



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Έμμεσες και Άμεσες Δοκιμές Προσδιορισμού Αντοχής Σκυροδέματος Προδιαγεγραμμένης Σύνθεσης και Κατηγορίας

Νικόλας Χαραλαμπίδης

Σύνθεση Εξεταστικής Επιτροπής:

Δρ. Γεώργιος Ξηρουδάκης Επικ.καθηγητής (Επιβλέπων)

Δρ. Εμμανουήλ Στειακάκης Αναπληρωτής Καθηγητής

Δρ. Λιόλιος Παντελής ΕΔΙΠ

Μάρτιος, 2025

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Η έγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το Πολυτεχνείο Κρήτης, δεν σημαίνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, άρθρο 202)

COPYRIGHT © 2024

"Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης".

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, εκπονήθηκε στα πλαίσια των σπουδών για απόκτηση Πτυχίου του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Σκοπός της, η παρουσίαση και σύγκριση των σημαντικότερων καταστροφικών και μη καταστροφικών μεθόδων για τον έλεγχο της ποιότητας του σκληρυμένου σκυροδέματος, οι οποίες εφαρμόζονται στον Κυπριακό και Ελληνικό χώρο.

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Γεώργιος Ξηρουδάκης, για την υπόδειξη και ανάθεση του θέματος, τις επιστημονικές γνώσεις καθώς και την πολύτιμη καθοδήγηση που μου πρόσφερε καθ' όλη την διάρκεια της έρευνας αυτής. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την εταιρεία Αθηνόδωρου & Πούλλας Σούπερ Μπετόν LTD για την παραχώρηση του σκυροδέματος που χρειάστηκε για το πείραμα και τον χώρο για τα όποια πειράματα χρειάστηκαν. Τέλος ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην εταιρεία 'Β.Σ.Κ. Γεωανάλυση Λτδ' και στο προσωπικό του Βαλεντίνα Φοινικέττου, Σαμουήλ Σαμουήλ και Βερονίκη Κανελλίδου για όλη την βοήθεια και καθοδήγηση καθ' όλες τις πειραματικές διαδικασίες.

Τέλος, ειλικρινείς ευχαριστίες εκφράζονται στην οικογένεια μου και τους ανθρώπους που ήταν πάντα δίπλα μου, για την τεράστια τους υπομονή, την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν καθώς και την υποστήριξη τους, αρετές που με εξοπλίζουν με δύναμη για να επιτύχω τους στόχους μου.

Φεβρουάριος 2025,

Νικόλας Χαραλαμπίδης

Περίληψη

Στην πιο κάτω πτυχιακή εργασία, γίνεται σύγκριση των έμμεσων και άμεσων δοκιμών προσδιορισμού της αντοχής του σκυροδέματος, όπως και η όλη πειραματική διαδικασία απο τους ελέγχους των υλικών που απαρτίζουν το σκυροδέμα, μέχρι το τελικό προϊόν. Η κάθε προότυπη μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα γι' αυτό τον λόγο και η σύγκριση των αποτελεσμάτων των πιο σύνηθων μεθόδων μεταξύ τους, με μετρήσεις απο μία συγκεκριμένη σύνθεση σκυροδέματος είναι μία ένδειξη για το ποιά μέθοδος δίνει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και με τις πιο μικρές αποκλίσεις, όπως και τις ευκολίες και τις δυσκολίες της κάθε μίας απ' αυτές καθ' όλη την πειραματική διαδικασία. Τα δεδομένα του πειράματος προήλθαν από 6 κυλινδρικά δοκίμια, 28 κυβικά με ακμή 150mm και 8 κυβικά με ακμή 100mm τα οποία έσπασαν σε διάφορες ημέρες ωρίμανσης πριν και μετά τις 28 ημέρες, 60 μετρήσεις απο την μέθοδο αναπήδησης με κρουσιόμετρο και τέλος απο την μέθοδο πυρηνοληψίας 12 μετρήσεις απο πυρήνες με διαστάσεις 100mmx100mm και 30 μετρήσεις απο πυρήνες διαστάσεων 73mmx73mm. Η πρότυπη μέθοδος εξώλκευσης ήλου δεν μπόρεσε να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία λόγω της υψηλής κατηγορίας σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε για τα δεδομένα του πειράματος δίνοντας έτσι μή αντιπροσωπευτικές τιμές για να χρησιμοποιηθούν στην διπλωματική εργασία για οποιαδήποτε σύγκριση.

Λέξεις κλειδιά:

Σκυρόδεμα, Αντοχή, Μονοαξονική θλίψη, δειγματοληψία, σύνθεση σκυροδέματος.

Abstract

In the following thesis, a comparison is made of indirect and direct tests for determining the strength of concrete, as well as the entire experimental process from the controls on the materials that make up the concrete, such as the aggregates, to the final product. Each standard method has its own advantages and disadvantages, for this reason, comparing the results of the most common methods with each other with results from a specific concrete composition is an indication of which method gives the most reliable results and with the smallest deviations, as well as the advantages and disadvantages of each of the methods during the entire experimental process. The experimental data came from 6 cylindrical specimens, 28 cubic specimens with an edge of 150mm, 8 cubic specimens with an edge of 100mm, which broke at various days of curing before and after 28 days, 60 results from the rebound method with a rebound - Schmidt hammer and finally the coring method with results from 12 cores with dimensions of 100mm x 100mm as well as results from 30 cores with dimensions of 73mm x 73mm. The pull-out test results could not be used successfully due to the high category of concrete used for the experimental data thus giving unrepresentative values to be used in the thesis for any comparison.

