



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Σ. ΚΟΛΙΑΣ

ΚΟΡΕΛΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΛΕΪΜΟΝΗ ΖΗΝΟΒΙΑ

ΑΘΗΝΑ 1996

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες στον υπεύθυνο για την εκπόνηση της διπλωματικής μας εργασίας καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών κ. Σ. Κόλια για την τόσο σημαντική παρουσία και καθοδήγησή του.

Επίσης το Εργαστήριο της Ένωσης Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος για την παροχή των εργαστηριακών διευκολύνσεων για την διεξαγωγή της έρευνας.

Ευχαριστούμε ακόμα τις διπλωματούχους πολιτικούς μηχανικούς Μ. Κατσάκου, Ε. Κιρκλή για την βοήθειά τους κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος ευχαριστούμε τους εργαζόμενους στο Εργαστήριο της Ένωσης Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος για την βοήθειά τους ειδικά στην θραύση των δοκιμίων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	1
--------------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
------------------	---

1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	1
---------------------------------	---

1.2. ΤΥΠΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ	1
----------------------------	---

1.3. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	2
-------------------------	---

1.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ	2
---	---

1.5. ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	3
--	---

1.5.1. Ποζολάνες	3
------------------------	---

1.5.2. Ιπτάμενη τέφρα.....	3
----------------------------	---

1.5.3. Φύλλερ	3
---------------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	4
------------------	---

ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	4
-------------------------------------	---

2.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	4
---	---

2.1.1. Εξίδρωση	4
-----------------------	---

2.1.2. Απόμειξη	4
-----------------------	---

2.1.3. Εργάσιμο.....	5
----------------------	---

2.2. ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	6
--	---

2.2.1. Η αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις	6
--	---

2.2.2. Συνεργασία σκυροδέματος και χάλυβα	9
---	---

2.2.3. Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο	10
---	----

2.2.4. Η εξάρτηση της αντοχής από την ποσότητα του νερού και τις αναλογίες συνθέσεως	11
--	----

2.2.5. Η μέτρηση της αντοχής.....	11
-----------------------------------	----

2.2.6. Εκτίμηση της αντοχής σκυροδέματος έργου.....	12
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	13
------------------	----

3.1. ΟΡΙΣΜΟΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	13
---------------------------------	----

3.2. ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ.....	15
---	----

3.3. ΧΡΟΝΙΑ ΣΥΣΤΟΛΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΑ ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	18
3.4. ΕΡΠΥΣΜΟΣ	20
3.5. ΤΟ ΠΟΡΩΔΕΣ.....	22
3.6. ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΥΔΑΤΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	28
4.1. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ	28
4.2. ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	29
4.2.1. Σύσταση τσιμέντου.....	29
4.2.2. Λόγος Ν/Τ	29
4.2.3. Πορώδες.....	30
4.2.4. Συμπύκνωση	31
4.2.5. Συντήρηση	31
4.2.6. Ύπαρξη ρωγμών.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	33
5.1. Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	33
5.2. ΓΕΝΙΚΗ Ή ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	35
5.3. ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	36
• Είδος τσιμέντου	38
5.4. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ	40
5.5. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΤΑ ΒΕΛΟΝΙΣΜΟ.....	42
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	44
ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	44
1.1. ΣΚΟΠΟΣ	44
1.2. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	48
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	48

2.1. ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	48
2.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ.....	49
2.3. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	51
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.....	51
3.1. Υδαταπορρόφηση.....	51
3.2. Υδρεμποτισμός.....	51
3.3. Υδρεμποτισμός κρεμασμένων δοκιμίων.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	53
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	53
4.1. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	53
4.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	55
4.2.1. Σχολιασμός διαγραμμάτων υδατ/τας χρόνου.....	55
4.2.2. Σχολιασμός διαγραμμάτων, υδατ/τας - πορώδους (Σχ. 4.25. 4.32.).....	57
4.2.3. Σχολιασμός διαγραμμάτων Αντοχής - Πορώδους (Σχ. 4.34. 4.35.).....	58
4.2.4. Σχολιασμός διαγραμμάτων κλίσης αντοχής (Σχ. 4.36. 4.38.).....	59
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετηθούν τα χαρακτηριστικά της υδαταπορρόφησης και του υδρεμποτισμού διαφόρων συνθέσεων. Τα χαρακτηριστικά αυτά θεωρούνται απαραίτητες πληροφορίες για την εκτίμηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος δεδομένου ότι αυτή επηρεάζεται άμεσα από την διαπερατότητά του.

Ταυτόχρονα από τα πειράματα αυτά μπορούν να βγουν και ορισμένα συμπεράσματα που θα αφορούν την μικροδομή του σκυροδέματος και το πορώδες.

Κατά την εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια να διερευνηθούν οι συσχετίσεις που μπορούν να υπάρχουν μεταξύ πορώδους και χαρακτηριστικών υδαταπορρόφησης - υδρεμποτισμού, αντοχής και χαρακτηριστικών υδαταπορρόφησης - υδρεμποτισμού.

Παρασκευάζονται γι' αυτό το σκοπό κυβικά δοκίμια διαστάσεων $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$.

Επιλέχθηκαν τρεις λόγοι $N/T = 0.50, 0.60, 0.70$.

Για κάθε λόγο έχουμε 2 ηλικίες 21, 60 ημερών παρασκευάζονται 16 δοκίμια για κάθε ηλικία.

Τα 8 από τα 16 δοκίμια κάθε αναμίγματος συντηρούνται σε υγρό περιβάλλον και τα άλλα 8 σε ξηρό περιβάλλον.

Αφού γίνουν τα πειράματα της υδαταπορρόφησης και του υδρεμποτισμού επακολουθεί θραύση των δοκιμών για την μέτρηση της αντοχής και του πορώδους.

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από δυο μέρη:

Το πρώτο μέρος το οποίο ονομάζουμε γενικό αναφέρεται στη τεχνολογία και τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

Στο δεύτερο μέρος το οποίο ονομάζουμε ειδικό γίνεται περιγραφή των όσων έγιναν στο εργαστήριο^{από}, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή, έως και η θραύση των δοκιμών.

Κατόπι γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων των πειραματικών διαδικασιών απ' όπου εξάγονται τα συμπεράσματα.

- Οι δοκιμές υδαταπορρόφησης και υδρεμποτισμού εξαρτώνται από την υγρασιακή κατάσταση των δοκιμών κατά την στιγμή της δοκιμής.

Υ/Τ Ν/Τ

Σαφέστερα αποτελέσματα έδωσαν οι δοκιμές των δοκιμών που είχαν αφεθεί να ξηρανθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο περιβάλλον του εργαστηρίου. Ενώ αντίθετα τα δοκίμια τα οποία ξηράνθηκαν από 7 - 15 ημέρες έδωσαν ασαφή αποτελέσματα γεγονός που αποδίδεται στην επιρροή της υπάρχουσας υγρασίας μέσα στο δοκίμιο.

- Τόσο η υδαταπορρόφηση όσο και ο υδρεμποτισμός αυξάνουν όσο μεγαλώνει ο λόγος Ν/Τ.
- Η αντοχή αυξάνει όσο μειώνεται το πορώδες.
- Τα διαγράμματα υδατ/τας δείχνονται σχεδιασμένα σε κλίμακα $\sqrt{t}$. Δεν είναι ευθείες γραμμές αλλά χωρίζονται σε δύο κλάδους με ελαφρά καμπυλότητα ο καθένας.

Ο αρχικός κλάδος έχει μεγάλη κλίση και ο τελικός κλάδος πολύ μικρότερη κλίση. Η διαφορά αυτή στις δύο κλίσεις θα μπορούσε να αποδοθεί σε κάποια ουσιώδη μεταβολή της κατανομής του μεγέθους των πόρων.

Έγινε προσπάθεια συσχετισμού της αρχικής κλίσης με την αντοχή και τον λόγο Ν/Τ η οποία απέδωσε σαφή αποτελέσματα για την περίπτωση των δοκιμών που είχαν συντηρηθεί στο περιβάλλον του εργαστηρίου. Αλλά δεν απέδωσε για τα δοκίμια της υγρής συντήρησης τα οποία παρέμειναν στο περιβάλλον μόνο 7-15 ημέρες.

Θα χρειασθούν περαιτέρω πειράματα για την πλήρη διερεύνηση του συσχετισμού των πόρων και των χαρακτηριστικών της καμπύλης υδαταπορροφητικότητας - χρόνου.

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το σκυρόδεμα είναι μίγμα τσιμέντου, νερού, αδρανών και ενδεχομένως μικρών ποσοτήτων χημικών πρόσθετων υλικών. Επομένως το σκυρόδεμα είναι ένα σύνθετο υλικό, του οποίου η σύσταση και οι ιδιότητες μπορεί να ποικίλουν πάρα πολύ. Η σύσταση του τσιμεντοπολτού είναι ο πιο ευαίσθητος παράγοντας που επηρεάζει τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Μεγάλη σημασία έχουν επίσης οι μηχανικές ιδιότητες των αδρανών και η συνάφεια μεταξύ τσιμεντοπολτού και αδρανών.

1.2. ΤΥΠΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό τσιμέντων [1] τα τσιμέντα διακρίνονται ως προς τη σύστασή τους στους ακόλουθους τύπους:

ΤΥΠΟΣ I: Τσιμέντο Πόρτλαντ.

Χαρακτηρίζονται ως (αμιγή) τσιμέντα Πόρτλαντ τα τσιμέντα που προέρχονται από την άλεση του Κλίνκερ με τις ελάχιστες αναγκαίες προσθήκες. Οι προσθήκες αυτές είναι:

- γύψος, όση απαιτείται για τη ρύθμιση της πήξεως και συνήθως 2-3%
- φίλλερ (Filler) ως 3% κατά βάρος.

ΤΥΠΟΣ II: Τσιμέντα Πόρτλαντ με ποζολάνες.

Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που περιέχουν εκτός από τα προηγούμενα υλικά και ποζολάνη σε ποσοστό έως 20% κατά βάρος. Ειδικά το τσιμέντο με ποσοστό 10% ποζολάνης ονομάζεται "Τσιμέντο Πόρτλαντ Ελληνικού Τύπου" (Τύπος IIa).

ΤΥΠΟΣ III: Ποζολανικά τσιμέντα Πόρτλαντ.

Τα ποζολανικά τσιμέντα περιέχουν ποζολάνη σε ποσοστό 20-40% κατά βάρος. Παρουσιάζουν μικρότερη θερμότητα ενυδατώσεως και αυξημένη ανθεκτικότητα σε διαβρωτικά μέσα.

Τα τσιμέντα του τύπου αυτού πρέπει να ικανοποιούν τη δοκιμή ποζολανικότητας.

ΤΥΠΟΣ IV: Τσιμέντα Πόρτλαντ ανθεκτικά στα Θειικά άλατα.

Τα τσιμέντα αυτού του τύπου δεν έχουν προσθήκες (ποζολάνες κ.α.) αλλά το αργλικό τριασβέστιο (C_3A) περιορίζεται σε ένα ποσοστό κάτω από κάποιο όριο, ενώ στον τύπο I το C_3A μπορεί να φθάσει και 10-12%.

1.3. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Το σκυρόδεμα αποτελείται από αδρανή υλικά και κονία που χρησιμεύει ως συνδετική ύλη αυτών.

Τα αδρανή υλικά οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι παραμένουν χημικώς αδρανή, σε αντίθεση με το τσιμέντο και το νερό, στη χημική δράση των οποίων, οφείλεται η σκλήρυνση του σκυροδέματος. Τα αδρανή υλικά συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους και συμβάλλουν μηχανικά μόνο στην αντοχή του τελικού προϊόντος.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι: η αντοχή τους, η καθαρότητα, η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμεικτων ουσιών, η πρόσφυση με την κονία, η χημική συμπεριφορά τους με τα άλλα συστατικά του σκυροδέματος ή με ουσίες που μπορεί να διεισδύσουν μέσα στο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της ζωής του, το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων κ.α.

1.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ

Από άποψη αντοχής τα τσιμέντα κατατάσσονται [1] στις κατηγορίες: 35, 45, και 55.

Οι αριθμοί παριστάνουν την αντοχή των τσιμέντων σε MPa όπως προσδιορίζεται συμβατικά σύμφωνα με τον Κανονισμό.

1.5. ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

1.5.1. Ποζολάνες

Ποζολάνες ονομάζουμε πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, που έχουν την ιδιότητα να ενώνονται με την υδράσβεστο Ca(OH)_2 και να σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις, που με το χρόνο σκληρύνονται και αποκτούν μικρές ή μεγαλύτερες αντοχές. Η δράση αυτή οφείλεται κυρίως στο άμορφο πυριτικό υλικό των ποζολανών.

1.5.2. Ιπτάμενη τέφρα

Ιπτάμενη τέφρα ονομάζουμε τα σε λεπτότατο καταμερισμό κατάλοιπα που προκύπτουν από την καύση γαιανθράκων ή λιγνητών και που συλλέγονται κατά την έξοδο των αερίων καύσεως από τις καπνοδόχους των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα.

Η δραστηριότητα των τερφών οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε SiO_2 , Al_2O_3 και CaO . Οι δύο πρώτες ενώσεις προσδίδουν στην τέφρα ποζολανικές ιδιότητες ενώ το οξείδιο του Ca υδραυλικές ιδιότητες.

1.5.3. Φίλλερ

Φίλλερ ονομάζουμε υλικά, συνήθως αδρανή, σε λεπτότατο καταμερισμό. Τα φίλλερ σε μικρές ποσότητες επιδρούν ευνοϊκά στο εργάσιμο και την υδατοπερατότητα. Η δράση τους είναι κυρίως μηχανική, δηλαδή δρουν σαν λιπαντικό για το εργάσιμο και με τη διόγκωση των κόκκων παρουσία υγρασίας αυξάνουν την υδατοστεγανότητα.

Σπανίως παρουσιάζουν και ποζολανικές ή υδραυλικές ιδιότητες. Αυτό εξαρτάται από το αρχικό υλικό από το οποίο προέρχεται το φίλλερ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

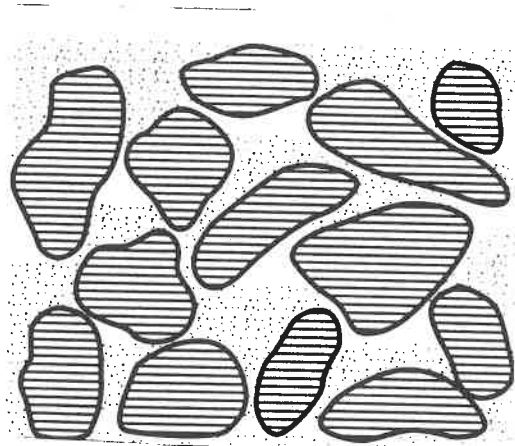
ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1.1. Εξίδρωση

Εξίδρωση ονομάζουμε το φαινόμενο του διαχωρισμού του νερού από τα στερεά συστατικά του σκυροδέματος, που παρουσιάζεται στην περίοδο πριν από την πήξη.

Τα στερεά συστατικά καθιζάνουν λόγω βαρύτητας, ενώ το νερό, λόγω των τριχοειδών δυνάμεων, έχει την τάση να κινηθεί προς τα πάνω. Έτσι εμφανίζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος λεπτό στρώμα νερού που μοιάζει σε εξίδρωση. Το νερό αυτό τελικά εξατμίζεται. Η εξίδρωση επομένως έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του τελικού όγκου του μείγματος και την απομάκρυνση μέρους του νερού.



Σχηματική παράσταση της εξιδρώσεως.

2.1.2. Απόμειξη

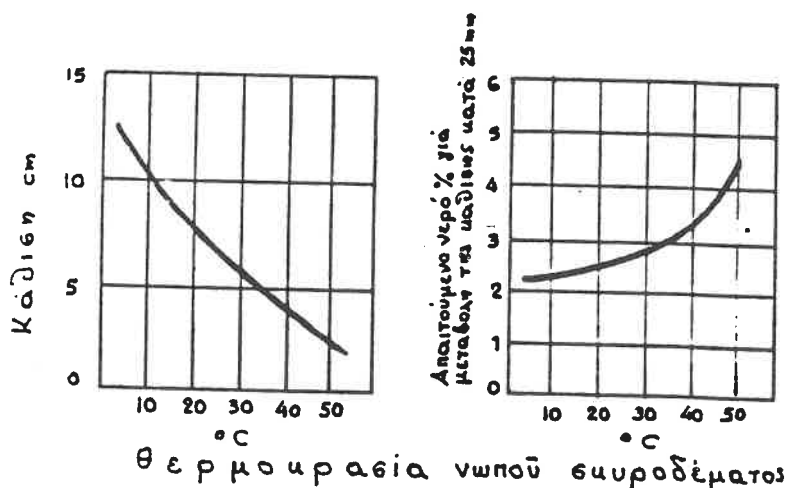
"Διαχωρισμός" ή "απόμειξη" είναι το φαινόμενο κατά το οποίο τα μεγαλύτερα και βαρύτερα αδρανή διαχωρίζονται από τη λοιπή μάζα του σκυροδέματος. Το φαινόμενο αυτό στην πράξη παρουσιάζεται κατά τη μεταφορά διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος και εξαρτάται

από την σύστασή του και από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τις εργασίες αυτές. Θεωρητικά διαχωρισμός ή απόμειξη μπορεί να παρουσιαστεί και στο ήδη διαστρωθέν σκυρόδεμα αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό και με πολύ μικρότερες συνέπειες για τις ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος.

Τα στερεά συστατικά, όχι μόνο σαν σύνολο διαχωρίζονται από το νερό, αλλά και μεταξύ τους είναι δυνατόν να διαχωρισθούν κατά τη κίνηση προς τα κάτω, ανάλογα με το βάρος τους. Τα βαρύτερα κινούνται προς τα χαμηλότερα στρώματα και έτσι τελικά τακτοποιούνται σε στρώσεις ανάλογα με το βάρος τους.

2.1.3. Εργάσιμο

Με τον όρο "εργάσιμο" ή εργασιμότητα χαρακτηρίζουμε γενικά την ευκολία με την οποία μπορούμε να μεταφέρουμε, διαστρώσουμε και συμπυκνώσουμε το σκυρόδεμα. Επομένως ή εργασιμότητα είναι μία έκφραση της ενέργειας που πρέπει να προσδώσουμε στο σκυρόδεμα για να υπερνικηθούν οι εσωτερικές τριβές μεταξύ των κόκκων του υλικού και οι τριβές μεταξύ σκυροδέματος και επιφάνειας των καλουπιών.



Επιρροή της θερμοκρασίας του νωπού σκυρ/τος στο έργασιμο

2.2. ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.2.1. Η αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις

Γενικά για την αντοχή

Μια από τις βασικές ιδιότητες του υλικού είναι η αντοχή του. Αντοχή ονομάζουμε γενικά τη μέγιστη τιμή της δυνάμεως, που μπορεί να παραληφθεί και μεταβιβασθεί από ένα στοιχειώδες τμήμα του υλικού στο γειτονικό, χωρίς καταστροφή ή επικίνδυνη παραμόρφωσή του.

Στην Τεχνολογία όμως ως αντοχή εννοούμε γενικότερα και την ικανότητα του υλικού να αναλαμβάνει και μεταβιβάζει δυνάμεις με οριακή τιμή την παραπάνω έννοια.

Αλλά η αντοχή εξαρτάται τόσο από τη φύση και την ποιότητα του υλικού, όσο και από τη μορφή της εντατικής καταστάσεως. Διαφορετική εμφανίζεται η αντοχή σε κάποια συγκεκριμένη καταπόνηση από ένα στοιχείο σ' ένα άλλο και διαφορετική για το ίδιο στοιχείο, αν η καταπόνηση είναι αποτέλεσμα διαφορετικής εντατικής καταστάσεως.

Το σωστό στην προκείμενη περίπτωση είναι ότι η "αντοχή" δεν είναι σταθερή ιδιότητα του υλικού, αλλά αντοχή συγκεκριμένου υλικού σώματος σε συγκεκριμένη εξωτερική καταπόνηση.

Έδρα της αντοχής είναι οι δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των κρυστάλλων του υλικού και σε τελευταία ανάλυση οι δυνάμεις έλξεως και απώσεως μεταξύ των ατόμων. [1]

Η αντοχή του σκυροδέματος και ο μηχανισμός της θραύσεως

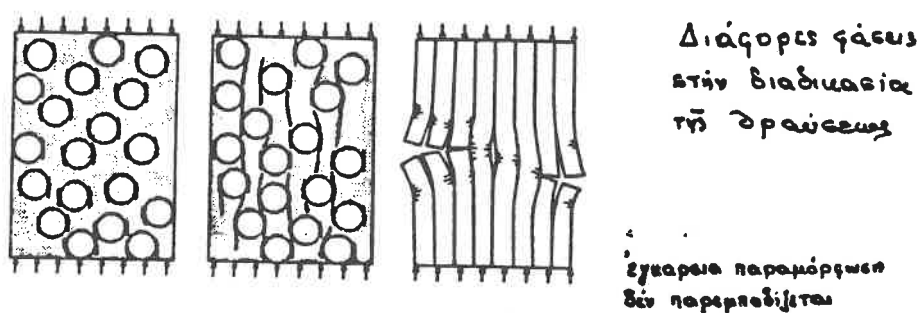
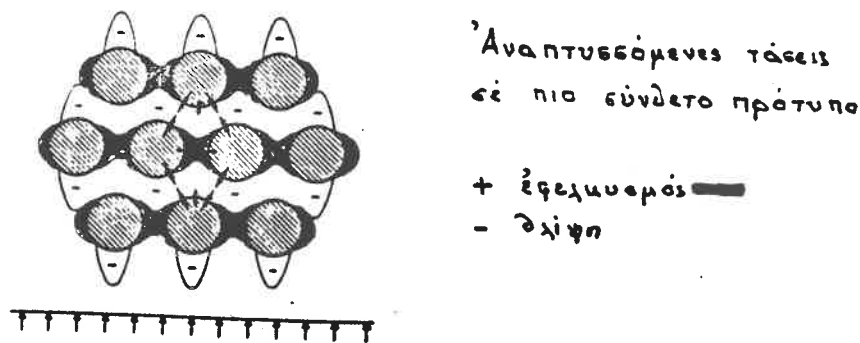
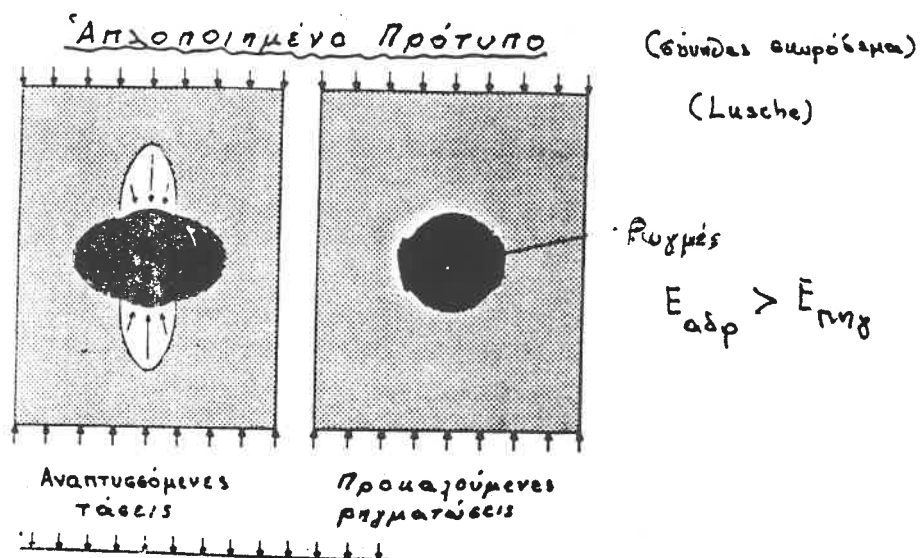
Έως τώρα, εξετάστηκε η αντοχή μόνο σαν μηχανικό φαινόμενο ανεξάρτητα από τη φύση του υλικού. Εκτός όμως απ' αυτό πρακτικοί, τεχνολογικοί παράγοντες επιδρούν, τόσο κατά την παρασκευή του σκυροδέματος, όσο και στη μέτρηση της αντοχής.

Οι παράγοντες αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

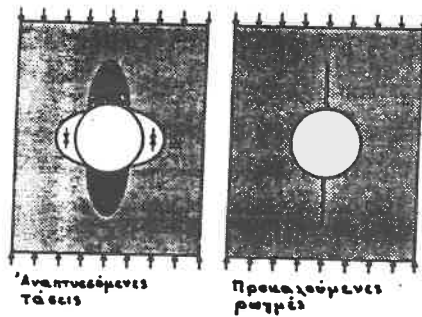
- οι αναλογίες συνθέσεως
- η ποιότητα των υλικών
- τα παρασιτικά υλικά
- η συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος
- η ηλικία του σκυροδέματος
- ο τρόπος συντηρήσεως

- η μορφή του δοκιμίου
- η μορφή της καταπόνησεως.

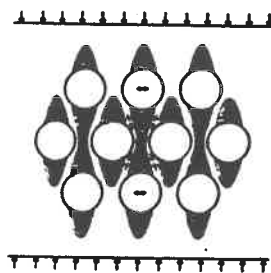
Από το μηχανισμό θραύσης προκύπτει ότι στην από κατασκευής ανομοιογένεια του υλικού (σκύρα, κονίαμα) πρέπει να συμπεριληφθούν και οι μικρορωγμές που υπάρχουν απαρχής στο υλικό. Οι ρωγμές αυτές είναι διασκορπισμένες προς κάθε κατεύθυνση μέσα στη μάζα του υλικού, σε τρόπο ώστε να μη δημιουργείται μακροσκοπικώς ετερογενής συμπεριφορά. Όταν όμως επιβληθεί εξωτερικό, π.χ. θλιπτικό φορτίο, οι τάσεις μέσα στη μάζα δεν κατανέμονται ομοιόμορφα, αλλά δημιουργούνται σημεία τοπικής συγκεντρώσεως τάσεων, καθώς και περιοχές εφελκυσμού. Τα σημεία αυτά αποτελούν τα σημεία από τα οποία αρχίζει η καταστροφή του υλικού.



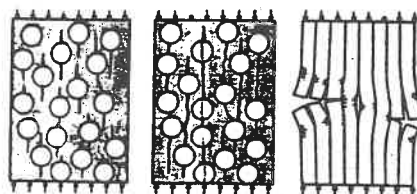
Απλοποιημένο Πρότυπο . Συμβολισμός με ελαφρά αδρανή.



$$E_{πηγ} > E_{αδραν}$$



Αναπτυσσόμενες τάσεις επί πλά ούδατο πρότυπο



Διάφορες φάσεις στην διαδικασία θραύσεως.

Υπολογίζεται θεωρητικά ότι η αντοχή της συμπαγούς τσιμεντοκονίας χωρίς την ύπαρξη οποιασδήποτε ρωγμής θα ήταν της τάξεως $10,5 \text{ GPa} \cong 105.000 \text{ kg/cm}^2$.

Η ρωγμή όταν συναντήσει το αδρανές έχει τη δυνατότητα να συνεχισθεί μέσα στο αδρανές ή στην παράπλευρη διεπιφάνεια ή να σταματήσει. Το τι θα συμβεί εξαρτάται από τις σχέσεις των μέτρων ελαστικότητας των ειδικών επιφανειών, τη συνάφειά τους και της επικρατούσας τάσεως.

Η αντοχή στις διάφορες μορφές καταπόνησεων.

i) Στατική καταπόνηση σε θλίψη και εφελκυσμό.

Η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται στο $1/10$ ως $1/15$ της θλιπτικής αντοχής. Δεν έχει βρεθεί άμεση σταθερή αντιστοιχία ανάμεσα στη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή.

Από τα πειραματικά στοιχεία που έχουμε προκύπτει ότι με την αύξηση της θλιπτικής αντοχής αυξάνεται και η εφελκυστική αντοχή, ο λόγος όμως $f_{εφ} / f_{ολ}$ μειώνεται, δηλαδή η αύξηση της εφελκυστικής αντοχής δεν είναι ανάλογη με την αύξηση της θλιπτικής.

ii) Πολυαξονική καταπόνηση.

Σε περίπτωση σύγχρονης παρουσίας εγκάρσιων θλιπτικών τάσεων, η θλιπτική αντοχή εμφανίζεται αυξημένη.

Η παρουσία εγκάρσιας εφελκυστικής τάσεως μειώνει γρήγορα την αντοχή σε θλίψη κατά την άλλη διεύθυνση.

Αντίθετα, σε περίπτωση εφελκυστικών τάσεων, η τελική αντοχή σε εφελκυσμό δεν επηρεάζει αισθητά.

Η αύξηση της αντοχής στην περίπτωση ομοιόμορφης θλιπτικής καταπόνησεως είναι πιθανόν ελάχιστα μεγαλύτερη στα χαμηλής αντοχής σκυροδέματα, χωρίς όμως αυτό να είναι απόλυτα βεβαιωμένο.

iii) Καταπόνηση με μεγάλη διάρκεια.

Στην περίπτωση παραμονής της καταπόνησεως σε μεγάλο χρονικό διάστημα η θλιπτική αντοχή μειώνεται βαθμιαία.

iv) Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση

Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση με το ίδιο φορτίο ή μεταβολή της τάσεως μεταξύ δύο ορίων σ_{min} και σ_{max} μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη θραύση του υλικού, έστω και αν η μέγιστη τάση σ_{max} δεν υπερβαίνει τη στατική αντοχή του υλικού. Το φαινόμενο αυτό, όπως είναι γνωστό, ονομάζεται κόπωση του υλικού.

Για να συμβεί όμως η αστοχία, πρέπει η τάση σ_{max} να υπερβαίνει κάποιο όριο, που ονομάζεται όριο κοπώσεως. Το σκυρόδεμα δεν φαίνεται να έχει ένα σαφές όριο κόπωσης, βρίσκεται στα 0,65 περίπου της στατικής αντοχής σε θλίψη, τότε οι επιτρεπόμενες επαναλήψεις φορτίσεων είναι περίπου 10^6 .

Όταν η μέγιστη τάση δεν υπερβεί το όριο αυτό, έχει παρατηρηθεί, ύστερα από ένα αριθμό επαναλήψεων βελτίωση του σκυροδέματος, αύξηση δηλαδή της στατικής αντοχής (και της αντοχής σε κόπωση) ως 10% περίπου. [1]

2.2.2. Συνεργασία σκυροδέματος και χάλυβα

Η συνεργασία αυτή είναι αποτέλεσμα συνάφειας, τριβής μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος καθώς και αντοχής του σκυροδέματος σε διάτμηση.

Στην περίπτωση των λείων ράβδων η συνάφεια και η τριβή παίζουν μεγαλύτερο ρόλο από τη διάτμηση του σκυροδέματος. Αντίθετα, στην περίπτωση ράβδων με εγκάρσιες νευρώσεις η αντίσταση στην εξόλκευση της ράβδου στηρίζεται κυρίως στη διατμητική αντοχή του σκυροδέματος.

Η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται πάρα πολύ από την κατεύθυνση της ράβδου σε σχέση με την κατεύθυνση σκυροδετήσεως καθώς και από τη θέση της ράβδου μέσα στη διατομή.

Η αντοχή είναι πολύ μεγαλύτερη, όταν η κατεύθυνση της ράβδου συμπίπτει με την κατεύθυνση σκυροδετήσεως.

Η αντοχή σε συνάφεια είναι περίπου ανάλογη με την αντοχή σε θλίψη.

Τέλος η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται σημαντικά από την κατάσταση της επιφάνειας της ράβδου, τη μορφή των νευρώσεων για τις ράβδους με νευρώσεις, και τη διάμετρο των ράβδων. Τέλος, αύξηση της θερμοκρασίας των υλικών μειώνει την αντοχή σε συνάφεια. [1]

2.2.3. Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο

Η ανάπτυξη της αντοχής είναι διαφορετική για καθένα από τα τέσσερα βασικά συστατικά του τσιμέντου και γι' αυτό και η χρονική εξέλιξη της αντοχής, ιδιαίτερα στις μικρές ηλικίες, εξαρτάται από τη σύνθεση του τσιμέντου. Άλλοι παράγοντες είναι ο βαθμός αλέσεως του τσιμέντου, δηλαδή το μέγεθος των κόκκων του καθώς και οι θερμοκρασιακές και υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος.

Για όλους αυτούς τους λόγους, η ακριβής ποσοτική εκτίμηση της εξελίξεως της αντοχής μόνο με δοκιμές με τον ίδιο τύπο τσιμέντου, τα ίδια υλικά και τις ίδιες συνθήκες συντηρήσεως μπορεί να γίνει.

Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό να γίνει, οι Κανονισμοί προβλέπουν ορισμένους συντελεστές που δίνουν ένδειξη του μεγέθους της αντοχής, για συνηθισμένες μέσες συνθήκες συντηρήσεως.

Η ανάπτυξη της αντοχής εξαρτάται πάρα πολύ από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Το γινόμενο της ηλικίας α (σε ημέρες) επί τη θερμοκρασία $(T+10)^\circ$, όπου T η θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε βαθμούς C:

$$R = \alpha (T+10)$$

αποδίδεται με τον όρο "ωρίμανση" του σκυροδέματος. Ως αφετηρία των θερμοκρασιών T δεχόμαστε -10° , γιατί στη θερμοκρασία αυτή θεωρείται ότι αναστέλλονται τελείως οι χημικές διαδικασίες μεταξύ τσιμέντου και νερού. [1]

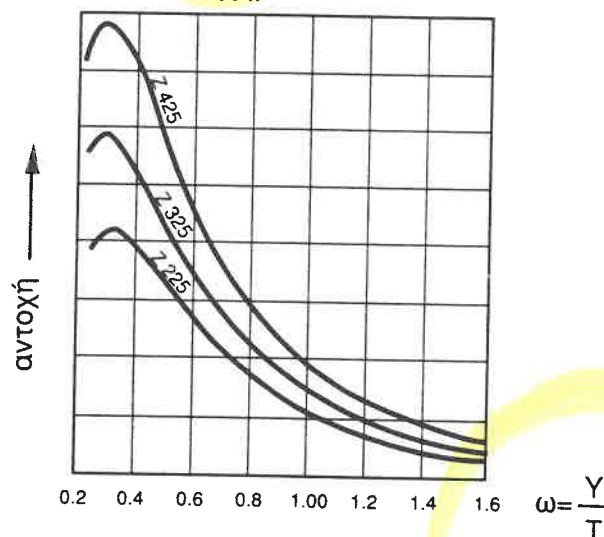
2.2.4. Η εξάρτηση της αντοχής από την ποσότητα του νερού και τις αναλογίες συνθέσεως.

Η περίσσεια του νερού αναμίξεως πέρα από εκείνο που δεσμεύεται (χημικά) από το τσιμέντο, οδηγεί, στη δημιουργία του πορώδους του σκυροδέματος και επομένως στην ελάττωση και της πυκνότητας και της αντοχής.

Η άμεση και θεαματική εξάρτηση της αντοχής από το λόγο νερού προς τσιμέντο:

$$\omega = N/T$$

διατυπώθηκε από τον Abrams. Η σχέση αυτή έχει τη μορφή που παριστάνεται στο παρακάτω σχήμα:



Ενδεικτική μορφή της εξαρτήσεως της αντοχής από το λόγο $\omega = N/T$, για διάφορους τύπους τσιμέντου.

Η μορφή και η θέση της καμπύλης δεν είναι ανεξάρτητη από τις αναλογίες και των άλλων υλικών, καθώς και από το βαθμό συμπυκνώσεως.

2.2.5. Η μέτρηση της αντοχής

Επειδή η αντοχή εξαρτάται από το σχήμα και το μέγεθος του δοκιμίου επάνω στο οποίο μετρείται και επειδή επίσης επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων, είναι ανάγκη να καθορίσουμε κάποιον συμβατικό τρόπο μετρήσεώς της, ώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους.

Για τους λόγους αυτούς καθορίζεται στους Κανονισμούς το σχήμα και οι διαστάσεις του δοκιμίου και περιγράφεται με κάθε λεπτομέρεια ο τρόπος παρασκευής, συντηρήσεως και μετρήσεως της αντοχής.

Τα φαινόμενα που εξαρτώνται από το μέγεθος και τη μορφή του δοκιμίου και τα οποία επιδρούν, με τη σειρά τους, στην αντοχή είναι συνοπτικά τα ακόλουθα:

- Η εξάτμιση του νερού.
- Η επιφανειακή μικρορηγμάτωση.
- Η τριβή των πλακών θλίψεως.
- Στατιστικοί λόγοι.
- Η δομή του δοκιμίου.

2.2.6. Εκτίμηση της αντοχής σκυροδέματος έργου

Με τη θραύση ενός δοκιμίου κατά τον τρόπο που περιγράφει ο Κανονισμός προσδιορίζουμε την αντοχή του συγκεκριμένου δοκιμίου. Πλήθος όμως δοκιμών από την ίδια ποσότητα σκυροδέματος δε δίνει πάντοτε την ίδια ακριβώς τιμή της αντοχής. Αιτία της "διασποράς" των αντοχών, είναι ο μεγάλος αριθμός δευτερεύοντων παραγόντων που ονομάζουμε "τυχαία περιστατικά".

Εφ' όσον δεν υπάρχει συστηματική αιτία που επηρεάζει την αντοχή οι τιμές των αντοχών ακολουθούν κανονική κατανομή. Της κατανομής αυτής μπορούμε να προσδιορίσουμε τη "μέση τιμή $f = \Sigma \beta_i / V$ ".

Η μέση τιμή αποτελεί, κατά κάποιον τρόπο, την πιθανότερη τιμή της αντοχής της ποσότητας σκυροδέματος που εξετάζουμε.

Συνήθως καθορίζεται η τιμή f 5% δηλαδή η τιμή της αντοχής για την οποία η πιθανότητα να εμφανισθούν τιμές μικρότερες από αυτήν είναι 5%. Την τιμή αυτή την ονομάζουμε χαρακτηριστική τιμή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. ΟΡΙΣΜΟΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος δίνει τους ακόλουθους ορισμούς [1]:

- 1) "Συμβατική αντοχή σε θλίψη δοκιμίου, f_{28} " είναι η αντοχή ενός "συμβατικού" δοκιμίου δηλαδή ενός δοκιμίου που έχει τις διαστάσεις και τη μορφή που προβλέπονται στον Κανονισμό και που παρασκευάζεται και συντηρείται σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ303 και ελέγχεται σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ304 σε ηλικία 28 ημερών.
- 2) "Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος f_{ck} " είναι η αντοχή σε θλίψη κάτω από την οποία αναμένεται να βρεθεί το 5% των συμβατικών αντοχών του συνόλου των δοκιμών που θα μπορούσαν να παρασκευαστούν από μία σημαντική υψηλή ποσότητα αν ολόκληρη αυτή η ποσότητα μετατρέπονταν σε δοκίμια.
- 3) "Μέση αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη f_m " είναι ο μέσος όρος αντοχής όλων των συμβατικών δοκιμών που θα μπορούσαν να παρασκευαστούν από μια σημαντικά μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος αν ολόκληρη αυτή η ποσότητα μετραπρεπόταν σε δοκίμια.
- 4) "Απαιτούμενη αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη, f_a " είναι η τιμή της μέσης αντοχής f_m για την οποία το σκυρόδεμα του έργου έχει μια ορισμένη πιθανότητα αποδοχής, όταν εξετάζεται με τα Κριτήρια συμμορφώσεως του Κανονισμού.
- 5) "Ανάμιγμα", είναι η ποσότητα σκυροδέματος που προκύπτει από μία φόρτωση, ανάμιξη και αποφόρτωση του αναμικτήρα. Η ποσότητα αυτή πρέπει να είναι ίση ή μικρότερη από εκείνη που επιτρέπουν οι Προδιαγραφές λειτουργίας του αναμικτήρα.
- 6) "Παρτίδα", είναι η ποσότητα του σκυροδέματος που αξιολογείται από τα δοκίμια μιας δειγματοληψίας.
- 7) "Εργοταξιακό σκυρόδεμα" λέγεται το σκυρόδεμα στο οποίο ο κύριος του έργου ή η υπηρεσία ή ο επιβλέπων έχει πλήρη παρακολούθηση και έλεγχο της παραγωγής σε όλες τις φάσεις της.
- 8) "Εργοστασιακό σκυρόδεμα" λέγεται το σκυρόδεμα στο οποίο ο κύριος του έργου ή η υπηρεσία ή ο επιβλέπων ή ο κατασκευαστής δεν έχει δικές του πληροφορίες για τα υλικά, τις αναλογίες συνθέσεως και τη

διαδικασία παραγωγής, ελέγχει δε μόνο το έτοιμο προϊόν στη θέση παραδόσεώς του. Το εργοστασιακό σκυρόδεμα είναι κατά κανόνα έτοιμο.

9) "Έτοιμο σκυρόδεμα" λέγεται το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται σε απόσταση από το έργο και μεταφέρεται σ' αυτό:

- α) Μετά από πλήρη ανάμιξη, με φορητά αυτοκίνητα ή αυτοκίνητα - αναδευτήρες.
- β) Μετά από μερική ανάμιξη ή χωρίς να έχει γίνει εισαγωγή νερού, με αυτοκίνητα - αναμικτήρες.

Στη δεύτερη περίπτωση η εισαγωγή νερού και η ανάμιξη γίνεται στη διαδρομή μέχρι το έργο ή στο έργο πριν από την παράδοση. Το έτοιμο σκυρόδεμα μπορεί να είναι εργοστασιακό ή εργοταξιακό.

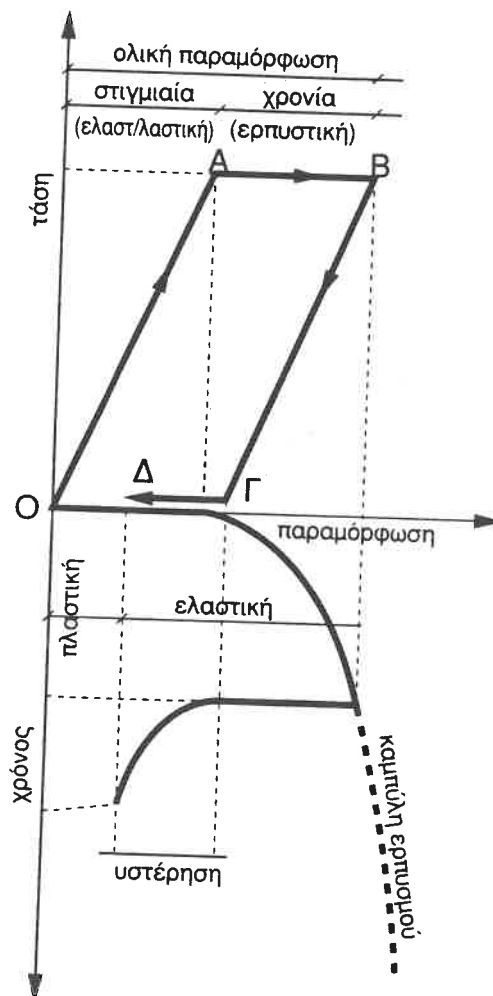
3.2. ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Ο νόμος του Hook, μπορεί να θεωρηθεί ότι ισχύει για μικρές μόνο μεταβολές του φορτίου.

Εξάλλου για μικρές μόνο τιμές του φορτίου μπορεί το σκυρόδεμα να θεωρηθεί πρακτικά σαν ελαστικό υλικό.

[Η καμπυλότητα του διαγράμματος οφείλεται στην προοδευτική επέκταση των μικρορωγμών μέσα στο υλικό, εκτός από την κυρίως παραμόρφωση του υλικού].

Αν το φορτίο παραμείνει αρκετό χρονικό διάστημα, η παραμόρφωση συνεχίζεται βαθμιαία (φαινόμενο ερπυσμού). Μετά την αφαίρεση του φορτίου τμήμα της παραμορφώσεως αναιρείται (ελαστική παραμόρφωση) ενώ το υπόλοιπο τμήμα παραμένει (πλαστική παραμόρφωση). Με την πάροδο του χρόνου, μετά την αφαίρεση του φορτίου, η παραμόρφωση ελαττώνεται συνεχώς (υστέρηση). Η μείωση των τάσεων που συνοδεύει τον ερπυσμό ονομάζεται χαλάρωση.



Ενδεικτικές καμπύλες μεταβολής της παραμορφώσεως με την τάση και τον χρόνο.

Μέτρο ελαστικότητα E ονομάζουμε το λόγο

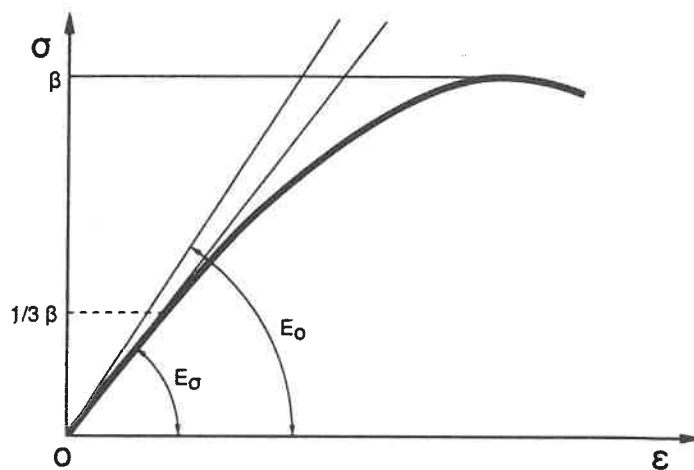
$$E = \sigma/\epsilon$$

Συνήθως διακρίνουμε:

Το αρχικό μέτρο ελαστικότητας E_0

Το στιγμιαίο μέτρο ελαστικότητας $E = \frac{d\sigma}{d\epsilon}$

Το μέσο μέτρο ελαστικότητας $E = \sigma/\epsilon$.



Ενδεικτική καμπύλη τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος.

Συμβατικό μέτρο ελαστικότητας είναι η κλίση της χορδής που ενώνει την αρχή των συντεταγμένων με το σημείο της καμπύλης που αντιστοιχεί σε τάση $1/3 f_{op}$.

Εκτος από τα παραπάνω υπάρχει ακόμη και το μέτρο ελαστικότητας για την αποφόρτιση από τάση σ , το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας καθώς και το μέτρο ελαστικότητας για τα άλλα είδη καταπονήσεων, όπως ο εφελκυσμός κ.λπ.

Γενικά το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών είναι διαφορετικό από το μέτρο ελαστικότητας του κονιάματος και επομένως και η ανάληψη τάσεων από αυτά είναι διαφορετική.

Για τα συνηθισμένα σκυροδέματα, με ασβεστολιθικά αδρανή, το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών είναι μεγαλύτερο από το μέτρο ελαστικότητας του κονιάματος. Στην περίπτωση αυτή η απαίτηση ίσων παραμορφώσεων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η τάση στα αδρανή είναι

μεγαλύτερη, δηλαδή η ροή του φορτίου γίνεται κυρίως μέσα από τα αδρανή.

Αντίθετα στην περίπτωση σκυροδέματος με ελαφρά (πορώδη) αδρανή το μέτρο ελαστικότητας αυτών είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του κονιάματος και η εικόνα της ροής των τάσεων είναι διαφορετική.

Το μέγεθος της παραμορφώσεως, άρα και η τιμή του μέτρου ελαστικότητας, επηρεάζονται και από την ταχύτητα φορτίσεως, καθώς και από όλους εκείνους τους παράγοντες που εισέρχονται στην αντοχή.[1]

3.3. ΧΡΟΝΙΑ ΣΥΣΤΟΛΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΑ ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Με την πάροδο του χρόνου το σκυρόδεμα παρουσιάζει στον αέρα, χωρίς την επίδραση καμιάς εξωτερικής δυνάμεως, συστολή και μέσα στο νερό διαστολή του όγκου του.

Τα φαινόμενα αυτά τα ονομάζουμε χρόνια συστολή και διαστολή του σκυροδέματος.

Από τις θεωρίες που έχουν ως τώρα διατυπωθεί για την εξήγηση του φαινομένου αυτού, επικρατέστερη κρίνεται η θεωρία που διατύπωσε ο Freyssinet και η οποία αποδίδει τις μεταβολές αυτές του όγκου στις δυνάμεις που ασκούνται από το νερό στα τοιχώματα των τριχοειδών του υλικού.

Απόδειξη του ότι η χρόνια συστολοδιαστολή οφείλεται οπωσδήποτε στην δράση του νερού είναι το γεγονός ότι, εάν η εξάτμιση γίνει ύστερα από κατάψυξη (μετατροπή του νερού απ' ευθείας από τη στερεά στην αέρια κατάσταση) η ξήρανση του υλικού πραγματοποιείται χωρίς την εμφάνιση της συστολής. [1]

Η χρόνια συστολή είναι γενικά φαινόμενο βλαπτικό και ανεπιθύμητο. Όταν η συστολή παρεμποδίζεται, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ρηγματώσεων από τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται. Συνηθισμένη είναι η περίπτωση της ρηγματώσεως στοιχείων μεγάλου πάχους από την ανομοιόμορφη ξήρανση του εσωτερικού και της επιφάνειας του στοιχείου. Τα επιφανειακά στρώματα ξηραίνονται γρηγορότερα από το εσωτερικό, και επομένως ο διαφορετικός βαθμός συστολής έχει αποτέλεσμα τη ρηγμάτωση του στοιχείου.

Η ρηγμάτωση βέβαια δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της διαφορετικής συστολής, αλλά και από τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού. (Μέτρο ελαστικότητας και αντοχή σε εφελκυσμό).

Άλλο σημείο αναπτύξεως εφελκυστικών τάσεων είναι η μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού επιφάνεια, λόγω της συρρικνώσεως του τελευταίου ως προς τα ακίνητα αδρανή. Στην επιφάνεια αυτή δημιουργούνται εγγενείς μικρορηγματώσεις.

Άλλη χαρακτηριστική συνέπεια της συστολής είναι η βαθμιαία μείωση που παρουσιάζει η δύναμη προεντάσεως στους προεντεταμένους φορείς.

Οι πειραματικές πληροφορίες που έχουμε για το φαινόμενο της χρόνιας συστολής του σκυροδέματος συνοψίζονται στα ακόλουθα:

α) Το μέγεθος της συστολής εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα του τσιμέντου.

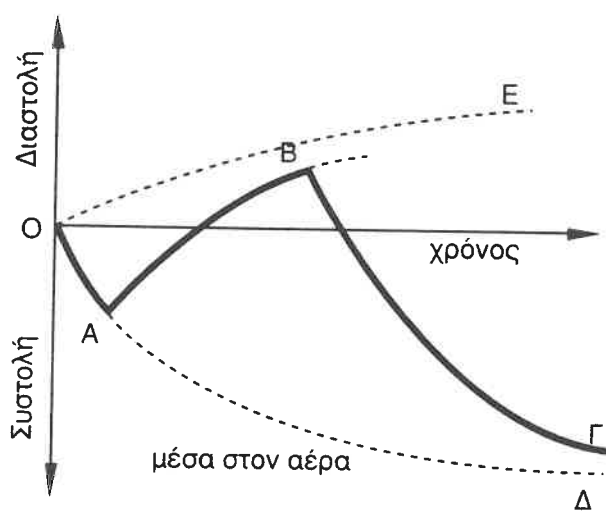
β) Η συστολή αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου.

γ) Ελαττώνεται όσο αυξάνεται η αντοχή.

δ) Εξαρτάται από την ποιότητα και τη φύση των αδρανών.

ε) Η συστολή εξαρτάται από τη μορφή και τις διαστάσεις του στοιχείου.

στ) Εξαρτάται από τις υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος. [1]



Σχηματική μεταβολή της συστολής (ή διαστολής) του σκυροδέματος με τον χρόνο.

3.4. ΕΡΠΥΣΜΟΣ

Η χρόνια παραμόρφωση που προέρχεται από την επίδραση εξωτερικής δύναμης ονομάζεται ερπυσμός.

Η παραμόρφωση λόγω ερπυσμού, μετά χρόνο t από τη στιγμή της επιβολής του φορτίου, δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma}{E} \varphi_{\infty} (1 - e^{-t})$$

όπου φ_{∞} ο λεγόμενος συντελεστής ερπυσμού.

