπολογίζεται η πτώση στάθμης που θα προκληθεί αν η γεώτρηση λειτουργεί, χωρίς διακοπή, καθ'όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (συνολικά 5000 ώρες περίπου).

Ετσι:

$$\Delta S_{5000} = \Delta S_5 + 3C \quad (2)$$

όπου:

$\Delta S_{5000}$  = η πτώση στάθμης μετά 5000 ώρες άντλησης ( $5 \times 10^3$ ) χωρίς διακοπή (δηλ. η πτώση στάθμης σε 3 λογαριθμικούς κύκλους στο διάγραμμα Jacob μετά την 5<sup>η</sup> ώρα).

$\Delta S_5$  = η πτώση στάθμης μετά 5 ώρες άντλησης.

C= η πτώση στάθμης σε χρονικό διάστημα ενός λογαριθμικού κύκλου, όπως αναπαρίσταται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα με τη μέθοδο Jacob.

Στην περίπτωση που η επιλεγόμενη παροχή εκμετάλλευσης συμπίπτει μ'αυτή που έγινε η άντληση σταθεράς παροχής, η  $\Delta S$  στις 5 ώρες βρίσκεται αμέσως από τις μετρήσεις που έχουν ληφθεί.

Αν όμως η επιλεγόμενη παροχή εκμετάλλευσης είναι μικρότερη, τότε η πτώση στάθμης που αντιστοιχεί σ'αυτή (με μεγάλο συντελεστή ασφαλείας) υπολογίζεται εφαρμόζοντας τον παρακάτω τύπο:

$$\Delta S_{5\text{επ.}} = \frac{Q_{\text{επ.}}}{Q_{\text{στ.παρ.}}} \Delta S_{\text{στ.παρ.}} \quad (3)$$

όπου:

$\Delta S_{5\text{επ.}}$  = η  $\Delta S$  που θα προκαλέσει σε 5 ώρες η επιλεγόμενη παροχή εκμετάλλευσης.

$\Delta S_{5\text{στ.παρ.}}$  = η  $\Delta S$  που προκάλεσε σε 5 ώρες η παροχή της πολύωρης δοκιμαστικής άντλησης.

$Q_{\text{επ.}}$  = η επιλεγόμενη παροχή εκμετάλλευσης.

$Q_{\text{στ.παρ.}}$  = η παροχή με την οποία έγινε η πολύωρη δοκιμαστική άντληση.

Όταν είναι γνωστοί όλοι οι προαναφερόμενοι παράγοντες ο υπολογισμός της  $\Sigma.A.$  γίνεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\Sigma.A._{\text{τελ.}} = Y.\Sigma.\text{μεγ.} + \Delta S_{5000} + \Delta S_{\text{αλ.}} \quad (4)$$

όπου:

$\Sigma.A._{\text{τελ.}}$  = είναι η  $\Sigma.A.$  ασφαλείας για την παροχή εκμετάλλευσης που ορίστηκε.

$Y.\Sigma.\text{μεγ.}$  = όπως παραπάνω έχει περιγραφεί.

$\Delta S_{5000}$  = όπως παραπάνω έχει περιγραφεί.

$\Delta S_{\text{αλ.}}$  = είναι η πτώση στάθμης που προκαλείται εξ αιτίας της λειτουργίας των παρακειμένων γεωτρήσεων (αλληλεπίδραση γεωτρήσεων). Αυτή υπολογίζεται από την εξίσωση.

$$\Delta S_{\text{αλ.}} = 0.183 \frac{Q}{T} \log \frac{2.25 T}{r^2 S} \quad (5)$$

Η λύση αυτής της εξίσωσης γίνεται εξαιρετικά δύσκολη όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός γειτονικών γεωτρήσεων. Η αλληλεπίδραση γεωτρήσεων σε μικροπορώδεις σχηματισμούς έχει προσδιοριστεί με ηλεκτρονικό υπολογιστή πάντοτε κατώτερη των 5 μέτρων, εφόσον τηρούνται αποστάσεις ασφαλείας μεταξύ γεωτρήσεων (κανονιστικές αποφάσεις νομαρχιών). Γι' αυτό το λόγο στην αλληλεπίδραση δίνεται η τιμή 5 μ. ( $\Delta S_{\text{αλ.}} = 5 \mu.$ ) εκτός εάν τα υπάρχοντα στοιχεία συνηγορούν για διαφορετική τιμή στην περιοχή.

- B) Στοιχεία της σωλήνωσης.
- 1) για τη διάμετρο των σωλήνων
  - 2) για το βάθος της κυρίας σωλήνωσης
  - 3) για τις θέσεις των φιλτροσωλήνων.

Σαν γενικός κανόνας ισχύει ότι δεν τοποθετείται η αντλία σε θέσεις φίλτρων αλλά πάντοτε σε μέρη τυφλών σωλήνων. Πρέπει ακόμη να σημειωθεί ότι η διάμετρος της σωλήνωσης ορίζει και τη μέγιστη διάμετρο αντλίας που μπορεί να τοποθετηθεί και κατά συνέπεια οριοθετεί μια μέγιστη παροχή που είναι δυνατό να ληφθεί, όπως υποδεικνύεται παρακάτω (στοιχεία από τη Δ/νση Μηχανολογίας για κατακόρυφες πομώνες).

Διάμ.σωλ.	Διάμ.αντλίας	Διάμ.στροβίλου	Παροχή εκμετάλλευσης
10"	6"	7 5/8"	60 - 120 m <sup>3</sup> /h
12"	8"	9 5/8"	120 - 220 "
14"	10"	11 4/8"	220 - 300 "
16"	12"		300 - 500 "

#### 6. Τυχόν παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων

Ο μελετητής αναγράφει α) τις προβλέψεις του σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά για την περιοχή, β) κάνει τυχόν υποδείξεις για επιπλέον έρευνες και γ) αναγράφει σε περίληψη τα κυριώτερα αποτελέσματα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πουλοβασίλης Α και συνεργάτες (1991). Το πρόβλημα του Αργολικού Πεδίου 1. Η άρδευση ως παράγοντας οικολογικής υποβάθμισης του Αργολικού Πεδίου.
- Δρόσος Ε. (1985) Υδρογεωλογική έρευνα πηγών Αγ. Φλώρου και Πηδήματος Ν. Μεσσηνίας.
- Καλλέργης, Γ. (1986) Εφηρμοσμένη Υδρογεωλογία.
- Σούλιος, Γ. (1979) Γενική Υδρογεωλογία