Keywords:

Concrete, Stress, Uniaxial stress, Samplin, Mix design.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	iii
Περίληψη	iv
Abstract.....	v
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο διπλωματικής	1
1.2 Σκοπός.....	2
1.3 Δομή της Διπλωματικής.....	2
2. Σκυρόδεμα και σύνθεση	3
2.1. Το σκυρόδεμα.....	3
2.2. Κατηγορίες Σκυροδέματος	4
2.3. Σύσταση Σκυροδέματος.....	5
2.3.1. Τσιμέντο.....	5
2.3.2. Πρόσμικτα	7
2.3.3. Αδρανή	8
2.4. Δοκιμές αδρανών σκυροδέματος.....	13
2.4.1. Δειγματοληψία αδρανών - ΕΛΟΤ EN 12620	13
2.4.2. Κοκκομετρική διαβάθμιση - CYS EN 933-1.....	14
3. Δοκιμές Νωπού Σκυροδέματος.....	23
3.1. Δοκιμή κάθισης - Slump test (Εργασιμότητα).....	23
3.2. Μέτρηση Θερμοκρασίας	28
3.3. Προσδιορισμός Πυκνότητας (EN 12360-6).....	28
3.4. Υπολογισμός φαινόμενου ειδικού βάρους (EN 12350-6).....	29
3.5. Δοκιμή περιεκτικότητας σε Αέρα (EN 12350-7)	30
3.6. Μεθοδολογία πειραματικής διαδικασίας.....	31
3.7. Δειγματοληψία νωπού σκυροδέματος σύμφωνα με το πρότυπο EN 12390:	32
4. Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος	36
4.1. Μη καταστροφικές μέθοδοι.....	36
4.1.1. Schmidt NDT test ή δοκιμή αναπήδησης (Rebound Test)	36
4.1.2. Μέθοδος εξόλκευσης ήλου (Pull Out Test)	37
4.2. Ημί - Καταστροφικές μέθοδοι	38
4.2.1. Μέθοδος πυρηνοληψίας καρότων (Coring):.....	38
4.3. Θραύση δοκιμών με δοκιμή μονοαξονικής θλίψης (UCS)	42

5. Μετρήσεις και επεξεργασία μετρήσεων	48
5.1. Μετρήσεις ζητούμενων μεγεθών	48
5.2. Σύνθεση σκυροδέματος:	50
5.3. Αποτελέσματα και πίνακες αποτελεσμάτων.....	53
5.3.1. Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας αδρανών και άμμων	53
5.3.2. Αποτελέσματα Μπλε του μεθυλενίου για άμμους.....	56
5.3.3. Αποτελέσματα δείκτη πλακοειδότητας αδρανών – Flakiness Index	57
5.3.4. Προσδιορισμός της Αντίστασης του Θρυμματισμού (Los Angeles Test)	59
5.3.5. Αποτελέσματα κυβικών δοκιμών 150x150x150mm:.....	61
5.3.6. Κυβικά δοκίμια 100x100x100mm:.....	65
5.3.7. Κυλινδρικά δοκίμια 300x150mm:	66
5.3.8. Πυρήνες - Δοκίμια πυρηνοληψίας:	67
• Πυρήνες 100x100mm:	67
• Πυρήνες 73x73mm:	68
5.3.9. Δοκιμή αναπήδησης – NDT Schmidt hammer test:	76
6. Συγκρίσεις - Συμπεράσματα – Εισηγήσεις	77
6.1 Συγκρίσεις:.....	77
7. Συμπεράσματα-Προτάσεις.....	86
7.1 Συμπεράσματα:	86
7.2 Προτάσεις:	87
Βιβλιογραφία.....	88

Περιεχόμενα Πινάκων:

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά σκυροδέματος (ΕΤΕΚ, 2018)	3
Πίνακας 2.2: Κατηγορίες και χρήσεις σκυροδέματος (ΕΤΕΚ, 2018)	5
Πίνακας 2.3: Περιγραφή τύπου τσιμέντου	7
Πίνακας 2.4: Οι κύκλοι που χρησιμοποιήθηκαν για την δοκιμή ανθεκτικότητας σε αποσάθρωση	19
Πίνακας 2.5: Βαθμονόμηση δειγμάτων δοκιμής	21
Πίνακας 2.6: Επιλογή λειαντικού φορτίου (Mishra, 2016)	22
Πίνακας 3.1: Διορθώσεις και επιτρεπτά όρια στην δοκιμή καθίζησης	27
Πίνακας 5.1: Σύνθεση σκυροδέματος – Mix Design C30/37 695 της εταιρείας Αθηνόδωρου Μπετόν ΛΤΔ που χρησιμοποιήθηκε για την πειραματική διαδικασία	50
Πίνακας 5.2: Αδρανή και ποσοστά συμμετοχής στην σύθεση σκυροδέματος - Mix Design	51
Πίνακας 5.3: Πίνακας αποτελεσμάτων ειδικού βάρους και απορροφητικότητας αδρανών και άμμων	53
Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας για διαβασικό αδρανές διαμέτρου 8-20mm	53
Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας για διαβασικό αδρανές διαμέτρου 4-10mm	54
Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας για διαβασικό άμμο διαμέτρου 0-4mm	54
Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας για Ψαμμιτικό άμμο διαμέτρου 0-4mm	55
Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας για Ασβεστολιθικό άμμο διαμέτρου 0-4mm	55
Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα Μπλε του Μεθυλενίου για άμμους 0-4mm	56
Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα δείκτη πλακοειδότητας δαιβασικών αδρανών 8/20mm, Gc 90/15, GT15, f1.5	57
Πίνακας 5.11: Αποτελέσματα δείκτη πλακοειδότητας δαιβασικών αδρανών 4/10mm, Gc 80/20, GT15, f1.5	58
Πίνακας 5.12: Αποτελέσματα Αντίστασης Θρυμματισμού (Los Angeles Test) διαβασικών αδρανών 8-20mm	59
Πίνακας 5.13: Αποτελέσματα Αντίστασης Θρυμματισμού (Los Angeles Test) διαβασικών αδρανών 10-14mm	60
Πίνακας 5.14: Πληροφορίες για δειγματοληψία και τα δοκίμια	61
Πίνακας 5.15: Μέσος όρος θλιπτικής αντοχής (MPa) σε σχέση με ημέρες ωρίμανσης	61
Πίνακας 5.16: Πληροφορίες και μετρούμενα μεγέθη για κυβικά δοκίμια 150x150x150mm	64
Πίνακας 5.17: Πληροφορίες για την δειγματοληψία και τα δοκίμια	65
Πίνακας 5.18: Πληροφορίες και μετρούμενα μεγέθη για κυβικά δοκίμια 100x100x100mm	65
Πίνακας 5.19: Πληροφορίες για τα κυλινδρικά δοκίμια 300x150mm	66
Πίνακας 5.20: Πληροφορίες και μετρούμενα μεγέθη για κυλινδρικά δοκίμια 300x150mm	67
Πίνακας 5.21: Πληροφορίες για τα δοκίμια 100x100mm από την πυρηνοληψία	67
Πίνακας 5.22: Πληροφορίες και μετρούμενα μεγέθη για δοκίμια 100x100mm από πυρηνοληψία	68
Πίνακας 5.23: Πληροφορίες για τα δοκίμια 73x73mm από την πυρηνοληψία	68
Πίνακας 5.24: Πληροφορίες και μετρούμενα μεγέθη για δοκίμια 73x73mm από πυρηνοληψία	70