Τη συνολική τιμή του ερπυσμού για μοναδιαία τάση, δηλαδή $\sigma=1$ και $t=\infty$

$$\varepsilon_{\infty} = \varphi_{\infty} / E$$

ονομάζουμε ειδικό ερπυσμό.

Η συνολική παραμόρφωση, που πραγματοποιείται από εξωτερικές δυνάμεις μετά χρόνο t , δηλαδή τόσο η στιγμιαία (ελαστικοπλαστική) όσο και η ερπυστική θα είναι

$$\varepsilon_{\sigma,t} = \frac{\sigma}{E} (1 + \varphi_{\infty} \cdot (1 - e^{-t}))$$

Συνοπτικά μπορούμε να αναφέρουμε για τον ερπυσμό τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- α) Το μέγεθος του ερπυσμού είναι αντιστρόφως ανάλογο προς την ποιότητα του σκυροδέματος.
- β) Μπορεί να φτάσει τελικά σε τιμή πολλαπλάσια της χρόνιας συστολής.
- γ) Η διάρκεια του φαινομένου είναι 1 έως 10 χρόνια. Συνήθως ολοκληρώνεται μετά 1 έως 2 χρόνια.
- δ) Έως την τιμή του φορτίου $\sim 1/3 f$ είναι ανάλογος το φορτίου, πέρα από την τιμή αυτή ο ερπυσμός αυξάνεται ολοένα ταχύτερα με την αύξηση του φορτίου.
- ε) Η μορφή της εξελίξεώς του είναι εκθετική, γρήγορη στη αρχή και ολοένα βραδύτερη, και τείνει ασυμπτωτικά προς κάποια οριακή τιμή.
- στ) Αυξάνεται όσο ελαττώνονται οι διαστάσεις του στοιχείου.
- ζ) Εμφανίζεται μικρότερος για τσιμέντα υψηλής αντοχής ή γρήγορης αναπτύξεως της αντοχής.
- η) Εξαρτάται από το είδος των αδρανών και ειδικότερα από το μέτρο ελαστικότητας αυτών.

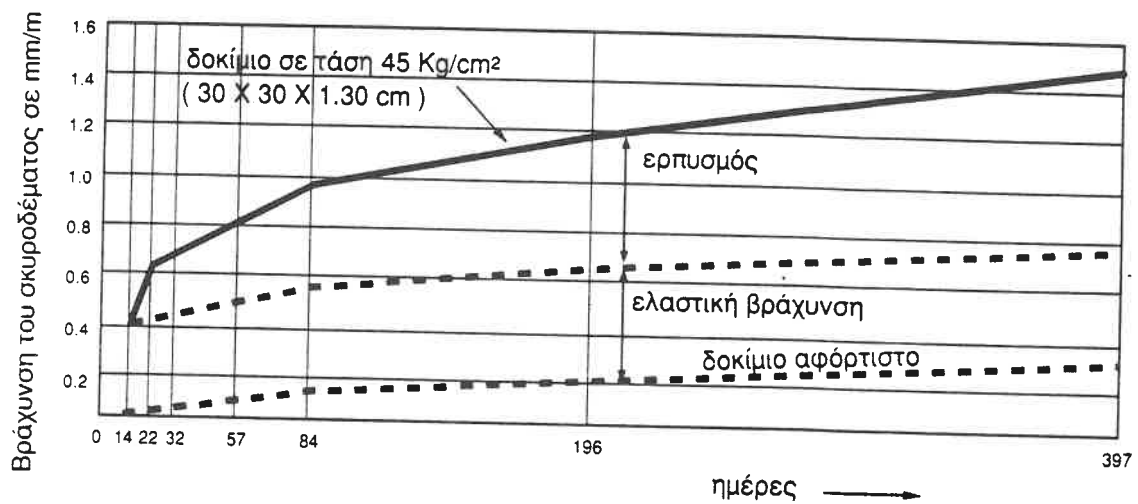
θ) Ελαττώνεται όσο περισσότερα χοντρόκοκκα είναι τα αδρανή.

ι) Αυξάνεται όσο αυξάνεται το νερό της αναμίξεως.

ια) Εξαρτάται από τις υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος.

Αυξάνεται όσο ελαττώνεται η σχετική υγρασία.

ιβ) Ελαττώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία του σκυροδέματος κατά τη στιγμή της επιβολής του φορτίου. [1]



Εξέλιξη του ερπυσμού και της συστολής ξηράνσεως με το χρόνο.

3.5. ΤΟ ΠΟΡΩΔΕΣ

Το σκυρόδεμα, όπως και οι φυσικοί λίθοι, δεν είναι υλικό απόλυτα συμπαγές και πλήρες, αλλά περιέχει πλήθος από μικροσκοπικές και μακροσκοπικές κοιλότητες. Οι κοιλότητες αυτές είναι κενές από στερεό υλικό, γι' αυτό ονομάζονται και πόροι ή κενά.

Το σύνολο αυτών των κοιλοτήτων ονομάζουμε πορώδες του σκυροδέματος. Οι κοιλότητες αυτές μπορεί να περιέχουν αέρα ή να είναι γεμάτες νερό.

Ανάλογα με τη προέλευσή τους διακρίνονται σε κατηγορίες.

Έτσι υπάρχουν:

- α) Πόροι των αδρανών υλικών, δηλαδή πόροι των κόκκων των σκύρων και της άμμου.
- β) Πόροι που δημιουργούνται από τον εγκλεισμό φυσαλίδων από αέρα μέσα στο τσιμεντοκονίαμα.
- γ) Πόροι ή τριχοειδή κενά που δημιουργούνται μέσα στην τσιμεντοκονία μετά την εξάτμιση του νερού που περισσεύει.
- δ) Κοιλότητες μεταξύ τσιμεντοκονιάματος και αδρανών, είτε από κακή πρόσφυση μεταξύ τους, είτε λόγω συστολής του τσιμεντοκονιάματος, είτε από το νερό που συγκεντρώνεται στην κάτω κυρίως πλευρά των κόκκων, λόγω της εξιδρώσεως του μείγματος.
- ε) Μακροσκοπικές κοιλότητες που προέρχονται από κακή συμπύκνωση.
- στ) Τριχοειδή κενά δημιουργημένα μετά τις μικρορηγματώσεις που οφείλονται στις συστολές του τσιμεντοκονιάματος ή και στις εξωτερικές καταπονήσεις.

Χαρακτηριστικά ενός υλικού είναι:

- α) Το συνολικό πορώδες:

$$\frac{V_{ολ} - V_s}{V_{ολ}} = \frac{\rho_s - \rho_\phi}{\rho_s}$$

δηλαδή ο λόγος των κενών προς τον ολικό φαινόμενο όγκο και

- β) Ο βαθμός συμπυκνώσεως:

$$\frac{V_s}{V_{ολ}} = \frac{\rho_\phi}{\rho_s}$$

Στις παραπάνω σχέσεις παριστάνουν:

V_s , τον απόλυτο όγκο του υλικού

$V_{ολ}$, τον ολικό, δηλαδή τον φαινόμενο όγκο

$\rho_\phi = G/V_{ολ}$, το φαινόμενο ειδικό βάρος

$\rho_s = G/V_s$, το απόλυτο ειδικό βάρος.

Για το σκυρόδεμα το ολικό πορώδες κυμαίνεται μεταξύ 8 και 25%.

Τα παραπάνω μεγέθη χαρακτηρίζουν την έκταση του πορώδους, δεν δίνουν όμως πληροφορίες για τη μορφή, το σχήμα, το μέγεθος, καθώς και για την κατανομή των κοιλοτήτων, που αποτελούν ουσιώδη χαρακτηριστικά για τη συμπεριφορά του υλικού και τη διείσδυση του νερού. Το πορώδες του σκυροδέματος επηρεάζει κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητές του.

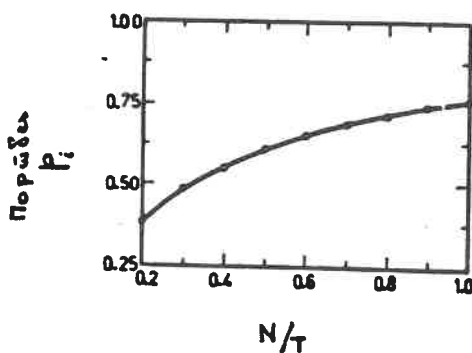
Επηρεάζει τη χρόνια συστολή, τον ερπυσμό, την υδαταπορροφητικότητα, την υδατοστεγανότητα, καθώς και την ανθεκτικότητα του υλικού στον παγετό, ως φορέας της υγρής φάσεως, στην οποία κυρίως οφείλονται τα φαινόμενα αυτά.

Τέλος, επηρεάζει την αντοχή:

$$f = f_s \cdot \frac{\rho_s}{\rho_\phi}$$

(f_s = η αντοχή της στερεάς μάζας), δεδομένου ότι η μετάδοση των δυνάμεων γίνεται μέσα από τον στερεό ιστό του υλικού.

Οι περισσότερες από τις ιδιότητες του σκυροδέματος βελτιώνονται όσο, για το ίδιο ολικό πορώδες, το μέγεθος των πόρων είναι μικρότερο (επομένως το πλήθος των πόρων, για τον ίδιο όγκο, μεγαλύτερο) και όσο περισσότερο ομοιόμορφα είναι κατανεμημένο μέσα στο υλικό και το σχήμα τους πλησιάζει το σφαιρικό. [1]



Στη μείωση του πορώδους συντείνουν:

- α) η ελάττωση του νερού και επομένως η ελάττωση των πόρων που δημιουργούνται από την εξάτμιση του νερού που περισσεύει.
- β) η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών που πλησιάζει στην άριστη περιοχή, δηλαδή πυκνότερη δομή των αδρανών.
- γ) η καλή ποιότητα και καθαρότητα των αδρανών για την καλύτερη προσκόλληση της τσιμεντοκονίας.
- δ) η αποτελεσματική συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος.
- ε) η καλή συντήρηση για την αποφυγή ρηγματώσεων κατά τη διάρκεια της πήξεως.

3.6. ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΥΔΑΤΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Η διέλευση του νερού διαμέσου του σκυροδέματος πραγματοποιείται μέσα από τα διάκενα, δηλαδή τους πόρους, τις ρωγμές και τα τριχοειδή του υλικού. Η ποσότητα και η ταχύτητα με την οποία περνά το νερό δεν εξαρτώνται μόνο από το πλήθος και το σχήμα των διόδων, αλλά και από τις δυνάμεις έλξεως ή απώσεως ανάμεσα στα μόρια του νερού και του σκυροδέματος. Οι δυνάμεις αυτές είναι διαφορετικές στην περίπτωση διελεύσεως άλλου είδους υγρού. Στην περίπτωση των υδρατμών οι δυνάμεις αυτές π.χ. είναι μηδενικές.

α) Ως υδαταπορροφητικότητα εννοούμε την ικανότητα που έχει το υλικό να απορροφά ή να αναρροφά νερό χωρίς εξωτερική πίεση.

Ορίζεται ως ο λόγος

$$A = \beta u / \beta_0$$

του βάρους του νερού που απορροφήθηκε προς το βάρος του στεγνού υλικού.

Χαρακτηριστική κάθε φορά, είναι η "ταχύτητα αναρροφήσεως", δηλαδή ο λόγος της ποσότητας του νερού που αναρροφά το υλικό διά του χρόνου και της επιφάνειας σε $[gr/cm^2 \cdot min]$ ή το "βάθος διεισδύσεως" δηλ. ο λόγος του βάθους στο οποίο εισδύει το νερό διά του χρόνου που χρειάστηκε σε $[cm/sec]$.

β) Ως υδατοπερατότητα, εξάλλου εννοούμε την ικανότητα που έχει το νερό να περνάει μέσα από το υλικό, όταν βρίσκεται υπό πίεση. Καθορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας του νερού που περνά διά της επιφάνειας και του χρόνου, για διαφορά πίεσεως 1mm στήλης υδραργύρου.

$$Y = N/E \cdot t \cdot \Delta p$$

Την υδατοπερατότητα επί το πάχος του υλικού, δηλ. την ποσότητα

$$u = Y \cdot \delta [gr/m \cdot h \cdot 1mmHg]$$

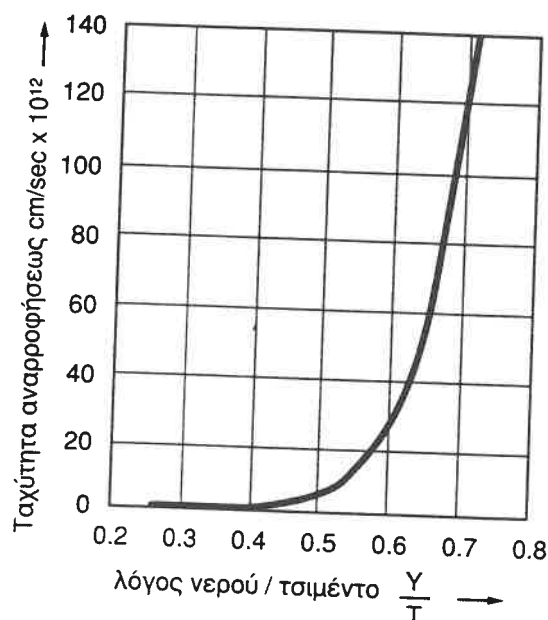
ονομάζουμε συντελεστή υδραγωγιμότητας ενός υλικού.

Πολύ συχνά στην πράξη χρησιμοποιείται το αντίστροφο της υδατοπερατότητας.

$$K = \delta / u [m^2 \cdot h \cdot 1mmHg/gr]$$

και ονομάζεται αντίσταση στην υδατοπερατότητα ή υδατοστεγανότητα.

Η υδατοστεγανότητα της τσιμεντοκονίας είναι πάρα πολύ μεγάλη όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Για μικρές τιμές του λόγου "νερό προς τσιμέντο" πλησιάζει την υδατοστεγανότητα του μαρμάρου. [1]



Ταχύτητα αναρροφήσεως νερού που παρουσιάζει το τσιμεντοκονίαμα σε συνάρτηση του λόγου νερού/τσιμέντου.

Η υδατοστεγανότητα του σκυροδέματος όμως είναι σαφώς κατώτερη. Κυριότερη αιτία της ελαττώσεως της υδατοστεγανότητας του σκυροδέματος θεωρείται η ατελής προσκόλληση του τσιμεντοπολτού επάνω στα αδρανή. Η διέλευση του νερού γίνεται, κατά κύριο λόγο, από τις επιφάνειες των αδρανών και από τα διάκενα που βρίσκονται γύρω από αυτά.

Δεύτερη κατηγορία διόδων για το νερό αποτελούν τα μακροσκοπικά κενά που δημιουργούνται από την ελλιπή συμπύκνωση, τη μη πλήρωση όλων των κενών μεταξύ των αδρανών από τσιμεντοκονία και από τις φυσαλίδες με αέρα που εγκλωβίζονται μέσα στη μάζα του σκυροδέματος κατά την ανάμειξη.

Άλλη κατηγορία, τέλος, αποτελούν οι ρηγματώσεις που προέρχονται από τις συστολοδιαστολές του υλικού λόγω της ξηράνσεως, των θερμοκρασιακών μεταβολών ή άλλων αιτιών.

Για το υλικό πορώδες και για την υδαταπορροφητικότητα του σκυροδέματος αναφέρονται οι ακόλουθες τιμές: [1]

ολικό πορώδες: 8 - 25% και συνηθέστερα 10-13.

υδαταπορροφητικότητα, κατά βάρος 2 - 9%

κατά όγκο 4 - 12%

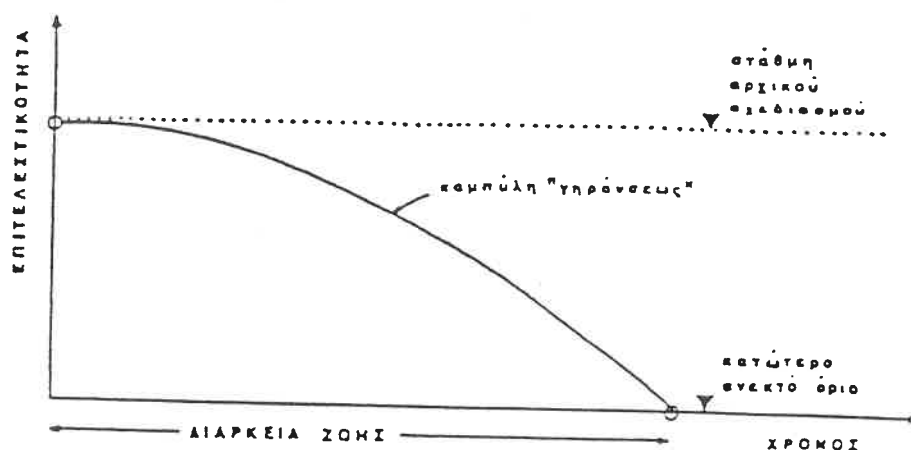
Για την αύξηση της υδατοστεγανότητας του σκυροδέματος επιβάλλεται βασικά ο περιορισμός του πορώδους, δηλ. καλή κοκκομετρική διαβάθμιση (με περίσσεια λεπτόκοκκου υλικού), περιορισμός του νερού αναμείξεως, καλή πρόσφυση αδρανών - τσιμεντοκονίας, καλή συμπύκνωση και τέλος καλή συντήρηση για την αποφυγή ρηγματώσεως, κατά την πήξη και τις πρώτες ώρες της σκληρύνσεως.

Τα στεγανοποιητικά υλικά που προσθέτονται στη μάζα του σκυροδέματος από τη μια μεριά βελτιώνουν την πλαστικότητα του νωπού σκυροδέματος κι έτσι βοηθούν στην καλύτερη συμπύκνωση με σύγχρονη μείωση του νερού αναμείξεως και από την άλλη μεριά αυξάνουν τις υδραπωθητικές ιδιότητες του υλικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ

Ανθεκτικότητα μιας κατασκευής ονομάζουμε την ικανότητα της κατασκευής να ανθίσταται στις περιβαλλοντικές επιδράσεις (φυσικές και χημικές), χωρίς να χάνει τις ιδιότητες αντοχής και λειτουργίας κάτω ενός ανεκτού ορίου.



Μείωση της ανθεκτικότητας μιας κατασκευής με τον χρόνο, εκφρασμένη ως απώλεια της επιτελεστικότητας (performance) της κατασκευής.

Οι βασικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την ανθεκτικότητα των κατασκευών είναι:

- Οι περιβαλλοντικές συνθήκες
- Η διαπερατότητα του σκυροδέματος
- Η δυνατότητα πραγματοποίησης μιας συγκεκριμένης φυσικής ή χημικής επιδράσεως.

Εδώ θα ασχοληθούμε με τη διαπερατότητα του σκυροδέματος και την επίδρασή της στη διάβρωση του οπλισμού των κατασκευών. [2]

4.2. ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σκυρόδεμα με χαμηλή διαπερατότητα έχει μεγάλη ανθεκτικότητα σε φυσικές και χημικές επιδράσεις. Η διαπερατότητα εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους:

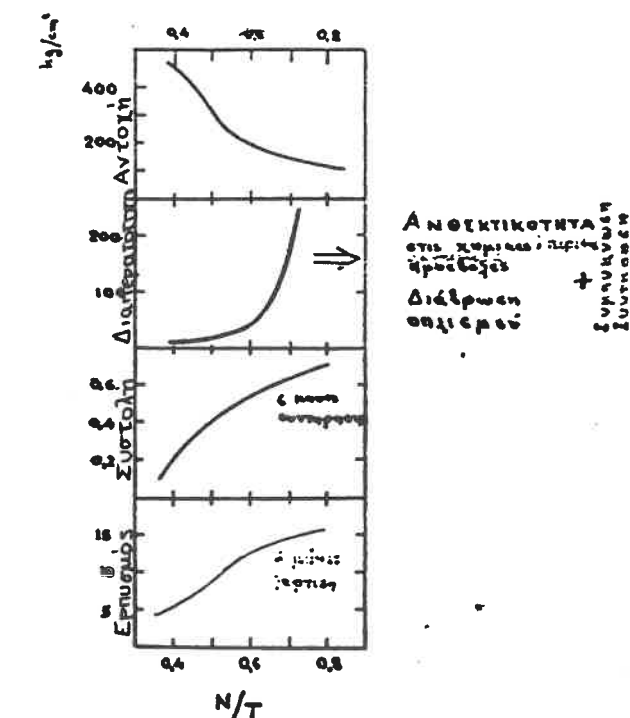
- Σύσταση του τσιμέντου
- Λόγος N/T (Νερό προς Τσιμέντο)
- Πορώδες
- Συμπύκνωση
- Συντήρηση
- Ύπαρξη ρωγμών

4.2.1. Σύσταση τσιμέντου

Όταν το σκυρόδεμα περιέχει τσιμέντο σε ποσότητα μεγαλύτερη από 300kg/m^3 (υπό τον όρο βέβαια ότι θα έχει μικρό λόγο N/T και ότι θα γίνει προσεκτική συντήρηση) τότε έχει σχετικώς μικρή διαπερατότητα. Διάφορα πρόσθετα στο τσιμέντο μπορεί να επηρεάσουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος. Γι' αυτό απαιτείται μεγάλη προσοχή κατά τη συντήρηση του σκυροδέματος γιατί τα τσιμέντα με πρόσθετα είναι πιο ευπαθή.

4.2.2. Λόγος N/T

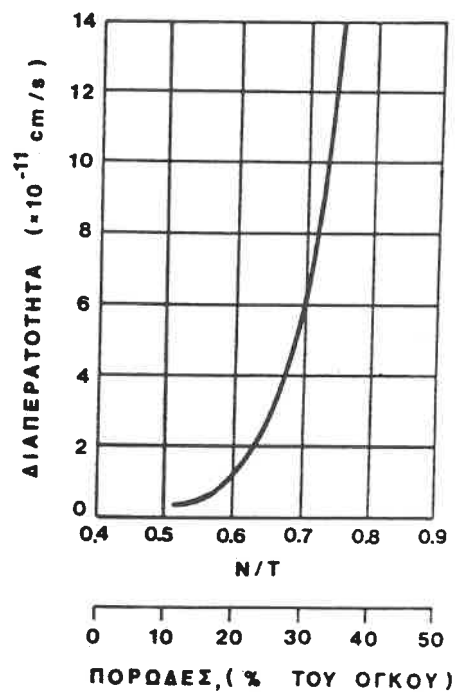
Όταν ο λόγος N/T ξεπεράσει την τιμή 0,6 η διαπερατότητα του σκυροδέματος αυξάνεται δυσαναλόγως επειδή αυξάνεται το μέγεθος και ο αριθμός των τριχοειδών πόρων.



Επίδραση του N/T στις σημαντικότερες
ιδιοτητες του σκυροδέματος

4.2.3. Πορώδες

Το μέγεθος και η κατανομή των πόρων, καθώς και η ποσότητα νερού το οποίο περιέχουν, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Συνήθως η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε φυσικές και χημικές επιδράσεις μειώνονται όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε τριχοειδής πόρους.



Επίδραση του λόγου N/T στην διαπερατότητα του σκυροδέματος.

4.2.4. Συμπύκνωση

Με την συμπύκνωση προσπαθούμε να μειώσουμε τα κενά αέρα στο σκυρόδεμα σε περιεκτικότητα μικρότερη από 1% περίπου. Με τη δόνηση ο αέρας και το νερό μεταφέρονται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος, μειώνοντας έτσι το πορώδες. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται κάπως η διαπερατότητα κατά την κατακόρυφη διεύθυνση γιατί δημιουργούνται τριχοειδείς πόροι. Η αύξηση της διαπερατότητας όμως είναι προσωρινή, γιατί όσο συνεχίζεται η διαδικασία της ενυδατώσεως οι τριχοειδείς πόροι σφραγίζονται.

4.2.5. Συντήρηση

Η συντήρηση γίνεται με σκοπό:

- Να βοηθήσει το σκυρόδεμα να συγκρατήσει αρκετή υγρασία ώστε να γίνει η ενυδάτωση του τσιμέντου και να επιτύχουμε την ανάπτυξη της επιθυμητής τελικής αντοχής.
- Να προστατεύσει το σκυρόδεμα από τις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας.

Η απαιτούμενη διάρκεια συντηρήσεως εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου το οποίο χρησιμοποιείται και από τις συνθήκες περιβάλλοντος κατά την σκυροδέτηση. Ο ελάχιστος χρόνος συντηρήσεως για σκυροδέματα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ανθεκτικότητας ορίζεται ίσος με 7 ημέρες. [1] Η συντήρηση πρέπει να αρχίσει αμέσως μετά τη σκυροδέτηση και να μην διακοπεί.

4.2.6. Ύπαρξη ρωγμών

Με την ύπαρξη ρωγμών διευκολύνεται η διείσδυση βλαβερών ουσιών προς τον οπλισμό του σκυροδέματος.

Οι δημιουργίες των ρωγμών μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες.

Φυσικές:	Συστελλόμενα αδρανή
	Συστολή ξηράνσεως
Χημικές:	Διάβρωση οπλισμού (διαμήκεις ρωγμές)
	Αντίδραση αδρανών - αλκαλίων (άτακτη ρηγμάτωση)

Θερμικές:

Εναλλαγές παγετού - τήξεως

Εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας

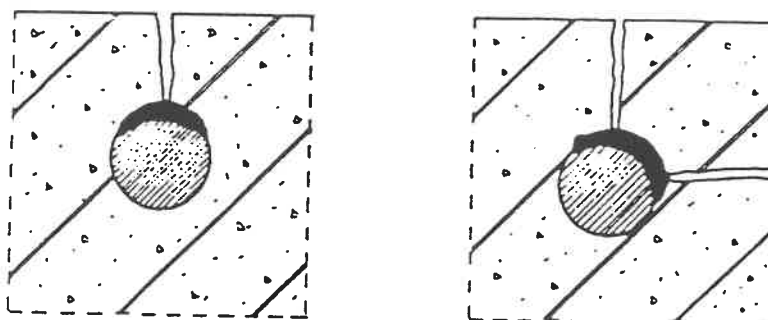
Πρόωρη θερμική συστολή

Κατασκευαστικές:

Υπερφόρτιση

Ερπυσμός

Το νεαρό σκυρόδεμα είναι ιδιαίτερα επιρρεπές στη ρηγμάτωση. Λίγες ώρες μετά τη χύτευση, η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, για 4 έως 16 ώρες περίπου, με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα να ρηγματώνεται πολύ εύκολα. [2]



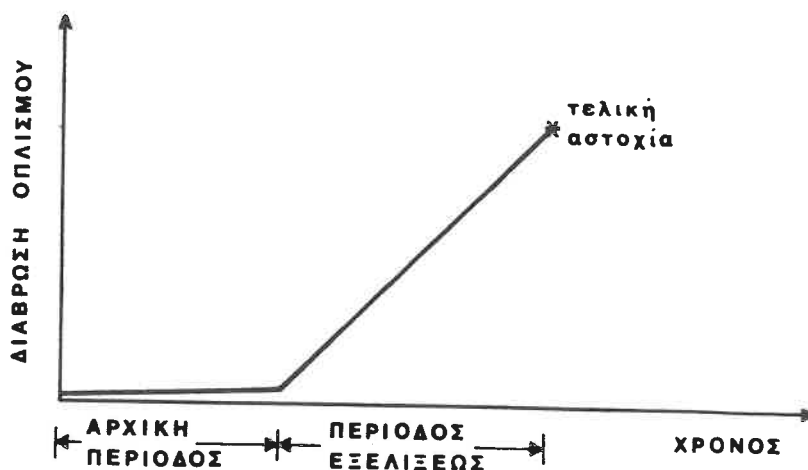
Ρηγμάτωση του σκυροδέματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το σκυρόδεμα παρέχει στο χάλυβα προστασία έναντι διαβρώσεως, την ονομαζόμενη "παθητική" προστασία. Αιτία είναι η αλκαλικότητα του σκυροδέματος εξαιτίας του υδροξειδίου του ασβεστίου Ca(OH)_2 , υποπροϊόντος της ενυδατώσεως του τσιμέντου. Έτσι για μεγάλες τιμές του PH (από 9 έως 12.8) σχηματίζεται στην επιφάνεια του μετάλλου ένα πολύ λεπτό και σφιχτά προσκολλημένο στρώμα οξειδίων του σιδήρου. Το στρώμα οξειδίων σχηματίζεται μόνο σε καθαρή επιφάνεια του μετάλλου. Όσο υπάρχει το προστατευτικό στρώμα, δεν θα συμβεί διάβρωση του χάλυβα, ακόμα και αν υπάρχουν οι παράγοντες οι οποίοι απαιτούνται για την εξέλιξη του φαινομένου της διαβρώσεως. Διάβρωση του χάλυβα συμβαίνει σε διάφορες περιπτώσεις, όπως:

- Το σκυρόδεμα είναι κακής ποιότητας και παύει να παρέχει παθητική προστασία στον χάλυβα.
- Το περιβάλλον δεν ήταν το αναμενόμενο ή άλλαξε κατά τη διάρκεια χρήσεως της κατασκευής.
- Ο χάλυβας έρχεται σε επαφή με υλικά τα οποία δεν παρουσιάζουν αλκαλικότητα. Τα υλικά αυτά είναι πιθανόν να είναι μέρος της κατασκευής ή να έρθουν σε επαφή με τον χάλυβα μετά από τυχόν ρηγμάτωση του σκυροδέματος.
- Ο χάλυβας έχει κατασκευαστικές ατέλειες ή είναι εξαιρετικά ευαίσθητος ή έρχεται σε επαφή με άλλα μέταλλα.



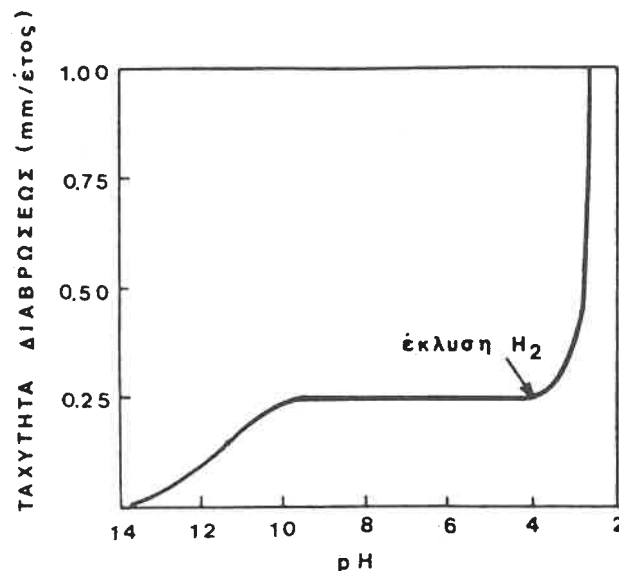
Εξέλιξη της διαβρώσεως του χάλυβα στο σκυρόδεμα

Κατά την αρχική περίοδο συμβαίνουν εκείνες οι διαδικασίες οι οποίες καταστρέφουν την παθητική προστασία του χάλυβα. Κατά την περίοδο εξελίξεως προάγεται η διαδικασία διαβρώσεως με την παρουσία επαρκών ποσοτήτων οξυγόνου και υγρασίας, μέχρις ότου επέλθει η "τελική αστοχία". Ο τρόπος με τον οποίο διαβρώνεται ο χάλυβας ποικίλλει σημαντικά, ανάλογα με τη αιτία που προκαλεί τη διάβρωση. Αν θελήσουμε να κατατάξουμε τις μορφές διαβρώσεως σε κατηγορίες, πρέπει να διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις: [2]

- Γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση
- Τοπική διάβρωση
 - Διάβρωση κατά βελονισμό (pitting)
 - Μικρορρηγματώδης διάβρωση (crevice)
 - Διάβρωση μεταξύ των κόκκων (intergranular)
- Διάβρωση λόγω αναπτύξεως εξωτερικής διαφοράς δυναμικού
 - Γαλβανική δράση (galvanic)
 - Ηλεκτρολυτική διάβρωση (electrolytic)
- Διάβρωση υπό μηχανική τάση (stress - corrosion).

5.2. ΓΕΝΙΚΗ Ή ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Χαρακτηριστικό της γενικής διάβρωσης είναι ότι η επιφάνεια του μετάλλου καλύπτεται σχεδόν ομοιόμορφα από τα προϊόντα της διαβρώσεως. Η γενική διάβρωση συμβαίνει όταν η αλκαλικότητα του σκυροδέματος έχει χαθεί σε ευρεία περιοχή. Τότε το προστατευτικό στρώμα οξειδίων θα καταστραφεί και θα αρχίσει η διάβρωση. [2]



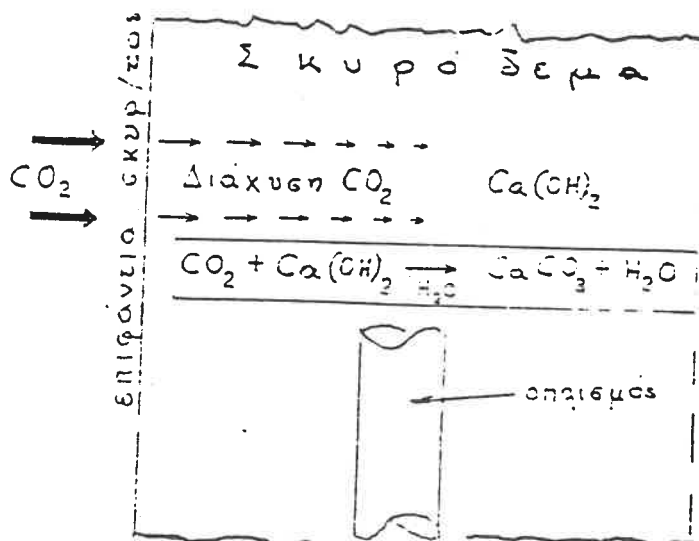
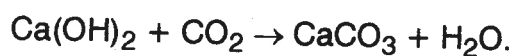
Επίδραση της τιμής του pH στην ταχύτητα διαβρώσεως σιδήρου σε αεριζόμενο μαλακό νερό υπό θερμοκρασία δωματίου

Αιτία μείωσης του PH σε ευρεία περιοχή στο σκυρόδεμα είναι:

- Απόπλυση του Ca(OH)_2 από το σκυρόδεμα λόγω επιδράσεως νερού
- Ενανθράκωση του σκυροδέματος
- Επίδραση ανθρακικών ή θειικών αλάτων (έχει παρατηρηθεί χωρίς όμως να έχει τεκμηριωθεί πλήρως).

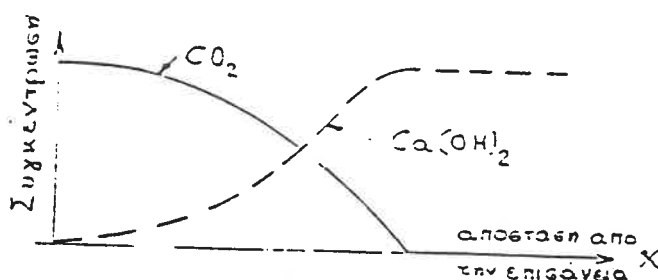
5.3. ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

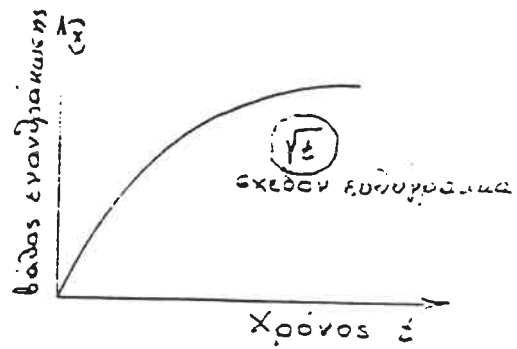
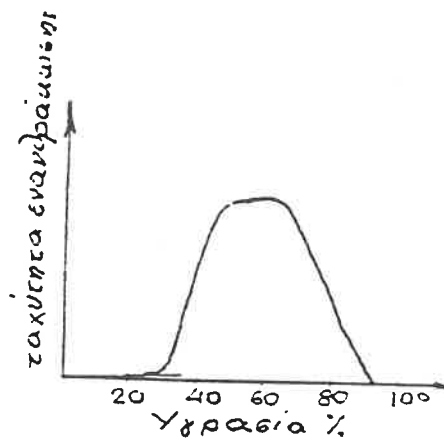
Η ενανθράκωση του σκυροδέματος προκαλείται από τη χημική αντίδραση του οξειδίου του άνθρακα το οποίο υπάρχει στην ατμόσφαιρα, με το υδροξείδιο του ασβεστίου του σκυροδέματος.



Για την πραγματοποίηση της αντιδράσεως, απαιτούνται μικρές ποσότητες νερού. Το μεγαλύτερο ποσοστό ενανθράκωσης παρατηρείται σε αέρα με σχετική υγρασία 50 έως 70%. Το ξηρό σκυρόδεμα δεν θα ενανθρακωθεί, λόγω απουσίας της απαιτούμενης υγρασίας, ενώ σε κορεσμένο με νερό σκυρόδεμα εμποδίζεται η διάχυση του αερίου CO_2 στους πόρους του σκυροδέματος.

Το νερό που δημιουργείται μετά την αντίδραση, διαχέεται προς το εσωτερικό του σκυροδέματος και η διαδικασία συνεχίζεται σε μεγαλύτερα βάθη του σκυροδέματος. Το pH μειώνεται, σε πλήρως δε ενανθρακωμένο σκυρόδεμα παίρνει περίπου την τιμή 8.3. [2]

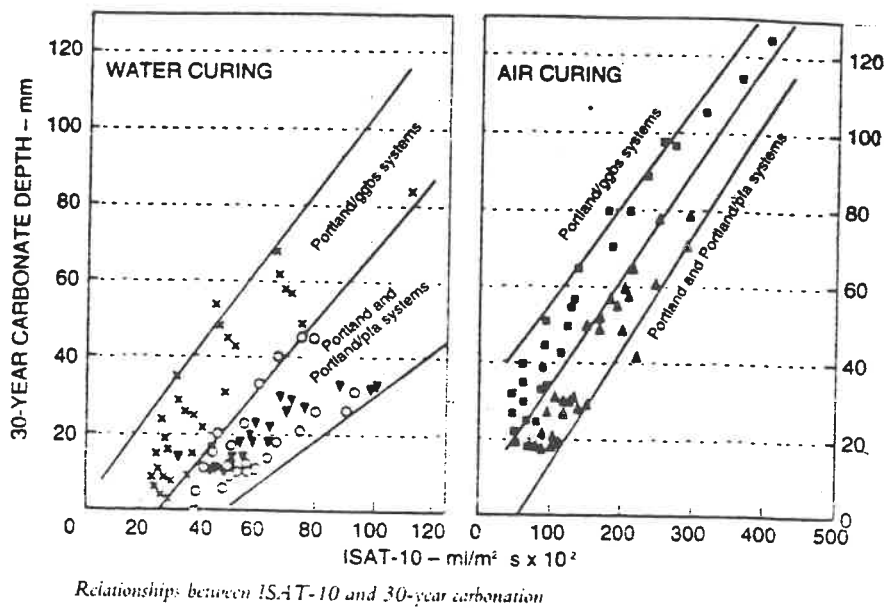




Παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν την ενανθράκωση του σκυροδέματος

• Συνθήκες περιβάλλοντος

Για σχετική υγρασία του αέρα 50 έως 70% παρατηρείται το μέγιστο ποσοστό ενανθράκωσης.



• Ποιότητα και πάχος της επικάλυψης

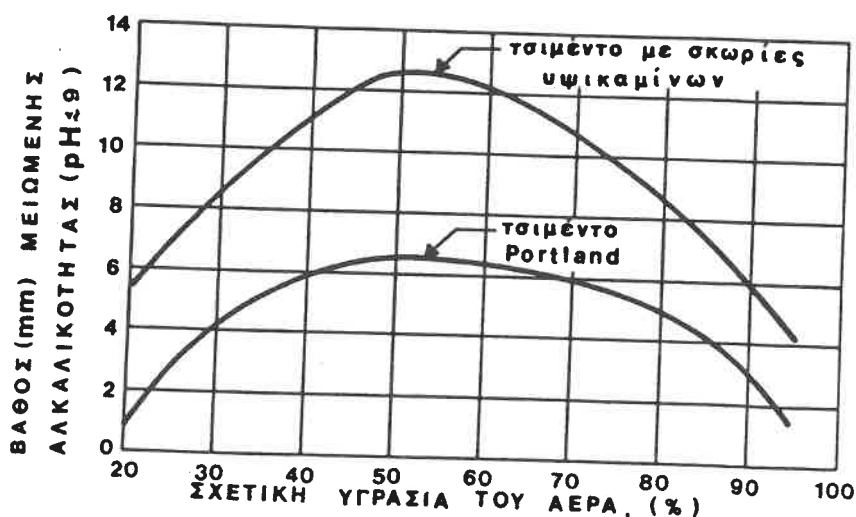
Επικάλυψη με χαμηλή διαπερατότητα μειώνει ή και αναστέλλει τη διείσδυση του CO_2 . Η παρουσία ρωγμών επιταχύνει πολύ τη διαδικασία ενανθρακώσεως. Για μικρές τιμές του λόγου N/T , περιορίζεται πολύ η διείσδυση υγρασίας και η διάχυση αερίου CO_2 λόγω μείωσης του μεγέθους και του αριθμού τριχοειδών πόρων. Εντούτοις, η διαπερατότητα του σκυροδέματος δεν αποτελεί τη μόνη ένδειξη για το μέγεθος του κινδύνου ενανθρακώσεως.

Τα προϊόντα της ενανθρακώσεως εναποτίθενται στους τριχοειδείς πόρους του σκυροδέματος και μειώνουν μ' αυτόν τον τρόπο το πορώδες. Το βάθος ενανθρακώσεως ακολουθεί την τετραγωνική ρίζα του χρόνου. Επομένως αν διπλασιαστεί η επικάλυψη, τετραπλασιάζεται ο χρόνος για την έναρξη της διάβρωσης των οπλισμών.

Η αύξηση όμως της επικάλυψης δεν εξασφαλίζει το χάλυβα από τον κίνδυνο της διάβρωσης. Μικρή επικάλυψη καλής ποιότητας είναι πολύ καλύτερη από επικάλυψη μεγάλου πάχους αλλά χαμηλής ποιότητας. Επιπλέον, η επικάλυψη δεν πρέπει να ξεπεράσει ένα ορισμένο όριο, γιατί τότε απαιτείται πρόσθετος οπλισμός για να περιορισθεί το εύρος των ρωγμών. Το πάχος της επικάλυψης συνιστάται συνήθως να είναι 15 έως 50mm.

• Είδος τσιμέντου

Έχει βρεθεί πειραματικά ότι η ενανθράκωση του σκυροδέματος εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου. Τα τσιμέντα που περιέχουν σκωρίες υψικάμινων και ποζολάνες ενανθρακώνονται γρηγορότερα από το τσιμέντο Portland.



Βάθος ενανθρακώσεως τσιμεντοκονιάματος με λόγο $N/T=0.6$ για διαφορετικά είδη τσιμέντου.

Βρέθηκε από πειράματα ότι προσθήκη ιπτάμενων τεφρών στο τσιμέντο επιταχύνει την ενανθράκωση σε σκυρόδεμα με αντοχή μικρότερη από 30 έως 35 MPa. Πάντως, σε σκυροδέματα μεγαλύτερης αντοχής δεν προκαλείται μεταβολή της ταχύτητας ενανθρακώσεως, υπό την προϋπόθεση ότι έχει γίνει πολύ καλή συντήρηση.

Η προσθήκη πυριτικής παιπάλης (αντικατάσταση ορισμένης ποσότητας τσιμέντου με πυριτική παιπάλη ίσου βάρους) επιταχύνει την ενανθράκωση του σκυροδέματος όταν η σύγκριση γίνεται μεταξύ σκυροδεμάτων της ίδιας αντοχής στις 28 ημέρες.

Η αντικατάσταση τσιμέντου με πυριτική παιπάλη προκαλεί αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος σε σχέση με σκυρόδεμα το οποίο έχει τσιμέντο χωρίς πυριτική παιπάλη και τον ίδιο λόγο N/T. Αυτή η μείωση αλκαλικότητας εξηγείται κατ' αρχήν από την ποζολανική δράση που δεσμεύει την ελεύθερη άσβεστο. Όταν προστίθεται και η εξωτερική επίδραση του CO₂, η συμβατική κρίσιμη τιμή του PH=9 εμφανίζεται αυξημένη.

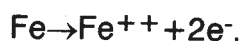
Ο κίνδυνος διαβρώσεως του χάλυβα δεν είναι κατευθείαν ανάλογος με τα φαινόμενα αυτά, επειδή η ποζολανική δράση τροποποιεί ευμενώς τη δομή του πορώδους μέσα στο σκυρόδεμα. [2]

5.4. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

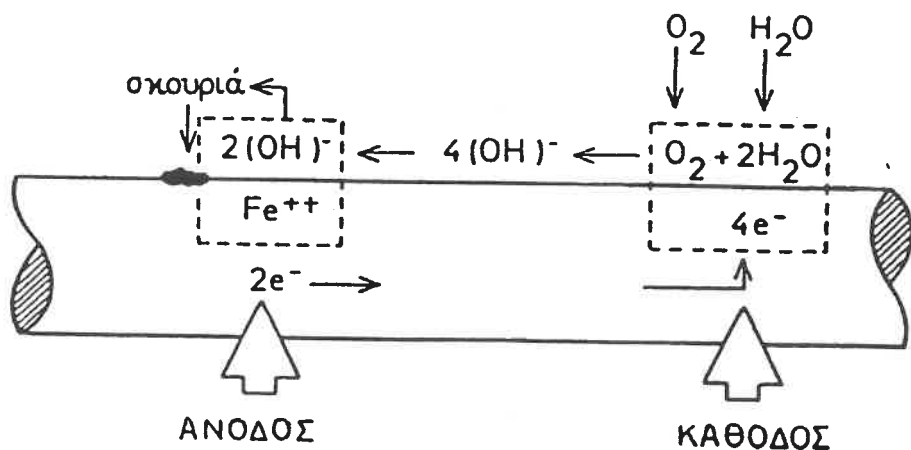
Η διάβρωση του χάλυβα είναι ένα σύνθετο χημικό και ηλεκτροχημικό φαινόμενο. Η ευστάθεια του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα εξαρτάται από το ηλεκτρικό δυναμικό, από το ΡΗ και απ' τη θερμοκρασία του σκυροδέματος.

Το φαινόμενο της ηλεκτρολύσεως μπορεί να διακριθεί σε δύο απλές διαδικασίες: της ανόδου και της καθόδου. Για να μπορεί να γίνει ηλεκτρόλυση, η άνοδος και η κάθοδος πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους ηλεκτρικά και ηλεκτρολυτικά. Η ράβδος του χάλυβα προσφέρει την ηλεκτρική σύνδεση, ενώ το νερό των πόρων του σκυροδέματος δρα ως ηλεκτρολύτης.

Ως άνοδος συμπεριφέρεται το τμήμα του χάλυβα όπου έχει καταστραφεί το προστατευτικό στρώμα οξειδίων. Σ' αυτή την περιοχή, τα άτομα σιδήρου μετατρέπονται σε ιόντα, ενώ ελευθερώνονται ηλεκτρόνια.

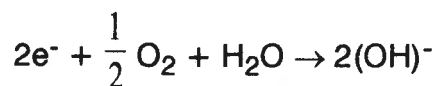


Το δυναμικό του αδιάβρωτου σιδήρου, με κλίμακα αναφοράς την κλίμακα υδρογόνου, είναι ίσιο με $E_A = -440\text{mV}_H$. Στην άνοδο, το δυναμικό μικραίνει σημαντικά. Υπό την επίδραση αυτής της διαφοράς δυναμικού, τα ηλεκτρόνια τα οποία ελευθερώνονται στην άνοδο μεταφέρονται προς την κάθοδο.

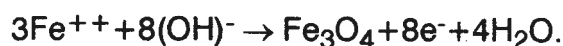


Απλοποιημένο προσομοίωμα της ηλεκτροχημικής διαδικασίας διαβρώσεως του σιδηροπλισμού.

Ως κάθοδος συμπεριφέρεται εκείνη η περιοχή του χάλυβα όπου υπάρχει νερό και οξυγόνο, χωρίς να είναι απαραίτητο να έχει καταστραφεί το λεπτό στρώμα των οξειδίων. Σ' αυτή την περιοχή, ενώνονται τα ηλεκτρόνια με το νερό και το οξυγόνο, παράγονται δε ιόντα υδροξυλίου.



Το δυναμικό αυξάνεται και γίνεται ίσιο με $E_k = + 401mV_H$. Αν τα ιόντα υδροξυλίου κινηθούν μέσα στο νερό των πόρων από την περιοχή της καθόδου προς την περιοχή της ανόδου, θα ενωθούν με τα ιόντα του σιδήρου και θα σχηματίσουν σκουριά:



Μ' αυτή την αντίδραση είναι δυνατόν να σχηματισθούν διάφορα οξειδία του σιδήρου, π.χ. FeO , Fe_2O_3 . Στο σκυρόδεμα σχηματίζεται FeO ή Fe_3O_4 . Αυτό συμβαίνει γιατί δεν επιτρέπεται μεγάλη διόγκωση του μετάλλου εξαιτίας της πίεσεως την οποία ασκεί το σκυρόδεμα. Τα οξειδία FeO και Fe_3O_4 έχουν μικρότερο όγκο από το οξείδιο του Fe_2O_3 .

Από τις αντιδράσεις οξειδώσεως φαίνεται ότι όσο νερό συνδυάζεται στην κάθοδο, τόσο αποδίδεται μετά το σχηματισμό της σκουριάς. Επομένως, μόνο το οξυγόνο καταναλώνεται για την διάβρωση του χάλυβα, ενώ το νερό χρειάζεται απλώς για να βοηθήσει τη διαδικασία ηλεκτρολύσεως.

Είναι δυνατόν να συμβεί διάβρωση του χάλυβα και σε περιοχή όπου εμποδίζεται η πρόσβαση του οξυγόνου, αρκεί το σκυρόδεμα να είναι αρκετά υγρό ώστε να πραγματοποιηθεί η ηλεκτρόλυση. [2]

5.5. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΤΑ ΒΕΛΟΝΙΣΜΟ

Η διάβρωση κατά βελονισμό οφείλεται αποκλειστικά στην επίδραση χλωριόντων. Τα ιόντα (Cl^-) μπορεί να βρεθούν στο σκυρόδεμα είτε εξαρχής με την παρασκευή του σκυροδέματος, είτε να διεισδύσουν απ' το περιβάλλον αργότερα.

Η διείσδυση γίνεται μέσω πόρων εξ' ολοκλήρου ή μερικώς γεμάτων με νερό, ακολουθεί δε το νόμο της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου.

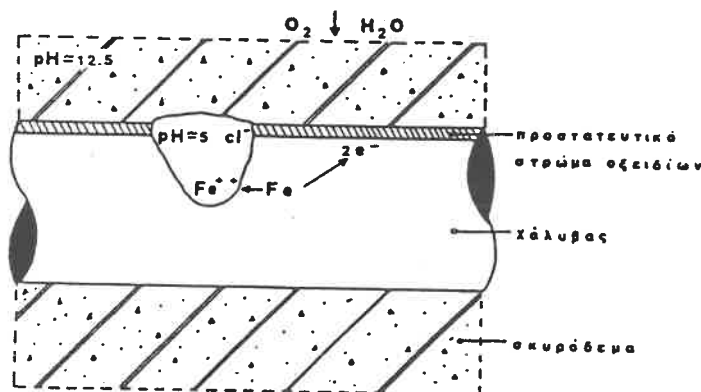
Κατά τη διάρκεια της διαβροχής, μεγάλες ποσότητες νερού με διαλυμένα άλατα εισδύουν στο σκυρόδεμα. Κατά τη διάρκεια της ξηράνσεως, το νερό εξατμίζεται ενώ τα άλατα παραμένουν στο σκυρόδεμα. Όταν η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, θα δημιουργηθούν μεγάλες συγκεντρώσεις χλωριόντων στην περιοχή του σκυροδέματος που διαβρέχεται και ξηραίνεται.

