



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
(Ε.Μ.Π.)

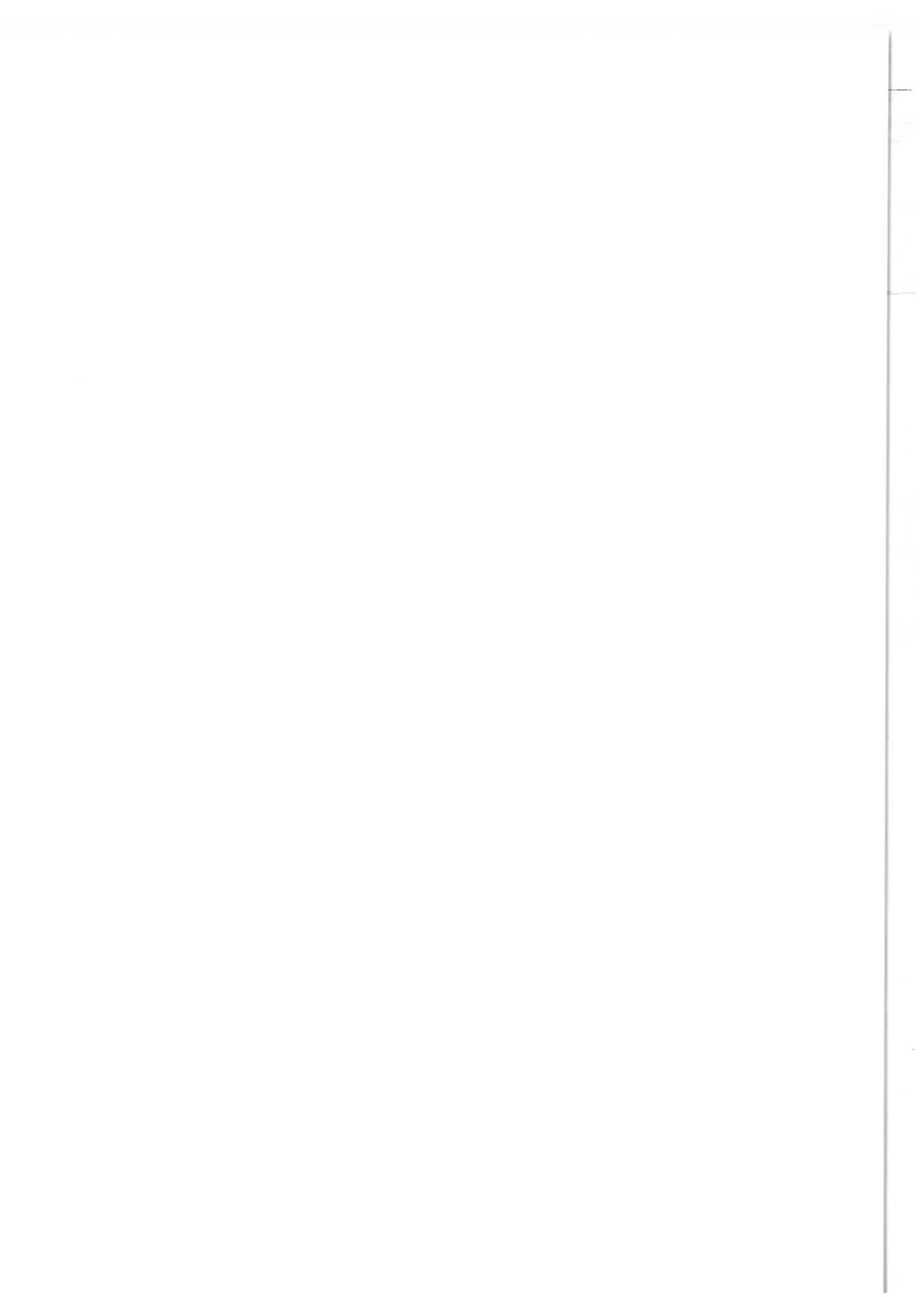
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ
ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ
ΕΠΙΤΑΓΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ

ΕΠΟΠΤΗΣ Δ.Ε. : Σ. ΚΟΛΙΑΣ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΚΟΛΟΜΒΑΚΗΣ
ΚΩΝ/ΝΟΣ ΚΑΚΑΝΑΣ

ΑΘΗΝΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1996





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
(Ε.Μ.Π.)**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ
ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ
ΕΠΙΤΑΓΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ**

ΕΠΟΠΤΗΣ Δ.Ε. : Σ. ΚΟΛΙΑΣ

**ΣΤΑΥΡΟΣ ΚΟΛΟΜΒΑΚΗΣ
ΚΩΝ/ΝΟΣ ΚΑΚΑΝΑΣ**

ΑΘΗΝΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1996

**Αφιερωμένο
στον αγαπητό μου πατέρα
Γεώργιο**

Σ. Κολομβάκης

**Αφιερωμένο
στην αγαπημένη μου
οικογένεια**

Κ. Κακανάς

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία, του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή Στυλιανού Κόλια, τον οποίο ειλικρινά ευχαριστούμε για την ανάθεση της εργασίας αυτής, όσο και για την αμέριστη συμπαράστασή του και για την μορφωτική καθοδήγησή του καθ' όλη την διάρκεια εκπονήσεώς της.

Επίσης ευχαριστούμε την Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος για την ευγενή παραχώρηση του εργαστηρίου της, όπου έγινε η εκπόνηση των πειραματικών μετρήσεων.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την καλή μας φίλη Ελένη Τζώρα για την πολύτιμη βοήθεια της στην επιμελή δακτυλογράφηση και στην άρτια έκδοση της εργασίας αυτής.

ΣΤΑΥΡΟΣ ΚΟΛΟΜΒΑΚΗΣ
ΚΩΝ/ΝΟΣ ΚΑΚΑΝΑΣ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	iii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	v
<u>ΜΕΡΟΣ Ι</u> : Στοιχεία τεχνολογίας σκυροδέματος.....	1
ΚΕΦ. 1 : Τα υλικά παρασκευής του σκυροδέματος.....	3
ΚΕΦ. 2 : Μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος.....	41
ΚΕΦ. 3 : Ιδιότητες σκυροδέματος.....	49
<u>ΜΕΡΟΣ ΙΙ</u> : Πειραματική εργασία - Επεξεργασία αποτελεσμάτων.....	79
ΚΕΦ. 4 : Υλικά - συσκευές - όργανα.....	81
ΚΕΦ. 5 : Παρασκευική - συντήρηση - θραύση δοκιμίων.....	91
ΚΕΦ. 6 : Επεξεργασία αποτελεσμάτων - συμπεράσματα - προτάσεις.....	97

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην διπλωματική εργασία διερευνάται η δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου επιτάγχυσης της ωρίμανσης του σκυροδέματος, ως μέσου για την εκτίμηση της αντοχής των 28 ημερών από δοκίμια ηλικίας 12 και 24 ωρών.

Ως γνωστό το σκυρόδεμα, όπως και το τσιμέντο, κατατάσσεται σε κατηγορίες ανάλογα με την θλιπτική του αντοχή (δοκίμια 28 ημερών). Ο Κανονισμός Τσιμέντων επιτρέπει την διακύμανση των αντοχών αυτών στα 20 Mpa για τσιμέντο κατηγορίας 35 και 45 και χωρίς όριο για κατηγορία 55. Το γεγονός αυτό δημιουργεί προβλήματα στην πράξη σε ορισμένες εταιρίες παραγωγής ή ετοιμού σκυροδέματος. Σε μία προσπάθεια εξεύρεσης λύσης γίνεται η χρήση της μεθόδου αυτής για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος / τσιμέντου σε ενωρίτερο χρόνο, ώστε να είναι δυνατή η λήψη κατάλληλων μέτρων.

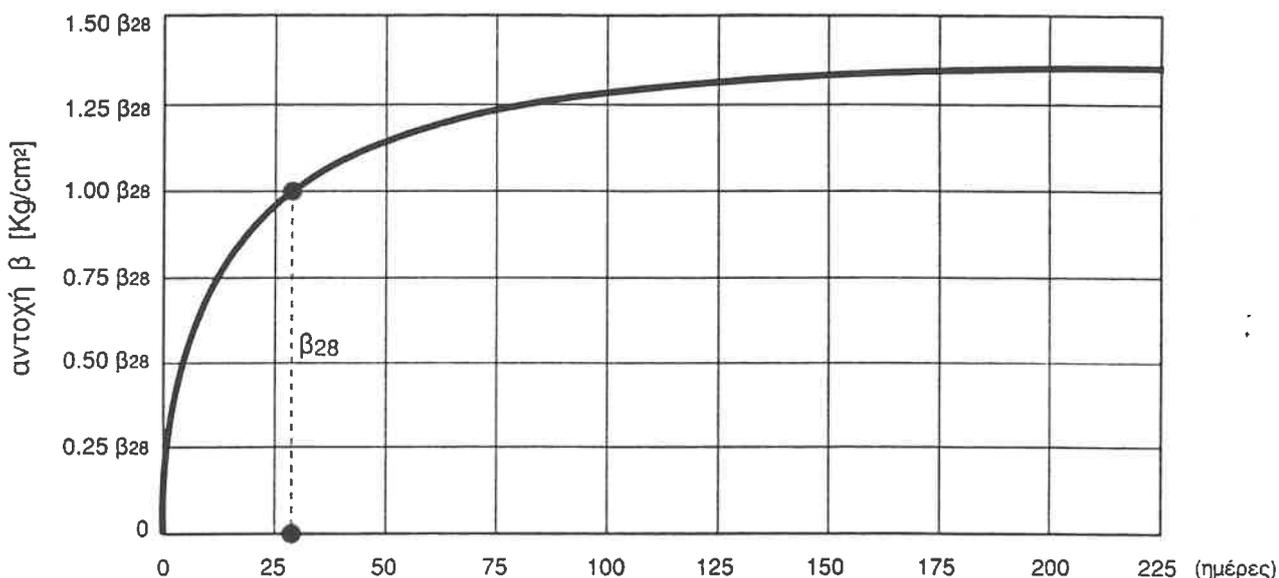
Οι μέθοδοι επιταχυνόμενης ωρίμανσης αξιοποιούν την επιρροή της θερμοκρασίας στο σκυρόδεμα, κατά την διάρκεια της συντήρησής του. Αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε επιτάγχυση των μηχανισμών της ενυδάτωσης του τσιμέντου που έχει ως αποτέλεσμα την επιτάγχυση της ανάπτυξης αντοχών.

Στην εργασία αυτή τα δοκίμια συντηρήθηκαν σε ζεστό νερό, θερμοκρασίας 62 °C και 64 °C για χρονικό διάστημα 10 και 22 ώρες αντίστοιχα. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών και μετά από στατιστική επεξεργασία προέκυψαν γραμμικές μαθηματικές εκφράσεις που εκτιμούν την αντοχή των 28 ημερών του τσιμεντοκονιάματος με αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια. Η ακρίβεια αυτή μπορεί να βελτιωθεί και για αυτό το λόγο η μέθοδος χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Λέξεις κλειδιά : Σκυρόδεμα, τσιμέντο, συντήρηση, θερμοκρασία συντήρησης, ωρίμανση, θλιπτική αντοχή, παλινδρόμηση.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη αντοχών στο σκυρόδεμα συνδέεται άμεσα με την ενυδάτωση του τσιμέντου. Είναι γνωστό ότι η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι μια σειρά από περίπλοκες χημικές αντιδράσεις που διαρκούν επί χρόνια. Έτσι και η ανάπτυξη των αντοχών - σκλήρυνση του τσιμεντοπολτού - είναι μια μακρόχρονη διαδικασία. Η διαδικασία αυτή απεικονίζεται γραφικά από καμπύλη εκθετικής μορφής, με ασύμπτωτη την τελική τιμή της αντοχής. Χαρακτηριστική είναι η αντοχή στις 28 ημέρες με βάση την οποία γίνεται η κατάταξη σε κατηγορίες τόσο του τσιμέντου όσο και του σκυροδέματος.



Ανάπτυξη αντοχών με το χρόνο

Η βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίχτηκε η διπλωματική εργασία είναι η εκτίμηση της αντοχής των 28 ημερών σε ενωρίτερο χρόνο. Αυτό γίνεται εφικτό με τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής δοκιμίων νεαρής ηλικίας, δηλαδή μικρότερης ηλικίας των 28 ημερών, και την συσχέτιση των αντοχών αυτών με τις αντίστοιχες των 28 ημερών.

Σαν ενωρίτερος χρόνος καθορίστηκαν οι 12 και 24 ώρες. Για να είναι οι αντοχές των δοκιμίων νεαρής ηλικίας άμεσα συγκρίσιμες με τις αντίστοιχες των 28 ημερών επιλέχθηκε τα πρώτα να υποβληθούν σε επιταχυνόμενη ωρίμανση. Τα δοκίμια αυτά συντηρήθηκαν για 10 και 22 ώρες αντίστοιχα, σε δεξαμενή - ειδικά κατασκευασμένη για το σκοπό αυτό - με ζεστό νερό θερμοκρασίας 62 °C ως 64 °C. Η υψηλή θερμοκρασία συντήρησης των δοκιμίων έχει ως αποτέλεσμα την επιτάχυνση της ενυδάτωσης του τσιμέντου και κατά συνέπεια την γρήγορη ανάπτυξη αντοχών.

Τα δοκίμια 28 ημερών συντηρήθηκαν κανονικά σε θάλαμο υγρασίας. Τα δοκίμια αυτά στη συνέχεια θα αναφέρονται ως μάρτυρες ή συμβατικά δοκίμια.

Η συσχέτιση επιτυγχάνεται με κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία των αποτελεσμάτων (εξίσωση ευθείας παλινδρόμησης).

Η δυνατότητα εκτίμησης της αντοχής των 28 ημερών σε ενωρίτερο χρόνο έχει μεγάλη πρακτική αξία. Κατ' αρχάς είναι ένα μέσο, ελέγχου της

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ Ι : Στοιχεία τεχνολογίας σκυροδέματος

ΚΕΦ. 1 : Τα υλικά παρασκευής του σκυροδέματος	3
1.1. : Το τσιμέντο	5
1.1.1.: Παραγωγή	5
1.1.2.: Χημική σύνθεση	6
1.1.3.: Τύποι τσιμέντων	9
1.1.4.: Πρόσμικτα υλικά του τσιμέντου	11
1.1.5.: Ενουδάτωση - Πήξη του τσιμέντου	12
1.1.6.: Ψευδόπηξη	17
1.1.7.: Μορφολογία του πήγματος	17
1.1.8.: Φαινόμενα που συνοδεύουν την ενουδάτωση	21
1.1.9.: Έλεγχοι του τσιμέντου	24
1.2. : Αδρανή υλικά	27
1.2.1.: Γενικά	27
1.2.1.1: Προέλευση και αντοχή των αδρανών	27
1.2.2.: Καθαρότητα	28
1.2.3.: Η κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση	30
1.2.4.: Η μορφή των κόκκων	32
1.3. : Το νερό αναμίξεως	34
1.3.1.: Γενικά - Απαιτήσεις για το νερό	34
1.3.2.: Επιβλαβείς ουσίες που απαντώνται στο νερό ανάμιξης	34
1.4. : Τα πρόσθετα υλικά	37
1.4.1.: Γενικά - Ορισμοί	37
1.4.2.: Κατηγορίες προσθέτων	37
ΚΕΦ. 2 : Μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος	41
2.1. : Ορισμός	43
2.2. : Απαιτήσεις	43
2.3. : Υπολογισμός απαιτούμενων ποσοτήτων	46
ΚΕΦ. 3 : Ιδιότητες του σκυροδέματος	49
3.1. : Οι ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος	51
3.1.1.: Εξίδρωση	51
3.1.2.: Απόμιξη	53
3.1.3.: Εργάσιμο	54

ΚΕΦ. 6 : Επεξεργασία αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα - Προτάσεις	97
6.1. : Αποτελέσματα δοκιμών	99
6.1.1.: Έντυπα αποτελεσμάτων	99
6.1.2.: Ακρίβεια αποτελεσμάτων	125
6.2. : Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων	147
6.2.1.: Σύγκριση αποτελεσμάτων με αντίστοιχα άλλων ερευνητών	221
6.3. : Συμπεράσματα - Προτάσεις	225
Βιβλιογραφία Δεύτερου Μέρους	227

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : Υλικά παραγωγής σκυροδέματος

- 1.1. Το τσιμέντο**
- 1.2. Τα αδρανή**
- 1.3. Το νερό αναμίξεως**
- 1.4. Τα πρόσθετα υλικά**

1.1. ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

1.1.1 Παραγωγή

Το τσιμέντο σε αντίθεση με άλλες φυσικές κονίες, είναι προϊόν βιομηχανικό, που παρασκευάζεται με την λειοτρίβηση πετρωμάτων κατάλληλης συνθέσεως, την όπτηση του μίγματος και την επαναλειοτρίβηση του προϊόντος σπτήσεως. Τα κυριώτερα συστατικά των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται είναι πυριτικές και αργλικές ενώσεις ασβεστίου (ασβεστόλιθος ενίοτε και σχιστόλιθος). Ανακαλύφθηκε το 1824 από τον Άγγλο J. Aspdin, ο οποίος το ονόμασε “τσιμέντο Πόρτλαντ” γιατί το νέο υλικό είχε το χρώμα των εδαφών της περιοχής Portland της Αγγλίας.

Η σειρά των εργασιών από την εξόρυξη των πρώτων υλών ως το τελικό προϊόν είναι η ακόλουθη :

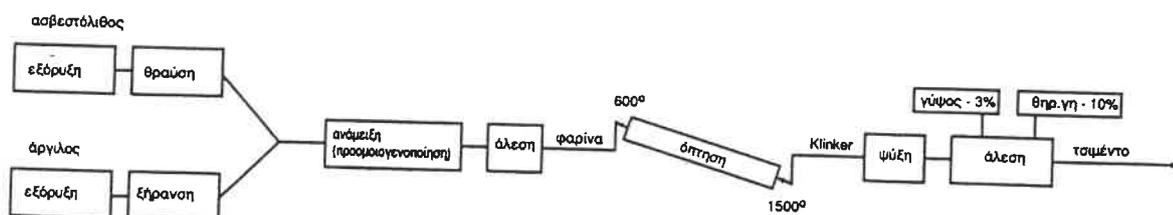
α) Εξόρυξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων και αργλικών εδαφών χωριστά. Τα πετρώματα αυτά περνούν από σπαστήρες, ώστε να τεμαχιστούν και να αποκτήσουν διάμετρο μερικών εκατοστών.

β) Μετά την έξοδό τους από τους σπαστήρες γίνεται ανάμιξη των δύο υλικών (προομοιογενοποίηση).

γ) Κατόπιν αλέθονται σε τριβείο, ώστε να αποκτήσουν διάμετρο λίγων χιλιοστών. Το προϊόν της αλέσεως (φαρίνα), λεπτόκοκκο μίγμα ασβεστολιθικής και αργλικής άμμου, αποθηκεύεται σε σιλό.

δ) Το μίγμα εισάγεται στο άνω άκρο κυλινδρικής καμίνου, η οποία περιστρέφεται αργά γύρω από τον άξονά της. Η θερμότητα παράγεται από καυστήρα πετρελαίου, ο οποίος βρίσκεται στο κάτω άκρο της. Η θερμοκρασία μέσα στην κάμινο είναι περίπου 600 °C άνω άκρο και φτάνει στους 1500 °C στο κάτω άκρο που είναι και το σημείο εξόδου των προϊόντων. Τα προϊόντα της σπτήσεως ονομάζονται εκβολάδες ή klinker.

ε) Τα προϊόντα της σπτήσεως κατόπιν ψύχονται, αλέθονται και αποκτούν τη γνωστή μορφή του τσιμέντου. Το υλικό αυτό χωρίς την προσθήκη ή τροποποίηση μεγαλύτερη από 3% κατά βάρος ονομάζεται “τσιμέντο Πόρτλαντ”.



ΣΧΗΜΑ 1.1.1. Σχηματικό διάγραμμα παραγωγής τσιμέντου [1].

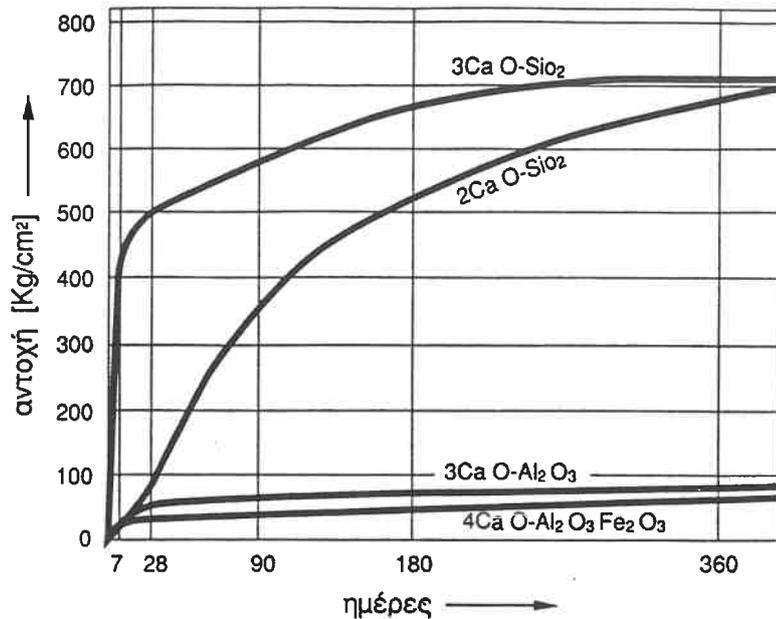
Η χημική σύνθεση του τσιμέντου δεν είναι απόλυτα σταθερή, αλλά εξαρτάται από τη χημική σύνθεση των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες και από τον τρόπο παραγωγής και κυρίως από τον χρόνο και την θερμοκρασία σπτήσεως. Η σύνθεση του κοινού τσιμέντου Portland κυμαίνεται μεταξύ των ορίων που αναφέρονται παρακάτω για τα κύρια συστατικά του [4].

Οξειδίο ασβεστίου	CaO	60 - 68%
Οξειδίο πυριτίου	SiO ₂	20 - 25%
Οξειδίο αργίλου	Al ₂ O ₃	3 - 8%
Οξειδίο σιδήρου	Fe ₂ O ₃	2 - 5%
Οξειδίο μαγνησίου	MgO	1 - 5%
Τριοξειδίο του Θείου	SO ₃	1 - 3%

Η παρουσία του τριοξειδίου του θείου οφείλεται στην συνάλεση γύψου με το klinker, που έχει σκοπό την επιβράδυνση του σημείου πήξεως.

Πέρα από τα παραπάνω, η χημική ανάλυση του τσιμέντου περιλαμβάνει και τον προσδιορισμό της απώλειας πυρακτώσεως, που κυμαίνεται από 0.5% ως 5.0%, καθώς και το αδιάλυτο HCl οξύ υπόλειμμα, που μαζί με τα αλκάλια δεν ξεπερνάει το 2%.

Τα τέσσερα πρώτα οξειδία αποτελούν τα κύρια συστατικά του τσιμέντου, τα οποία με τη μορφή πολυπλοκότερων μεταξύ τους ενώσεων συνιστούν τους καλούμενους υδραυλικούς παράγοντες. Η αναλογία των τεσσάρων κυρίων συστατικών έχει επίδραση στην ταχύτητα της αντοχής. Οι δύο πυριτικές ενώσεις συμβάλλουν σημαντικά στη γρήγορη ανάπτυξη της αντοχής, αντίθετα από τις αργλικές. Επίσης η αναλογία των συστατικών αυτών επιδρά και στην ποσότητα της θερμότητας που εκλύεται κατά την διάρκεια της αντίδρασης ενυδατώσεως. Αντίθετα όμως η αναλογία των τεσσάρων κυρίων συστατικών δεν έχει τόσο αποφασιστική σημασία στην τελική τιμή της αντοχής. Έχει παρατηρηθεί ότι μεγαλύτερη αντοχή παρουσιάζουν, γενικά τα τσιμέντα τα φτωχά σε ασβέστιο (Ca) και πλούσια σε πυριτικό διασβέστιο (2CaO.SiO₂) [1].



ΣΧΗΜΑ 1.1.4. Εξέλιξη της αντοχής που παρουσιάζουν τα διάφορα συστατικά του τσιμέντου, όταν εξετάζεται το καθένα χωριστά [1].

Εκτός από τα προαναφερθέντα τέσσερα κύρια συστατικά υπάρχουν στο τσιμέντο και τα ακόλουθα δευτερεύοντα συστατικά, σε μικρότερες ποσότητες :

α) Οξειδίο του Μαγνησίου (MgO) ή μαγνησία, ουσία παρόμοια με το CaO. Όταν το οξειδίο του μαγνησίου ενωθεί με νερό, διογκώνεται αργά και προκαλεί ζημιές. Γι'αυτό οι διάφοροι Κανονισμοί περιορίζουν την ποσότητα αυτού στο τσιμέντο σε 5% το πολύ.

Στο οξειδίο του μαγνησίου οφείλεται το γκριζοπράσινο χρώμα του τσιμέντου. Τσιμέντο χωρίς MgO έχουν χρώμα καφετί.

β) Γύψος (CaSO₄). Προσθέτουμε τη γύψο στο τσιμέντο για τη ρύθμιση της ταχύτητας πήξεως. Η δράση της γύψου ως προς την ταχύτητα πήξεως, είναι περίεργη. Ενώ η γύψος μόνη της είναι ταχύπηκτη, σε ποσότητα μέχρι 3% παρεμποδίζει το επίσης ταχύπηκτο αργιλικό τριασβέστιο. Σε ποσότητες όμως μεγαλύτερες από 3% αρχίζει και πάλι να επικρατεί η επιταχυντική της δράσης.

γ) Αλκάλια (K₂O και Na₂O). Τα αλκάλια σε μικρές ποσότητες είναι αβλαβή, ενώ σε μεγαλύτερες ποσότητες προκαλούν ανωμαλίες στην ταχύτητα πήξεως.

1.1.3. Τύποι τσιμέντων

Ανάλογα με την σύνθεσή τους, το βαθμό αλέσεως και τα πρόσθετα υλικά, τα τσιμέντα κατατάσσονται σε διάφορους τύπους και κατηγορίες αντοχής. Σύμφωνα με

Κατηγορία	Αντοχή σε θλίψη σε N/mm ² *			
	2 ημερών	7 ημερών	28 ημερών	
	Ελάχιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
35	—	15	25	45
45	10	—	35	55
55	15	—	45	χωρίς όριο

* 1 N/mm² = 10,2 kgf/cm²

ΠΙΝΑΚΑΣ. 1.1.4. Απαιτήσεις αντοχών του Κανονισμού τσιμέντων [5].

1.1.4. Πρόσμικτα υλικά του τσιμέντου.

Ποζολάνες : ονομάζουμε πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, που έχουν την ιδιότητα να ενώνονται με την υδράσβεστο $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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.

Για να χρησιμοποιηθεί μία ποζολάνη για την παρασκευή τσιμέντων του τύπου II ή III πρέπει να ικανοποιεί την δοκιμή δραστηκότητας που προβλέπει ο Κανονισμός [5], δηλαδή να παρουσιάζει συμβατική αντοχή 5MPa.

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

Η δραστηκότητα των τεφρών οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε SiO_2 , Al_2O_3 και CaO . Οι δύο πρώτες ενώσεις προσδίδουν στην τέφρα ποζολανικές ιδιότητες ενώ το CaO υδραυλικές ιδιότητες.

Φίλλερ : ονομάζουμε υλικά, συνήθως αδρανή, σε λεπτότατο καταμερισμό. Το φίλλερ σε μικρή ποσότητα επιδρά ευνοϊκά στο εργάσιμο και την υδατοπερατότητα. Η δράση τους είναι κυρίως μηχανική, δηλαδή δρουν σαν λιπαντικό για το εργάσιμο και με την 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.



ΣΧΗΜΑ 1.1.6. Τσιμεντοκονία 24 ώρες μετά την ανάμιξη [1].

Η έκταση και η αναλογία των κολλοειδών και κρυσταλλικών περιοχών προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό τις μηχανικές ιδιότητες του τσιμεντόλιθου και την συμπεριφορά του στις διακυμάνσεις της υγρασίας. Κατά την αύξηση της υγρασίας οι κολλοειδείς περιοχές διογκώνονται ενώ κατά την ελάττωση συρρικνώνονται, προκαλώντας έτσι εναλλασσόμενες τάσεις θλίψεως και εφελκυσμού, οι οποίες χαλαρώνουν την συνοχή του τσιμεντόλιθου. Οι κρυσταλλικές εξάλλου περιοχές, συμβάλλουν σε μεγαλύτερο βαθμό στη μηχανική αντοχή του τσιμεντόλιθου. Από τις υπάρχουσες ενδείξεις συνάγεται ότι η ανάπτυξη των κρυσταλλικών περιοχών ευνοείται από τον χαμηλό λόγο νερού / τσιμέντου.

Μολονότι οι αντιδράσεις κατά την ενυδάτωση / πήξη του τσιμέντου καθώς και τα προϊόντα τους δεν είναι γνωστά με απόλυτη πληρότητα και βεβαιότητα, γίνεται παραδεκτό ότι, για τα τέσσερα κύρια συστατικά, μπορούν να αποδοθούν με μεγάλη προσέγγιση από το ακόλουθο σχήμα [1] :

Για το πυριτικό τριασβεστίο :



Για το πυριτικό διασβεστίο :



Για το αργιλικό τριασβεστίο :



Όπως μπορεί να συναχθεί από τον παραπάνω πίνακα, η μεγάλη ταχύτητα με την οποία πήζει το “αμιγές” τσιμέντο (3 ως 5 λεπτά συνήθως) καθώς και η αρχική ανάπτυξη υψηλής θερμοκρασίας οφείλονται στην παρουσία του C_3A . Η προσθήκη της γύψου κατά την άλεση του κlinker αποσκοπεί ακριβώς στην τροποποίηση της ενυδατώσεως του C_3A , το οποίο παρουσία της γύψου δίνει ένα ένυδρο άλας του τύπου $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$, και έτσι αυξάνει σημαντικά τον χρόνο αρχικής πήξεως. Από τον πίνακα επίσης φαίνεται ότι η συνδυαστική ικανότητα του τσιμέντου οφείλεται στα συστατικά C_3S και C_2S , από τα οποία το πρώτο μεν συντελεί στην ανάπτυξη της αντοχής τις πρώτες μέρες ενώ το δεύτερο, που έχει πολύ μικρότερη ταχύτητα ενυδατώσεως, είναι ο παράγοντας στον οποίο οφείλεται η διαμόρφωση της τελικής αντοχής, μετά την παρέλευση των πρώτων ημερών.

Το σχηματιζόμενο από τις αντιδράσεις ενυδατώσεως $Ca(OH)_2$ κρυσταλλώνεται σε μεγάλους (σε σύγκριση με τα άλλα συστατικά) κρυστάλλους ή, παρουσία προσμίξεων SiO_2 , σχηματίζει πρακτικά αδιάλυτα ένυδρα πυριτικά άλατα του τύπου $CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, τα χαρακτηριστικά πήξεως του τσιμέντου καθώς και οι υπόλοιπες φυσικοχημικές και μηχανικές του ιδιότητες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την σχετική αναλογία των τεσσάρων κυρίων συστατικών. Δεδομένου ότι ο προσδιορισμός τους δεν είναι δυνατός με άμεση χημική ανάλυση, υπολογίζονται με βάση την περιεκτικότητα του τσιμέντου σε οξειδία, και με την βοήθεια των εξισώσεων του Bogue που είναι οι ακόλουθες [4].

$$\% C_4AF = 3.04 \cdot (\% F)$$

$$\% C_3A = 2.65 \cdot (\% A) - 1.69 \cdot (\% F)$$

$$\% C_2S = 8.60 \cdot (\% S) - 3.07 \cdot (\% C) + 5.10 \cdot (\% A) + 1.08 \cdot (\% F)$$

$$\% C_3S = 4.01 \cdot (\% C) - 1.60 (\% S) - 1.43 (\% F) - 6.72 (\% A)$$

Οι εξισώσεις Bogue επιτρέπουν επίσης να εκτιμηθεί η επίδραση μιας αλλαγής της σύνθεσης των πρώτων υλών πάνω στο συσχετισμό των τεσσάρων κυρίων συστατικών του τσιμέντου.

Η ποσότητα του νερού που είναι απαραίτητη για την πλήρη ενυδάτωση του τσιμέντου δεν είναι γνωστή με ακρίβεια, και τούτο διότι οι αντιδράσεις και τα προϊόντα ενυδατώσεως που αναφέρθηκαν προηγουμένως είναι βέβαια τα κυριώτερα όχι όμως και τα μοναδικά. Εκτός αυτού, τα προϊόντα ενυδατώσεως, λόγω του υπομικροσκοπικού μεγέθους των κρυσταλλικών και κolloειδών συσσωματωμάτων, παρουσιάζουν πολύ μεγάλη επιφάνεια και συνακόλουθα μεγάλη δυνατότητα προσροφήσεως νερού. Το “εν προσροφήσει” αυτό νερό δεν είναι, όπως είναι φυσικό, διαθέσιμο για τις αντιδράσεις ενυδατώσεως. Γενικά γίνεται δεκτό ότι η αναλογία νερού προς τσιμέντο για την ολοκλήρωση των αντιδράσεων είναι θεωρητικά 0,25:1, ενώ για

1.1.6. Ψευδόπηση

Ονομάζουμε έτσι ένα φαινόμενο που μπορεί να παρουσιαστεί, σε σπάνιες περιπτώσεις όμως και που συνίσταται σε μια πρόωρη σκλήρυνση του μίγματος τσιμέντου νερού, αμέσως μετά την ανάμιξη των δύο υλικών, ή οποία όμως δεν οφείλεται στην ενυδάτωση των συστατικών του τσιμέντου και δεν συνοδεύεται από αντίστοιχη ανάπτυξη αντοχής. Σε αντίθεση με την ταχύπηση, η ψευδόπηση, εξαφανίζεται μετά μια επανάμιξη, οπότε η κονία επανέρχεται στην πλαστική της κατάσταση. Μια από τις αιτίες της ψευδόπησης είναι τα αλκάλια του τσιμέντου τα οποία κατά την αποθήκευση του τσιμέντου μπορεί να ανθρακοποιηθούν οπότε και αντιδρούν με το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ που ελευθερώνεται κατά την υδρόλυση του C_3S για να σχηματίσουν CaCO_3 . Αυτό καθιζάνει και συμβάλλει στην πήξη της κονίας. Λέγεται ακόμη ότι η ψευδόπηση οφείλεται σε ενεργοποίηση του C_3S - όταν το περιβάλλον είναι εξαιρετικά υγρό - που ακολουθείται από ταχεία ενυδάτωση.

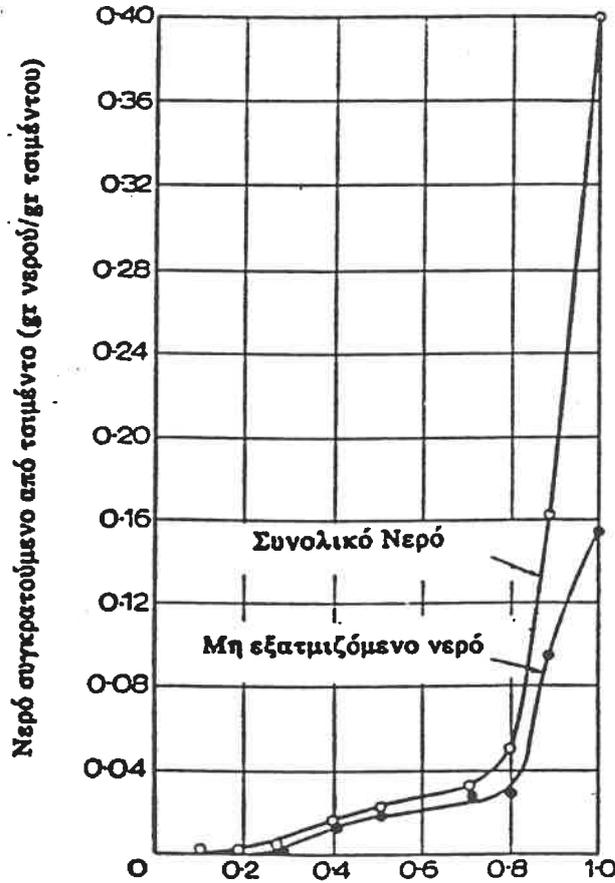
Συνηθέστερη αιτία του φαινομένου της ψευδόπησης, θεωρείται η δράση της γύψου [1]. Η ένδυρος γύψος $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (δίυδριτης) μπορεί, κατά την ανάμιξη με το klinker, αν αυτό βρίσκεται ακόμη σε υψηλή θερμοκρασία, να αποβάλλει μέρος του νερού και να μετατραπεί σε ημιυδρίτη $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. Ο ημιυδρίτης είναι ένωση ασταθής, ενώνεται εύκολα με το νερό αναμίξεως και πήζει (όπως και η ελεύθερη γύψος), δίνοντας την εντύπωση της πήξης του μίγματος.

1.1.7. Μορφολογία του πήγματος.

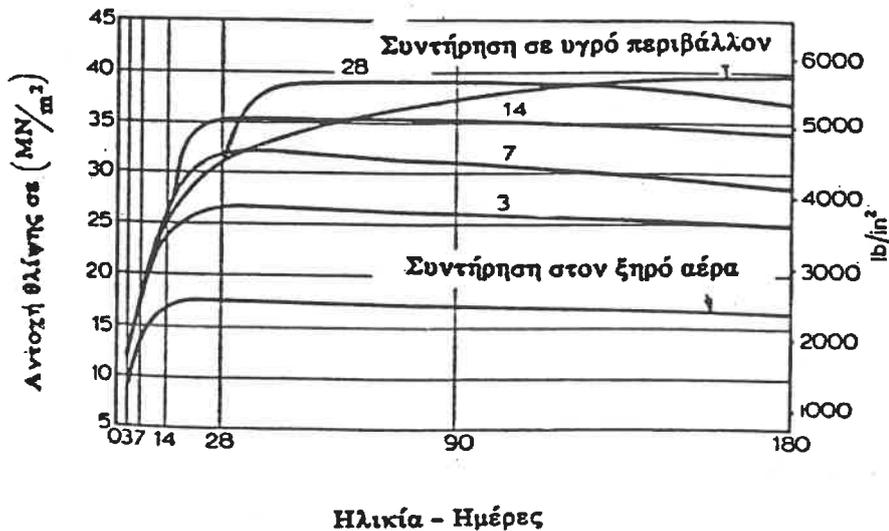
Το πήγμα σχηματίζεται από στερεούς κόκκους κολλοειδών διαστάσεων πλακοειδής μορφής ή βελονοειδής μορφής και κρυστάλλους $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Η ακριβής μορφή του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού (πήγματος) δεν είναι πλήρως γνωστή ακόμη, αλλά αποτελεί αντικείμενο συνεχούς έρευνας γιατί αποτελεί τη βάση της ερμηνείας της συμπεριφοράς του σκυροδέματος και πολλών τεχνολογικών βελτιώσεων. Υπάρχουν διάφορες θεωρίες ή προσομοιώματα (μοντέλα) της μορφής του πήγματος, τα γνωστότερα από τα οποία είναι εκείνα του Powers, του Feldam και Sereda, το προσομοίωμα του Μονάχου (Wittman).

Όλοι αυτοί οι στερεοί κόκκοι είναι κολλοειδών διαστάσεων, δηλαδή μέχρι 500Å και αλληλοεμπλέκονται αφήνοντας ανάμεσά τους εξαιρετικά μικρούς πόρους, που λέγονται πόροι του πήγματος. Το πλέγμα των κρυστάλλων δεν είναι συνεχές. Κατά διαστήματα υπάρχουν μεγάλα χάσματα που διακόπτουν το πλέγμα και που λέγονται τριχοειδείς πόροι. Από απόψεως τάξης μεγέθους, οι τριχοειδείς πόροι έχουν διάσταση $10.000 - 15.000 \text{ Å}$, τα στερεά του πήγματος 90 Å και οι πόροι του πήγματος $15-20 \text{ Å}$. Οι πόροι του πήγματος και οι τριχοειδείς πόροι είναι γεμάτοι νερό. Όπως έχει διαπιστωθεί, οι πόροι του πήγματος είναι το 28% του αθροίσματος

1.1.9 από την έρευνα του Powers, στο οποίο φαίνεται πως όταν η σχετική υγρασία P/P_0 μειωθεί κατά το 80%, ο ρυθμός ενυδάτωσης σχεδόν μηδενίζεται. Επίσης πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η συντήρηση των δοκιμών, στην αντοχή τους. Στο επόμενο σχήμα 1.1.10 φαίνεται το διάγραμμα των αντοχών ίδιων δοκιμών συγκριτικά με την συντήρησή τους στον ξηρό αέρα. [7].



ΣΧΗΜΑ 1.1.11. Νερό συγκρατούμενο σε τσιμεντοπολιτό που παρέμεινε 6 μήνες σε περιβάλλον διαφορετικής σχετικής υγρασίας να αποκτήσει ισορροπία [7].



ΣΧΗΜΑ 1.1.12. Επίδραση της συντήρησης δοκιμών στην αντοχή του σκυροδέματος για λόγο $N/T = 0.50$ [7].

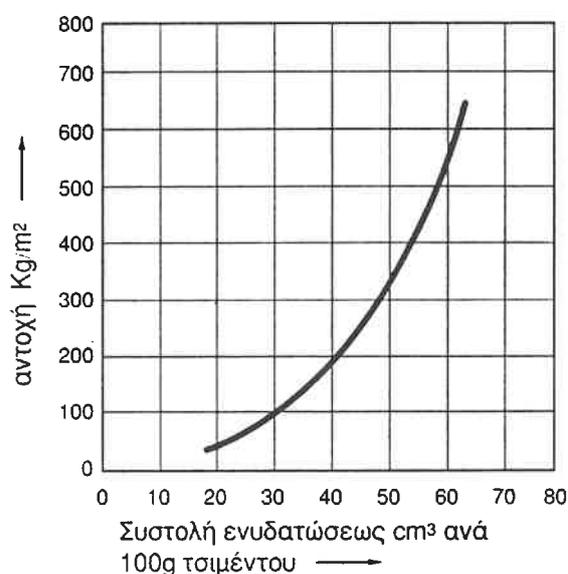
Ο όγκος των στερεών προϊόντων της πλήρους ενυδάτωσης είναι ίσος με το άθροισμα του όγκου του ξηρού τσιμέντου και του όγκου του μη εξατμιζόμενου νερού, μειωμένου κατά 25.4% - η μείωση αποτελεί χημική συστολή.

Από το σταθερό ποσοστό - 28% - των πόρων του πήγματος μέσα σε αυτό, προκύπτει ο όγκος τους. Το ποσοστό των πόρων του πήγματος, καθώς και του μη εξατμιζόμενου νερού είναι σταθερά και ανεξάρτητα από το λόγο Ν/Τ και το βαθμό ενυδατώσεως, εξαρτώνται δε ελαφρώς από τα χαρακτηριστικά του τσιμέντου. Τέλος ο όγκος των τριχοειδών πόρων είναι το τμήμα του συνολικά διαθέσιμου όγκου που δεν καταλήφθηκε από το προϊόν ενυδάτωσης. Κατά την περίοδο της ενυδάτωσης, αυξάνεται ο όγκος του πήγματος και κατά συνέπεια ο όγκος των πόρων του, ενώ ταυτόχρονα ο όγκος των τριχοειδών πόρων μειώνεται.

1.1.8. Φαινόμενα που συνοδεύουν την ενυδάτωση

1.1.8.1. Συστολή ενυδάτωσης ή χημική συστολή.

Με τον όρο συστολή ενυδατώσεως ή χημική συστολή χαρακτηρίζεται η συστολή που δεν οφείλεται σε εξωτερικά αίτια (όπως είναι η αποβολή νερού, οι εξωτερικές δυνάμεις, η μεταβολή θερμοκρασίας), αλλά αποκλειστικά και μόνο στις χημικές μεταβολές που συντελούνται μεταξύ τσιμέντου και νερού. Στα προηγούμενα αναφέραμε ότι κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης παρουσιάζεται ελάττωση του όγκου των προϊόντων της αντιδράσεως, ίση με το 1/4 του αρχικού όγκου του νερού. Η συστολή αυτή ακολουθεί ποσοτικά την εξέλιξη της αντοχής είναι δηλαδή γρήγορη στην αρχή και γίνεται βραδύτερη με την πάροδο του χρόνου.