Πίνακας 5.25: Μετρούμενοι μέσοι όροι και τυπική απόκλιση σε σχέση με το βάθος δειγματοληψίας.....	71
Πίνακας 5.26: Πίνακας αποτελεμάτων για αμφισβήτηση της ποιότητας του σκυροδέματος για πυρήνες 73mm (Α).....	72
Πίνακας 5.27: Πίνακας αποτελεμάτων για αμφισβήτηση της ποιότητας του σκυροδέματος για πυρήνες 73mm (Γ)	72
Πίνακας 5.28: : Πίνακας αποτελεσμάτων για αμφισβήτηση της αντοχής (MPa) σκυροδέματος για πυρήνες 100mm	73
<i>Πίνακας 5.29: Πίνακας ελέγχου τιμών που πληρούν τα κριτήρια για Πυρήνες 73mm</i>	<i>74</i>
<i>Πίνακας 5.30: Πίνακας ελέγχου τιμών που πληρούν τα κριτήρια για Πυρήνες 100mm</i>	<i>75</i>
<i>Πίνακας 5.31: Πληροφορίες για την δοκιμή αναπήδησης</i>	<i>76</i>
<i>Πίνακας 5.32: Αποτελέσματα δοκιμής αναπήδησης και μετατροπή σε θλιπτική αντοχή (MPa) ...</i>	<i>76</i>
Πίνακας 6.1: Μέσος όρος αντοχής πυρήνων στο εσωτερικό και κοντά στην επιφάνεια.....	81
Πίνακας 6.2: Μ.Ο. αντοχής σκυροδέματος σε σχέση με τον χώρο συντήρησης	85
Πίνακας 6.3: Τυπικές αποκλίσεις στη εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος	85

Περιεχόμενα Εικόνων:

Εικόνα 2.1: Η σύνθεση του σκυροδέματος, (Orykta.gr, 2009)	4
Εικόνα 2.2: α)Παλαιές και νέες κατηγορίες σκυροδέματος,β)κυβικά και κυλινδρικά δοκίμια (diastrosihellas, 2019).....	5
Εικόνα 2.3: Προϊόντα που αποτελούν το τσιμέντο.....	6
Εικόνα 2.4: Ονομασία κατηγορίας τσιμέντου	7
Εικόνα 2.5: Κατηγορίες και είδη πρόσμικτων σκυροδέματος (ΓΕΩΑΝΑΛΥΣΗΣ, 2024).....	8
Εικόνα 2.6: Συσκευές διαχωρισμού δειγμάτων αδρανών, (Τ.Ε.Ε, 2008)	13
Εικόνα 2.7: Κόσκινα για την κοκκομετρική διαβάθμιση	14
Εικόνα 2.8: Κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη πλακοειδούς.....	16
Εικόνα 2.9: α)Τα εργαλεία για την μέθοδο Μπλέ του μεθυλενίου και β) παράδειγμα με την δημιουργία στεφανιού (Altun, 2023)	17
Εικόνα 2.10: Δοκιμή εύρεσης ειδικού βάρους	20
Εικόνα 2.11: Μηχάνημα Λος Άντζελες και τα μέρη του (Mishra, 2016).....	21
Εικόνα 3.1: Διαδικασία μέτρησης καθίζησης σκυροδέματος	24
Εικόνα 3.2: Τύποι αποτελεσμάτων δοκιμής καθίζησης - Slump Test (Mahajan, 2019)	25
Εικόνα 3.3: Πειραματική διαδικασία δοκιμής καθίζησης - Σλαμπ τεστ (Ascent, 2024).....	26
Εικόνα 3.4: Επίδραση προσθήκης επιπλέον ποσότητας νερού στην αντοχή και στην καθίζηση για συγκεκριμένη σύνθεση σκυροδέματος κατηγορίας 20MPa και 80mm καθίζησης (Pronto, 2010) 28	
Εικόνα 3.5: Διαδικασία συμπίκνωσης σκυροδέματος για τον προσδιορισμό της πυκνότητας του σκυροδέματος.....	29
Εικόνα 3.6: Ζύγισμα μήτρας μετά την συμπίκνωση για την εύρεση πυκνότητας	30
Εικόνα 3.7: Κυβικά καλούπια αμέσως μετά την δειγματοληψία.....	34
Εικόνα 3.8: Δοκίμια σε συνθήκες 100% κορεσμού στο εργαστήριο	35
Εικόνα 4.1: (α) Δοκιμή ανάκρουσης με το Schmidt Hammer και (β) προσδιορισμός αντοχής με την δοκιμή ανάκρουσης.....	36
Εικόνα 4.2: α) Στο αριστερό μέρος το εργαλείο εξαγωγής και μέτρησης της αντίστασης και β) δεξιά το μηχάνημα Hilti για την εισαγωγή των καρφιών στο σκυρόδεμα στα δεξιά.....	37
Εικόνα 4.3: Καμπύλη συσχέτισεως της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με δύναμη εξολκέυσεως, σύμφωνα με τα πειράματα (Λογοθέτης, 1979)	38
Εικόνα 4.4: Μηχανή Husqvarna DMS240 πυρηνοληψίας καρότων κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας.....	39
Εικόνα 4.5: Αριστερά η πρόσοψη των καρότων 10x10cm και δεξιά η πλάγια όψη με την κατεύθυνση και το βάθος του κάθε πυρήνα	40
Εικόνα 4.6: (α) Αριστερά μέτρηση ύψους καρότου 10cm και β)δεξιά δίσκος κοπής Einhell με αδαμάντινα δόντια για κοπή σκυροδέματος	40
Εικόνα 4.7: Πυρήνας μετά το καπέλωμα (κονία επιτεδώσεως)	41
Εικόνα 4.8: Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης κυβικού δοκιμίου	42
Εικόνα 4.9: Αποδεκτοί και μη τύποι αστοχίας κυβικών και κυλινδρικών δοκιμίων (DOKIMI.ORG, 2006)	43
Εικόνα 4.10: Διαφορές κύβου κυλίνδρου, (Kramer, 2009)	44
Εικόνα 4.11: Διατμητικές τάσεις και σχήμα, (Converge, 2023).....	45
Εικόνα 4.12: Σερβοϋδραυλική πρέσα PROTEM που χρησιμοποιήθηκε για την θραύση των δοκιμίων	46
Εικόνα 4.13: α) πυρήνας κατά την διάρκεια της θραύσης και β) ο πυρήνας μετά την θραύση.....	47

Εικόνα 4.14: α) δοκίμιο κατά την διαδικασία μέτρησης του βάρους του και β)κυβικό δοκίμιο μετά την θραύση.	47
Εικόνα 5.1: Κοκκομετρική ανάλυση σε mm.....	52
Εικόνα 5.2: Γραφική παράσταση θλιπτικής αντοχής (τάσης) σε σχέση με τις ημέρες ωρίμανσης για κυβικά δοκίμια με ακμή 150mm	62
Εικόνα 5.3: Συσχέτιση ρυθμού αύξησης της αντοχής σε σχέση με τον χρόνο για κυβικά δοκίμια με ακμή 150mm.....	62
Εικόνα 5.4: Γραφική παράσταση θλιπτικής αντοχής (τάσης) σε σχέση με τις ημέρες ωρίμανσης. 65	
Εικόνα 5.5: Πλάγια όψη δοκιμίων 100x100mm απο το κυβικό δοκίμιο απ'όπου έγινε η εξαγωγή τους.....	68
Εικόνα 5.6: Θέση του κάθε δοκιμίου στο κυβικό δείγμα απ'όπου έγινε η εξαγωγή του	69
Εικόνα 5.7: Πλάγια όψη δοκιμίων 73x73mm απο το κυβικό δοκίμιο απ'όπου έγινε η εξαγωγή τους.....	69
Εικόνα 6.1: Γραφική παράσταση ωρίμανσης κυβικών δοκιμίων 100mm και 150mm σε σχέση με τον χρόνο	77
Εικόνα 6.2: Γραφική απεικόνιση των τιμών της αντοχής των κυλινδρικών δοκιμίων σε σχέση με τα κυβικά δοκίμια 150mm	79
Εικόνα 6.3: Φόρτιση σε σχέση με την επιφάνεια διάστρωσης του σκυροδέματος, (Relation between the Cubic and the Cylindrical concrete sample, 2012)	80
Εικόνα 6.4: Γραφική παράσταση της σχέσης του βάθους δειγματοληψίας σε σχέση με την αντοχή του σκυροδέματος για Πυρήνες 73mm.....	81
Εικόνα 6.5: Αναπαράσταση της κατεύθυνσης με την οποία προχωράει η ωρίμανση του σκυροδέματος στο μεγάλο κυβικό δοκίμιο	81
Εικόνα 6.6: Γραφική παράσταση της σχέσης του βάθους δειγματοληψίας σε σχέση με την αντοχή του σκυροδέματος για Πυρήνες 100mm.....	82
Εικόνα 6.7: Γραφική παράσταση συσχέτισης τιμών αντοχής με το τέστ αναπήδησης σε σχέση με τις τιμές απο τα κυβικά δοκίμια	83
Εικόνα 6.8: Διάγραμμα με την σύγκριση της αντοχής τους σκυροδέματος στις 28 ημέρες των μεθόδων μεταξύ τους.....	84

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο διπλωματικής

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό σύνθετο υλικό, που παράγεται με την ανάμειξη αδρανών υλικών, τσιμέντου, πρόσμικτα και νερό, σε κατάλληλες αναλογίες. Η διασφάλιση της ποιότητας του σκυροδέματος γίνεται σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ISO9001 και πιστοποιείται ως προς τη τήρηση τους από τις αρμόδιες αρχές. Στην εξέλιξη των ιδιοτήτων του σκυροδέματος σημαντικό ρόλο παίζουν οι πρώτες ύλες αλλά και διαδικασίες μελέτης και παρασκευής του, αφού το σύνολο αυτών θα καθορίσει τα χαρακτηριστικά αυτού. Χρησιμοποιείται στις κατασκευές λόγω της ιδιότητας να εμφανίζει υψηλή αντίσταση στα θλιπτικά φορτία και ο έλεγχος για τον προσδιορισμό της αντοχής του γίνεται με την θλίψη κυλινδρικών ή κυβικών δοκιμών στις 7 και 28 ημέρες ανάλογα με το πρότυπο που ακολουθείτε.