Από τα χλωριόντα που υπάρχουν στο σκυρόδεμα, μια ποσότητα δεσμεύεται χημικά από τον τσιμεντοπολτό, ενώ τα υπόλοιπα χλωριόντα παραμένουν ελεύθερα. Η διάβρωση του χάλυβα προκαλείται από τα ελεύθερα χλωριόντα.

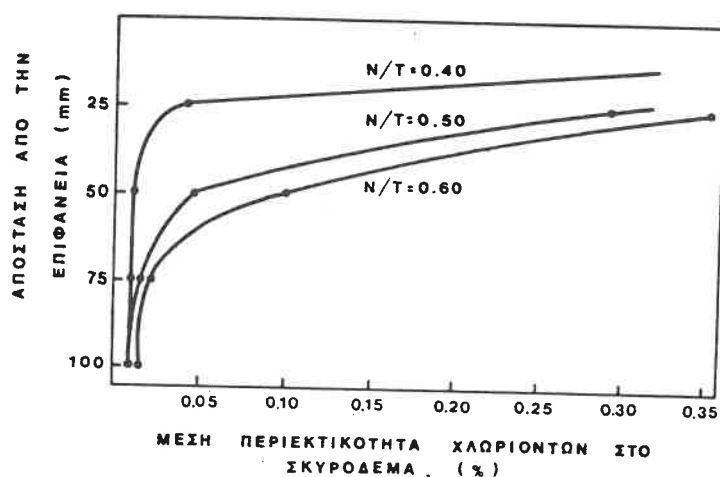
Σε σκυρόδεμα το οποίο περιέχει χλωριόντα απαρχής, ο χάλυβας διαβρώνεται λιγότερο απ' ότι αν ο χάλυβας βρισκόταν σε σκυρόδεμα στο οποίο η ίδια ποσότητα χλωριόντων διεισδύει απ' έξω.

Μετά την ενανθράκωση, ο κίνδυνος διαβρώσεως των σιδηροπλισμών αυξάνεται, ακόμα και αν το σκυρόδεμα περιέχει μικρές ποσότητες χλωριόντων.

Η επικρατέστερη σύγχρονη θεωρία που περιγράφει την επίδραση των χλωριόντων στη διάβρωση του χάλυβα, είναι η θεωρία του μεταβατικού συμπλόκου. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, τα χλωριόντα μπορούν να διαπεράσουν το προστατευτικό στρώμα οξειδίων μέσα από τους πόρους του στρώματος με μεγαλύτερη ευκολία από άλλα ιόντα. Μπορεί ακόμα να διαλύσουν το στρώμα οξειδίων κάνοντας ευκολότερη τη διείσδυσή τους. Η επιφάνεια του καθαρού μετάλλου απορροφά τα χλωριόντα, το δε δυναμικό του χάλυβα σ' αυτή την περιοχή μειώνεται πάρα πολύ (άνοδος) ενώ η παραπλήσιες περιοχές έχουν μεγάλο δυναμικό (κάθοδος).



Απλοποιημένο προσομοίωμα της διαβρώσεως του χάλυβα λόγω επιδράσεως χλωριόντων



Επίδραση του λόγου N/T στην διεξόδου χλωριόντων στο σκυρόδεμα

Στις μικρές ανοδικές περιοχές, τα χλωριόντα ενώνονται με τα ιόντα σιδήρου για να σχηματίσουν ένα ευδιάλυτο σύμπλοκο μόριο χλωριούχου μετάλλου. Το σύμπλοκο αυτό μόριο μπορεί να απομακρυνθεί από την άνοδο, να οξειδωθεί σε κάποια περιοχή (κάθοδος) και να ελευθερώσει το ιόν του χλωρίου. Το ελεύθερο ιόν του χλωρίου είναι μ' αυτό τον τρόπο ικανό να επαναλάβει τη διαδικασία διαβρώσεως του σιδήρου.

Για την επίδραση των χλωριόντων απαιτούνται ταυτόχρονα οξυγόνο και υγρασία. Σε χάλυβα διαρκώς βυθισμένο σε νερό με χλωριούχα άλατα, δεν εμφανίζεται διάβρωση κατά βελονισμό.

Μ'αυτή τη θεωρία εξηγείται η "σημειακή" διάβρωση του χάλυβα. [2]

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΑΠΟ ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ

- Ποιότητα και πάχος επικάλυψης
- Περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο - Πρόσθετα
- Είδος και συγκέντρωση των χλωριούχων αλάτων
- Περιβάλλον

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1.1. ΣΚΟΠΟΣ

Η ανθεκτικότητα εξαρτάται από τη διαπερατότητα [1] και επομένως και από τη δυνατότητα προσρόφησης ή εμποτισμού του σκυροδέματος.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση των χαρακτηριστικών υδαταπορρόφησης και υδρεμποτισμού δοκιμίων διαφόρων συνθέσεων.

Αποφασίστηκε να εξεταστούν η προσρόφηση και ο υδρεμποτισμός με νερό σε δοκίμια σκυροδέματος εκτελώντας τα πειράματα της υδαταπορρόφησης και του υδρεμποτισμού (Σχ.1). Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα αυτά ^{είναι} με τρεις διαφορετικούς λόγους N/T δηλ $N/T = 0.50$, $N/T = 0.60$, $N/T = 0.70$. Επιλέξαμε $N/T = 0.50$ θέλοντας να εξασφαλίσουμε όσο το δυνατόν υψηλότερη αντοχή του σκυροδέματος. Ο λόγος $N/T = 0.70$ επιλέχθηκε ως ο μέγιστος επιτρεπόμενος λόγος για την εξασφάλιση της min επιτρεπόμενης αντοχής. Ο λόγος $N/T = 0.60$ αποφασίστηκε για την παρασκευή δοκιμίων ως μία ενδιάμεση τιμή ανάμεσα στις οριακές τιμές των προηγούμενων λόγων. Τα δοκίμιά μας είναι ηλικίας 21 και 60 ημερών και συντηρημένα σε δύο διαφορετικές συνθήκες συντήρησης. Στην υγρή συντήρηση έχουμε ποσοστό υγρασίας 95% ενώ στην ξηρά συντήρησης το ποσοστό υγρασίας είναι 60-65%.

1.2. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι λόγοι διαμορφώθηκαν σε $N/T = 0,50$, $N/T = 0,60$, $N/T = 0,70$.

Για κάθε ένα μίγμα παρασκευάστηκαν 32 κυβικά δοκίμια διαστάσεων $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$.

Για το κάθε μίγμα έχουμε 2 διαφορετικές ηλικίες.

16 δοκίμια ηλικίας 21 ημερών

16 δοκίμια ηλικίας 60 ημερών.

Τα 16 δοκίμια του κάθε μίγματος και κάθε ηλικίας συντηρήθηκαν σε διαφορετικές συνθήκες.

- Ξηρά συντήρηση (περιβάλλον εργαστηρίου 60-65% σχετ. υγρασία)
- Υγρή συντήρηση (θάλαμος 95% σχετ. υγρασία $T=20^\circ\text{C} \pm 2$).

Την 21η και την 60η ημέρα αρχίζουν τα πειράματα της υδαταπορρόφησης, του υδρεμποτισμού και του υδρεμποτισμού κρεμασμένων δοκιμίων (Σχ. 1.2.1.). Επισημαίνεται ότι ο τρόπος προετοιμασίας των δοκιμίων για να υποβληθούν αυτά εν συνεχεία στη δοκιμή υδαταπορρόφησης και υδρεμποτισμού που ακολουθήθηκε στην ερευνητική αυτή εργασία, είναι διαφορετικός απ' εκείνο που συνήθως ακολουθείται σε άλλες σχετικές εργασίες. Στις άλλες ερευνητικές εργασίες επιδιώκεται η ξήρανση των δοκιμίων πριν την υποβολή στις δοκιμές της υδαταπορρόφησης, υδρεμποτισμού και υδρεμποτισμού (κρεμ. δοκ.). Η ξήρανση αυτή γίνεται είτε με ήπια μορφή είτε με σχετικώς έντονο τρόπο (τοποθέτηση σε φούρνο με θερμοκρασία 150°C).

Οι παραπάνω μέθοδοι προετοιμασίας των υλικών και ιδιαίτερα η δεύτερη (105°C) δημιουργεί σοβαρές επιφυλάξεις διότι είναι δυνατόν αν όχι πολύ πιθανόν η δομή του υλικού να αλλάζει σημαντικά με την ξήρανση λόγω απότομης συστολής και των επακόλουθων ρηγματώσεων. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε στην έρευνα αυτή να ακολουθηθεί διαφορετική μέθοδος προετοιμασίας για τα δοκίμια που συντηρήθηκαν σε υγρό περιβάλλον η οποία συνίσταται στην ξήρανση του δοκιμίου στο περιβάλλον του εργαστηρίου για 7-15 μέρες. Αποφασίστηκε επίσης να συμπληρωθεί η εργασία και με δοκιμασία δοκιμίων τα οποία ετίθετο υπό δοκιμή (υδαταπορρόφηση, υδρεμποτισμός), αμέσως μετά την έξοδό τους από το θάλαμο συντήρησης.

Σ' αυτή την περίπτωση αλλά και εν μέρει στην περίπτωση ξήρανσης στο περιβάλλον του εργαστηρίου οι πόροι σκυροδέματος δεν είναι κενοί όπως στην περίπτωση ξήρανσης στο φούρνο και επομένως η διαφορά στη συμπεριφορά του σκυροδέματος στις δοκιμές υδαταπορρόφησης - υδρεμποτισμού είναι ένα από τα αντικείμενα της έρευνας αυτής.

Οι πειραματικές διαδικασίες διαρκούν 24-30 ώρες. Μετά το πέρας των πειραμάτων τα δοκίμια θραύονται σε μηχανή θλίψης (Σχ. 1.2.2.).

Στη συνέχεια θραύονται με σφυρί και καλέμι σε μικρότερα κομμάτια διαμέτρου (1-2cm). Γίνεται επιλογή των πιο κατάλληλων. Πιο κατάλληλα θεωρούνται αυτά που παίρνονται από το εσωτερικό του δοκιμίου και που έχουν το μικρότερο ποσοστό αδρανών. Τα κομμάτια αυτά χρησιμεύουν για τη δοκιμή του πορώδους.

Τα αποτελέσματα φαίνονται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν στο κεφάλαιο του παραρτήματος. Η ανάμιξη των υλικών του σκυροδέματος έγινε σε αναμικτήρα σε 3 φάσεις.

Στην πρώτη φάση προστέθηκαν τα αδρανή με μια μικρή ποσότητα νερού. Στην δεύτερη φάση το υπόλοιπο νερό. Στην τρίτη φάση το τσιμέντο. Τέλος προστέθηκε το ρευστοποιητικό. Σε κάθε φάση έγινε ανάμιξη διάρκειας 1,5 - 2 min.

Πρέπει να τονισθεί ότι η συνολική ποσότητα νερού που προστέθηκε δεν ήταν αυτήν που υπολογίσθηκε από τις αναλογίες σύνθεσης αλλά μια ποσότητα μικρότερη κατά το ποσοστό συμμετοχής του ρευστοποιητικού στο κάθε ανάμιγμα (που χρησιμοποιήθηκε ρευστοποιητικό).

Έτσι εάν $N_{ολ}$ είναι η ποσότητα νερού που προέκυψε από τις αναλογίες σύνθεσης και $N_{χρησ.}$ η ποσότητα νερού που χρησιμοποιήθηκε στην ανάμιξη και $N_{ρευστ.}$ η ποσότητα του ρευστοποιητικού, θα ισχύει η σχέση

$$N_{χρησ.} = N_{ολ} - N_{ρευστ.}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

2.1. ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

- **ΝΕΡΟ**

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των δοκιμών με τους επιθυμητούς κάθε φορά λόγους $\frac{N}{T}$ ήταν το νερό της βρύσης που μετρήθηκε σε ογκομετρικούς σωλήνες στο εργαστήριο.

- **Τσιμέντο**

Χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο τύπου ΙΙ 35.

- **Ρευστοποιητικό**

Χρησιμοποιήθηκε ρευστοποιητικό τύπου CHEM SPL - D" για τα μίγματα με λόγο $N/T = 0,50$, $N/T = 0,60$. Και για τους δύο λόγους χρησιμοποιήθηκε ρευστοποιητικό σε ποσοστό 0,5% του βάρους του τσιμέντου.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε ρευστοποιητικό για τα 16 δοκίμια με λόγο $N/T=0,70$. Το ποσοστό που προστέθηκε προσδιορίστηκε από την ανάγκη του μίγματος ώστε να βρίσκεται στα δυνατά όρια εργασιμότητας.

- **Αδρανή**

Χρησιμοποιήθηκαν ασβεστολιθικά θραυστά αδρανή περιοχής Αττικής.

2.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

Οι ποσότητες των υλικών για την παραγωγή του σκυροδέματος δηλ. οι ποσότητες του νερού, τσιμέντου αδρανών έγινε μετά από επί τόπου υπολογισμούς.

Οι ποσότητες για τους 3 διαφορετικούς λόγους N/T είναι οι εξής:

N/T = 0.50

$$T = 450 \text{ kgr/m}^3$$

$$N = 225 \text{ kgr/m}^3$$

$$\text{Αδρανή} = 1641 \text{ kgr/m}^3$$

Η τελευταία αυτή ποσότητα προέκυψε από την χρήση της θεμελιώδους σχέσης :

$$\frac{T}{\gamma_T} + \frac{N}{\gamma_N} + \frac{A}{\gamma_A} + \alpha = 1 \text{ m}^3 \quad (1)$$

όπου: T = η ποσότητα του τσιμέντου σε kgr/m³

N = η ποσότητα νερού σε kgr/m³ με lt/m³

A = η ποσότητα των αδρανών σε kgr/m³

α = ο όγκος του αέρα που περιέχεται μέσα στο νωπό σκυρόδεμα σε ποσοστό 0,015.

$\gamma_T, \gamma_N, \gamma_A$ = τα ειδικά βάρη του τσιμέντου, του νερού και των αδρανών αντίστοιχα.

Σαν ειδικό βάρος των αδρανών λήφθηκε η τιμή των 2670 kgr/m³ ενώ σαν ειδικό βάρος τσιμέντου 3100 kgr/m³. Το ποσοστό του ρευστοποιητικού που προστέθηκε είναι το 0,5% του βάρους του τσιμέντου.

N/T = 0.60

$$T = 350 \text{ kgr/m}^3$$

$$N = 210 \text{ kgr/m}^3$$

$$A = 1767.80 \text{ kgr/m}^3$$

Η τελευταία αυτή ποσότητα υπολογίσθηκε όπως και προηγουμένως από την εξίσωση (1). Το ποσοστό του ρευστοποιητικού που προστέθηκε είναι το 0.5% του βάρους του τσιμέντου.

N/T = 0.70

$$T = 300 \text{ kgr/m}^3$$

$$N = 210 \text{ kgr/m}^3$$

$$A = 1810.86 \text{ kgr/m}^3$$

Η τελευταία αυτή ποσότητα υπολογίστηκε όπως και προηγουμένως από την εξίσωση (1).

Για όλους τους λόγους N/T το 52% των αδρανών αποτελεί η άμμος και το 48% το γαρμπίλι. Πρέπει να τονισθεί ότι σε όλες τις πιο πάνω ποσότητες υπολογίσθηκε ένα ποσοστό 15% επιπλέον.

2.3. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Για την παρασκευή των κυβικών δοκιμών (10x10x10)cm³ ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία συμπίκνωσης και συντήρησης.

- Έγινε συμπίκνωση κάθε δοκιμίου σε δονητική τράπεζα για 30sec.
- Επιπεδώθηκε η ελεύθερη επιφάνεια με ένα μυστρί.
- Σκεπάστηκαν τα έτοιμα πλέον δοκίμια με πλαστικό κάλυμμα και βρεγμένη λινάτσα έτσι ώστε να αποφευχθεί η εξάτμιση του νερού από την ελεύθερη επιφάνεια των δοκιμών.
- Έγινε προσωρινή φύλαξη των δοκιμών σε σημείο τέτοιο ώστε να υπάρξει προφύλαξη από ακραίες θερμοκρασίες.
- Σε 24 ώρες έγινε το ξεκαλούπωμα των δοκιμών και ο καθαρισμός των μητρών.
- Ακολούθως σημειώθηκαν οι αύξοντες αριθμοί των δοκιμών και μετρήθηκε το βάρος του καθενός απ' αυτά.
- Τα ζυγισμένα και αριθμημένα πλέον δοκίμια φυλάχθηκαν τα μισά σε θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}$) και υγρασίας μεγαλύτερης από 95% (υγρά συντήρηση) και τα υπόλοιπα σε συνθήκες δωματίου (ξηρά συντήρηση) για το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την ημερομηνία που έγινε το ξεκαλούπωμα μέχρι την ημερομηνία έναρξης των πειραμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

3.1. Υδαταπορρόφηση

Τέσσερα (4) κυβικά δοκίμια - διαστάσεων $(10 \times 10 \times 10) \text{cm}^3$ έρχονται σε επαφή με νερό στάθμης 1cm. Η στάθμη του νερού παραμένει για όλη τη διάρκεια του πειράματος σταθερή σ' αυτό το ύψος.

Οι παράπλευρες έδρες του δοκιμίου σκεπάζονται με μονωτική ταινία σε απόσταση 1cm από την πλευρά που έρχεται σε επαφή με το νερό. Μ' αυτό τον τρόπο αναγκάζεται το νερό να υιοθετήσει μια μονοαξονική πορεία και εμποδίζεται η εξάτμιση του νερού από τις πλευρές του δοκιμίου.

Η ποσότητα του απορροφούμενου νερού καθορίζεται από διαδοχικά ζυγίσματα του δοκιμίου τα οποία στην αρχή του πειράματος γίνονται ανά 15-20 min και στην συνέχεια ανά 1h.

Πρέπει να τονίσουμε ότι πριν από κάθε ζύγισμα είναι απαραίτητο να σκουπίζεται η πλευρά του δοκιμίου που έρχεται σε επαφή με το νερό μ' ένα απορροφητικό χαρτί με τον ίδιο κάθε φορά τρόπο. (ακολουθεί σχήμα).

3.2. Υδρεμποτισμός

Έξι (6) κυβικά δοκίμια διαστάσεων $(10 \times 10 \times 10) \text{cm}^3$ εισέρχονται εξ' ολοκλήρου μέσα στο νερό.

Η ποσότητα του απορροφούμενου νερού καθορίζεται από διαδοχικά ζυγίσματα του δοκιμίου τα οποία στην αρχή του πειράματος γίνονται ανά 15-20min και στη συνέχεια ανά 1h.

Πριν από κάθε ζύγισμα σκουπίζονται όλες οι πλευρές του δοκιμίου με απορροφητικό χαρτί. (ακολουθεί σχήμα).

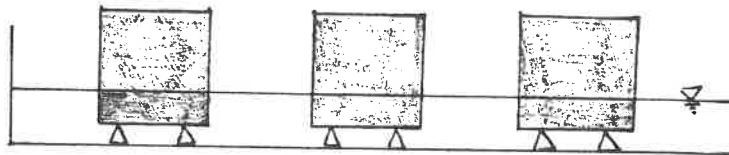
3.3. Υδρεμποτισμός κρεμασμένων δοκιμίων

Τέσσερα (4) κυβικά δοκίμια διαστάσεων $(10 \times 10 \times 10) \text{cm}^3$ δένονται με πλαστικό νήμα και εισέρχονται ολοκληρωτικά μέσα σε μεταλλικό δοχείο γεμάτο με νερό.

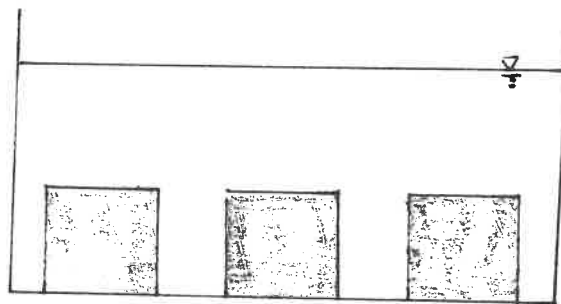
Για τον προσδιορισμό της ποσότητας του απορροφούμενου νερού το προς ζύγιση δοκίμιο κρεμάται με την πετονιά από μια κατάλληλη υποδοχή

της ζυγαριάς που υπάρχει στο κάτω μέρος της, και αναγιγνώσκεται η αντίστοιχη ένδειξη.

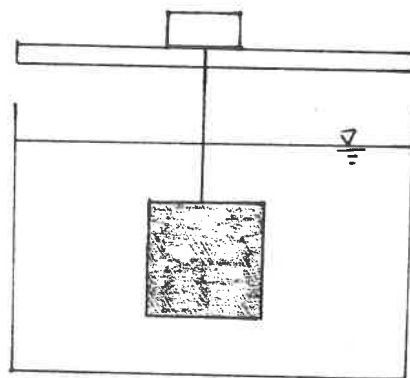
Λόγω της δυσκολίας που παρουσίασε αυτή η πειραματική διαδικασία δεν εφαρμόσθηκε σε όλα τα μίγματα. Τα ζυγίσματα γίνονται και εδώ στην αρχή ανά 15min - 30min και στη συνέχεια ανά 1h.



Υδαταπορρόφηση



Υδρεμποτισμός



Υδρεμποτισμός (κρεμ. δοκ.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

4.1. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται σε υλικά με πορώδη δομή όπως είναι το σκυρόδεμα, ο Hall [3] πρότεινε μοντελοποίηση του φαινομένου της απορρόφησης του νερού στο σκυρόδεμα από μια γραμμική σχέση ανάμεσα στη μάζα του νερού και την τετραγωνική ρίζα του χρόνου. Επίσης έδειξε ότι κάθε υλικό χαρακτηρίζεται από την κλίση της καμπύλης απορρόφησης.

$$m = A \cdot t^{1/2}$$

m: ποσότητα απορροφούμενου νερού (kgr/m²)

t: χρόνος (sec)

A: σταθερά: Ο συντελεστής απορρόφησης του νερού [kgr / (m² • sec^{0,5})].

Ο K. Shonlin [5] πρότεινε επίσης μια σχέση για την ποσότητα του απορροφούμενου νερού

$$W = W_1 \cdot t^n$$

W: η ποσότητα του απορροφούμενου νερού σε χρόνο t.

W₁: η ποσότητα του απορροφούμενου νερού στο τέλος μιας ώρας.

t: ο χρόνος

n: εκθέτης που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της απορρόφησης του υπό μελέτη σκυροδέματος.

Μια άλλη σχέση χρήσιμη στον υπολογισμό του ύψους του νερού μέσα στους τριχοειδείς πόρους δίνεται από τον νόμο του Jurin [6]

$$h = \frac{2\gamma}{dgr} \sigma \nu \varphi$$

h: ύψος νερού μέσα στο τριχοειδές [m]

γ: επιφανειακή τάση [kgr • sec⁻²]

φ: γωνία επαφής

d: πυκνότητα [kgr/m³]

g: συντελεστής βαρύτητας [9,81m/sec²]

r: ακτίνα τριχοειδούς [m].

Η ανύψωση του νερού μέσα σ' ένα τριχοειδές είναι ανάλογη της επιφανειακής τάσεως του υγρού, ανάλογη της γωνίας επαφής και αντιστρόφως ανάλογη της πυκνότητας του υγρού και της διαμέτρου του τριχοειδούς.

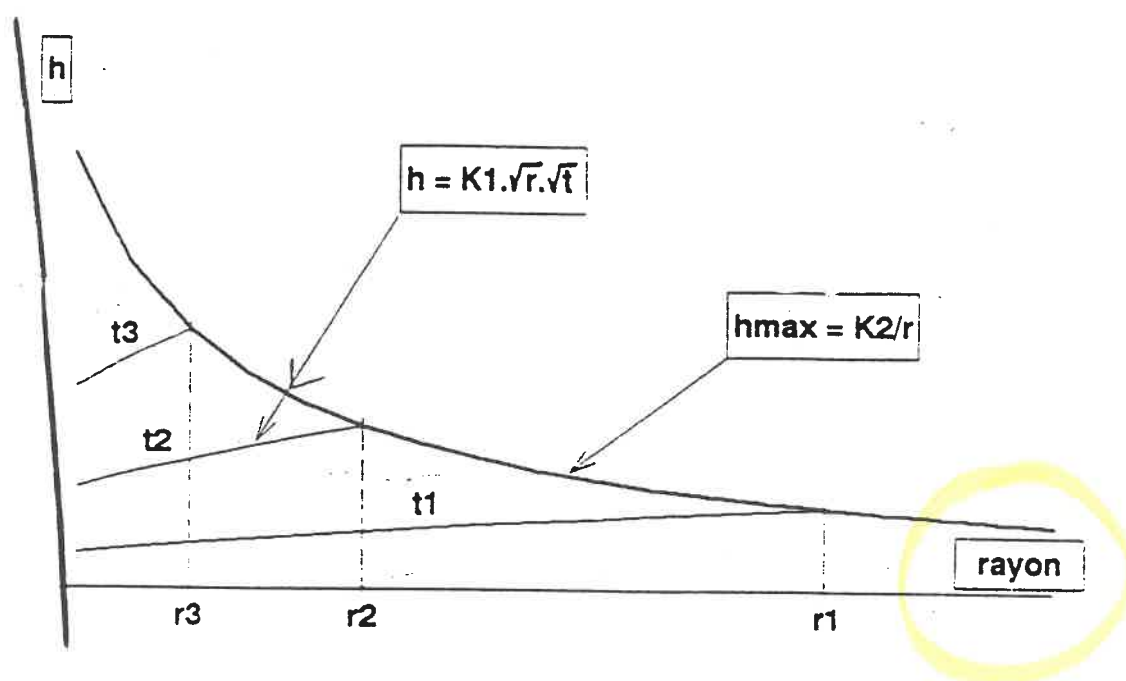
Η πίεση για την οποία η τριχοειδής απορρόφηση σταματά δίνεται από τον τύπο:

$$P_{\max} = \frac{2\gamma \cos \varphi}{r}$$

r : ακτίνα τριχοειδούς

γ : επιφανειακή τάση

φ : γωνία επαφής



Μεταβολή του ύψους του νερού μέσα στα τριχοειδή

Το παραπάνω σχήμα δείχνει ότι στο τέλος του χρόνου t_1 τα τριχοειδή ακτίνας $r > r_1$ δεν απορροφούν πλέον νερό. Στο τέλος του χρόνου $t_2 = t_1 + \Delta t$ όλα τα τριχοειδή ακτίνας μεγαλύτερης από r_2 ($r_2 < r_1$) δεν επηρεάζουν σημαντικά το φαινόμενο της απορρόφησης του νερού. Έτσι συμπεραίνουμε ότι η πλήρωση ενός τριχοειδούς είναι πιο σύντομη όσο πιο μεγάλη είναι η διάμετρος των πόρων.

4.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.2.1. Σχολιασμός διαγραμμάτων υδατ/τας χρόνου

Τα πειραματικά αποτελέσματα της απορρόφησης του νερού φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν και παρουσιάζουν το ποσοστό του απορροφούμενου νερού από τα δοκίμια του σκυροδέματος σε συνάρτηση με τον χρόνο.

Επειδή όμως είναι γνωστό όπως παρουσιάστηκε παραπάνω ότι η απορροφητικότητα του νερού είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου ($\sqrt{t}$), γι' αυτό η κλίμακα του χρόνου είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του t και όχι γραμμική.

Όταν γίνεται σύγκριση σκυροδεμάτων με διαφορετικούς λόγους Ν/Τ έχουμε μεταβολή της ποσότητας του τσιμεντοπολτού μεταξύ των μιγμάτων με διαφορετικό Ν/Τ. Επειδή δε η ποσότητα του νερού που προσροφάται ή απορροφάται είναι συνάρτηση της ποσότητας του τσιμεντοπολτού και όχι των αδρανών τα οποία έχουν πολύ μικρή απορροφητικότητα η σύγκριση των διαφόρων μιγμάτων μεταξύ τους πρέπει να γίνεται με αναγωγή των μετρήσεων στην περιεχόμενη εκάστοτε ποσότητα τσιμεντοπολτού μέσα στο δοκίμιο.

Η αναγωγή γίνεται βάσει του τύπου

$$Y_p = \frac{Y_m - \alpha \cdot Y_a}{b}$$

$$Y_p: \text{υδατ/τα τσιμεντοπολτού} \quad \text{για } \frac{N}{T} = 0,50 \quad \frac{\alpha}{b} = 1,681$$

Y_m : ολική υδατ/τα

$$Y_a: \text{υδατ/τα αδρανών} = 1 \quad \text{για } \frac{N}{T} = 0,60 \quad \frac{\alpha}{b} = 2,096$$

$$\alpha = \frac{V_a}{V_{\alpha l}} \quad \text{για } \frac{N}{T} = 0,70 \quad \frac{\alpha}{b} = 2,268$$

α) Σκυρόδεμα (Σχ. 4.1. ÷ 4.12.)

Απ' αυτά τα διαγράμματα μπορούμε να δούμε την επιρροή που έχει ο τρόπος συντήρησης στα αποτελέσματά μας. Συγκρίνοντας τον ίδιο λόγο Ν/Τ συμπεραίνουμε ότι υπάρχει διαφορά στην υδαταπορροφητικότητα ανάμεσα στην υγρή και την ξηρά συντήρηση.

Είναι εμφανές ότι το ποσοστό νερού που απορροφάται στην υγρή συντήρηση είναι μικρότερο από το ποσοστό νερού που απορροφάται στην ξηρά.

Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι τα δοκίμια στην υγρή συντήρηση αφέθηκαν να ξηρανθούν στο περιβάλλον του εργαστηρίου 7-15 ημέρες. Επομένως ένα μεγάλο ποσοστό των πόρων είναι πάλι γεμάτο με νερό.

Για να γίνει σωστή σύγκριση θα έπρεπε τα δοκίμια και των δύο μεθόδων συντήρησης να ξηρανθούν μέχρι σταθερού βάρους και μετά να υποστούν την δοκιμή προσρόφησης και υδρεμποτισμού. Εν τούτοις αυτή η ξήρανση όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως μπορεί να δημιουργήσει αλλοιώσεις στη δομή του σκυροδέματος και δεν αποτελεί αντικείμενο της εργασίας μας.

Επεκτείνοντας τα εργαστηριακά μας συμπεράσματα στην πράξη θεωρούμε σκόπιμο να αναφερθούμε στις κατασκευές και να επισημάνουμε το πόσο σημαντικός είναι ο τρόπος συντήρησης του σκυροδέματος στην καλή κατάσταση της κατασκευής.

Αυτό σημαίνει μικρότερο ποσοστό ρωγματώσεων και τριχοειδών πόρων και κατά συνέπεια τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα του σκυροδέματος, και την προστασία των οπλισμών από διάβρωση.

Εξαίρεση εδώ παρουσιάζεται στα διαγράμματα (Σχ. 4.2., 4.6.) της υδαταπορρόφησης, και του υδρεμποτισμού των δοκιμίων ηλικίας 21 ημερών που συντηρήθηκαν σε υγρό περιβάλλον.

β) Μετρήσεις ανηγμένες στην περιεχόμενη ποσότητα τσιμεντοπολτού (Σχ. 4.13. ÷ 4.24.)

ι) Υδαταπορρόφηση (Σχ. 4.13. ÷ 4.16.)

Η υδαταπορροφητικότητα παρουσιάζεται αυξημένη στο λόγο $N/T = 0.50$ σε σχέση με τους λόγους $N/T = 0.60$, $N/T = 0.70$. Στον λόγο $N/T = 0.50$ οι πόροι που είναι ελεύθεροι από νερό, είναι αυτοί με την μικρότερη διάμετρο. Επίσης λόγω της φύσης του πειράματος είναι εύκολη η δυνατότητα διαφυγής του αέρα επομένως έχουμε εύκολη και ταχεία πλήρωση των πόρων με μικρή διάμετρο, από νερό, που εκφράζεται με τις καμπύλες υδαταπορροφητικότητας που φαίνονται στα διαγράμματα.

ii) Υδρεμποπισμός (Σχ. 4.17. ÷ 4.20.)

Θα περιμέναμε τα ίδια αποτελέσματα μ' αυτά της υδαταπορρόφησης. Αντιθέτως εδώ η υδαταπορροφητικότητα παρουσιάζεται αυξημένη στον λόγο $N/T=0.70$ και ακολουθεί η υδαταπορροφητικότητα για λόγο $N/T=0.60$ και τέλος μικρότερες είναι οι τιμές της υδαταπορροφητικότητας για λόγο $N/T = 0.50$.

Η ερμηνεία που δόθηκε σ' αυτή την περίπτωση έχει να κάνει και πάλι με την φύση του πειράματος και τις συνθήκες που επικρατούν.

Στον υδρεμποτισμό τα δοκίμια βρίσκονται μέσα στο νερό επομένως η δυνατότητα διαφυγής του αέρα από τους πόρους λόγω της πίεσης του νερού είναι πιο εύκολη στους πόρους με μεγαλύτερη διάμετρο. Είναι αυτοί λοιπόν που θα κορεσθούν πρώτοι. Όπως γνωρίζουμε το ποσοστό πόρων με μεγαλύτερη διάμετρο βρίσκεται στα αναμίγματα με μεγαλύτερους λόγους N/T .

iii) Υδρεμποπισμός (κρεμ. δοκιμίων) (Σχ. 4.21. ÷ 4.24.)

Τα αποτελέσματα του υδρεμποτισμού (κρεμ. δοκιμίων) δεν θεωρούνται ακριβή λόγω των δυσκολιών που αντιμετωπίστηκαν κατά την πειραματική διαδικασία (δυσκολία ανάγνωσης βάρους δοκιμίων κ.λπ.) γι' αυτό και θα αποφευχθεί οποιοσδήποτε σχολιασμός.

4.2.2. Σχολιασμός διαγραμμάτων, υδατ/τας - πορώδους (Σχ. 4.25. ÷ 4.32.)

Τα διαγράμματα έγιναν ξεχωριστά για τα πειράματα της υδαταπορρόφησης, υδρεμποτισμού, υδρεμποτισμού (κρεμ. δοκ.). Το κάθε διάγραμμα αναφέρεται σε δοκίμια 21 και 60 ημερών με λόγους $N/T = 0.50$, 0.60 , 0.70 . Ο σχεδιασμός των διαγραμμάτων έχει γίνει σύμφωνα με τον τρόπο συντήρησης των δοκιμίων δηλ. για υγρή και ξηρά συντήρηση. Τα διαγράμματα φαίνονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

• Υγρή συντήρηση

Σ' αυτά τα διαγράμματα παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ υδατ/τας πορώδους. Τόσο στο Σχ. 4.32. όπου παρουσιάζονται όλα τα δοκίμια όσο και στα Σχ. 4.26., 4.28., όπου παρουσιάζεται το κάθε πείραμα ξεχωριστά δεν μπορούμε να καταλήξουμε σ' ένα ακριβές συμπέρασμα.

Η δυσκολία αποδίδεται στο ότι στην υγρή συντήρηση οι περισσότεροι πόροι είναι ήδη γεμάτοι με νερό.

Υπενθυμίζουμε ότι τα δοκίμια που συντηρήθηκαν σε υγρό περιβάλλον έβγαιναν στο περιβάλλον του εργαστηρίου 15 ημέρες πριν την έναρξη των πειραμάτων.

- **Ξηρά συντήρηση**

Σ' αυτά τα διαγράμματα παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ υδατ/τας πορώδους. Τόσο στο σχ. 4.31. όπου παρουσιάζονται όλα τα δοκίμια όσο και στα σχ. 4.25., 4.27. όπου παρουσιάζεται το κάθε πείραμα ξεχωριστά φαίνεται η αύξηση της υδατ/τας συναρτήσει του πορώδους. Επαληθεύεται εδώ η θεωρία της απορρόφησης του νερού από πορώδη μέσα που αναφέρθηκε πιο πάνω.

Δηλ. τα δοκίμια με λόγο $N/T = 0.50$ έχουν το μικρότερο αριθμό και διάμετρο πόρων επομένως απορροφούν και το μικρότερο ποσοστό νερού. Ακολουθούν τα δοκίμια με λόγο $N/T = 0.60$ και τέλος παρατηρούμε ότι τα δοκίμια με λόγο $N/T = 0.70$ έχουν το μεγαλύτερο πλήθος και μέγεθος πόρων.

4.2.3. Σχολιασμός διαγραμμάτων Αντοχής - Πορώδους (Σχ. 4.34. ÷ 4.35.)

Γίνεται εύκολα αντιληπτό από τα διαγράμματα ότι η σχέση αντοχής - πορώδους είναι αντιστρόφως ανάλογη. Τα δοκίμια με μεγαλύτερο πορώδες είναι αυτά που υστερούν σε αντοχή και αντιστρόφως.

Εδώ πρέπει να πούμε ότι εκτός απ' ότι το πορώδες είναι μεγαλύτερο όσο έχουμε αύξηση του λόγου N/T , είναι μεγαλύτερο και για τον ίδιο λόγο N/T στην ξηρά συντήρηση απ' ότι στην υγρή γεγονός που επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα της παρ. 4.2.1.

Αυτό γίνεται γιατί στην υγρή συντήρηση:

- α) Οι πόροι είναι εν μέρει κορεσμένοι και επομένως η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι πιο προχωρημένη με συνέπεια τα τριχοειδή να έχουν γίνει μικρότερα.
- β) Δεν έχουμε ρωγματώσεις λόγω συστολής ξήρανσης. Γι' αυτά τα διαγράμματα έχει σχεδιασθεί προσεγγιστικά η ευθεία παλινδρόμησης.

Στα διαγράμματα αντοχής - πορώδους για υγρή και ξηρά συντήρηση η κλίση της ευθείας παλινδρόμησης είναι ίδια, αυτό σημαίνει ότι η σχέση αντοχής - πορώδους είναι ανεξάρτητη από τον τρόπο συντήρησης. Πράγμα που θα έπρεπε να αναμένεται διότι η επίδραση της συντήρησης στο πορώδες και στην αντοχή έχει τις ίδιες συνέπειες (ρωγμάτωση, βαθμός ενυδάτωσης κ.λπ.).

4.2.4. Σχολιασμός διαγραμμάτων κλίσης αντοχής (Σχ. 4.36. ÷ 4.38.)

Δεδομένου όπως αποδείχθηκε παραπάνω ότι το πορώδες εξαρτάται άμεσα από την υδαταπορροφητικότητα στην υδαταπορρόφηση ή στον υδρεμποτισμό και δεδομένου επίσης ότι η αντοχή έχει άμεση σχέση με το πορώδες αναμένεται κάποια σχέση ανάμεσα στην αντοχή και τα χαρακτηριστικά των καμπυλών υδαταπορρόφησης και υδρεμποτισμού. Ως πλέον κατάλληλο χαρακτηριστικό των καμπυλών αυτών θεωρήθηκε η κλίση της εφαπτόμενης ευθείας της καμπύλης του διαγράμματος (στην αρχή) για $t=0$ που πρακτικά συμπίπτει με την ευθεία του διαγράμματος που αντιστοιχεί στην τιμή της πρώτης μέτρησης.

Η κλίση αυτή δίνει τον ρυθμό πρόσληψης ύδατος από τα δοκίμια και επομένως πρέπει να είναι συνάρτηση της κατανομής των πόρων του τσιμεντοπολτού. Σ' αυτά τα διαγράμματα φαίνεται η σχέση ανάμεσα στην αντοχή και την κλίση που όμως δεν έχει αναχθεί στον τσιμεντοπολτό.

Ο μη σαφής σχολιασμός των διαγραμμάτων κλίσης - αντοχής οφείλεται στο ότι δεν έχουμε ακρίβεια παίρνοντας την κλίση σ' ένα σημείο.

• Υδαταπορρόφηση

i) Δοκίμια ηλικίας 21 ημερών (Σχ. 4.36.α ÷ 4.36.β)

Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι έχουμε αύξηση της κλίσης σε συνάρτηση με αύξηση της αντοχής και για τους δύο τρόπους συντήρησης. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα αυτά με τα διαγράμματα (Σχ. 4.1. ÷ 4.2.) υδατ/τας - χρόνου διαπιστώνουμε ότι:

- α) για την υγρή συντήρηση υπάρχει συμφωνία στα δύο διαγράμματα δηλ. η κλίση για τα δοκίμια με λόγο $N/T = 0.50$ είναι μεγαλύτερη από την κλίση των δοκιμίων με λόγο $N/T = 0.70$.
- β) για την ξηρά συντήρηση τα αποτελέσματα μας έρχονται σε αντίθεση. Η κλίση είναι μικρότερη για τα δοκίμια με λόγο $N/T = 0.50$ από την κλίση των δοκιμίων με λόγο $N/T = 0.70$.

iii) Δοκίμια ηλικίας 60 ημερών (Σχ.4.36.γ ÷ 4.36.δ)

Εδώ τα διαγράμματα κλίσης - αντοχής έρχονται σε αντίθεση με τα διαγράμματα υδατ/τας - χρόνου (η κλίση των διαγραμμάτων στα δοκίμια με λόγο $N/T = 0.70$ είναι μεγαλύτερη απ' την κλίση των διαγραμμάτων των δοκιμίων με λόγο $N/T = 0.50$). Δηλ. έχουμε αύξηση της κλίσης με αύξηση της αντοχής. Στην υγρή συντήρηση (Σχ. 4.36δ) έχουμε αύξηση

της κλίσης για μείωση της αντοχής. Υπάρχει δηλ. συμφωνία με το αντίστοιχο διάγραμμα υδατ/τας χρόνου (Σχ. 4.4.).

- **Υδρεμποπισμός**

- i) **Δοκίμια ηλικίας 21 ημερών (Σχ. 4.37α ÷ 4.37β)**

Ισχύει ότι και στην υδαταπορρόφηση.

- ii) **Δοκίμια ηλικίας 60 ημερών (Σχ. 4.37γ ÷ 4.37δ)**

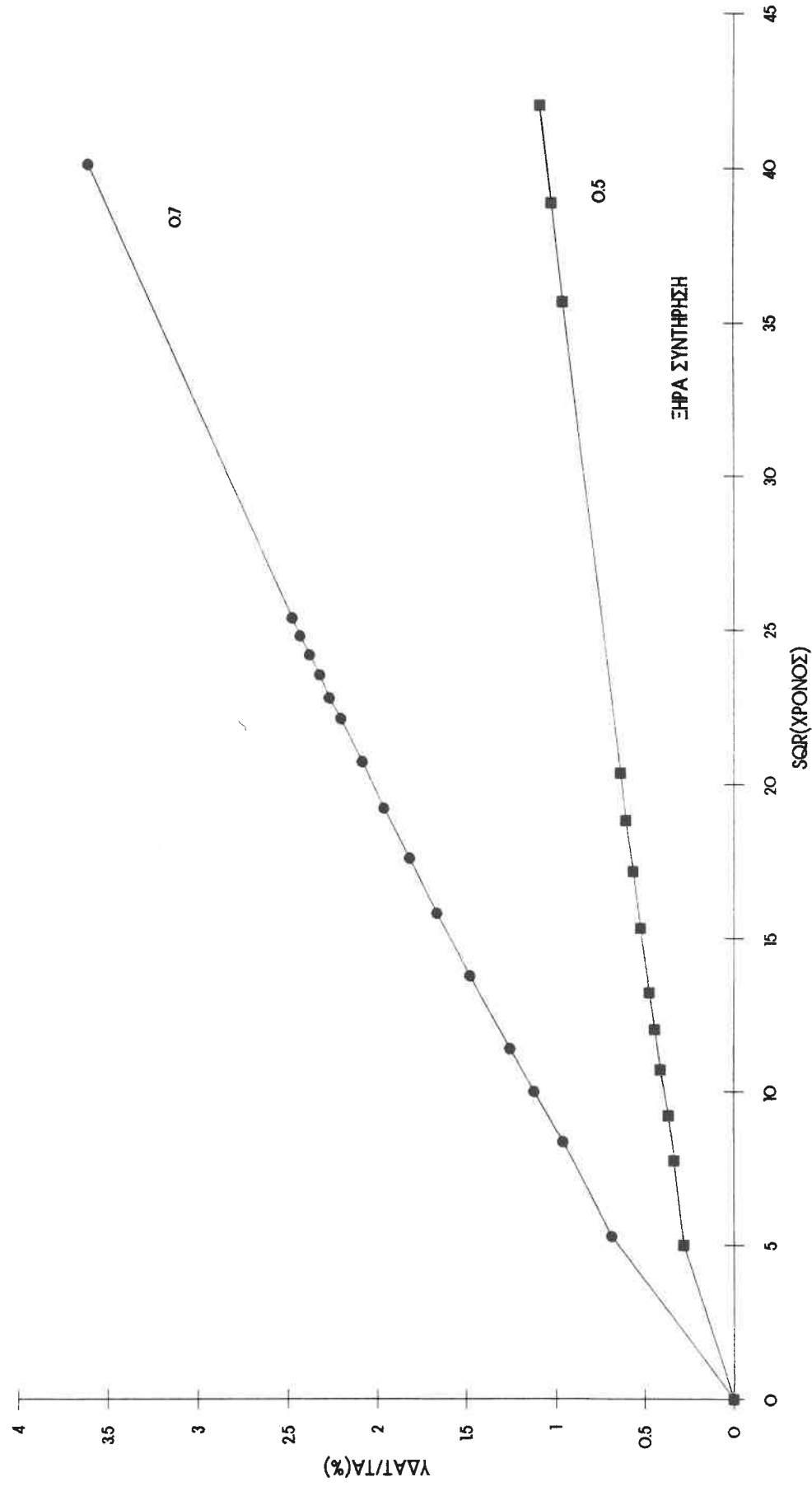
Παρατηρείται αύξηση της αντοχής με ταυτόχρονη μείωση της κλίσης. Έχουμε δηλ. συμφωνία με τα διαγράμματα της υδατ/τας χρόνου. (Σχ. 4.7. ÷ 4.8.).

- **Υδρεμποπισμός (κρεμ. δοκ.)**

Αποφεύγεται ο σχολιασμός.

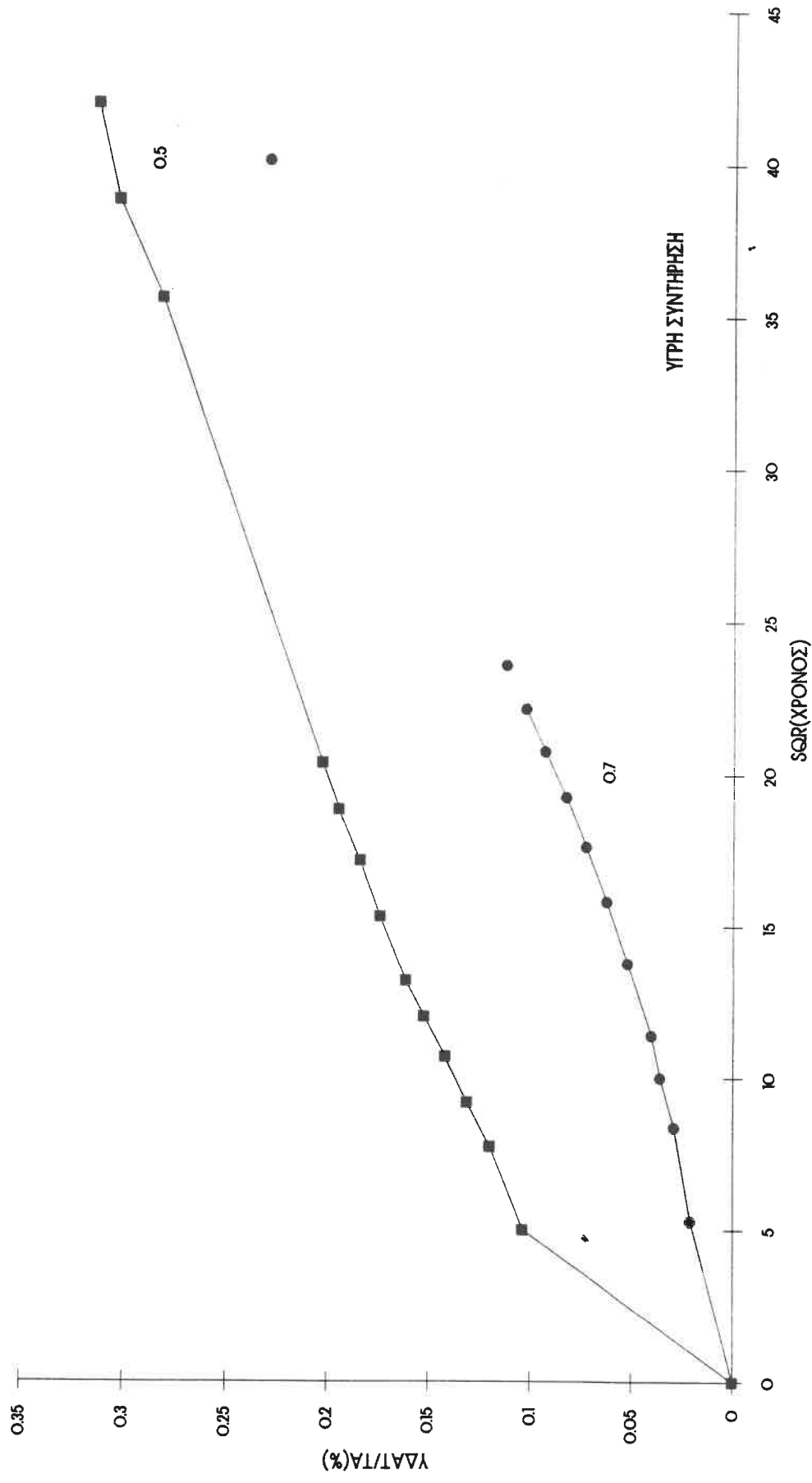
Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι λόγω του μη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων των διαγραμμάτων κλίσης - αντοχής θεωρούμε σκόπιμο να γίνει επανάληψη των μετρήσεων.