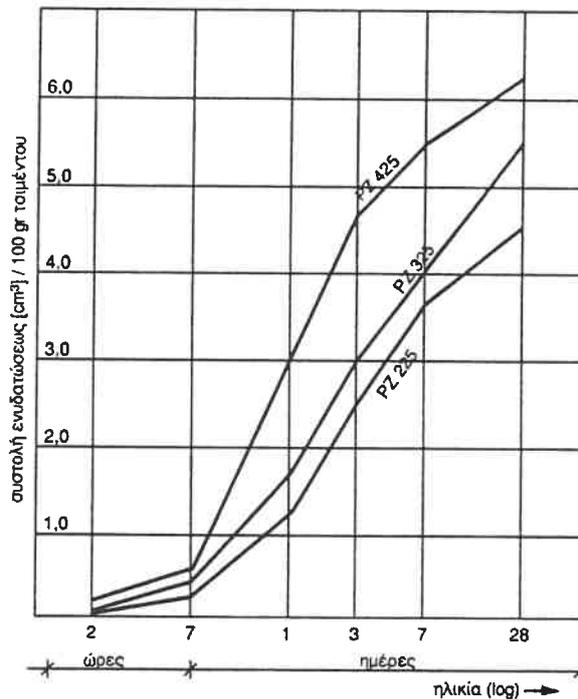
ΣΧΗΜΑ 1.1.13. Σχέση ανάμεσα στη συστολή ενυδατώσεως και στην αντοχή συμβατικού κονιάματος [1].

1.1.8.2. Θερμότητα ενυδάτωσης

Οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ τσιμέντου και νερού πραγματοποιούνται με σύγχρονη έκλυση θερμότητας. Η εξέλιξη της αντίδρασης ενυδάτωσης είναι πολύ αργή και η θερμότητα που εκλύεται έχει το χρόνο να απομακρυνθεί, με αποτέλεσμα το φαινόμενο να μην γίνεται έντονα αντιληπτό.

Η θερμότητα που εκλύεται φτάνει συνολικά, κατά μέσο όρο, τις 120 cal περίπου για κάθε gr τσιμέντου. Είναι όμως διαφορετική για τα διάφορα συστατικά του τσιμέντου και γι'αυτόν εξαρτάται από τη σύνθεσή του. Η συνολική θερμότητα που εκλύεται από το καθένα από τα τέσσερα συστατικά του τσιμέντου είναι περίπου [1]:

πυριτικό τριασβέστιο	120 Cal/gr
πυριτικό διασβέστιο	62 Cal/gr
αργιλικό τριασβέστιο	207 Cal/gr
αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο	100 Cal/gr



ΣΧΗΜΑ 1.1.15. Καμπύλη εξέλιξης της συστολής ενυδατώσεως για διάφορους τύπους τσιμέντου [1].

Είναι φανερό ότι μπορούμε με κατάλληλη σύνθεση του τσιμέντου (περιορισμός του αργιλικού τριασβεστίου) να ελαττώσουμε τη θερμότητα που εκλύεται, όταν αυτό είναι απαραίτητο για την κατασκευή. Η συνολική αυτή θερμότητα εκλύεται μέσα σ'όλη τη διάρκεια της αντίδρασης. Η έκλυση γίνεται γρήγορη στην αρχή και όλο πιο αργά με την πάροδο του χρόνου, όπως ακριβώς συμβαίνει με την αντοχή και με όλα τα άλλα φαινόμενα που συνοδεύουν την ενυδάτωση. Σημασία για την κατασκευή έχει η

αντοχές προσδιορίζονται σε ηλικία 2, 7 και 28 ημερών και προκύπτει κάθε φορά από το μέσο όριο των δοκιμών για την κάμψη και των έξι δοκιμών για τη θλίψη.

γ. Προσδιορισμός του χρόνου πήξεως.

Γίνεται με τη γνωστή συσκευή VICAT σε τυποποιημένο μίγμα που λέγεται κανονικός τσιμεντοπολτός. Η αρχή της πήξεως καθορίζεται όταν η βελόνα σταματήσει 5 ± 1 mm από την πλάκα στήριξης και το τέλος της πήξεως όταν το βάθος που εισχωρεί η βελόνα είναι 0,5 mm από την επιφάνεια.

δ. Προσδιορισμός σταθερότητας όγκου.

Αντίθετα με τον παλαιό κανονισμό που ο προσδιορισμός της σταθερότητας όγκου γινόταν με βρασμό, γίνεται τώρα με τον δακτύλιο LE CHATELIER. Αποτελείται από μεταλλική κυλινδρική επιφάνεια διαμέτρου 30 mm και ύψους 30 mm σχιστή κατά μια γενέτειρα. Στα δύο χείλη της σχισμής είναι κολλημένα μεταλλικά ελάσματα μήκους 150 mm. Μέσα στον κύλινδρο τοποθετείται ο κανονικός τσιμεντοπολτός. Ο δακτύλιος μαζί με τον τσιμεντοπολτό διατηρείται μέσα σε νερό θερμοκρασίας 20°C επί 24 ώρες. Μετρείται η απόσταση A_1 των άκρων των δύο ελασμάτων. Το δείγμα βράζεται επί τρεις ώρες, εξάγεται, αφήνεται να ψυχθεί και μετρείται πάλι η απόσταση των άκρων A_2 . Η διαφορά $A_2 - A_1$ χαρακτηρίζει την σταθερότητα όγκου του τσιμέντου. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι μικρότερη από 10 mm.

ε. Προσδιορισμός της λεπτότητας αλέσεως.

Γίνεται όπως και πρώτα με τη γνωστή συσκευή Blaine, όπου μετρείται ο χρόνος που χρειάζεται να περάσει ο αέρας μια ορισμένη ποσότητα τσιμέντου. Από το χρόνο αυτό προσδιορίζεται η ειδική επιφάνεια σε cm^2/gr .

στ. Χημικοί Έλεγχοι

Οι χημικοί έλεγχοι περιλαμβάνουν :

- την απώλεια πυρώσεως
- το αδιάλυτο υπόλειμμα
- προσδιορισμός διαφόρων οξειδίων (SiO_2 , CaO , MgO , Fe_2O_3 κ.λ.π.)

Εκτός από τους παραπάνω τυποποιημένους ελέγχους ή ποσότητας το τσιμέντο, παρακολουθείται κατά την παραγωγή, συνεχώς με σύγχρονες μεθόδους ελέγχου. Από αυτές αναφέρουμε τη διαφορική θερμική ανάλυση (DTA) που, αν και

1.2 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

1.2.1. Γενικά

Ένα από τα βασικότερα συστατικά του σκυροδέματος είναι τα αδρανή υλικά. Τα αδρανή υλικά οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι θεωρείται ότι παραμένουν χημικώς αδρανή στην διαδικασία σκλήρυνσης του σκυροδέματος. Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του κοινού τύπου σκυροδέματος είναι συντρίμματα διαφόρων πετρωμάτων. Τα πετρώματα είτε θραύονται τεχνητά (θραυστά) είτε συλλέγονται όπως βρίσκονται στη φύση (συλλεκτά). Τα καταλληλότερα πετρώματα είναι τα ασβεστολιθικά και τα πυριτικά. Τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται ως αδρανή φαίνονται στο παρακάτω πίνακα.

Αδρανή		Είδος σκυροδέματος
Φυσικά	Τεχνητά	
Συντρίμματα βαριών πετρωμάτων (βαρύτης, μαγνητίτης κ.ά.) βλ. Πίνακα XVII.	Βιομηχανικά κατάλοιπα σιδήρου (ρινίσματα κ.ά.).	Βαρύ σκυρόδεμα
Θραυστά ή συλλεκτά συντρίμματα πετρωμάτων μέσου ειδικού βάρους (ασβεστολιθικά, πυριτικά κ.ά.).	Ίνες αμιάντου	Κοινό σκυρόδεμα
Θραυστά ή συλλεκτά τεμάχια ελαφρών πετρωμάτων (κίσηρη κ.ά.) (βλ. περισσότερα 5.1.1.).	Σκουριά υψικαμίνων, διογκωμένη άργιλος, διογκωμένος σχιστόλιθος, περλίτης κ.ά. (βλ. περισσότερα στο 5.1.1.).	Ελαφρά σκυροδέματα

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2.1. Τύποι αδρανών υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή σκυροδέματος. [1]

Στη χώρα μας οι απαιτήσεις για τα ασβεστολιθικά αδρανή τα οποία χρησιμοποιούνται κατά το πλείστον καλύπτονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ 408 και τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

1.2.2. Προέλευση και αντοχή των αδρανών

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι η αντοχή σε θλίψη του μητρικού πετρώματος.

Εκτός από την παραπάνω αντοχή σε θλίψη, το πέτρωμα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κομμούς και να μην αποσαθρώνεται από την επίδραση των καιρικών συνθηκών. Δηλαδή με μια λέξη το πέτρωμα να έχει καλή υγεία.

σίδηρο. Ένα από τα κυριότερα επιβλαβή πρόσμικτα είναι η Παιπάλη και ειδικότερα η τυχόν περιεχομενη άργιλος. Ως παιπάλη χαρακτηρίζεται το λεπτότερο τμήμα του υλικού που περνάει από το Αμερικάνικο πρότυπο κόσκινο Νο 200 (75 μm) και προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ-305.

Η παιπάλη μπορεί να είναι πηλός ή άργιλος ή σκόνη από το ίδιο το πέτρωμα. Κατά τον Ελλ. Κανονισμό, η παιπάλη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% κ.β. της άμμου και το 1% κ.β. των χονδροτέρων κλασμάτων (ρουζάκι, γαρμπίλι, σκύρα). Η παιπάλη απομακρύνεται με τη πλύση των αδρανών με νερό.

Οι οργανικές προσμίξεις αποτελούν και αυτές ένα από τα κυριότερα επιβλαβή πρόσμικτα των αδρανών. Στις οργανικές προσμίξεις περιλαμβάνονται υλικά οργανικής (ζωϊκής ή φυτικής) προελεύσεως, γαιάνθρακες και λιγνίτες.

Τα οργανικά προϊόντα μπορεί να έχουν επίδραση στην πήξη της κονίας ή να δημιουργήσουν ή αποφλοιώσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Την ύπαρξή τους την ελέγχουμε με τις Αμερικανικές Προδιαγραφές ASTM C33 και C87.

Οι θειούχες ενώσεις είναι επίσης ένα από τα κυριότερα επιβλαβή πρόσμικτα των αδρανών. Όταν βρίσκονται μεταξύ των αδρανών έχουν δυσμενή επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος και σε μεγαλύτερη ποσότητα ή όταν είναι συγκεντρωμένες σε ορισμένα σημεία, μπορούν να προκαλέσουν ρηγματώσεις από την τοπική διόγκωση του σκυροδέματος που προκαλούν. Ανακεφαλαιωτικά η μέγιστη ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού σε 1m³ σκυροδέματος κατά DIN 1045 δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Μέγιστος κόκκος αδρανών mm	Ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού σε 1m ³ σκυροδέματος (παιπάλη + τσιμέντο) kg
8	525
16	450
32	400
63	325

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2.3. Μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού σε 1m³ σκυροδέματος κατά DIN 1045. [1]

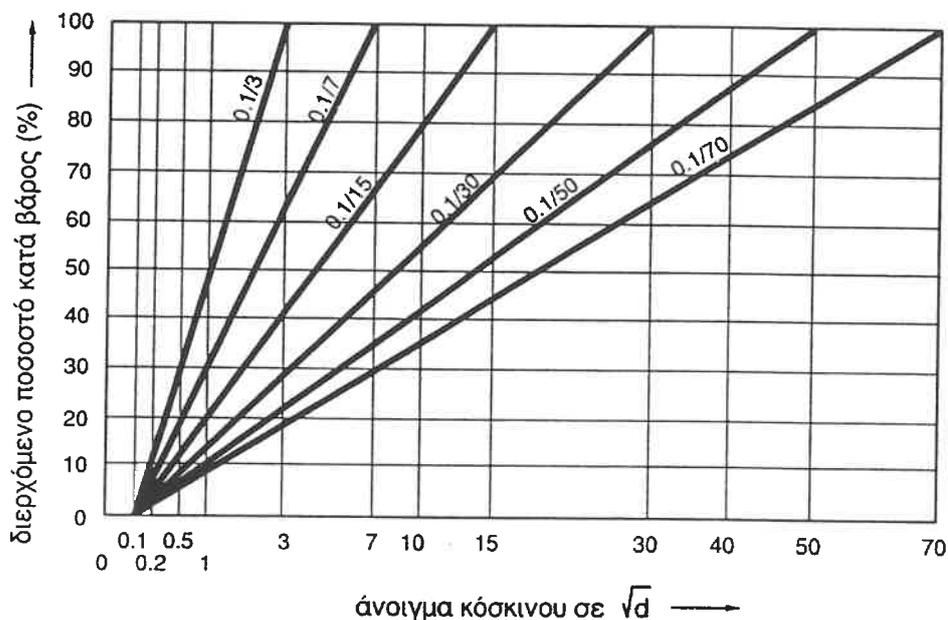
Το πρότυπο ΕΛΟΤ 408 και κατ'επέκταση ο Ελληνικός κανονισμός επιβάλλει τον έλεγχο των ακόλουθων ορυκτολογικών συστατικών:

- ενώσεις θείου
- ενώσεις σιδήρου

Η κοκκομετρική σύνθεση απεικονίζεται σε διάγραμμα με τις διαμέτρους στον οριζόντιο άξονα και τα ποσοστά του υλικού που περνάει από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο.

Οι διάμετροι σημειώνονται στον οριζόντιο άξονα, είτε σε απλή είτε σε λογοριθμική, είτε σε άλλη παρόμοια κλίμακα, κατά τρόπο που να δημιουργείται ανάπτυξη της περιοχής των μικρών διαμέτρων.

Κάθε κοκκομετρική σύνθεση παριστάνεται με μια πολυγωνική γραμμή, που λέγεται συνήθως “κοκκομετρική καμπύλη”, επειδή υποθέτουμε ότι το υλικό έχει συνεχή μεταβολή διαμέτρων και επομένως στην πραγματικότητα πρόκειται για καμπύλη της οποία προσδιορίζουμε, με τα πρότυπα κόσκινα που διαλέγουμε, ορισμένα σημεία της. Η κλίση της καμπύλης, σε κάθε περιοχή, παριστάνει το “κατόγχο” ποσοστό του υλικού της περιοχής αυτής.



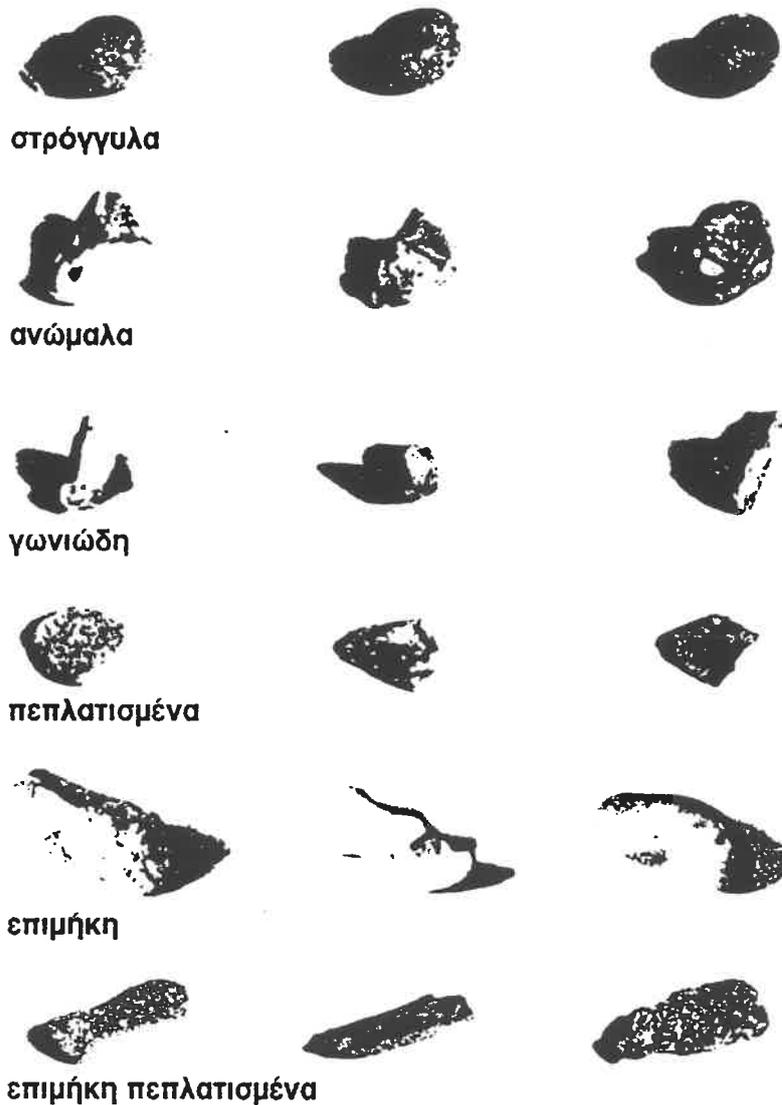
ΣΧΗΜΑ 1.2.1. Καμπύλες του Fuller για μέγιστο κόκκο 3, 7, 15, 30, 50 και 70 mm. [1]

Η μεγαλύτερη δυσκολία που παρουσιάζεται στην κοκκομετρική σύνθεση είναι η εκτίμηση η αξιολόγηση και η εκλογή της καταλληλότερης καμπύλης για κάθε περίπτωση, από άποψη ιδιοτήτων του σκυροδέματος.

Πολλές προτάσεις έγιναν στο παρελθόν για τη μαθηματική διατύπωση μιας διετής καμπύλης. Ο Fuller δίνει μια παραβολή της μορφής [1]:

$$A = 100 \times \left(\frac{d}{D} \right)^{1/2}$$

Οι Κανονισμοί των διαφόρων χωρών προσπαθώντας να περιγράψουν τις παραπάνω αντιλήψεις βάζουν ορισμένους περιορισμούς για την επίτευξη ενός βέλτιστου μεταξύ εργάσιμου και αντοχής.



ΣΧΗΜΑ 1.2.2. Μορφές κόκκων αδρανών, κατά B.S. 812 [1].

Ο Γερμανικός Κανονισμός DIN 4226 (φύλλο 1, παρ. 7.3) ζητεί το ποσοστό των ακατάλληλων κόκκων να μην ξεπερνά το 50% κατά βάρος της συνολικής ποσότητας των αδρανών. Ακατάλληλος χαρακτηρίζει τους κόκκους με σχέση της μεγαλύτερης (μήκος) προς τη μικρότερη διάσταση (πάχος) , μεγαλύτερη από 3 : 1.

Την ίδια απαίτηση υιοθετεί και το Σχέδιο Ελληνικού Πρότυπου ΕΛΟΤ 408.

Κλασσική στον τομέα αυτό υπήρξε η έρευνα που έκανε το 1924 ο Abrams [1] συγκρίνοντας νερά διαφόρων προελεύσεων. Από την έρευνα αυτή προέκυψε ότι στα σκυροδέματα με νερά όχι πόσιμα παρουσιάζεται μείωση της αντοχής των 28 ημερών μεταξύ 10-23%. Η παραπάνω διαφορά όμως μίκραινε συνεχώς ώστε μετά από 2.5 χρόνια να εξαφανίζεται σχεδόν τελείως. Στην περίπτωση μάλιστα σκυροδέματος με θαλασσινό νερό η αντοχή εμφανίστηκε μεγαλύτερη κατά 40%.

Επίσης σε πολλές περιπτώσεις η αντοχή, σε θλίψη και εφελκυσμό, παρουσιάζεται μεγαλύτερη στα σκυροδέματα με νερό πόσιμο (μικρή ποσότητα αλάτων) παρά στα σκυροδέματα με νερό αποσταγμένο.

Ποιότητα και προέλευση του νερού	Χρόνος λήξεως της πήξεως ώρες/λεπτά	Αντοχή του σκυροδέματος σε kg/cm ² και (%)					
		28 ημερών (Συντήρηση σε υγρό περιβάλλον)		2½ ετών (Συντήρηση σε υγρό περιβάλλον)		2½ ετών (Συντήρηση για 28 ημέρες σε υγρό περιβάλλον και στη συνέχεια στον αέρα)	
1 Νερό καθαρό	7.20	216	(100)	361	(100)	235	(100)
2 Νερό θαλασσινό	7.15	196	(90)	297	(82)	243	(104)
3 Νερό αλμυρής λίμνης	11.15	167	(77)	236	(65)	229	(98)
4 Μεταλλικό νερό	6.55	166	(77)	336	(93)	187	(80)
5 Νερό ανθρακωρχειίου	7.45	221	(102)	370	(103)	257	(110)
6 Νερό από αστικά και βιομηχανικά λύματα	7.45	176	(81)	295	(82)	196	(84)
7 Λύματα που περιέχουν άλατα και έλαια	7.00	187	(86)	278	(77)	206	(88)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1. Επίδραση του νερού ανάμιξης στην αντοχή [1].

1.4. ΤΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

1.4.1. Γενικά - ορισμοί

Πρόσθετα υλικά ή βελτιωτικά του σκυροδέματος ονομάζουμε υλικά που προσθέτονται μέσα στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του και τροποποιούν κατά ορισμένο τρόπο μερικές από τις ιδιότητές του. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες διαχωρισμού των πρόσθετων υλικών ανάλογα με τον τρόπο δράσης των. Στη μία κατηγορία ανήκουν αυτά που δρουν κατά τρόπο χημικό ή φυσικοχημικό, ενώ η απαραίτητη ποσότητα τους είναι τόσο μικρή, ώστε να μην επηρεάζει τη σύνθεση του σκυροδέματος.

Στην άλλη κατηγορία ανήκουν τα υλικά που εκτός από την τυχόν χημική ή φυσικοχημική δράση τους, η ποσότητά τους είναι τέτοια, ώστε να λαμβάνεται υπόψη και η τροποποίηση της συνθέσεως του σκυροδέματος που τα υλικά αυτά προκαλούν.

Όλα αυτά τα πρόσθετα υλικά έχουν, κατά κανόνα, επίδραση σε περισσότερες από μίαν ιδιότητες του σκυροδέματος και πολλές φορές έχουν δυσμενείς συνέπειες σε μερικές από αυτές, όπως π.χ. στη συστολή και την αντοχή. Γι'αυτό και η χρήση τους πρέπει να γίνεται αφού ελεγχθούν και αντιμετωπισθούν οι συνέπειες αυτές.

Συνοπτική εικόνα των αποτελεσμάτων των διαφόρων πρόσθετων παρέχει ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 1.4.1.) που έχει συνταχθεί από την Επιτροπή Προδιαγραφών Σκυροδέματος του ΤΕΕ.

1.4.2. Κατηγορίες προσθέτων

Ανάλογα τώρα με τα αποτελέσματά τους τα πρόσθετα υλικά κατατάσσονται, στις ακόλουθες κατηγορίες : [1]

α) Ρευστοποιητικά

Χαρακτηρίζονται τα υλικά εκείνα που προκαλούν αύξηση ρευστότητας του μίγματος. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ελαττωθεί το νερό αναμίξεως για τον ίδιο βαθμό εργασιμότητας, με αποτέλεσμα επομένως ν'αυξηθεί η αντοχή ή ακόμα ν'αυξηθεί το εργάσιμο χωρίς μείωση της τελικής αντοχής. Τα ρευστοποιητικά όμως προκαλούν, κατά κανόνα, καθυστέρηση της πήξεως, καθώς και αύξηση της χρόνιας συστολής του σκυροδέματος. Γι'αυτό, σκοπός των Κανονισμών είναι να θέσουν όρια στα ανεπιθύμητα αυτά φαινόμενα, ενώ παράλληλα καθορίζουν και την ελάχιστη ελάττωση του νερού που πρέπει να πετυχαίνεται για να ονομάζονται τα υλικά αυτά ρευστοποιητικά.

γ) Επιβραδυτικά

Ως επιβραδυτικά πρόσθετα χαρακτηρίζονται τα υλικά που επιβραδύνουν την εξέλιξη της ενυδατώσεως. Η δράση των υλικών αυτών στηρίζεται στην απομόνωση των αργιλικών αλάτων και κυρίως του αργιλικού τριασβεστίου του τσιμέντου και επομένως στην καθυστέρηση της επαφής των με το νερό.

Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται όταν η διαδικασία διαστρώσεως προβλέπεται ότι θα καθυστερήσει περισσότερο χρόνο από τον συνηθισμένο, όταν θέλουμε να αποφύγουμε τους αρμούς εργασίας στην περίπτωση του έτοιμου σκυροδέματος και τέλος όταν επιδιώκεται απάλυνση των αιχμών της θερμοκρασία που δημιουργείται από τη θερμότητα ενυδατώσεως.

Τα επιβραδυτικά δεν έχουν σημαντικές επιρροές στην συστολή του σκυροδέματος, αντίθετα προκαλούν αυξημένη αντοχή της πρώτες ημέρες και δρούν επίσης ως ρευστοποιητικά επειδή αυξάνουν την περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε αέρα. Οι μόνοι Κανονισμοί που περιέχουν τα επιβραδυτικά είναι ο Αμερικανικός Κανονισμός ASTM C494.

δ) Επιταχυντικά

Ως επιταχυντικά πρόσθετα χαρακτηρίζονται τα υλικά εκείνα που επιταχύνουν τη διαδικασία της ενυδατώσεως του τσιμέντου.

Η επιτάχυνση αυτή εκδηλώνεται είτε με συντόμευση του χρόνου ως της αρχής της πήξεως και χαρακτηρίζονται με τον όρο επιταχυντικά της πήξεως, είτε με επιτάχυνση της σκληρύνσεως και της αναπτύξεως της αντοχής και χαρακτηρίζονται με τον όρο επιταχυντικά της σκληρύνσεως. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται όταν επιδιώκεται γρήγορη απομάκρυνση των ξυλοτύπων, όπως στην παραγωγή προκατασκευασμένων στοιχείων, όταν είναι αναγκαία η σύντομη αποπεράτωση της κατασκευής ή όταν το στοιχείο πρόκειται να αναλάβει σύντομα εξωτερικά φορτία.

Το κυριώτερο επιταχυντικό είναι το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2), το οποίο έχει μια αξιοσημείωτη δράση στην επιτάχυνση της χημικής αντιδράσεως μεταξύ τσιμέντου και νερού και ταχύτερη ανάπτυξη της αντοχής. Τα επιταχυντικά σε αντίθεση με τα επιβραδυτικά έχουν, κατά κανόνα, βλαβερή επίδραση στην τελική αντοχή. Γι'αυτό και η χρήση τους πρέπει να γίνεται μόνον όταν αυτό είναι απόλυτα αναγκαίο.

Άλλο αποτέλεσμα των επιταχυντικών είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος τις πρώτες ώρες λόγω της συντομεύσεως του χρόνου στον οποίο εκλύεται η θερμότητα ενυδατώσεως, καθώς και η αύξηση της συστολής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : Μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος

2.1. Γενικά - ορισμοί

2.2. Απαιτήσεις

2.3. Υπολογισμός απαιτούμενων ποσοτήτων

2. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1. Ορισμός

Με τον όρο μελέτη σύνθεσης χαρακτηρίζουμε την εργασία που γίνεται για την κατάλληλη εκλογή της ποσότητας τσιμέντου, νερού και αδρανών για να πετύχουμε σκυρόδεμα με ορισμένες συγκεκριμένες ιδιότητες που επιβάλλονται από τις απαιτήσεις της κατασκευής, τα διαθέσιμα υλικά και τα εργοταξιακά μέσα. [15]

2.2. Απαιτήσεις

Οι γενικές απαιτήσεις κατά την μελέτη σύνθεσης είναι η καλή αντοχή, η ανθεκτικότητα, η καλή διαβάθμιση των υλικών και εργασιμότητα.

α) Αντοχή (άρθρο 5.22 ΚΤΣ) [9], [15], [1], [12].

Η απαιτούμενη αντοχή f_a πρέπει να έχει τέτοια τιμή ώστε κατά τον έλεγχο των δοκιμών με τα κριτήρια συμμορφώσεως, να υπάρχει μια λογική πιθανότητα να ικανοποιούνται. Για την απαιτούμενη αντοχή ο κανονισμός δίνει τις ακόλουθες σχέσεις.

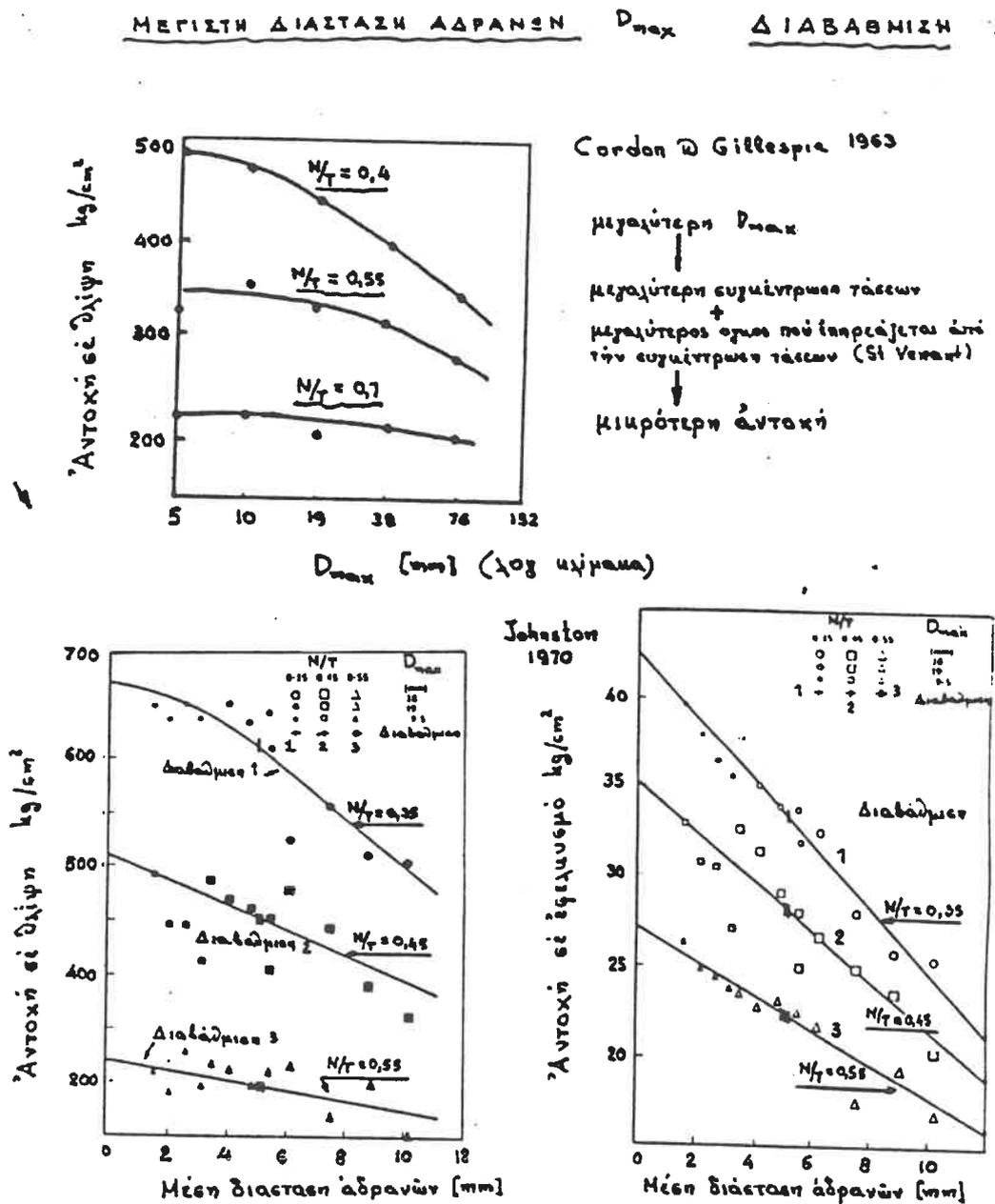
$$f_a = f_{ck} + \begin{array}{ll} 2,05 \times S & \text{μικρά έργα} \\ 1,91 \times S & \text{μεγάλα έργα} \end{array}$$

Στην περίπτωση μεγάλων έργων η τυπική απόκλιση S πρέπει να προκύπτει από 60 τουλάχιστον διαδοχικά δοκίμια διαφορετικών αναμιγμάτων με τα ίδια όμως υλικά και τις ίδιες εγκαταστάσεις. Αν η τυπική απόκλιση είχε προκύψει από 15 έως 60 δοκίμια, τότε η τυπική απόκλιση πρέπει να πολλαπλασιασθεί με τις τιμές του πίνακα 5.2.2.1. του ΚΤΣ και δεν πρέπει όμως να είναι μικρότερη από $3MPa$. Αν δεν υπάρχουν προηγούμενα στοιχεία όπως και στην περίπτωση μικρών έργων, τότε πρέπει να εισάγεται τιμή τυπικής αποκλίσεως :

$$\begin{array}{ll} S = 5MPa & \text{για θραυστά αδρανή} \\ \text{ή} & \\ S = 6MPa & \text{για φυσική αδρανή} \end{array}$$

Στο άρθρο 14 του κανονισμού καθορίζεται ότι η ελεύθερη απόσταση μεταξύ ράβδων της ίδιας σειράς πρέπει να είναι τουλάχιστον $d_{ασ} + 6mm$ και η ελεύθερη απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών οπλισμού να είναι τουλάχιστον $2/3$ της διάστασης του μέγιστου κόκκου αδρανών.

Η επίδραση της διάστασης D των αδρανών στην αντοχή του σκυροδέματος φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα.



ΣΧΗΜΑ 2.2.1. Επιρροή του λόγου νερού / τσιμέντου και της διαβάθμισης των αδρανών στην θλιπτική αντοχή [6].

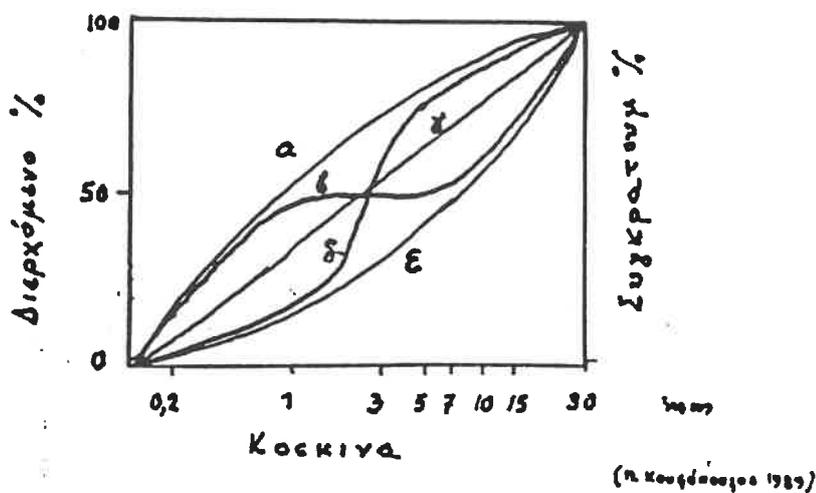
δ) Εργασιμότητα [9], [15], [1], [12]

αυτονόητο, να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του έργου και να καλύπτουν ένα φάσμα αντοχών ή λόγου $\frac{N}{T}$ εκατέρωθεν της επιθυμητής τιμής.

Επίσης η μορφή και η θέση της κοκκομετρικής καμπύλης, παίζει σημαντικό ρόλο στην σύνθεση του σκυροδέματος γιατί επιδρά, όπως είναι γνωστό, στις τελικές ιδιότητες του υλικού. Ανάλογα με τις ιδιότητες που επιθυμούμε καθορίζουμε την καμπύλη που πρέπει να έχει το μίγμα, την οποία ονομάζουμε "καμπύλη επιλογής".

Η καμπύλη επιλογής θα επιλεγεί με βάση τις γενικές γνώσεις Τεχνολογίας και την εμπειρία, έτσι ώστε το τελικό υλικό (σκυρόδεμα) να έχει τις επιθυμητές ιδιότητες.

Στην εκλογή της κατάλληλης καμπύλης (καμπύλης επιλογής) βοηθάει το παρακάτω σχήμα που επεξηγεί και την χρησιμότητα της κάθε καμπύλης.



- α Μικρό εργαίεμο, μικρή ρευστότητα Πλαστικότητα εύνοχη
- β Μεγάλη ρευστότητα - τάση για απόμιξη
- γ Ομοιογένεια - χίμα μετά - μικρή ρευστότητα
- δ Ούτε πλαστικότητα ούτε ρευστότητα ΤΑ
- ε Απόμιξη μετά από κάθιση $\approx 5 \div 6 \text{ cm}$
(για ύψους)

ΣΧΗΜΑ 2.3.1. Καμπύλη επιλογής - γενικές ιδιότητες διαφόρων τύπων κοκκομετρικών καμπυλών αδρανών [6].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : Ιδιότητες του σκυροδέματος

- 3.1. Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος**
- 3.2. Ιδιότητες σκληρωμένου σκυροδέματος**
- 3.3. Συντήρηση - ωρίμανση σκυροδέματος.**

3.1. ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

3.1.1. Εξίδρωση

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

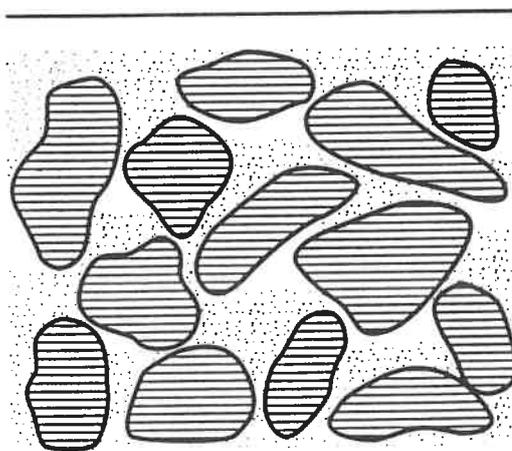
Λόγω της βαρύτητας τα στερεά συστατικά του σκυροδέματος καθιζάνουν ενώ το νερό κινείται προς πάνω και εμφανίζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος ως ένα λεπτό στρώμα που μοιάζει με εξίδρωση. Τελικά το νερό αυτό εξατμίζεται.

Η ελάττωση του νερού είναι επιθυμητή γιατί αυξάνει η αντοχή αλλά το φαινόμενο του διαχωρισμού είναι ανεπιθύμητο γενικά και δημιουργεί τα ακόλουθα δυσμενή φαινόμενα για το σκυρόδεμα :

α) Με την κίνηση του νερού προς τα επάνω έχουμε το φαινόμενο του να συμπαρασύρεται το λεπτόκοκκο τμήμα του τσιμέντου. Έτσι το μίγμα γίνεται φτωχότερο σε τσιμέντο, ενώ η επάνω επιφάνεια δημιουργεί μια κρούστα από κονία, που ρηγματώνεται και αποφλοιώνεται.

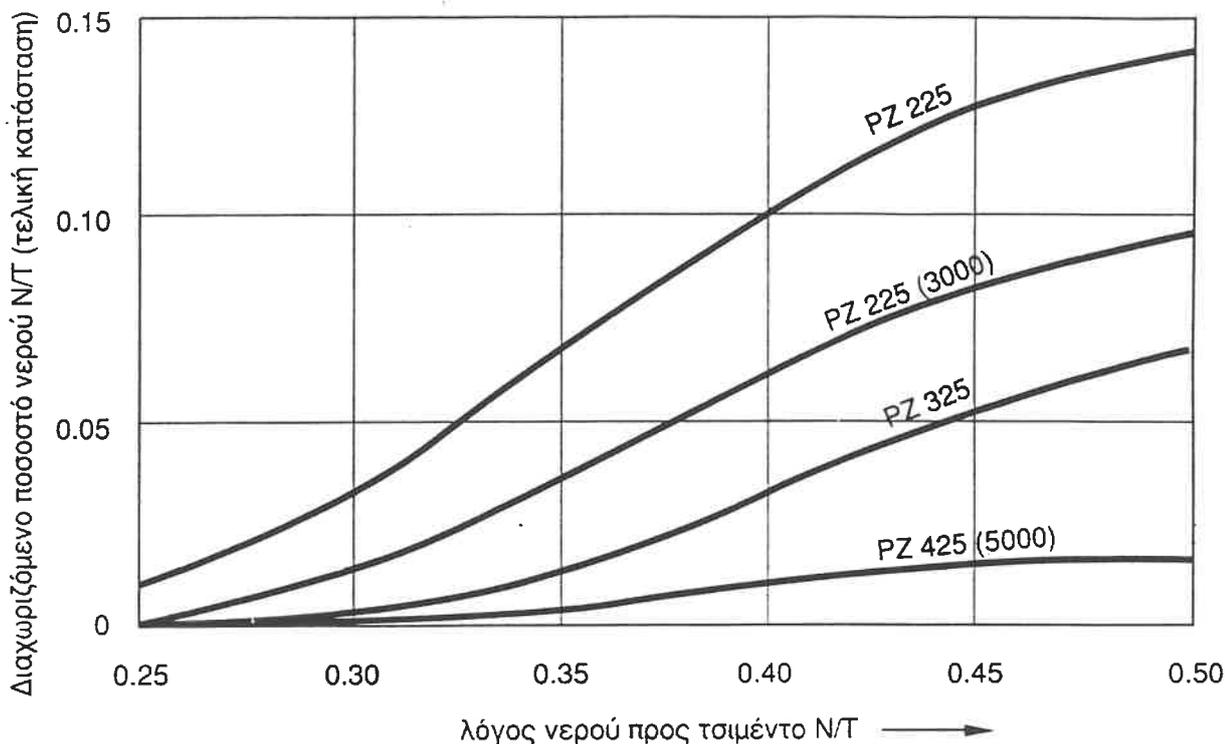
β) Η δίοδος του νερού προς τα πάνω δημιουργεί λεπτούς σωληνίσκους ανάμεσα στα στερεά συστατικά.

γ) Το νερό δεν συγκεντρώνεται μόνο στην επάνω επιφάνεια του σκυροδέματος αλλά τοπικά και στις κοιλότητες μεταξύ των σκύρων. Σχηματική εικόνα του φαινομένου αυτού παριστάνει το παρακάτω σχήμα :



ΣΧΗΜΑ 3.1.1. Σχηματική παράσταση της εξιδρώσεως [1].

Οι δυσμενείς επιδράσεις της εξιδρώσεως αίρονται τελείως, αν στην αρχή της πήξεως αποκατασταθεί, με αναμόχλευση και αναδόνηση της μάζας, η ομοιογένεια του υλικού.



ΣΧΗΜΑ 3.1.3. Σχέση μεταξύ ποιότητας τσιμέντου και εξιδρώσεως. [1].

Προσοχή όμως απαιτεί η εκλογή της κατάλληλης στιγμής για την αναμόχλευση γιατί πέρα από κάποιο χρονικό όριο μπορεί να καταστραφεί η κρυσταλλική δομή της κονίας.

3.1.2. Απόμιξη

Ονομάζεται το φαινόμενο που τα στερεά συστατικά, όχι μόνο σαν σύνολο διαχωρίζονται από το νερό, αλλά χωρίζονται και μεταξύ τους κατά την κίνησή τους προς τα κάτω, και έτσι τελικά τακτοποιούνται σε στρώσεις ανάλογα με το βάρος τους.

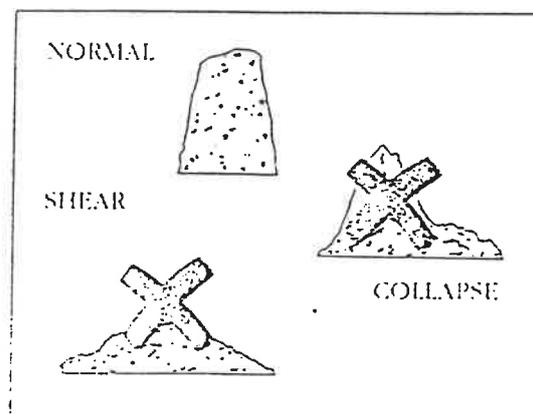
Το φαινόμενο της απομίξεως είναι από τα πιο καταστρεπτικά για την αντοχή και γενικά για την ποιότητα του σκυροδέματος, γιατί όπως είναι φανερό, μεταβάλλει τις αναλογίες μίξεως κατά τρόπο ανομοιόμορφο και απρόβλεπτο.

το σκυρόδεμα θα συμπυκνωθεί τελείως, το εργάσιμο δεν έχει επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος.

Η μέτρηση του εργάσιμου μας δίνει μια άμεση και κατά προσέγγιση εικόνα του βαθμού εργασιμότητας του σκυροδέματος. Οι κυριότερες μέθοδοι μέτρησης του εργάσιμου που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα και τις προδιαγράφει ο Ελληνικός Κανονισμός Σκυροδέματος είναι :

α) Η Κάθιση (Προδιαγραφή ΣΚ - 309)

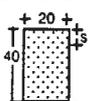
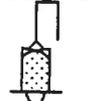
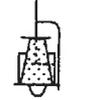
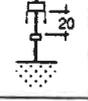
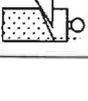
Η μέτρηση γίνεται με ένα μεταλλικό κόλουρο κώνο ανοιχτό επάνω και κάτω (διάμετρος κάτω βάσεως 8 ίντσες, άνω βάσεως 4 ίντσες και ύψος 12 ίντσες) που γεμίζει με σκυρόδεμα και συμπυκνώνεται με καθορισμένο τρόπο (με μεταλλική ράβδο διαμέτρου 16mm, σε τρεις στρώσεις από 25 χτυπήματα η στρώση). Μετά την πλήρωση αφαιρείται ο κώνος κατακόρυφα και τοποθετείται ανάποδα και πάνω του στερεώνεται η ράβδος που χρησιμοποιήθηκε για την συμπύκνωση και μετράται η απόσταση από την ράβδο έως το υψηλότερο ή το μέσος σημείο της επιφάνειας του σκυροδέματος σε mm. Για να είναι αξιόπιστο το αποτέλεσμα της δοκιμής κάθισης πρέπει το σκυρόδεμα να μην είναι ύφυγρο (να μην έχει πολύ μικρό εργάσιμο) ή να μην έχει πολύ μεγάλο εργάσιμο και εξαπλώνεται. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ποιιά είναι η σωστή μορφή.