Το σκυρόδεμα αποτελεί βασικό συστατικό στις σημερινές κατασκευές που περιλαμβάνουν κτίρια, τοίχους υποστήριξης, γέφυρες, κτλ. Οι φορτίσεις που καλείτε να παραλάβει ανάλογα με την χρήση του είναι κυρίως θλιπτικές και καμπτικές, οπότε έχουν αναπτυχθεί οι απαραίτητες τυποποιημένες δοκιμές για τον χαρακτηρισμό του (ΕΛΛΑΔΟΣ, ΚΤΣ 2016, ASTM-C192/C192M, 2016; ASTM-C469, 2014)

Σήμερα, γίνεται προσπάθεια για τον έλεγχο κατασκευών από σκυρόδεμα με την χρήση καταστροφικών, ημικαταστροφικών και μη καταστροφικών μεθόδων, όπως η κρουστική μέθοδος και η μέθοδο της εξόλκευσης ήλου, οι οποίες εμφανίζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στον έλεγχο κατασκευών από σκυρόδεμα (Nepomuceno & Bernardo, 2019; Miano, Ebrahimian, Jalayer, & Prota, 2023; Poorarbabi, Ghasemi, & Azhdary Moghaddam, 2020). Για την επίτευξη της παρούσης έρευνας παράχθηκε από πιστοποιημένο εργοστάσιο παραγωγής σκυροδέματος, σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37 από το οποίο πάρθηκε πληθώρα δοκιμών (κυλινδρικών & κυβικών) για έλεγχο σε θλίψη. Πέρα αυτών, έγινε εξαγωγή και έλεγχος πυρήνων σκυροδέματος διαμέτρου 100mm και 73mm από κυβικό δοκίμιο διαστάσεων 1m x 1m το οποίο σκυροδετήθηκε από την ίδια παρτίδα σκυροδέματος. Στο δοκίμιο αυτό πραγματοποιήθηκαν επίσης κρουσιομετρήσεις και δοκιμές εξόλκευσης ήλου.

Στη πτυχιακή αυτή θα γίνει προσπάθεια εντοπισμού των προβλημάτων που δύναται να προκύψουν κατά τη δειγματοληψία νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος και στις πειραματικές διαδικασίες ελέγχου της θλιπτικής αντοχής, ενώ θα γίνει σύγκριση των μεθόδων και της αξιοπιστίας τους. Για την κατανόηση του σκυροδέματος σαν υλικό πραγματοποιήθηκε πληθώρα ελέγχων για την εύρεση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του, τα οποία παρατίθενται στα κεφάλαια που ακολουθούν.

1.2 Σκοπός

Το σκυρόδεμα, ως ένα σύνθετο και ευέλικτο υλικό, χρησιμοποιείται εκτενώς σε έργα υποδομής και τεχνικά έργα. Η εκτενής του χρήση καθιστά απαραίτητους τους πολλαπλούς ελέγχους για τη διασφάλιση των απαιτούμενων προδιαγραφών και της ποιότητας του. Οι δοκιμές σκυροδέματος είναι ζωτικής σημασίας για κάθε κατασκευαστικό έργο, διασφαλίζοντας ότι το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται είναι κατάλληλο για τον αντίστοιχο σκοπό. Αποτελούμενο από τσιμέντο, νερό και αδρανή υλικά, η απόδοση του σκυροδέματος μπορεί να ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τις αναλογίες του μείγματος. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση του υλικού στην εφαρμογή του, υπογραμμίζοντας τη σημασία των συγκεκριμένων δοκιμών για την επιτυχία του έργου.

Ένα μεγάλο ζήτημα που αντιμετωπίζεται συχνά στις δειγματοληψίες, και όχι μόνο στο σκυρόδεμα, είναι οι αβεβαιότητες μεταξύ των διαφόρων δειγμάτων και των μεθόδων. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να προσπαθήσουμε, με έναν ικανοποιητικό αριθμό δειγμάτων και υπό ίδιες συνθήκες σε όλες τις δειγματοληψίες, να εντοπίσουμε τις πιο αξιόπιστες και τις λιγότερο αξιόπιστες μεθόδους για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος. Οι μέθοδοι που θα συγκρίνουμε στην παρούσα εργασία περιλαμβάνουν τη δειγματοληψία σε κυβικά δοκίμια (Ευρωπαϊκό πρότυπο ΚΤΣ-2016), κυλινδρικά δοκίμια (Αγγλικό πρότυπο), τη δοκιμή αντοχής με κρουσιόμετρο (Schmidt hammer), τη δοκιμή εξώλκευσης ήλου και τη δειγματοληψία πυρήνων διαφόρων μεγεθών από το παραγμένο σκυρόδεμα.