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0,50,0,60,0,70



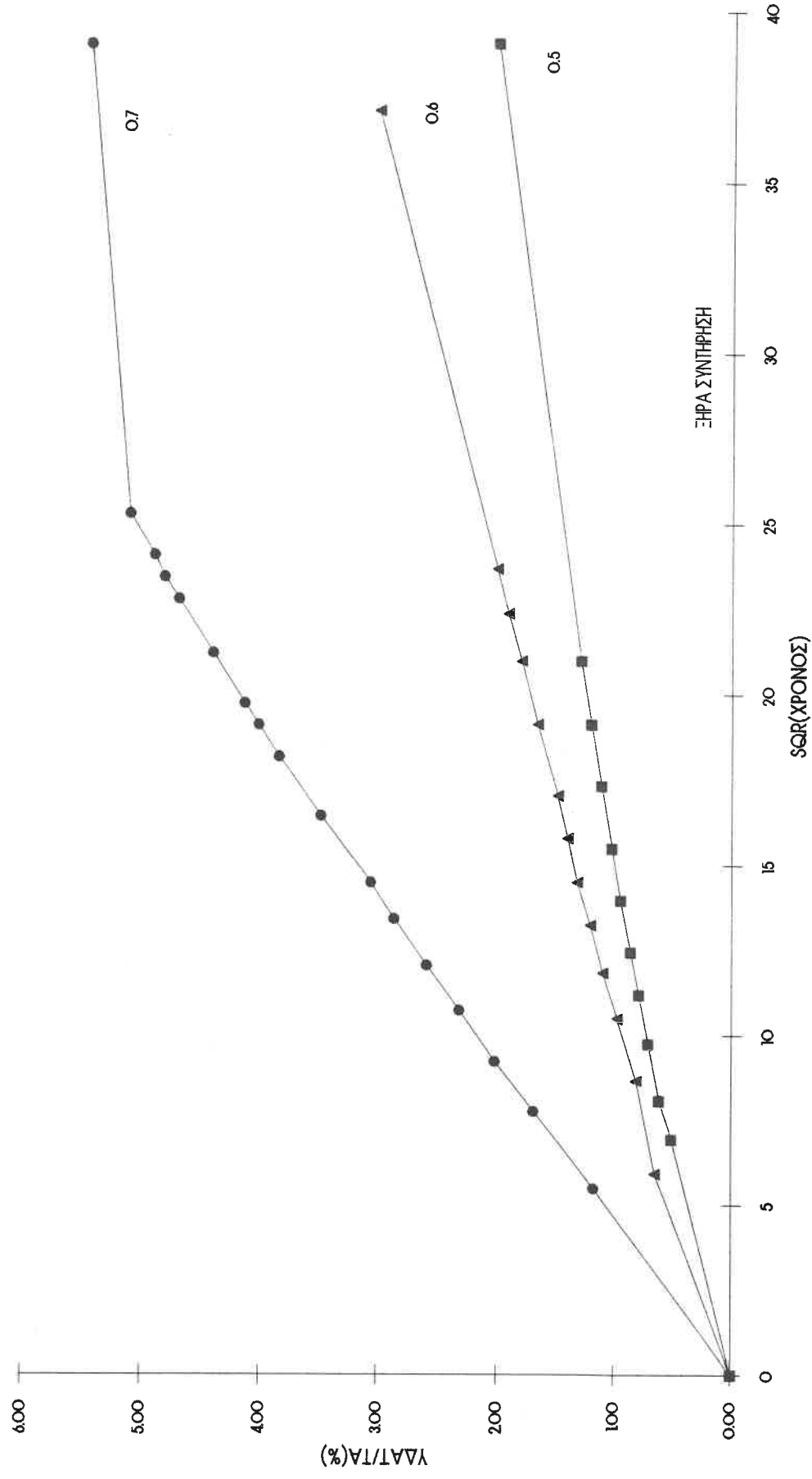
Σχ. 4.1 Υδαταπορροφητικότητα σκυροδέματος συναρτήσει τετ ραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ $N/T=0.50, 0.70$



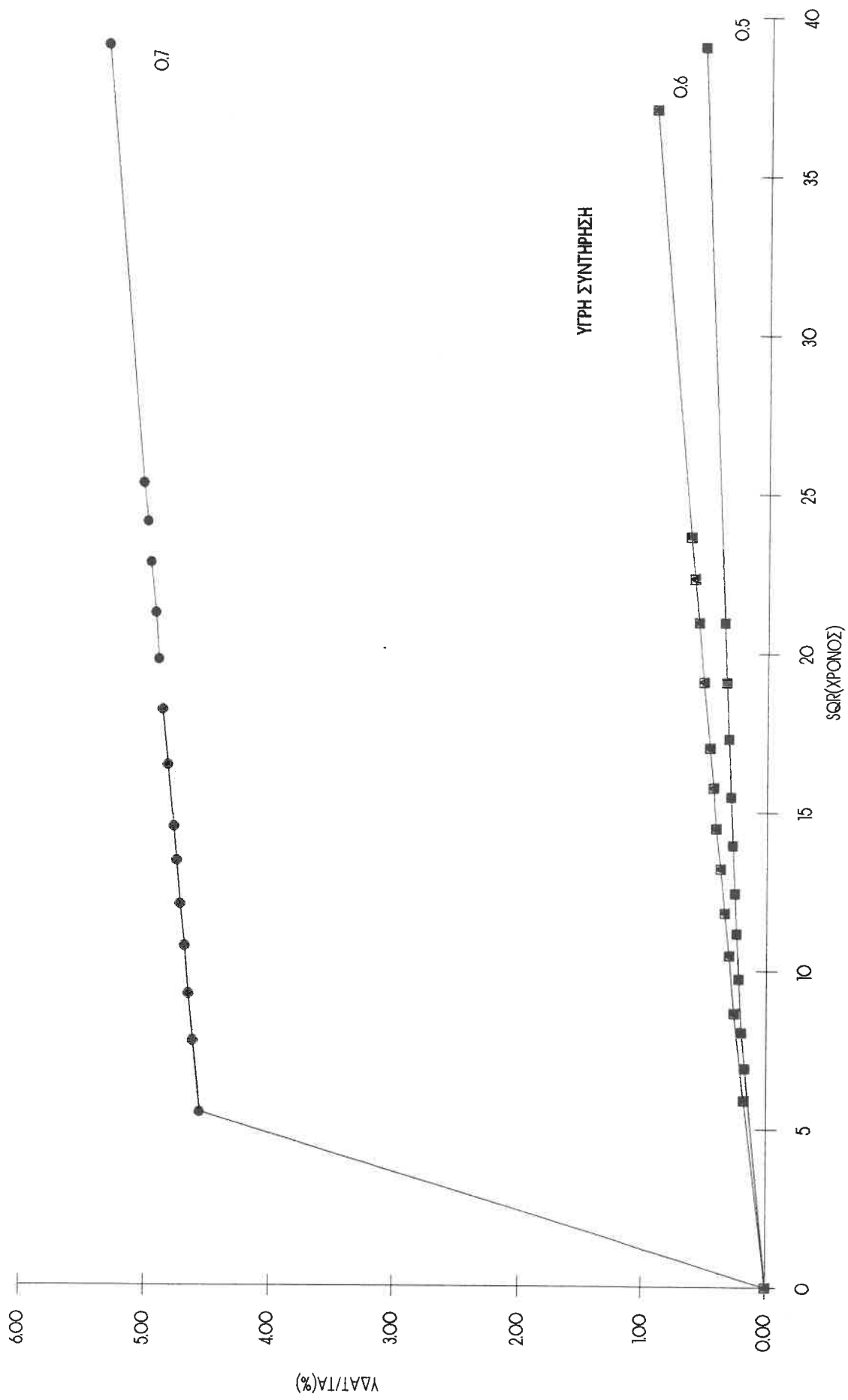
Σχ. 4.2 Υδατορροφητική στα σκυροδέματα με $N/T=0.50$ και $N/T=0.70$

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,50,0,60,0,70



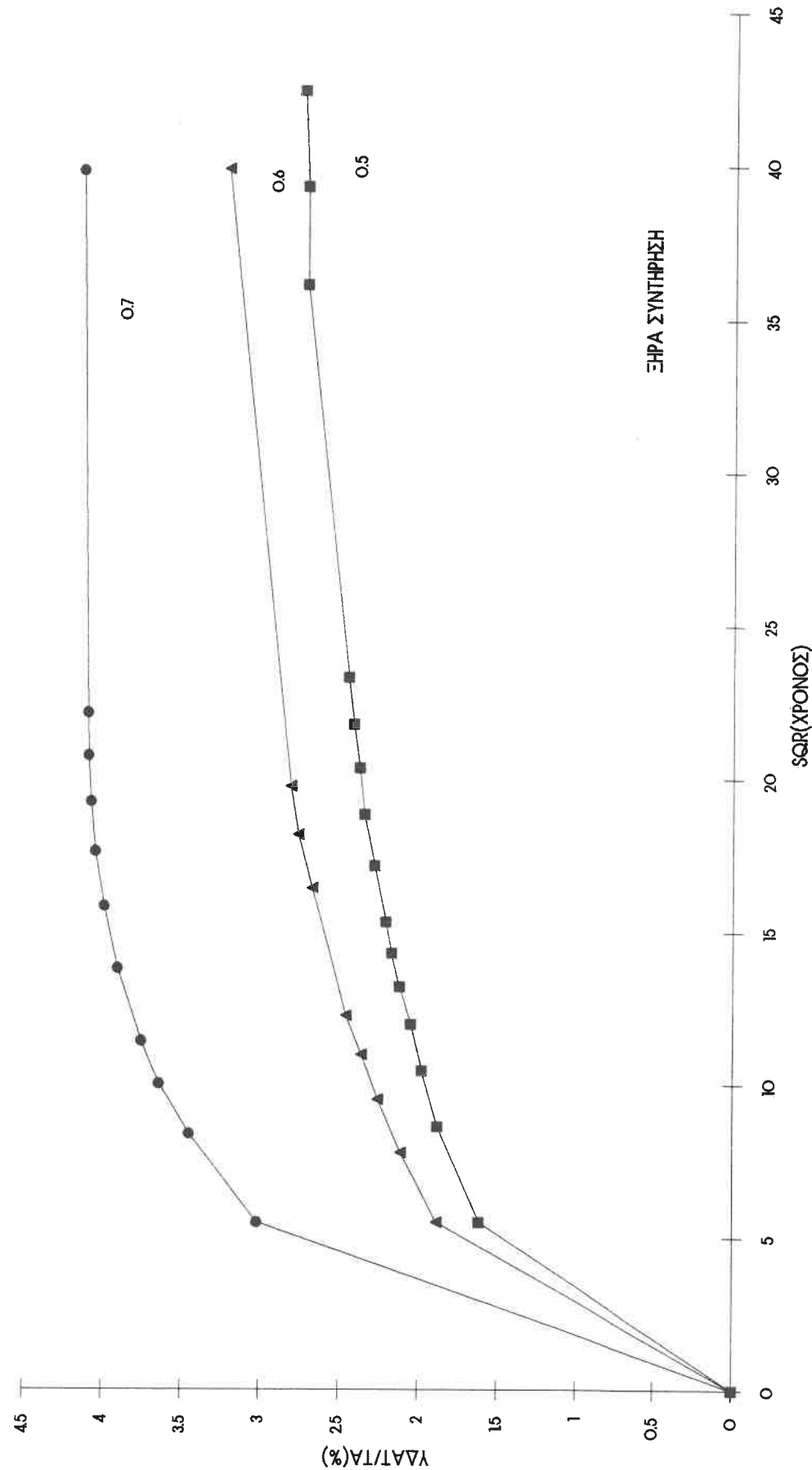
Σχ. 4.3 Υδατορροφητικότητα σκυροδέματος συναρτήσει παραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,50,0,60,0,70



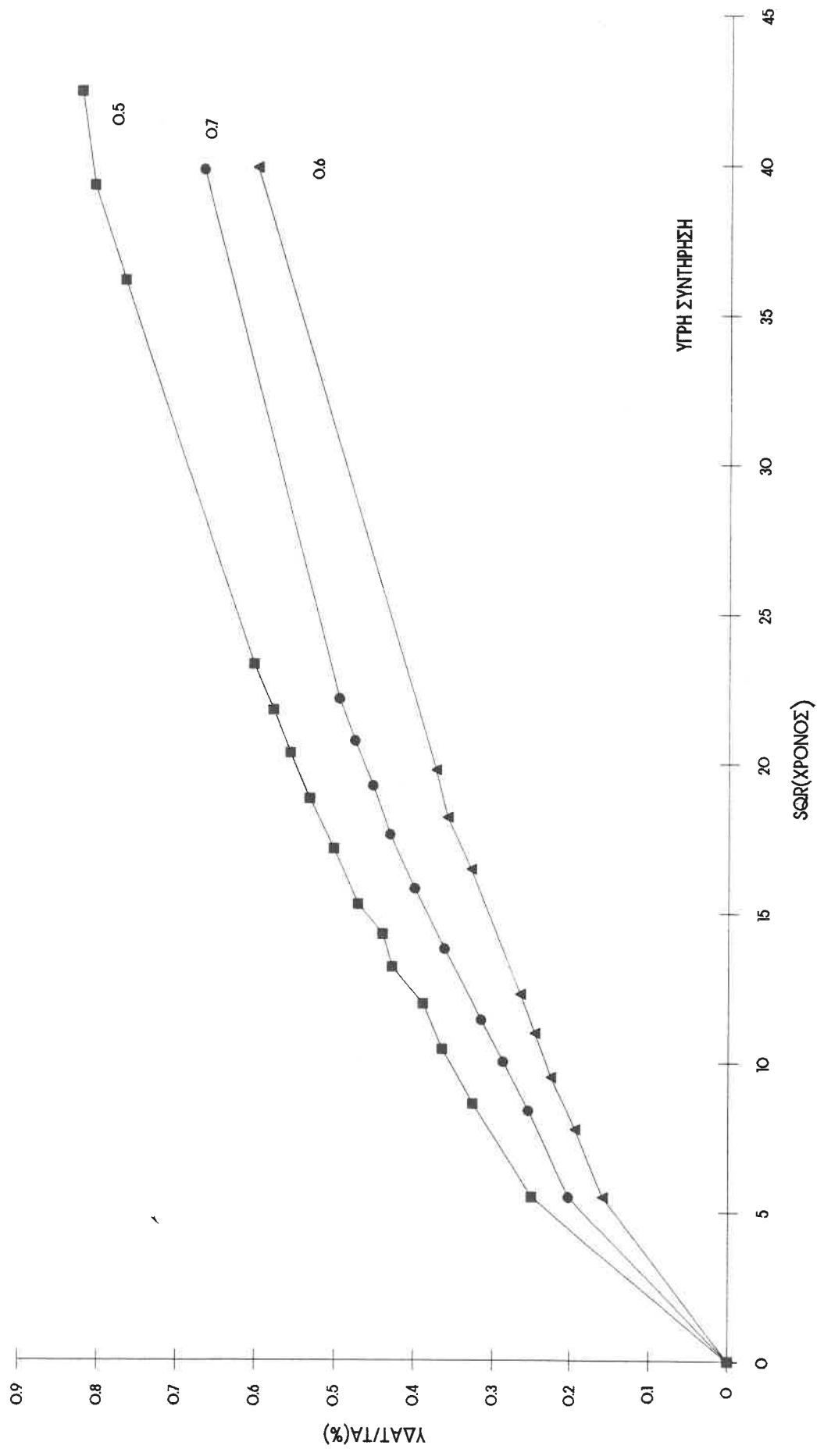
Σχ. 4.4 Υδατοπορροφητικότητα σκυροδέματος συναρτήσει παραγωγικής ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,50,0,60,0,70



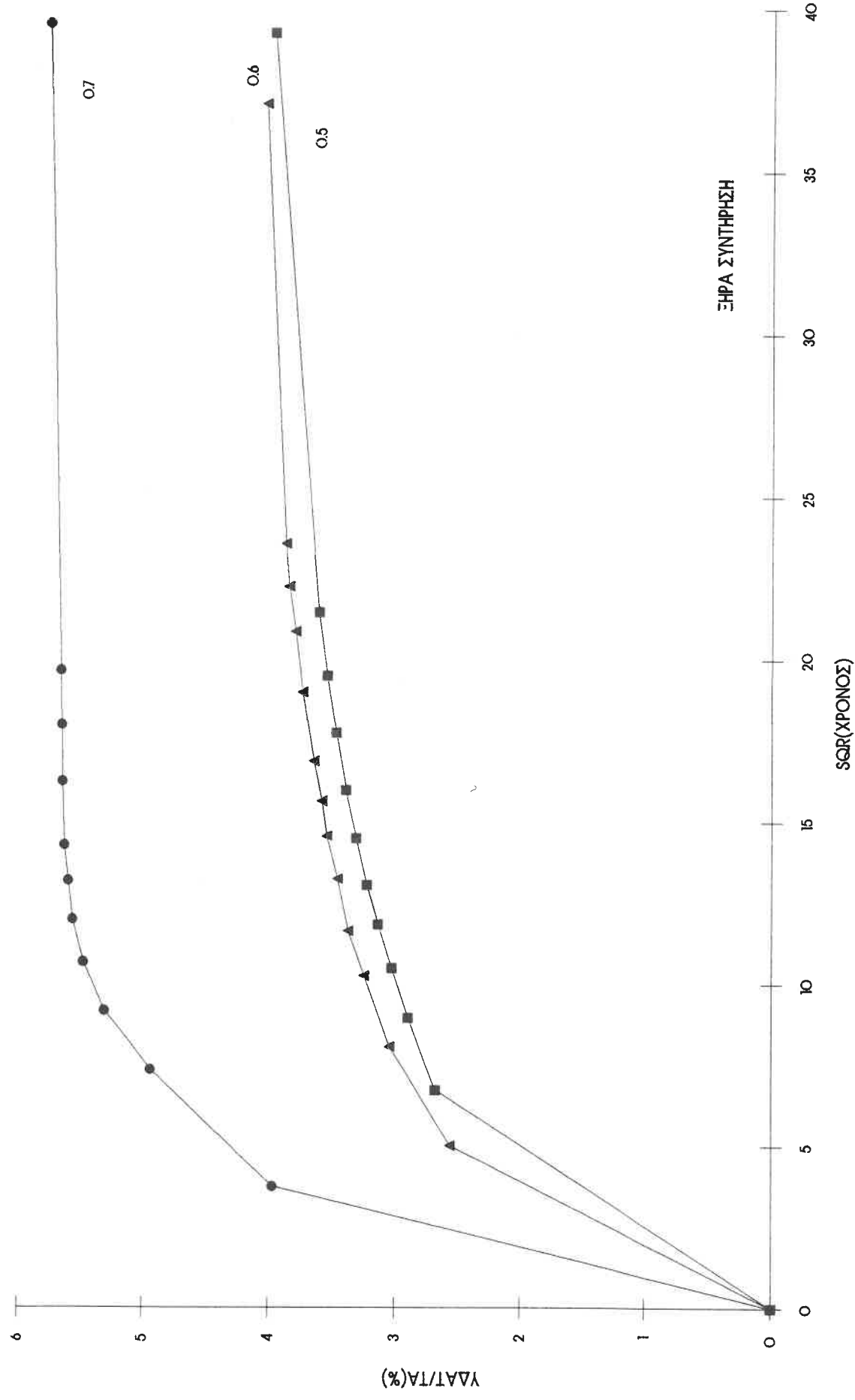
Σχ. 4.5 Υδατορροφητικότητα σκυροδέματος συναρτήσει τετραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,50,0,60,0,70



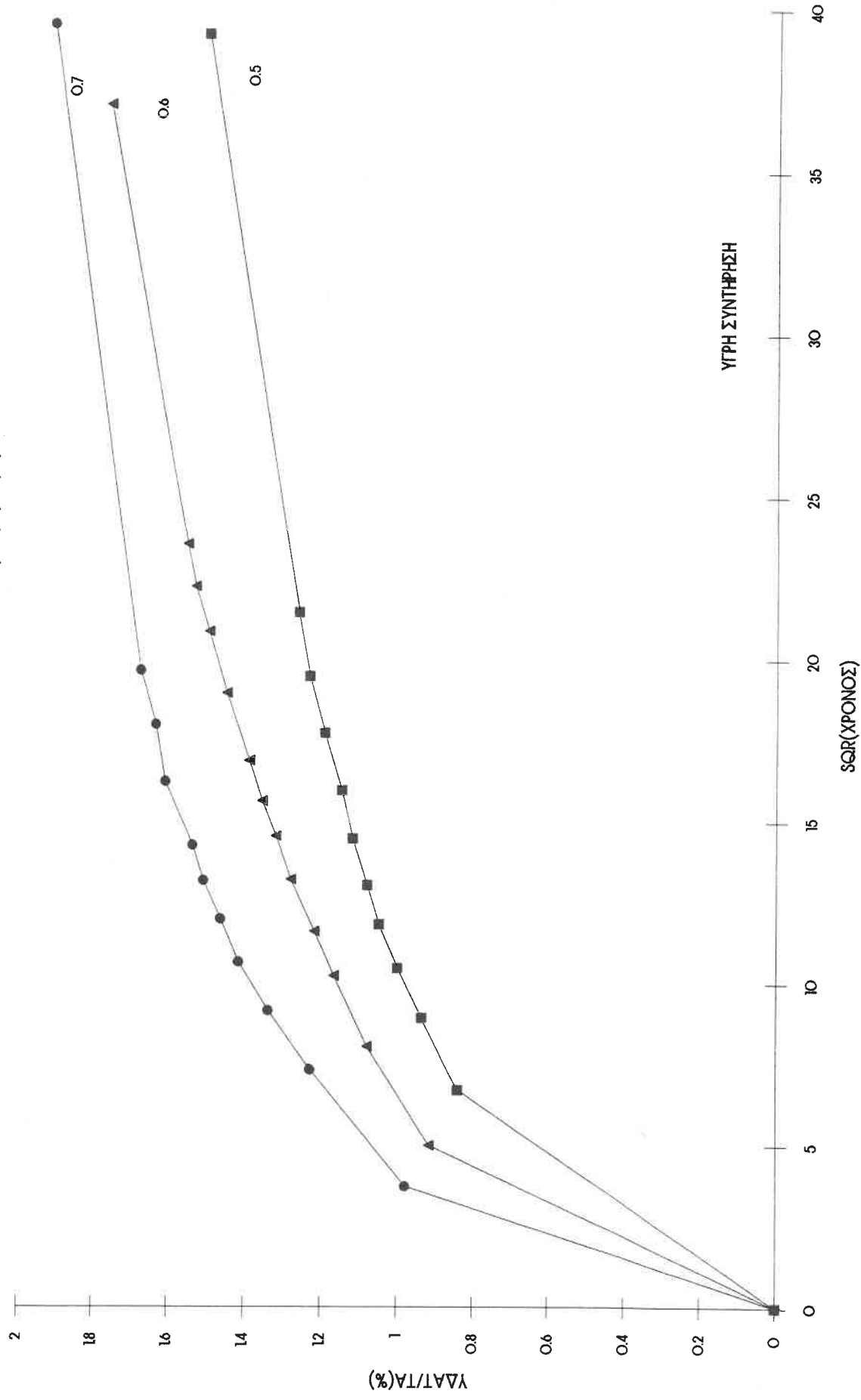
Σχ. 4.6 Υδατορροφητικότητα σκυροδέματος συναρτήσει τετραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.50,0.60,0.70



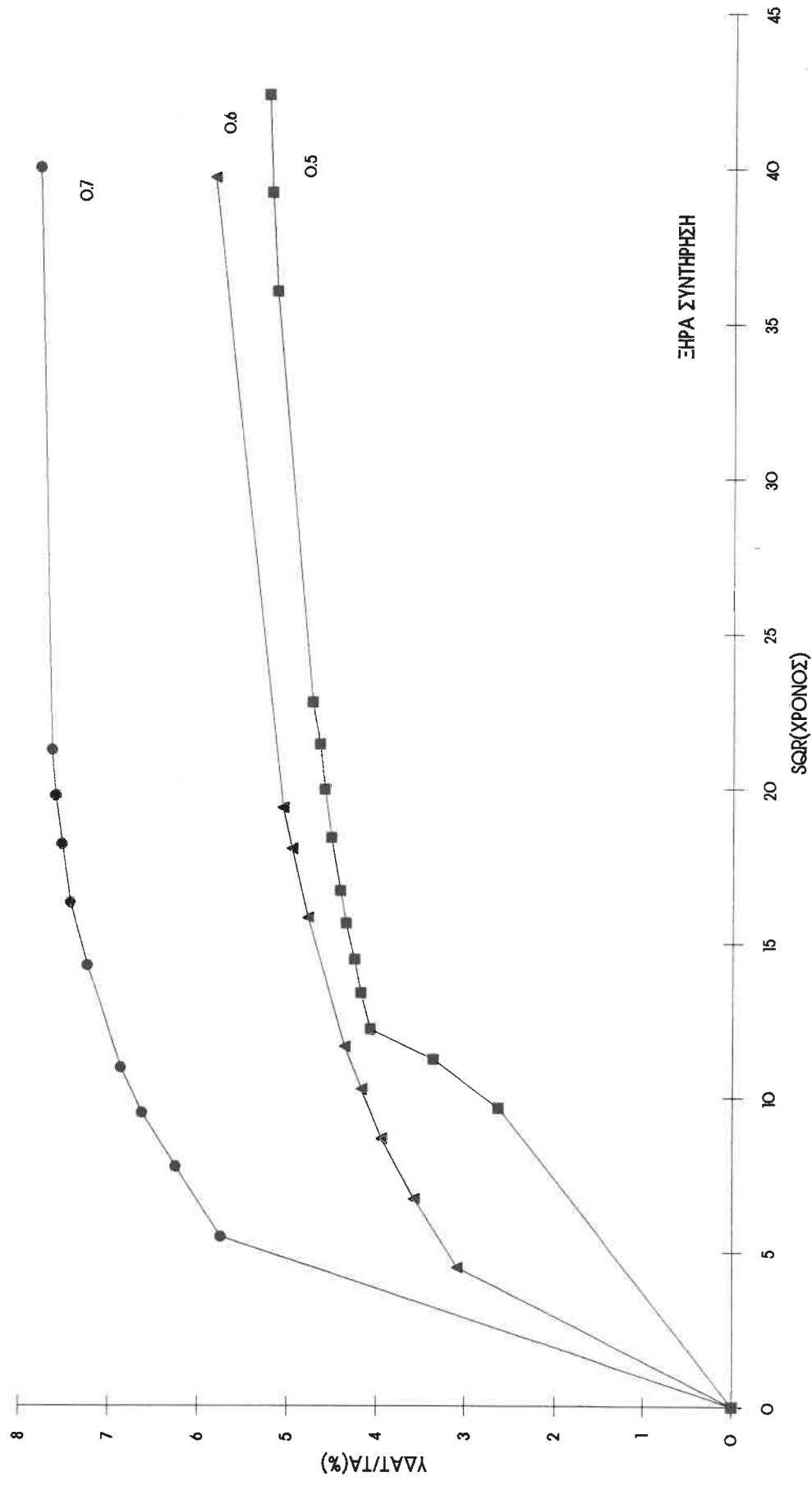
Σχ. 4.7 Υδατορροφητικότητα σκυροδέματος συναρτήσει τετραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΤΟΤΗΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,50,0,60,0,70



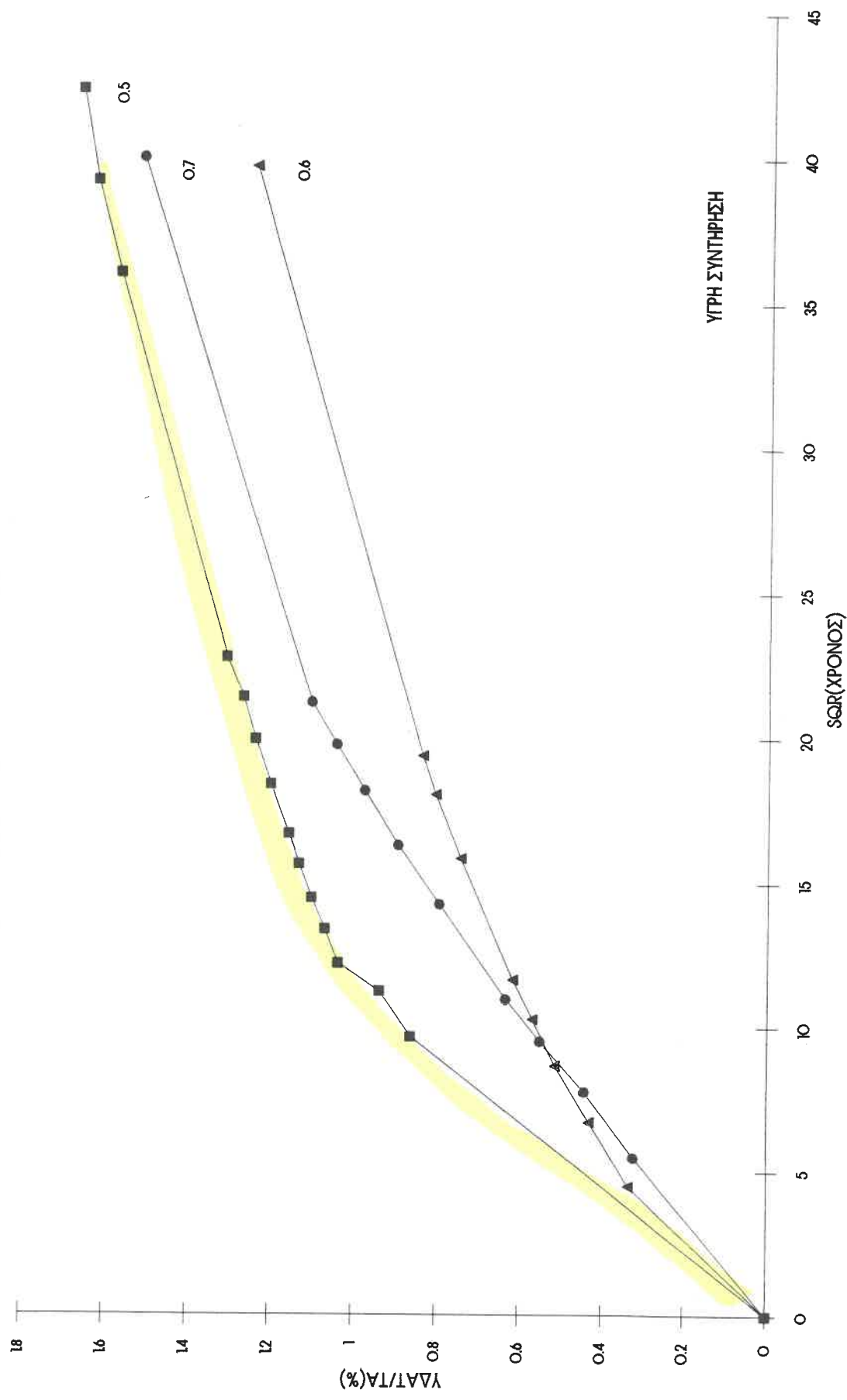
Σχ. 4.8 Υδατορροφητικότητα σκυροδέματος συναρτήσει ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ(κρεμδοκ) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,50,0,60,0,70



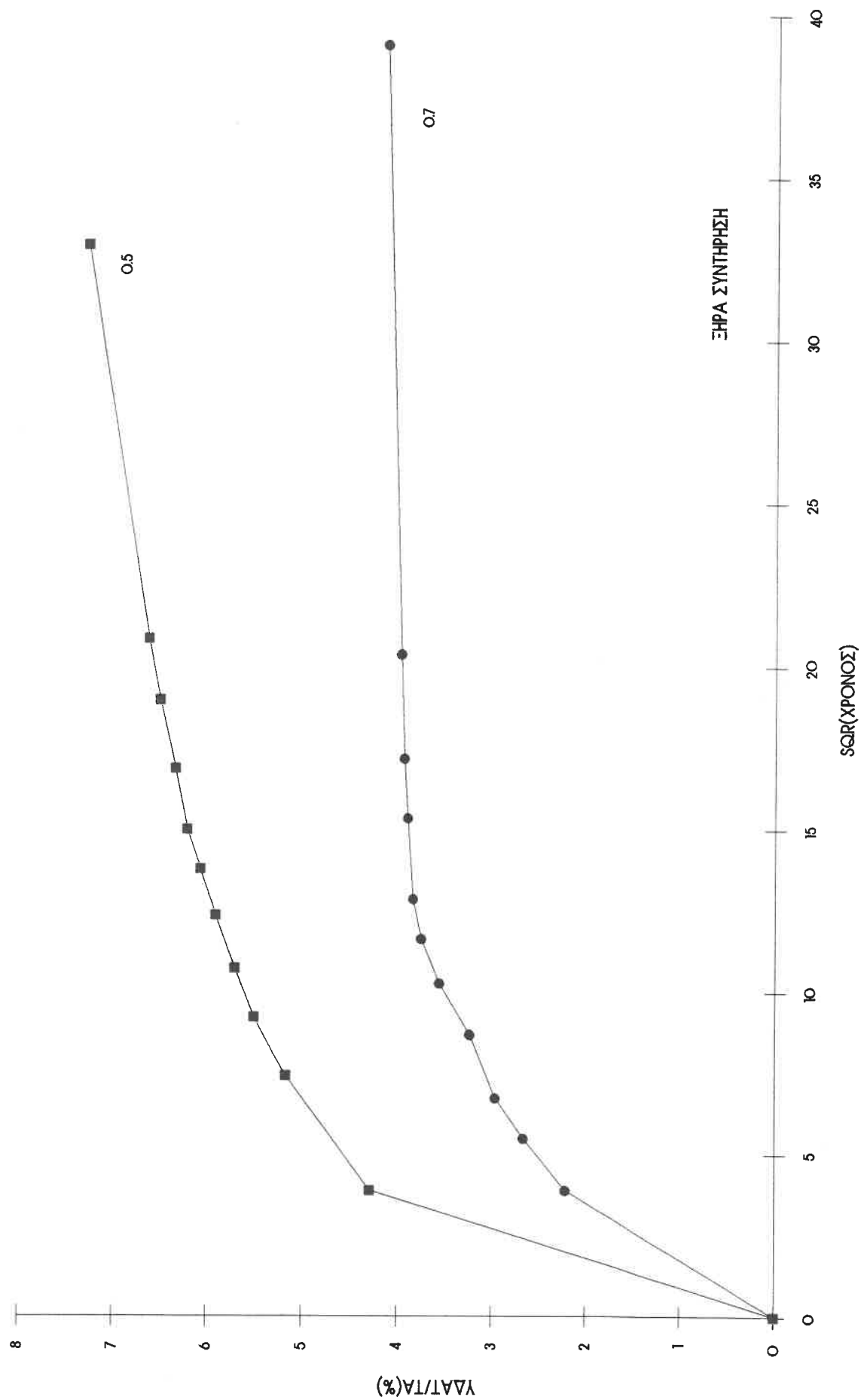
Σχ. 4.9 Υδατορροφητικότητα στα σκυροδέματα συναρτήσει της ηλικίας

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ(κρεμ. δοκ) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.50,0.60,0.70



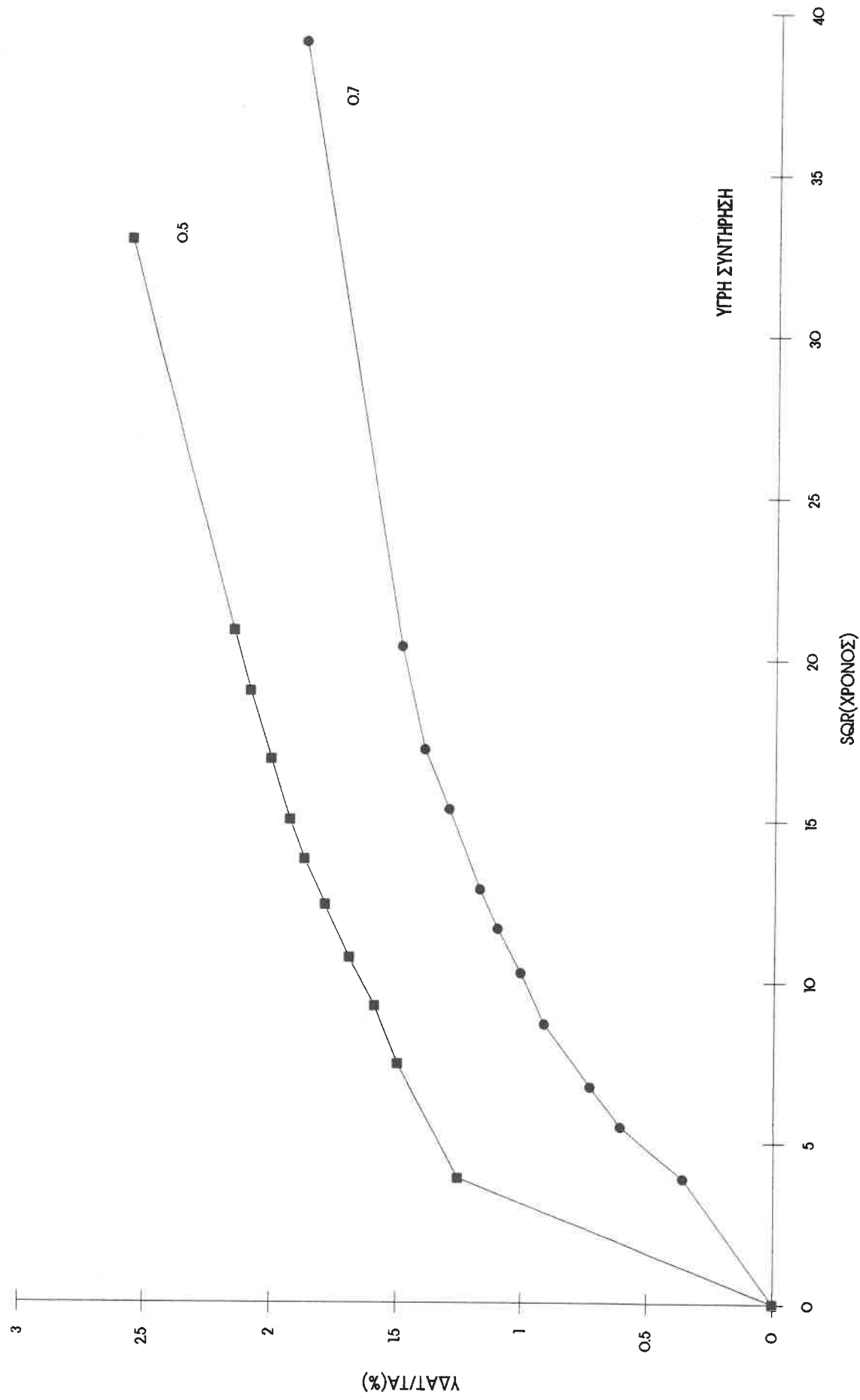
Σχ. 4.10 Υδατοπροφικότητα σκυροδέματος συναρτήσει ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ(κρεμδοκ) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Γ=0,50,0,60,0,70



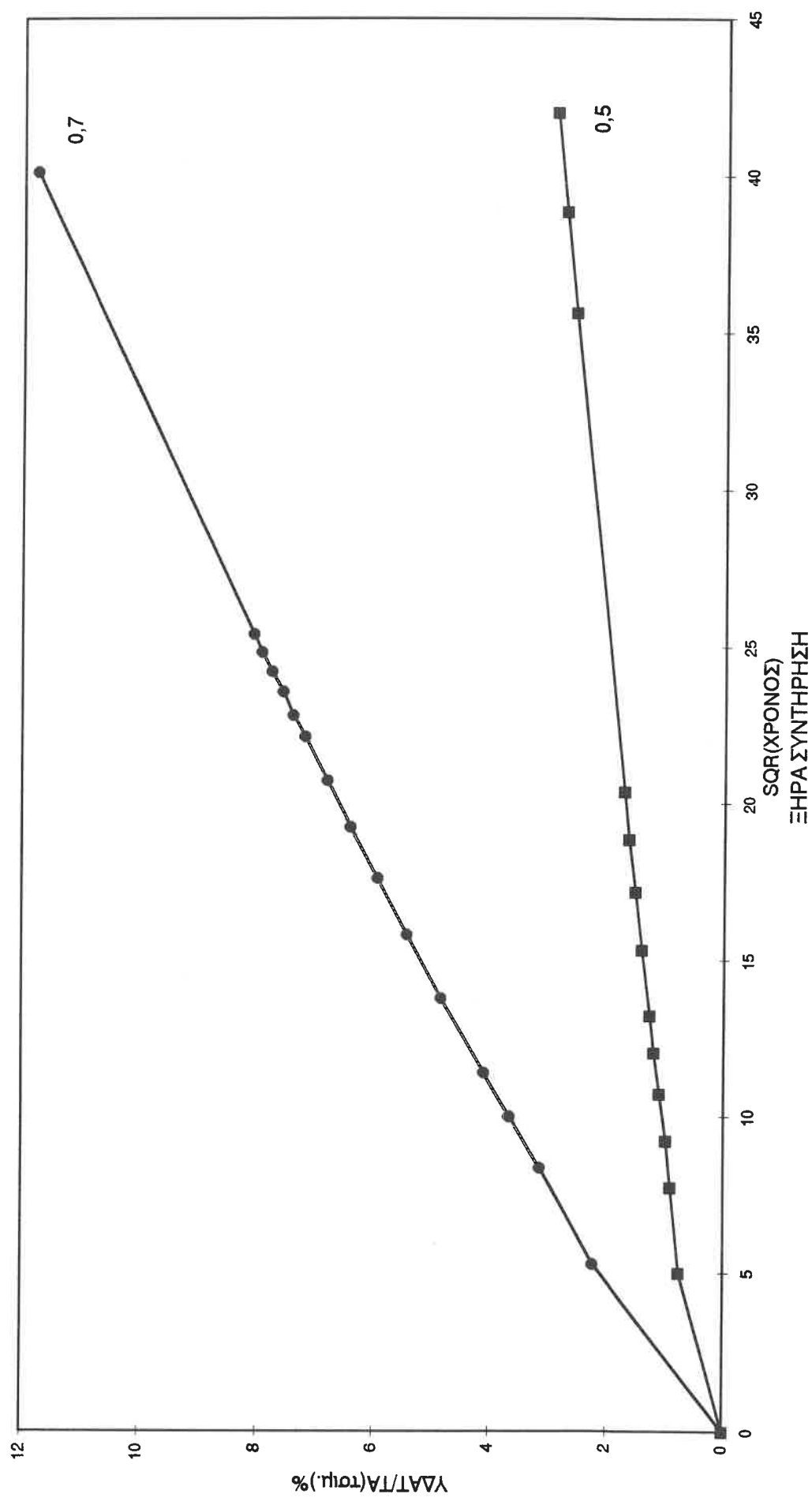
Σχ. 4.11 Υδατορροφητικότητα σκυροδέματος συναρτήσει ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ (κρεμ. δοκ) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.50,0.60,0.70



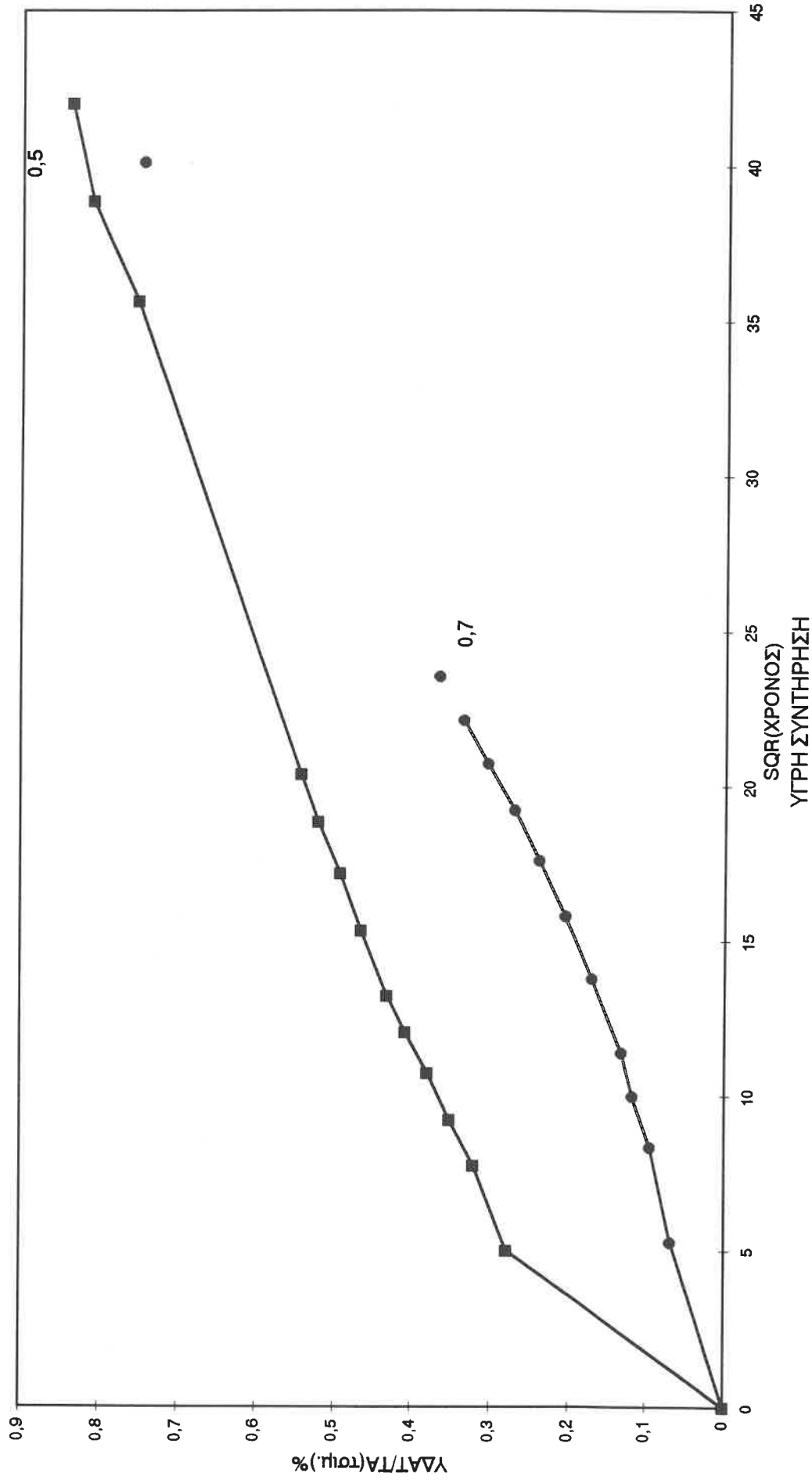
Σχ. 4.12 Υδατορροφητικότητα σκυροδέματος συναρτήσει τεταγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ N/T = 0,50/0,70



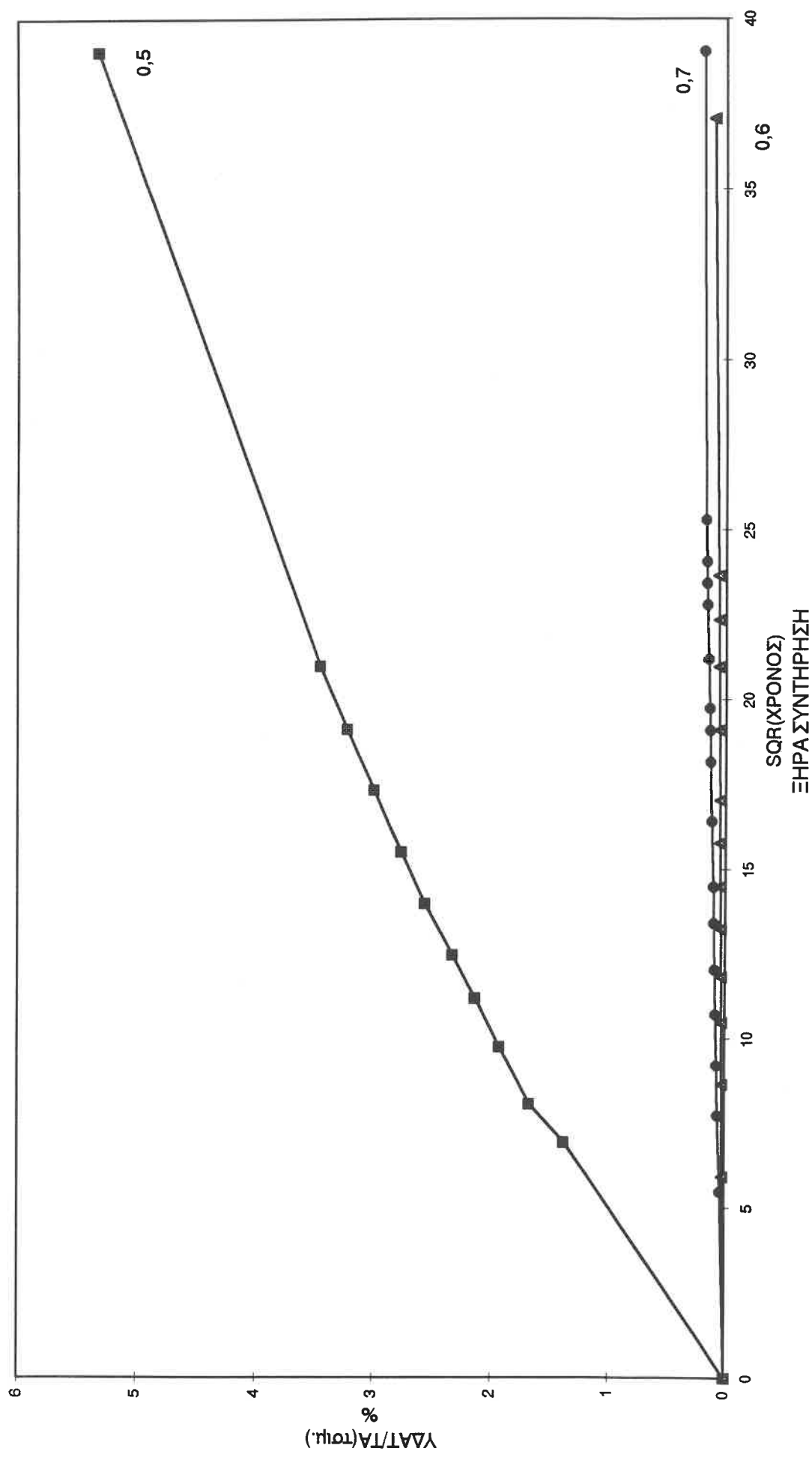
Σχ. 4.13 Υδατορροφητικότητατσιμεντοπολτού συναρτήσει παραγωγικής ρίζας χρόνου

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ $N/T = 0,50/0,70$



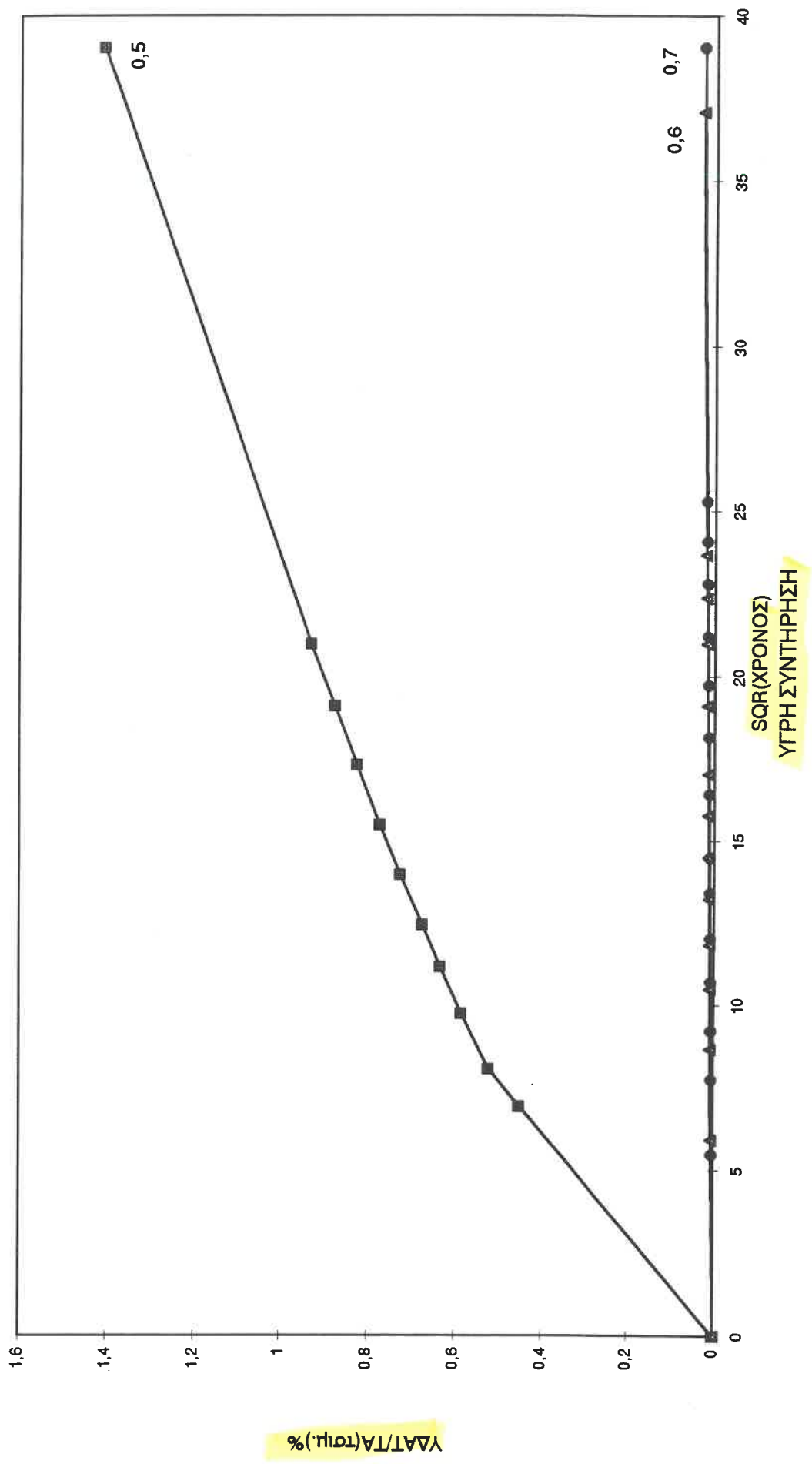
Σχ. 4.14 Υδατορροφητικότητατσι μεντοπολτού συναρτήσειτε ραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ $N/T = 0,50/0,60/0,70$