ΣΧΗΜΑ 3.1.4. Δοκιμή κάθισης - μορφή κατάρρευσης κώνου [17]

β) Η δοκιμή εξάπλωσης

Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται για τις περιπτώσεις που το σκυρόδεμα έχει πολύ μεγάλη κάθιση (> 17,5cm) οπότε η δοκιμή κάθισης δεν δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα.

Μέθοδος μετρήσεως εργασίμου		εργασιμότητα				
		ύφυγρο	πλαστικό	ρευστό		
1		κάθιση (cm) (ABRAMS)	0 - 2	2 - 8	8 - 14	
2		Μέτρο συμπικνώσεως $v = \frac{40}{40 - s}$ (WALZ)	1,45-1,26	1,25-1,11	1,10-1,04	
3		Μέτρο συμπικνώσεως (FRITSCH)	1,40-1,19	1,25-1,11	1,05-1,00	
4		Μέτρο εξαπλώσεως (cm) (GRAF)	--	28 40	39 50	
5		Χρόνος VEBE (sec) (BÄHRNER)	40 - 8	10 - 3	3 - 1	
6		Δύναμη απομακρύνσεως κώνου (αριθμός κρούσεων) (POWERS)	50 - 27	27 - 10	11 - 3	
7		Αντίσταση διεισδύσεως (αρ. κρούσεων) (HUMMEL)	χαλαρό	8	5	2
		συμπικνωμένο	30 - 14	20 - 6	7 - 2	
8		Βάθος διεισδύσεως (cm) (GRAF)	2 - 6	6 - 14	14 - 23	
9		Χρόνος ροής (sec) (LESAGE)	60 - 30	30 - 5	5 - 1	

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.1. Συγκριτικός πίνακας διαφόρων μεθόδων μετρήσεως του εργασίμου [1].

3.2. ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

3.2.1. Η αντοχή του σκυροδέματος και ο μηχανισμός της Θραύσεως.

Μια από τις βασικές ιδιότητες του υλικού είναι η αντοχή του. Ως αντοχή ονομάζουμε γενικά τη μέγιστη τιμή της δύναμews, που μπορεί να παραληφθεί και μεταβιβαστεί από ένα στοιχειώδες τμήμα του υλικού στο γειτονικό, χωρίς καταστροφή ή επικίνδυνη παραμόρφωση του. Οι παρακάτω παράγοντες είναι που επηρεάζουν και προκαλούν διαφορά, δηλαδή διακύμανση των τιμών στην αντοχή του σκυροδέματος:

- οι αναλογίες συνθέσεως, δηλαδή οι ποσότητες του τσιμέντου, του νερού και των αδρανών σε κάθε κυβικό μέτρο.
- η ποιότητα των υλικών.
- τα παρασιτικά υλικά που αθέλητα εισχωρούν είτε μαζί με τους κόκκους των αδρανών, είτε με το νερό.
- η συμπίκνωση του νωπού σκυροδέματος
- η ηλικία του σκυροδέματος
- ο τρόπος συντηρήσεως, δηλαδή οι θερμοκρασιακές και υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος.
- η μορφή του δοκιμίου, στην οποία πρέπει να περιλάβουμε το σχήμα, το μέγεθος, την εξωτερική υφή, την επιπεδότητα και την ακρίβεια των γωνιών.
- τέλος, η μορφή της κατανοήσεως, δηλαδή ο τρόπος και η ταχύτητα φορτίσεως.

Ο μηχανισμός θραύσεως του σκυροδέματος έχει διαπιστωθεί, ότι στηρίζεται στις ασυνέχειες του υλικού (μικρορωγμές) ανάμεσα κυρίως στο κονίαμα και στα αδρανή. Οι μικρορωγμές αυτές δημιουργούνται κυρίως από τις συστολές της κονίας κατά την πήξη, από τις συστολές που οφείλονται στην εξάτμιση του νερού και ενδεχομένως από κακή πρόσφυση μεταξύ κονιάματος και αδρανών. Οι ρωγμές αυτές παραμένουν σταθερές, εφόσον το φορτίο είναι το πολύ ίσο προς το 1/3 περίπου του φορτίου θραύσεως. Από την τιμή αυτή περίπου οι ρωγμές αρχίζουν να επεκτείνονται και να πολλαπλασιάζονται γρήγορα εως ότου το φορτίο φτάσει τα 2/3 περίπου του φορτίου θραύσεως. Κατά το στάδιο αυτό, οι ρωγμές αποτελούν συνεχές πλέγμα και μεταξύ κονιάματος και αδρανών και μέσα το κονίαμα. Με αύξηση του φορτίου πέρα

β) Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 15cm και ύψους 30cm, όπως καθορίζουν οι κανονισμοί μερικών χωρών, η τιμή της αντοχής που παίρνουμε είναι λίγο μικρότερη από την αντοχή κύβου πλευράς 20cm.

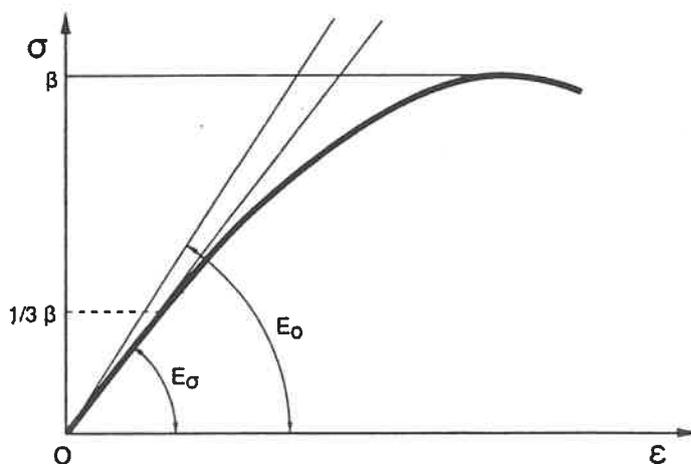
Με τον όρο “μέση τιμή” της αντοχής εννοούμε την πιθανότερη τιμή της αντοχής μια ποσότητας σκυροδέματος που εξετάζουμε. Η σχέση με την οποία προσδιορίζουμε την “μέση τιμή” μιας κατανομής είναι $\bar{F} = \Sigma fi / n$ όπου Σfi , το άθροισμα των μεμονωμένων τιμών των αντοχών και n το πλήθος των τιμών.

Αιτία της χρησιμοποίησης της παραπάνω σχέσης είναι ο μεγάλος αριθμός δευτερευόντων παραγόντων που προκαλούν την διασπορά της τιμής της αντοχής δοκιμίων από την ίδια ποσότητα σκυροδέματος.

Τέλος με τον όρο “χαρακτηριστική αντοχή” εννοούμε την αντοχή σε θλίψη κάτω από την οποία αναμένεται να βρεθεί το 5% των συμβατικών αντοχών του συνόλου των δοκιμίων που θα μπορούσαν να παρασκευαστούν από μια σημαντική μεγάλη ποσότητα αν ολόκληρη αυτή η ποσότητα μετατρεπόταν σε δοκίμια.

3.2.3. Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά

Την ελαστικοπλαστική συμπεριφορά ενός υλικού απεικονίζει η σχέση τάσεων - παραμορφώσεων. Για το σκυρόδεμα, όπως και για τα περισσότερα ανόργανα μη μεταλλικά υλικά, η σχέση αυτή έχει τη μορφή μιας συνεχούς καμπύλης, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3.1.



ΣΧΗΜΑ 3.2.1. Ενδεικτική καμπύλη τάσεων - παραμορφώσεων σκυροδέματος. [1]

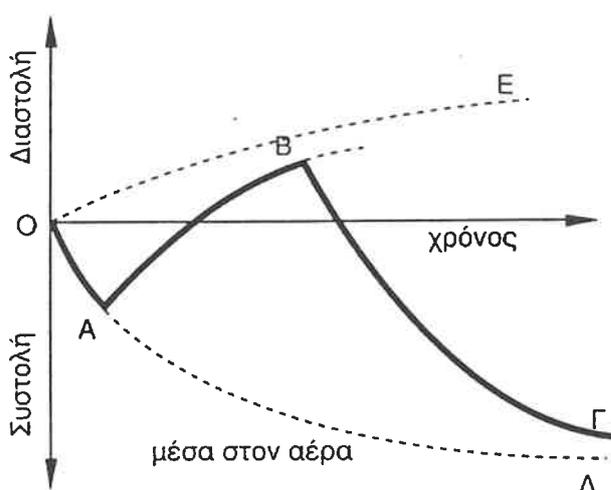
Μικρά μόνο τμήματά της μπορούν να θεωρηθούν σαν ευθύγραμμα. Ο νόμος του Hook μπορεί να θεωρηθεί ότι ισχύει για μικρές μόνο μεταβολές του φορτίου. Εξάλλου για μικρές μόνο τιμές του φορτίου μπορεί το σκυρόδεμα να θεωρηθεί πρακτικά ως ελαστικό υλικό. Αν το φορτίο παραμείνει αρκετό χρονικό διάστημα, η

Αντίθετα προς τις δυνάμεις αυτές δρα η πίεση των υδρατμών που βρίσκονται μέσα στην τριχοειδή κοιλότητα, επάνω από την επιφάνεια του νερού.

Η υπόθεση αυτή δεν μπορεί να αποδειχτεί άμεσα, αλλά οδηγεί σε συμπεράσματα που συμπίπτουν σε ικανοποιητικό βαθμό με τα πειραματικά αποτελέσματα.

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

Η καμπύλη εξελίξεως της χρόνιας συστολής στον αέρα και της διαστολής μέσα στο νερό είναι εκθετικής μορφής όπως φαίνεται στο σχήμα.



ΣΧΗΜΑ 3.2.2. Σχηματική μεταβολή της συστολής (ή διαστολής) του σκυροδέματος με τον χρόνο.

Επειδή στην πραγματικότητα οι συνθήκες του περιβάλλοντος δεν παραμένουν σταθερές επομένως και η καμπύλη εξελίξεως της συστολής θα μεταβάλλεται συνεχώς.

Η χρόνια συστολή είναι γενικά φαινόμενο βλαπτικό και ανεπιθύμητο. Όταν η συστολή παρεμποδίζεται, μπορεί να οδηγήσει στην 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.

δ) Επικρατέστερη, τέλος, κρίνεται η θεωρία της “ιξώδους ροής” του Freyssinet. Κατά τη θεωρία αυτή το νερό που βρίσκεται στους πόρους και τα τριχοειδή αγγεία του στερεού, ως ασυμπιέστα, δέχεται στην αρχή ένα μέρος από το επιβαλλόμενο φορτίο, ενώ συγχρόνως αναγκάζεται να διαρρεύσει. Η διαρροή και απομάκρυνση του νερού μέσα από τις μικρότατες διόδους γίνεται πάρα πολύ αργά, λόγω της τριβής. Με την αργή απομάκρυνση του νερού αντίστοιχο φορτίο μεταβιβάζεται βαθμιαία στο στερεό σκελετό, που συμπιέζεται περαιτέρω κατά τους νόμους της ελαστικότητας.

Η ασυμπιπτική πορεία του ερπυσμού εξηγείται, κατά τη θεωρία αυτή, από το ότι το νερό απομακρύνεται πρώτα από τους πόρους που έχουν μεγαλύτερη διάμετρο και βαθμιαία από πόρους ολοένα μικρότερης διαμέτρου, με αντίστοιχη μείωση της ταχύτητας ροής.

Ο ερπυσμός, σε αντίθεση με τη χρόνια συστολή, δεν έχει μόνο δυσμενή αποτελέσματα (αύξηση του βέλους, απώλειες στην προένταση), αλλά και ευνοϊκά (άμβλυνση τάσεων).

3.2.6. Πορώδες

Το σκυρόδεμα, όπως και οι φυσικές 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 την προέλευση τους διακρίνονται στις εξής κατηγορίες.

- 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 μίγματος.
- ε) Μακροσκοπικές κοιλότητες που προέρχονται από κακή συμπύκνωση.

3.3. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ - ΩΡΙΜΑΝΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

3.3.1. Συντήρηση του σκυροδέματος

Συντήρηση ονομάζεται η διαδικασία διατήρησης της περιεχόμενης υγρασίας στο σκυρόδεμα σε ικανοποιητικό βαθμό, σε μια επιθυμητή θερμοκρασία, κατά την διάρκεια της ενυδάτωσης των συστατικών του τσιμέντου, έτσι ώστε να αναπτυχθούν στο σκυρόδεμα οι επιθυμητές ιδιότητες. Η διαδικασία της συντήρησης είναι ουσιώδης για την παραγωγή ποιοτικού σκυροδέματος. Η δυνατότητα αντοχής και ανθεκτικότητας στο χρόνο, του σκυροδέματος, θα αναπτυχθούν πλήρως μόνο αν αυτό συντηρηθεί κατάλληλα και για επαρκή χρονικό διάστημα, μέχρι αυτό να αναλάβει τα φορτία για τα οποία σχεδιάστηκε. Ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος προβλέπει με λεπτομέρειες τις απαιτήσεις για την συντήρηση, για τις διάφορες περιπτώσεις που συνήθως παρουσιάζονται στην πράξη (άρθρα 10 και 12).

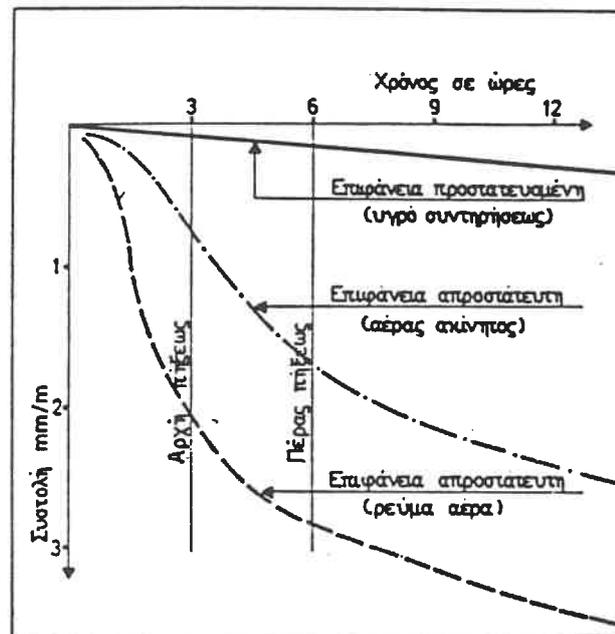
Σκοπός της συντήρησης είναι :

- α) η διατήρηση στη μάζα του συμπυκνωμένου σκυροδέματος της υγρασίας που είναι απαραίτητη για να μπορέσει το τσιμέντο να συνεχίσει την χημική του αντίδραση με το νερό (ενυδάτωση), όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω.
- β) η προφύλαξη του νεαρού σκυροδέματος από συστολές που προκαλούνται είτε από έντονες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του, είτε από απώλεια νερού από τη μάζα του. Οι συστολές αυτές θα προκαλέσουν ρηγματώσεις στο νεαρό σκυρόδεμα με αποτέλεσμα την μείωση :
 - της αντοχής του
 - της ανθεκτικότητας του στις επιδράσεις διαβρωτικού περιβάλλοντος, και
 - της ικανότητας του να προστατεύει τον οπλισμό από διάβρωση.
- γ) η προφύλαξη του σκυροδέματος κατά την διάρκεια ψυχρού καιρού έτσι ώστε το νεαρό σκυρόδεμα να μην πάθει "παγοπληξία" που είναι αποτέλεσμα του παγώματος του νερού στη μάζα του νωπού σκυροδέματος.

Πολλές από τις αστοχίες που έχουν συμβεί, μπορούν να αποδοθούν στην ανεπαρκή συντήρηση του σκυροδέματος, γεγονός που γενικά οφείλεται στη μη ύπαρξη ενός κατάλληλου και αξιόπιστου προτύπου (δοκιμής) που να πιστοποιεί ότι η επιφανειακή συντήρηση ήταν ανεπαρκής. [10]

Όπως σε όλους τους ζώντες οργανισμούς η επιδερμίδα τους προστατεύει από τις επιδράσεις του περιβάλλοντος έτσι και στο σκυρόδεμα τα πρώτα 3 ως 6 cm περίπου είναι η στρώση εκείνη που δέχεται τις εξωτερικές επιδράσεις που μπορεί να είναι : [16]

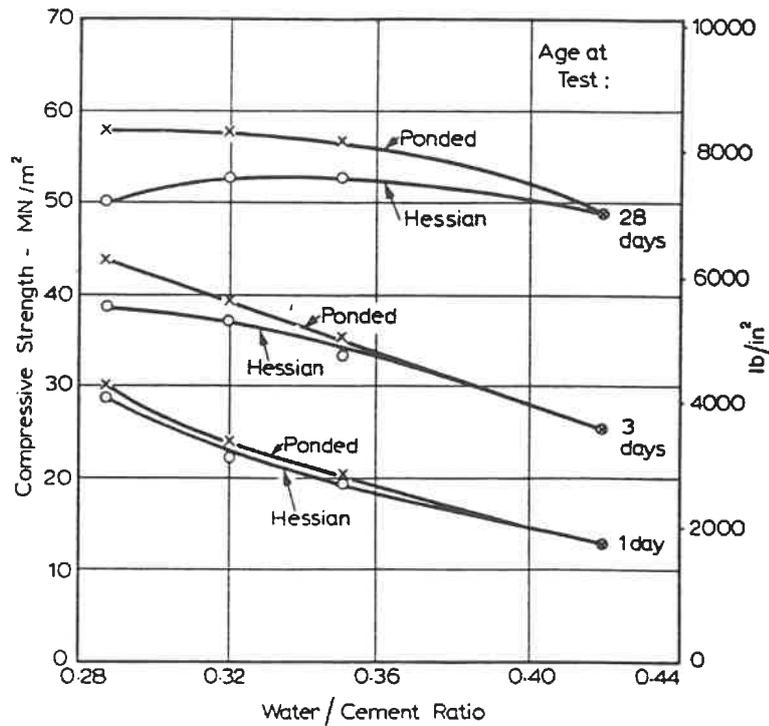
του σκυροδέματος που έχει διαστρωθεί, αλλά δεν έχει ακόμα αποκτήσει ικανοποιητική αντοχή ($>3 \text{ Mpa}$, 30 kg/cm^2), να κατέβει κάτω από τους 0°C οπότε θα υποστεί την λεγόμενη "παγοπληξία". Το περιεχόμενο στη μάζα του σκυροδέματος νερό παγώνει, διασπά -λόγω διαστολής- τους συνδέσμους που έχουν σχηματισθεί καταστρέφοντας το πηγμένο σκυρόδεμα και αναστέλλει την περαιτέρω ενυδάτωση του τσιμέντου που δεν έχει ακόμα ενυδατωθεί. Ο βαθμός καταστροφής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως, από τον βαθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου κατά τον χρόνο της παγοπληξίας, το χρονικό και την τιμή της θερμοκρασίας. Για την αποφυγή μιας τέτοιας καταστροφής του σκυροδέματος πρέπει να λαμβάνονται μέτρα προστασίας, που στις συνηθισμένες περιπτώσεις στην χώρα μας μπορεί να συνίστανται σε απλή κάλυψη του σκυροδέματος με πλαστικά φύλλα ή μονωτικά υλικά έτσι ώστε να μην κατέβει η θερμοκρασία του σκυροδέματος κάτω από το μηδέν.



ΣΧΗΜΑ 3.3.1. Συστολή του σκυροδέματος σε συνάρτηση με την παρεχόμενη συντήρηση και τις επικρατούσες συνθήκες ανέμου. [16]

3.3.2. Μέθοδοι συντήρησης του σκυροδέματος

Οι μέθοδοι συντήρησης μπορούν να χωρισθούν στις εξής κατηγορίες [11]:



ΣΧΗΜΑ 3.3.2. Επίδραση των συνθηκών συντήρησης στην αντοχή [7]

3.3.3. Επιταχυνόμενη συντήρηση (ωρίμανση)

Η συντήρηση του σκυροδέματος μπορεί να επιταχυνθεί με την αύξηση της θερμοκρασίας του. Αυτό μπορεί πρακτικά να επιτευχθεί με τους ακόλουθους τρόπους : [11]

- α. τοποθετώντας το σκυρόδεμα στον ατμό
- β. τοποθετώντας το σκυρόδεμα μέσα σε ζεστό νερό.
- γ. τοποθετώντας το σκυρόδεμα μέσα ένα φούρνο
- δ. θερμαίνοντας το σκυρόδεμα με την διέλευσή του από ένα ηλεκτρικό στοιχείο.

Γενικά, τα αποτελέσματα είναι τα ίδια, όποια μέθοδος επιτάχυνσης και να έχει χρησιμοποιηθεί, και τα συμπεράσματα που εξαγονται από κάθε μέθοδο είναι ανταλλάξιμα.

Η επιταχυνόμενη συντήρηση δεν πλεονεκτεί, όσο αφορά την γρήγορη ανάπτυξη αντοχής, για τη χρήση της με τσιμέντο υψηλής περιεκτικότητας σε αργίλιο και δεν θα πρέπει σ'αυτήν την περίπτωση να χρησιμοποιείται γιατί θα είχε ως αποτέλεσμα την μόνιμη μειωμένη αντοχή του σκυροδέματος σε σχέση με άλλο κανονικά συντηρημένο. Επίσης υπάρχει μια πιθανή μέγιστη θερμοκρασία για την

προέκυψε η θεωρία της ωρίμανσης του σκυροδέματος, η οποία μπορεί να οριστεί ως το παραγόμενο μιας συνάρτησης του χρόνου συντήρησης t και της θερμοκρασίας συντήρησης T π.χ. ωρίμανση = $f(T \times t)$.

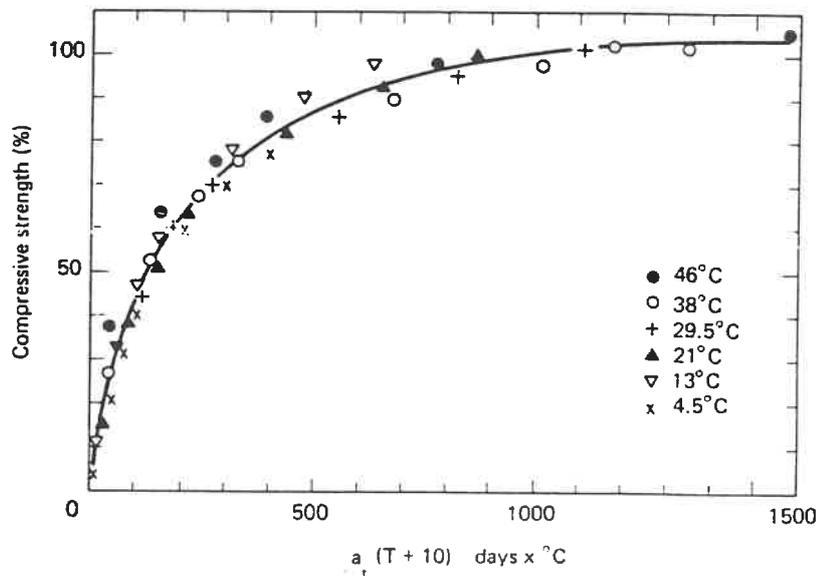
Η συνάρτηση η οποία συσχετίζεται καλύτερα με την αντοχή του σκυροδέματος είναι αυτή των Nurse - Saul :

$$\text{ωρίμανση } (^{\circ}\text{C} \times \text{ημέρες}) = \sum a_t(T + 10)$$

όπου a_t = ο χρόνος συντήρησης σε ημέρες

T = η θερμοκρασία συντήρησης σε $^{\circ}\text{C}$.

Σε μερικές περιπτώσεις, η συνάρτηση αυτή παρέχει μια πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ ωρίμανσης και θλιπτικής αντοχής όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3.4.



ΣΧΗΜΑ 3.3.4. Σχέση ωρίμανσης (έκφραση Nurse - Saul) θλιπτικής αντοχής [13].

Μια διαφορετική συνάρτηση ωρίμανσης - αντοχής προτάθηκε από τον Plowman, η οποία εκφράζεται σε ποσοστό της αντοχής που επιτυγχάνεται σε 28 ημέρες με συντήρηση στους 18°C [7] :

$$\text{ποσοστό αντοχή για ωρίμανση } 19800^{\circ}\text{C} \times h = A + B \log_{10} (\text{maturity} \times 10^{-3})$$

Οι τιμές των συντελεστών A και B εξαρτώνται από την αντοχή του σκυροδέματος. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι τιμές που πρότεινε ο Plowman.

σκυροδέτησης αλλά από ένα αργότερο χρόνο στον οποίο το σκυρόδεμα πραγματικά ξεκινά να αποκτά αντοχή.

δ) Η θεωρία της ωρίμανσης δεν είναι τόσο χρήσιμη όταν υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας κατά την περίοδο της συντήρησης, αφού μια μικρή αρχική θερμοκρασία συντήρησης ακολουθούμενη από κανονική συντήρηση θα οδηγούσε σε υψηλότερες αντοχές από ότι αν το σκυρόδεμα συντηρούνταν σε κανονική θερμοκρασία για όλο το χρόνο.

ε) Επίσης η αντοχή επηρεάζεται τόσο από την χημική σύνθεση όσο και από την λεπτότητα του τσιμέντου αφού και οι δύο παράγοντες επηρεάζουν τον ρυθμό ενυδάτωσης. Ακόμα ο λόγος νερού/τσιμέντου μπορεί να επηρεάζει τα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΡΩΤΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

1. Χ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ : "Τεχνολογία του σκυροδέματος", Β' έκδοση.
2. Α. ΛΕΓΑΚΗ : "Δομικά υλικά", Τόμος Α'
3. Γ. ΒΛΑΤΗ : "Σημειώσεις χημικής τεχνολογίας", Αθήνα 1986.
4. Δ. ΠΑΤΣΑΒΟΥΔΗ : "Τεχνολογία δομικών υλικών", Αθήνα 1984.
5. "Κανονισμός τιμώντων για έργα από σκυρόδεμα"
Δ/ΜΑ 29-2-80, ΦΕΚ Α' 69/28-3-80.
6. Σ. ΚΟΛΙΑ - Α. ΛΟΙΖΟΥ : "Σημειώσεις οδοστρωμάτων" Αθήνα 1992.
7. Α.Μ. NEVILLE : "Properties of concret" 3d edition.
8. Π. ΚΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ -
Χ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ : "5ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος", 1989.
9. "Κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος", ΦΕΚ 266/Β/9-5-85.
10. S.N. CHOSH : "Cement and Concrete, science και technology"
volume I part I.
11. D.F. ORCHARD : "Concrete technology" volume 2.
12. Π. ΚΟΥΦΟΠΟΥΛΟΥ : "Θέματα τεχνολογίας σκυροδέματος - Διαλέξεις"
Αθήνα 1988
13. S. MINDESS και
J.F. YOUNG : "Concrete" New Jersey, 1989.
14. Ι. SOROKA : " Portland Cement Paste και Concrete" 1979.
15. Σ. ΚΟΛΙΑ : "Σημειώσεις για τη μελέτη σύνθεσης
σκυροδέματος".
16. Σ. ΚΟΛΙΑ : "Συντήρηση Σκυροδέματος" άρθρο από
Δελτίο ΣΠΜΕ.
17. Σ. ΚΟΛΙΑ -
Μ. ΚΑΤΣΑΚΟΥ : "Πρόχειρες σημειώσεις εργαστηριακών
ασκήσεων - Ειδικά κεφάλαια οδοστρωμάτων".

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : Υλικά - συσκευές - όργανα

**4.1. Υλικά παρασκευής δοκιμών
τσιμεντοκονιάματος**

4.2. Συσκευές - όργανα

4.1. ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ

4.1.1. Τσιμέντο

Για την Παρασκευή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι τύποι τσιμέντων I 45, I 55 και II 35, διαφόρων εταιριών (4 συνολικά) τα οποία διετίθενται στις περιοχές Αττικής και Φωκίδας.

4.1.2. Αδρανή

Χρησιμοποιήθηκε άμμος θραυστή ασβεστολιθική, περιοχής Αττικής

4.1.3. Νερό ανάμιξης

Χρησιμοποιήθηκε νερό από το αστικό σύστημα ύδρευσης (ΕΥΔΑΠ).

4.2. ΣΥΣΚΕΥΕΣ - ΟΡΓΑΝΑ

4.2.1. Δεξαμενή ωρίμανσης

Η δεξαμενή (επιταχυνόμενης) ωρίμανσης, είναι η βασική συσκευή του όλου πειράματος. Η μη ύπαρξη μιας τυποποιημένης τέτοιας δεξαμενής, οδήγησε στον σχεδιασμό και την κατασκευή μιας, με βάση τους ακόλουθους συλλογισμούς:

- να είναι δυνατή η τοποθέτηση μέσα στην δεξαμενή δοκιμίων διαστάσεων τόσο $7 \times 7 \times 7$ cm όσο και $10 \times 10 \times 10$ cm (για μελλοντική χρήση).
- να είναι δυνατή η τοποθέτηση περισσοτέρων των 2 δοκιμίων (γεγονός που συνέβαλε στην διάρκεια εκτέλεσης των δοκιμών).
Η τελευταία αυτή απαίτηση οδήγησε στην διαμόρφωσή της σε δύο επίπεδα.
- να υπάρχει συμβατότητα με τις δεξαμενές που περιγράφονται στα πρότυπα ASTM C 684 και BS 1881: Part 112, δηλαδή να τηρεί τα ακόλουθα :
 - υλικό δεξαμενής μη διαβρώσιμα
 - μονωτικό περίβλημα
 - ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ δοκιμίων, μεταξύ δοκιμίων και δεξαμενής ή εξαρτημάτων της για να είναι δυνατή η κυκλοφορία του νερού
 - ομοιόμορφη θερμοκρασία του περιεχομένου νερού της δεξαμενής (ακρίβεια ± 3 °C).

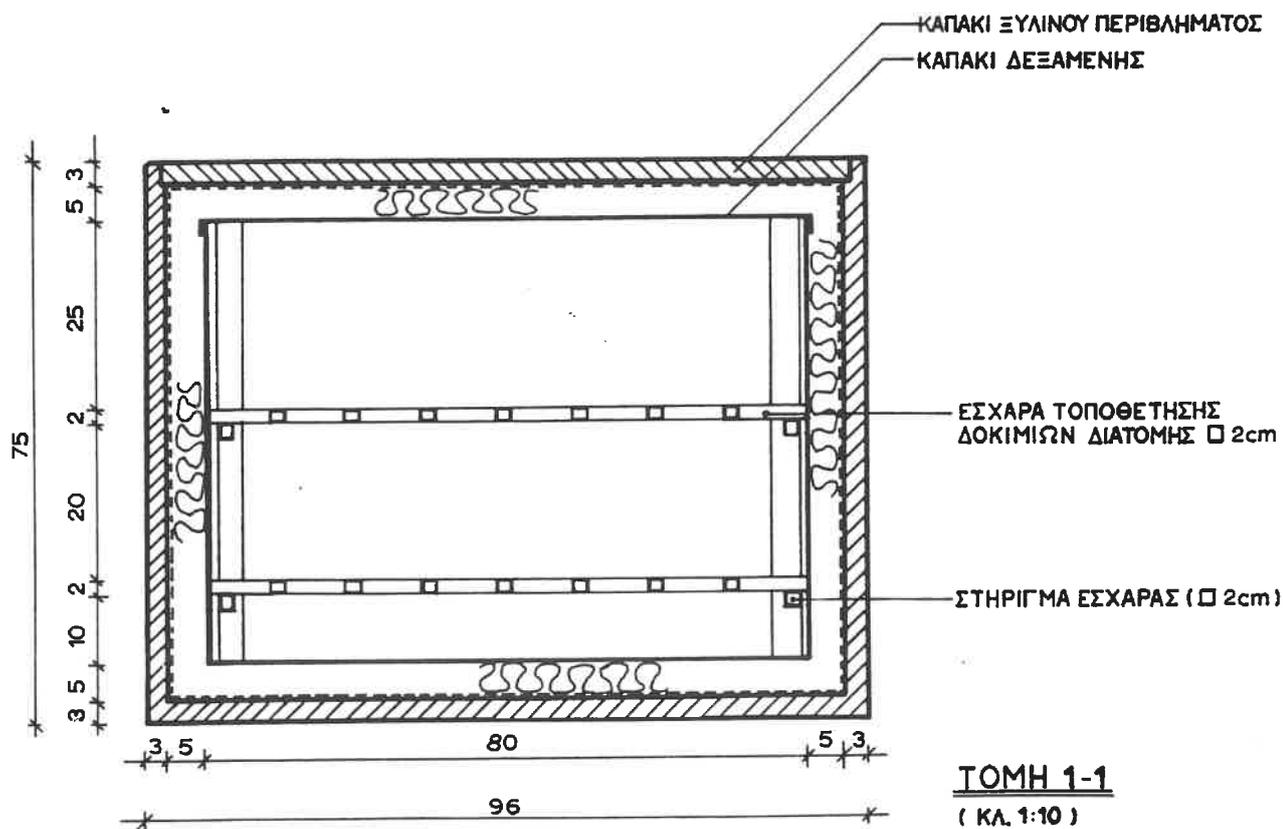
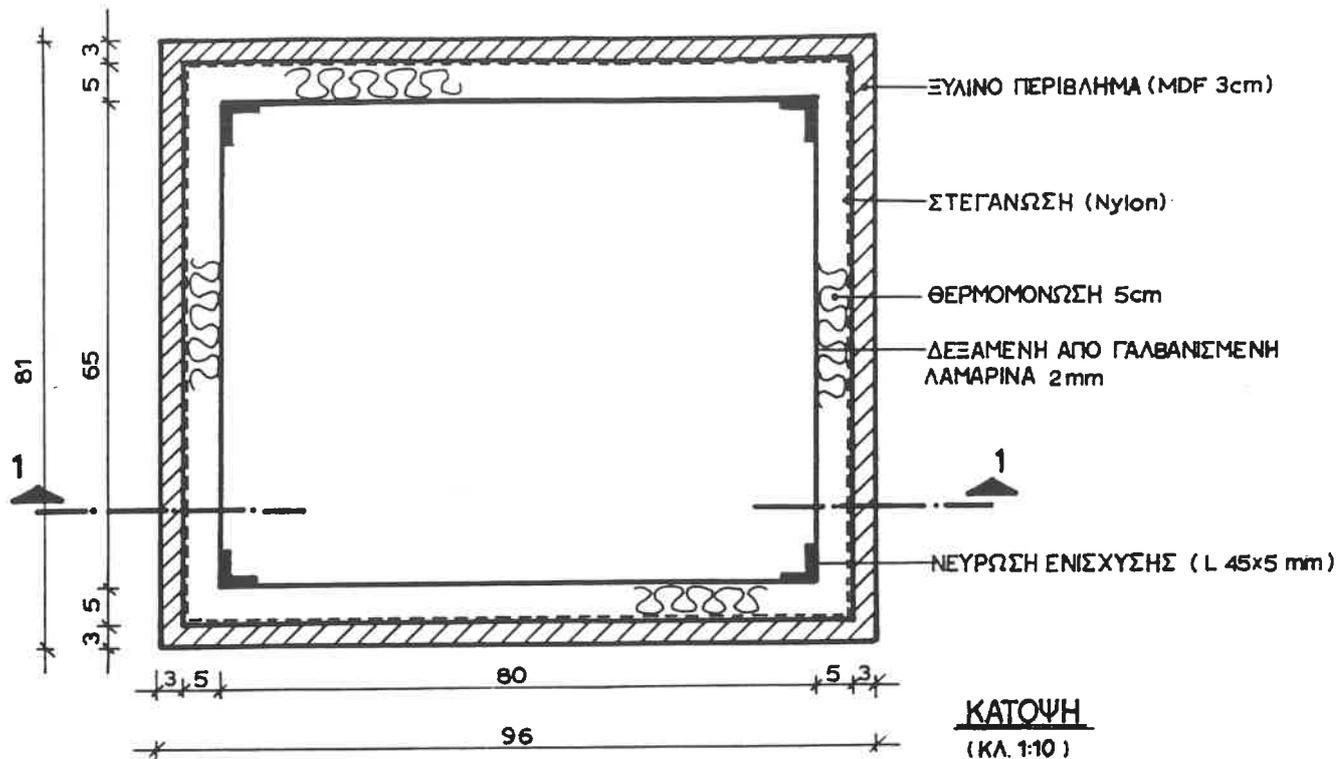
Η δεξαμενή ωρίμανσης παρουσιάζεται στις εικόνες 4.2.1.(α) και (β), ενώ ακολούθως συνάπτεται και το σχέδιο κατασκευής της.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.1.:Μετρήσεις θερμοκρασίας νερού στην δεξαμενή

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ-ΩΡΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	
	ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ Νο1 (οC)	ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ Νο2 (οC)
9/5/1996 15:15	15	14
9/5/1996 15:30	16	14
9/5/1996 15:45	19	14
9/5/1996 16:00	20	16
9/5/1996 16:15	23	19
9/5/1996 16:30	26	23
9/5/1996 16:45	28	26
9/5/1996 17:00	30	28
9/5/1996 17:15	33	31
9/5/1996 17:30	34	34
9/5/1996 18:30	42.5	44
10/5/1996 9:30	62	65
10/5/1996 11:00	62	64
10/5/1996 11:30	62	63.5
10/5/1996 12:30	62	62.5
10/5/1996 13:30	62	62
10/5/1996 14:30	62	62
10/5/1996 15:20	62	64
10/5/1996 16:30	62	65
11/5/1996 15:20	62	64
11/5/1996 16:30	62	64
11/5/1996 17:30	62	64
12/5/1996 12:30	60	64
12/5/1996 15:10	62	64
12/5/1996 17:00	62	64
13/5/1996 10:50	62	63
13/5/1996 11:10	62	63
13/5/1996 13:45	62	63
13/5/1996 15:45	61.5	64
13/5/1996 17:25	61.5	64
14/5/1996 9:50	62	62.5
14/5/1996 11:25	61.5	64.5
14/5/1996 14:05	62	64
14/5/1996 14:17	61	61
14/5/1996 14:30	60.5	63
14/5/1996 14:45	61.5	63.5
14/5/1996 15:00	61.5	63
14/5/1996 15:15	61.5	63
14/5/1996 15:30	61.5	63.5
14/5/1996 18:30	62	63.5
15/5/1996 7:00	62	64
16/5/1996 9:20	62	64

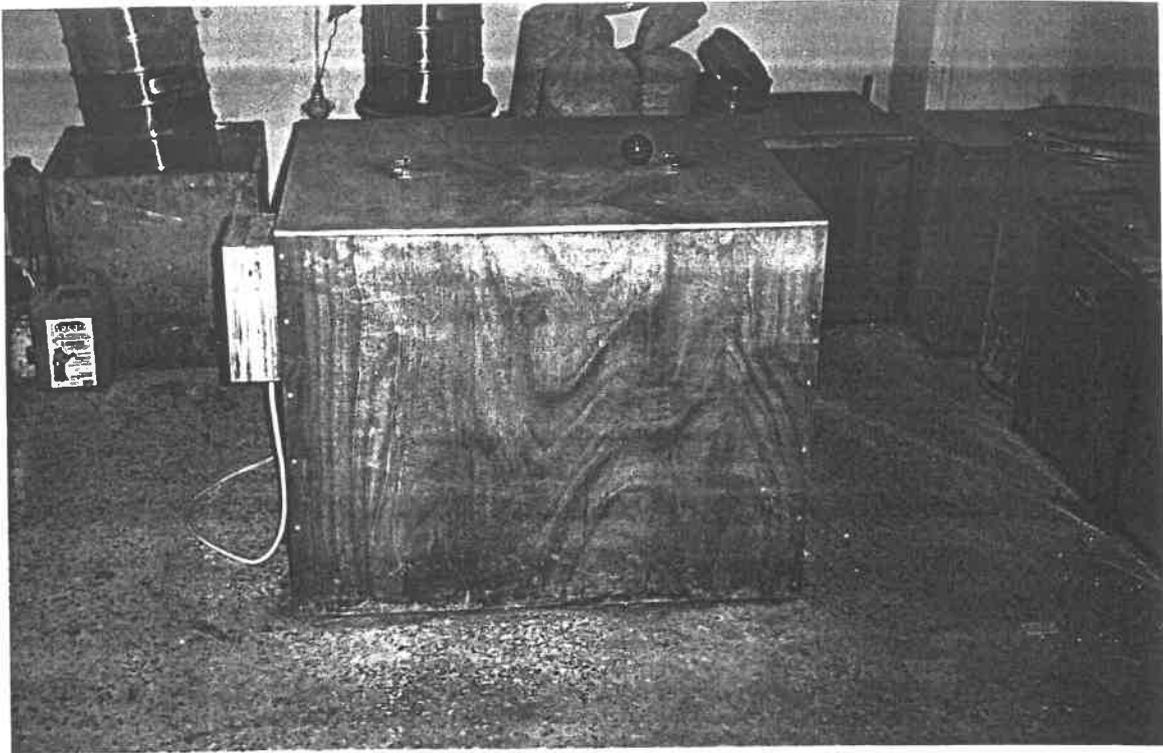
<-- Λειτουργία
δεξαμενής

<-- Εισαγωγή
δοκιμών

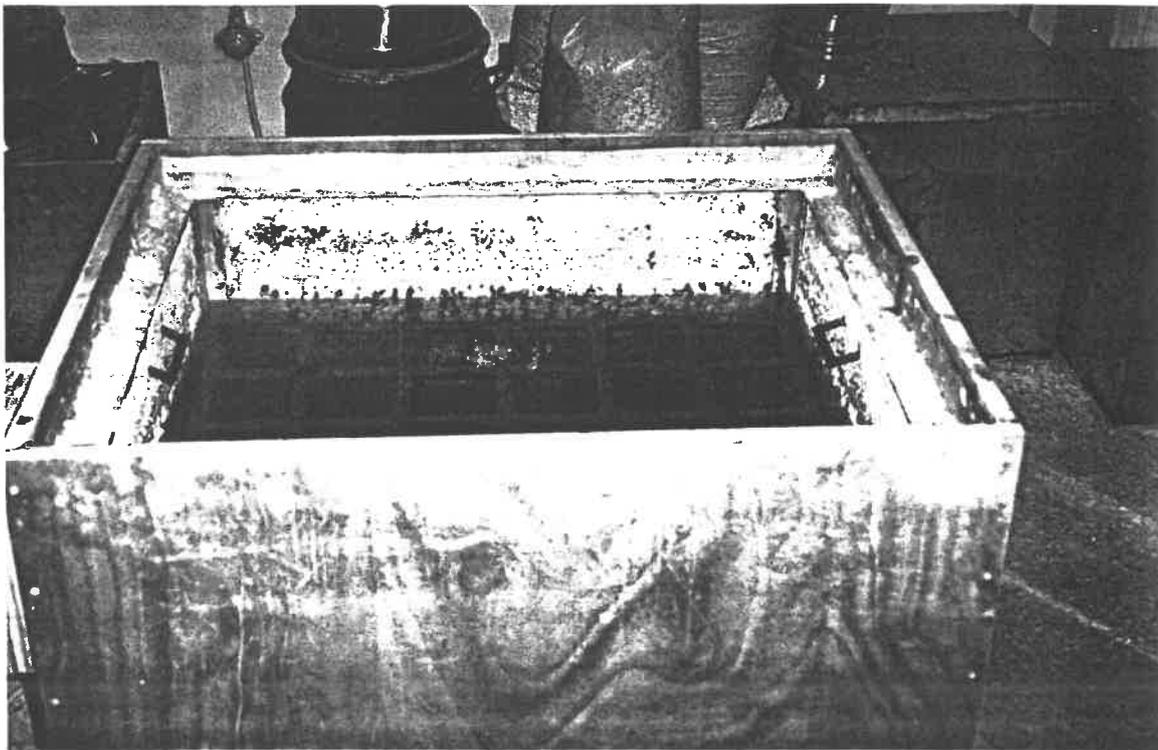


ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ CM

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ

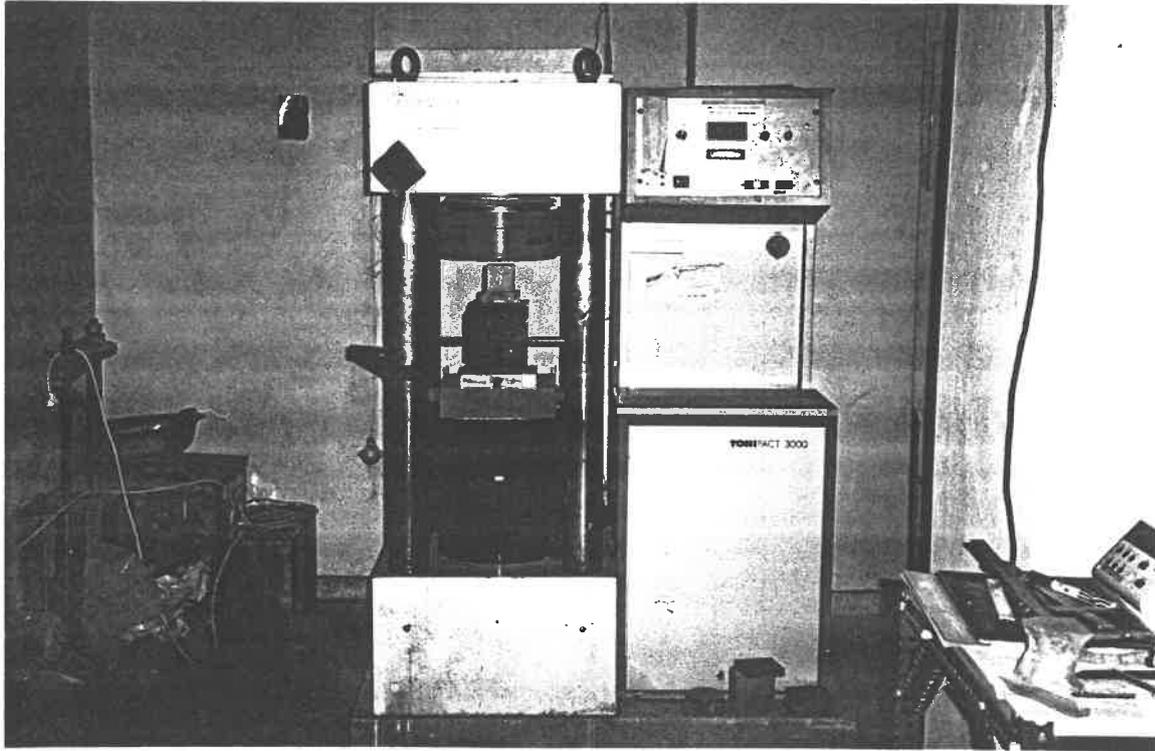


(α)



(β)

ΕΙΚΟΝΑ 4.2.1. α) Η δεξαμενή επιταχυνόμενης ωρίμανσης
β) Η δεξαμενή με ανοικτό το καπάκι, όπου φαίνεται
η μόνωση & η στεγάνωση



ΕΙΚΟΝΑ 4.2.6. Η μηχανή δοκιμής σε θλίψη (υδραυλική πρέσα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο : Παρασκευή - συντήρηση - θραύση δοκιμίων

5.1. Παρασκευή δοκιμίων

5.2. Συντήρηση δοκιμίων

5.3. Θραύση δοκιμίων

5.1. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

5.1.1. Οι απαιτούμενες ποσότητες υλικών

Μετά από δοκιμαστικά αναμίγματα καθορίστηκε και χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη σύνθεση για όλα τα αναμίγματα που παρασκευάστηκαν :

τσιμέντο : $T = 2,810 \text{ Kgr}$

άμμος : $A = 6,820 \text{ Kgr}$

νερό : $N = 2,420 \text{ Kgr}$

λόγος νερού / τσιμέντου : $N/T = 0,50$

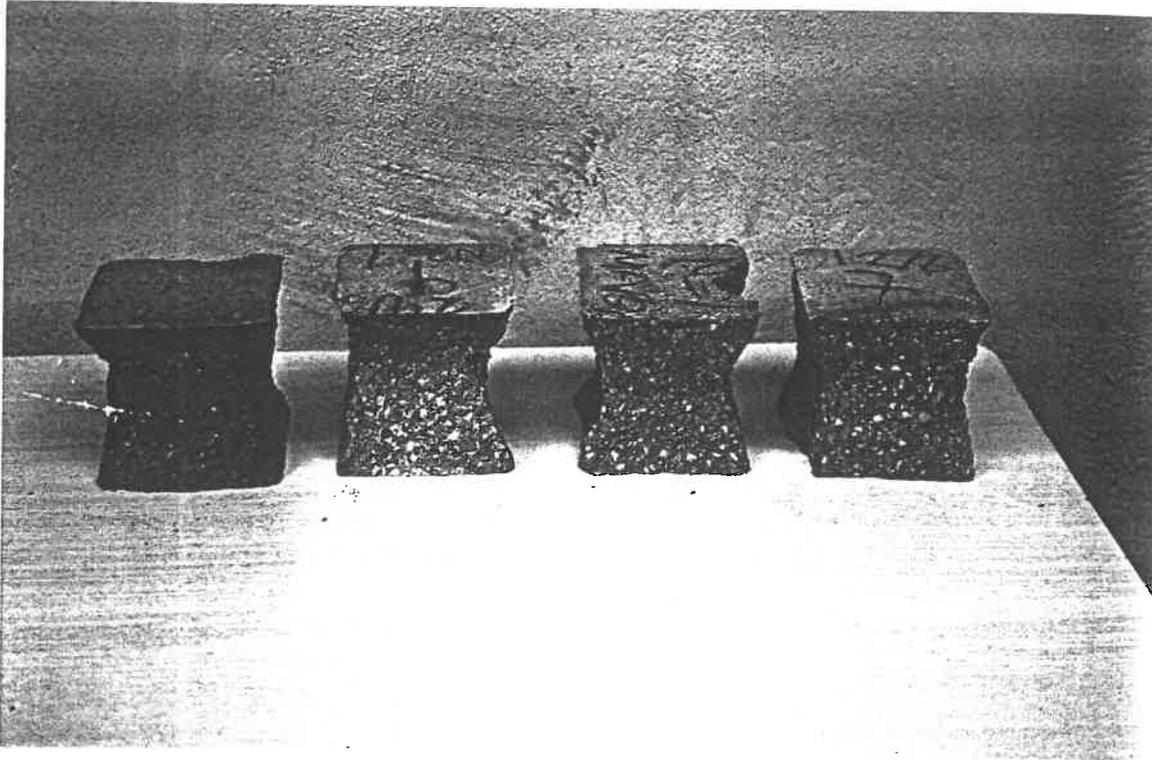
Η επιλογή της πιο πάνω σύνθεσης έγινε έτσι ώστε να τηρεί τις ακόλουθες απαιτήσεις, να αναπαράγεται εύκολα, το παραγώμενο κονίαμα να έχει καλή κάθιση (εργάσιμο), καθώς επίσης και από το γεγονός ότι η ανάμιξη θα γινόταν σε αναμικτήρα σκυροδέματος και όχι κονιάματος.