1.3 Δομή της Διπλωματικής

Η παρούσα διατριβή αποτελείται από 5 κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας και αναφέρεται στο ερευνητικό αντικείμενο και τη δομή της διατριβής. Το δεύτερο κεφάλαιο καλύπτει τη βιβλιογραφική ανασκόπηση του θέματος και την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης στην Κύπρο, παρουσιάζοντας τις μεθόδους προσδιορισμού των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων των υλικών που το αποτελούν, καθώς και οι πειραματικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την αποκόμιση αυτών, με αναφορά στις ευρωπαϊκές και κυπριακές νομοθεσίες. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών του ρευστού σκυροδέματος, δηλαδή πριν από την σκλήρυνσή του. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται οι μέθοδοι και οι πειραματικές διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την απόκτηση δειγμάτων και αποτελεσμάτων από το μεγάλο δοκίμιο που βρισκόταν για ωρίμαση σε συνθήκες εργοταξίου, καθώς και η σύγκριση των αποτελεσμάτων της έρευνας. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν και γίνεται σύγκριση μεταξύ αυτών για την απόκτηση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων. Τέλος, το έκτο κεφάλαιο εστιάζεται στη συζήτηση των συμπερασμάτων και στις συστάσεις που προέκυψαν από την εργασία.

2.Σκυρόδεμα και σύνθεση

2.1. Το σκυρόδεμα

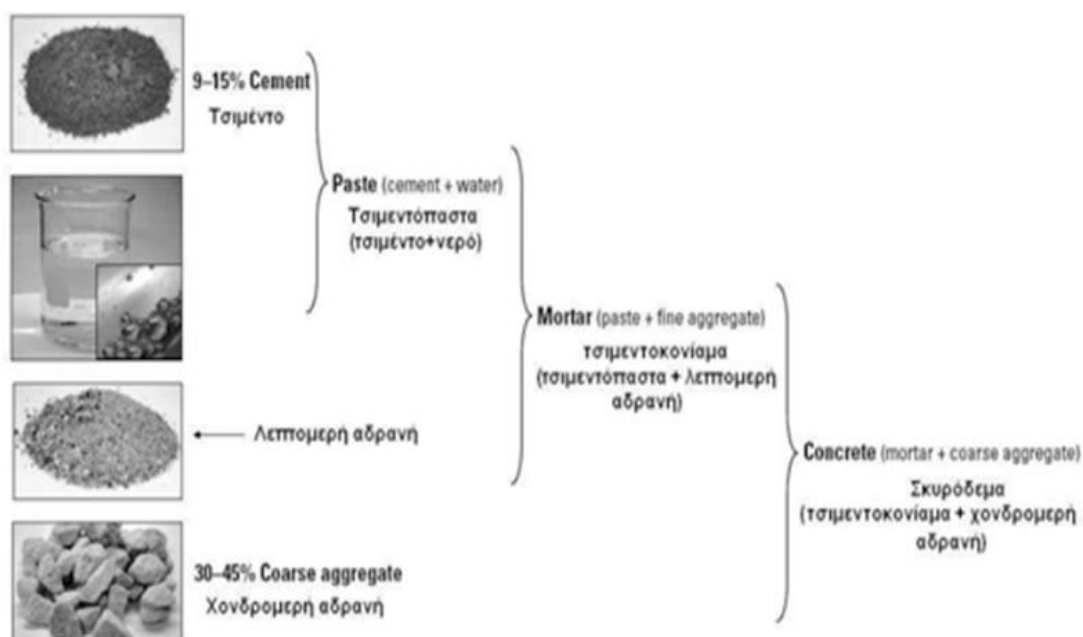
Το σκυρόδεμα είναι ένα μείγμα αδρανών, νερού, τυχόν πρόσθετων, όπου το τσιμέντο είναι το συνδετικό υλικό που χρησιμοποιείται όπως παρουσιάζεται στην [Εικόνα 2.1](#). Γνωστό και ως «Μπετόν» από τον γαλλικό όρο “béton armé”, το σκυρόδεμα πήρε την ονομασία του από το ότι είναι ένα μίγμα όπου κυριαρχούν οπτικά τα σκύρα, ενώ οπλισμένο σκυρόδεμα ονομάζεται όταν συνδυάζεται με χαλύβδινες ράβδους οπλισμού. Η διασφάλιση της ποιότητας γίνεται σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ISO 9001 και πιστοποιείται ως προς την τήρηση τους από αρμόδιες αρχές από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ. 2016). Ο έλεγχος της παραγωγής επιτυγχάνεται βάση των ακόλουθων:

- Επιλογή υλικών βάση προτύπων (ΕΝ πρότυπα, σήμανση CE).
- Επιλογή σύνθεσης σκυροδέματος.
- Ανάμιξη σκυροδέματος.
- Έλεγχοι – επιθεωρήσεις & δόκιμες.
- Χρήση των αποτελεσμάτων των δοκιμών των υλικών παρασκευής, του νωπού & σκληρυμένου σκυροδέματος και του εξοπλισμού για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τα ακολουθούμενα πρότυπα.
- Έλεγχο του εξοπλισμού για τη μεταφορά σκυροδέματος

Ενέργειες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη ιδιοτήτων του και των χαρακτηριστικών του σκυροδέματος παρουσιάζονται στον παρακάτω [Πίνακα 2.1](#):

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά σκυροδέματος

Ενέργειες	Χαρακτηριστικά
<ul style="list-style-type: none">• Ανάμιξη συστατικών• Μεταφορά (προς εργοτάξιο και προς θέση διάστρωσης)• Συμπύκνωση• Τελείωμα• Συντήρηση	<ul style="list-style-type: none">• Εργασιμότητα• Απώλεια Κάθισης• Απόμιξη (διαχωρισμός συστατικών του)• Εξίδρωση (εμφάνιση στην επιφάνεια νερού)• Χρόνος Πήξης• Ακραίες θερμοκρασίες• Ρηγμάτωση