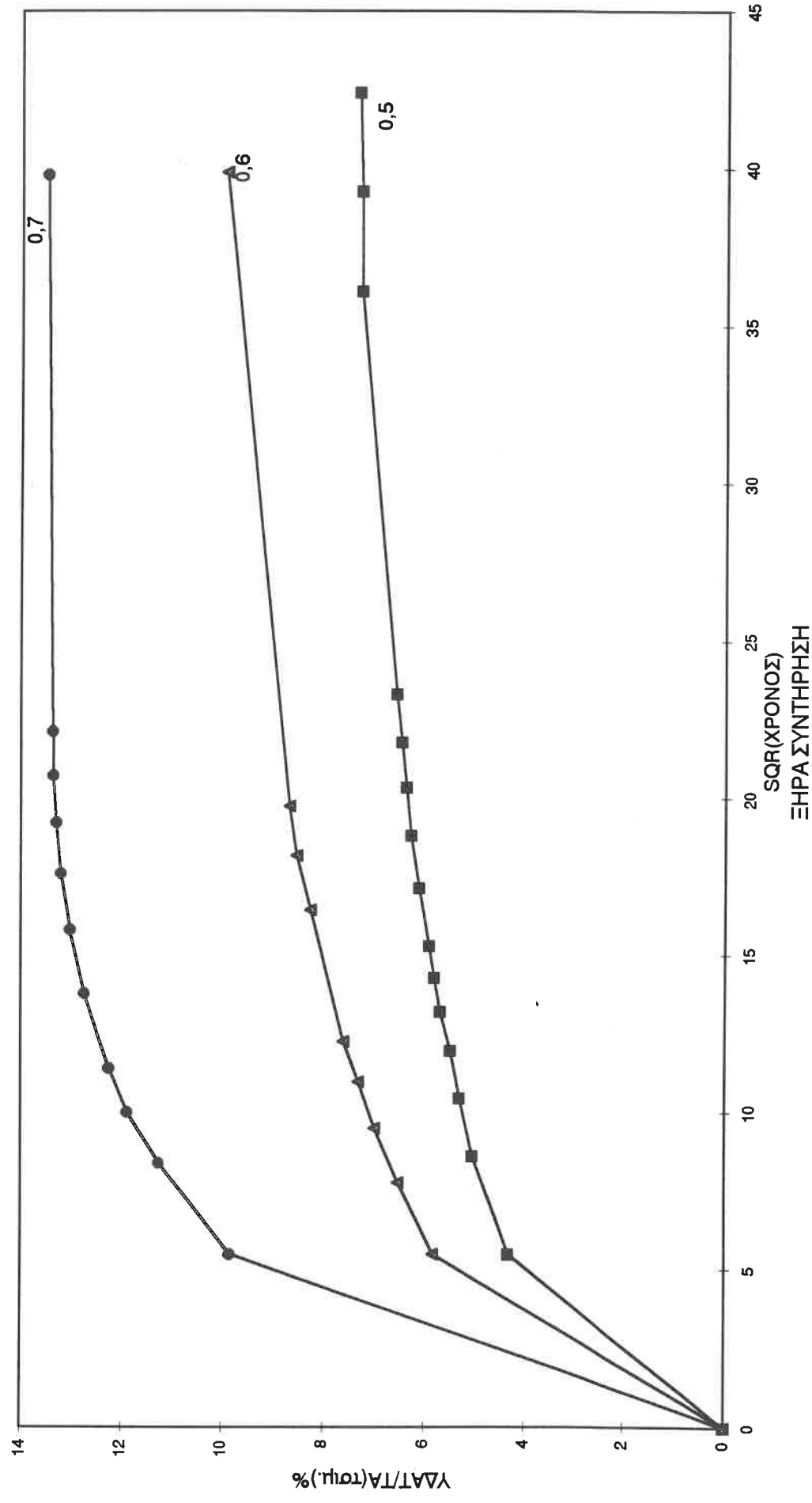
Σχ. 4.15 Υδατορροφητικότητα μειωμένου συντελεστή ραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ $N/T = 0,50/0,60/0,70$



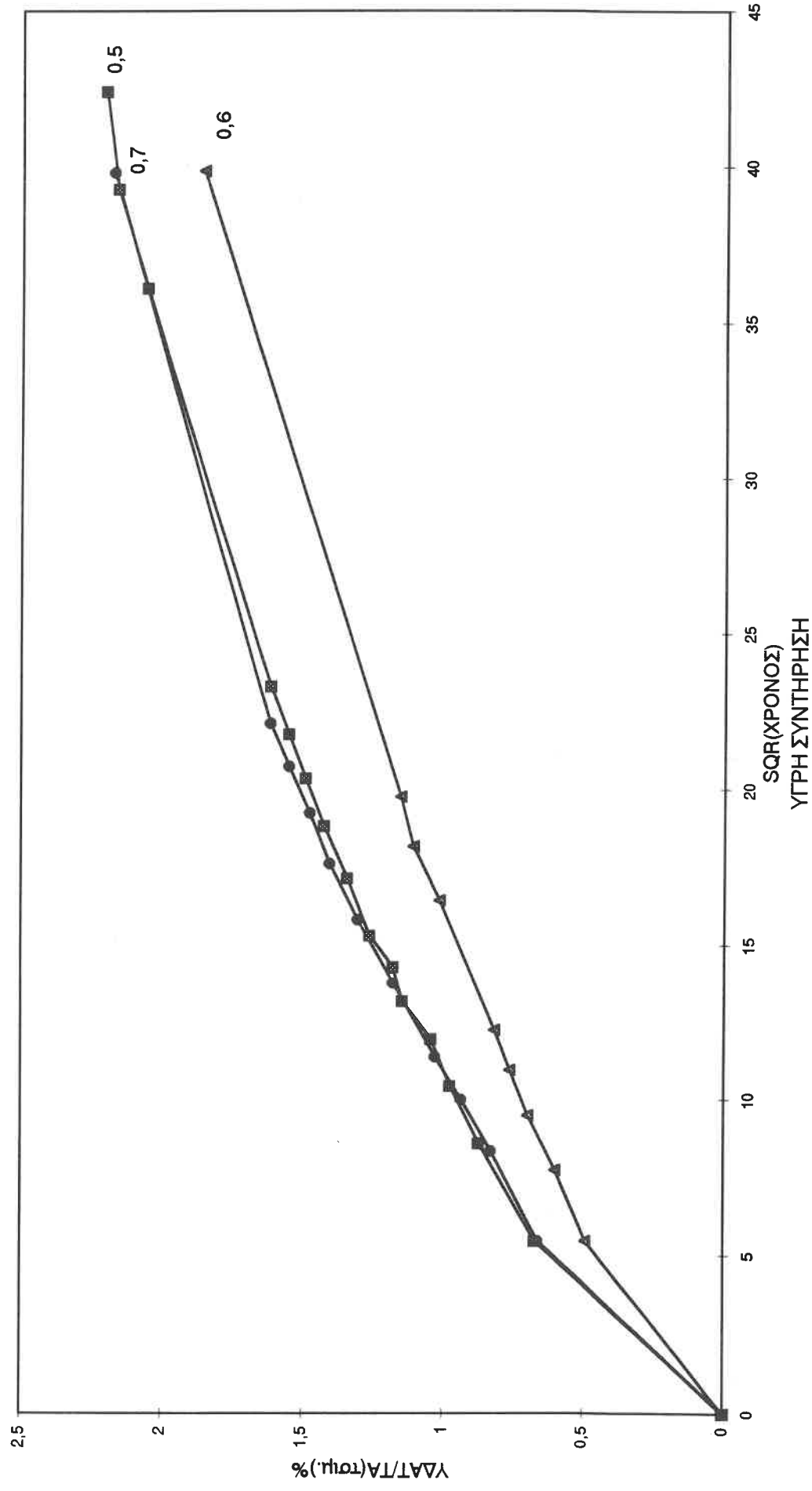
Σχ. 4.16 Υδατορροφητικότητα τσιμεντοπολτού συναρτήσει τετραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ = 0,50/0,60/0,70



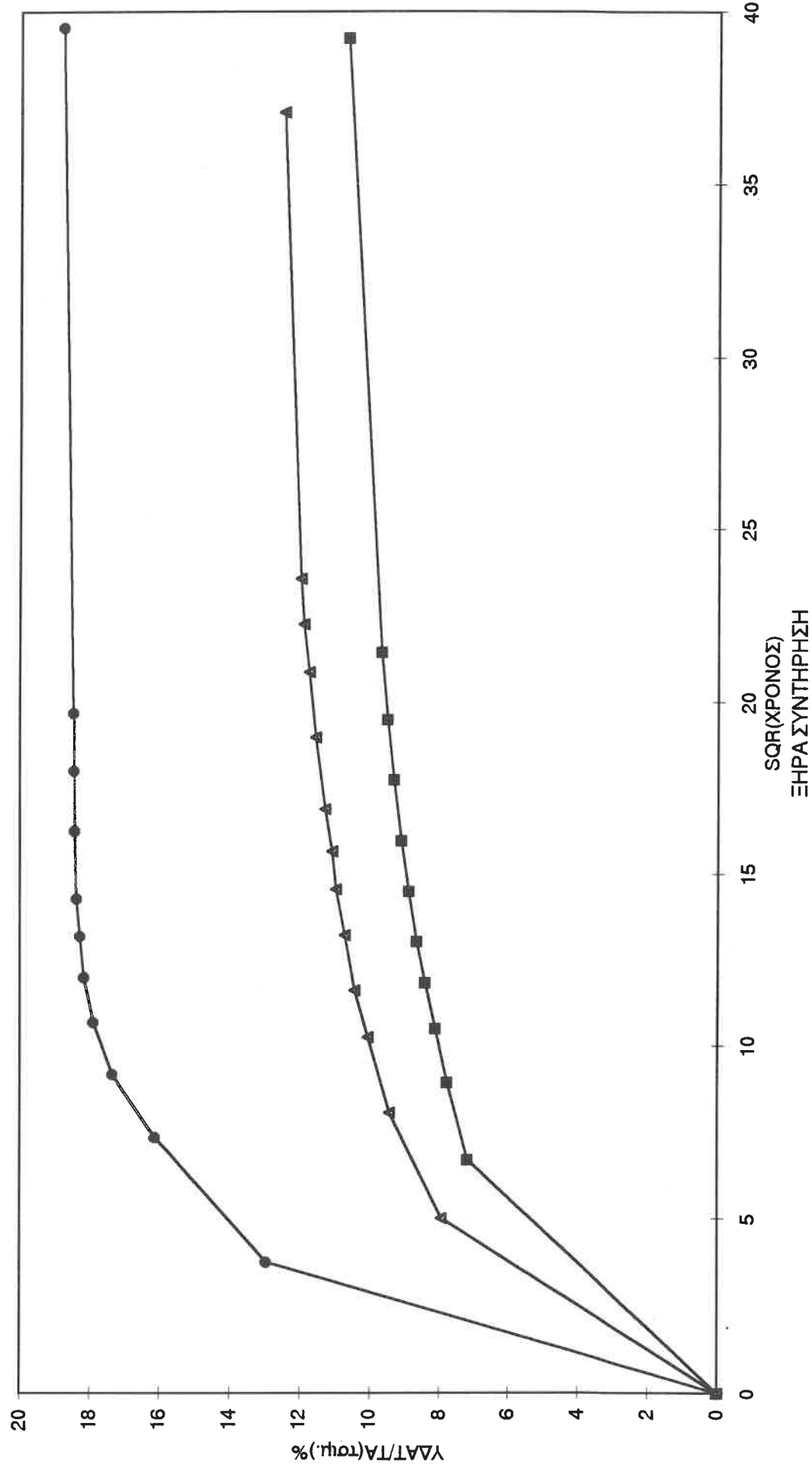
Σχ. 4.17 Υδατορροφητική ικανότητα σε τιμ. μεντοπολτού συναρτήσει τετ. ραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ $N/T = 0,50/0,60/0,70$



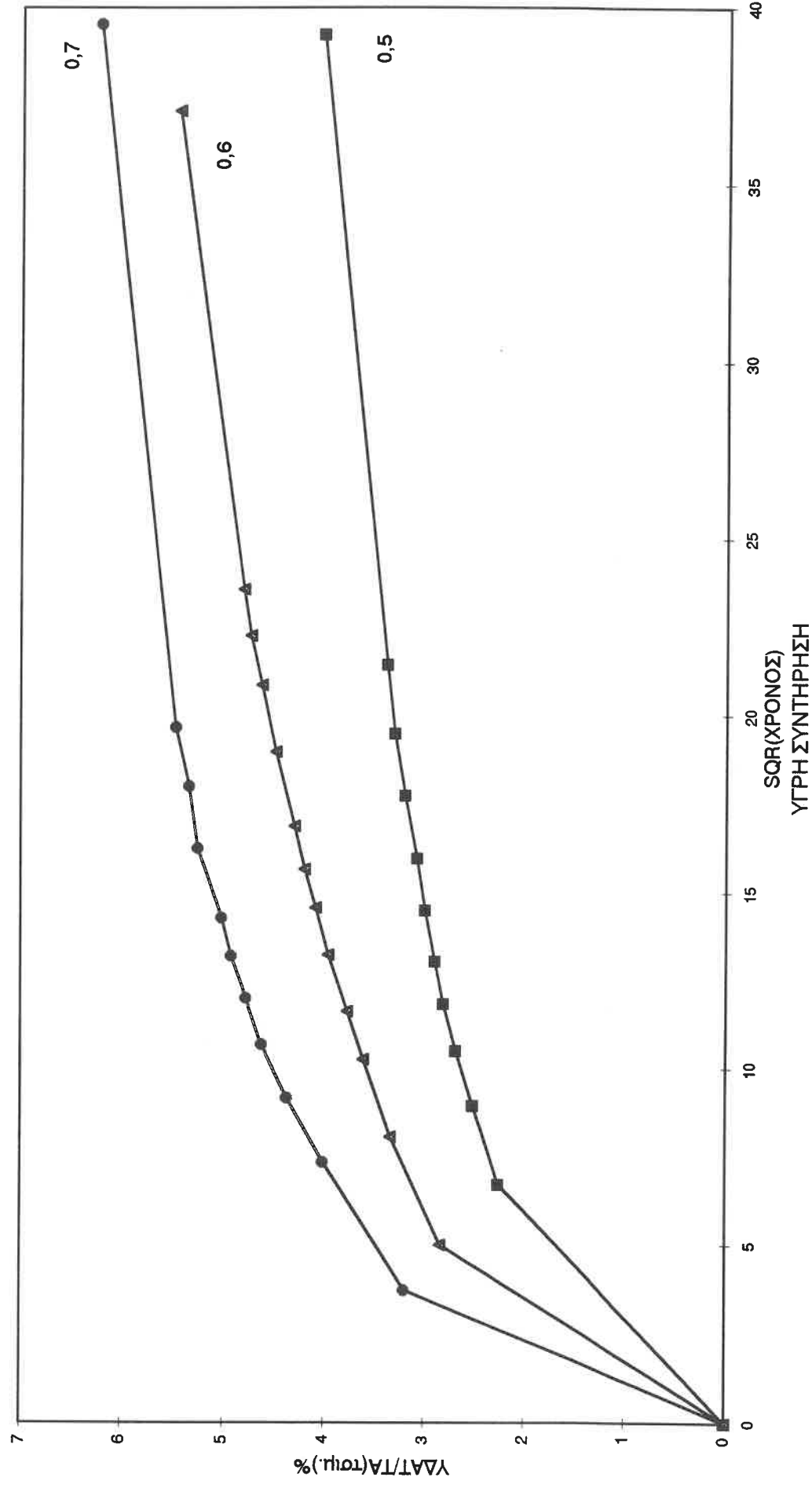
Σχ. 4.18 Υδατορροφητική ικανότητα σε μεντοπολτού συναρτήσει τετραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ $N/T=0,50/0,60/0,70$



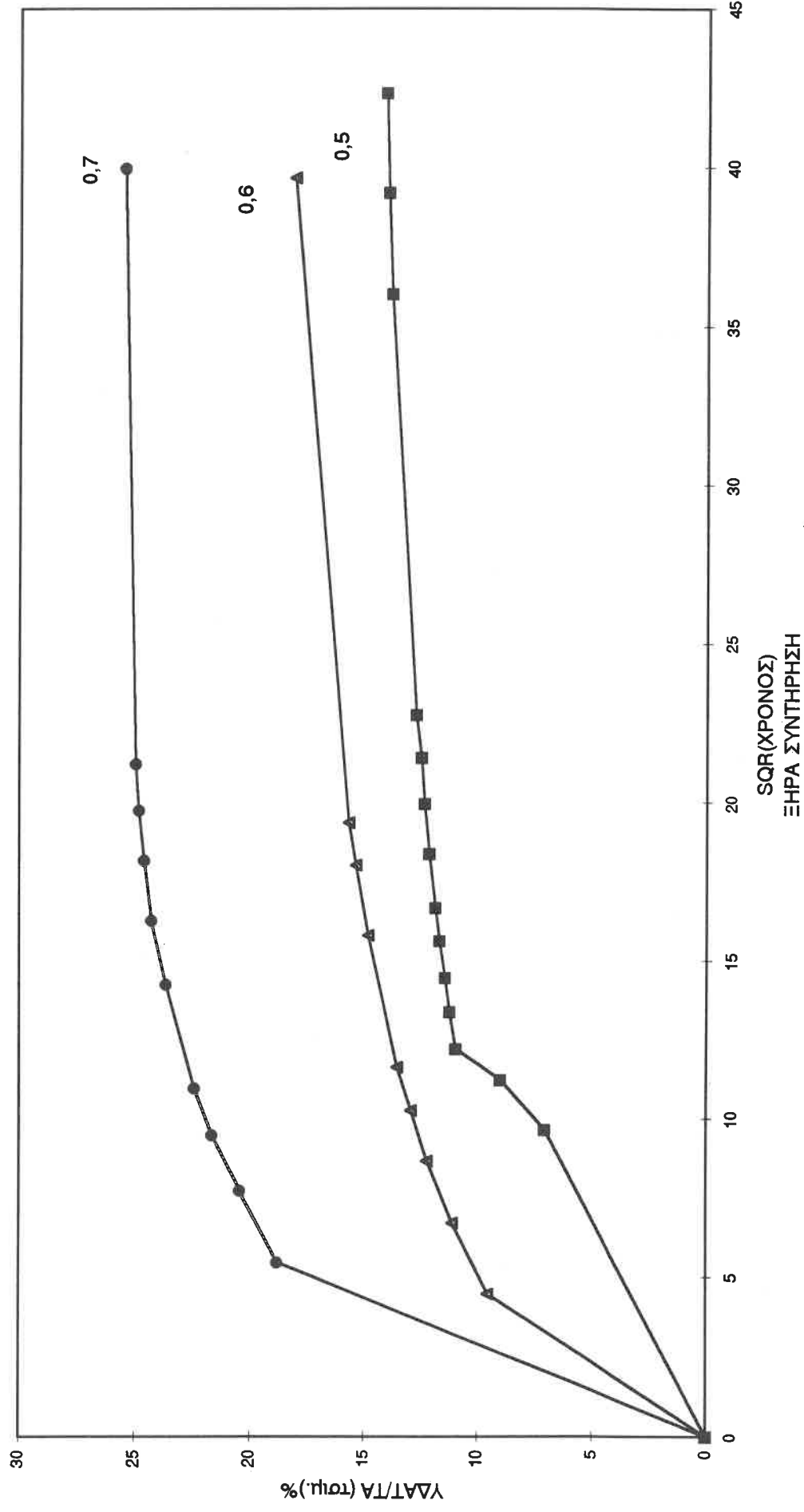
Σχ. 4.19 Υδατορροφητικότητατσιμεντοπολτού συναρτήσει παραγωγικής ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ $N/T = 0,50/0,60/0,70$



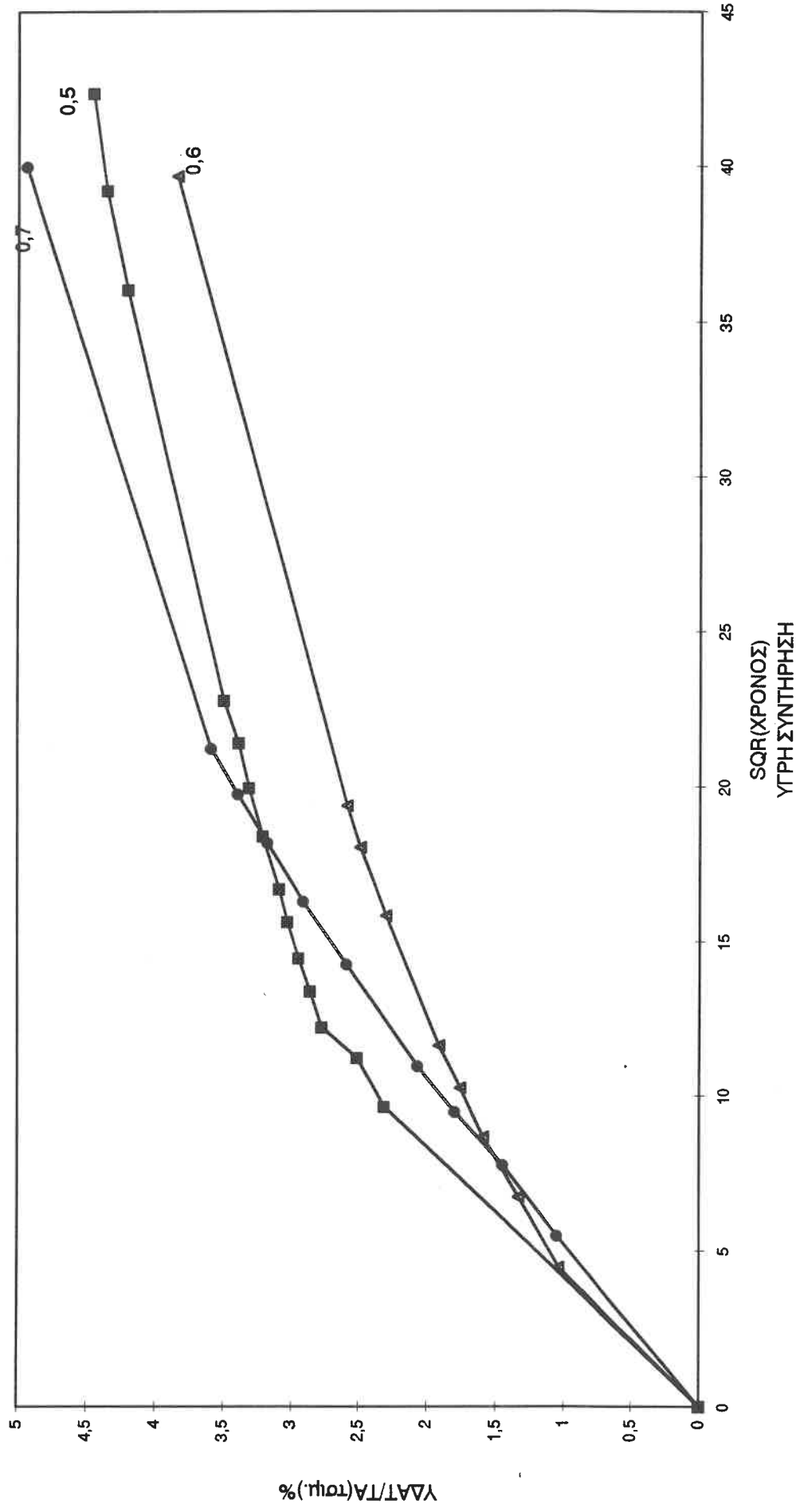
Σχ. 4.20 Υδατορροφητικότητα τσιμεντοπολτού συναρτήσει παραγωγικής ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ (κρεμ. δοκ) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ $N/T = 0,50/0,60/0,70$



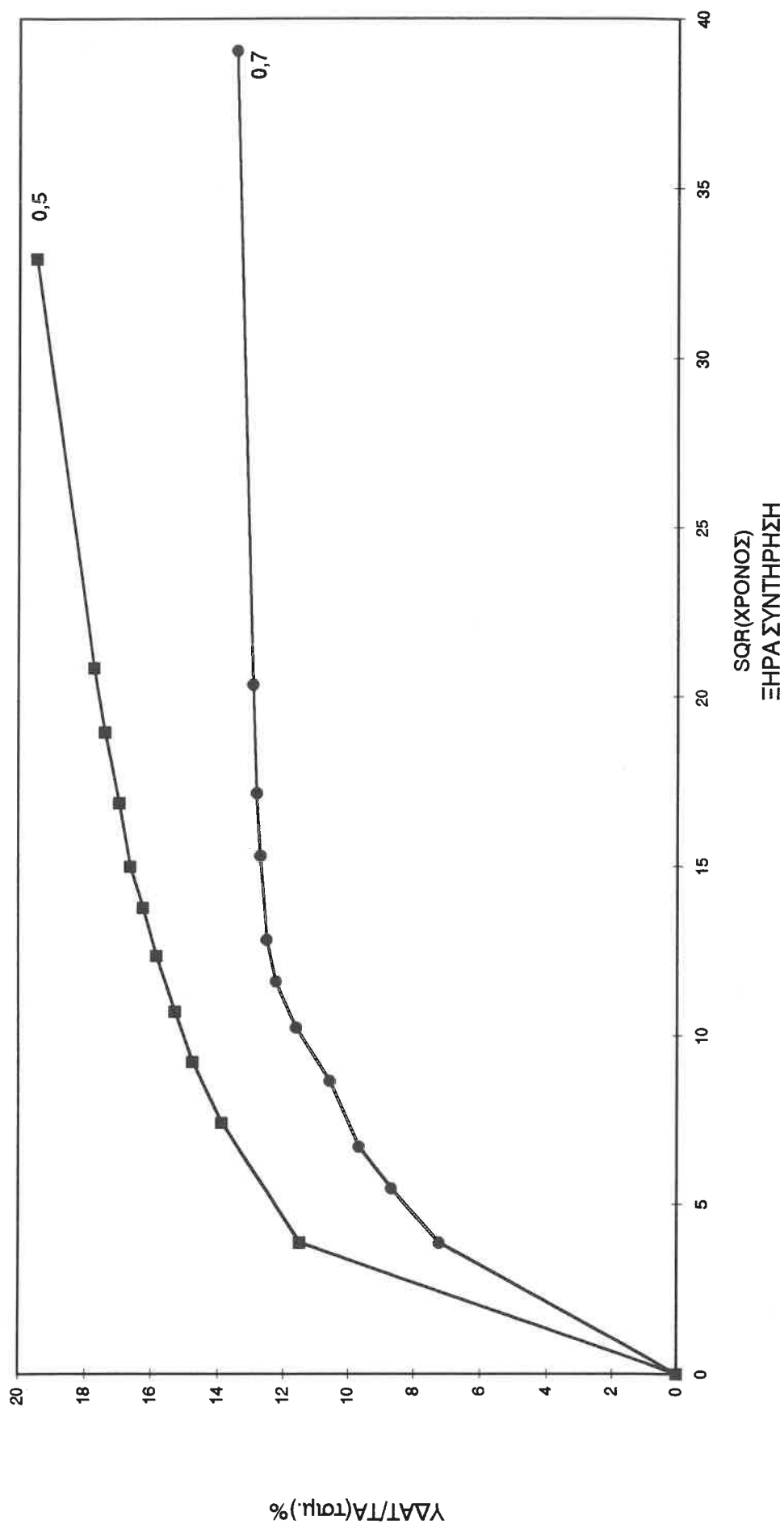
Σχ. 4.21 Υδατορροφητικότητα σε μεντοπολού συναρτήσει τεταγωνισμένου χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ (κρεμ. δοκ) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ $N/T = 0,50/0,60/0,70$



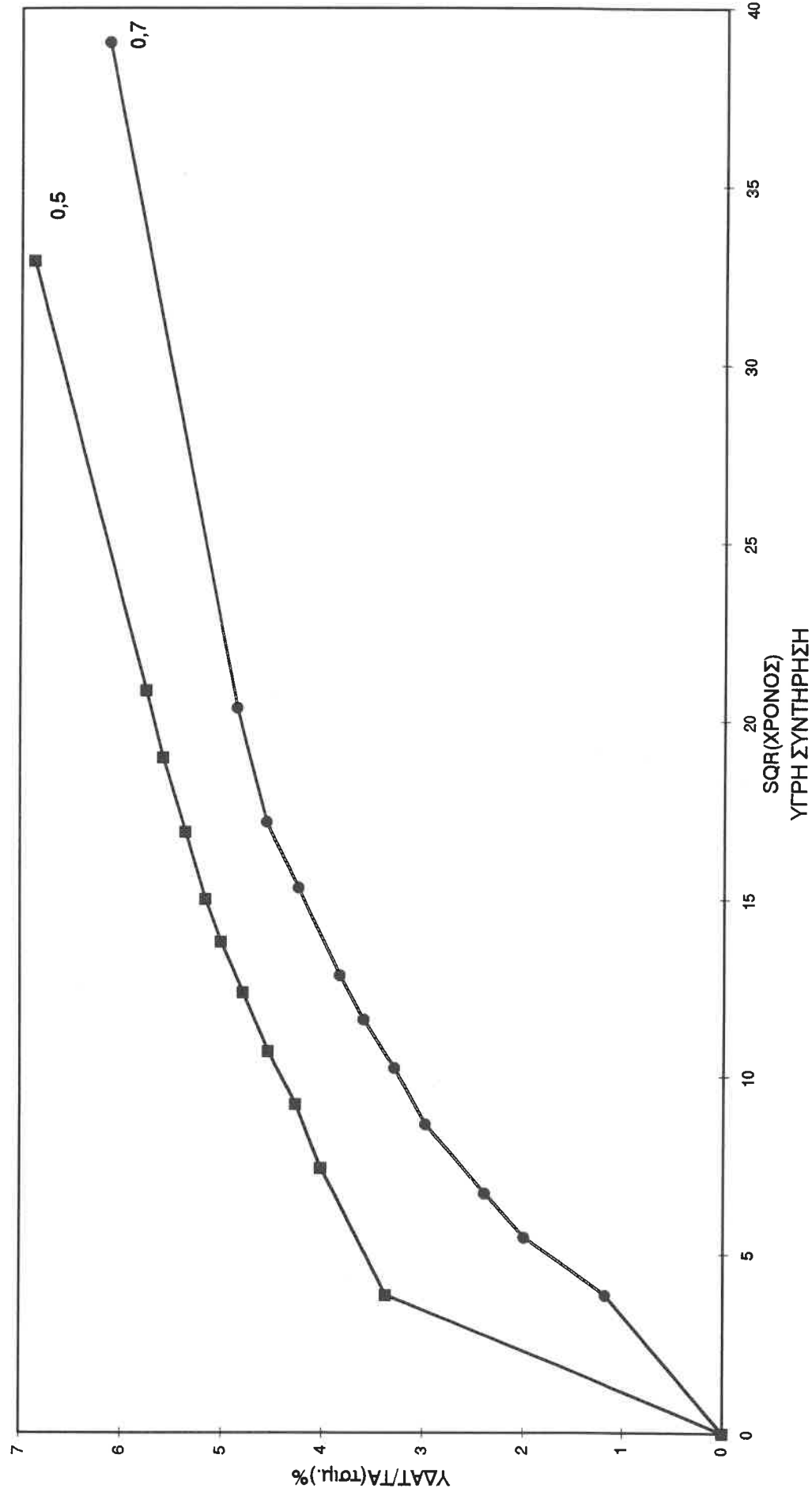
Σχ. 4.22 Υδατορροφητικότητα τσιμεντοπολτού συναρτήσει ραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ (κρεμ. δοκ) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ $N/T = 0,50/0,70$



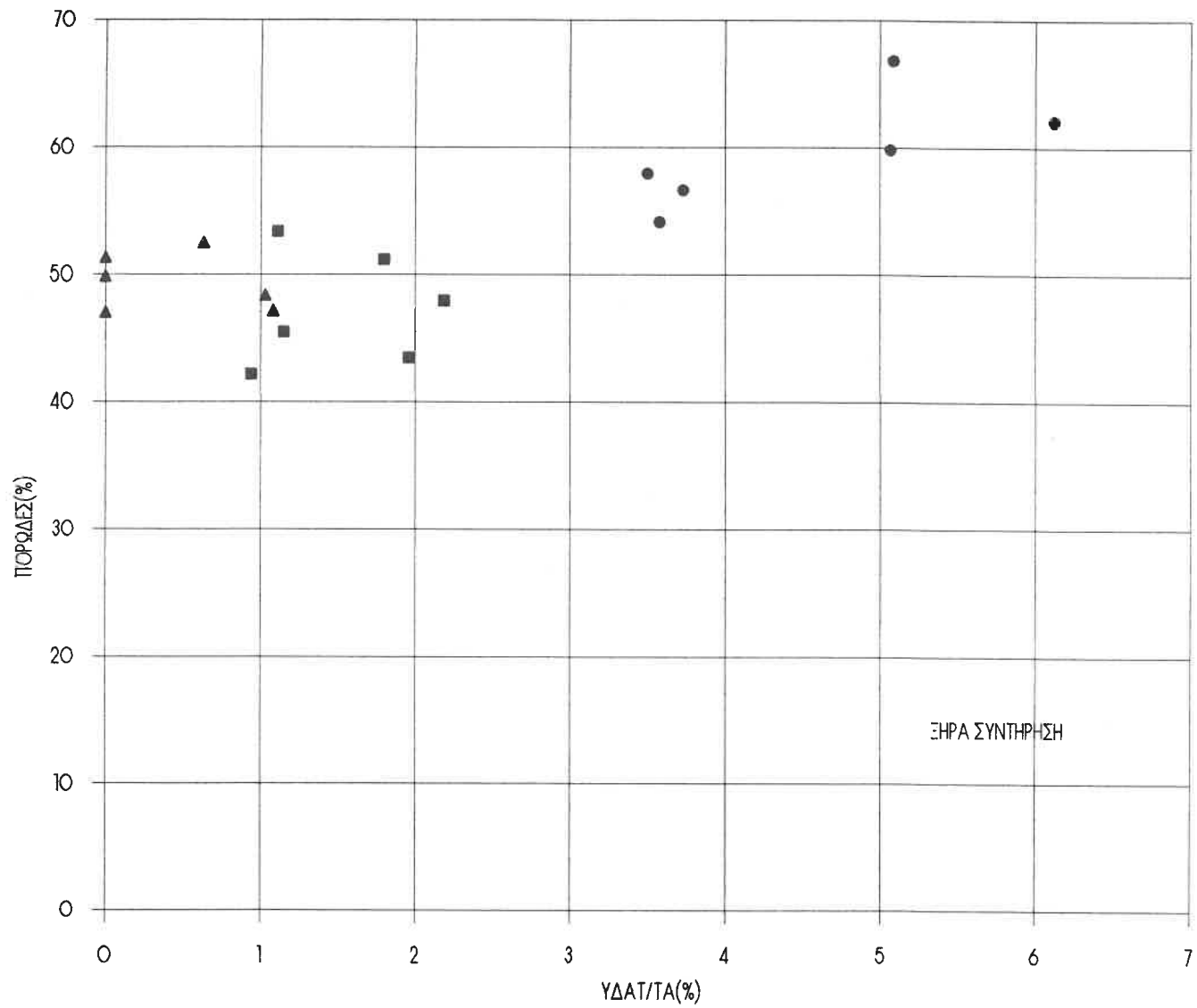
Σχ. 4.23 Υδατορροφητικότητα τσιμεντοπλάτου συναρτήσει παραγωγικής ρίζας χρόνου

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ (κρεμ. δοκ.) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ = 0,50/0,70



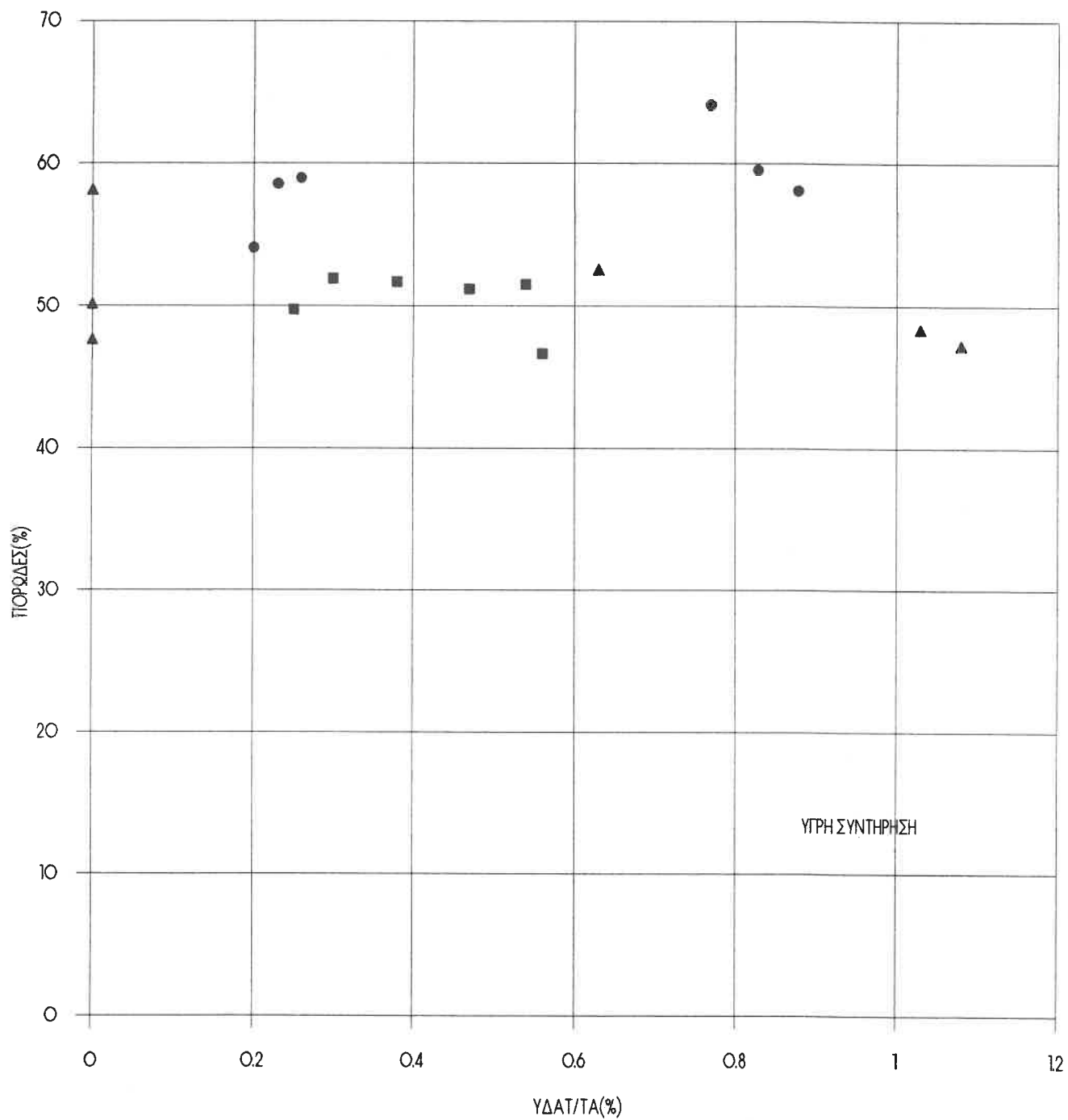
Σχ. 4.24 Υδατορροφητικότητα τσιμεντοπολτού συναρτήσει παραγωνικής ρίζας χρόνου

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21, 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.50,0.60,0.70



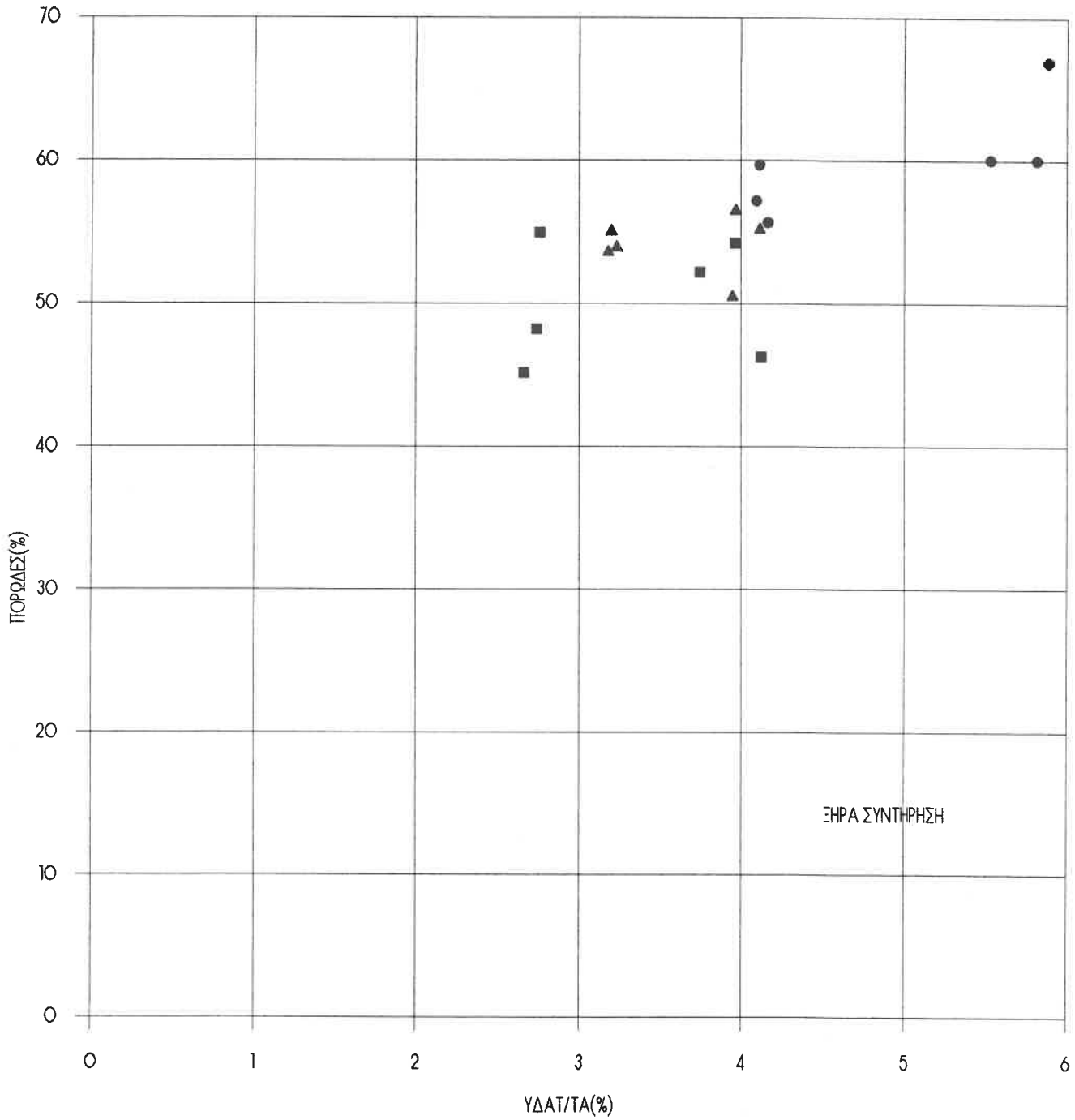
Σχ. 4.25 Υδαταπορροφητικότητα συναρτήσει πορώδους

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21,60 ΗΜΕΡΩΝ $N/T=0.50, 0.60, 0.70$



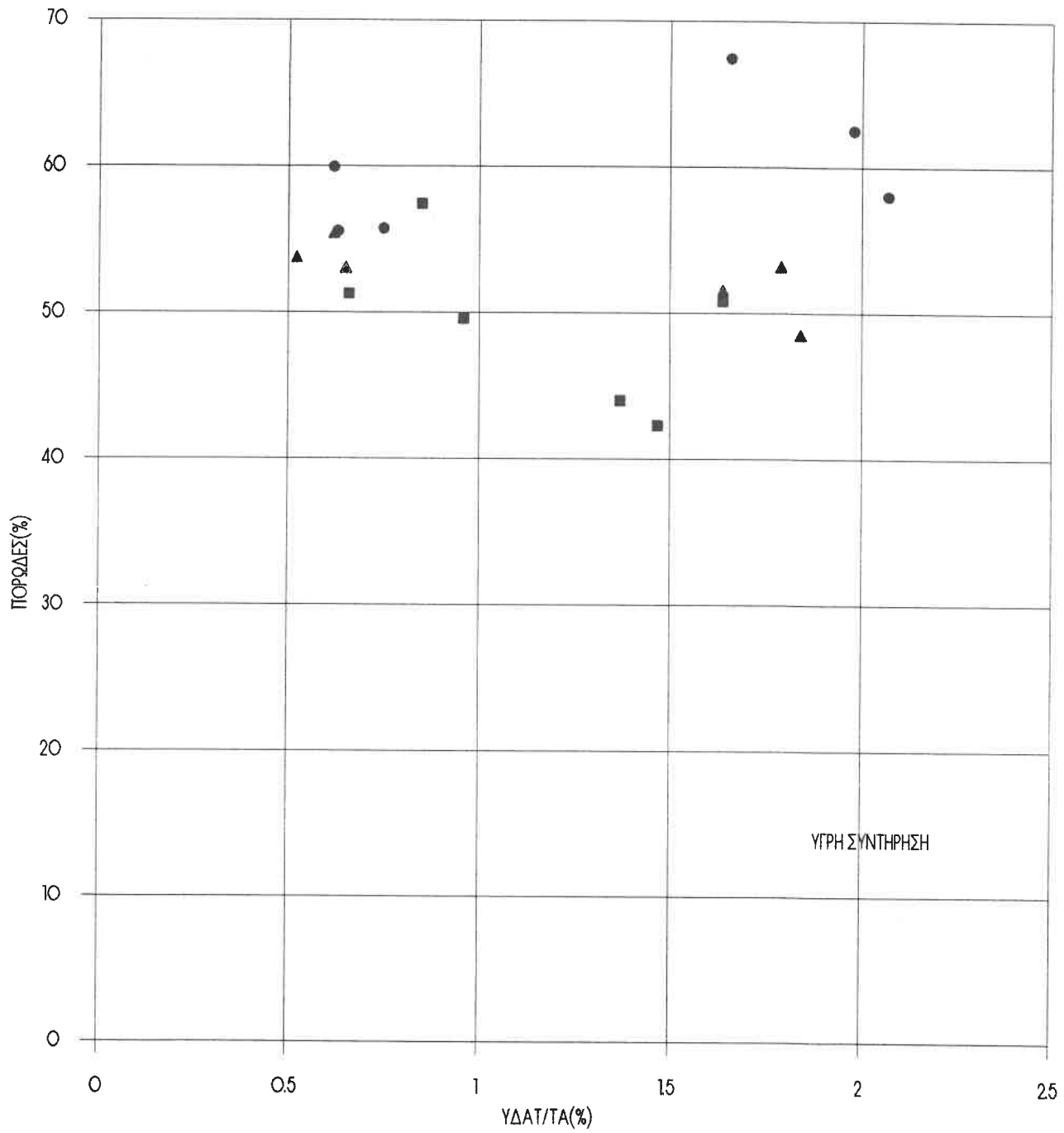
Σχ. 4.26 Υδαταπορροφητικότητα συναρτήσει πορώδους

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21,60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,50,0,60,0,70

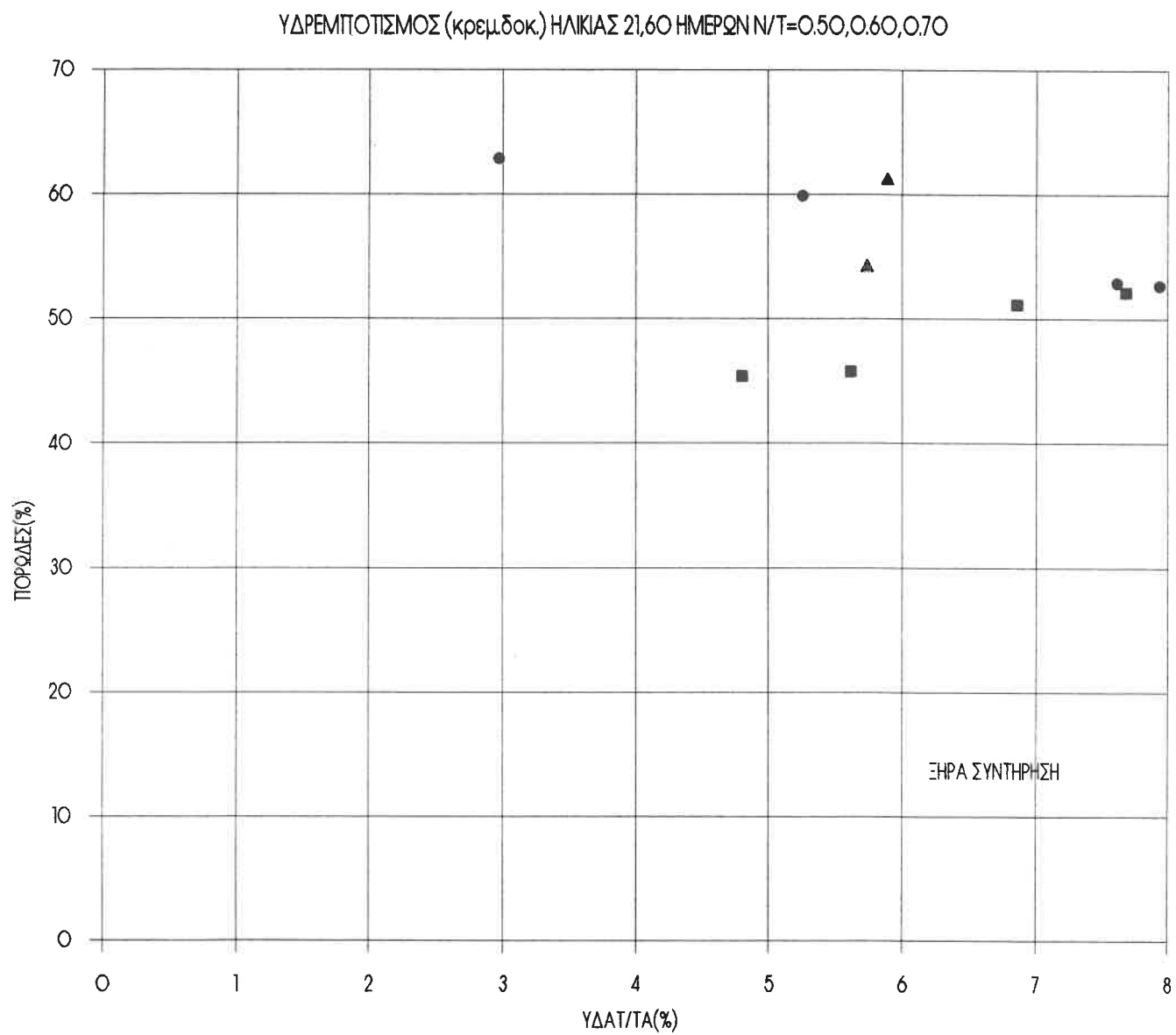


Σχ. 4.27 Υδαταπορροφητικότητα συναρτήσει πορώδους

ΥΔΡΕΜΠΤΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21,60 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0.50,0.60,0.70