5.1.2. Ανάμιξη τσιμεντοκονιάματος, συμπύκνωση δοκιμίων

Η διαδικασία ανάμιξης του τσιμεντοκονιάματος και συμπύκνωσης των δοκιμίων ήταν η ακόλουθη :

- προεργασία με τα υλικά παρασκευής (ξήρανση σε κλίβανο της άμμου για 24 ώρες, ζύγιση υλικών),
- ανάμιξη της ξηρής άμμου και μέρους του προς χρήση νερού (περίπου 25%) για χρονικό διάστημα περίπου 4 λεπτών,
- σταδιακή προσθήκη του τσιμέντου, ενώ ο αναμικτήρας βρίσκεται σε λειτουργία, και ανάμιξη για περίπου 2 λεπτά, ώστε να επιτευχθεί ομοιογενές μίγμα άμμου - τσιμέντου,
- σταδιακή προσθήκη του υπόλοιπου νερού και ανάμιξη για 3 λεπτά,
- με την λήξη της ανάμιξης γίνεται η λήψη της θερμοκρασίας και ο προσδιορισμός του Φ.Ε.Β. του αναμίγματος με τη βοήθεια δοχείου γνωστού όγκου και βάρους,
- γέμισμα μητρώων με κονίαμα και συμπύκνωση στην δονητική τράπεζα για 15 δευτερόλεπτα,

Μετά την συμπύκνωσή τους τα δοκίμια καλύπτονται με υγρό ύφασμα (λινάτσα) -αρχική συντήρηση- για χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τον τρόπο συντήρησης που θα ακολουθήσει (2 ώρες για αυτά που θα τοποθετηθούν στην δεξαμενή επιταγχνόμενης ωρίμανσης και 24 ώρες για αυτά που θα συντηρηθούν συμβατικά).



ΕΙΚΟΝΑ 5.3.1. Μορφή θραύσης δοκιμίων

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο : Επεξεργασία αποτελεσμάτων - συμπεράσματα
προτάσεις**

- 6.1.** Αποτελέσματα δοκιμίων
- 6.2.** Επεξεργασία αποτελεσμάτων
- 6.3.** Συμπεράσματα - Προτάσεις

6.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

6.1.1. Έντυπα αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται για κάθε ένα ανάμιγμα ξεχωριστά, στα έντυπα των σελίδων 101 ως 120. Σε κάθε έντυπο αναγράφονται τα εξής:

- α. Ο υπολογισμός του φαινόμενου ειδικού βάρους (Φ.Ε.Β.) του τσιμεντοκονιάματος.
- β. Το φορτίο θραύσης των μεμονωμένων δοκιμών.
- γ. Ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση καθώς και ο συντελεστής μεταβλητότητας των αποτελεσμάτων των τριάδων των δοκιμών, από τη δοκιμή αντοχής σε θλίψη (φορτίο θραύσης).
Τα τελευταία αυτά μεγέθη υπολογίζονται σε μια προσπάθεια εκτίμησης της ομοιομορφίας των αποτελεσμάτων, παρόλο που ο αριθμός των δοκιμών, για κάθε ομάδα, είναι μικρός.
- δ. Ακόμα, επικουρικά για την εκτίμηση της ομοιομορφίας, γίνεται έλεγχος επαναληψιμότητας των πιο πάνω αποτελεσμάτων, σύμφωνα με το πρότυπο BS 1881 : Part 116.[9].
Ο έλεγχος αυτός αναφέρεται σε δυάδες δοκιμών. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήσαμε τον μέσο όρο κάθε τριάδας και ο έλεγχος έγινε στους προκύπτοντες, ανά ζεύγη, συνδυασμούς δοκιμών.
- ε. Τέλος, σε ορισμένα αναμίγματα αναγράφεται και η θερμοκρασία του νωπού τσιμεντοκονιάματος, που μετρήθηκε μετά το πέρας της ανάμιξης. Τα αναμίγματα αυτά παρασκευάστηκαν σε περίοδο υψηλών ατμοσφαιρικών θερμοκρασιών.

Επίσης στους πίνακες 6.1.1 και 6.1.3 που ακολουθούν, παρουσιάζονται συνοπτικά και ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου τα εξής :

- i) Το φορτίο θραύσης των μεμονωμένων δοκιμών σε kN.
- ii) Η θλιπτική αντοχή των μεμονωμένων δοκιμών. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση την σχέση :

$$f_i = 10 \times (P_{\text{ΘΡΑΥΣΗΣ}} / A_{\text{ΔΟΚΙΜΙΟΥ}})$$

όπου : F_i = θλιπτική αντοχή σε Mpa

$P_{\text{ΘΡΑΥΣΗΣ}}$ = φορτίο θραύσης σε kN

$A_{\text{ΔΟΚΙΜΙΟΥ}}$ = επιφάνεια φόρτωσης δοκιμίου σε kN.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 25/9/1996

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 1

Τσιμέντο τύπου : I 55 (B)
Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2298.7
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2203.74
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm³)	2.304

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμίων

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	174.6	212.9	290.4
2	171.9	197.0	306.6
3	163.9	208.4	295.9
Xm=	170.1	206.1	297.6
σn-1=	5.56	8.20	8.24
v=	3.27	3.98	2.77

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	17.01	20.61	29.76
1-2 =	2.7	15.9	16.2
1-3 =	10.7	4.5	5.5
2-3 =	8	11.4	10.7

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 2

Τσιμέντο τύπου : I 45 (B)
Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2281.2
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2186.24
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm³)	2.286

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμίων

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	126.0	174.8	248.5
2	131.0	173.9	247.2
3	123.3	168.0	247.3
Xm=	126.8	172.2	247.7
σn-1=	3.91	3.69	0.72
v=	3.08	2.14	0.29

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	12.68	17.22	24.77
1-2 =	5	0.9	1.3
1-3 =	2.7	6.8	1.2
2-3 =	7.7	5.9	0.1

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 6/6/1996

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 5

Τσιμέντο τύπου : II 35 (C)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος -

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2237.8
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2142.84
Όγκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	2.241

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	88.9	129.9	210.9
2	95.3	137.5	204.2
3	88.8	138.0	211.5
X _m =	91.0	135.1	208.9
σ _{n-1} =	3.72	4.54	4.05
v=	4.09	3.36	1.94

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	9.10	13.51	20.89
1-2 =	6.4	7.6	6.7
1-3 =	0.1	8.1	0.6
2-3 =	6.5	0.5	7.3

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 6

Τσιμέντο τύπου : II 35 (B)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος -

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2271.8
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2176.84
Όγκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	2.276

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	69.5	106.5	202.1
2	69.4	108.1	212.7
3	68.5	111.9	195.3
X _m =	69.1	108.8	203.4
σ _{n-1} =	0.55	2.77	8.77
v=	0.80	2.55	4.31

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	6.91	10.88	20.34
1-2 =	0.1	1.6	10.6
1-3 =	1	5.4	6.8
2-3 =	0.9	3.8	17.4

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 10/6/1996

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 9

Τσιμέντο τύπου : I 45 (A)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2290.9
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2195.94
Όγκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	2.296

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	142.9	173.9	236.2
2	133.0	164.0	228.6
3	135.8	156.0	234.1
Χ_m=	137.2	164.6	233.0
σ_{n-1}=	5.10	8.97	3.92
v=	3.72	5.45	1.68

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	13.72	16.46	23.30
1-2 =	9.9	9.9	7.6
1-3 =	7.1	17.9	2.1
2-3 =	2.8	8	5.5

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 10

Τσιμέντο τύπου : II 35 (D)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2275.5
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2180.54
Όγκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	2.280

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	112.3	139.3	220.2
2	110.0	147.1	201.4
3	109.8	145.3	204.7
Χ_m=	110.7	143.9	208.8
σ_{n-1}=	1.39	4.08	10.04
v=	1.25	2.84	4.81

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	11.07	14.39	20.88
1-2 =	2.3	7.8	18.8
1-3 =	2.5	6	15.5
2-3 =	0.2	1.8	3.3

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 12/6/1996

ΑΝΑΜΙΓΜΑ No 13

Τσιμέντο τύπου : I 55 (B)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος -

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2296.5
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2201.54
Όγκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm³)	2.302

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	175.9	211.2	310.4
2	169.2	210.4	298.0
3	168.5	206.4	305.2
Χm=	171.2	209.3	304.5
σn-1=	4.09	2.57	6.23
v=	2.39	1.23	2.04

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	17.12	20.93	30.45
1-2 =	6.7	0.8	12.4
1-3 =	7.4	4.8	5.2
2-3 =	0.7	4	7.2

ΑΝΑΜΙΓΜΑ No 14

Τσιμέντο τύπου : I 55 (B)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος -

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2298.9
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2203.94
Όγκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm³)	2.304

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	164.3	203.8	300.4
2	153.7	201.7	285.5
3	155.9	212.2	284.2
Χm=	158.0	205.9	290.0
σn-1=	5.59	5.56	9.00
v=	3.54	2.70	3.10

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	15.80	20.59	29.00
1-2 =	10.6	2.1	14.9
1-3 =	8.4	8.4	16.2
2-3 =	2.2	10.5	1.3

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 17/6/1996

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 17

Τσιμέντο τύπου : II 35 (A)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος -

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2269.8
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2174.84
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	2.274

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμίων

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	98.8	132.6	214.3
2	96.2	130.8	223.7
3	96.9	134.9	223.5
Χm=	97.3	132.8	220.5
σn-1=	1.35	2.06	5.37
v=	1.38	1.55	2.44

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	9.73	13.28	22.05
1-2 =	2.6	1.8	9.4
1-3 =	1.9	2.3	9.2
2-3 =	0.7	4.1	0.2

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 18

Τσιμέντο τύπου : II 35 (B)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος -

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2257.4
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2162.44
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	2.261

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμίων

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	86.8	124.6	220.4
2	78.7	120.0	224.8
3	82.2	123.5	214.2
Χm=	82.6	122.7	219.8
σn-1=	4.06	2.40	5.33
v=	4.92	1.96	2.42

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	8.26	12.27	21.98
1-2 =	8.1	4.6	4.4
1-3 =	4.6	1.1	6.2
2-3 =	3.5	3.5	10.6

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 20/6/1996

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 21

Τσιμέντο τύπου : II 35 (C)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος T=23,3 οC

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2237.1
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2142.14
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm³)	2.240

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	113.9	154.4	239.6
2	123.6	158.0	248.4
3	116.9	162.0	249.3
Χm=	118.1	158.1	245.8
σn-1=	4.97	3.80	5.36
v=	4.20	2.40	2.18

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	11.81	15.81	24.58
1-2 =	9.7	3.6	8.8
1-3 =	3	7.6	9.7
2-3 =	6.7	4	0.9

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 22

Τσιμέντο τύπου : I 45 (D)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος T=23,7 οC

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2286.5
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2191.54
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm³)	2.291

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	157.6	202.8	279.8
2	164.2	206.0	289.6
3	159.0	202.0	284.5
Χm=	160.3	203.6	284.6
σn-1=	3.48	2.12	4.90
v=	2.17	1.04	1.72

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	16.03	20.36	28.46
1-2 =	6.6	3.2	9.8
1-3 =	1.4	0.8	4.7
2-3 =	5.2	4	5.1

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 24/6/1996

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 25

Τσιμέντο τύπου : I 55 (B)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος T=24,6 οC

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2287.4
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2192.44
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	2.292

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	164.7	203.4	311.8
2	163.2	206.5	309.4
3	162.0	199.0	306.2
Χm=	163.3	203.0	309.1
σn-1=	1.35	3.77	2.81
v=	0.83	1.86	0.91

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	16.33	20.30	30.91
1-2 =	1.5	3.1	2.4
1-3 =	2.7	4.4	5.6
2-3 =	1.2	7.5	3.2

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 26

Τσιμέντο τύπου : I 55 (B)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος T=24,4 οC

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2280.9
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2185.94
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	2.286

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	153.1	199.0	309.7
2	157.0	204.0	317.9
3	155.9	199.2	326.6
Χm=	155.3	200.7	318.1
σn-1=	2.01	2.83	8.45
v=	1.29	1.41	2.66

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	15.53	20.07	31.81
1-2 =	3.9	5	8.2
1-3 =	2.8	0.2	16.9
2-3 =	1.1	4.8	8.7

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 27/6/1996

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 29

Τσιμέντο τύπου : II 35 (D)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος T=25,6 οC

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2259.6
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2164.64
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm³)	2.263

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	86.6	117.3	200.0
2	91.2	121.1	190.4
3	92.6	122.9	202.2
Χm=	90.1	120.4	197.5
ση-1=	3.14	2.86	6.27
v=	3.48	2.37	3.18

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	9.01	12.04	19.75
1-2 =	4.6	3.8	9.6
1-3 =	6	5.6	2.2
2-3 =	1.4	1.8	11.8

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 30

Τσιμέντο τύπου : II 35 (C)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος T=26,0 οC

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2238.1
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2143.14
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm³)	2.241

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	100.8	141.6	233.4
2	101.4	141.5	228.5
3	103.3	141.6	233.7
Χm=	101.8	141.6	231.9
ση-1=	1.31	0.06	2.92
v=	1.28	0.04	1.26

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	10.18	14.16	23.19
1-2 =	0.6	0.1	4.9
1-3 =	2.5	0	0.3
2-3 =	1.9	0.1	5.2

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 2/7/1996

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 33

Τσιμέντο τύπου : I 45 (D)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος T=25,9 οC

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2296.3
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2201.34
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm³)	2.302

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	164.3	201.4	274.5
2	163.0	198.3	275.6
3	159.4	199.0	286.8
Χm=	162.2	199.6	279.0
σn-1=	2.54	1.63	6.81
v=	1.56	0.81	2.44

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	16.22	19.96	27.90
1-2 =	1.3	3.1	1.1
1-3 =	4.9	2.4	12.3
2-3 =	3.6	0.7	11.2

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 34

Τσιμέντο τύπου : I 45 (A)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος T=25,6 οC

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2291.5
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2196.54
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm³)	2.297

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	125.9	157.9	233.8
2	127.7	160.6	227.2
3	124.1	158.6	231.5
Χm=	125.9	159.0	230.8
σn-1=	1.80	1.40	3.35
v=	1.43	0.88	1.45

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	12.59	15.90	23.08
1-2 =	1.8	2.7	6.6
1-3 =	1.8	0.7	2.3
2-3 =	3.6	2	4.3

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 9/7/1996

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 37

Τσιμέντο τύπου : I 45 (A)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος T=27,5 οC

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2291.8
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2196.84
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	2.297

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	139.7	178.0	228.6
2	139.8	182.8	250.3
3	141.3	181.2	242.9
Xm=	140.3	180.7	240.6
σn-1=	0.90	2.44	11.03
v=	0.64	1.35	4.58

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	14.03	18.07	24.06
1-2 =	0.1	4.8	21.7
1-3 =	1.6	3.2	14.3
2-3 =	1.5	1.6	7.4

ΑΝΑΜΙΓΜΑ Νο 38

Τσιμέντο τύπου : II 35 (A)

Θερμοκρασία νωπού τσιμ/τος T=24,1 οC

Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους τσιμ/τος

Βάρος τσιμ/τος + κάψας (gr)	2263.5
Βάρος κάψας (gr)	94.96
Βάρος τσιμ/τος (gr)	2168.54
Ογκος κάψας (cm ³)	956.41
Φ.Ε.Β. (gr/cm ³)	2.267

Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών

α/α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)		
	12 ωρών	24 ωρών	28 ημερών
1	90.6	129.1	199.6
2	93.4	122.8	190.2
3	92.2	127.2	193.6
Xm=	92.1	126.4	194.5
σn-1=	1.40	3.23	4.76
v=	1.53	2.56	2.45

Έλεγχος επαναληψιμότητας κατά BS 1881Part 116

r=	9.21	12.64	19.45
1-2 =	2.8	6.3	9.4
1-3 =	1.6	1.9	6
2-3 =	1.2	4.4	3.4

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.1. : Αποτελέσματα δοκιμών τσιμέντου τύπου Ι - 45

Α/Α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)			ΕΠΙΦ. ΔΟΚ. cm ²	ΑΝΤΟΧΗ (MPa)			Φ.Ε.Β (gr/cm ³)	ΠΕΡΙΕΚΤ. ΑΕΡΑ (%)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	12h	24h	28d		12h	24h	28d			
1	126.0	174.8	248.5	49	25.7	35.7	50.7	2.286	1.64	Εταιρεία: Β Προέλευση: ελεύθερη αγορά
2	131.0	173.9	247.2	49	26.7	35.5	50.5			
3	123.3	168.0	247.3	49	25.2	34.3	50.5			
4	142.9	173.9	236.2	49	29.2	35.5	48.2	2.296	1.21	Εταιρεία: Α Προέλευση:
5	133.0	164.0	228.6	49	27.1	33.5	46.7			
6	135.8	156.0	234.1	49	27.7	31.8	47.8			
7	143.8	196.3	256.1	49	29.4	40.1	52.3	2.303	0.91	Εταιρεία: D Προέλευση:
8	155.9	193.4	266.0	49	31.8	39.5	54.3			
9	151.0	197.8	261.3	49	30.8	40.4	53.3			
10	120.0	151.9	250.8	49	24.5	31.0	51.2	2.298	1.13	Εταιρεία: C Προέλευση:
11	118.8	151.1	236.2	49	24.2	30.8	48.2			
12	123.6	160.0	242.7	49	25.2	32.9	49.5			
13	157.6	202.8	279.8	49	32.2	41.4	57.1	2.291	1.43	Εταιρεία: D Προέλευση:
14	164.2	206.0	289.6	49	33.5	42.0	59.1			
15	159.0	202.0	284.5	49	32.5	41.2	58.1			
16	146.5	173.5	262.0	49	29.9	35.4	53.5	2.294	1.30	Εταιρεία: Α Προέλευση:
17	147.3	174.9	257.6	49	30.1	35.7	52.6			
18	135.9	180.3	239.5	49	27.7	36.8	48.9			
19	136.2	178.9	277.4	49	27.8	36.5	56.6	2.290	1.47	Εταιρεία: Β Προέλευση:
20	139.3	185.2	281.0	49	28.4	37.8	57.3			
21	136.8	184.7	267.8	49	27.9	37.7	54.7			
22	133.8	179.1	259.2	49	27.3	36.6	52.9	2.276	2.07	Εταιρεία: Β Προέλευση:
23	135.7	179.1	262.5	49	27.7	36.6	53.6			
24	140.0	177.3	272.7	49	28.6	36.2	55.7			
25	110.2	140.3	255.6	49	22.5	28.6	52.2	2.303	0.91	Εταιρεία: C Προέλευση:
26	113.4	140.8	244.8	49	23.1	28.7	50.0			
27	116.0	140.9	257.9	49	23.7	28.8	52.6			
28	164.3	201.4	274.5	49	33.5	41.1	56.0	2.302	0.96	Εταιρεία: D Προέλευση:
29	163.0	198.3	275.6	49	33.3	40.5	56.2			
30	159.4	199.0	286.8	49	32.5	40.6	58.5			
31	125.9	157.9	233.8	49	25.7	32.2	47.7	2.297	1.17	Εταιρεία: Α Προέλευση:
32	127.7	160.6	227.2	49	26.1	32.8	46.4			
33	124.1	158.6	231.5	49	25.3	32.4	47.2			
34	139.7	178.0	228.6	49	28.5	36.3	46.7	2.297	1.17	Εταιρεία: Α Προέλευση:
35	139.8	182.8	250.3	49	28.5	37.3	51.1			
36	141.3	181.2	242.9	49	28.8	37.0	49.6			
37	141.5	182.2	258.9	49	28.9	37.2	52.8	2.291	1.43	Εταιρεία: Β Προέλευση:
38	144.1	185.9	256.9	49	29.4	37.9	52.4			
39	136.5	191.9	265.7	49	27.9	39.2	54.2			

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.3. : Αποτελέσματα δοκιμών τσιμέντου τύπου ΙΙ - 35

Α/Α	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)			ΕΠΙΦ. ΔΟΚ. cm ²	ΑΝΤΟΧΗ (MPa)			Φ.Ε.Β (gr/cm ³)	ΠΕΡΙΕΚΤ. ΑΕΡΑ (%)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	12h	24h	28d		12h	24h	28d			
1	100.7	125.4	217.4	49	20.6	25.6	44.4	2.269	1.14	Εταιρεία: D Προέλευση: ελεύθερη αγορά
2	100.4	121.4	223.4	49	20.5	24.8	45.6			
3	100.2	128.3	219.3	49	20.4	26.2	44.8			
4	91.3	142.9	237.2	49	18.6	29.2	48.4	2.242	2.32	Εταιρεία: C Προέλευση: ελεύθερη αγορά
5	101.7	136	234.8	49	20.8	27.8	47.9			
6	96.4	138	231.3	49	19.7	28.2	47.2			
7	88.9	129.9	210.9	49	18.1	26.5	43.0	2.241	2.36	Εταιρεία: C Προέλευση: ελεύθερη αγορά
8	95.3	137.5	204.2	49	19.5	28.1	41.7			
9	88.8	138	211.5	49	18.1	28.2	43.2			
10	69.5	106.5	202.1	49	14.2	21.7	41.2	2.276	0.84	Εταιρεία: B Προέλευση: ελεύθερη αγορά
11	69.4	108.1	212.7	49	14.2	22.1	43.4			
12	68.5	111.9	195.3	49	14.0	22.8	39.9			
13	88.9	126.4	207.5	49	18.1	25.8	42.3	2.265	1.32	Εταιρεία: D Προέλευση: ελεύθερη αγορά
14	88.3	120.9	210	49	18.0	24.7	42.9			
15	90	125.3	208.1	49	18.4	25.6	42.5			
16	112.3	139.3	220.2	49	22.9	28.4	44.9	2.280	0.66	Εταιρεία: D Προέλευση: ελεύθερη αγορά
17	110	147.1	201.4	49	22.4	30.0	41.1			
18	109.8	145.3	204.7	49	22.4	29.7	41.8			
19	92.2	129.3	201.7	49	18.8	26.4	41.2	2.283	0.53	Εταιρεία: D Προέλευση:
20	89.1	122.6	208	49	18.2	25.0	42.4			
21	96.5	124.3	201.8	49	19.7	25.4	41.2			
22	108.5	140.4	217.6	49	22.1	28.7	44.4	2.272	1.01	Εταιρεία: A Προέλευση:
23	109.5	143.5	217.7	49	22.3	29.3	44.4			
24	113.1	143.2	209.6	49	23.1	29.2	42.8			
25	98.8	132.6	214.3	49	20.2	27.1	43.7	2.274	0.92	Εταιρεία: A Προέλευση:
26	96.2	130.8	223.7	49	19.6	26.7	45.7			
27	96.9	134.9	223.5	49	19.8	27.5	45.6			
28	86.8	124.6	220.4	49	17.7	25.4	45.0	2.261	1.49	Εταιρεία: B Προέλευση:
29	78.7	120	224.8	49	16.1	24.5	45.9			
30	82.2	123.5	214.2	49	16.8	25.2	43.7			
31	100.2	132	209.1	49	20.4	26.9	42.7	2.269	1.14	Εταιρεία: D Προέλευση:
32	104.9	132.6	217.1	49	21.4	27.1	44.3			
33	101.6	131.8	213.5	49	20.7	26.9	43.6			
34	113.9	154.4	239.6	49	23.2	31.5	48.9	2.240	2.41	Εταιρεία: C Προέλευση:
35	123.6	158	248.4	49	25.2	32.2	50.7			
36	116.9	162	249.3	49	23.9	33.1	50.9			
37	91.2	130.8	196.9	49	18.6	26.7	40.2	2.260	1.53	Εταιρεία: A Προέλευση:
38	88.6	126	200.6	49	18.1	25.7	40.9			
39	91.8	131.4	198.3	49	18.7	26.8	40.5			
40	86.6	117.3	200	49	17.7	23.9	40.8	2.263	1.40	Εταιρεία: D Προέλευση:
41	91.2	121.1	190.4	49	18.6	24.7	38.9			
42	92.6	122.9	202.2	49	18.9	25.1	41.3			
43	100.8	141.6	233.4	49	20.6	28.9	47.6	2.241	2.36	Εταιρεία: C Προέλευση:
44	101.4	141.5	228.5	49	20.7	28.9	46.6			
45	103.3	141.6	233.7	49	21.1	28.9	47.8			
46	95.2	131.7	238.8	49	19.4	26.9	48.7	2.272	1.01	Εταιρεία: B Προέλευση:
47	93.6	124.6	245.2	49	19.1	25.4	50.0			
48	92.7	133.4	231.5	49	18.9	27.2	47.2			
49	73.7	112.5	112.5	49	15.0	23.0	35.1	2.253	1.84	Εταιρεία: D Προέλευση: ελεύθερη αγορά
50	74.8	107.8	107.8	49	15.3	22.0	36.7			
51	74.2	103.1	103.1	49	15.1	21.0	36.6			

6.1.2. Ακρίβεια αποτελεσμάτων

Στα διαγράμματα 6.1.1. ως 6.1.9. παρουσιάζεται η συσχέτιση αντοχής και του φαινομένου ειδικού βάρους (διάγραμμα διασποράς), για κάθε τύπο τσιμέντου και για κάθε κατηγορία αντοχής (12 ωρών, 24 ωρών και 28 ημερών) χωριστά.

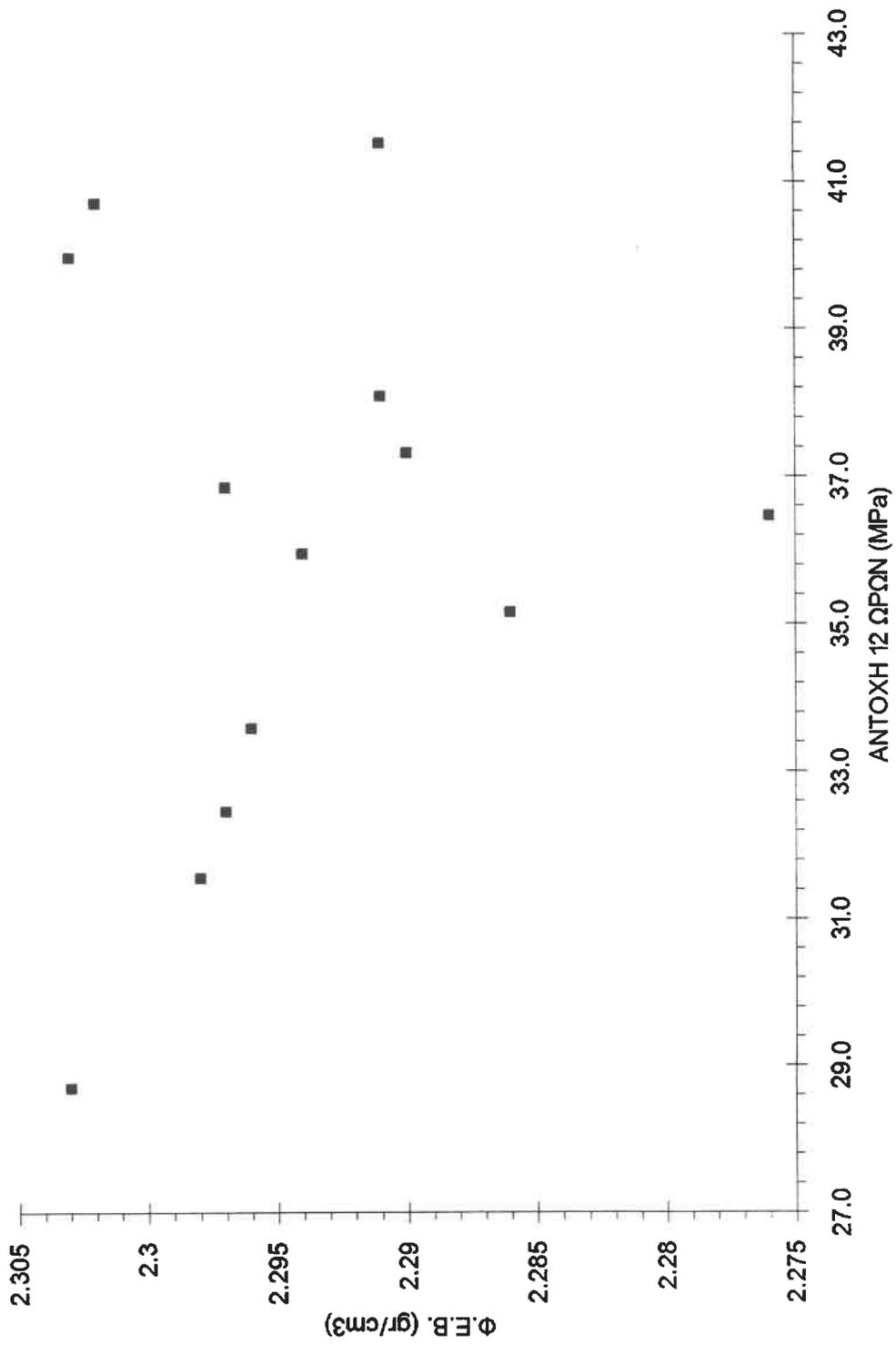
Ανάλογα παρορυσιάζεται η συσχέτιση αντοχής και περιεκτικότητας σε αέρα στα διαγράμματα 6.1.10. ως 6.1.18.

Από τα παραπάνω διαγράμματα δεν προκύπτει ότι υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ των προαναφερθέντων μεγεθών, οπότε δεμ χρειάζεται να επέλθει διόρθωση στα αποτελέσματα (αντοχές) των δοκιμίων.

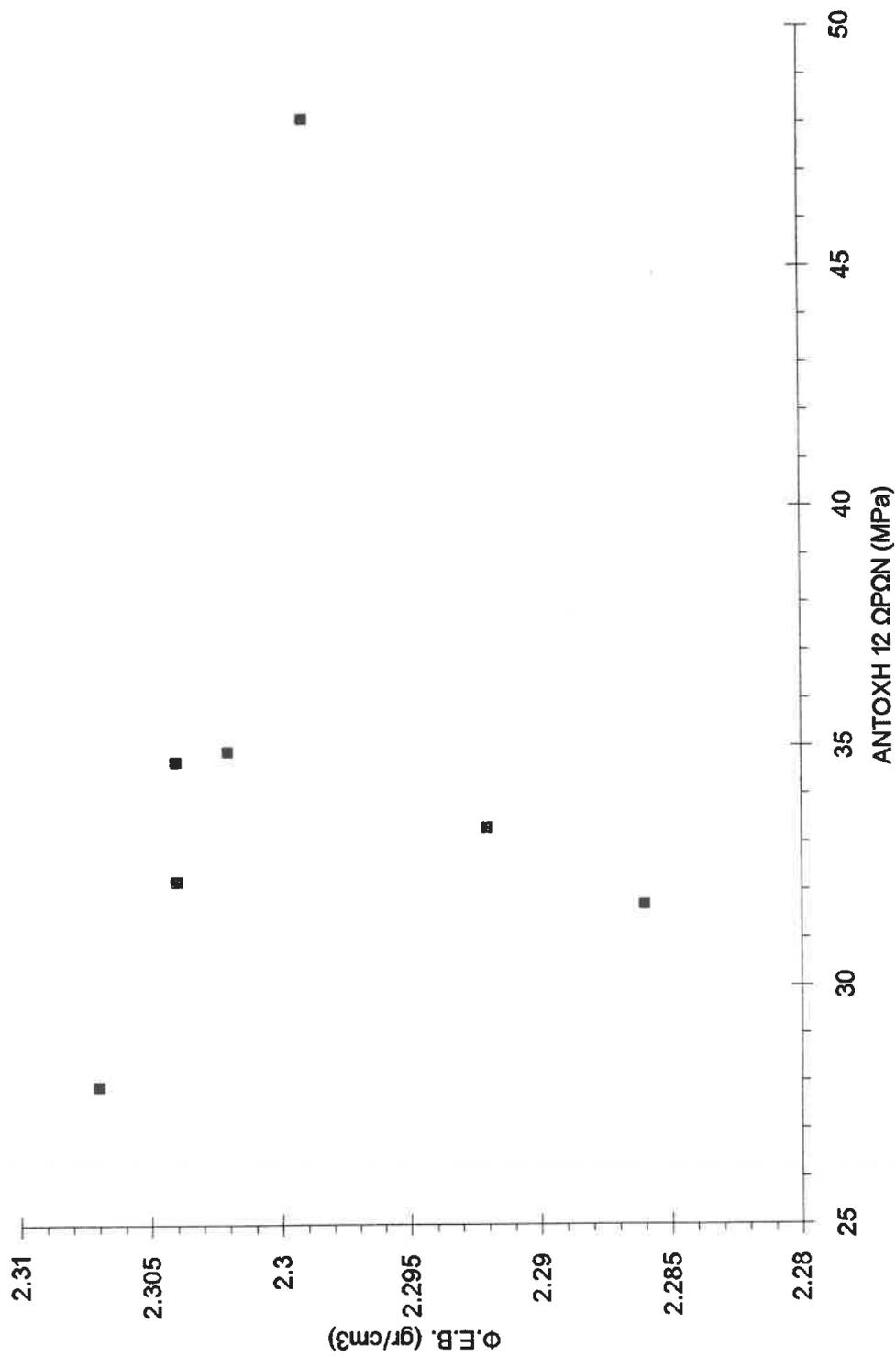
Τέλος στα διαγράμματα 6.1.19. ως 6.1.21. παρουσιάζεται η διακύμανση του συντελεστή μεταβλητότητας δοκιμίων τσιμέντου τύπου I 45, I 55 και II 35 αντίστοιχα. Παρατηρείται τόσο από τον συντελεστή μεταβλητότητας, όσο και από την ακτίμηση της επαναληψιμότητας, ότι η ομοιομορφία των αποτελεσμάτων της δοκιμής αντοχής σε θλίψη τόσο στις 12 ώρες όσο στις 24 ώρες και 28 ημέρες είναι ικανοποιητική. Η υπέρβαση ενίοτε του ορίου, του συντελεστή μεταβλητότητας, του 3% περίπου (σ' αυτά τα επίπεδα έχει διαπιστωθεί ότι κυμαίνεται η ακρίβεια του εργαστηρίου όπου έγιναν τα πειράματα), οφείλεται στις εν γένει διασπορές που οφείλονται στην παρασκευή, συντήρηση και έλεγχο των δοκιμίων. Εξ' άλλου είναι γνωστό ότι τα δοκίμια 7cm x 7cm x 7cm δίνουν γενικά υψηλότερη αντοχή και μεγαλύτερο συντελεστή μεταβλητότητας.

Καταλήγοντας ως συμπέρασμα μπορούμε να πούμε ότι παρασκευάσθηκαν δοκίμια που για τα δεδομένα του εργαστηρίου ήταν της μικρότερης δυνατής ανομοιομορφίας, στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την περίπτωση που η μέθοδος εφαρμοσθεί στην πράξη από εταιρεία ή βιομηχανία ετοίμου σκυροδέματος κ.λ.π.

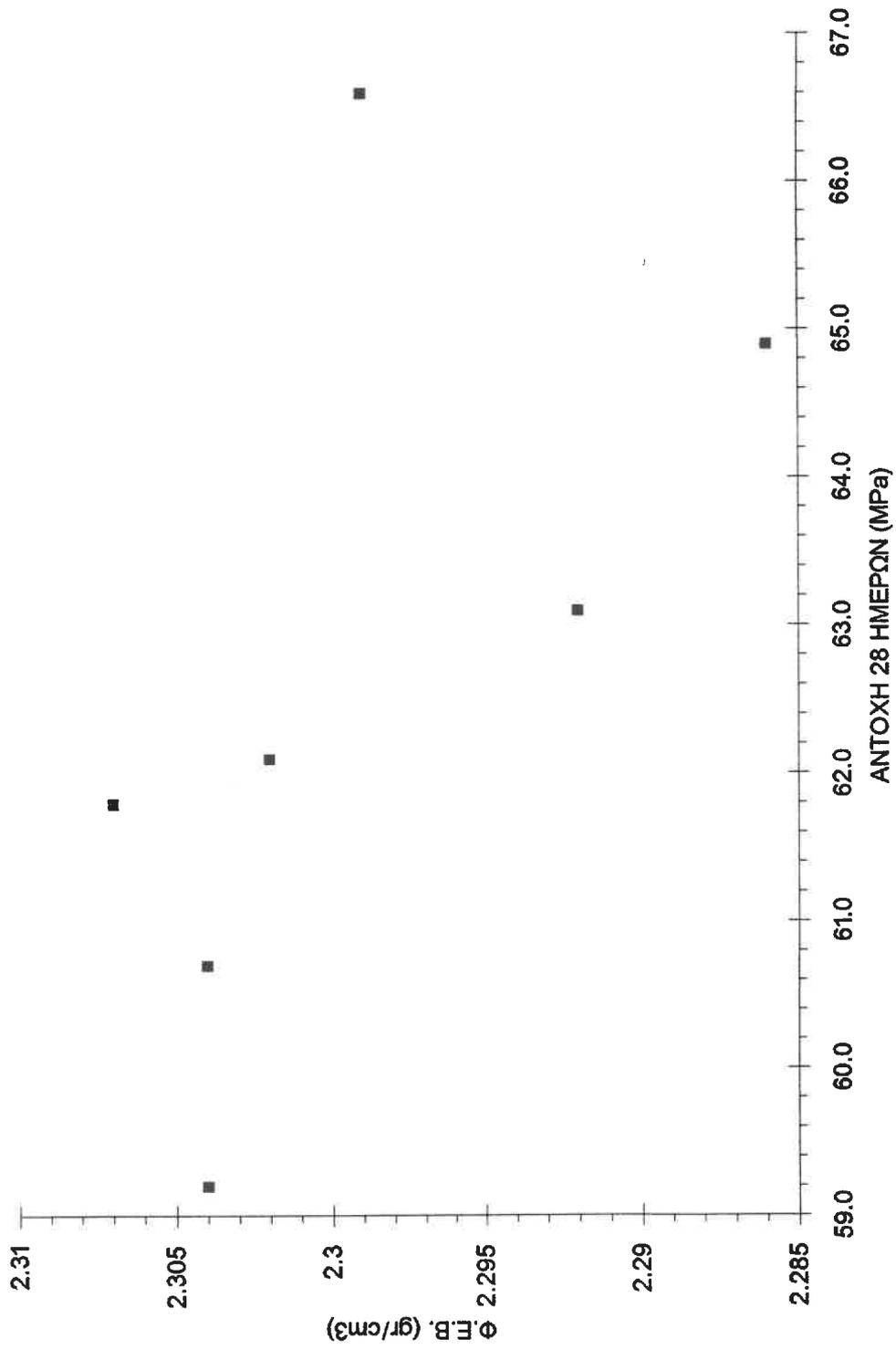
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1.2. : Τσιμέντο Ι 45 - Συσχέτιση αντοχών 24 ωρών & Φ.Ε.Β.