Εικόνα 2.1: Η σύνθεση του σκυροδέματος, (Orykta.gr, 2009)

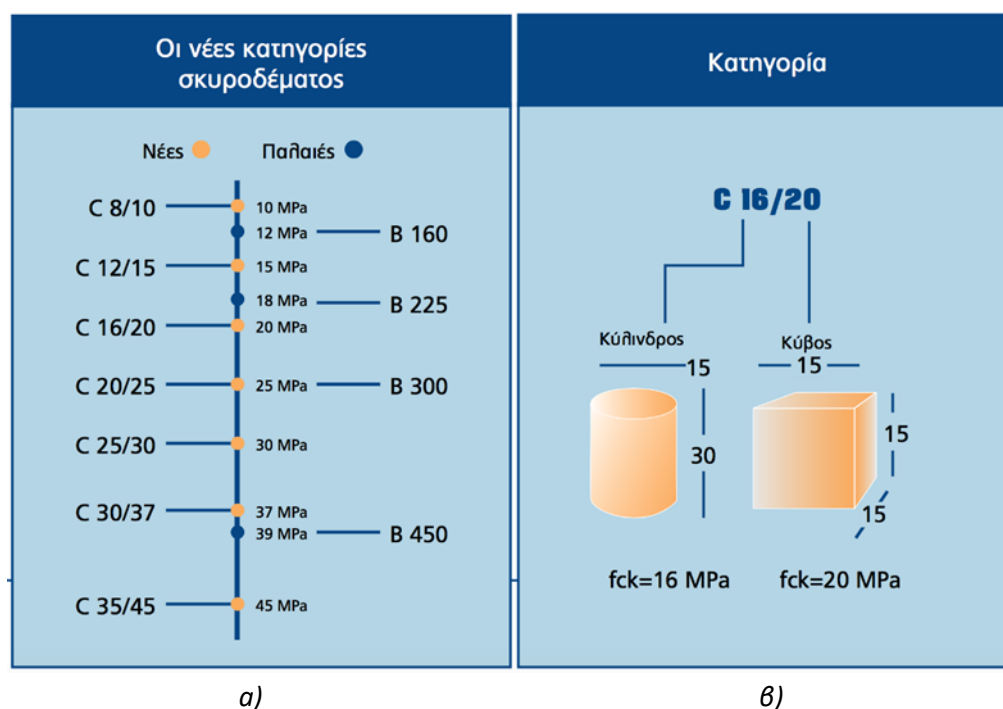
2.2. Κατηγορίες Σκυροδέματος

Για το σκυρόδεμα η θλιπτική αντοχή είναι μια από τις κυριότερες του ιδιότητές καθώς εμφανίζει μεγάλη αντοχή σε θλίψη, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για χρήση σε δομικές κατασκευές. Στον Κ.Τ.Σ (ΚΤΣ 2016, ASTM C617) η θλιπτική αντοχή συμβολίζεται ως 'f_c' και αναφέρεται στη μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Η μέτρηση της αντοχής αυτής πραγματοποιείται να σπάει την 7^η ημέρα μετά την δειγματοληψία και τουλάχιστον 2 δοκίμια την 28^η ημέρα. Σε περίπτωση που το πρώτο δοκίμιο των 28 ημερών αποτύχει να φτάσει την προβλεπόμενη αντοχή, το δεύτερο δοκίμιο των 28 ημερών αντί να σπάσει στις 28 ημέρες μπαίνει ξανά για συντήρηση και σπάει την 56^η ημέρα. Οι κύριες μέθοδοι για την μέτρηση της αντοχής είναι η θραύση κυλινδρικών δοκιμών διαμέτρου 150mm και ύψους 300mm ή κυβικών δοκιμών με ακμή 150mm. Ο Κ.Τ.Σ. (ΚΤΣ 2016, EN 12360-6, 2016) ορίζει ως βάση τη χαρακτηριστική αντοχή (f_{ck}) κυλινδρικού ή κυβικού δοκιμίου, την τιμή κάτω από την οποία υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου. (Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, 2016)

Το 1997 έγινε αναθεώρηση του Κ.Τ.Σ (1985) και έγινε αντικατάσταση των παλαιών κατηγοριών σκυροδέματος που χαρακτηριζόταν με το γράμμα "B" με τις νέες, που ο χαρακτηρισμός τους γίνεται με την χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου/κύβου. Για παράδειγμα στην κατηγορία σκυροδέματος C16/20 (Εικόνα 2.2.β), ο πρώτος αριθμός αναφέρεται στην χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου που είναι ίσος με 16 MPa και ο δεύτερος αριθμός στην χαρακτηριστική αντοχή κύβου που είναι ίσος με 20 MPa όπως φαίνετε πιο κάτω στην Εικόνα 2.2.α, μαζί με τις αντιστοιχίες των παλαιών κατηγοριών με τις νέες (Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος). Το σκυρόδεμα χωρίζεται σε κατηγορίες ανάλογα με την θλιπτική αντοχή και οι κατηγορίες αντοχής κατά το πρότυπο EN 206-1 παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2 που ακολουθεί.