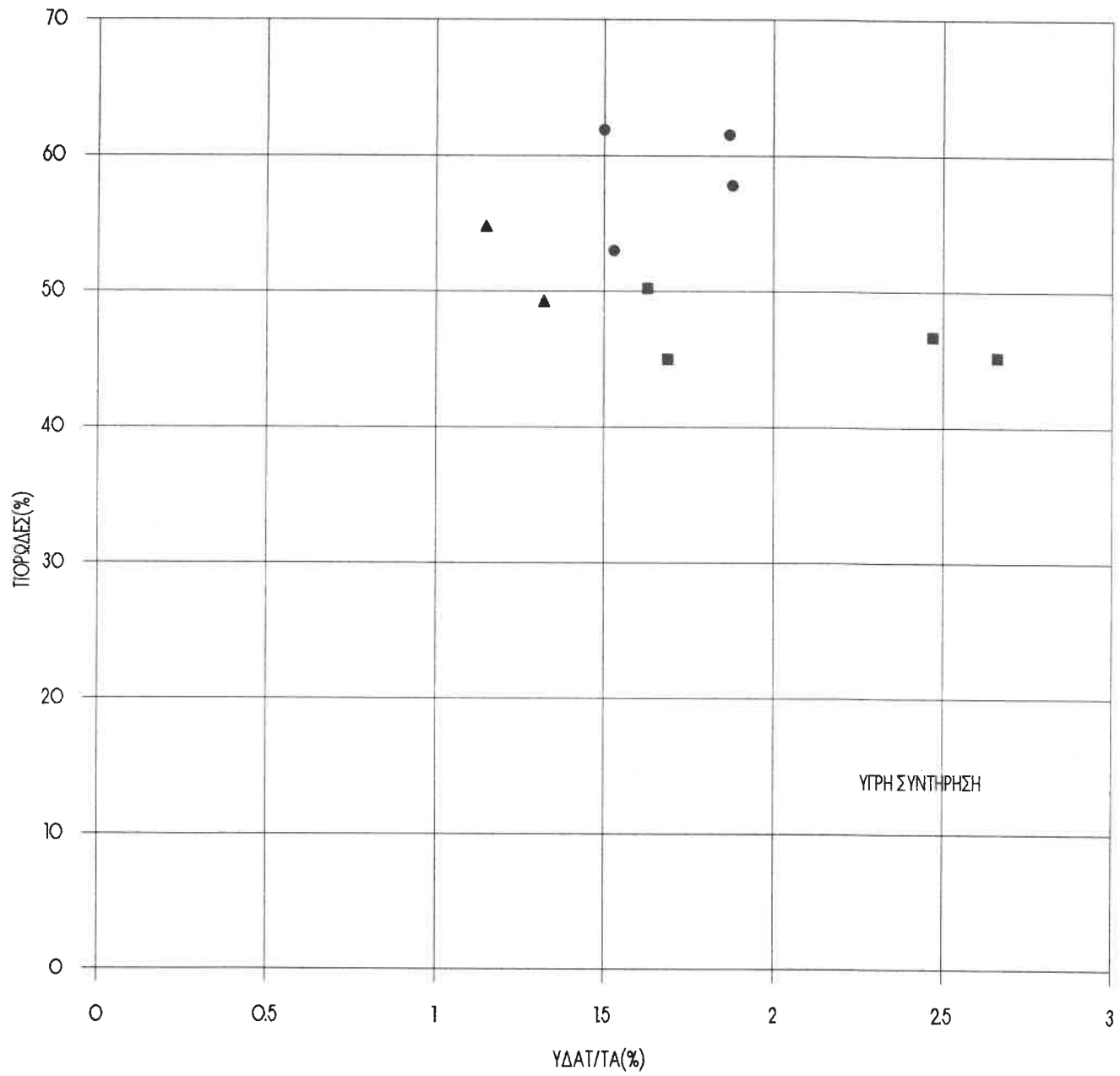


Σχ. 4.28 Υδαταπορροφητικότητα συναρτήσει πορώδους



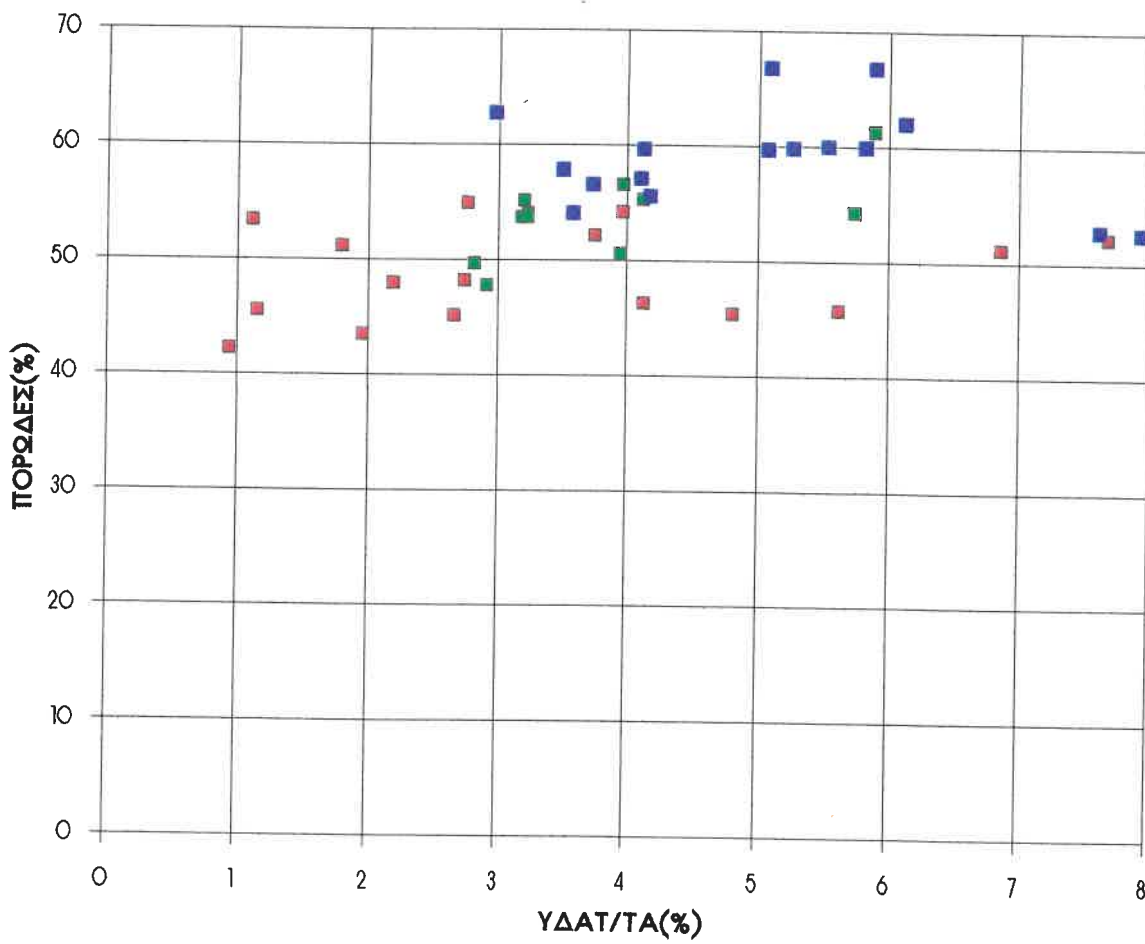
Σχ. 4.29 Υδαταπορροφητικότητα συναρτήσει πορώδους

ΥΔΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ(κρεμ.δοκ.) ΗΛΙΚΙΑΣ 21,60 ΗΜΕΡΩΝ, N/T=0.50,0.60,0.70



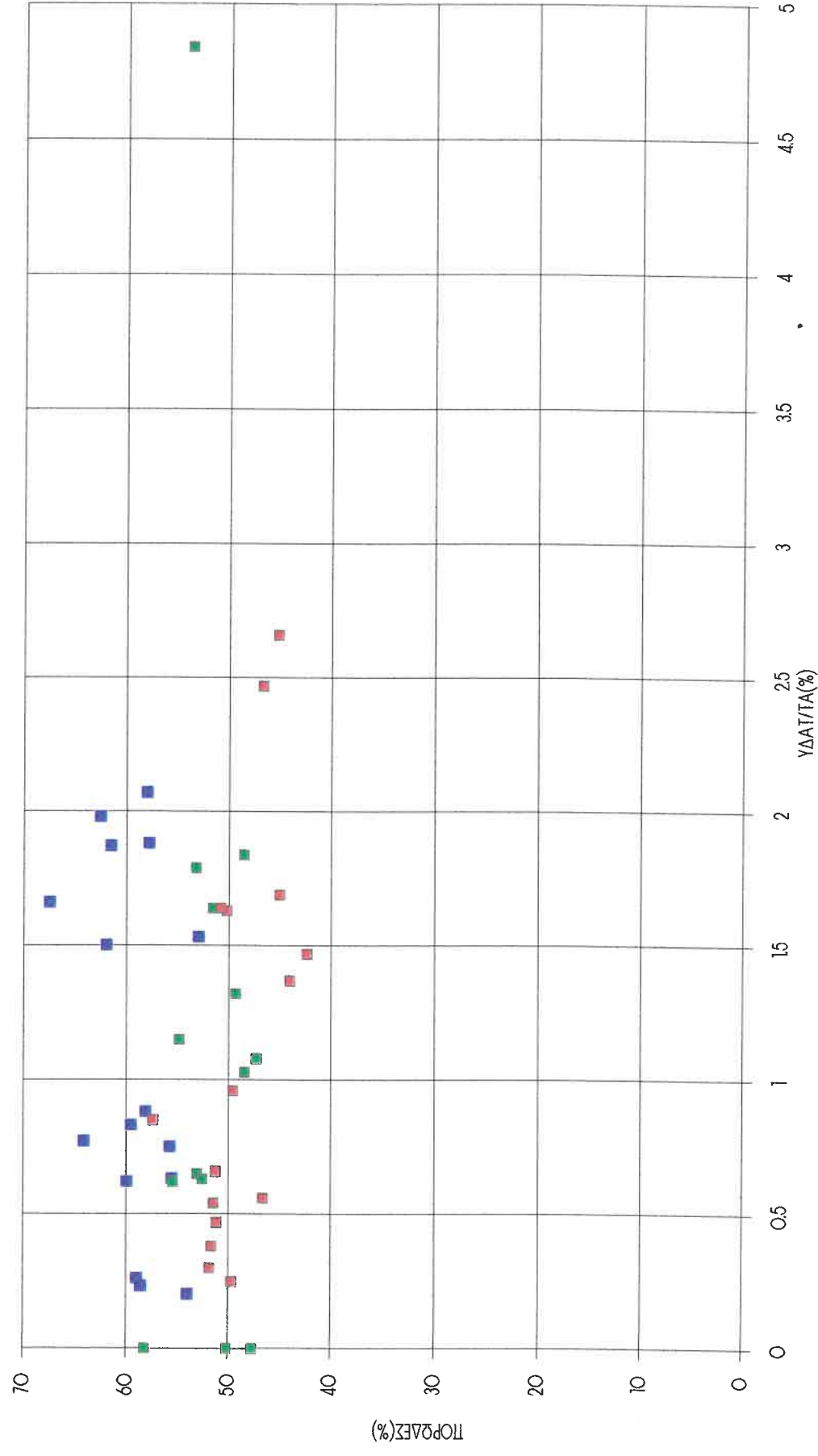
Σχ. 4.30 Υδατορροφητικότητα συναρτήσει πορώδους

ΔΟΚΙΜΙΑ 21,60 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0.50,0.60,0.70 ΞΗΡΑ
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

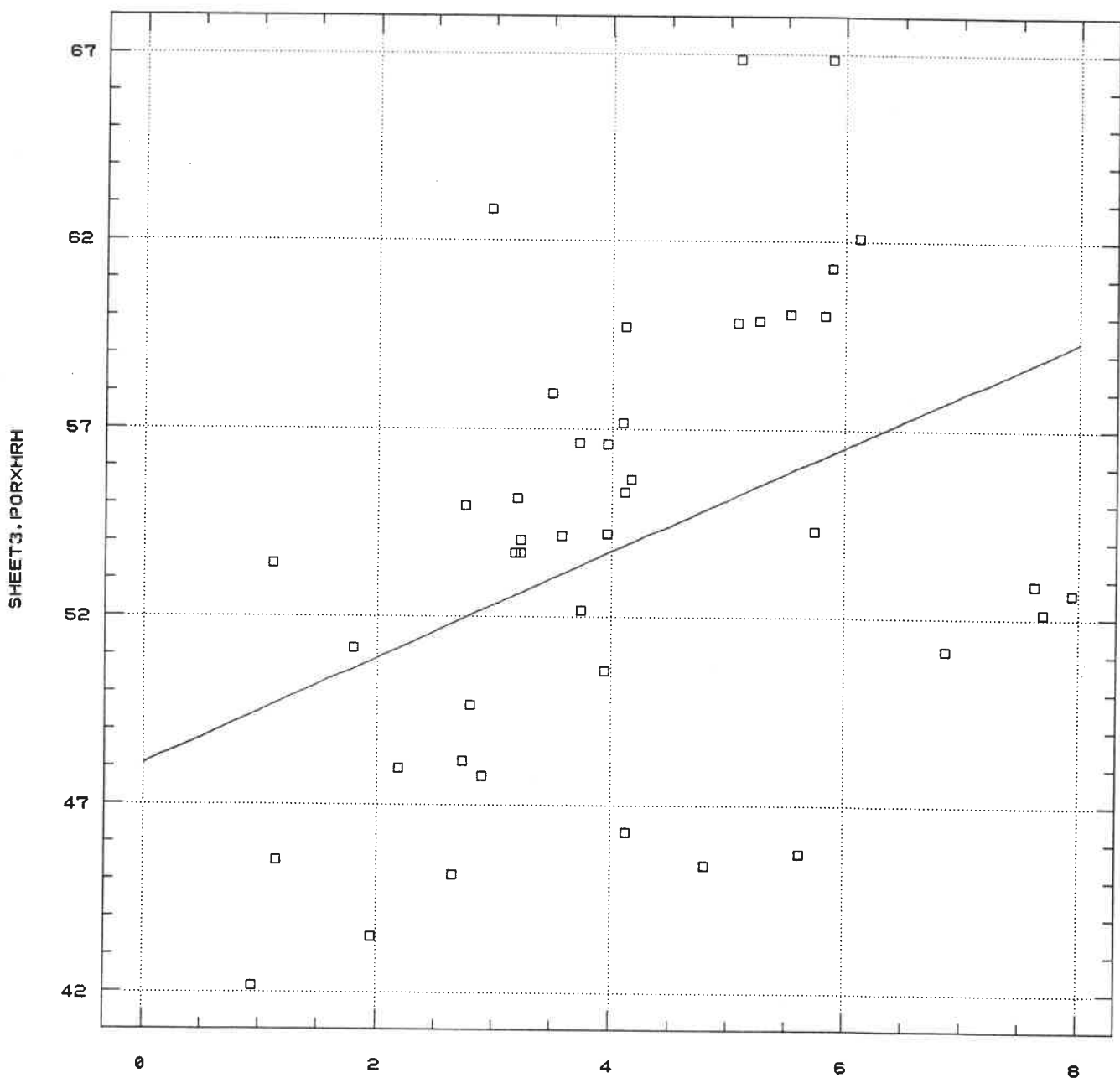


Σχ. 4.31 Υδαταπορροφητικότητα συναρτήσει πορώδους για το σύνολο των δοκιμών

ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21,60 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0.50,0.60,0.70 ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ



Σχ. 4.32 Υδατορροφητικότητα συναρτήσει πορώδους για το σύνολο των δοκιμών



Σχ. 4.33 Υδαταπορροφητικότητα συναρτήσει πορώδους για το σύνολο των δοκιμών

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: SHEET3.STRYGRH

Independent variable: SHEET3.PORYGRH

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	9.23793	0.702058	13.1584	.00000
Slope	-0.103534	0.013109	-7.89788	.00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	15.828759	1	15.828759	62.37647	.00000
Error	11.673038	46	.253762		
Total (Corr.)	27.501798	47			

Correlation Coefficient = -0.758653
Std. Error of Est. = 0.503748

R-squared = 57.56 percent

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: SHEET3.STRXHRH Independent variable: SHEET3.PORXHF

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	9.09965	0.708779	12.8385	.00000
Slope	-0.116753	0.0131279	-8.89349	.00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	21.722445	1	21.722445	79.09415	.00000
Error	12.633456	46	.274640		
Total (Corr.)	34.355901	47			

Correlation Coefficient = -0.795158 R-squared = 63.23 percent
Std. Error of Est. = 0.524061

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: SHEET3.PORXHRH Independent variable: SHEET3.YDATXHRH

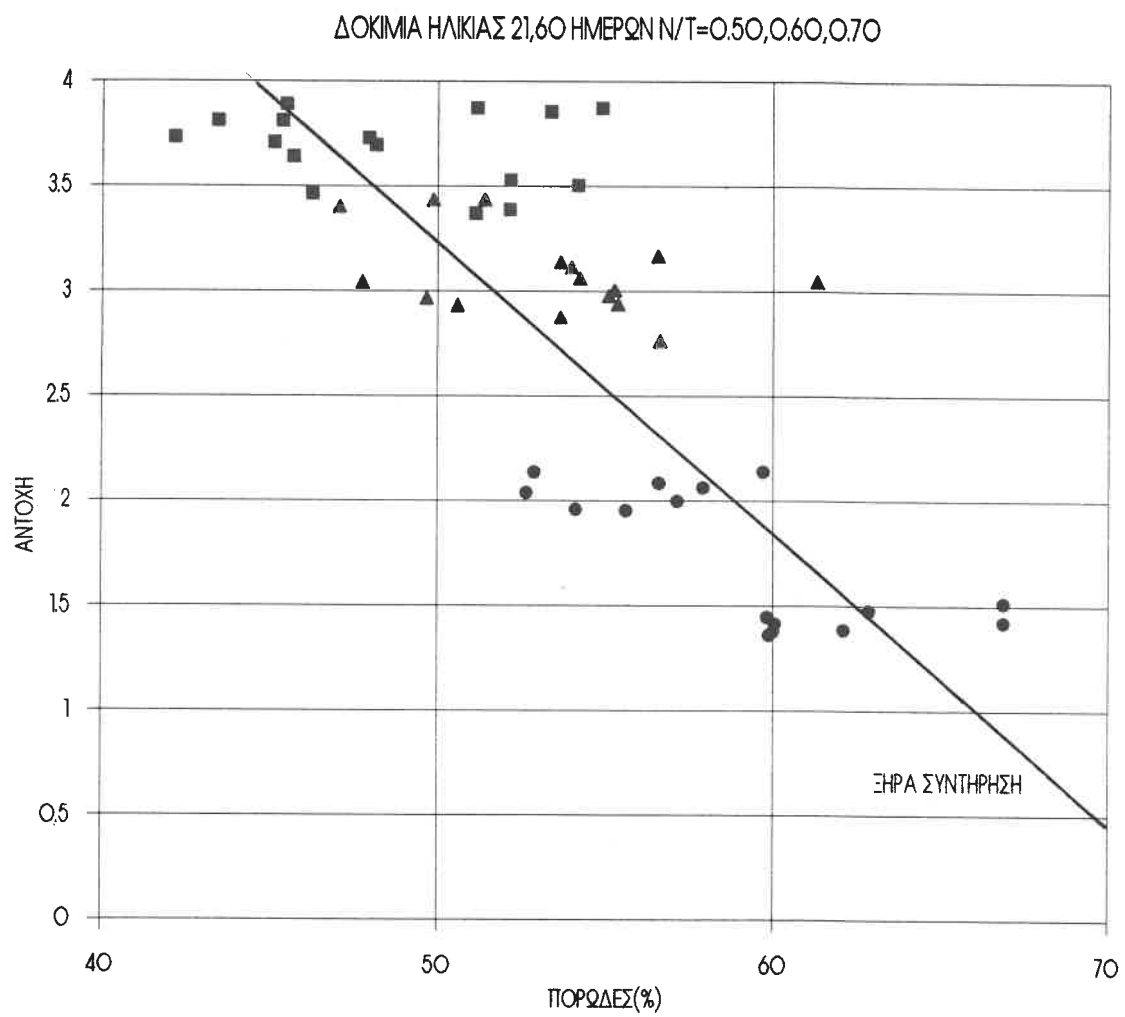
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	48.0775	2.19511	21.9021	.00000
Slope	1.40789	0.492322	2.8597	.00664

Analysis of Variance

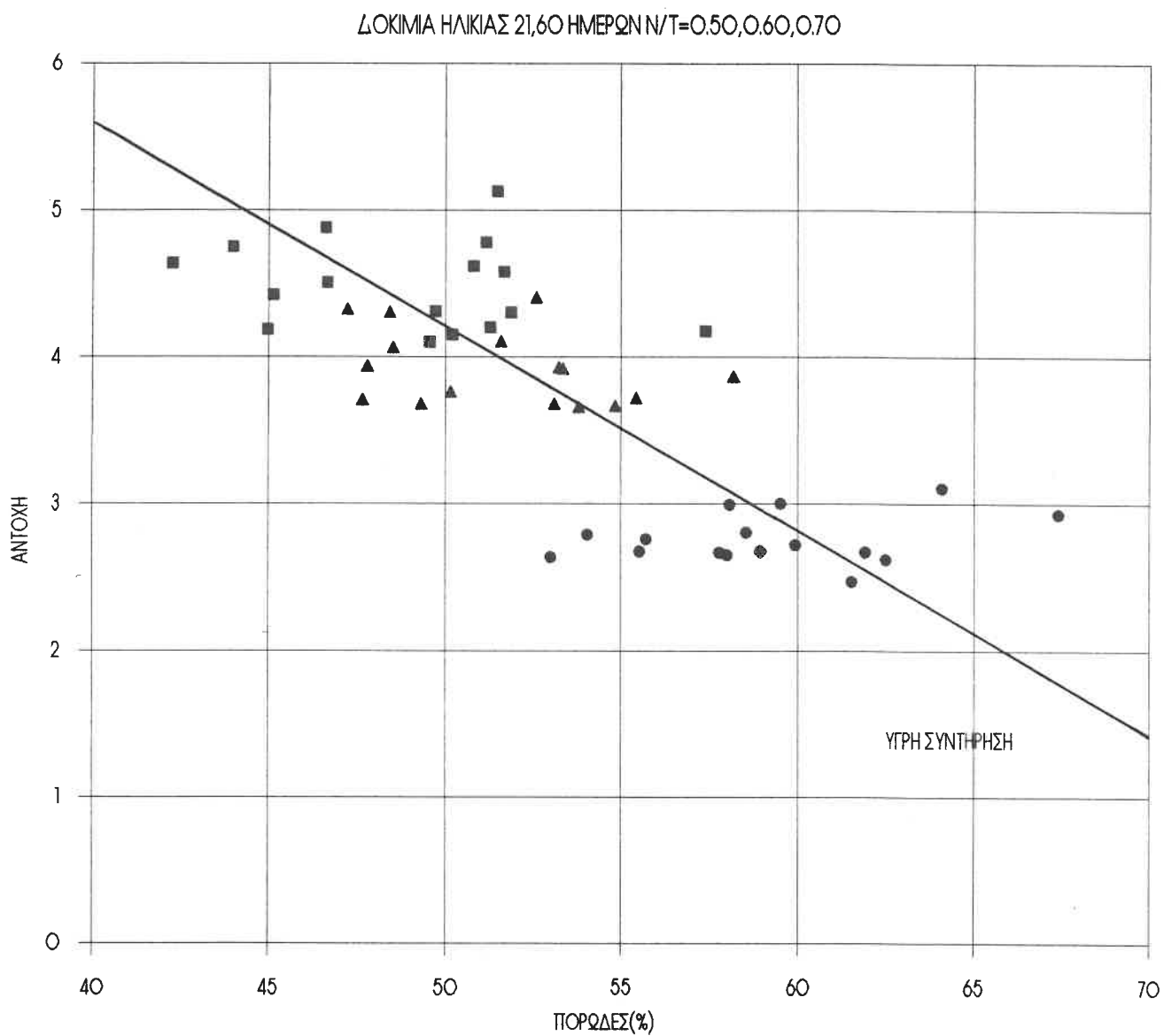
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	252.21247	1	252.21247	8.1779	.00664
Error	1264.4736	41	30.8408		
Total (Corr.)	1516.6860	42			

Correlation Coefficient = 0.407789
Std. Error of Est. = 5.55345

R-squared = 16.63 percent

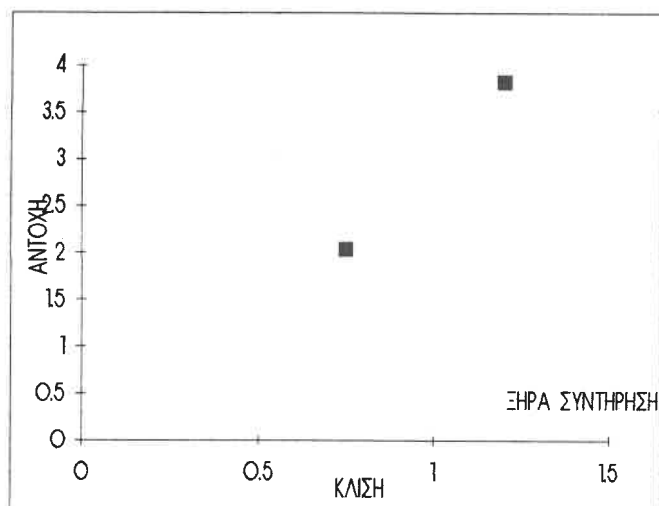


Σχ. 4.34 Αντοχή συναρτήσει πορώδους

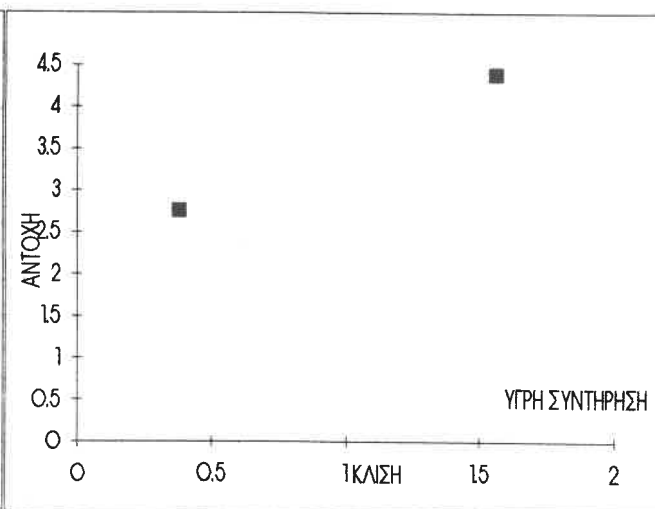


Σχ. 4.35 Αντοχή συναρτήσει πορώδους

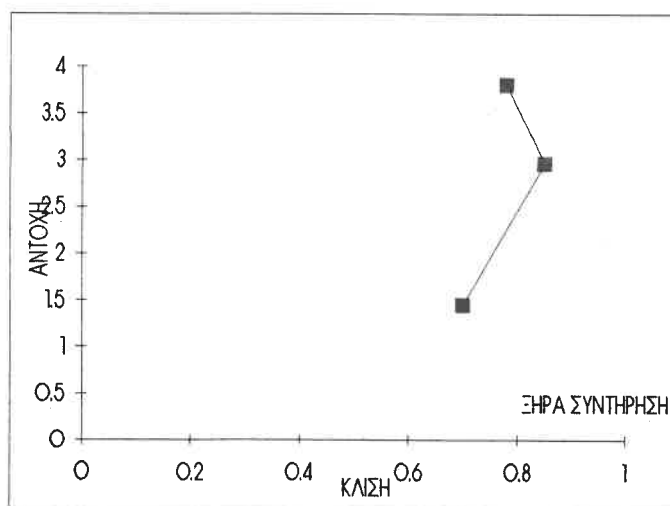
ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21,60 ΗΜΕΡΩΝ



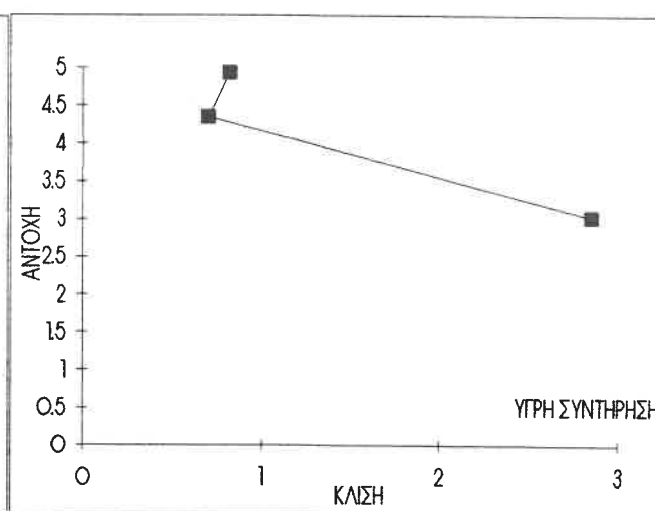
Σχ. 4.36α Κλίση συναρτήσει αντοχής



Σχ. 4.36β Κλίση συναρτήσει αντοχής



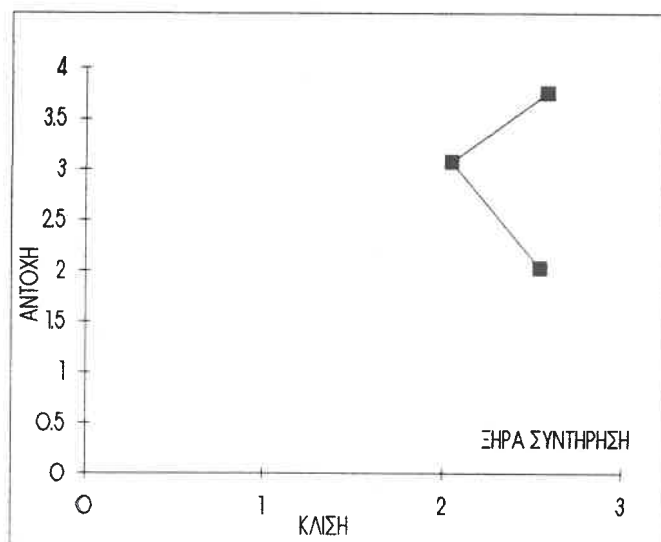
Σχ. 4.36γ Κλίση συναρτήσει αντοχής



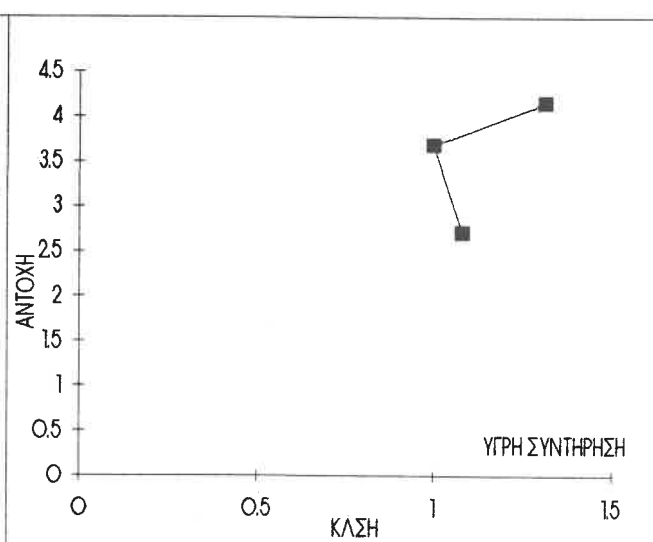
Σχ. 4.36δ Κλίση συναρτήσει αντοχής

Σχ. 4.36 Κλίση συναρτήσει αντοχής

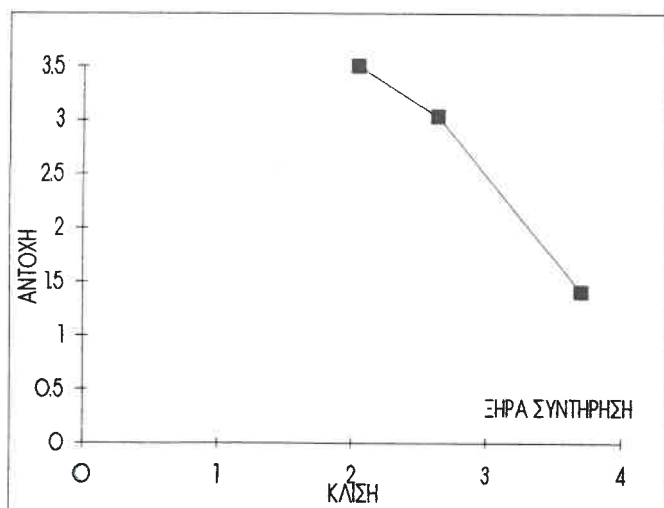
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21,60 ΗΜΕΡΩΝ



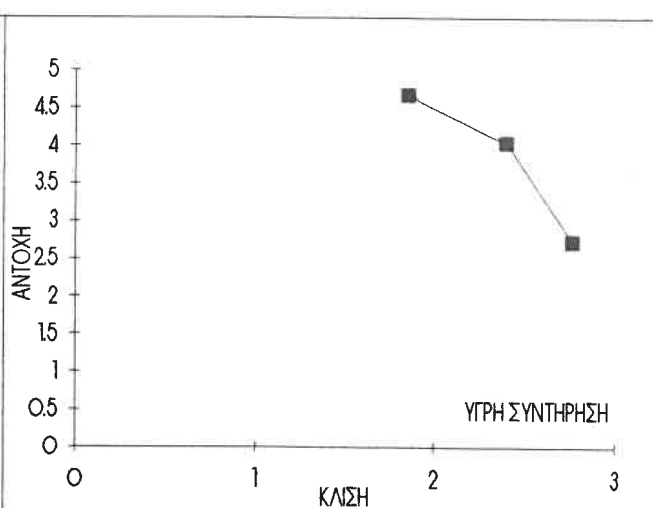
Σχ. 4.37α Κλίση συναρτήσεως αντοχής



Σχ. 4.37β Κλίση συναρτήσεως αντοχής



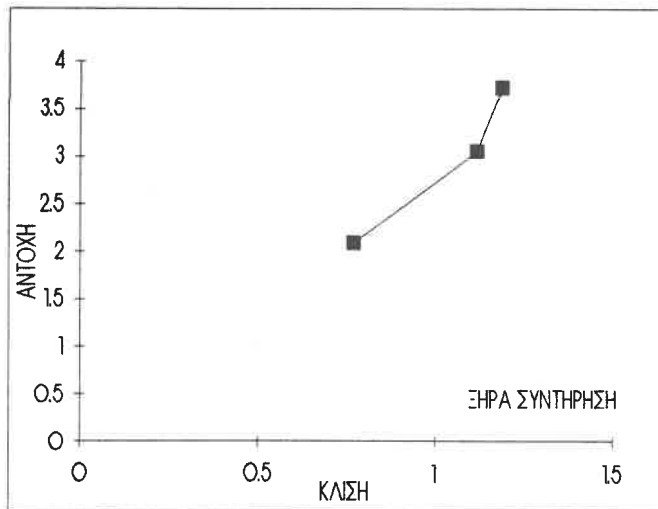
Σχ. 4.37γ Κλίση συναρτήσεως αντοχής



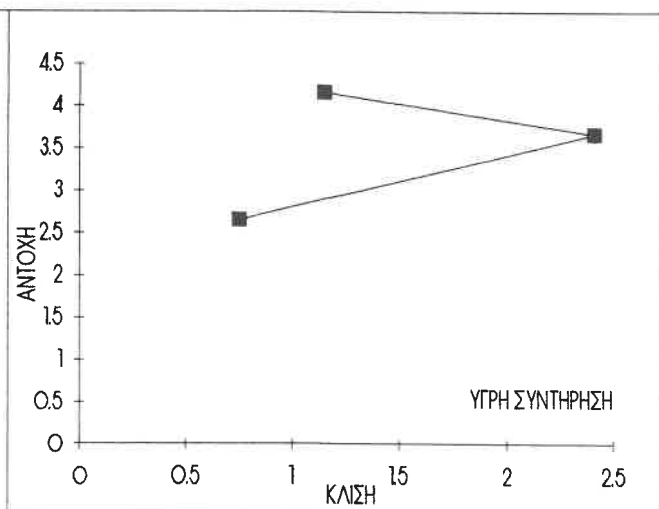
Σχ. 4.37δ Κλίση συναρτήσεως αντοχής

Σχ. 4.37 Κλίση συναρτήσεως αντοχής

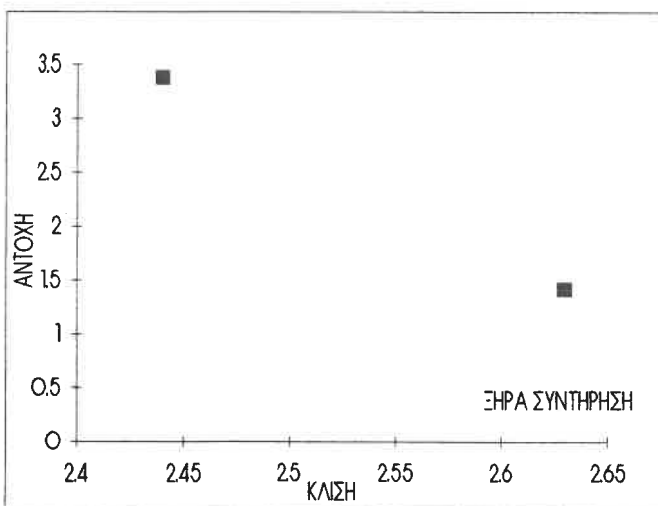
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ(κρεμδοκ) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21.60ΗΜΕΡΩΝ



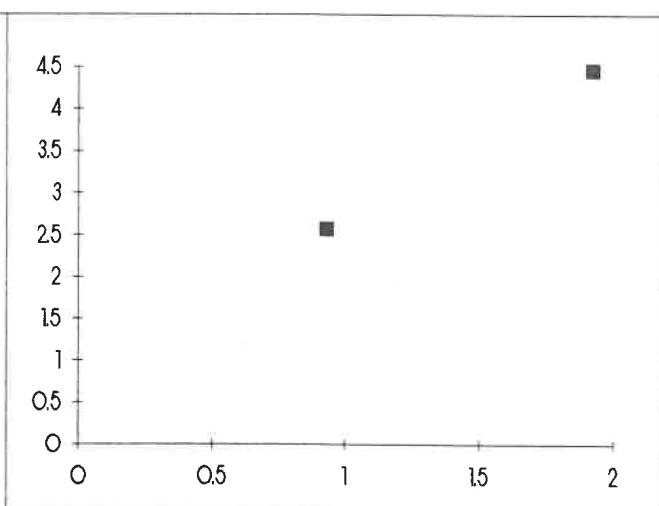
Σχ. 4.38α Κλίση συναρτήσεων αντοχής



Σχ. 4.38β Κλίση συναρτήσεων αντοχής



Σχ. 4.38γ Κλίση συναρτήσεων αντοχής



Σχ. 4.38δ Κλίση συναρτήσεων αντοχής

Σχ. 4.38 Κλίση συναρτήσεων αντοχής

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΤΡΙΧΟΕΙΔΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Στους στενούς σωλήνες που συγκοινωνούν με ευρύ δοχείο, η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, βρίσκεται όπως προβλέπει η αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο με την επιφάνεια του υγρού, δοχείο αλλά ψηλότερα ή χαμηλότερα. Το αν θα βρίσκεται ψηλότερα ή χαμηλότερα, εξαρτάται από το σχετικό μέγεθος των δυνάμεων συνάφειας - συνοχής.

Αν οι δυνάμεις συνάφειας είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνοχής, τότε η επιφάνεια του υγρού στο στενό σωλήνα θα βρίσκεται ψηλότερα. Τότε λέμε ότι το υγρό διαβρέχει τα τοιχώματα του σωλήνα.

Τα φαινόμενα αυτά της ανυψώσεως της στάθμης των υγρών μέσα σε στενούς σωλήνες, δηλαδή στους τριχοειδείς, ονομάζονται γενικά τριχοειδή φαινόμενα. Τα φαινόμενα αυτά συνδέονται άμεσα με την επιφανειακή τάση των υγρών. Το μέγεθος της ανυψώσεως της στάθμης μέσα στους τριχοειδείς σωλήνες εξαρτάται κι από το συντελεστή επιφανειακής τάσης του υγρού.

Έστω στενός σωλήνας εσωτερικής ακτίνας r , εμβαπτισμένος κατακόρυφα μέσα σ' ένα υγρό. Αν το υγρό διαβρέχει τα τοιχώματα του σωλήνα, η στάθμη του στο εσωτερικό του σωλήνα θα βρίσκεται ψηλότερα κατά h από την εξωτερική στάθμη. Στο εσωτερικό του σωλήνα η επιφάνεια του υγρού θα έχει σχήμα κοίλου μηνίσκου.

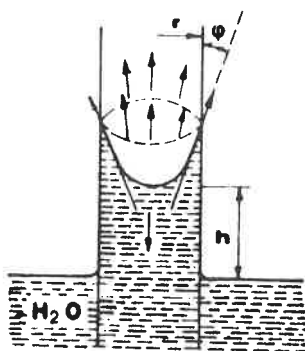
Η ύπαρξη διαφοράς στάθμης δείχνει ότι το υγρό στο σωλήνα υφίσταται τελικά την επίδραση διαφοράς υδροστατικής πίεσης ίσης προς ρgh , αποτέλεσμα της οποίας είναι η άνοδος της στάθμης αυτού.

Μεταξύ λοιπόν του υγρού και του σωλήνα υπάρχουν δυνάμεις συνεπαφής, το δε κοίλο σχήμα είναι αποτέλεσμα της τάσης ολισθήσεως, η οποία ως προς τη διεύθυνση είναι κάθετη προς την ολική δύναμη συνεπαφής.

Το βάρος του υγρού, ύψους h , μέσα στο σωλήνα "συγκρατείται" από την ολική κατακόρυφη συνιστώσα των δυνάμεων επιφανειακής τάσεως.

Το βάρος της υγρής στήλης ύψους h θα είναι ίσο προς $\pi r^2 h \rho g$, η δε ολική δύναμη της επιφανειακής τάσεως που είναι η συνισταμένη των επί μέρους δυνάμεων που παριστάνονται με τα βέλη στο ακόλουθο σχήμα, θα

είναι ίση προς $(2\pi r)\gamma$, διότι θα δίνεται από το γινόμενο του όλου μήκους της γραμμής επί της οποίας ενεργεί (περιφέρεια κύκλου ακτίνας r) και του συντελεστή επιφανειακής τάσεως του υγρού.



Ανύψωση υγρού σε τριχοειδείς σωλήνες.

Η κατακόρυφη συνιστώσα της ολικής δυνάμεως της επιφανειακής τάσης θα είναι ίση προς $2\pi r \gamma \sin \varphi$.

Επομένως θα έχουμε:

$$\pi r h^2 d g = 2 \pi r \gamma \sin \varphi$$

και
$$h = \frac{2\gamma}{d g r} \sin \varphi$$

Η σχέση αυτήν παρέχει την ανύψωση ενός υγρού σ' ένα τριχοειδή σωλήνα και είναι γνωστή ως τύπος του Jurin.

Ορισμός της επιφανειακής τάσης

Μια ιδιότητα των υγρών, η οποία δεν παρουσιάζεται στα αέρια, είναι η επιφανειακή τάση. Πρόκειται για τη δύναμη, η οποία αντιτίθεται στην επαύξηση της επιφάνειας ενός υγρού, διότι, τα μόρια που ευρίσκονται σε αυτή δέχονται έλξη μόνο προς το εσωτερικό, οφειλόμενη στις μεταξύ των αλληλεπιδράσεις. [7].

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Η ροή του υγρού μέσα σε πορώδες μέσο ακολουθεί το νόμο του Darcy:

$$Q = KA_{\sigma} (dp/dx)/\eta \quad (1)$$

όπου Q = μάζα του ρέοντος ρευστού

K = σταθερά διαπερατότητας του φορέα

A = εμβαδό διατομής της ροής

σ, η = πυκνότητα και ιξώδες του ρευστού

dp/dx = ρυθμός κλιμάκωσης της πίεσης.

Ο παραπάνω τύπος ισχύει για μη στροβιλώδη κίνηση υγρού σε παράλληλα στρώματα. Για να βρούμε το ρυθμό με τον οποίο αυξάνει το x είναι απαραίτητο να ξέρουμε την κλιμάκωση της πίεσης. Έστω P_w η πίεση του νερού στην επιφάνεια του σκυροδέματος και P_a η πίεση του αέρα στην επιφάνεια του δοκιμίου που δε βρίσκεται μέσα στο υγρό. Στη διεπιφάνεια μεταξύ της περιοχής του δοκιμίου όπου έχει ανέλθει το νερό και μεταξύ της περιοχής του δοκιμίου που δεν έχει ανέλθει το νερό, η πίεση του αέρα (P_{ia}) και στο νερό (P_{iw}) είναι διαφορετική λόγω τριχοειδών δυνάμεων.

Σε τριχοειδές με ακτίνα r , ή διαφορά πίεσης στην πραναφερθείσα διεπιφάνεια στεγνού - βρεγμένου δοκιμίου δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$P = 2 s \cos\theta / r \quad (2)$$

όπου: s = επιφανειακή τάση

θ = γωνία επαφής.

Για να υπολογίσουμε το αποτέλεσμα της πίεσης στη διεπιφάνεια (αέρα - νερού) στο σκυρόδεμα, παίρνουμε την ακτίνα από μεγάλο τριχοειδή πόρο r , περίπου $1\mu\text{m}$. Έχω:

$$P = 140 \times 10^3 \text{ (Pa)}$$

$$(s = 70 \times 10^{-3} \text{ N/m}, \cos\theta = 1)$$

Είναι φανερό πως οι τριχοειδείς δυνάμεις θα είναι οι επικρατούσες δυνάμεις κατά την απορρόφηση νερού από το σκυρόδεμα και τυχόν μικρές υδροστατικές πιέσεις λόγω διαφοράς ύψους στο νερό μπορούν να παραλήπονται.

Η υδροστατική πίεση αγνοείται στην ανάλυση. Οι πιέσεις στον αέρα και στο νερό διαφέρουν κατά την τριχοειδή πίεση P_{cap} . Το νερό μπορεί να

θεωρείται ασυμπίεστο ρευστό και έτσι ο όγκος της ροής του νερού δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$V_w = Q_w / \sigma_w = [KA/n_w] [(P_w - P_{iw})/x] \quad (3)$$

Αυτό πρέπει να ισούται με τον όγκο της ροής του υγρού από τον αέρα στη επιφάνεια και δίνεται από:

$$V_a = \frac{KA}{n_a} \left(\frac{P_{ia} - P_a}{\ell - x} \right) \left(\frac{P_{ia} + P_a}{2P_{ia}} \right) \quad (4)$$

όπου το $(P_{ia} + P_a) / 2P_{ia}$ είναι συνδεδεμένο με τη συμπίεστικότητα του αέρα. Εξισώνοντας τις παραπάνω ροές και χρησιμοποιώντας όπου $P_{ia} - P_{iw} = P_{cap}$ (σταθερό) και $P_a = P_w$ (αγνοώντας τις υδροστατικές δυνάμεις) καταλήγουμε σε μια έκφραση σχετίζοντας το P_{ia} με το x . Λόγω της μεγάλης διαφοράς ανάμεσα στα ιξώδη του αέρα και του νερού το P_{ia} είναι σημαντικά διαφορετικό από το P_a μόνο για x μικρότερα από $\ell/10$. Για τόσο μικρές τιμές του x η υπόθεση ότι υπάρχει ισορροπία καταστάσεων ροής είναι πιθανώς άκυρη. Οι μεγάλες τιμές του P_{ia} που προβλέφθηκαν για μικρές τιμές x , δεν θα παρατηρηθούν λόγω της συμπίεστικότητας του αέρα. Έτσι προσεγγιστικά θα έχω $P_{ia} = P_a$. Η εξίσωση ροής του νερού γίνεται:

$$V_w = K \cdot A \cdot P_{cap} / x \cdot n_w \quad (5)$$

Ο όγκος του νερού που απαιτείται για τον κορεσμό ενός στοιχείου πάχους dx δίνεται από τον τύπο

$$dv = dx \cdot Az \quad (6)$$

όπου Z = ενεργό πορώδες σκυροδέματος.

Η αναλογία της αύξησης του x δίνεται από:

$$dx/dt = V_w / Az = K \cdot P_{cap} / xzn_w \quad (7)$$

Ολοκληρώνοντας τη σχέση (7) προκύπτει:

$$x(t) = (2KP_{cap}/zn_w)^{1/2} \quad (8)$$

Επομένως το βάθος διείσδυσης του νερού μέσα στο ακόρεστο σκυρόδεμα είναι ανάλογο της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου και της σταθεράς που είναι γνωστή σαν αναρρόφηση S (sorptivity)

$$S = (2KP_{cap}/zn_w)^{1/2}$$

Η μάζα του κυλινδρικού δοκιμίου από σκυρόδεμα για κάθε στιγμή $M(t)$ είναι ίση με την αρχική μάζα $M(0)$ και τις μάζας του απορροφούμενου νερού. Έτσι έχω:

$$M(t) = M(o) + Az\sigma_w \times (t)$$

$$\text{δηλ. } M(t) = M(o) + Az\sigma_w \cdot S \cdot t^{1/2}$$

Έτσι η αναρρόφηση θα μπορούσε να προκύψει από την κλίση του διαγράμματος της μάζας του νερού συναρτήσει της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου, αν το πορώδες είναι γνωστό.

Αν η απορρόφηση συνεχιστεί μέχρι το δοκίμιο από σκυρόδεμα να κορεστεί, το πορώδες μπορεί να προκύψει από τη διαφορά ανάμεσα στα ξηρά και κορεσμένα σε νερό βάρη.

$$Z = (M(\text{sat})) - M(o)) / A\sigma_w.$$

Η ισορροπία στο μηνίσκο των τριχοειδών δυνάμεων, δηλαδή στη διεπιφάνεια μεταξύ υγρού και αέρα, εξαρτάται και από τη σχετική πίεση των ατμών του αερίου πάνω από το μηνίσκο, σύμφωνα με την εξίσωση του Kelvin:

$$(P_c - P_a) = RT/Mv \cdot \ln h$$

όπου M = μάζα ενός γραμμομορίου του νερού (kgr / mole)

v = μαζικός όγκος του νερού (m³/kgr)

P_c = πίεση του νερού στο τριχοειδές (MPa)

P_a = ατμοσφαιρική πίεση (MPa)

R = σταθερά ιδανικών αερίων (Joule/ mole / Kelvin)

T = θερμοκρασία (Kelvin)

h = ύψος στο τριχοειδές (m).