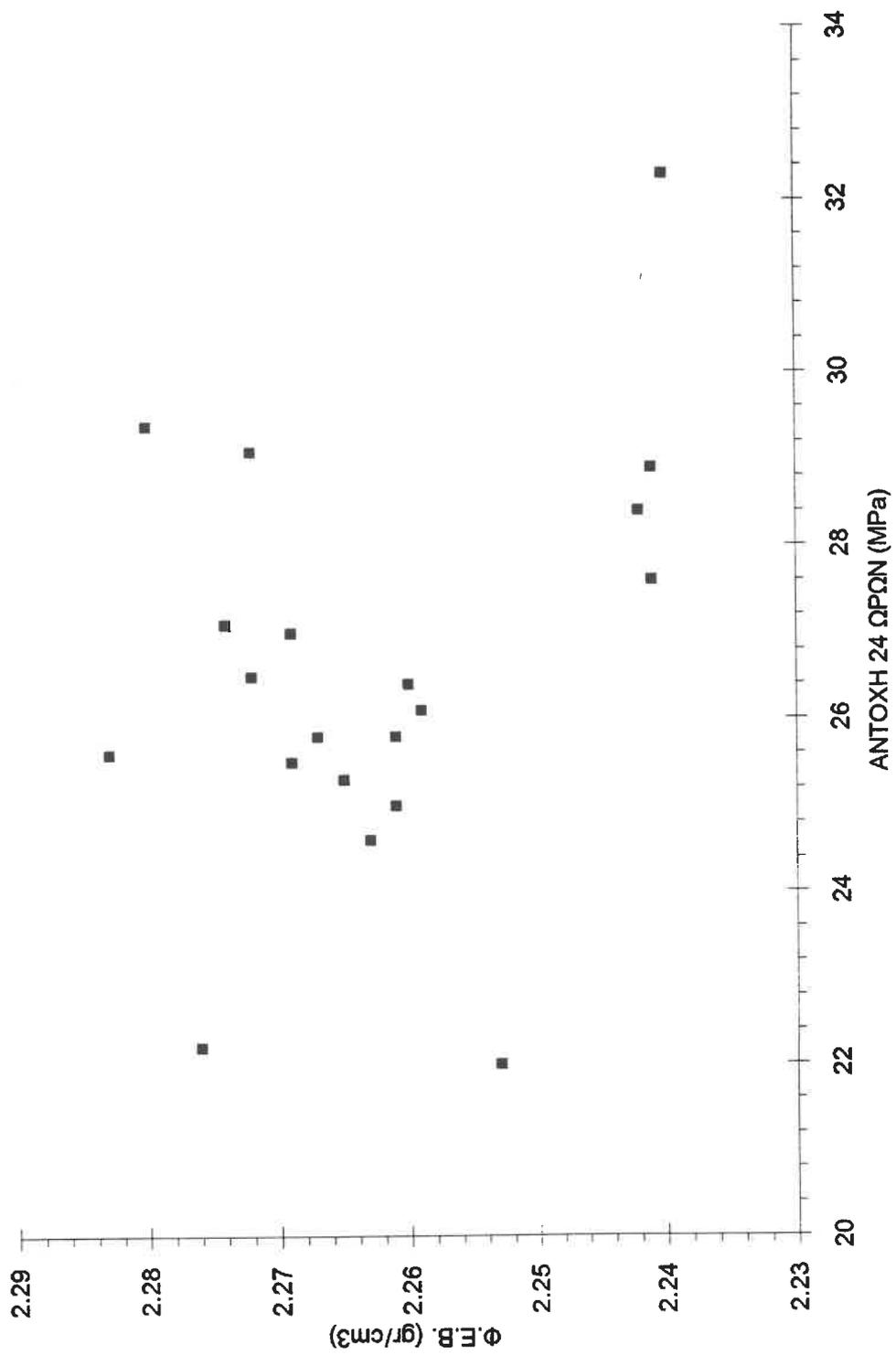
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1.4. : Τιμμένο Ι 55 - Σύσχετιση αντοχών 12 ωρών & Φ.Ε.Β.



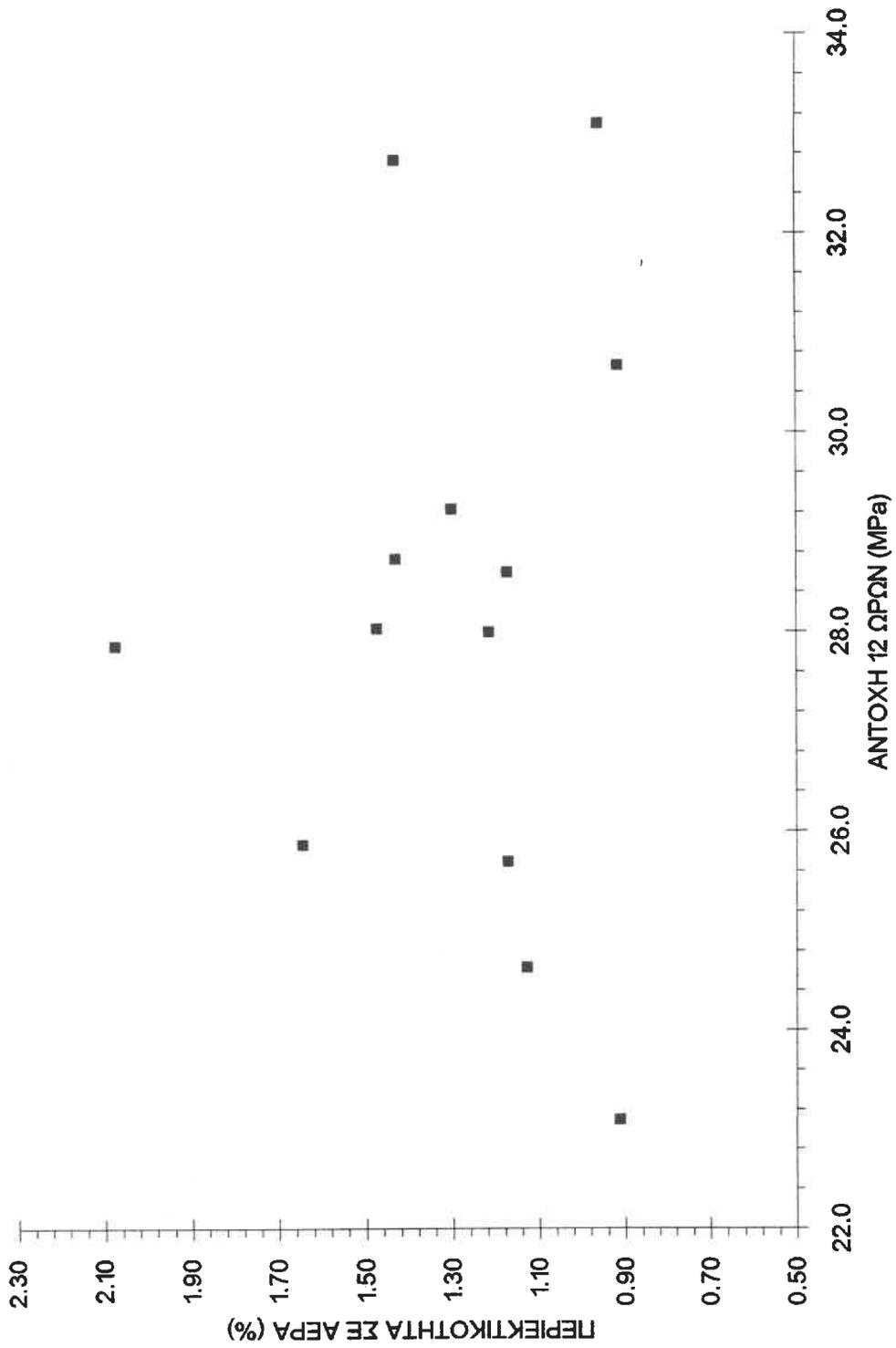
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1.6. : Τσιμέντο Ι 55 - Συσχέτιση αντοχών 28 ημερών & Φ.Ε.Β.



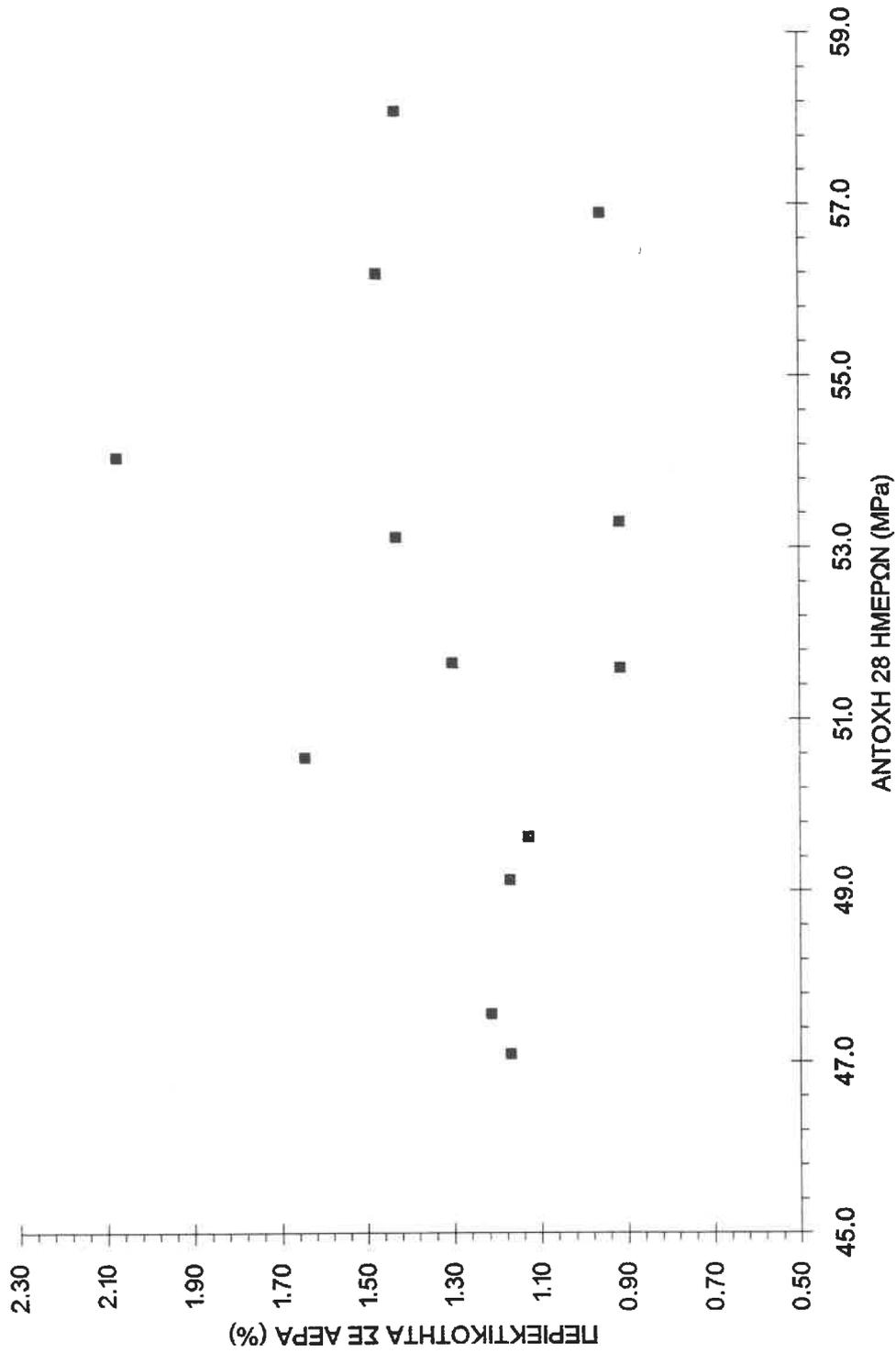
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1.8. : Τιμήντο II 35 - Συσχέτιση αντοχών 24 ωρών & Φ.Ε.Β.



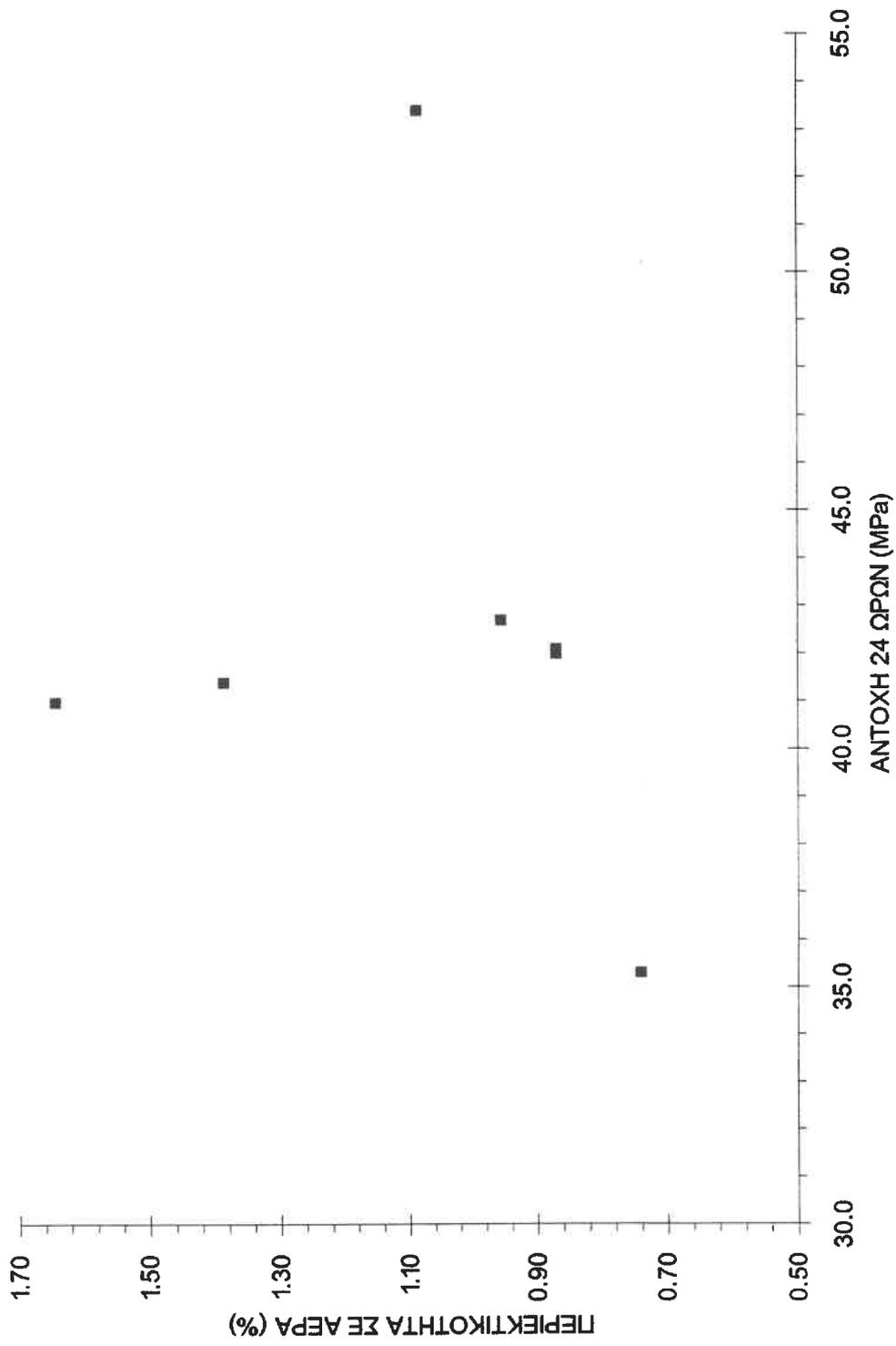
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1.10. : Τιμάντο | 45 - Συσχέτιση αντοχών 12 ωρών & περιεκτικότητας σε αέρα



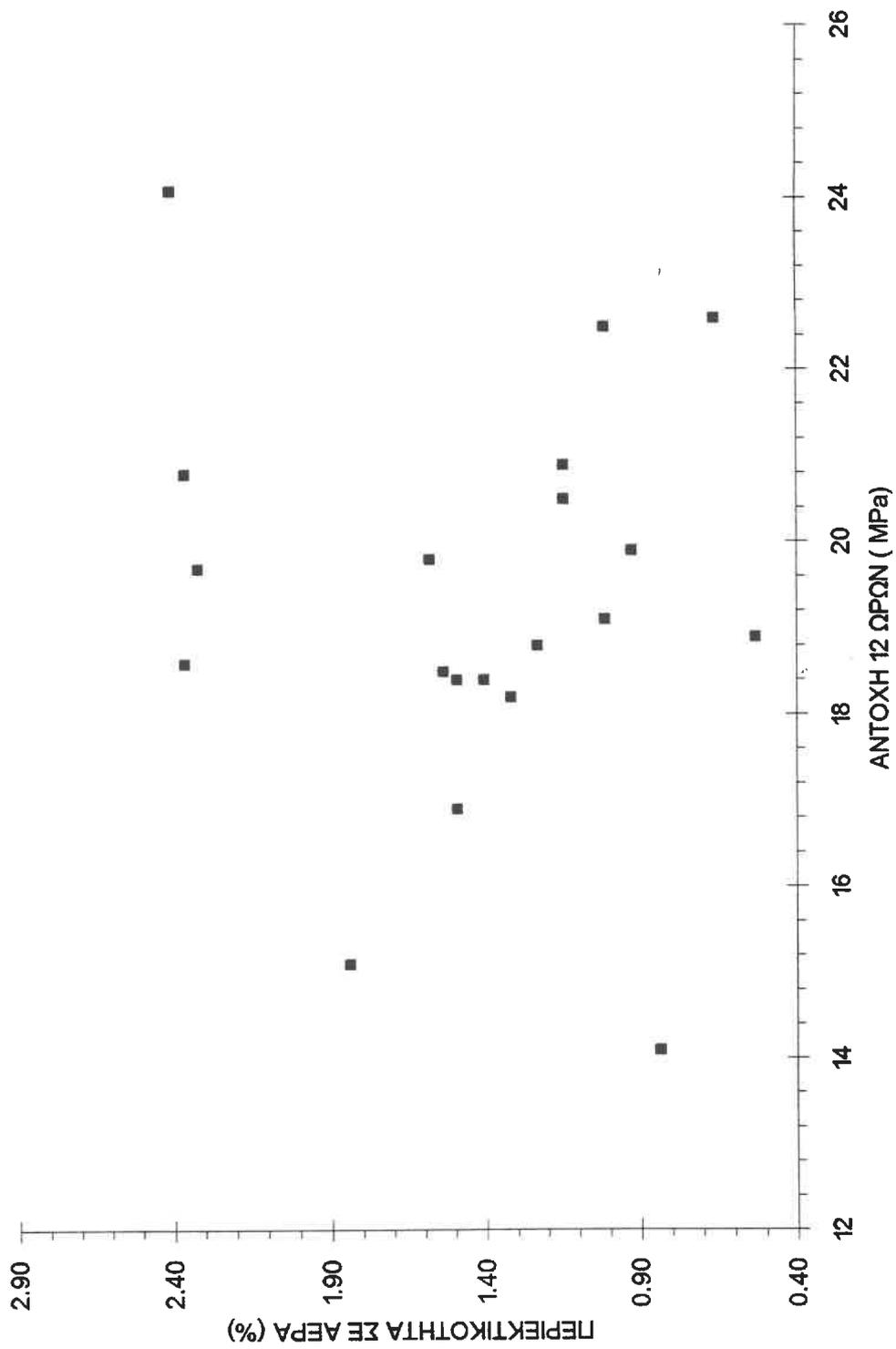
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1.12. : Τσιμέντο | 45 - Συσχέτιση αντοχών 28 ημερών & περιεκτικότητας σε αέρα



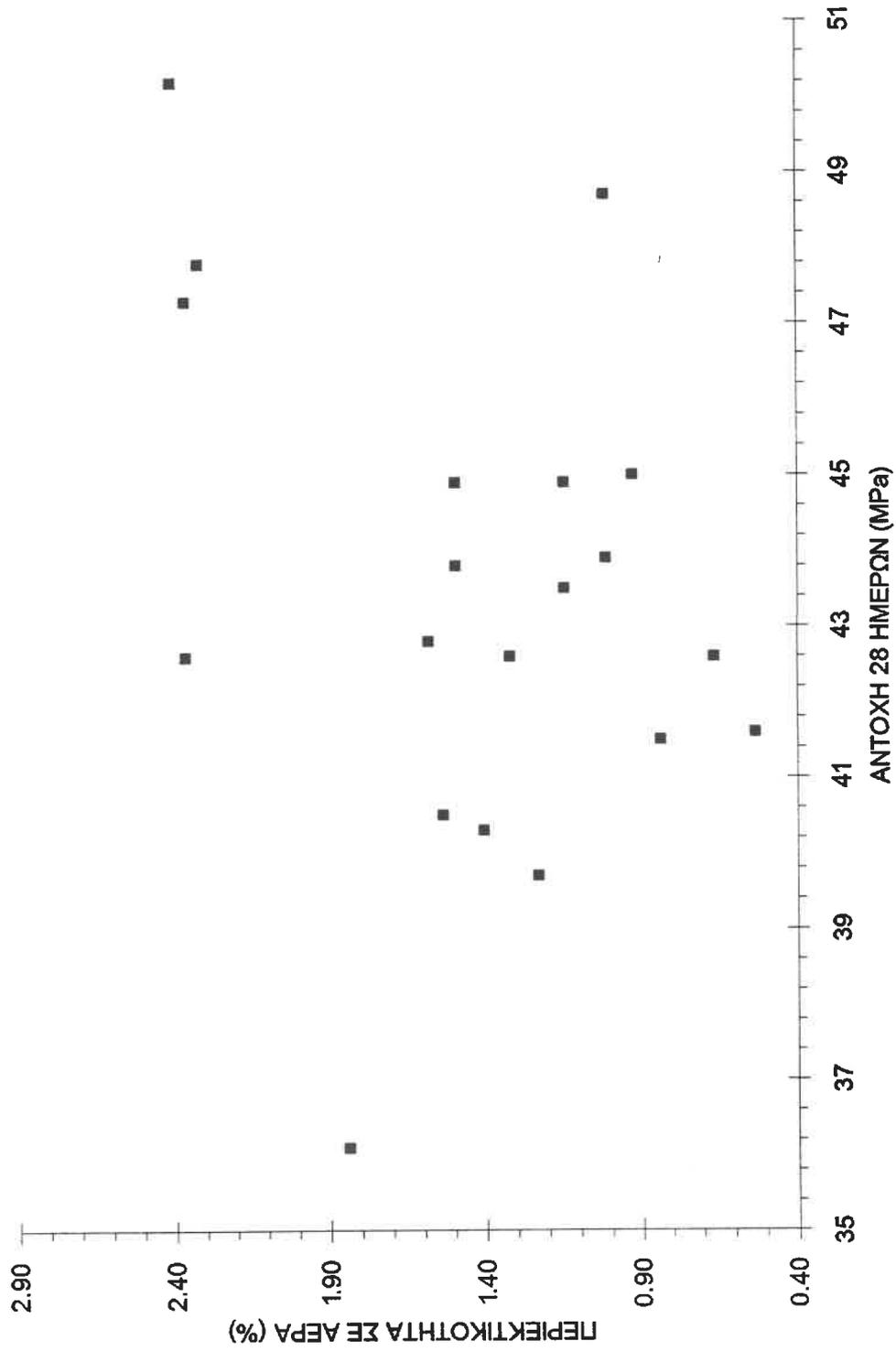
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1.14. : Τσιμέντο Ι 55 - Συσχέτιση αντοχών 24 ωρών & περιεκτικότητας σε αέρα



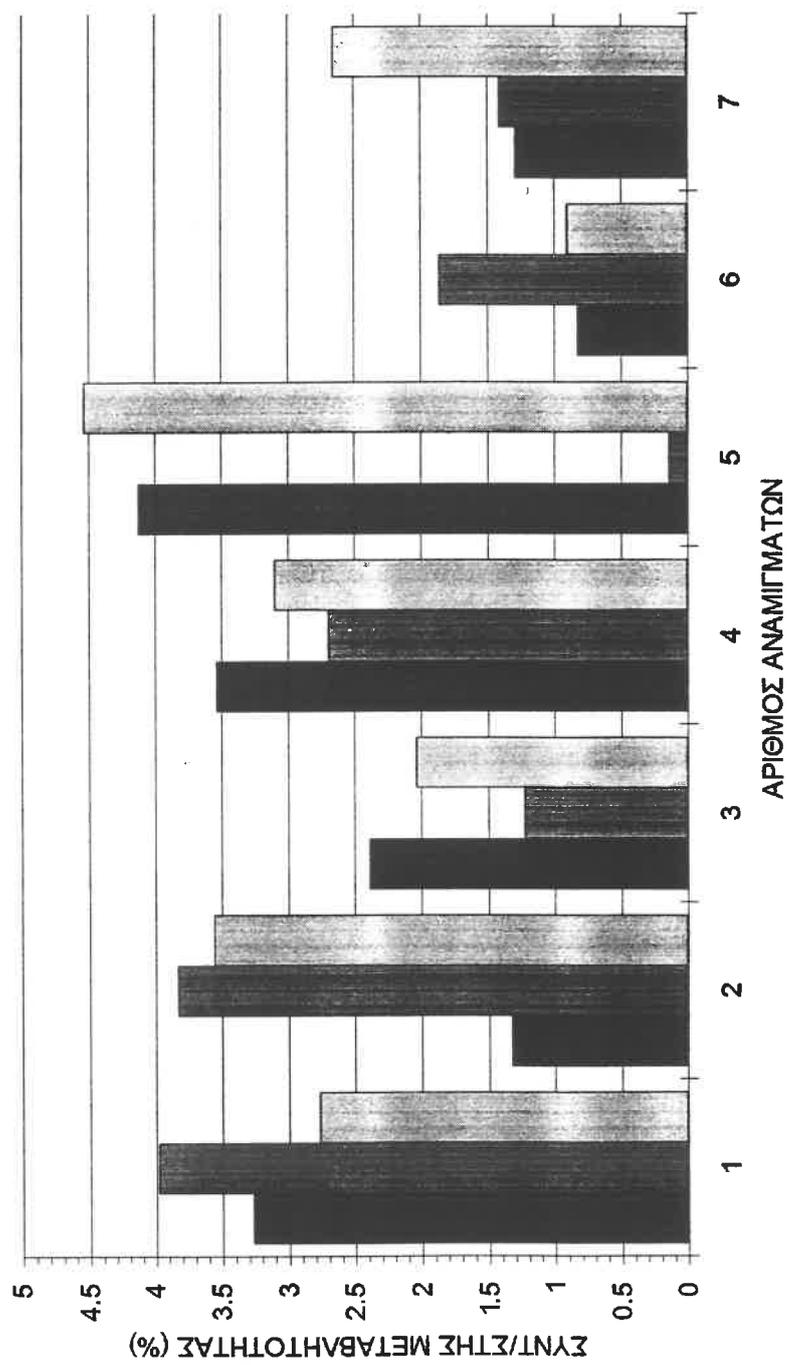
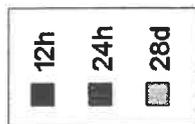
ΔΙΓΡΑΜΜΑ 6.1.16. : Τσιμέντο ΙΙ 35 - Συσχέτιση αντοχών 12 ωρών & περιεκτικότητας σε αέρα



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1.18. : Τσιμέντο ΙΙ 35 - Συσχέτιση αντοχών 28 ημερών & περιεκτικότητας σε αέρα



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1.20. : Τσιμέντο Ι 55 - Διακύμανση συντελεστή μεταβλητότητας



6.2. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στα σχήματα 6.2.1. ως 6.2.4. παρουσιάζονται οι ευθείες παλινδρόμησης και τα αντίστοιχα γραφήματα για τσιμέντο τύπου I - 45, όσο αφορά τις ακόλουθες συσχετίσεις των αντοχών (μεμονωμένων δοκιμίων - πίνακας 6.2.1.)

$$F_{12} \sim F_{28}$$

$$F_{24} \sim F_{28}$$

$$F_{12} \sim F_{28}/F_{12}$$

$$F_{12} \sim F_{28}/F_{24}$$

όπου : F_{12} = αντοχή 12 ωρών

F_{24} = αντοχή 24 ωρών

F_{28} = αντοχή 28 ωρών

Ομοίως στα σχήματα 6.2.5. ως 6.2.8. παρουσιάζονται οι αντίστοιχες ευθείες παλινδρόμησης και γραφήματα για τσιμέντο τύπου I - 55. και στα σχήματα 6.2.9. ως 6.2.12. για τσιμέντο τύπου II - 35 (αντίστοιχα, πίνακες 6.2.2. και 6.2.3.)

Τέλος στα σχήματα 6.2.13. ως 6.2.24. παρουσιάζονται οι αντίστοιχες ευθείες παλινδρόμησης και γραφήματα ανά τύπο τσιμέντου, αλλά για τους μέσους όρους των τριάδων των δοκιμίων (πίνακες 6.2.4. ως 6.2.6.)

Παρατηρείται ότι το τυπικό σφάλμα κυμαίνεται από 2,85 ως 2,43 για την περίπτωση παλινδρόμησης μεμονωμένων δοκιμίων και από 2,76 ως 2,14 για την περίπτωση παλινδρόμησης με μέσους όρους.

Αντίστοιχα στην περίπτωση των λόγων των αντοχών έχουμε διακύμανση του τυπικού σφάλματος, από 0,158% ως 0,075% για παλινδρόμηση μεμονωμένων δοκιμίων και από 0,155% ως 0,067% για παλινδρόμηση με μέσους όρους.

Όπως ήταν αναμενόμενο, παρουσιάστηκε μια σχετική βελτίωση όσο αφορά τον συντελεστή συσχέτισης και το τυπικό σφάλμα, στην περίπτωση της παλινδρόμησης με μέσους όρους.

Το σχετικά μεγάλο σφάλμα αποδίδεται κατ' αρχάς στο ότι, για κάθε τύπο τσιμέντου τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από διάφορα εργοστάσια. Για τον έλεγχο αυτής της αιτιολόγησης, έγινε διαχωρισμός ανα εταιρεία παρασκευής, σε όσα δείγματα τσιμέντου ήταν δυνατό (πίνακες 6.2.7. ως 6.2.9. για τσιμέντο I 45 και 6.2.10. ως 6.2.13. για τσιμέντο II 35) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα 6.2.25. ως 6.2.36. για τσιμέντο τύπου I 45 και στα σχήματα 6.3.37. ως 6.2.52. για τσιμέντο II 35).

Παρατηρείται ότι έχουμε μια σαφή βελτίωση της παλινδρόμησης, σε σχέση με το τυπικό σφάλμα, όπως παρουσιάζεται παραστατικά στα διαγράμματα 6.2.1. ως 6.2.6.. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η βελτίωση στην περίπτωση των λόγων των αντοχών.

Τέλος στα σχήματα 6.2.53. ως 6.2.57., παρουσιάζονται ενδεικτικά γραφήματα παλινδρομήσεων, όπου εκτός των ορίων εμπιστοσύνης της ευθείας παλινδρόμησης (95%) παρουσιάζονται και τα όρια εμπιστοσύνης των μεμονωμένων δοκιμίων. Τα όρια αυτά είναι : άνω όριο 90% και κάτω όριο 95%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.1. :Τσιμέντο Ι 45 - Θλιπτική αντοχή δοκιμίων

Α/Α	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MPa		
	12ωρών	24ωρών	28ημερών
1	25.7	35.7	50.7
2	26.7	35.5	50.5
3	25.2	34.3	50.5
4	29.2	35.5	48.2
5	27.1	33.5	46.7
6	27.7	31.8	47.8
7	29.4	40.1	52.3
8	31.8	39.5	54.3
9	30.8	40.4	53.3
10	24.5	31.0	51.2
11	24.2	30.8	48.2
12	25.2	32.9	49.5
13	32.2	41.4	57.1
14	33.5	42.0	59.1
15	32.5	41.2	58.1
16	29.9	35.4	53.5
17	30.1	35.7	52.6
18	27.7	36.8	48.9
19	27.8	36.5	56.6
20	28.4	37.8	57.3
21	27.9	37.7	54.7
22	27.3	36.6	52.9
23	27.7	36.6	53.6
24	28.6	36.2	55.7
25	22.5	28.6	52.2
26	23.1	28.7	50.0
27	23.7	28.8	52.6
28	33.5	41.1	56.0
29	33.3	40.5	56.2
30	32.5	40.6	58.5
31	25.7	32.2	47.7
32	26.1	32.8	46.4
33	25.3	32.4	47.2
34	28.5	36.3	46.7
35	28.5	37.3	51.1
36	28.8	37.0	49.6
37	28.9	37.2	52.8
38	29.4	37.9	52.4
39	27.9	39.2	54.2

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.3.:Τσιμέντο ΙΙ 35 - Θλιπτική αντοχή δοκιμών

Α/Α	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ		
	MPa		
	12ωρών	24ωρών	28ημερών
1	20.6	25.6	44.4
2	20.5	24.8	45.6
3	20.4	26.2	44.8
4	18.6	29.2	48.4
5	20.8	27.8	47.9
6	19.7	28.2	47.2
7	18.1	26.5	43.0
8	19.5	28.1	41.7
9	18.1	28.2	43.2
10	14.2	21.7	41.2
11	14.2	22.1	43.4
12	14.0	22.8	39.9
13	18.1	25.8	42.3
14	18.0	24.7	42.9
15	18.4	25.6	42.5
16	22.9	28.4	44.9
17	22.4	30.0	41.1
18	22.4	29.7	41.8
19	18.8	26.4	41.2
20	18.2	25.0	42.4
21	19.7	25.4	41.2
22	22.1	28.7	44.4
23	22.3	29.3	44.4
24	23.1	29.2	42.8
25	20.2	27.1	43.7
26	19.6	26.7	45.7
27	19.8	27.5	45.6
28	17.7	25.4	45.0
29	16.1	24.5	45.9
30	16.8	25.2	43.7
31	20.4	26.9	42.7
32	21.4	27.1	44.3
33	20.7	26.9	43.6
34	23.2	31.5	48.9
35	25.2	32.2	50.7
36	23.9	33.1	50.9
37	18.6	26.7	40.2
38	18.1	25.7	40.9
39	18.7	26.8	40.5
40	17.7	23.9	40.8
41	18.6	24.7	38.9
42	18.9	25.1	41.3
43	20.6	28.9	47.6
44	20.7	28.9	46.6
45	21.1	28.9	47.8
46	19.4	26.9	48.7
47	19.1	25.4	50.0
48	18.9	27.2	47.2

ΣΧΗΜΑ 6.2.3. Τσιμέντο τύπου Ι 45 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: I45.f28d/I45.f12h Independent variable: I45.f12h

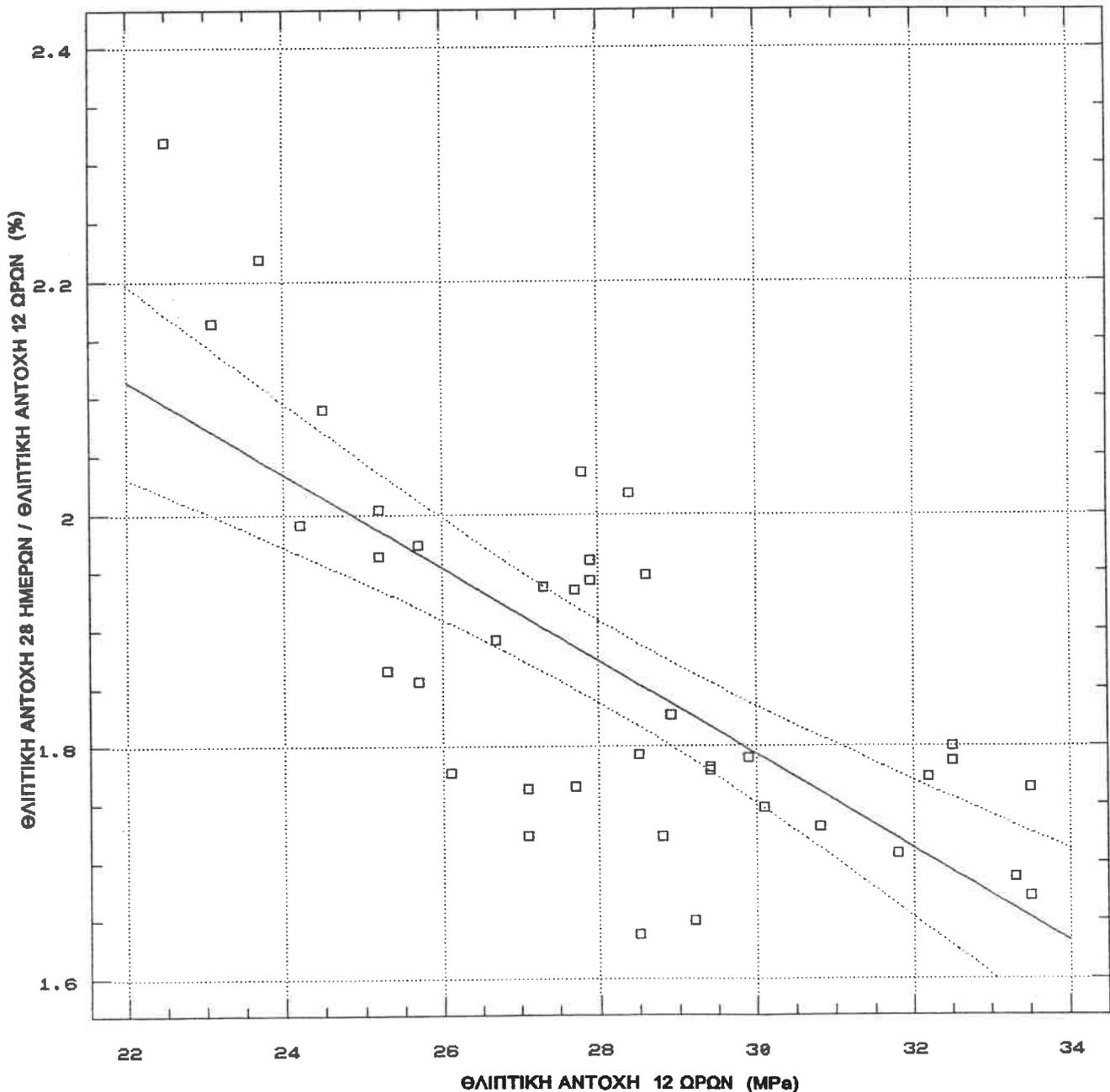
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	2.99827	0.17083	17.5512	.00000
Slope	-0.0401871	6.03505E-3	-6.65896	.00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.524092	1	.524092	44.34170	.00000
Error	.437318	37	.011819		
Total (Corr.)	.961410	38			

Correlation Coefficient = -0.738328
Std. Error of Est. = 0.108717

R-squared = 54.51 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.5. Τσιμέντο τύπου Ι 55 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (μεμονωμένα δοκίμια)

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

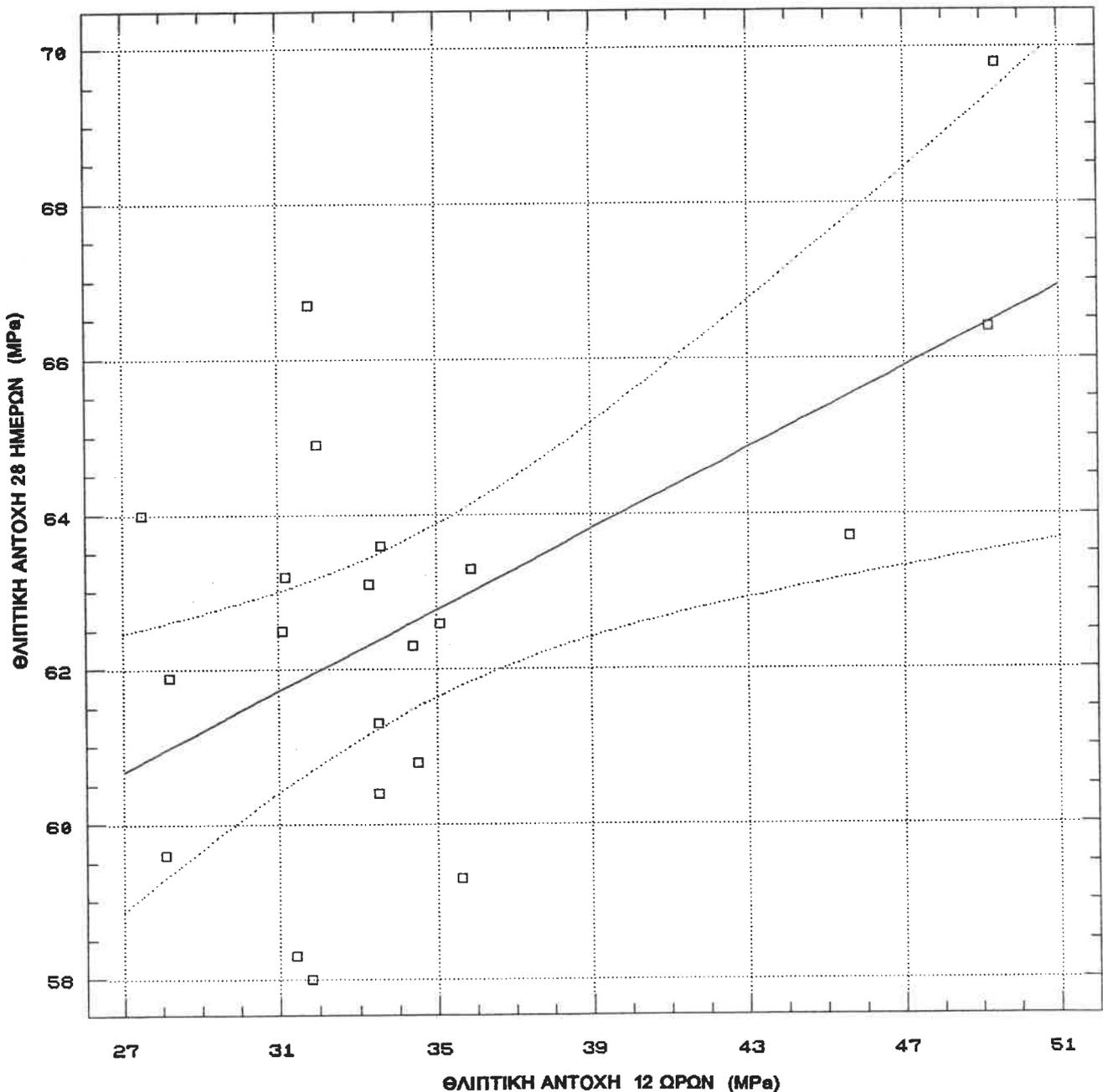
Dependent variable: I55.f28d		Independent variable: I55.f12h		
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	53.6391	3.1176	17.2052	.00000
Slope	0.260464	0.0887752	2.93397	.00852

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	50.976554	1	50.976554	8.60816	.00852
Error	112.51583	19	5.92189		
Total (Corr.)	163.49238	20			

Correlation Coefficient = 0.558389
 Std. Error of Est. = 2.43349

R-squared = 31.18 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.7. Τσιμέντο τύπου Ι 55 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: I55.f28d/I55.f12h Independent variable: I55.f12h

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	3.17257	0.125054	25.3696	.00000
Slope	-0.0382185	3.56098E-3	-10.7326	.00000

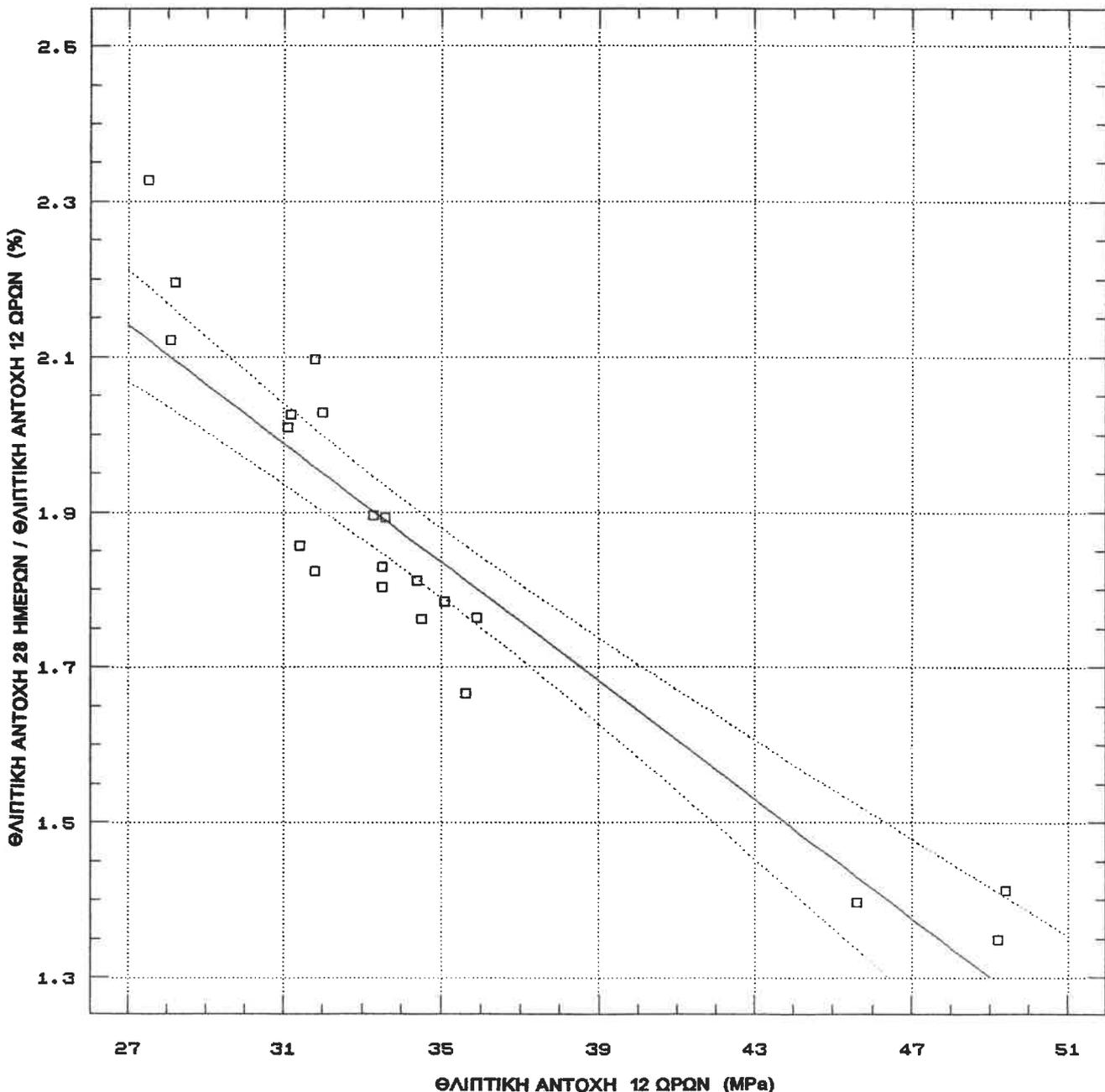
Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	1.09755	1	1.09755	115.1885	.00000
Error	.181038	19	.009528		

Total (Corr.) 1.278588 20

Correlation Coefficient = -0.926503
Std. Error of Est. = 0.097613

R-squared = 85.84 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.9. Τσιμέντο τύπου II 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (μεμονωμένα δοκίμια)

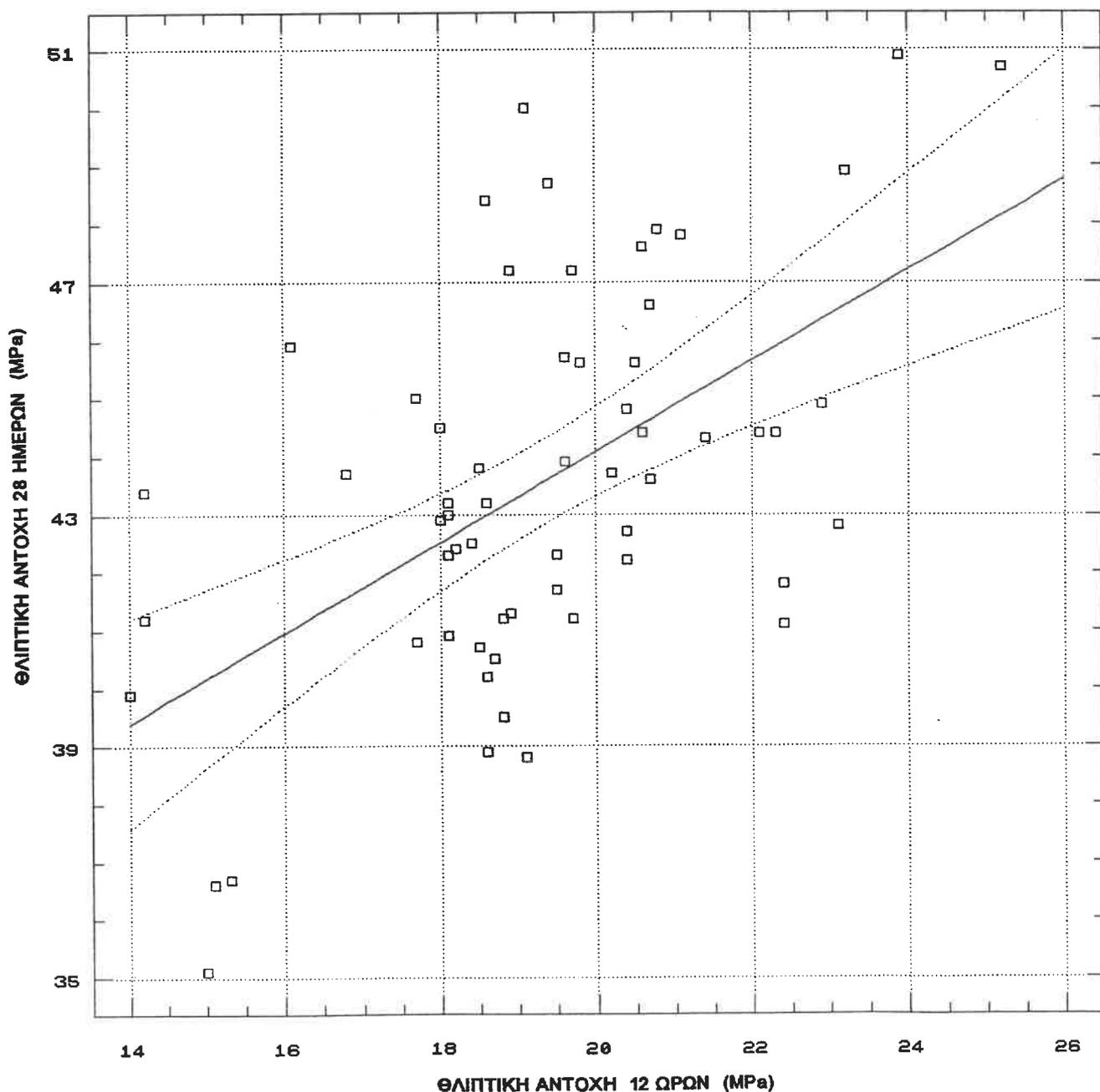
Dependent variable: II35.f28d			Independent variable: II35.f12h	
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	28.4486	3.05184	9.32177	.00000
Slope	0.781559	0.157126	4.97409	.00001

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	200.38394	1	200.38394	24.7416	.00001
Error	469.74590	58	8.09907		

Total (Corr.) 670.12983 59

Correlation Coefficient = 0.54683
 Std. Error of Est. = 2.84589

R-squared = 29.90 percent

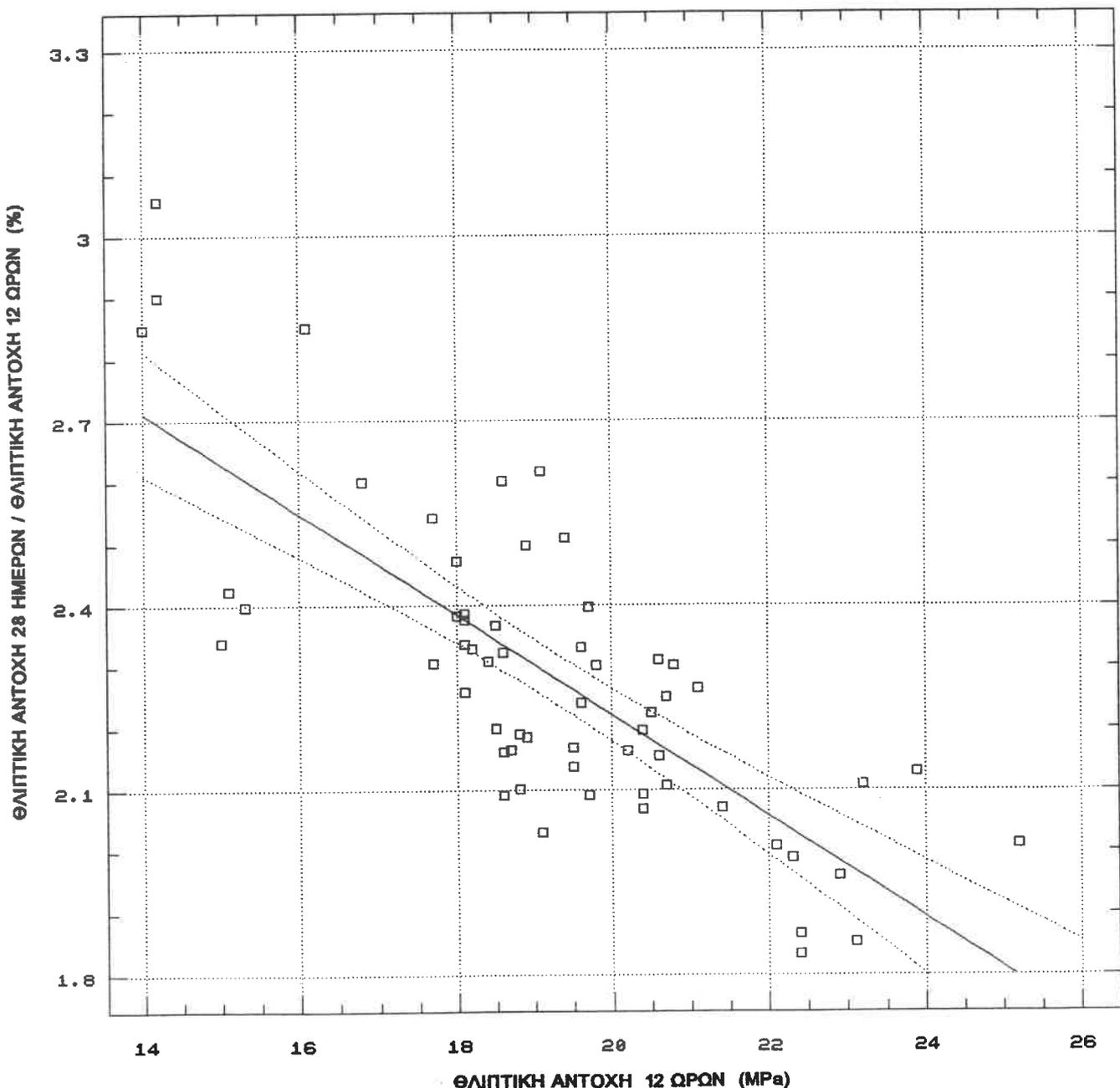


ΣΧΗΜΑ 6.2.11. Τσιμέντο τύπου II 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (μεμονωμένα δοκίμια)

Dependent variable: II35.f28d/II35.f12h			Independent variable: II35.f12h	
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	3.85703	0.169911	22.7003	.00000
Slope	-0.0817805	8.74798E-3	-9.3485	.00000

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	2.194015	1	2.194015	87.39446	.00000
Error	1.456075	58	.025105		
Total (Corr.)	3.650090	59			

Correlation Coefficient = -0.775297 R-squared = 60.11 percent
 Std. Error of Est. = 0.158445



**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.4.:Τσιμέντο Ι 45 - Θλιπτική αντοχή δοκιμών
(Μέσοι όροι μετρήσεων)**

Α/Α	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ		
	MPa		
	12ωρών	24ωρών	28ημερών
1	25.9	35.2	50.6
2	28.0	33.6	47.6
3	30.7	40.0	53.3
4	24.7	31.5	49.6
5	32.7	41.6	58.1
6	29.2	36.0	51.6
7	28.0	37.3	56.2
8	27.9	36.4	54.0
9	23.1	28.7	51.6
10	33.1	40.7	56.9
11	25.7	32.5	47.1
12	28.6	36.9	49.1
13	28.7	38.1	53.2

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.5.:Τσιμέντο Ι 55 - Θλιπτική αντοχή δοκιμών
(Μέσοι όροι μετρήσεων)**

Α/Α	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ		
	MPa		
	12ωρών	24ωρών	28ημερών
1	34.7	42.1	60.7
2	27.9	35.3	61.8
3	34.9	42.7	62.1
4	32.2	42.0	59.2
5	48.1	53.4	66.6
6	33.3	41.4	63.1
7	31.7	41.0	64.9

ΣΧΗΜΑ 6.2.13. Τσιμέντο τύπου Ι 45 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (μέσοι όροι μετρήσεων)

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

Dependent variable: I45AV.f28d Independent variable: I45AV.f12h

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	30.3286	7.73581	3.92054	.00239
Slope	0.777037	0.273199	2.84422	.01596

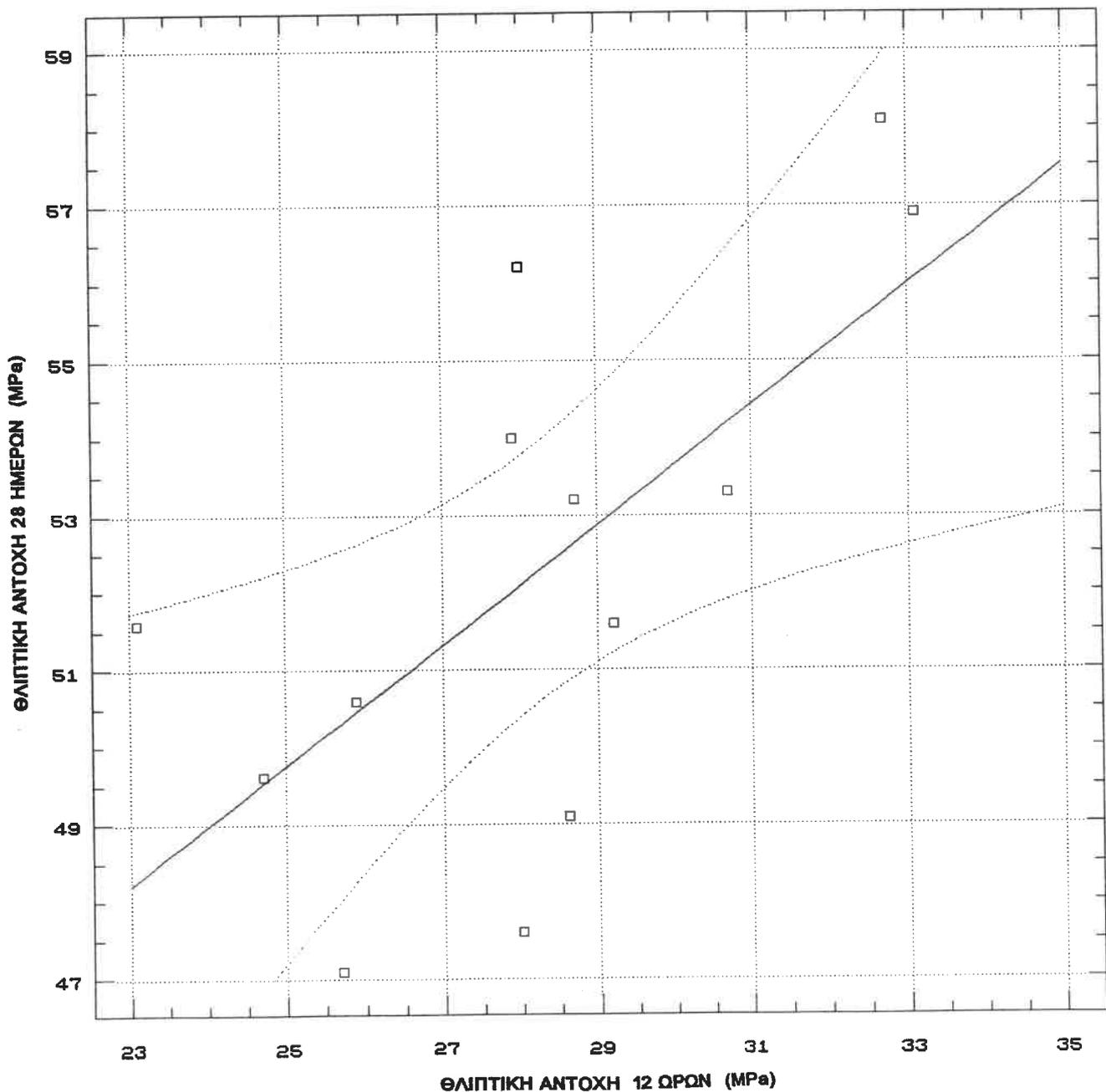
Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	61.515630	1	61.515630	8.08957	.01596
Error	83.647446	11	7.604313		

Total (Corr.) 145.16308 12

Correlation Coefficient = 0.650976
Std. Error of Est. = 2.75759

R-squared = 42.38 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.15 Τσιμέντο τύπου Ι 45 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (μέσοι όροι μετρήσεων)

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

Dependent variable: I45AV.f28d/I45AV.f12 Independent variable: I45AV.f12h

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	3.0037	0.303367	9.90121	.00000
Slope	-0.0404252	0.0107138	-3.77321	.00308

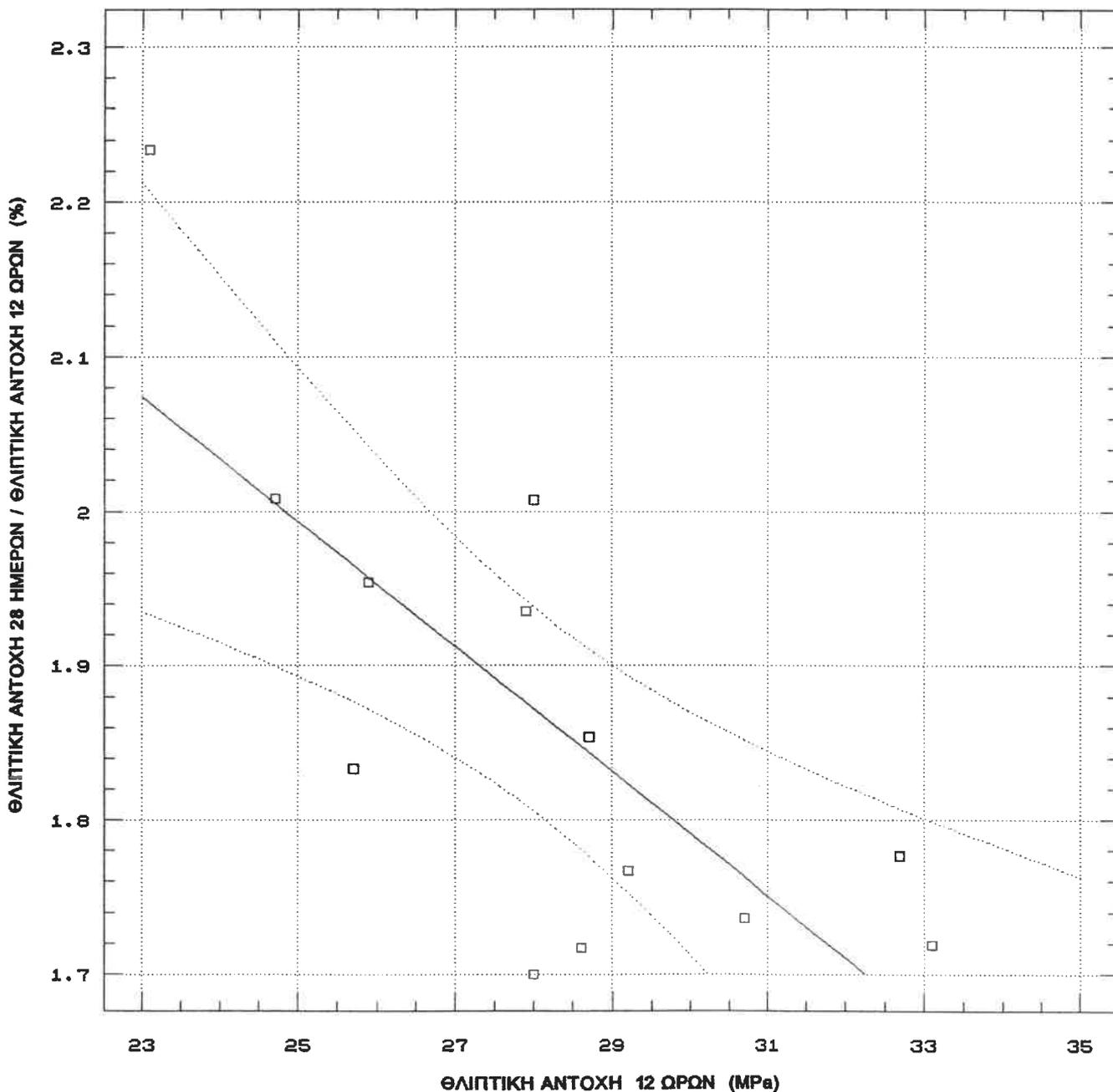
Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.166497	1	.166497	14.23708	.00308
Error	.128641	11	.011695		

Total (Corr.) .295138 12

Correlation Coefficient = -0.751088
Std. Error of Est. = 0.108142

R-squared = 56.41 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.17. Τσιμέντου τύπου Ι 55 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (μέσοι όροι μετρήσεων)

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

Dependent variable: I55AV.f28d

Independent variable: I55AV.f12h

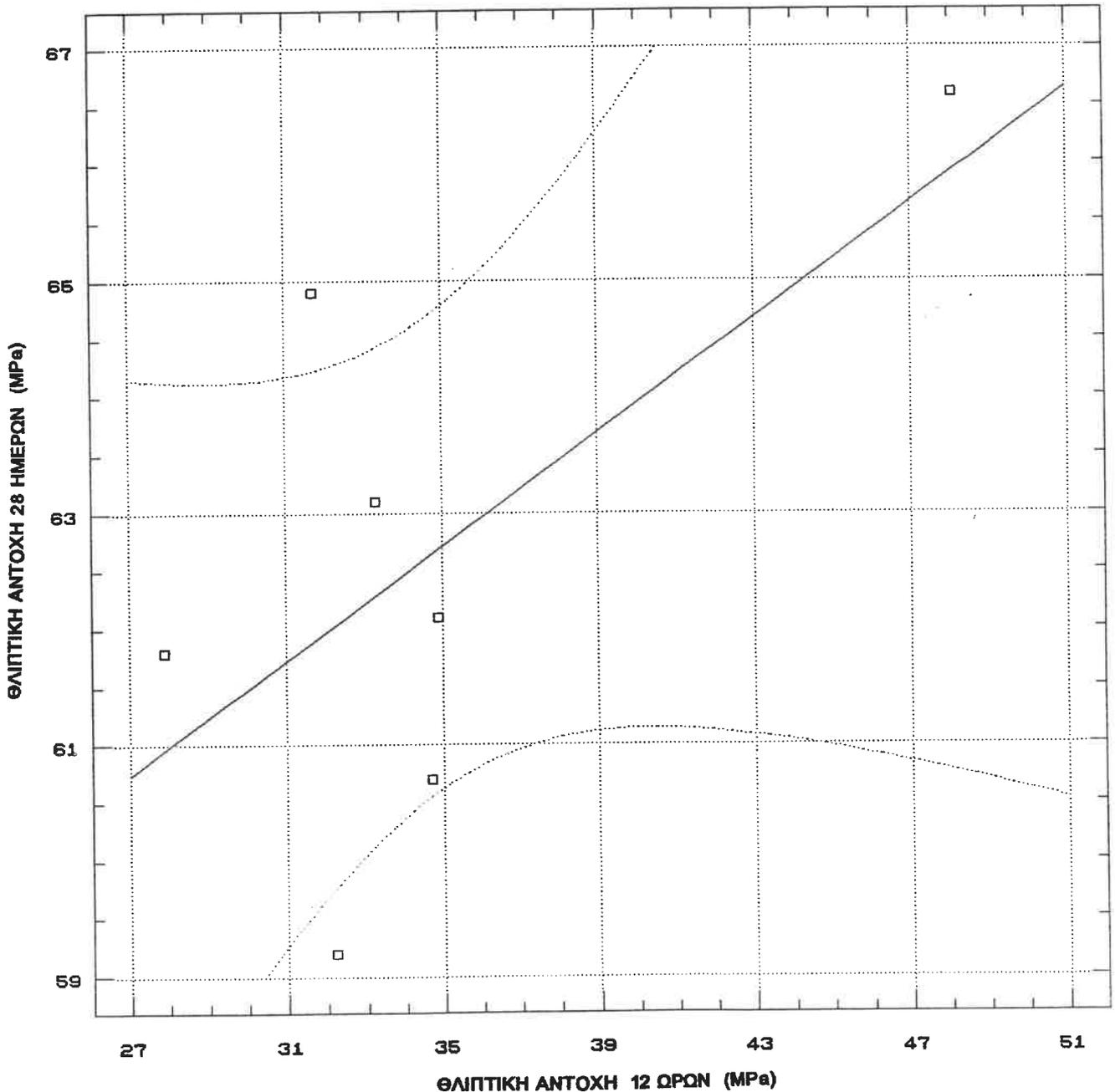
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	54.0883	4.82541	11.2091	.00010
Slope	0.246218	0.137153	1.7952	.13257

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	14.734370	1	14.734370	3.22275	.13257
Error	22.859916	5	4.571983		
Total (Corr.)	37.594286	6			

Correlation Coefficient = 0.626044
Std. Error of Est. = 2.13822

R-squared = 39.19 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.19. Τσιμέντο τύπου Ι 55 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (μέσοι όροι μετρήσεων)

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

Dependent variable: I55AV.f28d/I55AV.f12 Independent variable: I55AV.f12h

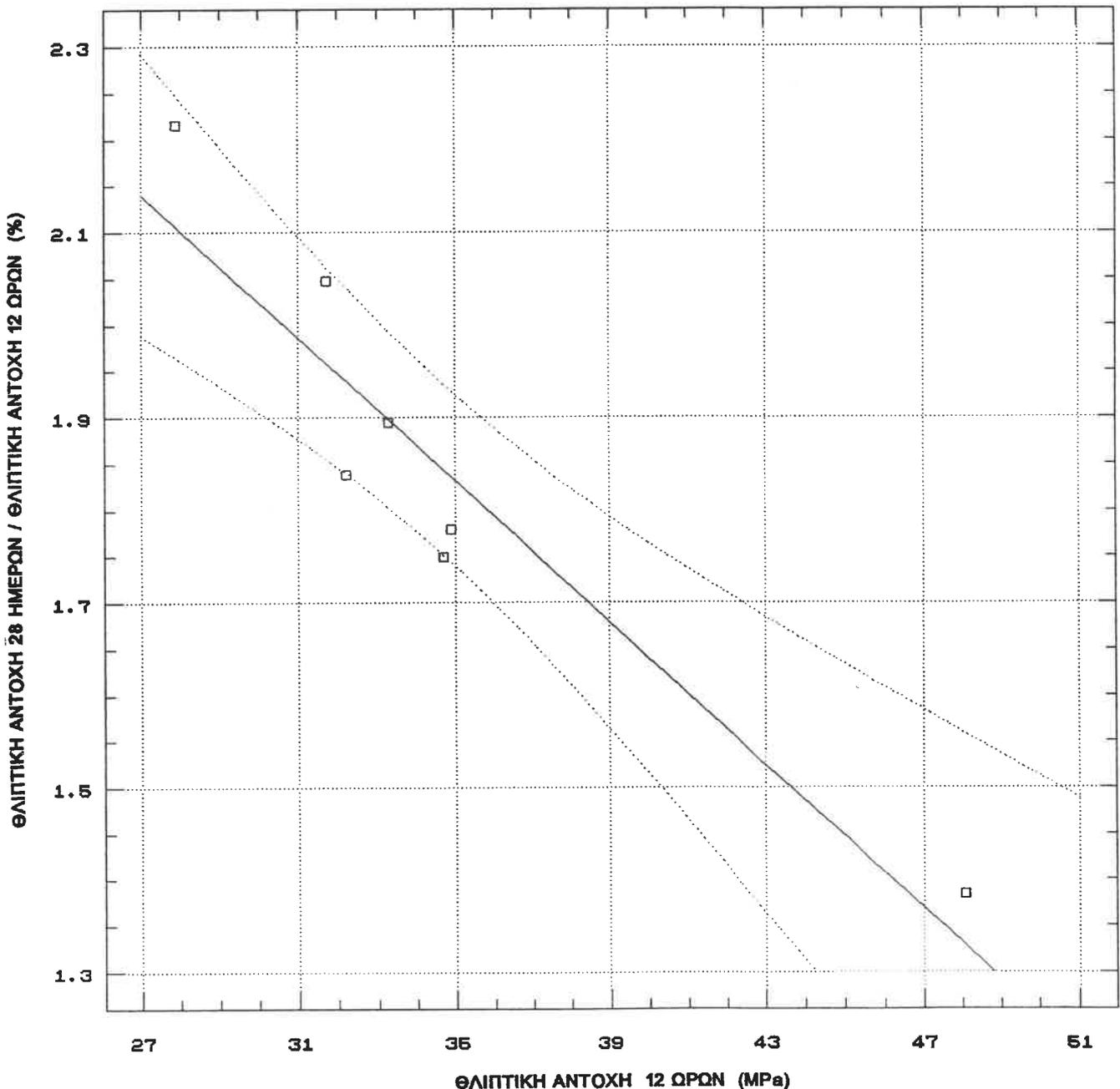
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	3.17983	0.215077	14.7846	.00003
Slope	-0.038508	6.11316E-3	-6.29919	.00148

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.360408	1	.360408	39.67981	.00148
Error	.0454146	5	.0090829		
Total (Corr.)	.4058229	6			

Correlation Coefficient = -0.942387
Std. Error of Est. = 0.0953043

R-squared = 88.81 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.21. Τσιμέντο τύπου ΙΙ 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (μέσοι όροι μετρήσεων)

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

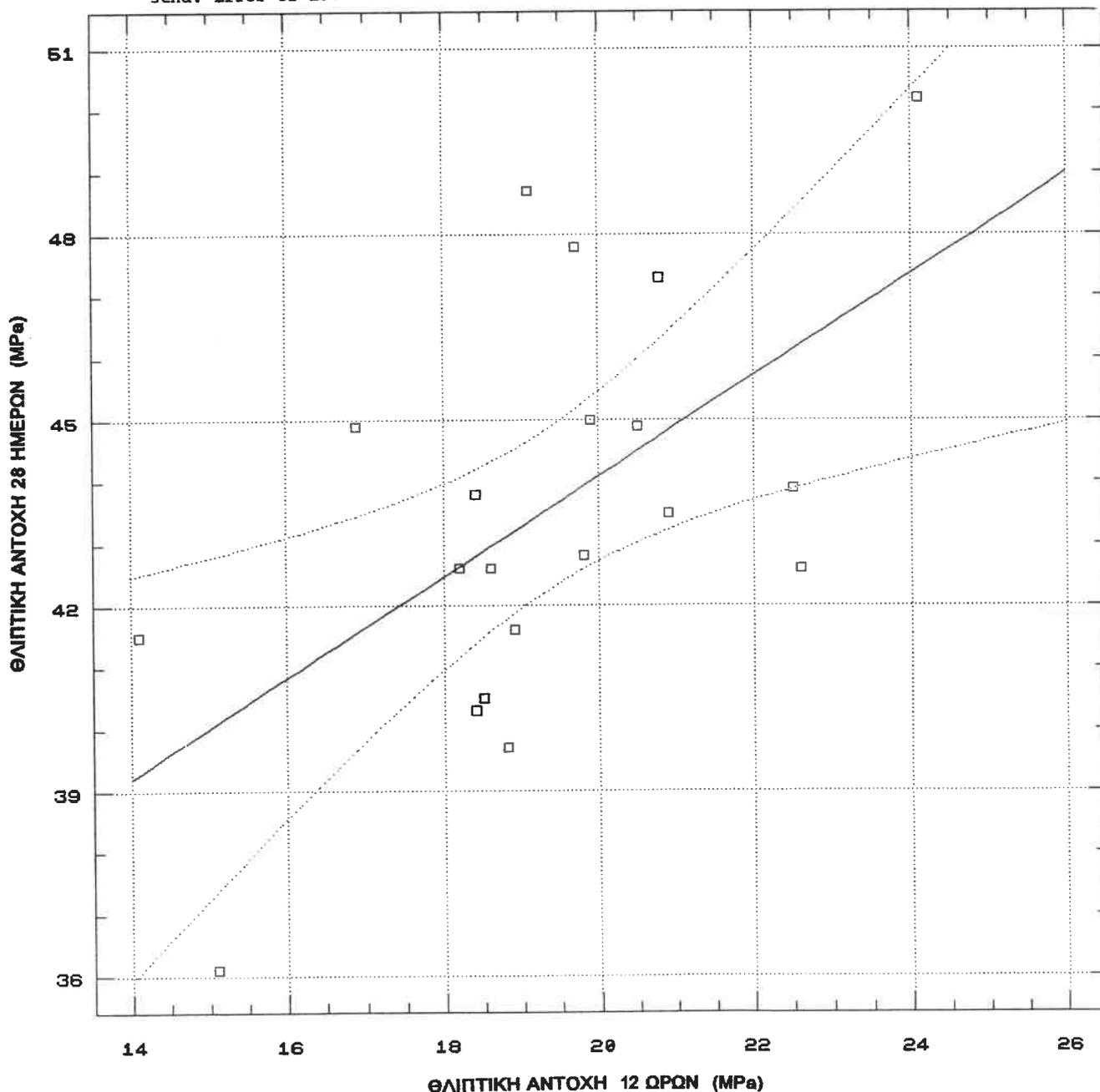
Dependent variable: II35AV.f28d		Independent variable: II35AV.f12h		
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	27.7805	5.25567	5.28583	.00005
Slope	0.815679	0.270535	3.01506	.00744

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	70.550548	1	70.550548	9.09059	.00744
Error	139.69495	18	7.76083		
Total (Corr.)	210.24550	19			

Correlation Coefficient = 0.579278
Std. Error of Est. = 2.78583

R-squared = 33.56 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.23. Τσιμέντο τύπου ΙΙ 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (μέσοι όροι μετρήσεων)

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

Dependent variable: II35AV.f28d/II35AV.f Independent variable: II35AV.f12h

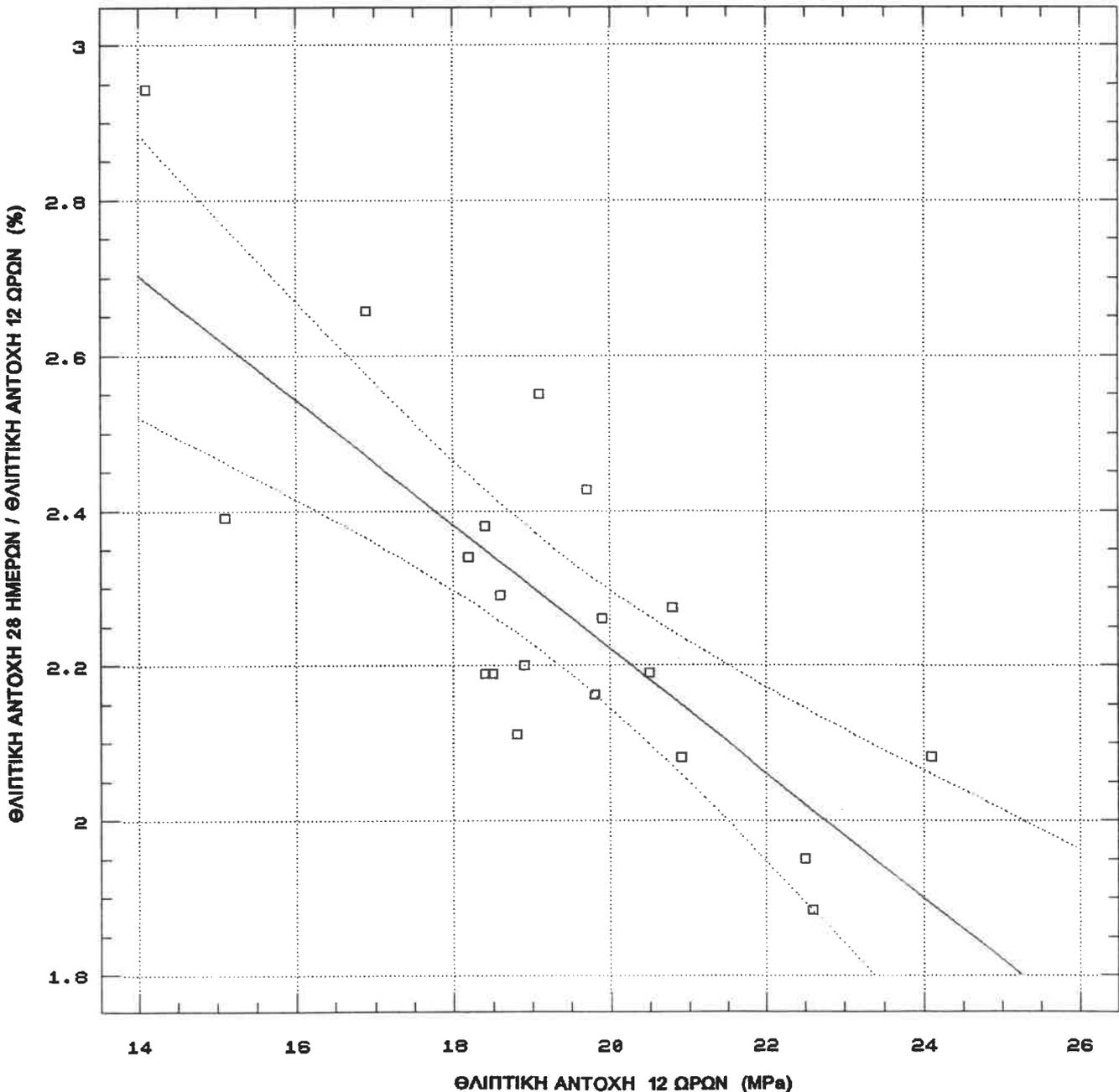
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	3.8271	0.292955	13.0638	.00000
Slope	-0.0803108	0.0150798	-5.32571	.00005

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.683926	1	.683926	28.36317	.00005
Error	.434037	18	.024113		
Total (Corr.)	1.117963	19			

Correlation Coefficient = -0.782151
Std. Error of Est. = 0.155284

R-squared = 61.18 percent



**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.7.:Τσιμέντο Ι 45 - Θλιπτική αντοχή δοκιμίων
(Εταιρεία Α)**

Α/Α	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MPa		
	12ωρών	24ωρών	28ημερών
1	29.2	35.5	48.2
2	27.1	33.5	46.7
3	27.1	31.8	47.8
4	29.9	35.4	53.5
5	30.1	35.7	52.6
6	27.7	36.8	48.9
7	25.7	32.2	47.7
8	26.1	32.8	46.4
9	25.3	32.4	47.2
10	28.5	36.3	46.7
11	28.5	37.3	51.1
12	28.8	37.0	49.6

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.8.:Τσιμέντο Ι 45 - Θλιπτική αντοχή δοκιμίων
(Εταιρεία Β)**

Α/Α	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MPa		
	12ωρών	24ωρών	28ημερών
1	25.7	35.7	50.7
2	26.7	35.5	50.5
3	25.2	34.3	50.5
4	27.8	36.5	56.6
5	28.4	37.8	57.3
6	27.9	37.7	54.7
7	27.3	36.6	52.9
8	27.7	36.6	53.6
9	28.6	36.2	55.7
10	28.9	37.2	52.8
11	29.4	37.9	52.4
12	27.9	39.2	54.2

ΣΧΗΜΑ 6.2.25. Τσιμέντο τύπου Ι 45 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (εταιρεία Α - μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: I45A.f28d

Independent variable: I45A.f12h

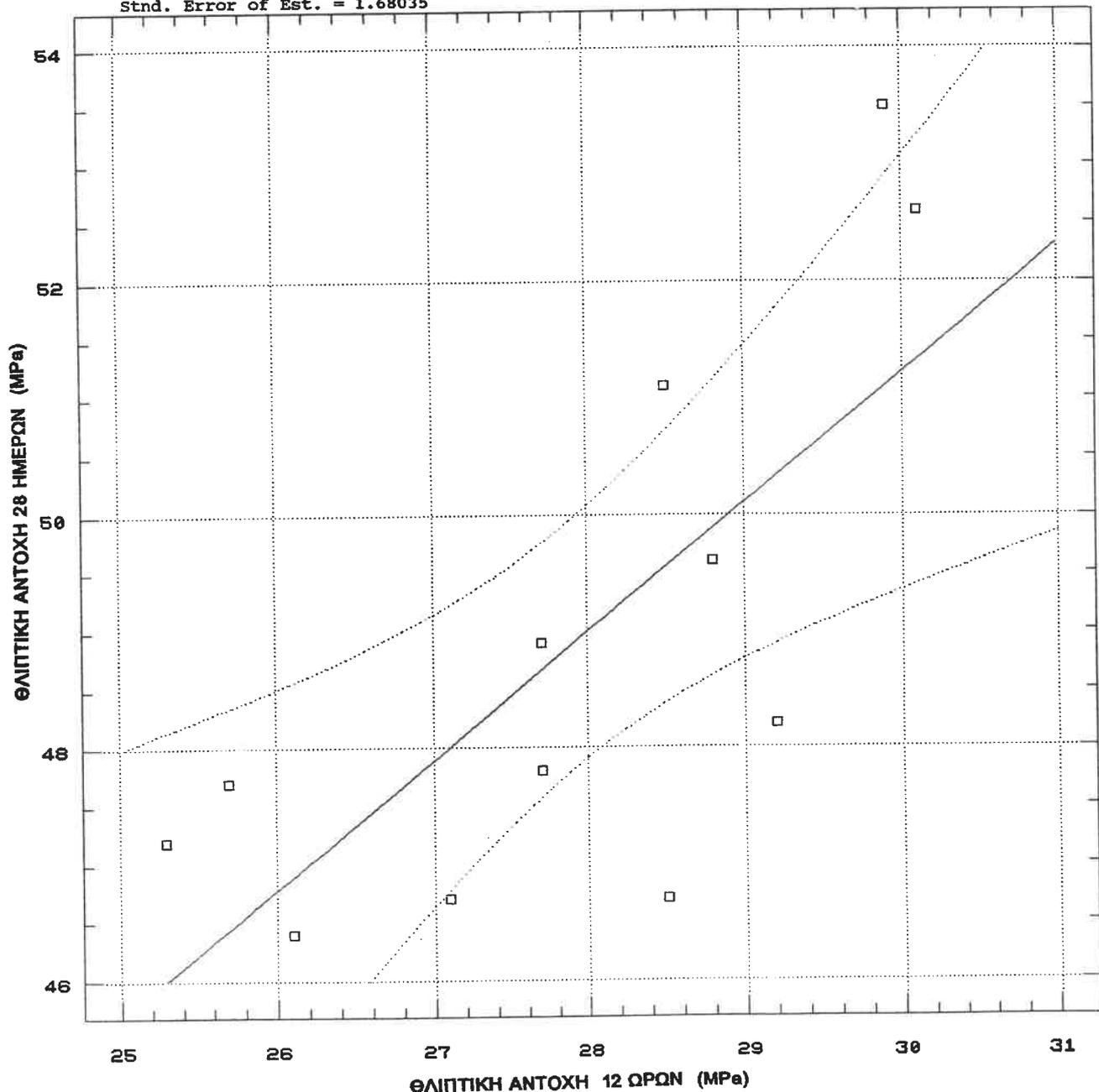
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	17.9779	8.92897	2.01344	.07176
Slope	1.10779	0.319753	3.4645	.00608

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	33.890840	1	33.890840	12.00278	.00608
Error	28.235826	10	2.823583		
Total (Corr.)	62.126667	11			

Correlation Coefficient = 0.738588
 Stnd. Error of Est. = 1.68035

R-squared = 54.55 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.27. Τσιμέντο τύπου Ι 45 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (εταιρεία Α - μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: I45A.f28d/I45A.f12h Independent variable: I45A.f12h

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	2.44295	0.320089	7.63208	.00002
Slope	-0.0246875	0.0114626	-2.15374	.05671