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ									
ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΩΝ(α) ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0.50									
ΧΡΟΝΟΣ (min)	ΕΠΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΥΠΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		
	Δ1	Δ2	Δ3	Δ11	Δ12	Δ13	Σ(εσ)/3	Σ(ωσ)/3	
0	2310.13	2291.61	2301.67	2318.51	2319.69	2346.93	2301.14		2328.38
25	2316.71	2298.58	2307.60	2320.78	2322.70	2348.89	2307.63		2330.79
60	2317.99	2299.84	2308.69	2321.04	2323.22	2349.23	2308.84		2331.16
85	2318.67	2300.59	2309.41	2321.25	2323.56	2349.46	2309.56		2331.42
115	2319.80	2301.63	2310.15	2321.43	2323.87	2349.71	2310.53		2331.67
145	2320.67	2302.45	2310.84	2321.60	2324.15	2350.00	2311.32		2331.92
175	2321.36	2303.13	2311.38	2321.80	2324.43	2350.13	2311.96		2332.12
235	2322.61	2304.31	2312.40	2321.97	2324.81	2350.46	2313.11		2332.41
295	2323.68	2305.38	2313.17	2322.15	2325.11	2350.67	2314.08		2332.64
355	2324.61	2306.41	2314.06	2322.35	2325.39	2350.95	2315.03		2332.90
415	2325.39	2307.16	2314.64	2322.50	2325.62	2351.13	2315.73		2333.08
1270	2332.91	2314.92	2320.85	2323.84	2327.73	2353.18	2322.89		2334.92
1510	2334.42	2316.51	2322.15	2324.15	2328.50	2353.60	2324.36		2335.42
1765	2335.82	2318.03	2323.37	2324.41	2328.60	2353.94	2325.74		2335.65

ΥΔΑΤΑΠΟΡΟΦΗΣΗ

ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ(gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0,50

ΧΡΟΝΟΣ(min)	ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ		ΞΗΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ				ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	
	1Α	2Α	3Α	9Α	10Α	11Α	Σ(u.σ)/3	Σ(ξ.σ)/3
0	2354,52	2359,18	2323,02	2284,91	2281,03	2278,45	2345,573	2281,463
48	2358,54	2362,64	2327,32	2298,16	2291,33	2290	2349,5	2293,163
65	2359,28	2363,21	2327,86	2300,86	2293,64	2292,48	2350,117	2295,66
95	2359,92	2363,69	2328,38	2303,21	2295,49	2294,68	2350,663	2297,793
125	2360,43	2364,07	2328,8	2305,07	2297,26	2296,39	2351,1	2299,573
155	2360,8	2364,38	2329,17	2306,74	2298,81	2298	2351,45	2301,183
195	2361,29	2364,75	2329,68	2308,88	2300,62	2299,95	2351,907	2303,15
240	2361,69	2365,2	2330,04	2310,76	2302,18	2301,67	2352,31	2304,87
300	2362,28	2365,55	2330,48	2312,91	2303,99	2303,61	2352,77	2306,837
365	2362,72	2365,96	2330,94	2315,06	2305,81	2305,49	2353,207	2308,787
440	2363,22	2366,38	2331,45	2317,2	2307,6	2307,4	2353,683	2310,733
1525	2367,73	2370,27	2335,67	2335,04	2322,09	2323,06	2357,89	2326,73

ΧΡΟΝΟΣ (min)	ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ							ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Σ(σ)/3	Σ(σ)/3
	ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ (gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Μ/Τ=0.60								
	ΞΗΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ					
	Δ17	Δ18	Δ21	Δ25	Δ26	Δ27			
0	2322.62	2290.76	2309.90	2366.82	2344.63	2333.56	2307.76	2348.34	
35	2336.15	2307.24	2325.40	2366.82	2351.20	2339.42	2322.93	2352.48	
75	2340.49	2308.78	2330.53	2368.60	2353.37	2341.09	2326.60	2354.35	
110	2343.46	2313.59	2333.74	2369.46	2354.43	2342.04	2330.26	2355.31	
140	2346.05	2317.14	2336.24	2370.17	2355.60	2342.89	2333.14	2356.22	
175	2348.22	2319.79	2338.72	2370.91	2356.52	2343.76	2335.58	2357.06	
210	2350.43	2322.9	2341.12	2371.63	2357.46	2344.72	2338.15	2357.94	
249	2352.08	2325.06	2342.73	2372.09	2358.07	2345.21	2339.96	2358.46	
290	2353.91	2327.38	2344.61	2372.65	2358.79	2345.88	2341.97	2359.11	
365	2357.43	2331.78	2348.17	2373.72	2360.12	2347.19	2345.79	2360.34	
440	2360.41	2335.28	2351.17	2374.58	2361.20	2348.27	2348.95	2361.35	
500	2362.96	2338.13	2353.50	2375.29	2362.08	2349.23	2351.53	2362.20	
560	2365.05	2340.58	2355.60	2375.91	2362.72	2350.01	2353.74	2362.88	
1375	2387.91	2364.74	2377.02	2381.80	2369.93	2357.58	2376.56	2369.77	

ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ								
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ(gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0,70								
ΞΕΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΜΕΛΟΣ ΟΡΟΣ		
ΡΟΝΟΣ(min)	Δ17B	Δ18B	Δ19B	Δ25B	Δ26B	Δ27B	Σ(α,β)/3	Σ(α,β)/3
0	2293,09	2278,44	2250,29	2381,02	2365,66	2356,44	2273,94	2367,71
28	2308,01	2293,89	2266,41	2381,37	2366,17	2357,08	2289,44	2368,21
70	2314,32	2299,80	2272,97	2381,52	2366,45	2357,23	2295,70	2368,40
100	2317,81	2303,31	2276,83	2381,71	2366,61	2357,37	2299,32	2368,56
130	2320,81	2306,15	2280,03	2381,79	2366,73	2357,47	2302,33	2368,66
190	2325,84	2311,00	2285,53	2382,00	2367,07	2357,75	2307,46	2368,94
250	2330,02	2314,91	2289,85	2382,26	2367,30	2357,99	2311,59	2369,18
310	2333,65	2318,25	2293,50	2382,52	2367,50	2358,26	2315,13	2369,43
370	2336,99	2321,33	2296,81	2382,75	2367,71	2358,51	2318,38	2369,66
430	2339,80	2323,98	2299,71	2382,97	2367,96	2358,78	2321,16	2369,90
490	2342,54	2326,51	2302,42	2383,14	2368,17	2359,06	2323,82	2370,12
520	2344,01	2327,96	2303,94				2325,30	
555	2345,29	2329,10	2305,15	2383,40	2368,35	2359,30	2326,51	2370,35
586	2346,63	2330,34	2306,50				2327,82	
616	2347,89	2331,51	2307,60				2329,00	
645	2348,89	2332,44	2308,68				2330,00	
1610	2375,13	2358,22	2334,25	2385,75	2371,00	2362,59	2355,87	2373,11

ΥΔΑΤΑΠΟΡΟΦΗΣΗ

ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ(gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,70

ΞΗΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ
ΒΑΡΗ

ΧΡΟΝΟΣ(min)	Δ1Β	Δ2Β	Δ4Β	Δ9Β	Δ10Β	Δ11Β	Σ(ξ.σ)/3	Σ(υ.σ)/3
0	2251,79	2261,02	2234,43	2343,73	2349,47	2345,67	2249,08	2346,29
30	2273,38	2278,51	2274,68	2345,59	2351,85	2348,46	2275,523	2348,633
60	2285,4	2289,01	2286,5	2346,83	2353,05	2349,92	2286,97	2349,933
85	2292,95	2295,93	2294	2347,54	2353,83	2350,8	2294,293	2350,723
115	2299,36	2302,54	2301,09	2348,17	2354,57	2351,52	2300,997	2351,42
145	2305,74	2308,29	2307,17	2348,82	2355,39	2352,24	2307,067	2352,15
180	2312,2	2314,43	2313,18	2349,47	2356,13	2352,9	2313,27	2352,833
210	2316,39	2318,6	2317,94	2349,86	2356,75	2353,43	2317,643	2353,347
270	2325,89	2327,65	2327,7	2350,83	2357,86	2354,46	2327,08	2354,383
330	2334,24	2335,46	2335,97	2351,61	2358,87	2355,48	2335,223	2355,32
365	2337,99	2339,21	2340,02				2339,073	
390	2340,64	2341,87	2342,83	2352,24	2359,73	2356,25	2341,78	2356,073
450	2346,54	2347,76	2348,96	2352,86	2360,46	2356,9	2347,753	2356,74
520	2352,71	2354,33	2355,5	2353,71	2361,45	2357,77	2354,18	2357,643
550	2355,37	2357,08	2358,31				2356,92	
580	2357,15	2359	2360,14	2354,31	2362,18	2358,4	2358,763	2358,297
640	2361,42	2363,88	2364,93	2354,97	2362,96	2359,25	2363,41	2359,06
1525	2365,88	2376,01	2371,1	2361,82	2370,2	2365,22	2370,997	2365,747

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ										
ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΩΝ (gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.50										
ΧΡΟΝΟΣ (min)	ΞΗΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ					ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ				
	Δ4	Δ5	Δ6	Δ14	Δ15	Δ16				
0	2311.48	2307.87	2268.92	2335.58	2326.82	2331.64	2296.09	2331.35		
30	2347.58	2346.18	2305.47	2340.13	2333.15	2338.24	2333.08	2337.17		
74	2353.91	2352.23	2311.38	2341.36	2334.89	2340.52	2339.17	2338.92		
109	2355.74	2354.70	2313.73	2342.07	2335.71	2341.67	2341.39	2339.82		
143	2357.43	2356.13	2315.41	2342.06	2336.50	2342.65	2342.99	2340.40		
174	2359.18	2357.91	2316.84	2343.02	2337.16	2343.70	2344.64	2341.29		
204	2360.18	2358.98	2318.03	2343.05	2337.67	2344.04	2345.73	2341.59		
234	2361.02	2359.78	2318.93	2343.85	2338.38	2344.68	2346.58	2342.30		
294	2362.96	2361.47	2320.53	2344.51	2339.02	2345.51	2348.32	2343.01		
354	2364.21	2362.85	2322.02	2345.02	2339.75	2346.42	2349.69	2343.73		
414	2364.89	2363.57	2322.84	2345.34	2340.37	2347.15	2350.43	2344.29		
474	2365.68	2364.35	2323.71	2345.77	2340.90	2347.71	2351.25	2344.79		
543	2366.59	2365.04	2324.48	2346.29	2341.40	2348.38	2352.04	2345.36		
1304	2371.60	2369.78	2333.00	2349.60	2345.32	2352.69	2358.13	2349.20		
1544	2372.49	2370.60	2331.21	2350.37	2346.24	2353.76	2358.10	2350.12		
1799	2373.08	2371.07	2331.51	2350.89	2346.56	2354.08	2358.55	2350.51		

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ

ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ (gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,50

ΧΡΟΝΟΣ(min)	ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΞΗΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	
	4A	5A	6A	12A	13A	14A	Σ(υ.σ)/Σ	Σ(ξ.σ)/Σ
0	2364,47	2348,34	2358,9	2286,05	2263,02	2282,37	2357,237	2277,147
45	2383,22	2369,81	2378,05	2342,63	2324,2	2347,25	2377,027	2338,027
80	2385,11	2372,46	2380,2	2347,64	2329,02	2352,33	2379,257	2342,997
110	2386,56	2373,97	2381,74	2350,57	2332,14	2355,08	2380,757	2345,93
140	2387,44	2375,23	2382,99	2352,46	2334,8	2358	2381,887	2348,42
170	2388,24	2376,13	2383,48	2354,55	2336,87	2359,92	2382,617	2350,447
210	2388,89	2377,2	2384,45	2356,35	2338,82	2362,01	2383,513	2352,393
255	2389,51	2377,85	2385,19	2358,28	2340,4	2363,8	2384,183	2354,16
315	2390,35	2379,15	2386,22	2359,99	2342,35	2365,33	2385,24	2355,89
380	2391,1	2380,19	2387,23	2361,57	2343,83	2367,03	2386,173	2357,477
460	2391,67	2380,92	2387,91	2363,18	2345,28	2368,44	2386,833	2358,967
1540	2396,96	2386,93	2393,59	2371,82	2352,95	2376,53	2392,493	2367,1

ΥΑΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ										
ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ(gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0.60										
ΧΡΟΝΟΣ(min)	ΞΗΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ					ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ				
	ΔΕΞ					ΔΕΞ				
	Δ22	Δ23	Δ24	Δ28	Δ29	Δ30	Σ(gr)/3	Σ(μg)/g	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	
0	2272.09	2256.88	2290.80	2323.82	2349.13	2351.52	2273.26	2341.49		
25	2328.92	2315.48	2349.86	2346.95	2370.37	2371.43	2331.42	2362.92		
65	2340.26	2326.42	2360.41	2351.04	2374.26	2374.87	2342.36	2366.72		
105	2344.91	2331.28	2364.62	2353.05	2376.68	2376.57	2346.94	2368.77		
135	2347.74	2334.26	2367.31	2354.40	2377.78	2377.70	2349.77	2369.96		
175	2349.76	2336.46	2369.08	2355.78	2379.15	2379.21	2351.77	2371.38		
212	2351.65	2338.30	2371.06	2356.79	2380.22	2379.96	2353.67	2372.32		
245	2352.39	2339.37	2371.73	2357.58	2381.03	2380.86	2354.50	2373.16		
285	2353.70	2340.59	2373.36	2358.31	2381.84	2381.67	2355.88	2373.94		
360	2355.97	2342.70	2375.03	2359.75	2383.21	2382.96	2357.90	2375.31		
435	2356.93	2344.18	2376.58	2360.83	2384.36	2383.92	2359.23	2376.37		
495	2357.96	2345.21	2377.76	2361.56	2385.37	2384.74	2360.31	2377.22		
555	2358.67	2345.84	2378.42	2362.15	2385.76	2385.30	2360.98	2377.74		
1375	2362.30	2349.79	2381.39	2366.51	2391.13	2390.14	2364.49	2382.59		

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ									
ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ(gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0,6Q									
ΧΡΟΝΟΣ(min)	ΞΗΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ				ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ				ΣΥΝΟΛΟ Σ(50/3) Σ(100/6)
	Δ22	Δ23	Δ24	Δ28	Δ29	Δ30	Δ3Q		
0	2272.09	2256.88	2290.80	2323.82	2349.13	2351.52	2341.49		
25	2328.92	2315.48	2349.86	2346.95	2370.37	2371.43	2362.92		
65	2340.26	2326.42	2360.41	2351.04	2374.26	2374.87	2366.72		
105	2344.91	2331.28	2364.62	2353.05	2376.68	2376.57	2368.77		
135	2347.74	2334.26	2367.31	2354.40	2377.78	2377.70	2369.96		
175	2349.76	2336.46	2369.08	2355.78	2379.15	2379.21	2371.38		
212	2351.65	2338.30	2371.06	2356.79	2380.22	2379.96	2372.32		
245	2352.39	2339.37	2371.73	2357.58	2381.03	2380.86	2373.16		
285	2353.70	2340.59	2373.36	2358.31	2381.84	2381.67	2373.94		
360	2355.97	2342.70	2375.03	2359.75	2383.21	2382.96	2375.31		
435	2356.93	2344.18	2376.58	2360.83	2384.36	2383.92	2376.37		
495	2357.96	2345.21	2377.76	2361.56	2385.37	2384.74	2377.22		
565	2358.67	2345.84	2378.42	2362.15	2385.76	2385.30	2377.74		
1375	2362.30	2349.79	2381.39	2366.51	2391.13	2390.14	2382.59		

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ

ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0,70

ΡΟΝΟΣ(mi)	ΞΗΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ			ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	
	Δ21B	Δ23B	Δ24B	Δ28B	Δ29B	Δ31B	Σ(ξ.σ)/3	Σ(υ.σ)/3
0	2264,16	2273,52	2263,05	2369,00	2355,88	2363,85	2266,91	2362,91
30	2332,33	2341,13	2332,11	2373,12	2359,31	2370,61	2335,19	2367,68
70	2340,97	2351,27	2342,88	2374,34	2360,15	2372,19	2345,04	2368,89
100	2345,34	2355,99	2346,74	2374,98	2360,63	2373,38	2349,36	2369,66
130	2347,54	2358,81	2349,38	2375,70	2361,26	2374,03	2351,91	2370,33
190	2351,08	2362,51	2352,37	2376,80	2362,12	2375,36	2355,32	2371,43
250	2353,10	2364,47	2354,28	2377,71	2363,04	2376,23	2357,28	2372,33
310	2354,62	2365,63	2355,38	2378,43	2363,70	2377,02	2358,54	2373,05
370	2355,52	2366,13	2355,77	2378,83	2364,22	2377,65	2359,14	2373,57
430	2356,24	2366,43	2356,02	2379,44	2364,71	2378,14	2359,56	2374,10
490	2356,30	2366,50	2356,10	2379,97	2365,19	2378,57	2359,63	2374,58
1585	2357,50	2366,71	2357,40	2383,58	2370,73	2381,56	2360,54	2378,62

ΤΙΜΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ N/T = 0,50				ΤΙΜΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ N/T = 0,60				ΤΙΜΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ N/T = 0,70			
ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ		ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ		ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ		ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ		ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ		ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ	
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΑΝΤΟΧΗ (KN/cm ²)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΑΝΤΟΧΗ (KN/cm ²)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΑΝΤΟΧΗ (KN/cm ²)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΑΝΤΟΧΗ (KN/cm ²)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΑΝΤΟΧΗ (KN/cm ²)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΑΝΤΟΧΗ (KN/cm ²)
1	3.872	1A	4.911	17A	3.766	17	2.997	17B	1.975	1B	1.446
2	3.893	2A	4.858	18A	3.733	18	2.901	18B	2.070	2B	1.521
3	4.045	3A	5.155	19A	3.898	19	2.791	19B	2.086	3B	1.419
4	3.707	4A	4.754	20A	3.670	20	2.942	20B	2.129	4B	1.383
5	3.715	5A	4.645	21A	3.752	21	3.055	21B	2.122	5B	1.385
6	3.887	6A	4.648	22A	3.708	22	3.166	22B	2.039	6B	1.425
7	3.814	7A	4.552	23A	3.735	23	3.008	23B	2.005	7B	1.489
8	3.754	8A	4.420	24A	3.716	24	2.947	24B	1.967	8B	1.366
9	4.209	9A	3.767	25A	3.436	25	4.471	25B	2.814	9B	3.093
10	4.152	10A	3.892	26A	3.452	26	4.336	26B	2.807	10B	3.000
11	4.308	11A	3.857	27A	3.480	27	4.337	27B	2.712	11B	3.046
12	4.624	12A	3.550	28A	3.074	28	4.084	28B	2.756	12B	2.948
13	4.346	13A	3.537	29A	2.990	29	3.955	29B	2.716	13B	2.666
14	4.278	14A	3.535	30A	3.154	30	4.118	30B	2.681	14B	2.642
15	4.212	15A	3.405	31A	3.132	31	3.996	31B	2.804	15B	2.493
16	4.134	16A	3.394	32A	3.065	32	3.041	32B	2.686	16B	2.708

ΠΟΡΩΔΕΣ ΔΟΚΙΜΙΟΝ Ν/Τ=0,50				ΠΟΡΩΔΕΣ ΔΟΚΙΜΙΟΝ Ν/Τ=0,60				ΠΟΡΩΔΕΣ ΔΟΚΙΜΙΟΝ Ν/Τ=0,70			
ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ		ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ		ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ		ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ		ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ		ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ	
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ
1	0,21	1Α	0,18	17Α	0,17	17	0,17	17Β	0,17	1Β	0,19
2	0,18	2Α	0,19	18Α	0,16	18	0,18	18Β	0,18	2Β	0,21
3	0,16	3Α	0,19	19Α	0,20	19	0,19	19Β	0,18	3Β	0,19
4	0,17	4Α	0,17	20Α	0,18	20	0,19	20Β	0,17	4Β	0,20
5	0,19	5Α	0,19	21Α	0,19	21	0,16	21Β	0,19	5Β	0,19
6	0,21	6Α	0,16	22Α	0,18	22	0,19	22Β	0,17	6Β	0,21
7	0,18	7Α	0,18	23Α	0,17	23	0,19	23Β	0,18	7Β	0,20
8	0,18	8Α	0,17	24Α	0,18	24	0,17	24Β	0,18	8Β	0,19
9	0,17	9Α	0,18	25Α	0,16	25	0,18	25Β	0,17	9Β	0,20
10	0,19	10Α	0,20	26Α	0,17	26	0,16	26Β	0,19	10Β	0,18
11	0,19	11Α	0,17	27Α	0,17	27	0,16	27Β	0,19	11Β	0,19
12	0,20	12Α	0,20	28Α	0,18	28	0,16	28Β	0,19	12Β	0,21
13	0,20	13Α	0,21	29Α	0,19	29	0,18	29Β	0,18	13Β	0,18
14	0,20	14Α	0,19	30Α	0,18	30	0,17	30Β	0,17	14Β	0,20
15	0,22	15Α	0,19	31Α	0,18	31	0,18	31Β	0,18	15Β	0,20
16	0,19	16Α	0,20	32Α	0,21	32	0,16	32Β	0,20	16Β	0,18

ΠΟΡΩΔΕΣ (συμ.)ΔΟΚΙΜΙΩΝ N/T=0.50															
ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ				ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ				ΠΟΡΩΔΕΣ (συμ.)ΔΟΚΙΜΙΩΝ N/T=0.60				ΠΟΡΩΔΕΣ (συμ.)ΔΟΚΙΜΙΩΝ N/T=0.70			
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ(%)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ(%)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ(%)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ(%)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ(%)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ(%)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ(%)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΟΡΩΔΕΣ(%)
1	53.39	1Α	46.62	17Α	50.16	17Α	49.67	17Α	50.16	17Α	49.67	17Β	54.15	1Β	59.82
2	45.50	2Α	51.17	18Α	47.65	18Α	53.69	18Α	47.65	18Α	53.69	18Β	57.94	2Β	66.86
3	42.18	3Α	51.49	19Α	58.18	19Α	56.66	19Α	58.18	19Α	56.66	19Β	56.64	3Β	60.06
4	45.14	4Α	44.00	20Α	53.80	20Α	55.40	20Α	53.80	20Α	55.40	20Β	52.90	4Β	62.10
5	48.17	5Α	50.81	21Α	55.43	21Α	47.76	21Α	55.43	21Α	47.76	21Β	59.71	5Β	60.03
6	54.94	6Α	42.28	22Α	53.10	22Α	56.60	22Α	53.10	22Α	56.60	22Β	52.67	6Β	66.86
7	45.40	7Α	46.67	23Α	49.31	23Α	55.31	23Α	49.31	23Α	55.31	23Β	57.18	7Β	62.84
8	45.72	8Α	45.16	24Α	54.84	24Α	50.58	24Α	54.84	24Α	50.58	24Β	55.65	8Β	59.88
9	44.99	9Α	47.96	25Α	47.07	25Α	52.58	25Α	47.07	25Α	52.58	25Β	54.05	9Β	64.11
10	50.22	10Α	51.17	26Α	49.86	26Α	47.23	26Α	49.86	26Α	47.23	26Β	58.56	10Β	58.09
11	49.73	11Α	43.49	27Α	51.39	27Α	48.42	27Α	51.39	27Α	48.42	27Β	58.96	11Β	59.53
12	51.68	12Α	52.18	28Α	54.28	28Α	48.52	28Α	54.28	28Α	48.52	28Β	59.94	12Β	67.44
13	51.88	13Α	54.21	29Α	55.14	29Α	53.24	29Α	55.14	29Α	53.24	29Β	55.53	13Β	58.00
14	51.28	14Α	46.28	30Α	53.70	30Α	51.59	30Α	53.70	30Α	51.59	30Β	53.00	14Β	62.51
15	57.41	15Α	51.14	31Α	54.02	31Α	53.35	31Α	54.02	31Α	53.35	31Β	55.73	15Β	61.53
16	49.57	16Α	52.15	32Α	61.30	32Α	47.78	32Α	61.30	32Α	47.78	32Β	61.92	16Β	57.79

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ

ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ(gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,70
ΞΗΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

ΧΡΟΝΟΣ(min)	Δ3Β	Δ5Β	Δ6Β	Δ12Β	Δ13Β	Δ14Β	Σ(ξ.σ)/3	Σ(υ.σ)/3
0	2249,73	2223,7	2228,52	2349,02	2316,98	2347,32	2233,983	2337,773
14	2332	2314,89	2320,82	2369,81	2341,76	2370,28	2322,57	2360,617
54	2354,42	2334,81	2343,45	2374,86	2347,94	2376,56	2344,227	2366,453
84	2362,99	2343,34	2351,25	2377,23	2350,62	2379,26	2352,527	2369,037
114	2366,87	2347,63	2354,51	2378,81	2352,64	2381,02	2356,337	2370,823
144	2369,7	2349,25	2355,61	2379,57	2353,88	2382,3	2358,187	2371,917
174	2370,85	2349,96	2356,04	2380,59	2354,91	2383,34	2358,95	2372,947
204	2371,58	2350,51	2356,79	2380,87	2355,75	2384,31	2359,627	2373,643
264	2372,09	2351,02	2356,99	2382,5	2357,45	2386,02	2360,033	2375,323
324	2372,16	2350,77	2357,43	2382,82	2358,22	2386,68	2360,12	2375,907
384	2372,39	2350,99	2357,44	2383,49	2359,75	2387,33	2360,273	2376,857
1564	2374,25	2353,14	2359,83	2388,09	2364,91	2393,87	2362,407	2382,29

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ (κρημ. δοκιμ.)

ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ (gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0.50

ΧΡΟΝΟΣ(min)	ΞΗΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ		ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ		ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	
	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Σ(εσ)/2	Σ(εσ)/2
0	1316.81	1282.97	1362.73	1339.01	1299.89	1350.87
93	1330	1338	1375	1350	1334	1362.5
126	1347.66	1339.18	1376.5	1350.52	1343.42	1363.51
149	1365.25	1340.22	1377.09	1352.59	1352.735	1364.84
179	1366.5	1341.67	1377.44	1353.1	1354.085	1365.27
209	1367.56	1342.47	1377.93	1353.48	1355.015	1365.705
244	1368.93	1343.54	1378.29	1353.93	1356.235	1366.11
278	1369.76	1344.38	1378.63	1354.22	1357.07	1366.425
338	13711	1345.68	1379.25	1354.82	1358.39	1367.035
398	1372.09	1346.73	1379.76	1355.31	1359.41	1367.535
458	1372.61	1347.54	1380.17	1355.65	1360.075	1367.91
518	1373.87	1348.42	1380.72	1356.22	1361.145	1368.47
1298	1379.1	1353.59	1384.53	1359.54	1366.345	1372.035
1538	1379.72	1354.62	1385.32	1360.27	1367.17	1372.795
1793	1380.15	1355.1	1385.79	1360.82	1367.625	1373.305

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ (κρεμ. δοκιμ.)

ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ (gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0,50

ΧΡΟΝΟΣ(min)	ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ		ΞΗΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ		ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	
	Δ7	Δ8	Δ15	Δ16	Σ(υ.ο)/3	Σ(ξ.ο)/3
0	1354,41	1334,58	1295,17	1275,78	1344,495	1285,475
15	1370,96	1351,78	1348,78	1332,4	1361,37	1340,59
55	1373,68	1355,54	1358,66	1345,25	1364,61	1351,955
85	1375,04	1356,68	1363,3	1349,03	1365,86	1356,165
115	1376,51	1357,92	1365,4	1352,1	1367,215	1358,75
153	1377,76	1359,22	1368,03	1354,72	1368,49	1361,375
190	1378,71	1360,48	1369,72	1357,05	1369,595	1363,385
225	1379,54	1361,2	1371,59	1358,85	1370,37	1365,22
285	1380,59	1362,16	1372,82	1360,76	1371,375	1366,79
360	1381,59	1363,38	1374,78	1362,99	1372,485	1368,885
435	1382,54	1364,18	1376,17	1364,75	1373,36	1370,46
1085	1387,89	1370,04	1383,96	1373,87	1378,965	1378,915

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ(κρεμ.δοκ.)

ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ(gr) ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,60

ΧΡΟΝΟΣ(min)	ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ		ΞΗΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ		ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	
	Δ23Α	Δ24Α	Δ28Α	Δ32Α	Σ(ξ.σ)	Σ(υ.σ)
0	1390,01	1392,88	1303,35	1291,94	1391,445	1297,645
20	1395,96	1396,24	1344,01	1331,28	1396,1	1337,645
45	1397,27	1397,57	1349,99	1337,96	1397,42	1343,975
75	1398,43	1398,72	1354,49	1342,97	1398,575	1348,73
105	1399,21	1399,45	1357,29	1346,04	1399,33	1351,665
135	1399,92	1400,1	1359,68	1348,64	1400,01	1354,16
250	1401,67	1401,84	1364,83	1354,16	1401,755	1359,495
325	1402,57	1402,64	1366,98	1356,56	1402,605	1361,77
375	1402,98	1403,1	1368,35	1357,89	1403,04	1363,12
1575	1408,42	1408,94	1378,17	1368,07	1408,68	1373,12

ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ(κρημ. δοκ.)

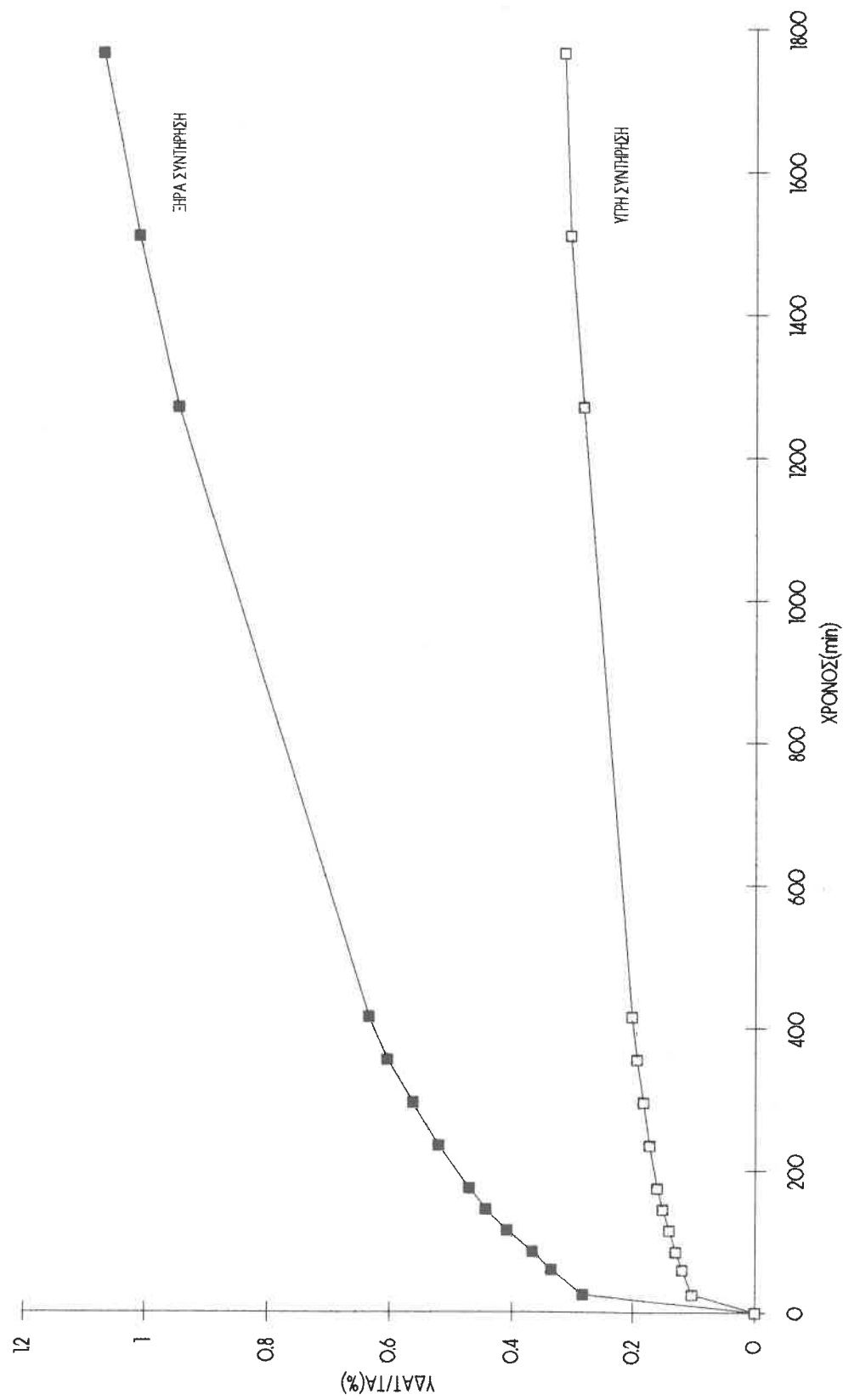
ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0.70

ΧΡΟΝΟΣ(mln)	ΞΗΡΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ		ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ		ΠΕΡΙΟΔΟΣ	
	Δ20B	Δ22B	Δ30B	Δ32B	Π(εο)/2	Π(υο)/3
0	1288.58	1274.09	1364.57	1357.01	1281.34	1360.79
30	1361.65	1348.28	1370.64	1359.66	1354.97	1365.15
60	1366.52	1356.28	1372.61	1360.99	1361.40	1366.80
90	1371.38	1360.97	1374.15	1362.36	1366.18	1368.26
120	1374.05	1364.29	1375.19	1363.57	1369.17	1369.38
203	1379.02	1368.95	1377.50	1365.63	1373.99	1371.57
265	1381.68	1371.18	1378.73	1367.09	1376.43	1372.91
330	1383.16	1372.27	1379.58	1368.42	1377.72	1374.00
390	1384.20	1372.99	1380.51	1369.31	1378.60	1374.91
450	1384.81	1373.39	1381.27	1370.19	1379.10	1375.73
1600	1386.78	1375.29	1385.38	1377.34	1381.04	1381.36

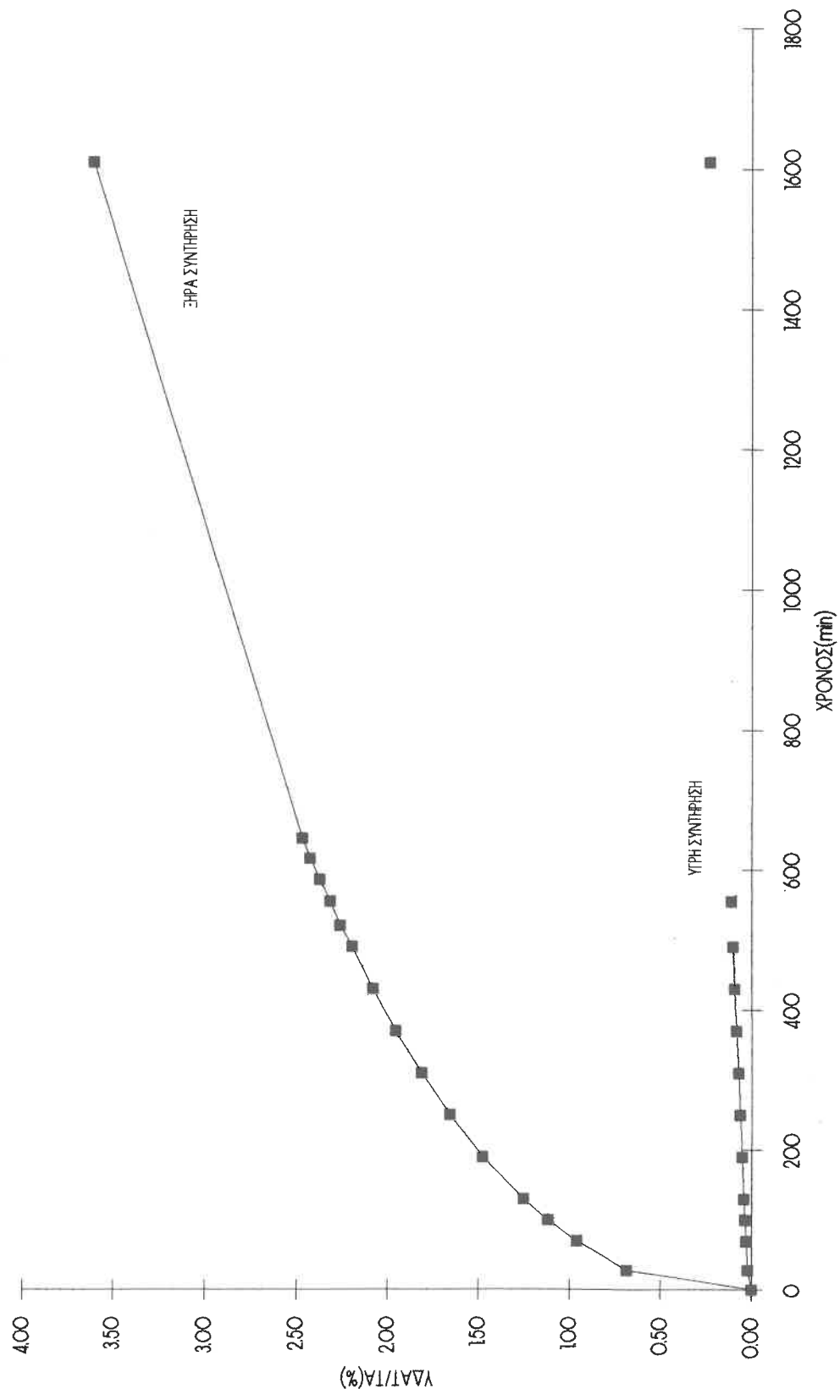
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ (κρεμ. δοκιμία)

ΧΡΟΝΟΣ(min)	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ (gr)		ΗΛΙΚΙΑΣ 60		ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0,70	
	ΞΗΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ		ΥΓΡΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ		ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	
	Δ7Β	Δ8Β	Δ15Β	Δ16Β	Σ(ξ.σ)/2	Σ(υ.σ)/
0	1359,02	1327,44	1360,7	1362,9	1343,23	1361,8
15	1378,87	1367	1364,63	1368,77	1372,935	1366,7
30	1383,11	1374,71	1367,92	1372,27	1378,91	1370,095
45	1387,74	1378,19	1369,33	1374,13	1382,965	1371,73
75	1389,73	1383,53	1372,14	1376,25	1386,63	1374,195
105	1393,55	1388,35	1373,39	1377,54	1390,95	1375,465
135	1395,43	1391,49	1374,83	1378,64	1393,46	1376,735
165	1396,18	1393,08	1376,02	1379,44	1394,63	1377,73
235	1396,77	1394,02	1377,82	1381,01	1395,395	1379,415
295	1397,18	1394,51	1379,24	1382,23	1395,845	1380,735
415	1397,57	1394,99	1380,57	1383,4	1396,28	1381,985
1525	1399,44	1397,3	1386,18	1388,51	1398,37	1387,345

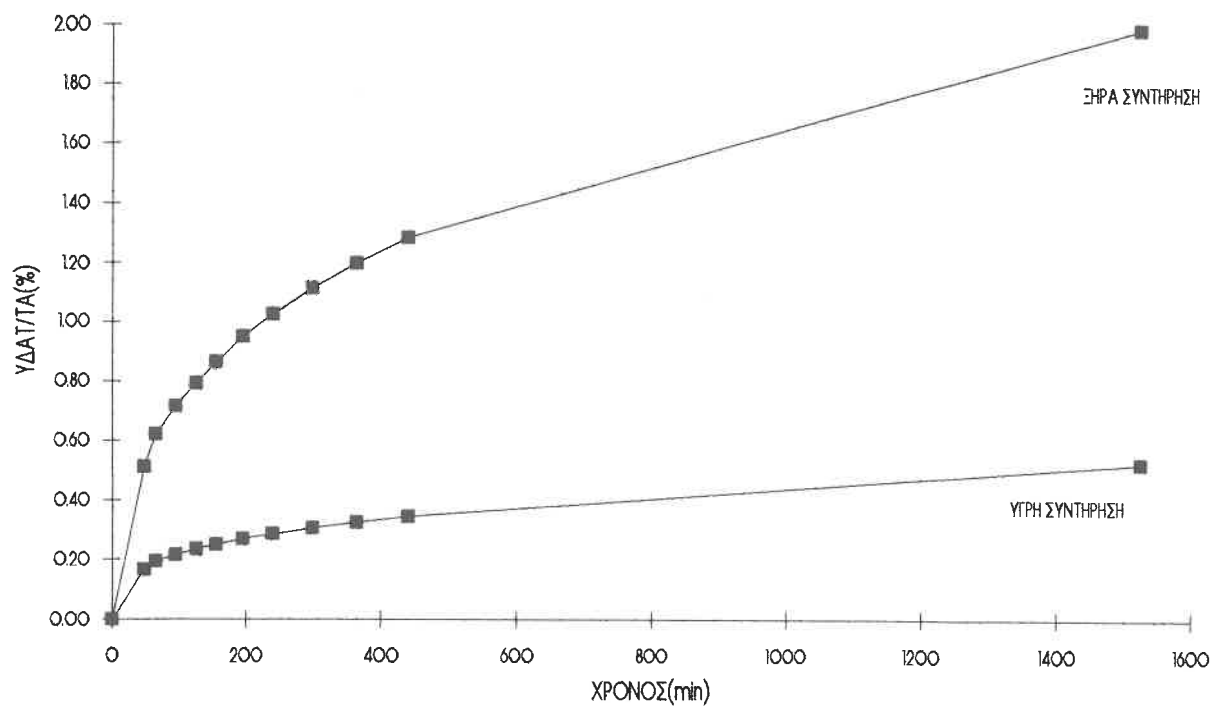
ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.50



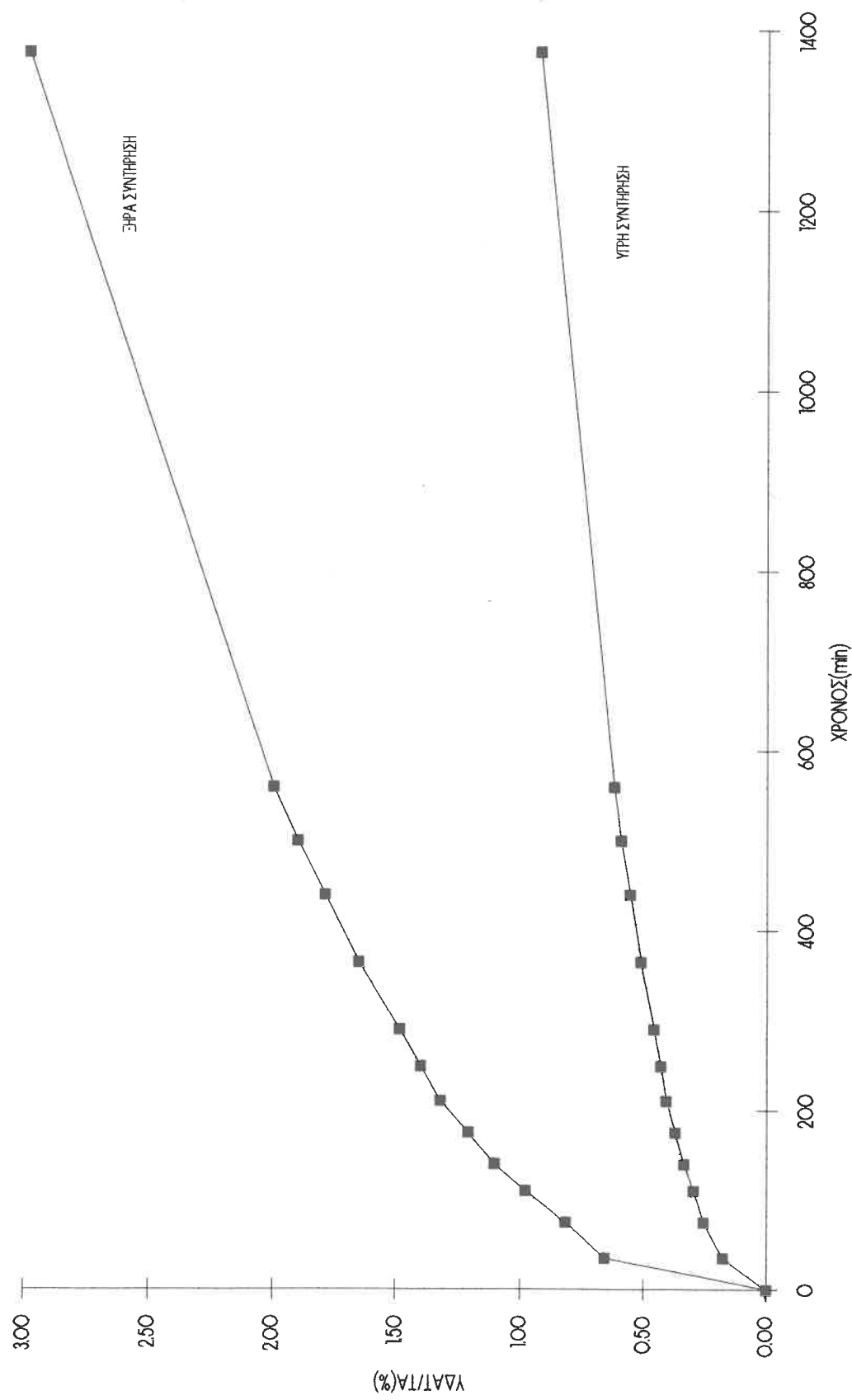
ΥΔΑΤΑΙΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ $N/T=0.70$



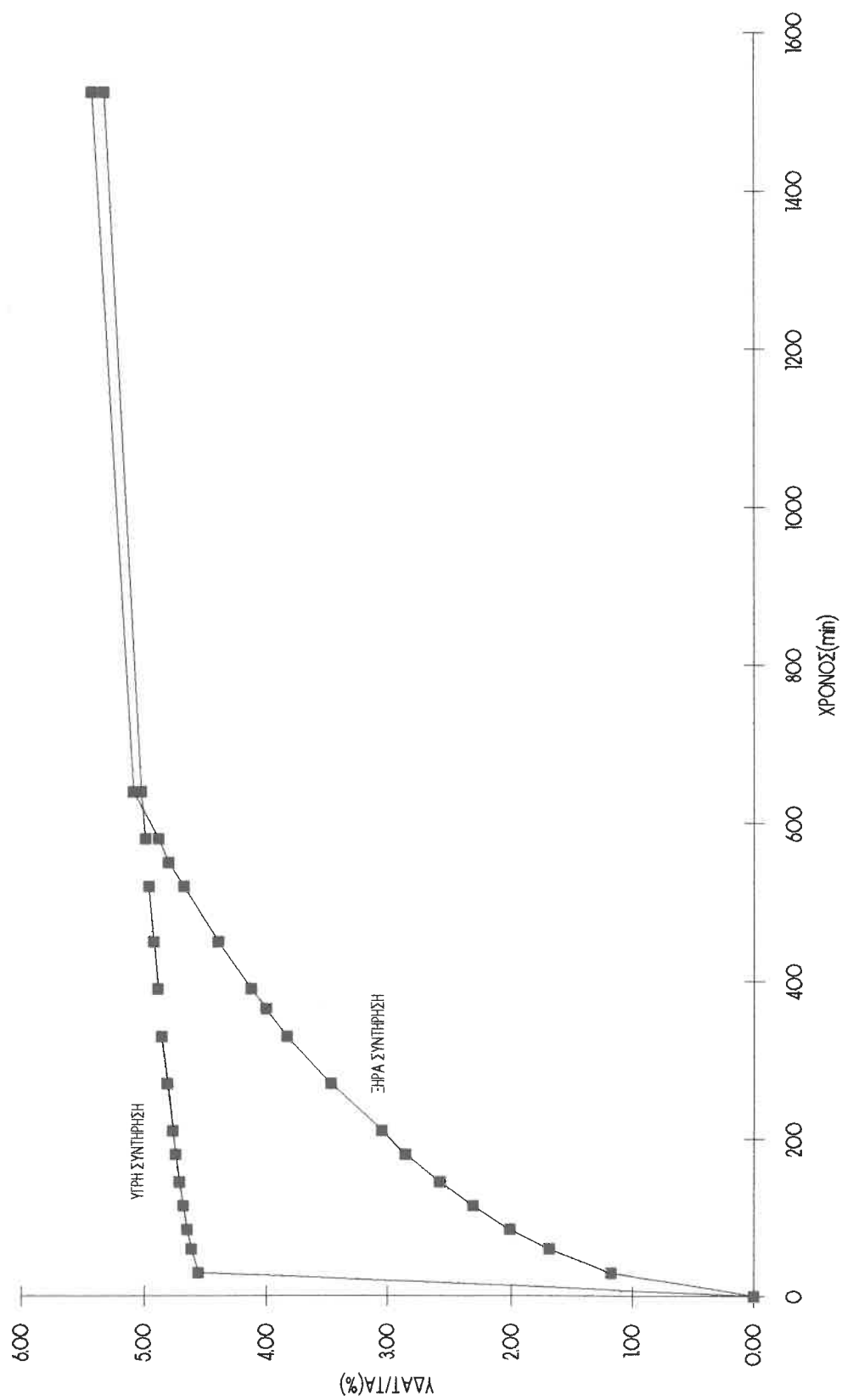
ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0.50



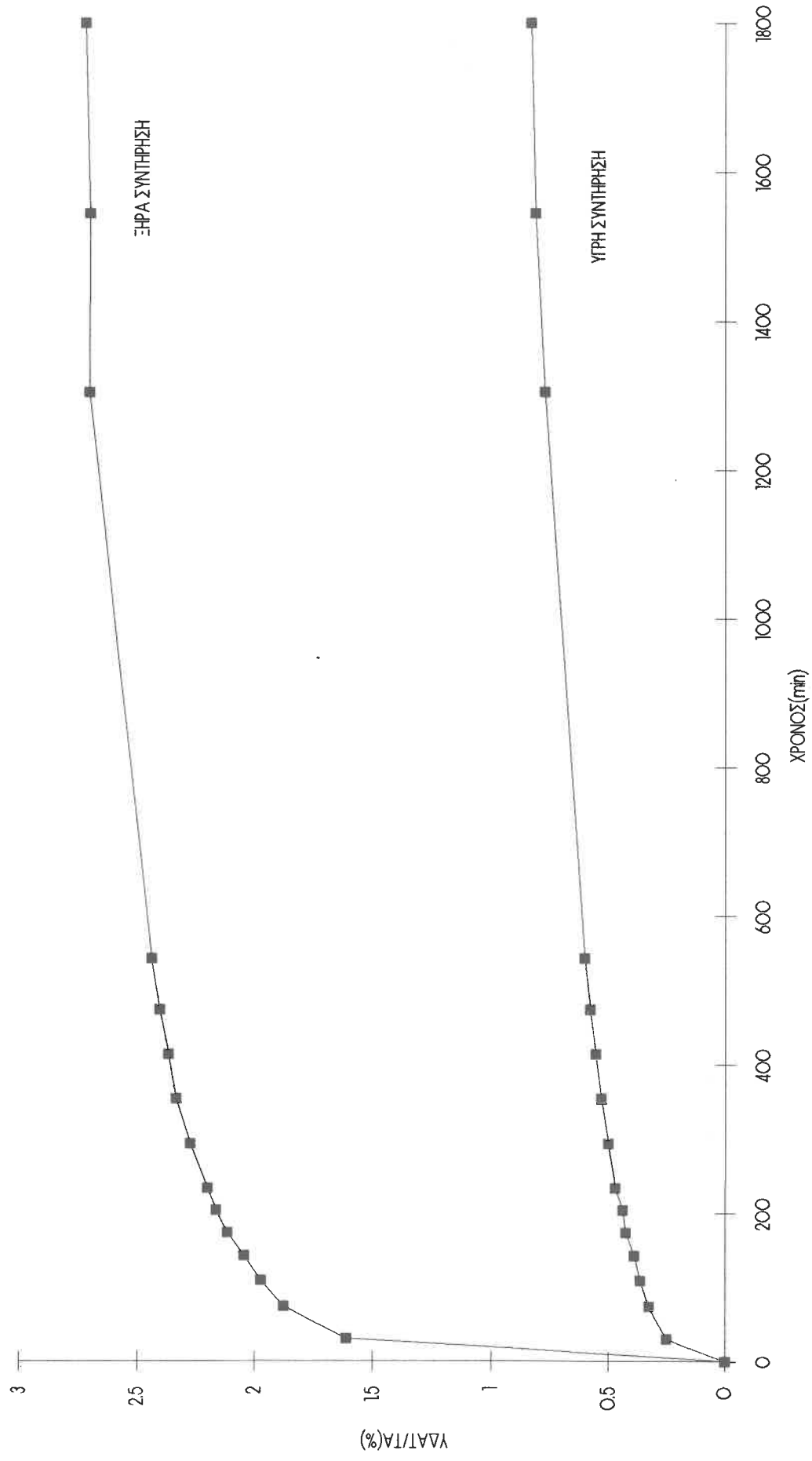
ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.60



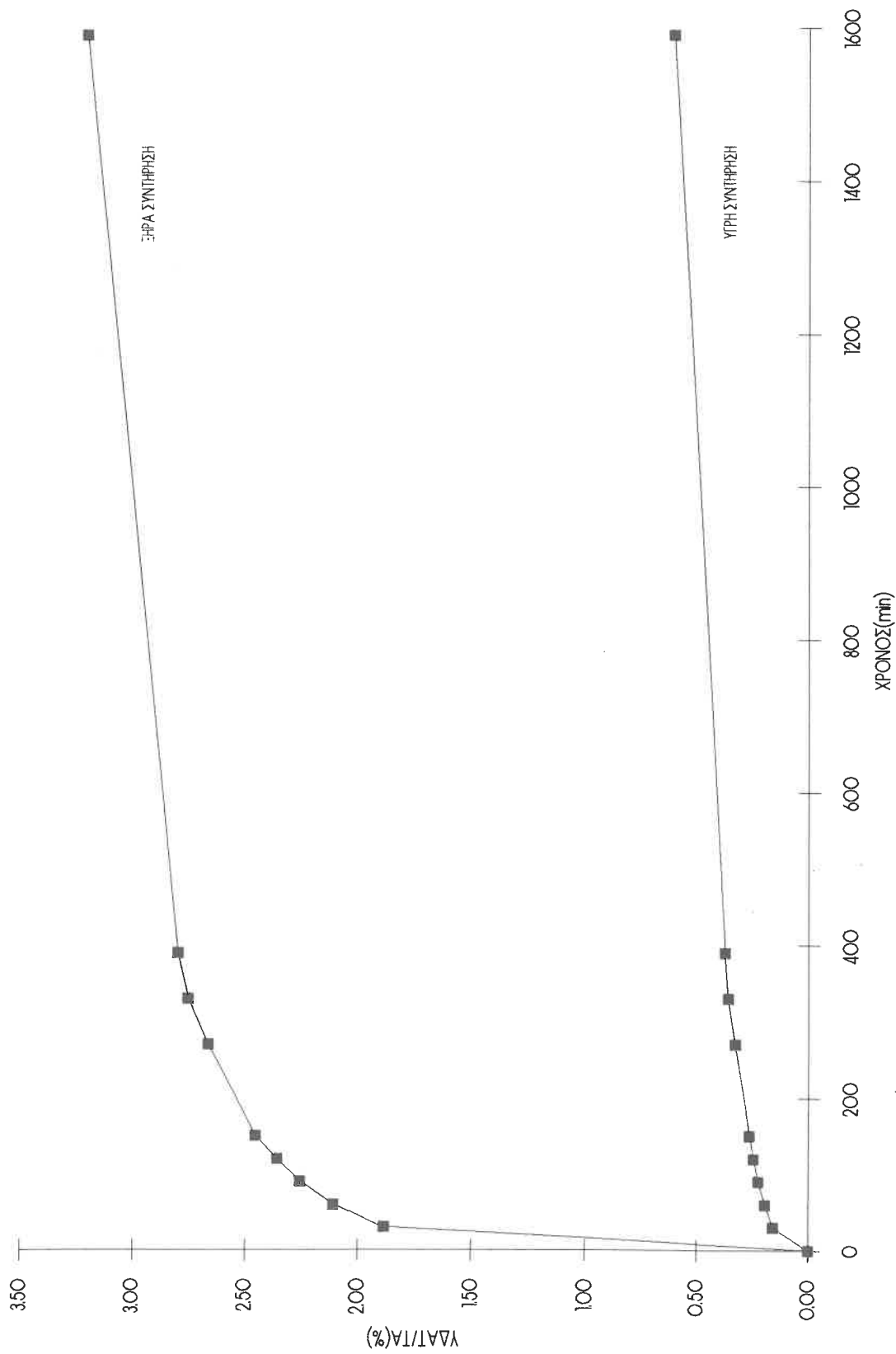
ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0.70



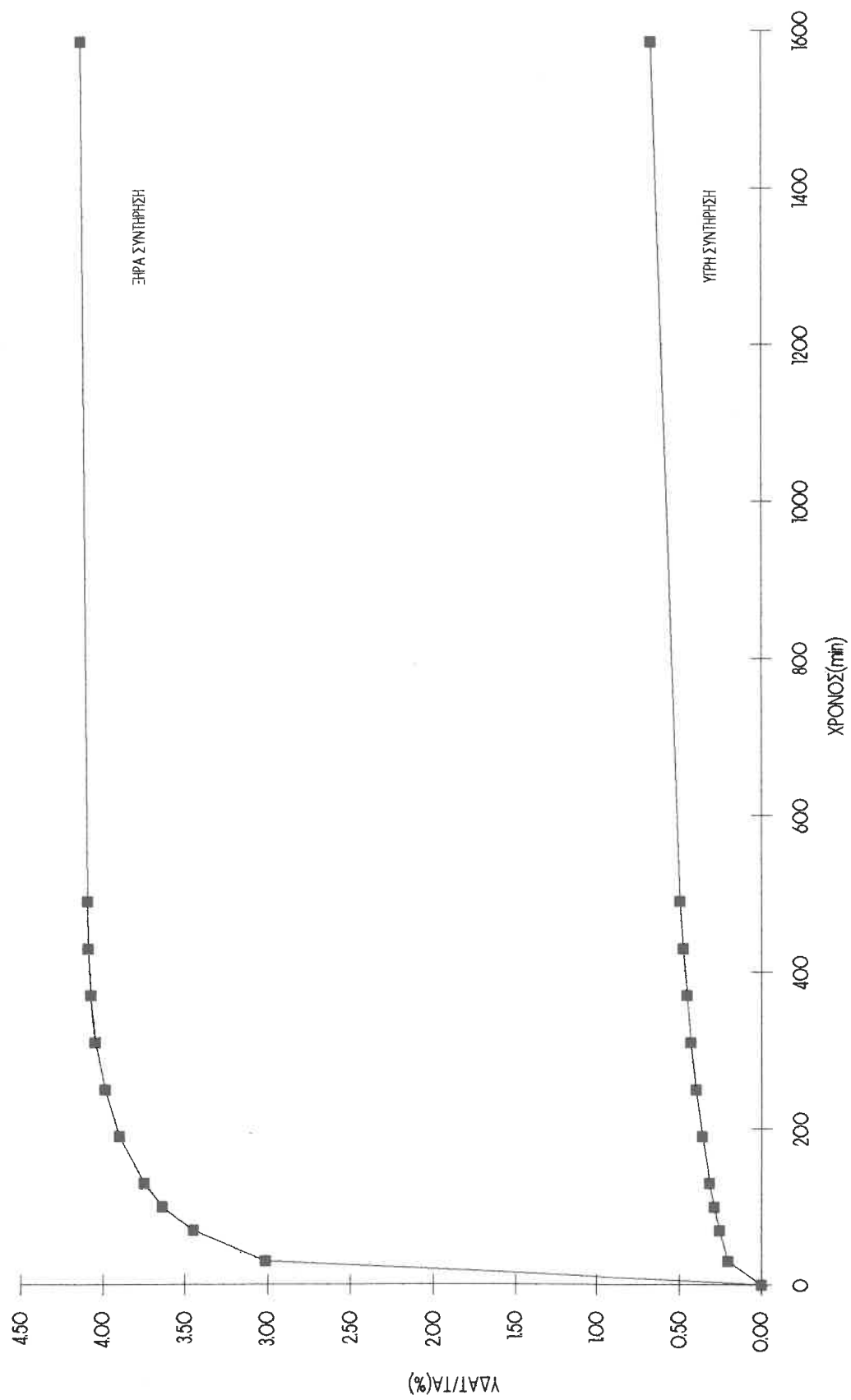
ΥΔΡΕΜΠΤΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.50



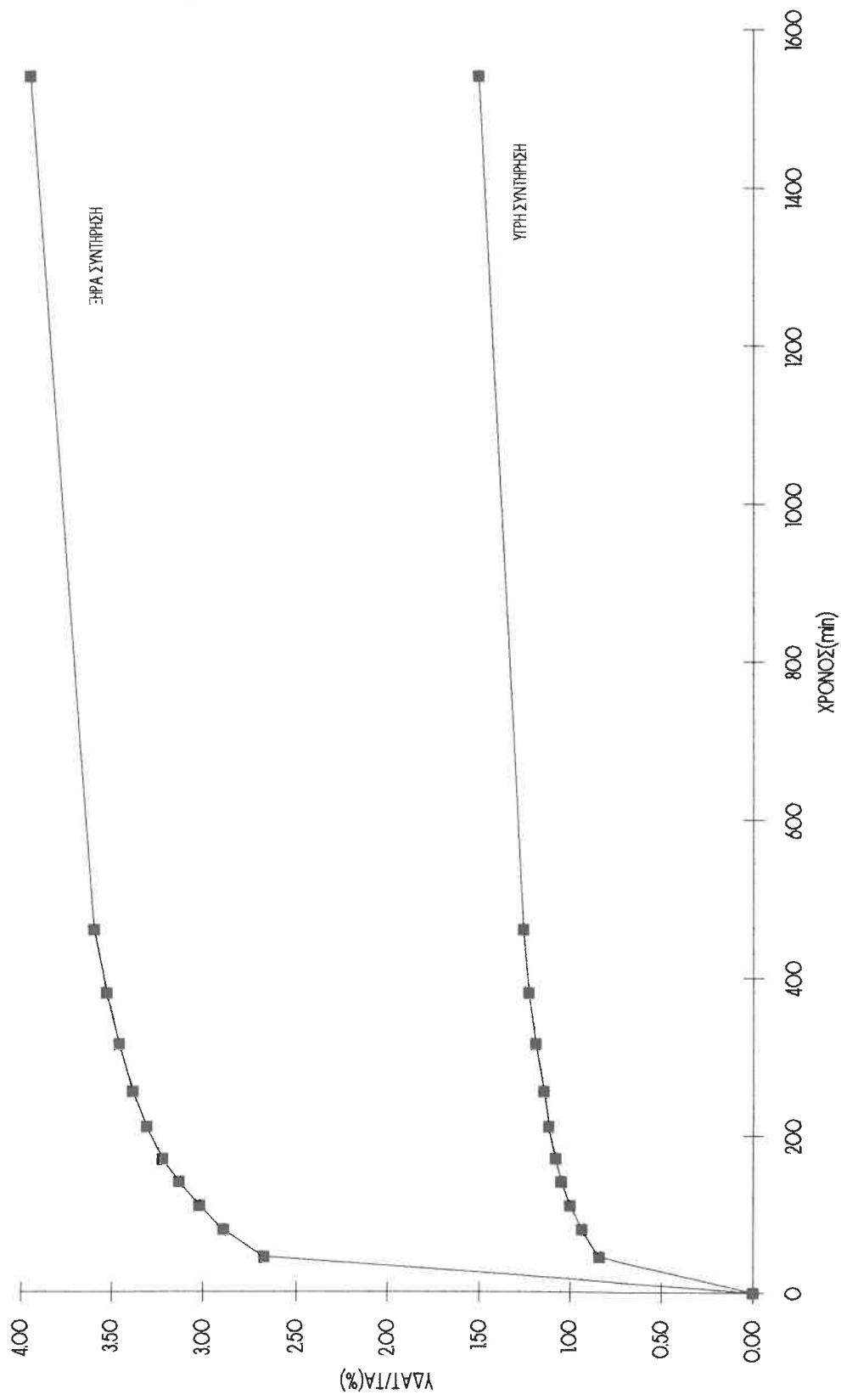
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.60



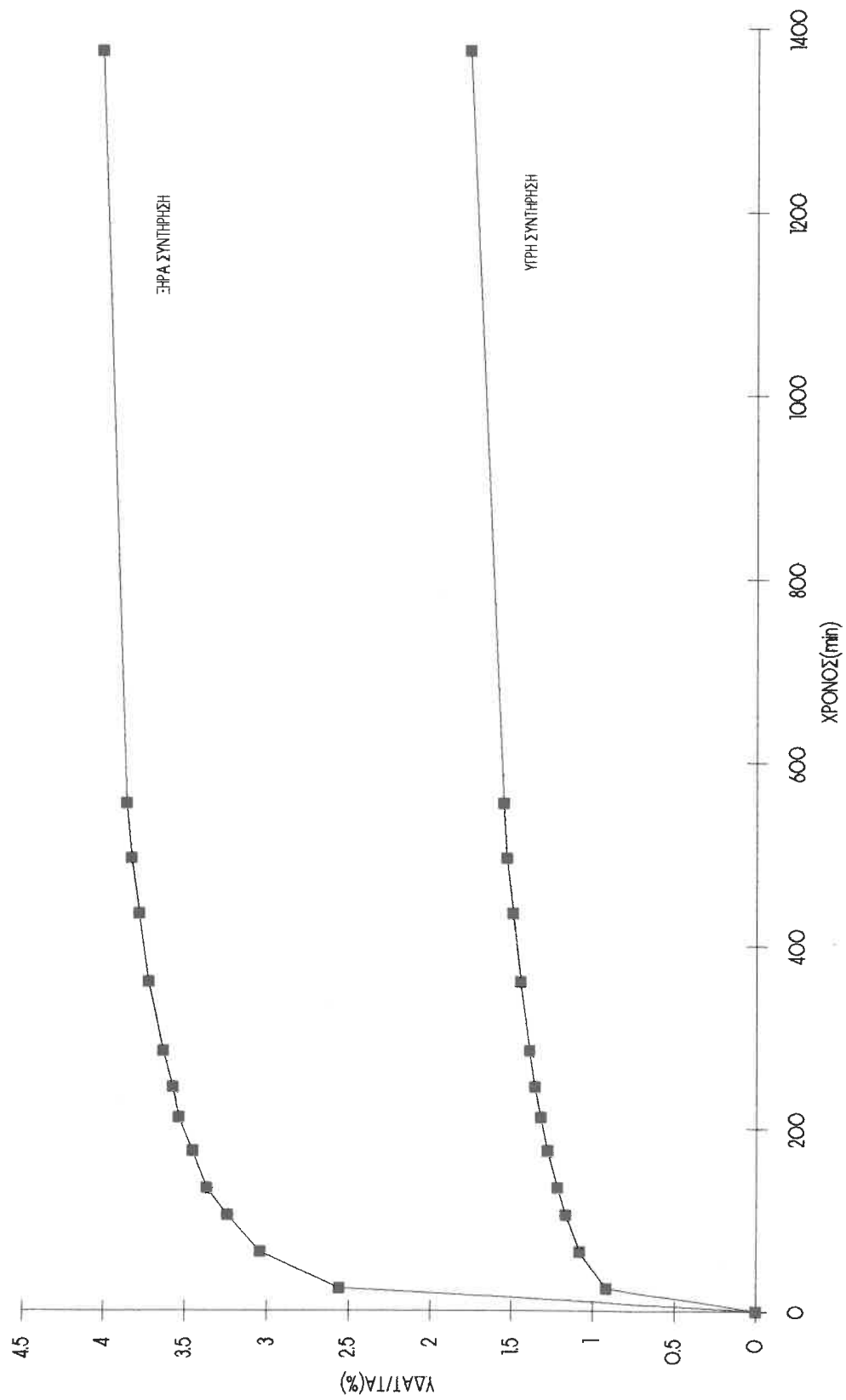
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.70



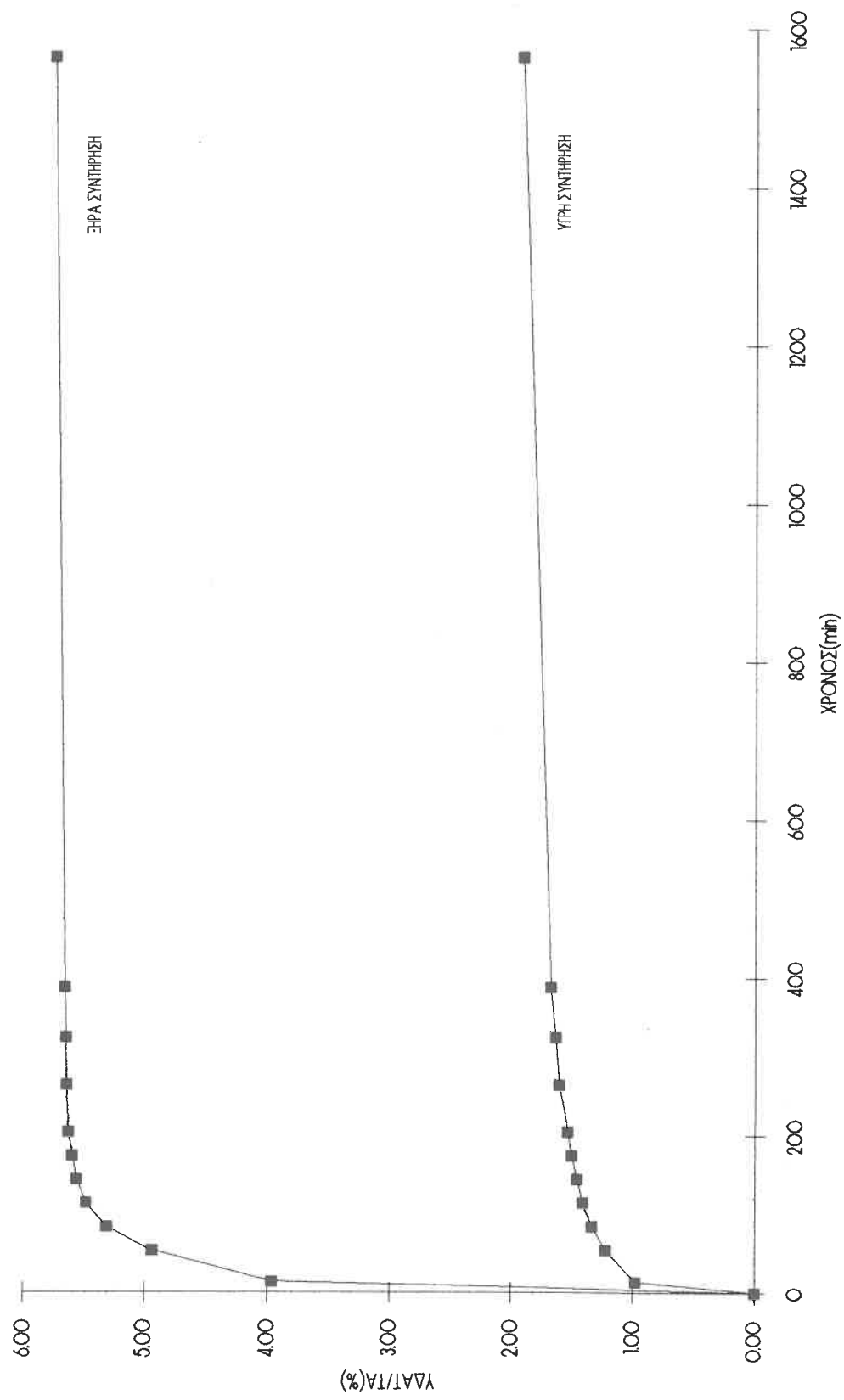
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0.50



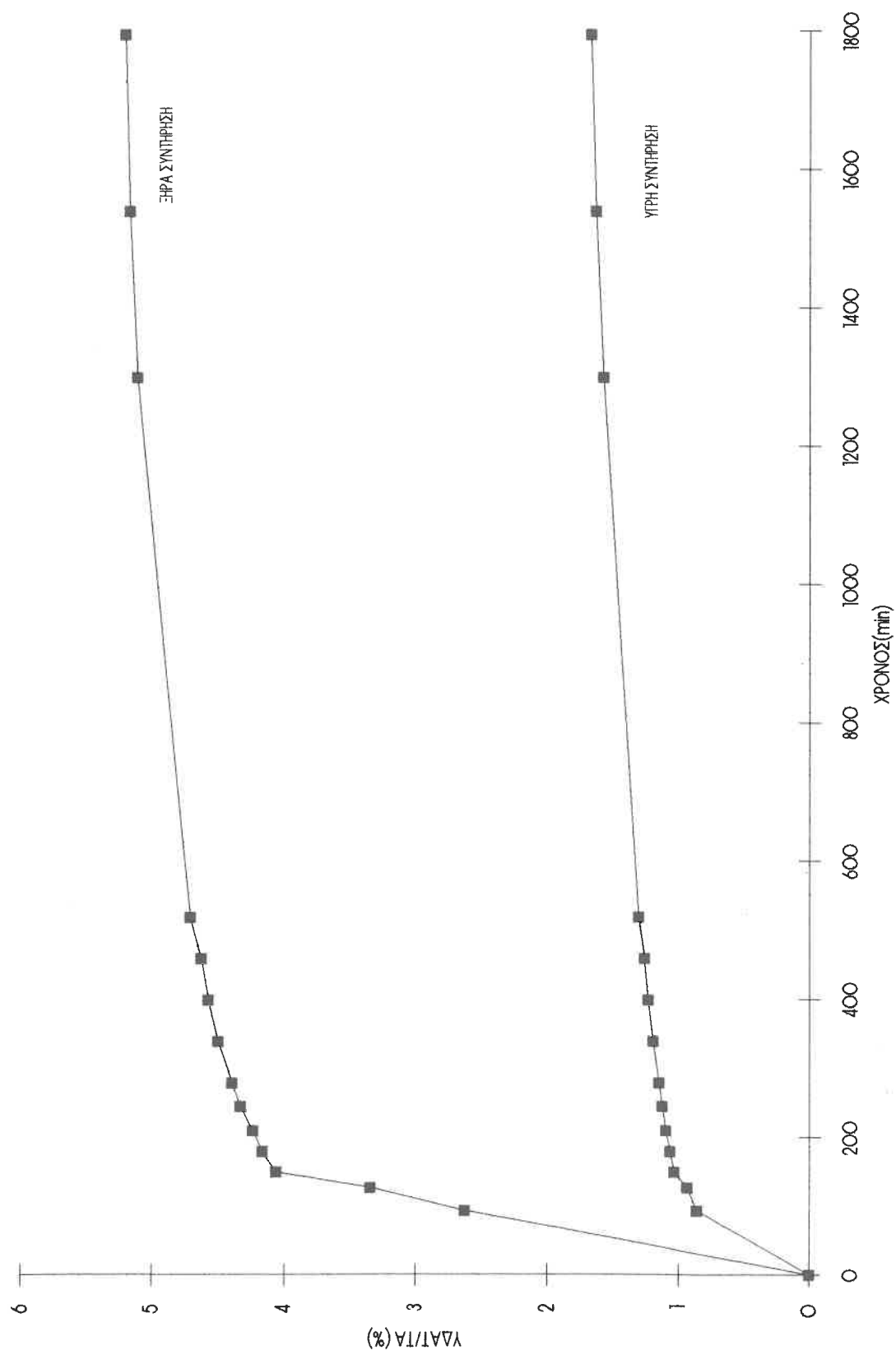
ΥΔΡΕΜΙΤΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.60



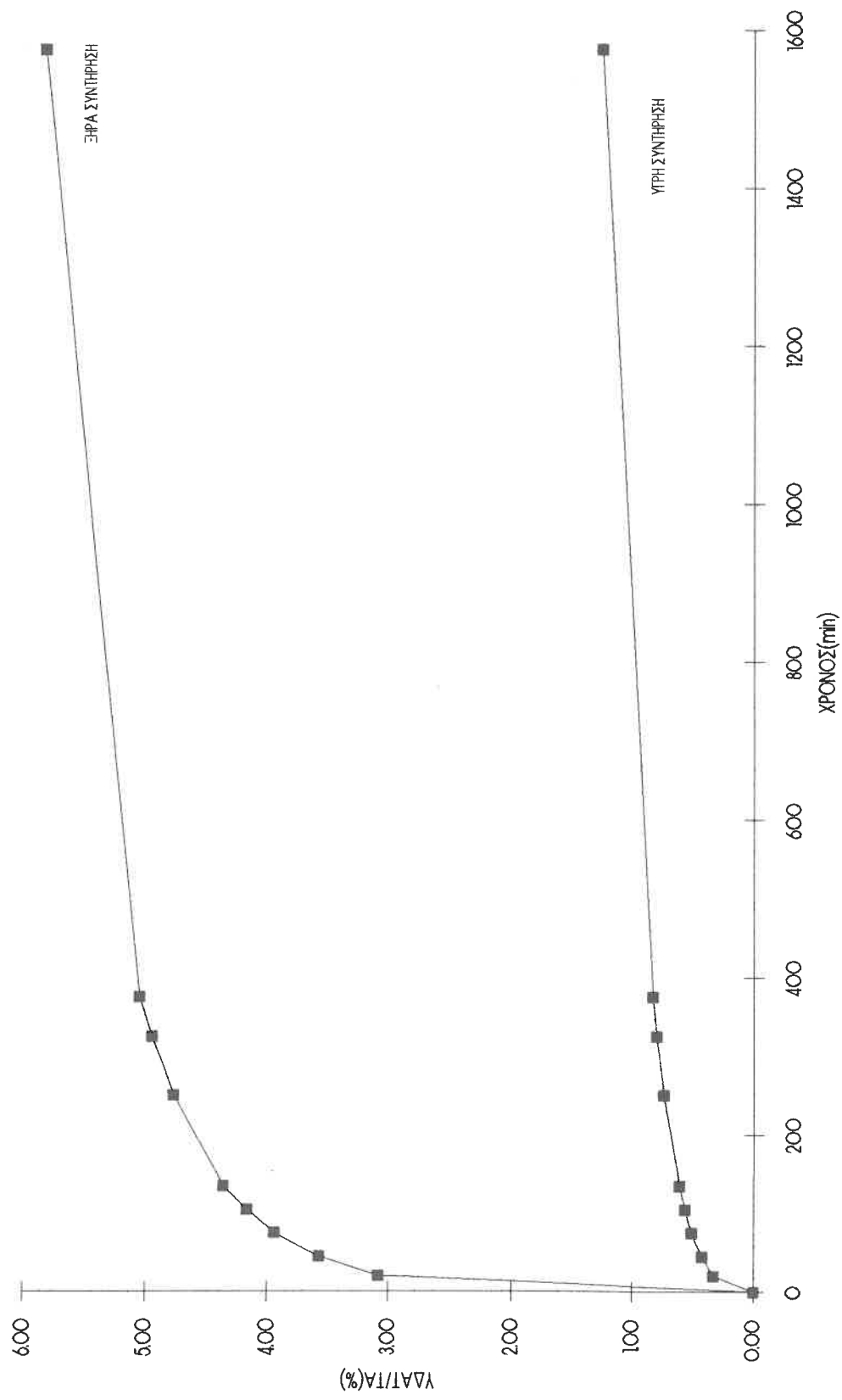
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.70



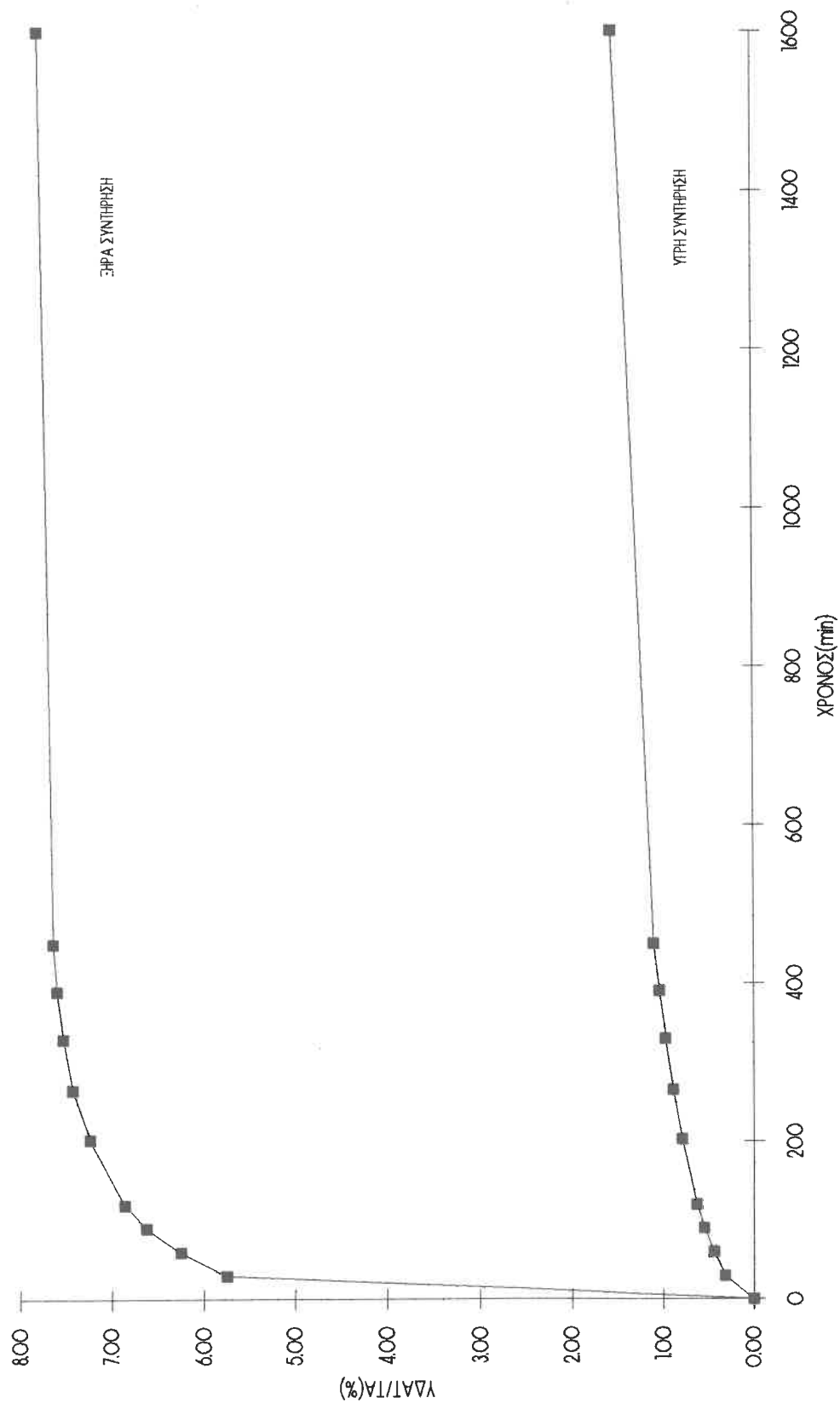
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ (κρεμδοκ) ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.50



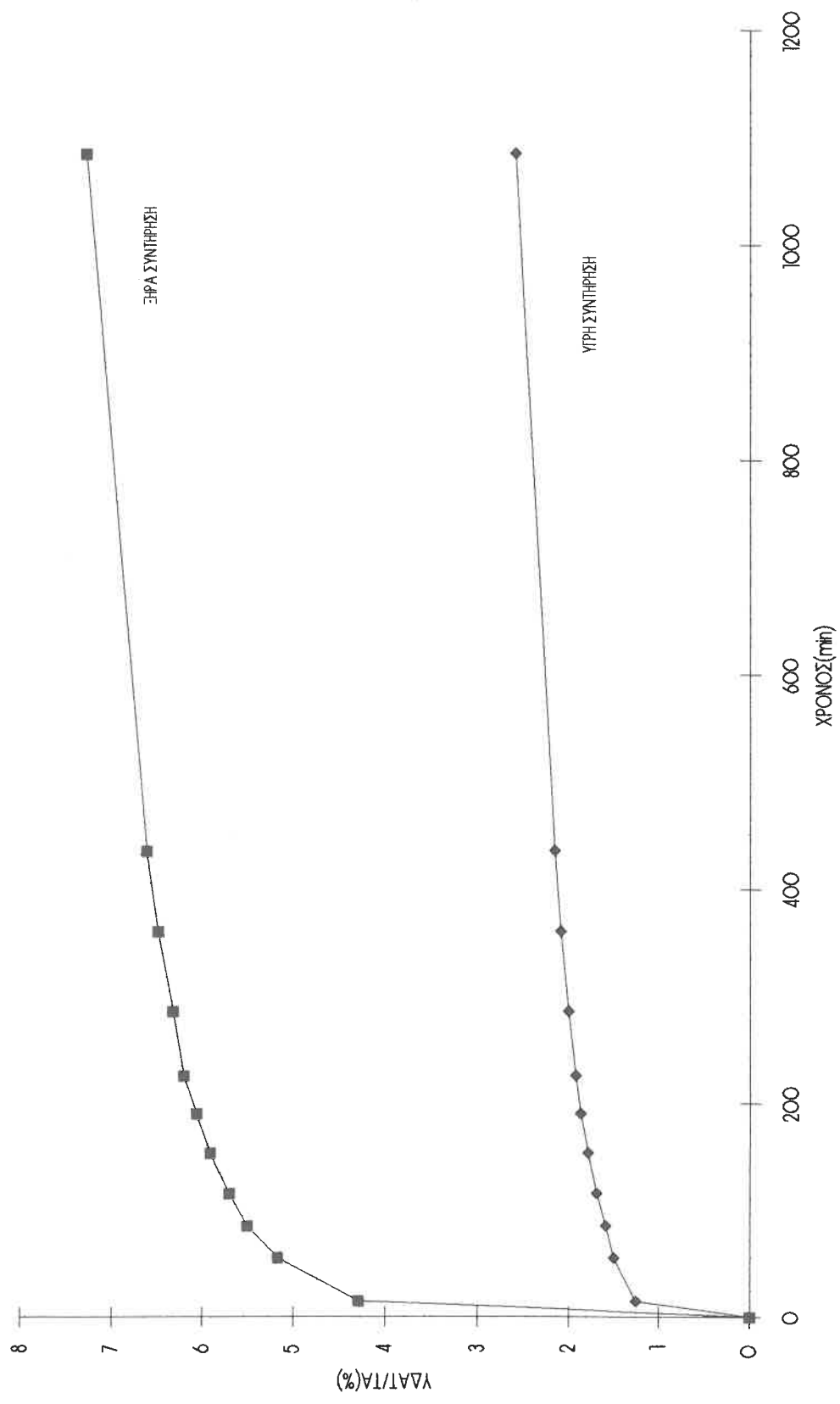
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ(κεμ.δοκ.) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0.60



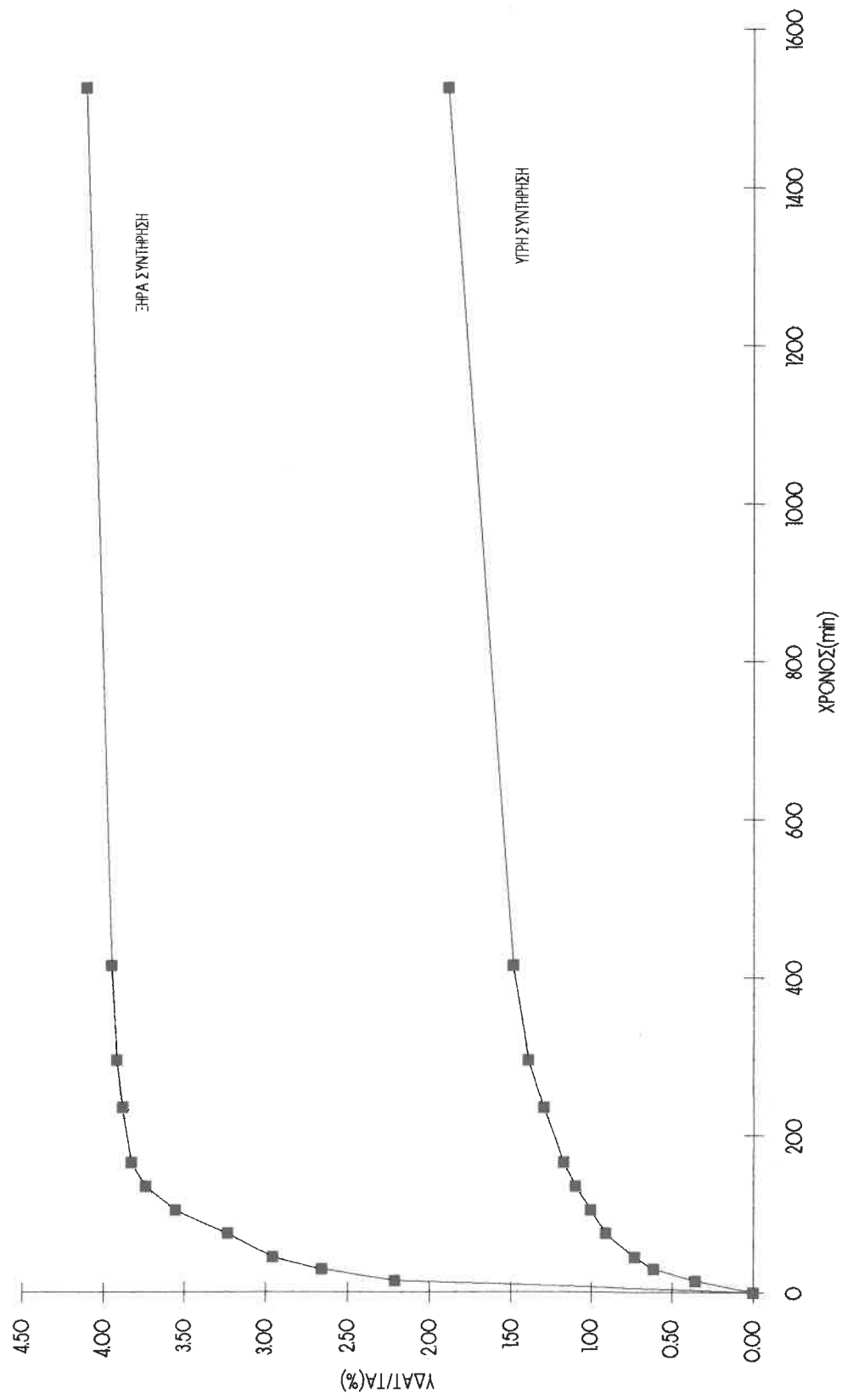
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ(κρεμ. δοκ.) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.70

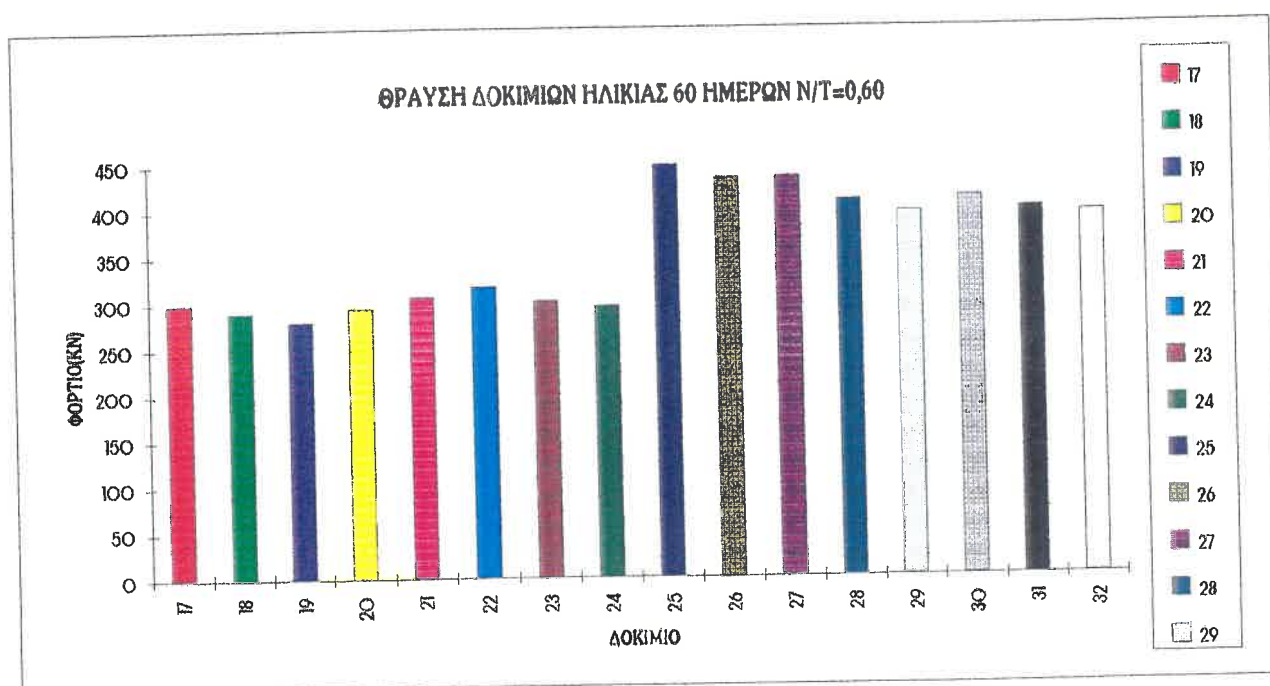
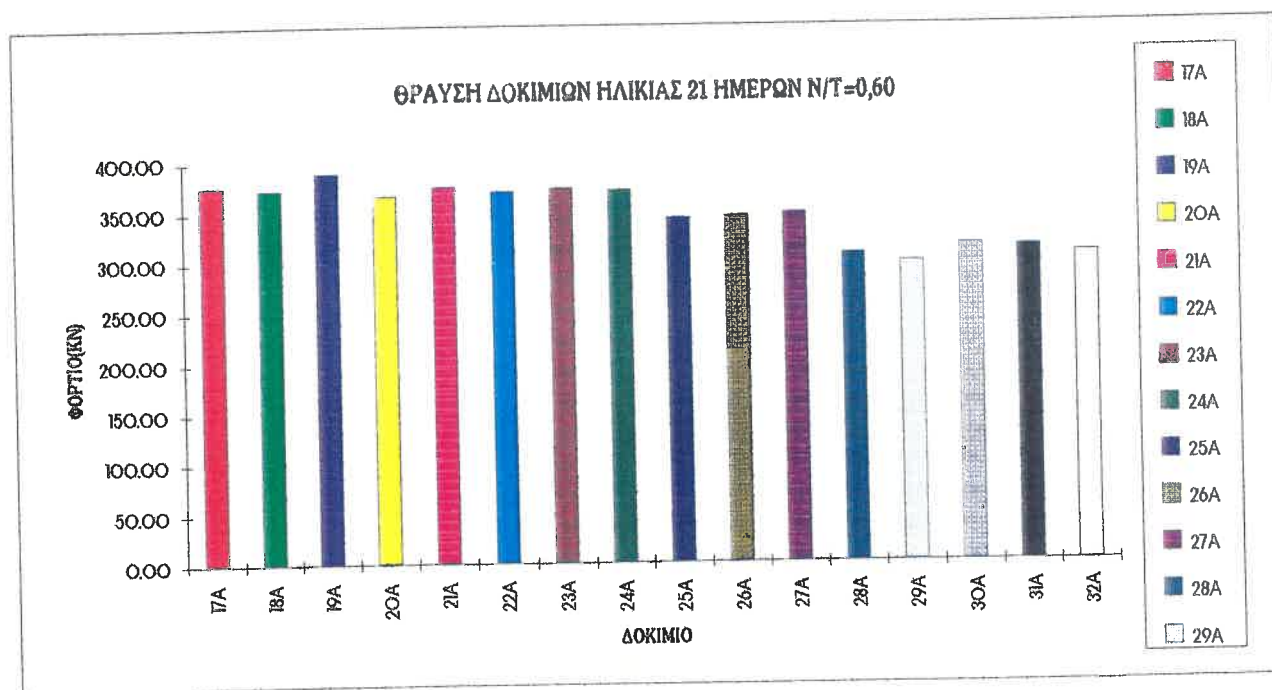


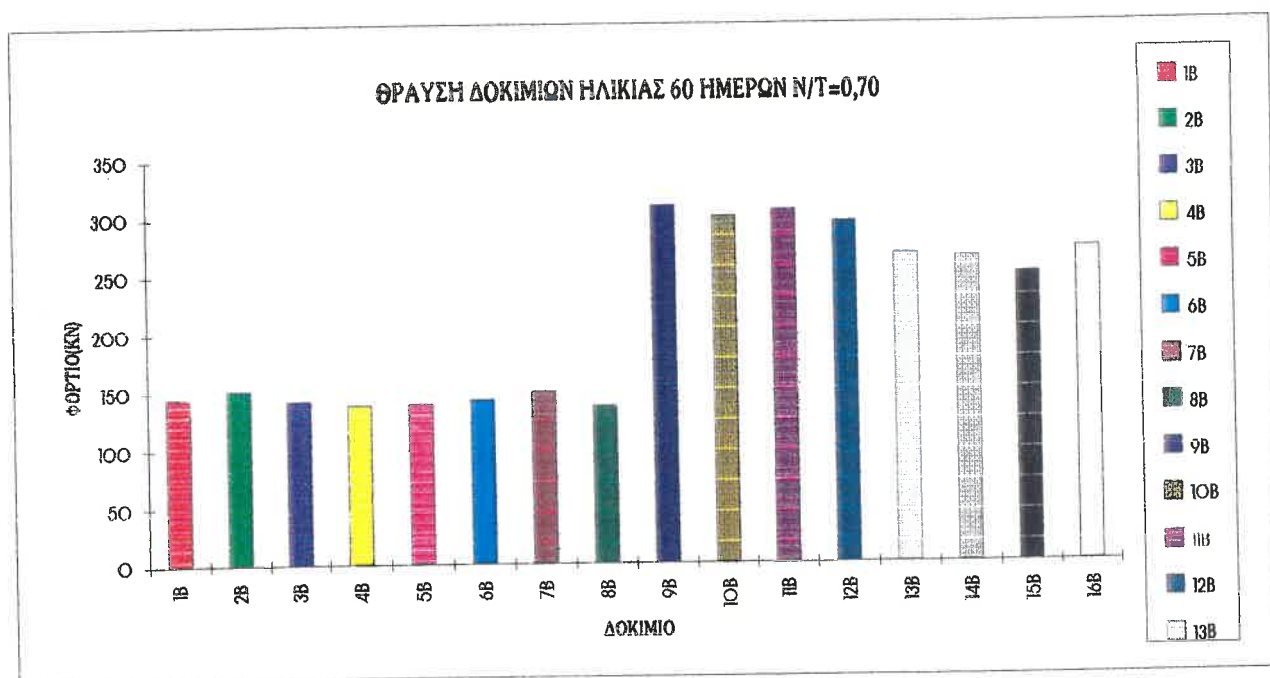
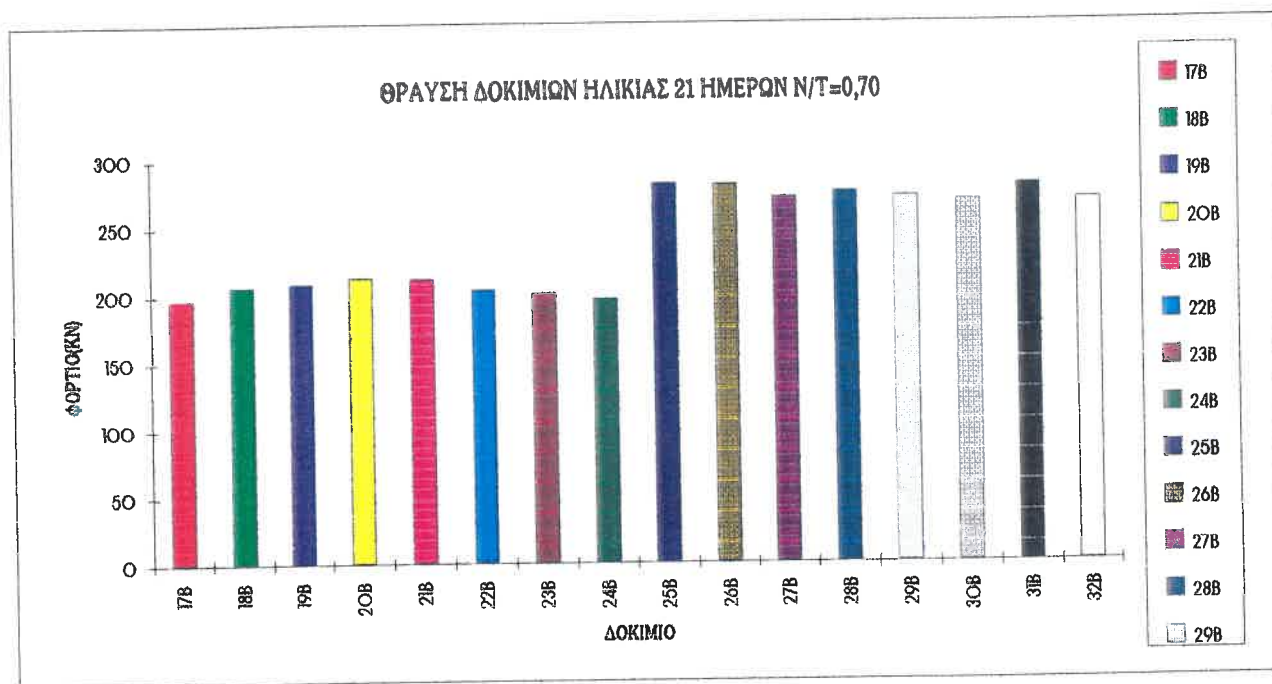
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ (κρεμμ. δοκ.) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.50



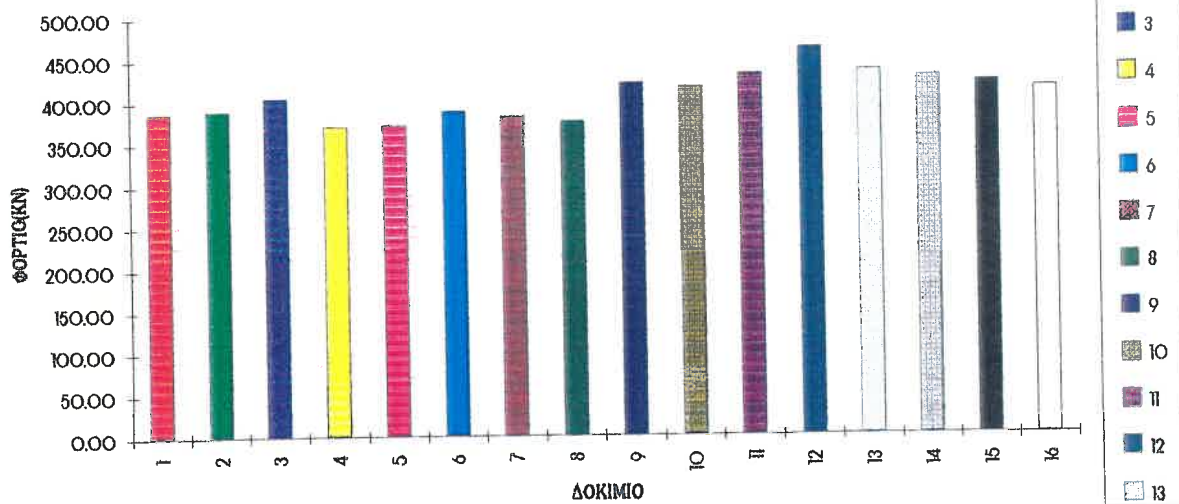
ΥΔΡΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ (κρεμ. δοκ.) ΔΟΚΙΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ Ν/Τ=0.70



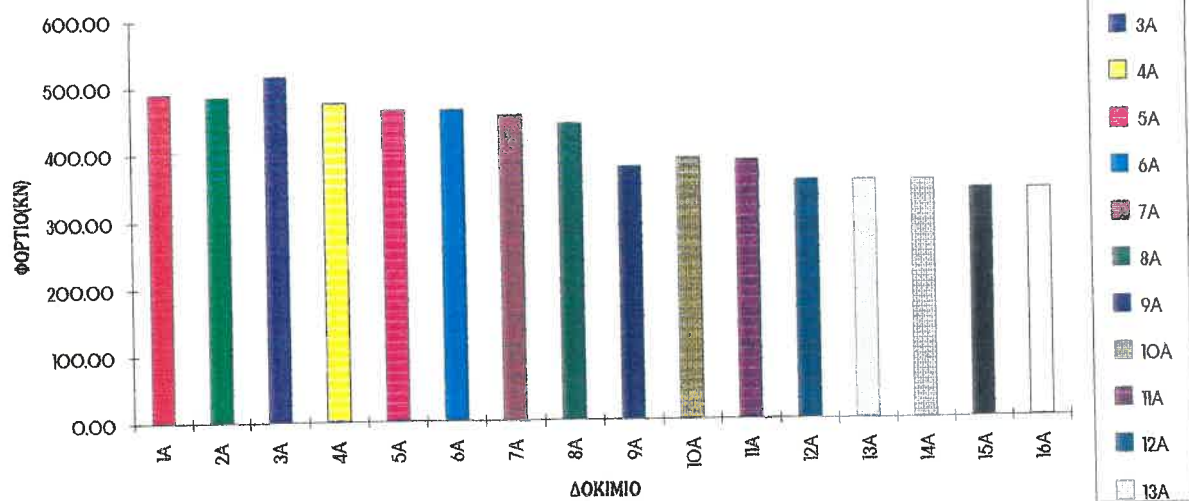




ΘΡΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΗΛΙΚΙΑΣ 21 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0,50



ΘΡΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΗΛΙΚΙΑΣ 60 ΗΜΕΡΩΝ N/T=0,50



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: Χρίστος Μ. Οικονόμου : Τεχνολογία του Σκυροδέματος.
- [2]: Θ.Π. Τάσιος - Κ. Αλιγιζάκη : Ανθεκτικότητα του Ωπλισμένου Σκυροδέματος. ΑΘΗΝΑ 1993.
- [3]: C Hall: Water sorptivity of mortcars and concretes: a review. Magazine of Concrete Research, 1989, 41, No 147.
- [4]: S. Kelham: A water absoption test for concrete. Magazine of concrete research, 1988, 40, No 143.
- [5]: K. Shonlin and H.K. Hilsdorf: The potential durability of concrete. ERMCO 89. The Norway to concrete, 7-9, June 1989. Stavanger, Oslo. Fabeko Norway 1989.
- [6]: Δ.Α. Γιαννουδάκη "Φυσική Χημεία Καταστάσεων της ύλης και θερμοδυναμική". Θεσσαλονίκη 1991.
- [7]: Νικολάου Θ. Ρακιντζή. Γ' ΕΚΔΟΣΗ ΑΘΗΝΑ 1994.