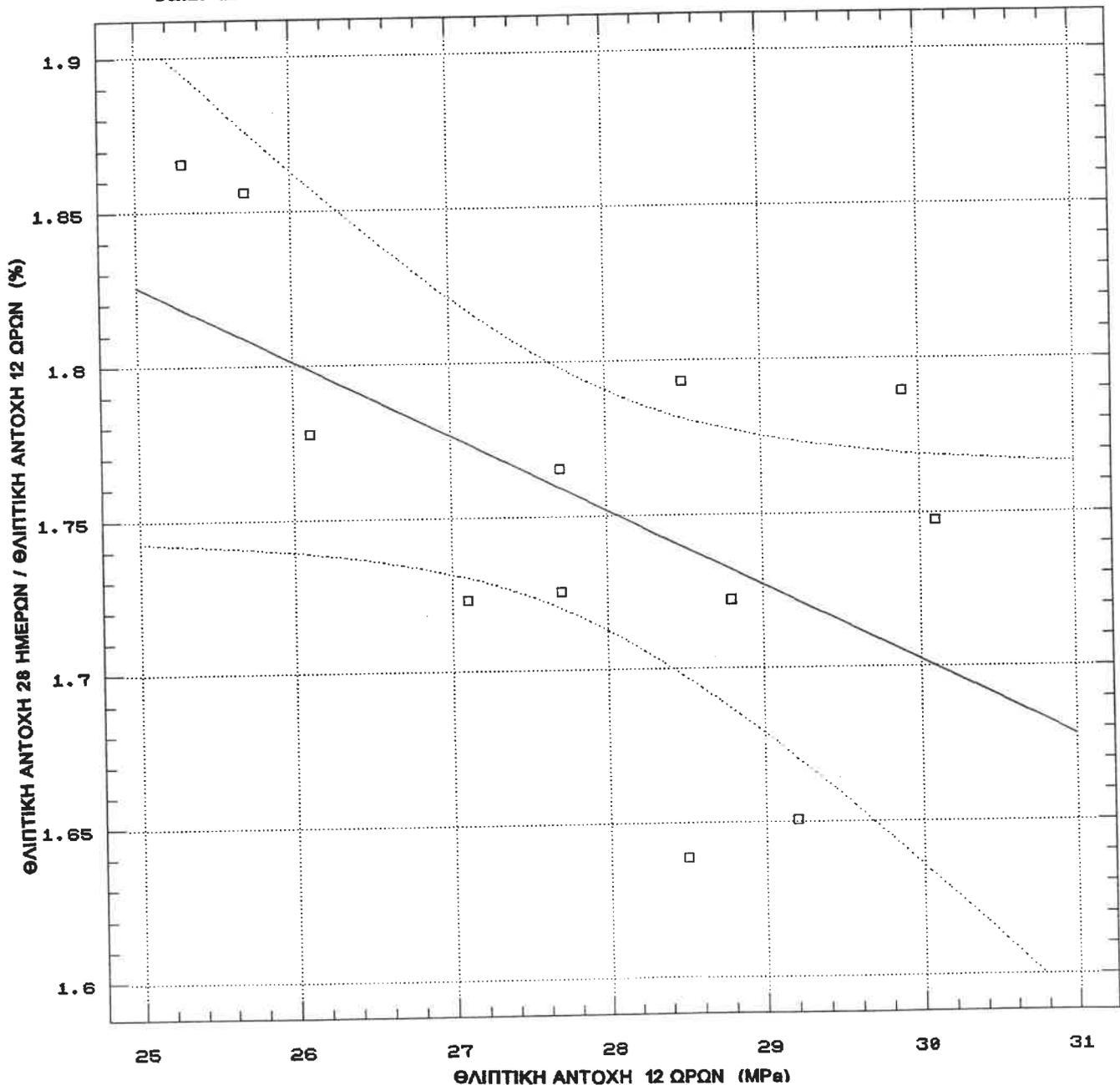
Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.0168316	1	.0168316	4.638588	.05671
Error	.0362861	10	.0036286		

Total (Corr.) .053118 11

Correlation Coefficient = -0.562916
Std. Error of Est. = 0.060238

R-squared = 31.69 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.29. Τσιμέντο τύπου Ι 45 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (εταιρεία Β - μεμονωμένα δοκίμια)

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

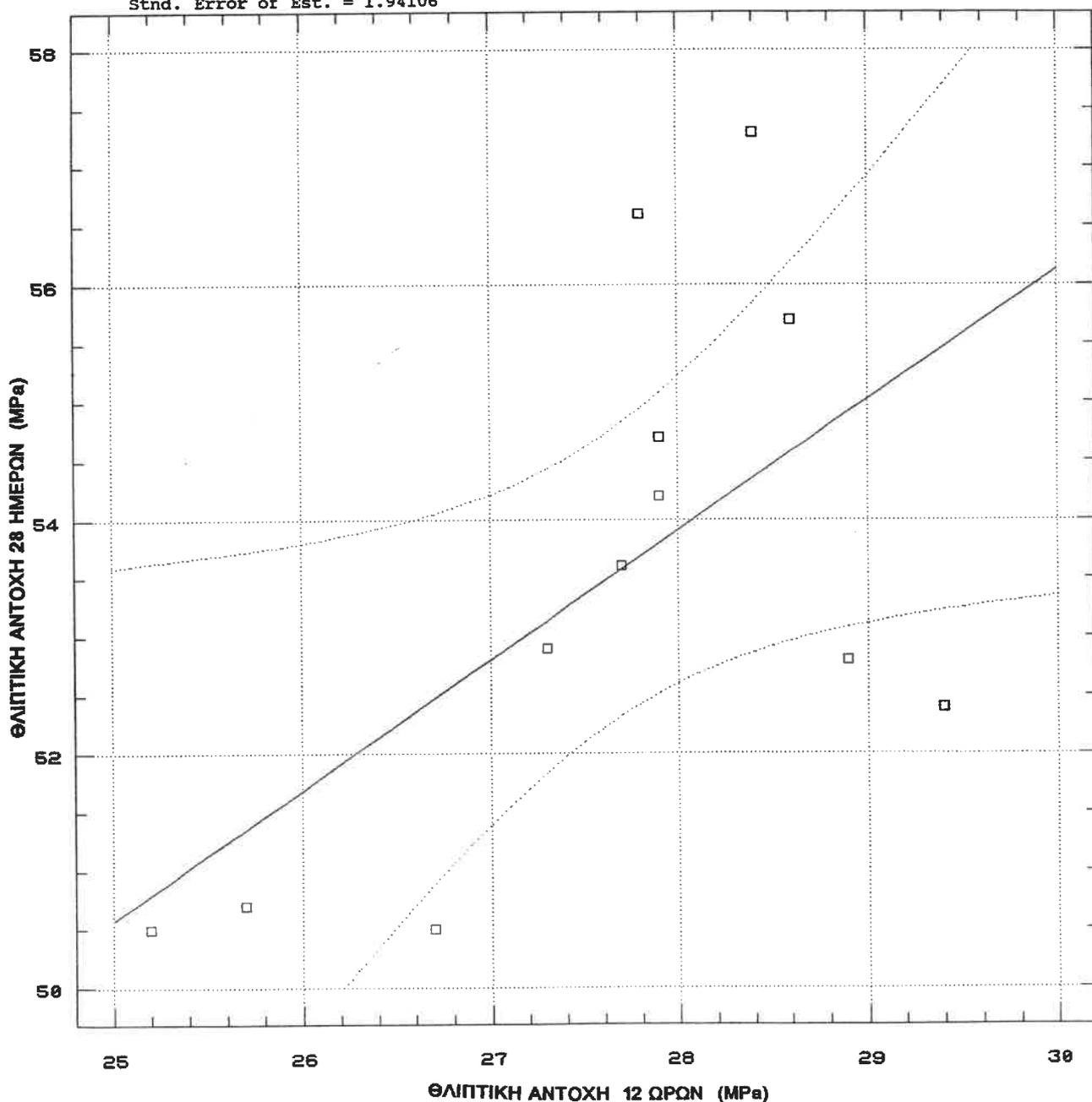
Dependent variable: I45B.f28d		Independent variable: I45B.f12h		
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	22.8067	12.9935	1.75524	.10975
Slope	1.11077	0.469914	2.36377	.03970

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	21.051854	1	21.051854	5.58741	.03970
Error	37.677313	10	3.767731		
Total (Corr.)	58.729167	11			

Correlation Coefficient = 0.598712
Std. Error of Est. = 1.94106

R-squared = 35.85 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.31. Τσιμέντο τύπου Ι 45 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (εταιρεία Β - μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: I45B.f28d/I45B.f12h Independent variable: I45B.f12h

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	2.75736	0.453252	6.0835	.00012
Slope	-0.0296645	0.0163921	-1.80969	.10045

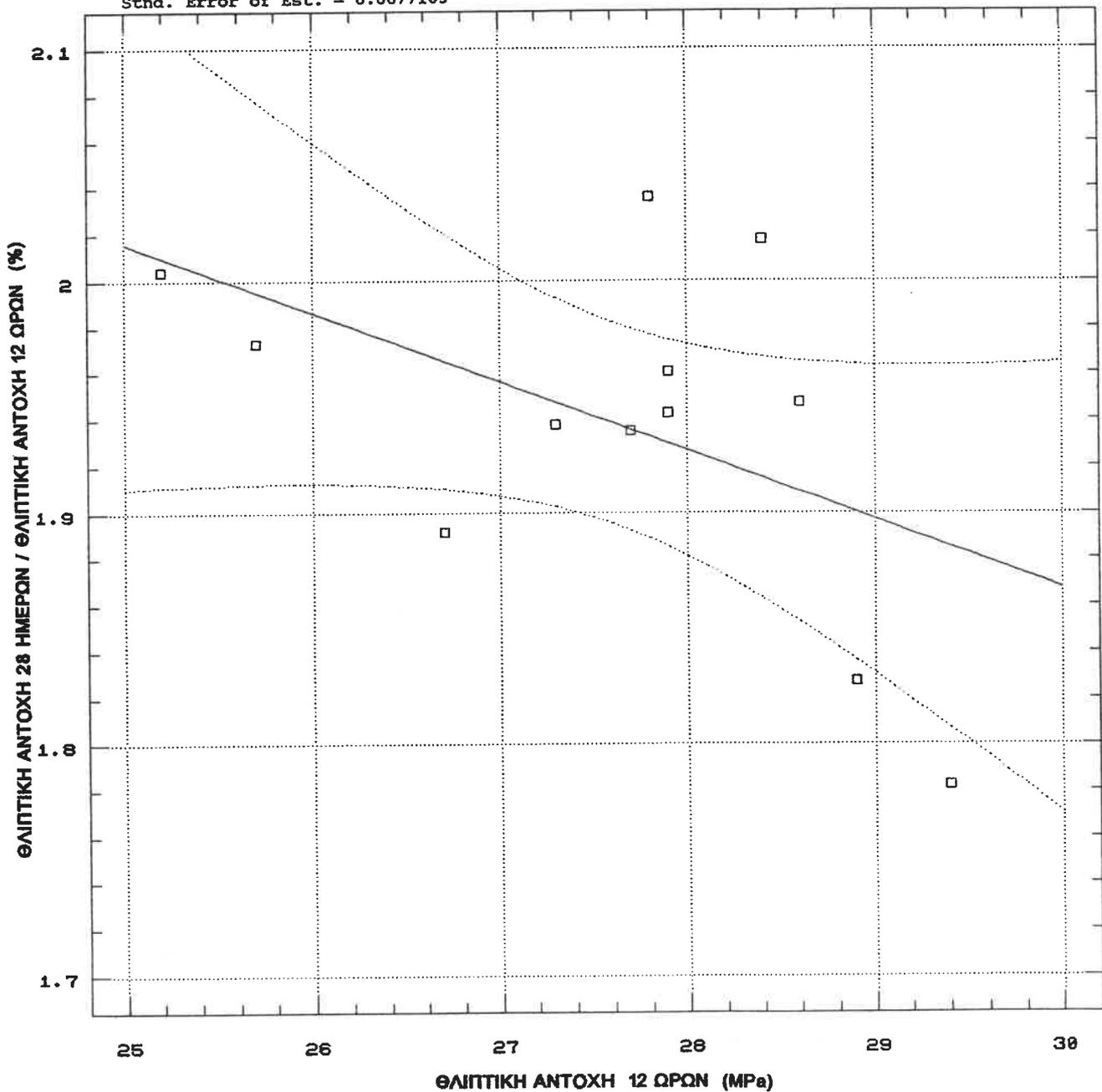
Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.0150147	1	.0150147	3.274980	.10045
Error	.0458468	10	.0045847		

Total (Corr.) .060862 11

Correlation Coefficient = -0.496692
Std. Error of Est. = 0.0677103

R-squared = 24.67 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.33. Τιμήντο τύπου I 45 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (εταιρεία D - μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: I45D.f28d

Independent variable: I45D.f12h

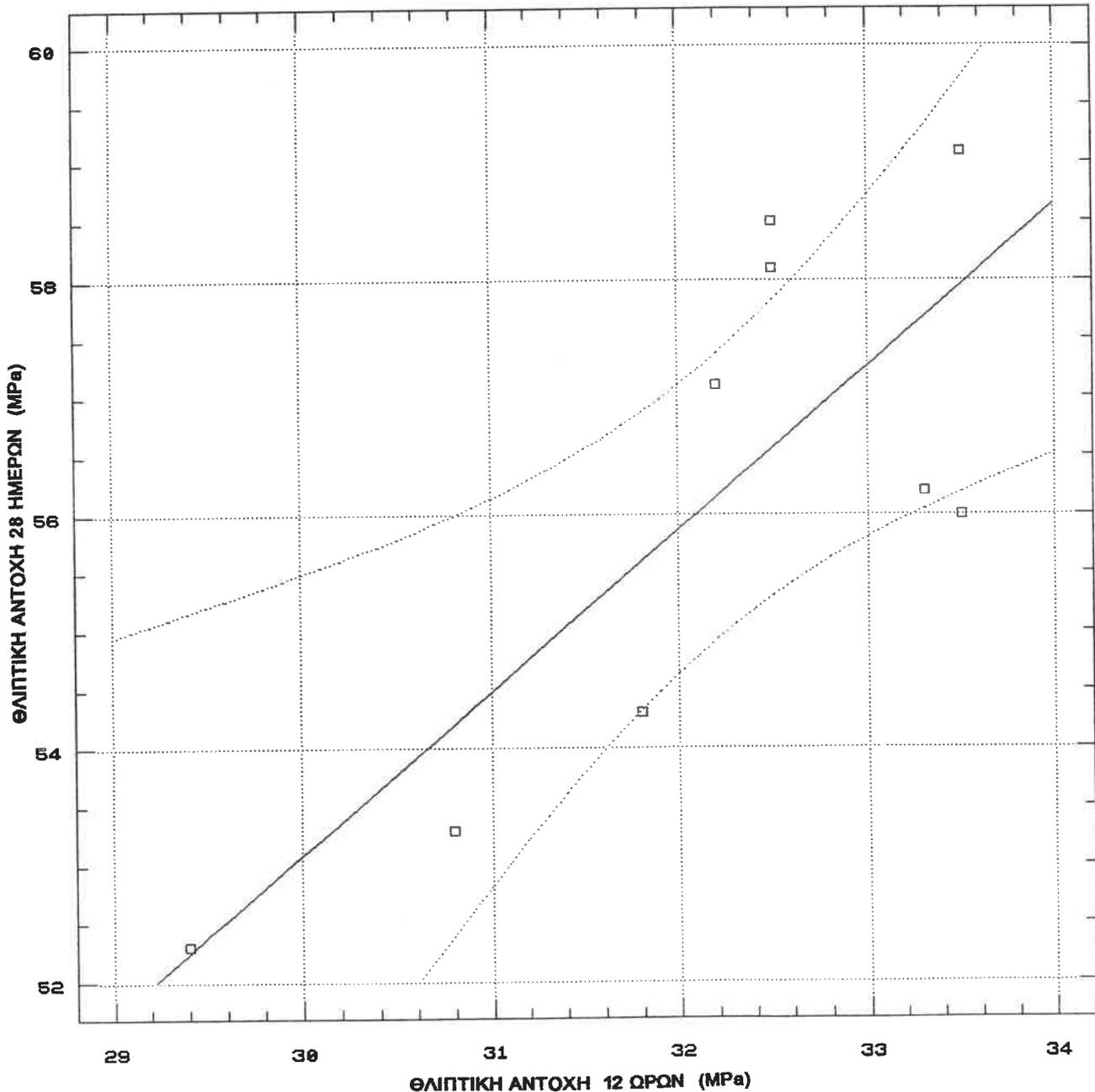
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	11.3464	13.0011	0.872726	.41175
Slope	1.3913	0.40386	3.44502	.01076

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	28.493913	1	28.493913	11.86816	.01076
Error	16.806087	7	2.400870		
Total (Corr.)	45.300000	8			

Correlation Coefficient = 0.793098
Std. Error of Est. = 1.54947

R-squared = 62.90 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.35. Τιμμένο τύπου I 45 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (εταιρεία D - μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: I45D.f28d/I45D.f12h Independent variable: I45D.f12h

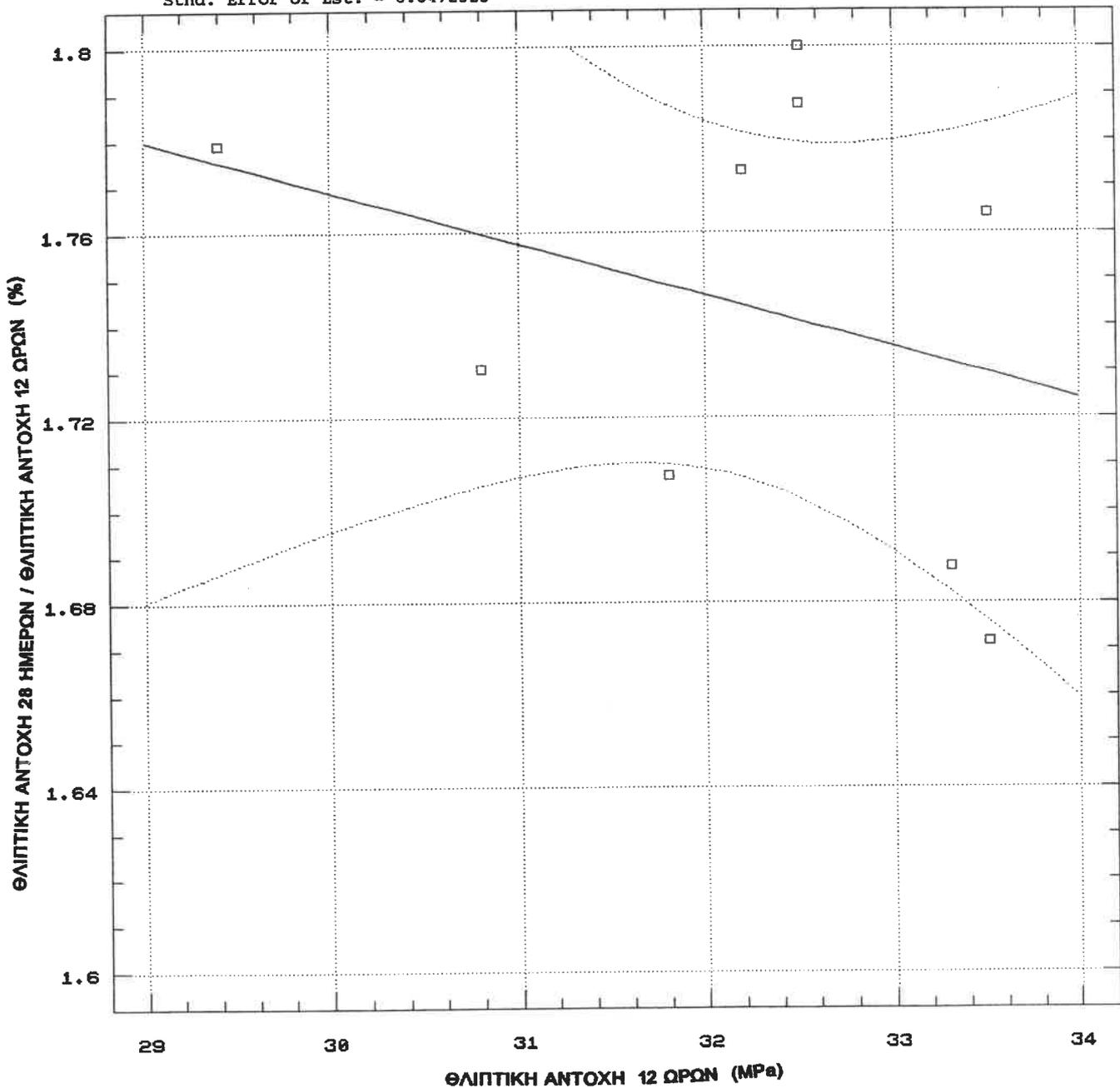
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	2.10295	0.396309	5.30635	.00112
Slope	-0.0111403	0.0123108	-0.904922	.39558

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.0018268	1	.0018268	.818883	.39558
Error	.0156162	7	.0022309		
Total (Corr.)	.0174430	8			

Correlation Coefficient = -0.323622
Std. Error of Est. = 0.0472323

R-squared = 10.47 percent



**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.10.:Τσιμέντο ΙΙ 35 - Θλιπτική αντοχή δοκιμών
(Εταιρεία Α)**

Α/Α	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MPa		
	12ωρών	24ωρών	28ημερών
1	22.1	28.7	44.4
2	22.3	29.3	44.4
3	23.1	29.2	42.8
4	20.2	27.1	43.7
5	19.6	26.7	45.7
6	19.8	27.5	45.6
7	18.6	26.7	40.2
8	18.1	25.7	40.9
9	18.7	26.8	40.5
10	18.5	26.3	40.7
11	19.1	25.1	38.8
12	18.8	26.0	39.5

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.11.:Τσιμέντο ΙΙ 35 - Θλιπτική αντοχή δοκιμών
(Εταιρεία Β)**

Α/Α	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ MPa		
	12ωρών	24ωρών	28ημερών
1	14.2	21.7	41.2
2	14.2	22.1	43.4
3	14.0	22.8	39.9
4	17.7	25.4	45.0
5	16.1	24.5	45.9
6	16.8	25.2	43.7
7	19.4	26.9	48.7
8	19.1	25.4	50.0
9	18.9	27.2	47.2
10	18.0	25.6	44.5
11	18.6	25.1	43.2
12	18.5	26.8	43.8

ΣΧΗΜΑ 6.2.37. Τσιμέντο τύπου II 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (εταιρεία Α - μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: II35A.f28d

Independent variable: II35A.f12h

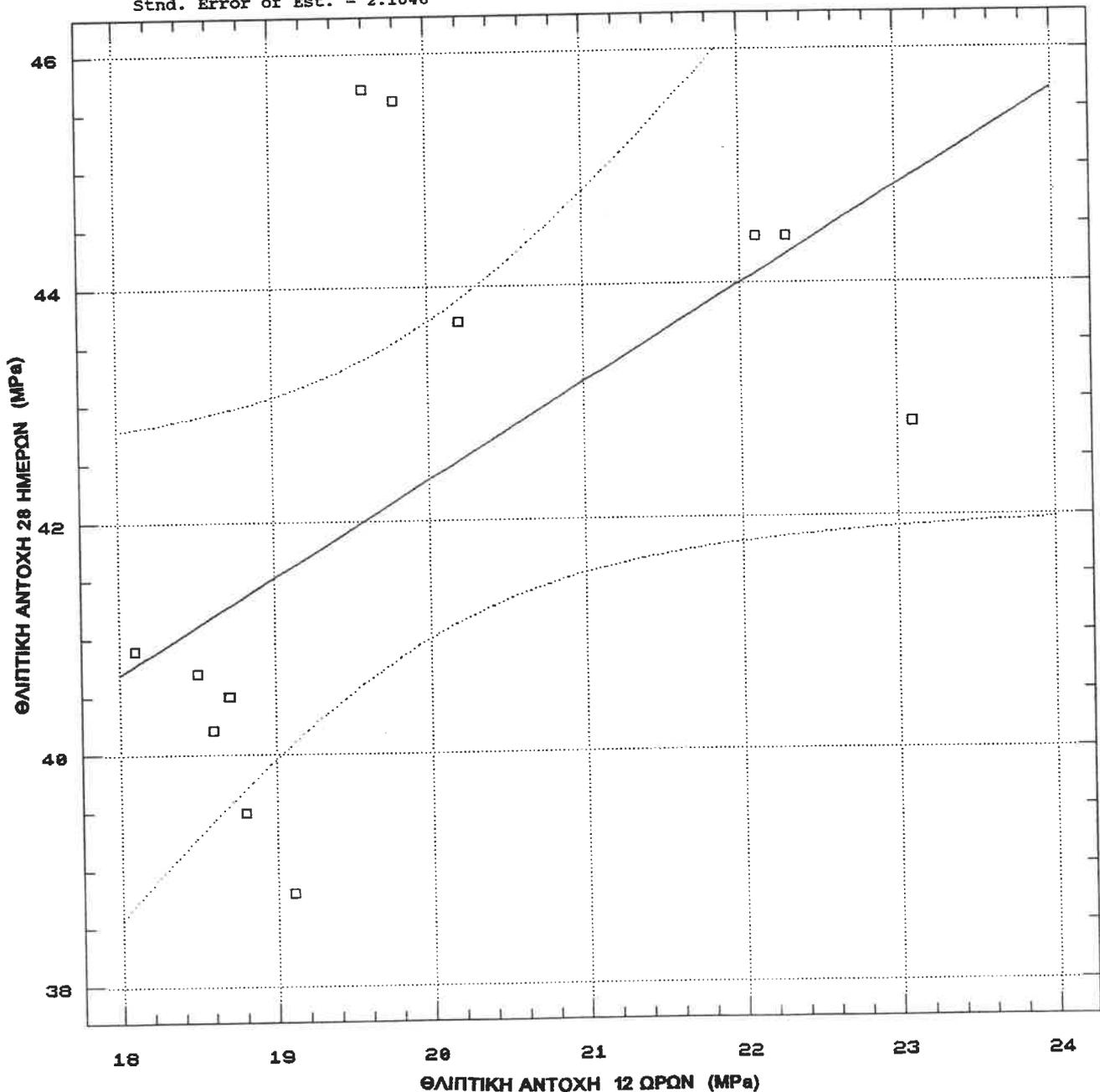
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	25.7684	7.52461	3.42456	.00650
Slope	0.82871	0.376729	2.19975	.05246

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	21.433190	1	21.433190	4.83890	.05246
Error	44.293476	10	4.429348		
Total (Corr.)	65.726667	11			

Correlation Coefficient = 0.571048
Std. Error of Est. = 2.1046

R-squared = 32.61 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.39. Τσιμέντο τύπου II 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (εταιρεία Α - μεμονωμένα δοκίμια)

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

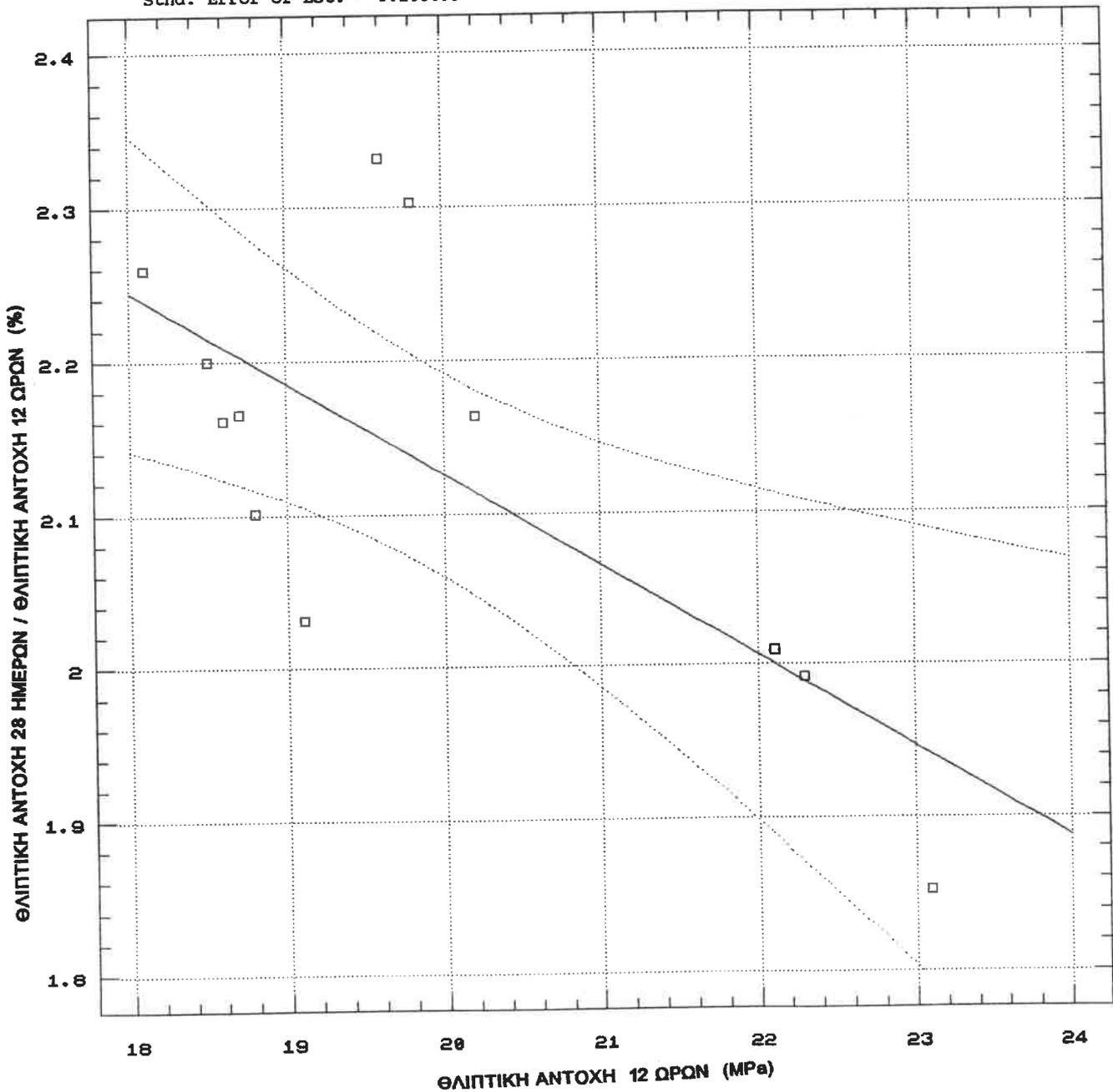
Dependent variable: II35A.f28d/II35A.f12		Independent variable: II35A.f12h		
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	3.31657	0.368613	8.99743	.00000
Slope	-0.0595591	0.018455	-3.22725	.00906

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.110708	1	.110708	10.41517	.00906
Error	.1062949	10	.0106295		
Total (Corr.)	.217003	11			

Correlation Coefficient = -0.714261
Std. Error of Est. = 0.103099

R-squared = 51.02 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.41. Τσιμέντο τύπου II 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (εταιρεία Β - μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: II35B.f28d Independent variable: II35B.f12h

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	26.3524	5.16306	5.10402	.00046
Slope	1.07188	0.299566	3.57812	.00503

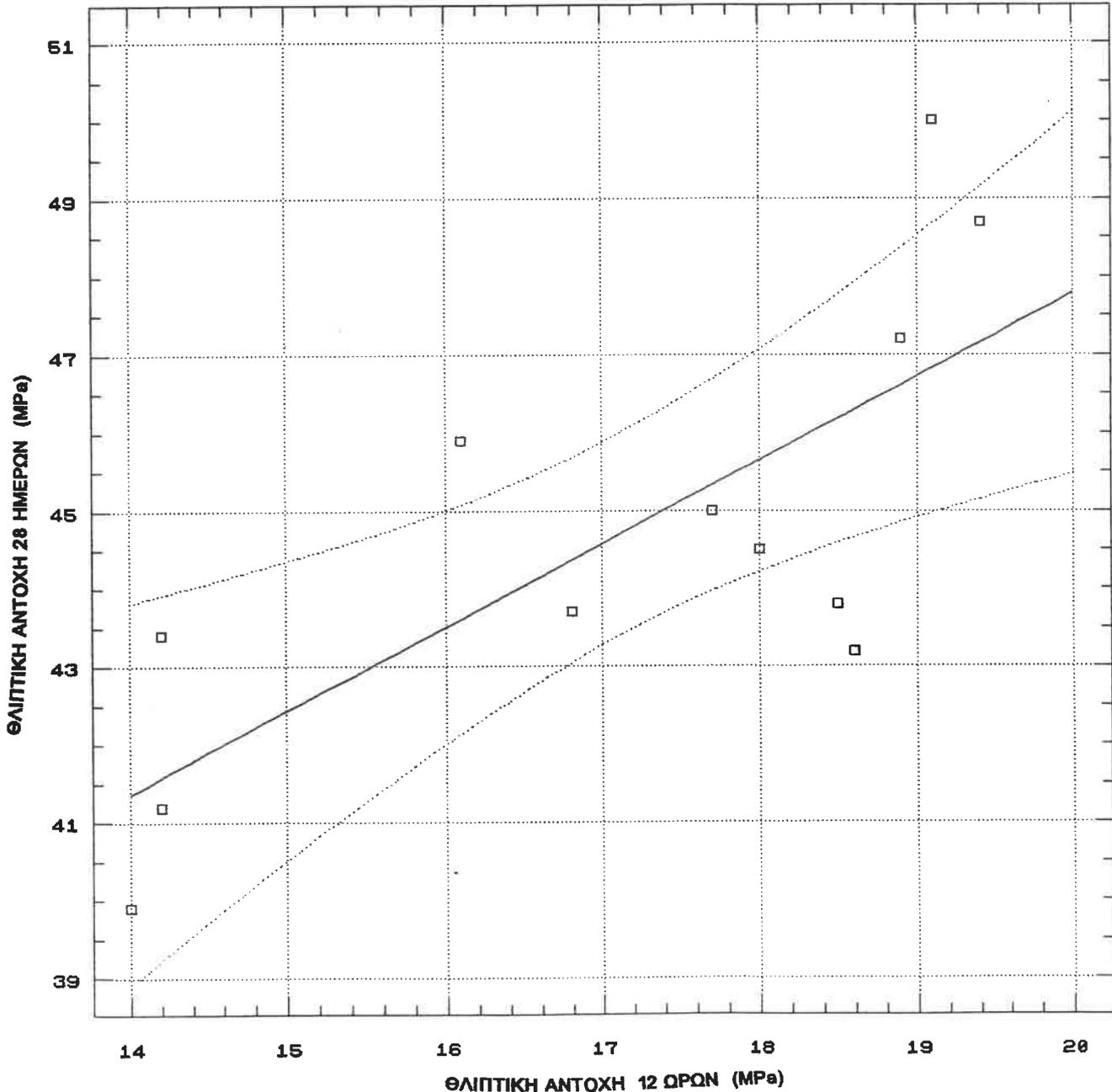
Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	52.187190	1	52.187190	12.80291	.00503
Error	40.761976	10	4.076198		

Total (Corr.) 92.949167 11

Correlation Coefficient = 0.749306
Std. Error of Est. = 2.01896

R-squared = 56.15 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.43. Τσιμέντο τύπου II 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (εταιρεία Β - μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: II35B.f28d/II35B.f12 Independent variable: II35B.f12h

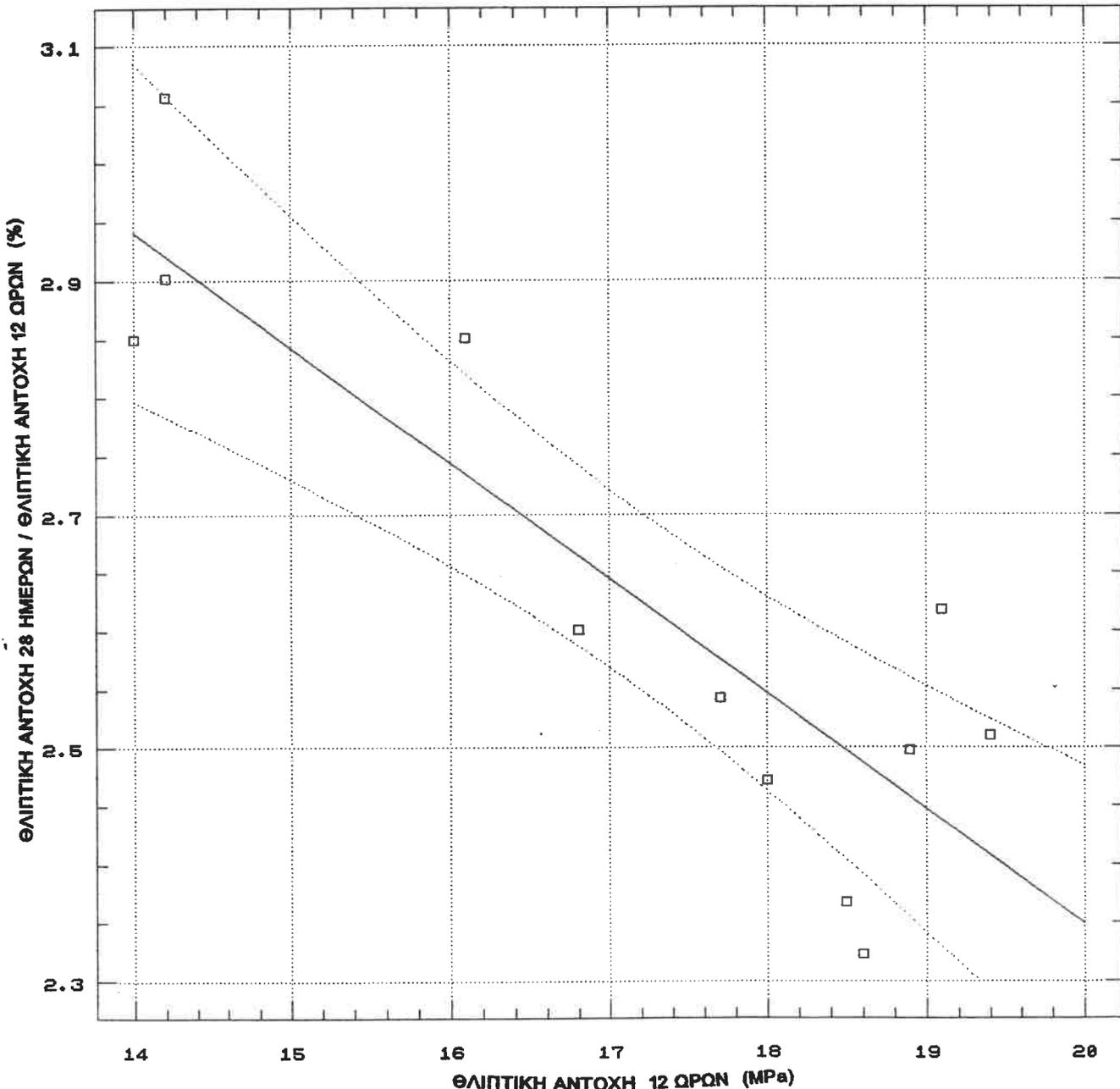
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	4.32156	0.302083	14.3059	.00000
Slope	-0.098631	0.0175271	-5.62733	.00022

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.441873	1	.441873	31.66680	.00022
Error	.1395383	10	.0139538		
Total (Corr.)	.581411	11			

Correlation Coefficient = -0.87178
Std. Error of Est. = 0.118126

R-squared = 76.00 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.45. Τιμέντο τύπου II 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (εταιρεία C - μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: II35C.f28d Independent variable: II35C.f12h

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	26	5.29704	4.90841	.00062
Slope	1.00962	0.253375	3.98468	.00258

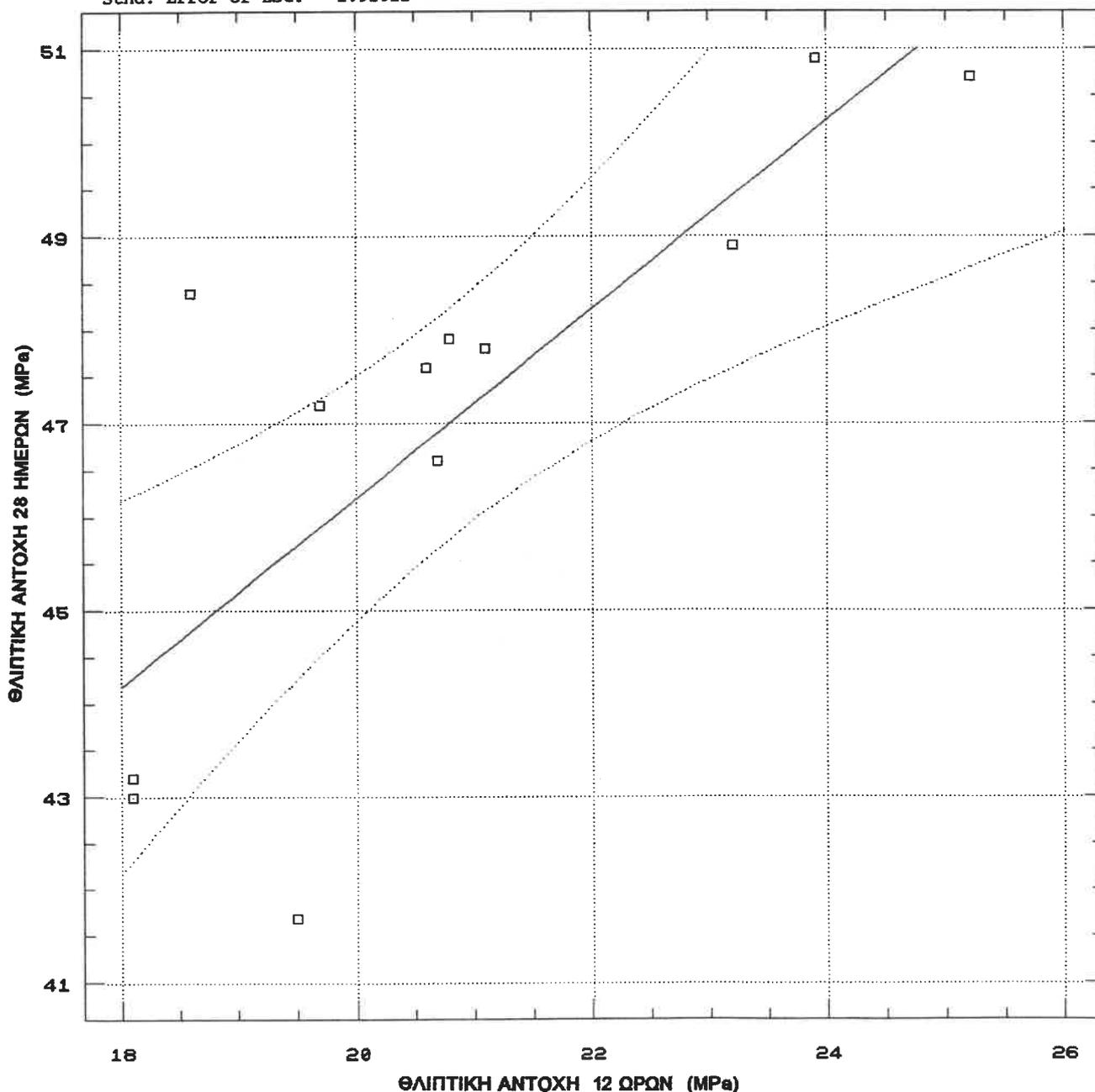
Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	58.294456	1	58.294456	15.87768	.00258
Error	36.714711	10	3.671471		

Total (Corr.) 95.009167 11

Correlation Coefficient = 0.783305
Std. Error of Est. = 1.91611

R-squared = 61.36 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.47. Τιμμένο τύπου II 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (εταιρεία C - μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: II35C.f28d/II35C.f12 Independent variable: II35C.f12h

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	3.46061	0.272785	12.6862	.00000
Slope	-0.0571096	0.0130482	-4.37682	.00138

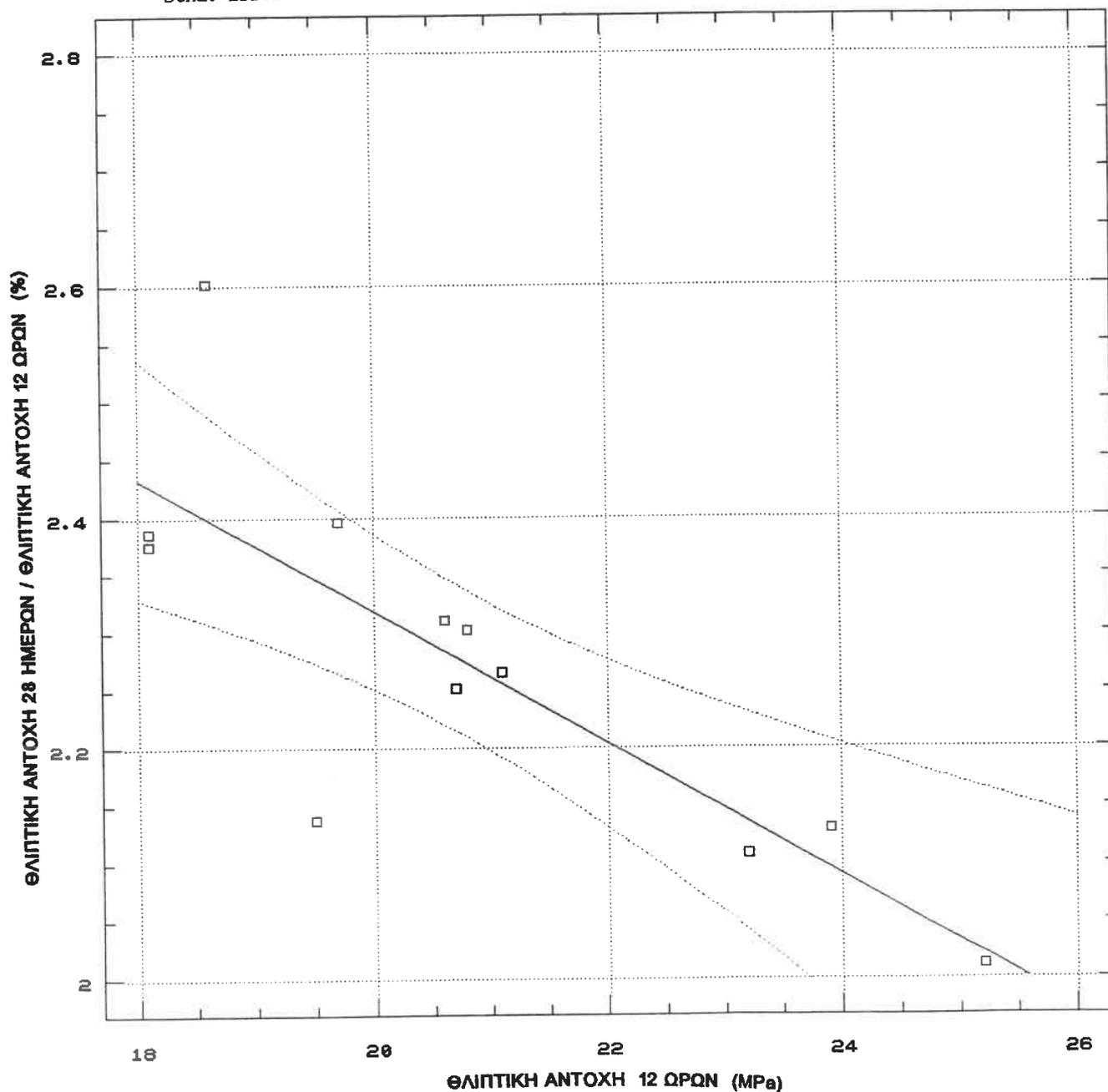
Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.186523	1	.186523	19.15656	.00138
Error	.0973675	10	.0097367		

Total (Corr.) .283890 11

Correlation Coefficient = -0.81057
Std. Error of Est. = 0.098675

R-squared = 65.70 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.49. Τσιμέντο τύπου ΙΙ 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (εταιρεία D - μεμονωμένα δοκίμια)

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

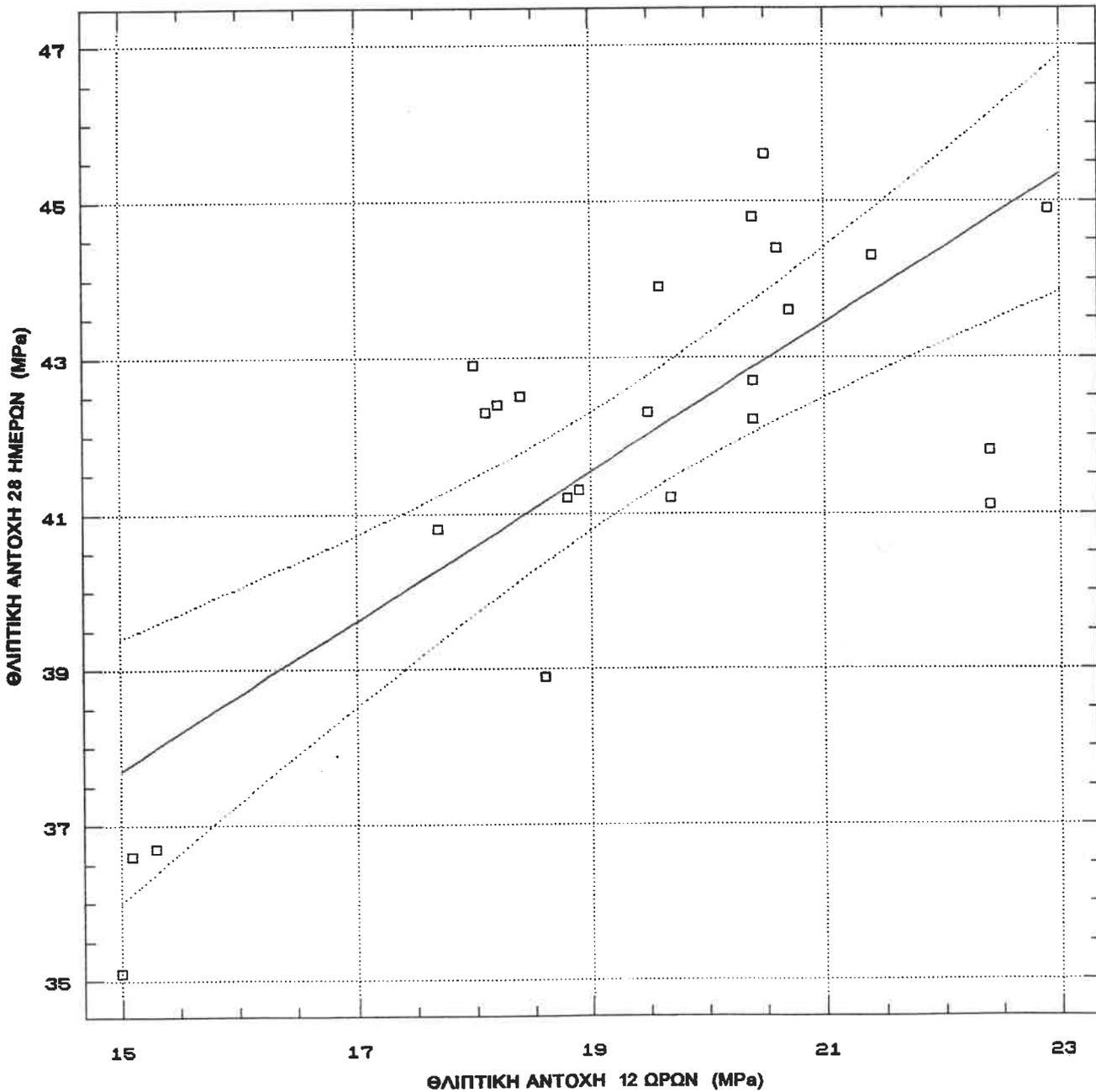
Dependent variable: II35D.f28d		Independent variable: II35D.f12h		
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	23.3473	3.32371	7.02449	.00000
Slope	0.957157	0.171271	5.58856	.00001

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	97.421851	1	97.421851	31.23205	.00001
Error	68.624399	22	3.119291		
Total (Corr.)	166.04625	23			

Correlation Coefficient = 0.765973
Std. Error of Est. = 1.76615

R-squared = 58.67 percent



ΣΧΗΜΑ 6.2.51. Τσιμέντο τύπου ΙΙ 35 : ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και λόγου αντοχών 28 ημερών / 12 ωρών (εταιρεία D - μεμονωμένα δοκίμια)

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

Dependent variable: II35D.f28d/II35D.f12 Independent variable: II35D.f12h

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	3.42162	0.150311	22.7635	.00000
Slope	-0.0642493	7.74555E-3	-8.29499	.00000

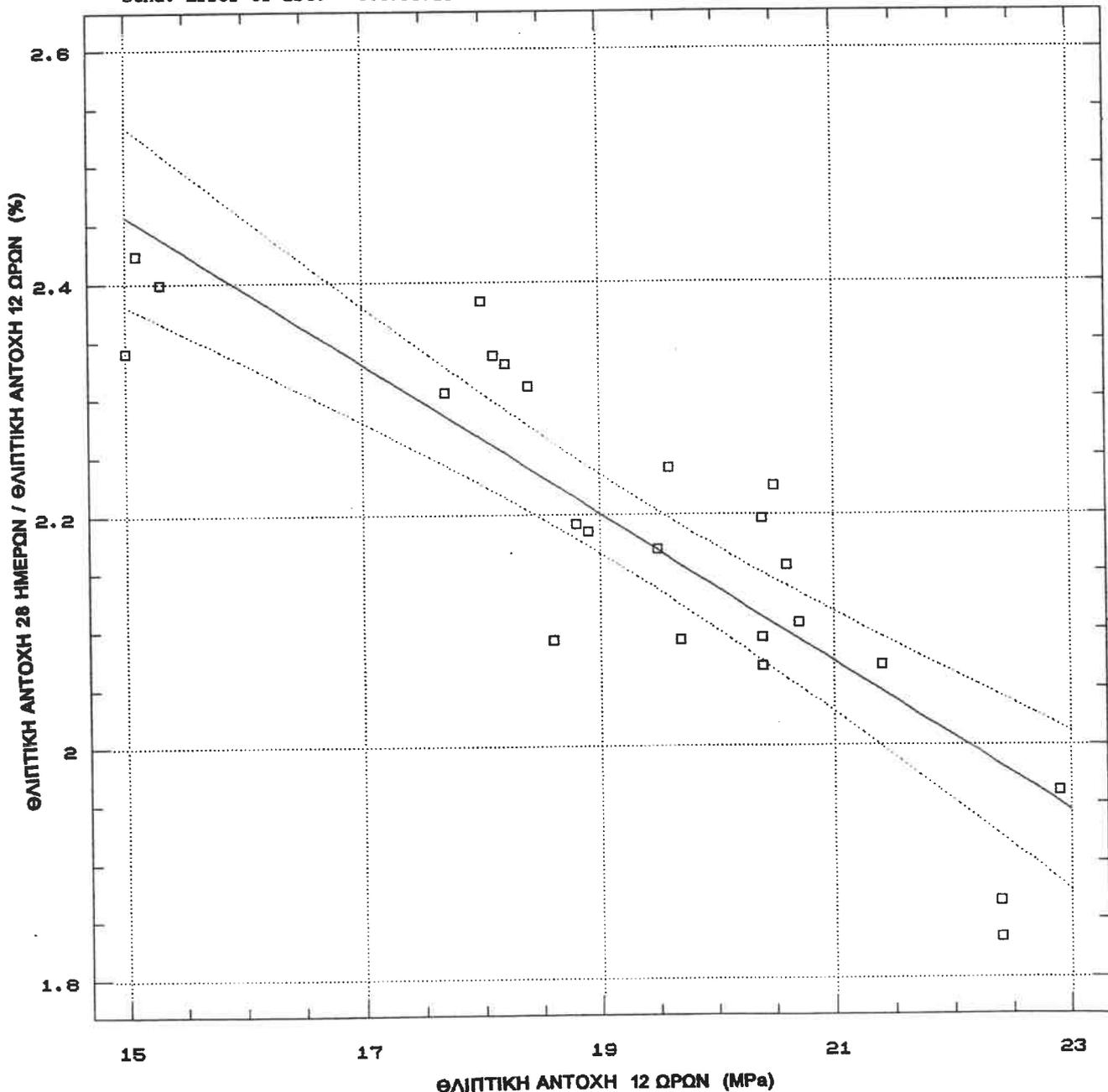
Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	.438961	1	.438961	68.80684	.00000
Error	.140352	22	.006380		

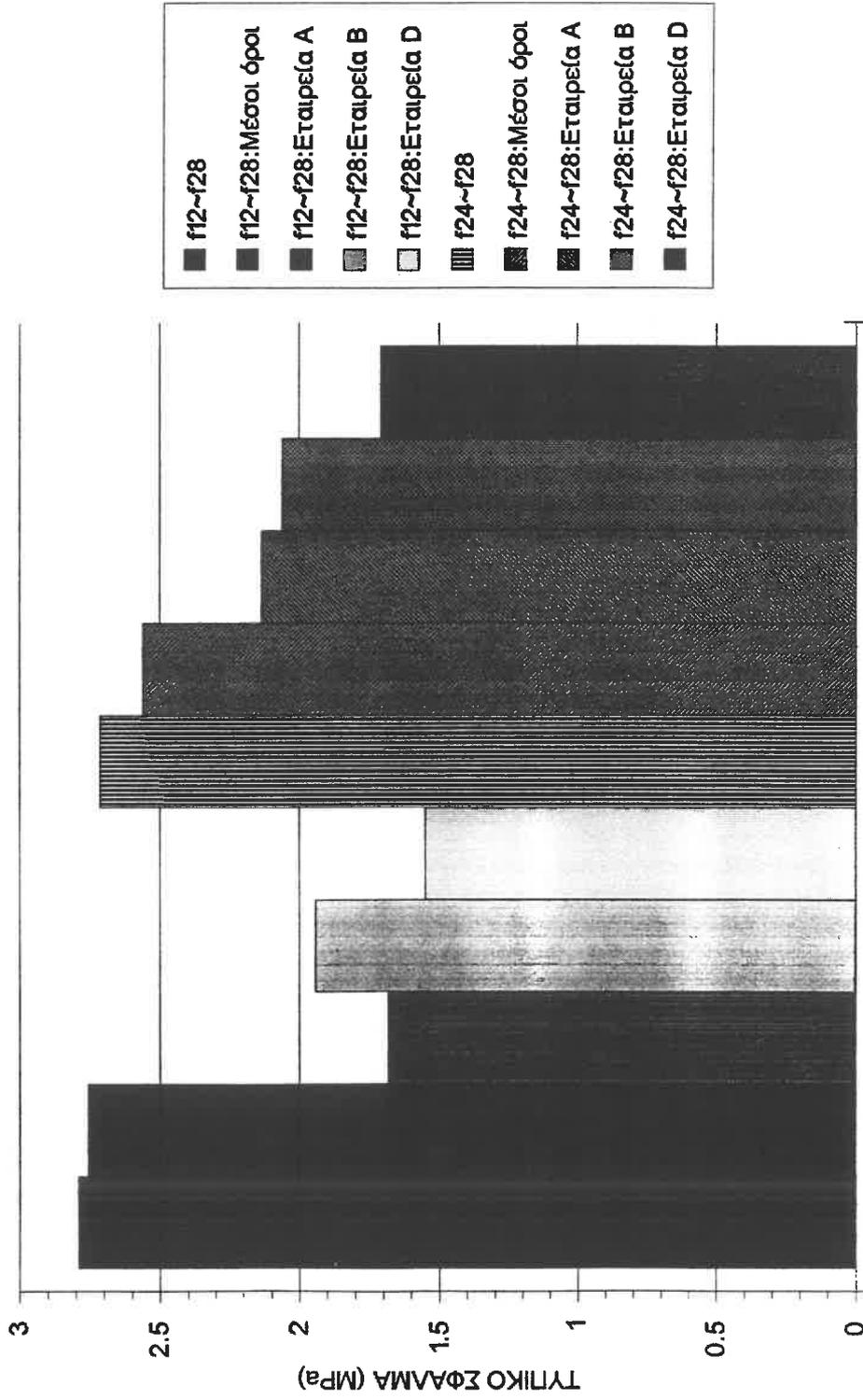
Total (Corr.) .579313 23

Correlation Coefficient = -0.870475
 Stnd. Error of Est. = 0.0798725

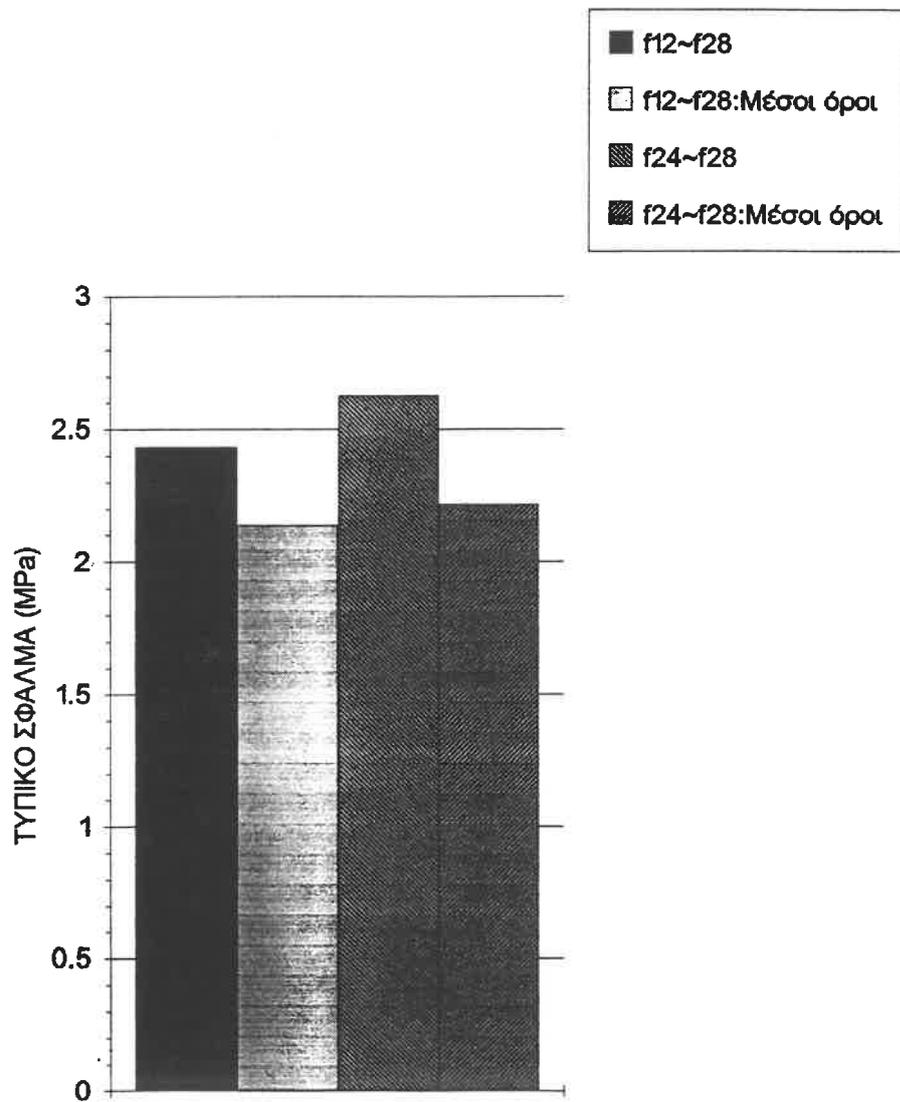
R-squared = 75.77 percent



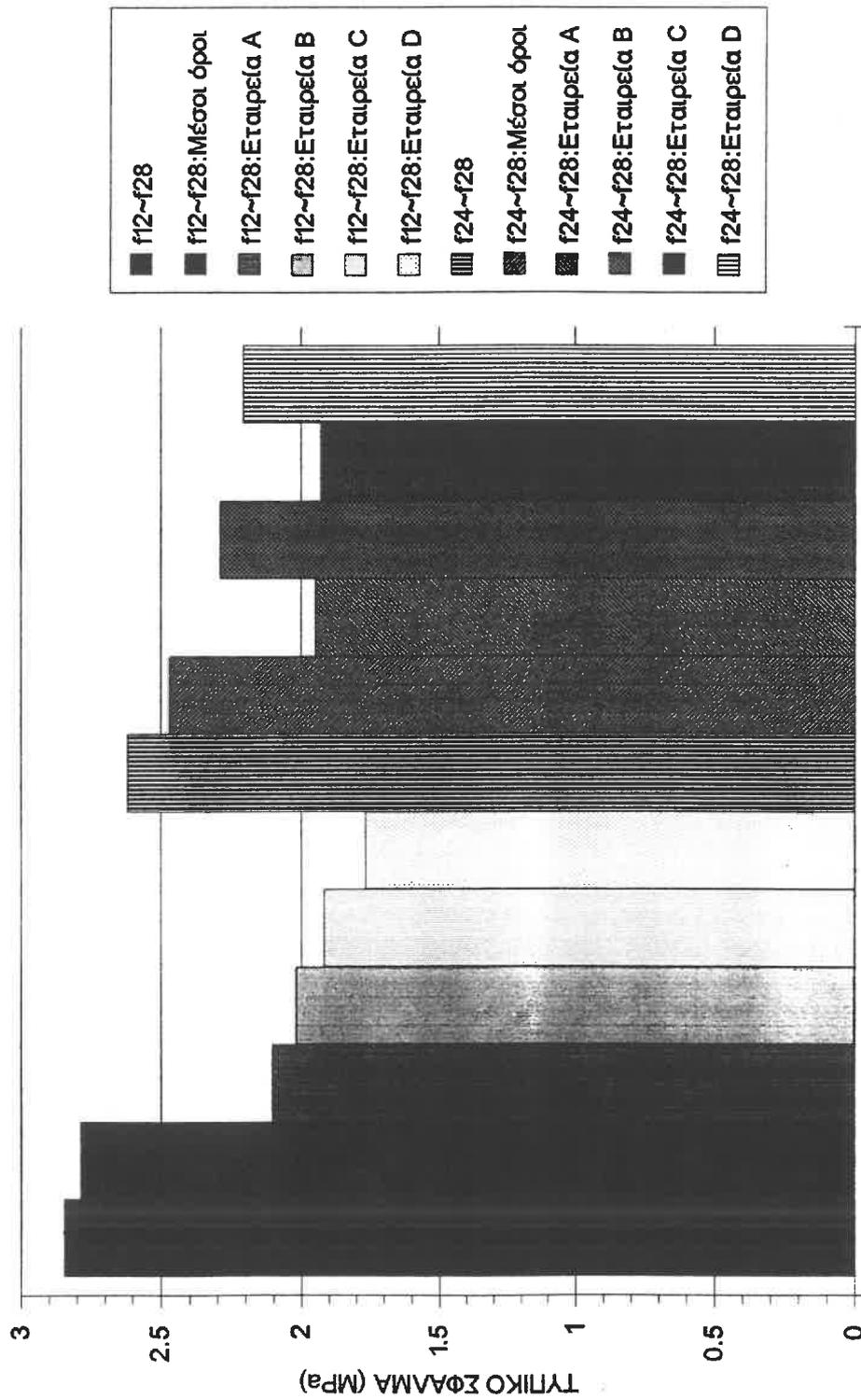
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.1.1 : Τσιμέντο Ι 45 - Μεταβολή τυπικού σφάλματος



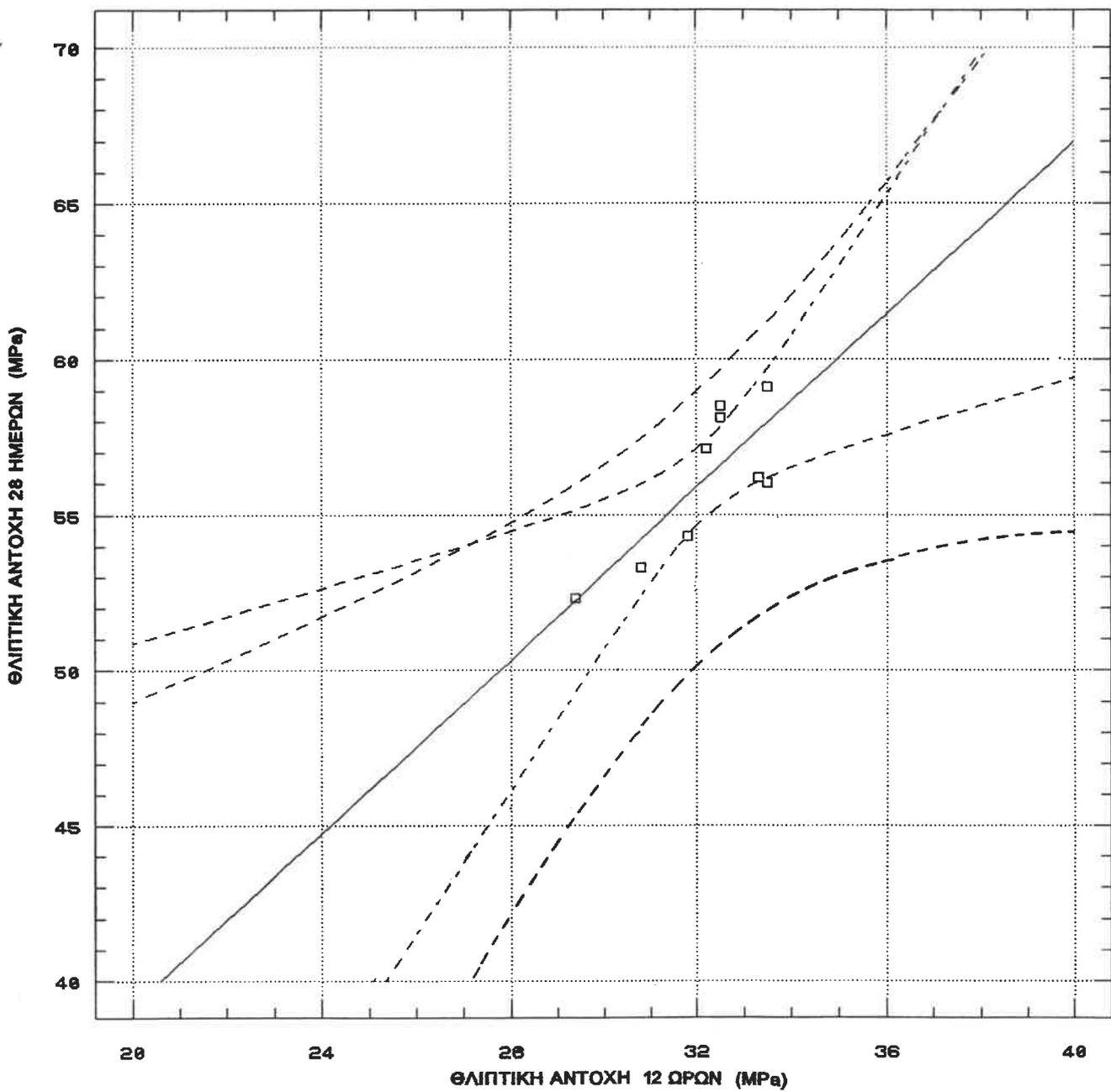
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.3. : Τσιμέντο Ι 55 - Μεταβολή τυπικού σφάλματος



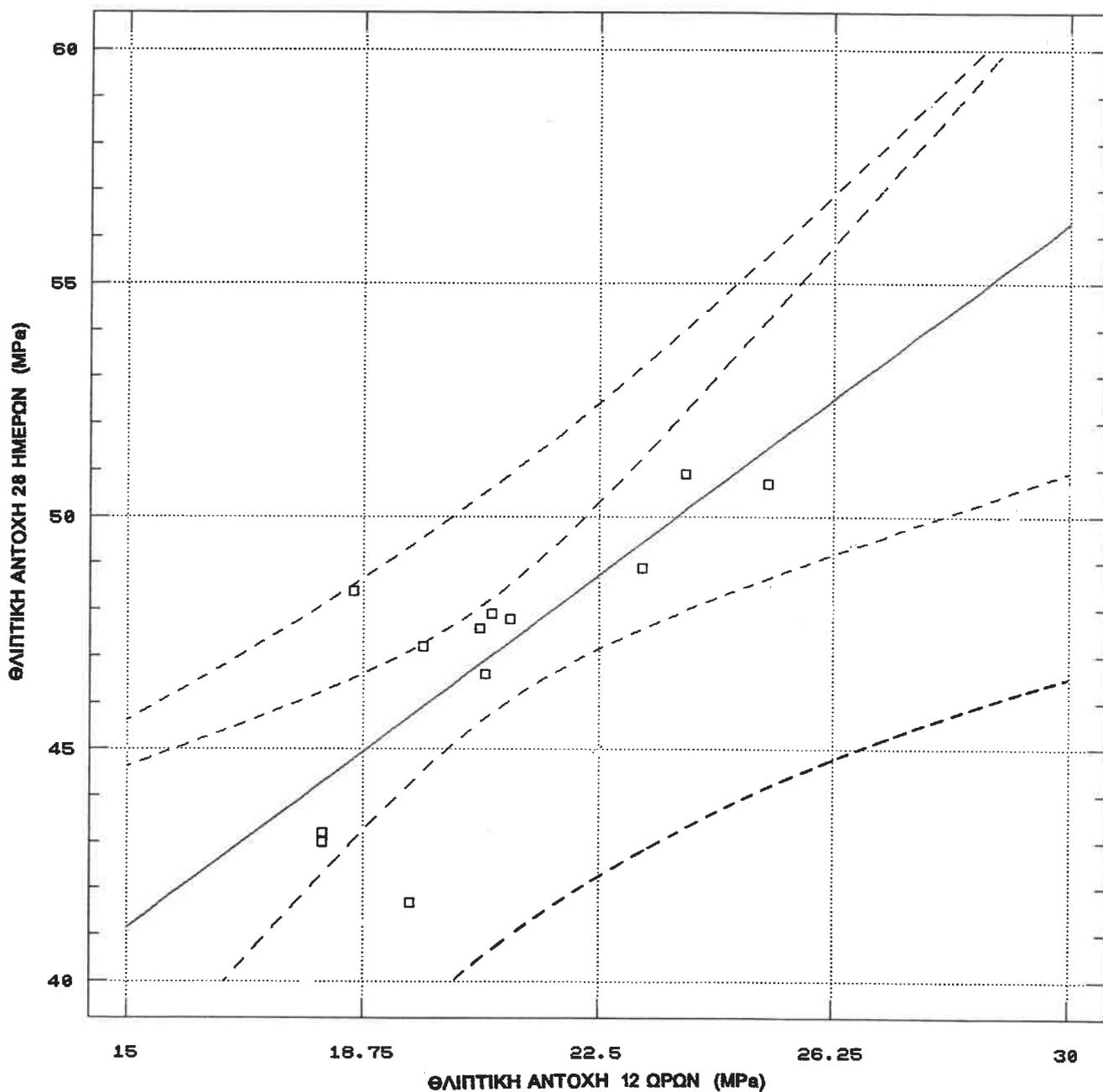
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.5. : Τσιμέντο ΙΙ 35 - Μεταβολή τυπικού σφάλματος



ΣΧΗΜΑ 6.2.53. Τσιμέντο τύπου I 45 D : Ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (μεμονωμένα δοκίμια), όπου παρουσιάζεται και η περιοχή πρόβλεψης των δοκιμών (άνω όριο 90%, κάτω όριο 99%)



ΣΧΗΜΑ 6.2.55. Τσιμέντο τύπου II 35 C : Ευθεία παλινδρόμησης αντοχών 12 ωρών και 28 ημερών (μεμονωμένα δοκίμια), όπου παρουσιάζεται και η περιοχή πρόβλεψης των δοκιμών (άνω όριο 90%, κάτω όριο 99%)

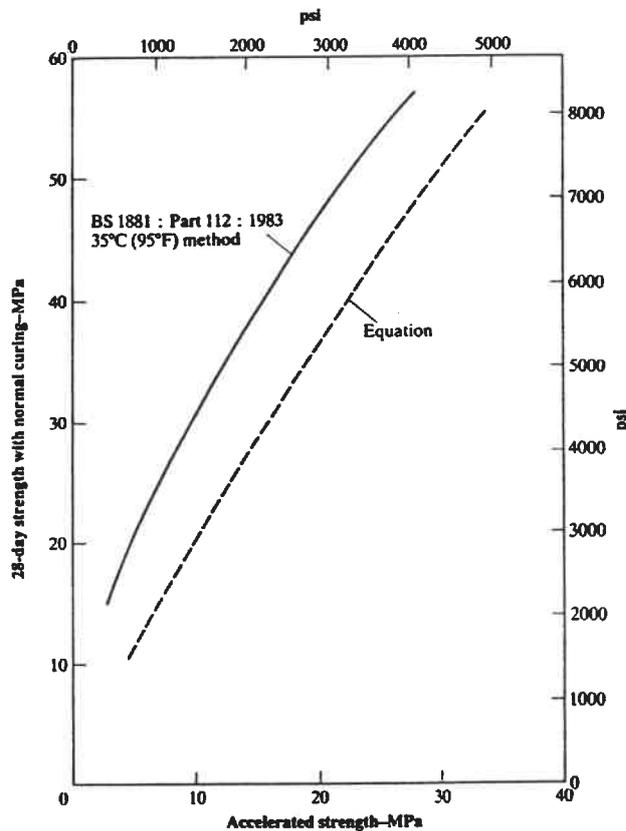


6.2.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων με αντίστοιχα άλλων ερευνητών

Στο σχήμα 6.2.1. που ακολουθεί παρουσιάζεται γραφικά η συσχέτιση μεταξύ της αντοχής δοκιμών που υποβλήθηκαν σε επιταχυνόμενη ωρίμανση και της αντοχής δοκιμών ηλικίας 28 ημερών που συντηρήθηκαν κανονικά από δύο διαφορετικές έρευνες [14].

Η πρώτη αναφέρεται σε πείραμα που έγινε σύμφωνα με το πρότυπο Bs 1881: Part 112 : 1983 (μέθοδος 35 °C, κυβικά δοκίμια, 24 ώρες συντήρηση στο ζεστό νερό). Η δεύτερη αναφέρεται σε πείραμα που έγινε στον Καναδά, σε κυλινδρικά δοκίμια, και που έδωσε την ακόλουθη εξίσωση συσχέτισης μεταξύ της αντοχής 28 ημερών F_{28} και της επιταχυνόμενης αντοχής F_a :

$$F_{28} = (180 \times F_a) / (F_a + 80) \quad (\text{σε MPa})$$

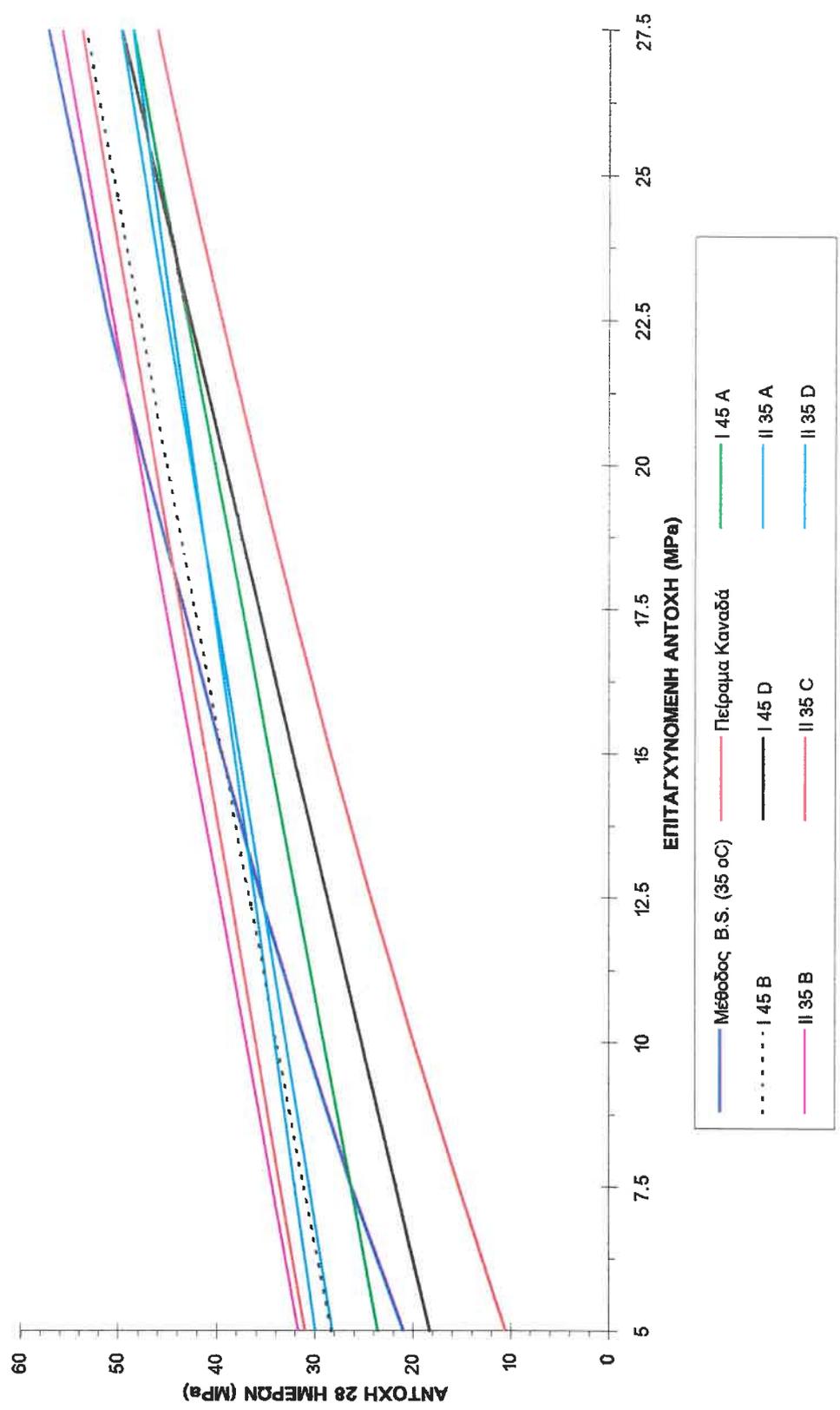


Σχήμα 6.2.1. Τυπικές σχέσεις μεταξύ αντοχών που προκύπτουν από επιταχυνόμενη ωρίμανση και από κανονική συντήρηση 28 ημερών

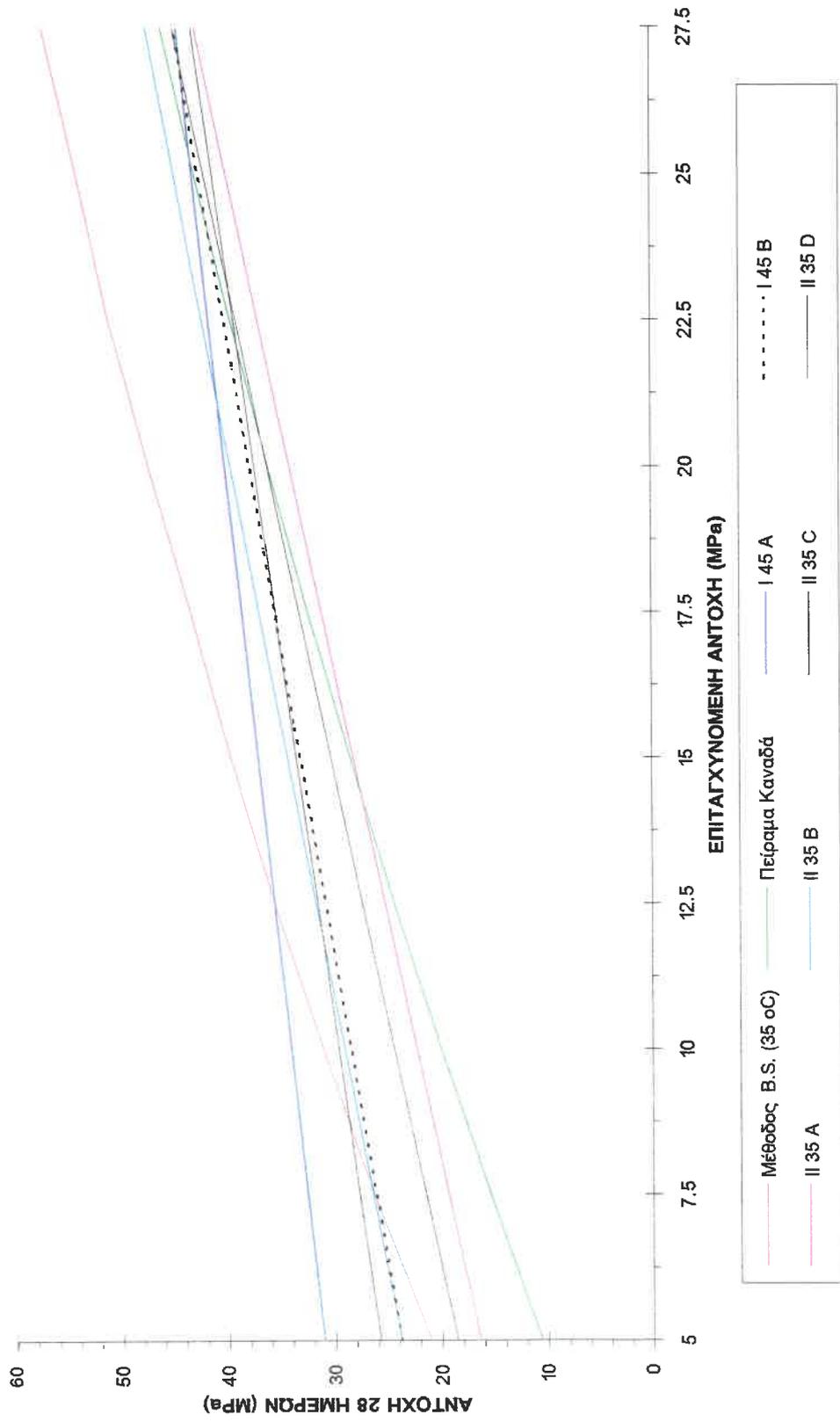
Στα διαγράμματα 6.2.7. και 6.2.8. παρουσιάζονται οι πιο πάνω συσχετίσεις καθώς και οι εξισώσεις που προέκυψαν από την δική μας ανάλυση για διάφορους τύπους τσιμέντου και ανά εταιρεία, για αντοχή 12 ωρών και 24 ωρών αντίστοιχα.

Τα διαγράμματα αυτά δεν μας παράχουν την δυνατότητα να κάνουμε κάποια εκτενή σχόλια, για την συσχέτιση μεταξύ τους, παρά μόνο ίσως ότι

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.7. : Σύγκριση ευθειών παλινδρόμησης (12ωρών) με αντίστοιχες άλλων ερευνητών [13]



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.8. : Σύγκριση ευθειών παλινδρόμισης (24 ωρών) με αντίστοιχες άλλων ερευνητών [13]



6.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα στοιχεία της επεξεργασίας που προηγήθηκε, μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει μια σαφής συσχέτιση μεταξύ των αντοχών δοκιμίων που υποβάλλονται σε επιταχυνόμενη ωρίμανση και των αντοχών δοκιμίων 28 ημερών που συντηρούνται κανονικά. Παρατηρείται μάλιστα ότι η συσχέτιση των δοκιμίων 12 ωρών είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των 24 ωρών. Το τελευταίο επιβεβαιώνεται και από άλλες αντίστοιχες μελέτες καθώς και σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές .[13].

Επίσης από τα σχήματα 6.2.53 ως 6.2.56 προέκυψε ότι οι συσχετίσεις που έγιναν παρέχουν μια σχετικά καλύτερη ακρίβεια, μειώνοντας το εύρος διακύμανσης των αντοχών των μεμονωμένων δοκιμίων (διαστήματα εμπιστοσύνης) κατά περίπου 7 MPa, έναντι των αντιστοιχών του Κανονισμού Τσιμέντου. Η ακρίβεια αυτή θα μπορούσε να βελτιωθεί αν τα δείγματα τσιμέντου που χρησιμοποιούνται, προέρχονται από την ίδια και μόνο πηγή δηλαδή από ένα συγκεκριμένο εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου.

Το ενδιαφέρον που παρουσιάζει η μέθοδος και τα εξαγόμενα συμπεράσματά της μας ωθεί να συστήσουμε την περαιτέρω διερεύνηση της μεθόδου. Καλό θα ήταν η διενέργεια αντίστοιχων πειραματικών μετρήσεων με κυβικά δοκίμια ακμής 10 cm ή 15 cm μιας και η διασπορά των αποτελεσμάτων (αντοχής σε θλίψη) είναι μικρότερη σ' αυτά από ότι στα κυβικά δοκίμια 7 cm. Επίσης θα μπορούσε να εφαρμοστεί η μέθοδος με διαφορετική θερμοκρασία συντήρησης ή διαφορετικό χρόνο συντήρησης. Είναι πιθανό η βέλτιστη θερμοκρασία και χρόνος συντήρησης ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου.

Τέλος καλό θα είναι να συνδυαστεί η μέθοδος της επιταχυνόμενης ωρίμανσης με μεθόδους μη καταστροφικές (μέτρηση υπερήχων) μήπως και ο συνδυασμός των δύο μας δώσει καλύτερη ακρίβεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

α. Πρότυπα - Κανονισμοί

1. "Κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος", Φ.Ε.Κ. 266/8/9-5-85
2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΚ - 303 : "Παρασκευή και συντήρηση δοκιμίων σκυροδέματος", 7/1985
3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΚ - 304 : "Μέθοδος προσδιορισμού αντοχής σε θλίψη δοκιμίων σκυροδέματος", 6/1986
4. ASTM C 192 - 90a : "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory"
5. ASTM C 685 - 94 : "Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens"
6. ASTM C 39 - 94 : "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens"
7. BS 1881 : Part 112 : "Methods of accelerated curing of test Cubes"

β. Βιβλία - Άρθρα - Αναφορές

8. Χ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ : "Τεχνολογία του σκυροδέματος", Β' Έκδοση
9. Σ. ΚΟΛΙΑ - Μ. ΚΑΤΣΑΚΟΥ : "Πρόχειρες σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων - Ειδικά κεφάλαια οδοστρωμάτων"
10. Σ. ΚΟΛΙΑ : "Εισαγωγή στην στατιστική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εδαφομηχανικής στην οδοποιΐα", Ανάπτυπο από το ΔΕΛΤΙΟ ΚΕΔΕ Υπουργείου Δημοσίων Έργων Τεύχος 3 - 4 / 1980
11. ACI 214. 1R-81 : "Use of Accelerated Strength Testing", Reported by ACI Committee 214
12. G. CHANVILLARD ET AL. : "Evaluation of the Statistical Singificance of a Regression and Selection of the Best Regression Using the Coefficient of Determination R^2 "
13. D.F.ORCHARD : "Concrete Technology" Volume 2, Fourth edition.
14. A.M.NEVILLE & J.J.BROOKS : "Concrete Tecnology", Updated edition.