Πίνακας 2.2: Κατηγορίες και χρήσεις σκυροδέματος

Κατηγορίες και Χρήσεις Σκυροδέματος				
Δευτερεύουσες χρήσεις	C12/15	C16/20	C20/25	
Σύνηθεις Χρήσεις	C30/37	C35/45	C45/55	C50/60
Ειδικές Χρήσεις	C55/67	C60/75	C80/95	C90/105



Εικόνα 2.2: α) Παλαιές και νέες κατηγορίες σκυροδέματος, β) κυβικά και κυλινδρικά δοκίμια (Νέες Κατηγορίες Σκυροδέματος, 2019)

2.3. Σύσταση Σκυροδέματος

2.3.1. Τσιμέντο

Είναι ένα υδραυλικό, συνδετικό υλικό και κυριότερο συστατικό του σκυροδέματος και των κονιαμάτων. Τα κλίνκερ τσιμέντου σχηματίζονται από τη θερμική επεξεργασία στοιχείων τσιμέντου (ασβεστόλιθος, πηλός, βωξίτης και η άμμος σιδηρομεταλλεύματος) όπου σε συγκεκριμένες αναλογίες θερμαίνονται σε έναν περιστρεφόμενο κλίβανο κοντά στους 1,400°C μέχρι να σχηματίσουν σβώλους, γνωστοί ως 'κλίνκερ'. Το τσιμέντο δημιουργείται με λεπτή άλεση του 'κλίνκερ' σε συνδυασμό με γύψο και άλλα πρόσθετα υλικά (Εικόνα 2.3). Η σύνθεση και ο βαθμός άλεσης επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε κλίνκερ και τα χαρακτηριστικά αντοχής του τσιμέντου. Το τσιμέντο κατατάσσεται σε διάφορες κατηγορίες βάση προτύπων. Για ευκολία για την αναγνώριση της κατηγορίας ενός τσιμέντου δίνετε συγκεκριμένη ονομασία στο κάθε παραγόμενο υλικό που δίνετε σε μορφή κωδικού ονόματος όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.4. Κάθε συλλαβή και

κάθε γράμμα του κωδικού είναι αρχικό της αγγλικής ονομασίας του συστατικού που εμπεριέχετε στο μίγμα όπως για παράδειγμα η συλλαβή “CEM” που είναι τα αρχικά της αγγλικής λέξης Cement, που είναι η μετάφραση της ελληνικής λέξης Τσιμέντο. Αντίστοιχα το επόμενο γράμμα είναι λατινικός αριθμός που προσδιορίζει το περιεχόμενο ποσοστό του κλίνκερ αλλά και το είδος του τσιμέντου με περισσότερες λεπτομέρειες και στον [Πίνακα 2.3](#). Αμέσως μετά απ’ αυτό ακολουθεί ένας αριθμός ο οποίος αντιστοιχεί σε μια από τις τρεις ποιότητες (είδος) τσιμέντου, με βάση την αντοχή του σκυροδέματος που παράγουν στις 28 ημέρες. Οι βαθμοί είναι 32.5, 42.5 και 52.5 όπου μερικές φορές γράφονται και σαν 33, 43, 53 αντίστοιχα. Τέλος το τελευταίο γράμμα αντιστοιχεί σε μια από τις τρεις κατηγορίες που περιγράφουν την ταχύτητα με την οποία αποκτά αντοχή το σκυρόδεμα που κατασκευάζεται. Τα γράμματα αντιστοιχούν:

- R = πρώιμη αύξηση δύναμης.
- N = κανονική αύξηση δύναμης.
- L (ή S) = χαμηλή/αργή αύξηση αντοχής.
- SR (Sulfate Resistant)= ανθεκτικότητα σε θειικά άλατα.

Από την ονομασία και σε συνδυασμό με την γνώση των ακρωνύμιων που σχηματίζουν τον κωδικό του κάθε προϊόντος τσιμέντου μπορούμε να βρούμε τις ιδιότητες και χαρακτηριστικές αντοχές του καθενός από αυτά. Στην Κύπρο υπάρχει μόνο ένα τσιμεντοποιείο το “Βασιλικό” που βρίσκεται στην ομώνυμη περιοχή της επαρχίας Λάρνακας με τις κυριότερες κατηγορίες τσιμέντου που παράγονται απ’ αυτό να είναι οι εξής:

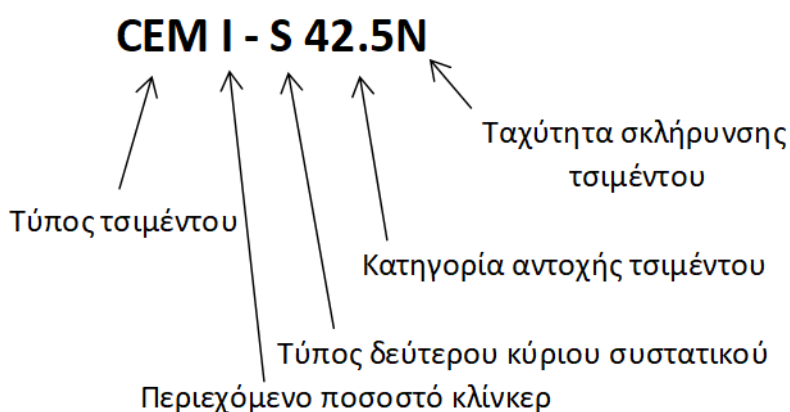
- Πόρτλαντ τσιμέντο CEM I 52.5 N-SR5
- Πόρτλαντ τσιμέντο CEM I 52.5 N
- Πόρτλαντ λευκό τσιμέντο CEM I 52.5 N
- Πόρτλαντ-Ασβεστολιθικό τσιμέντο CEM II A-L 42.5 R
- Πόρτλαντ-Ασβεστολιθικό τσιμέντο CEM II B-L 32.5 R



Εικόνα 2.3: Προϊόντα που αποτελούν το τσιμέντο (Orykta.gr, 2009)

Πίνακας 2.3: Περιγραφή τύπου τσιμέντου

Προσδιορισμός	Περιγραφή
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II	Τσιμέντο Πόρτλαντ σε συνδιασμό με πρόσθετα
CEM III	Τσιμέντα με προϊόντα υψικάμινου
CEM IV	Ποζολανικά τσιμέντα
CEM V	Σύνθετα τσιμέντα



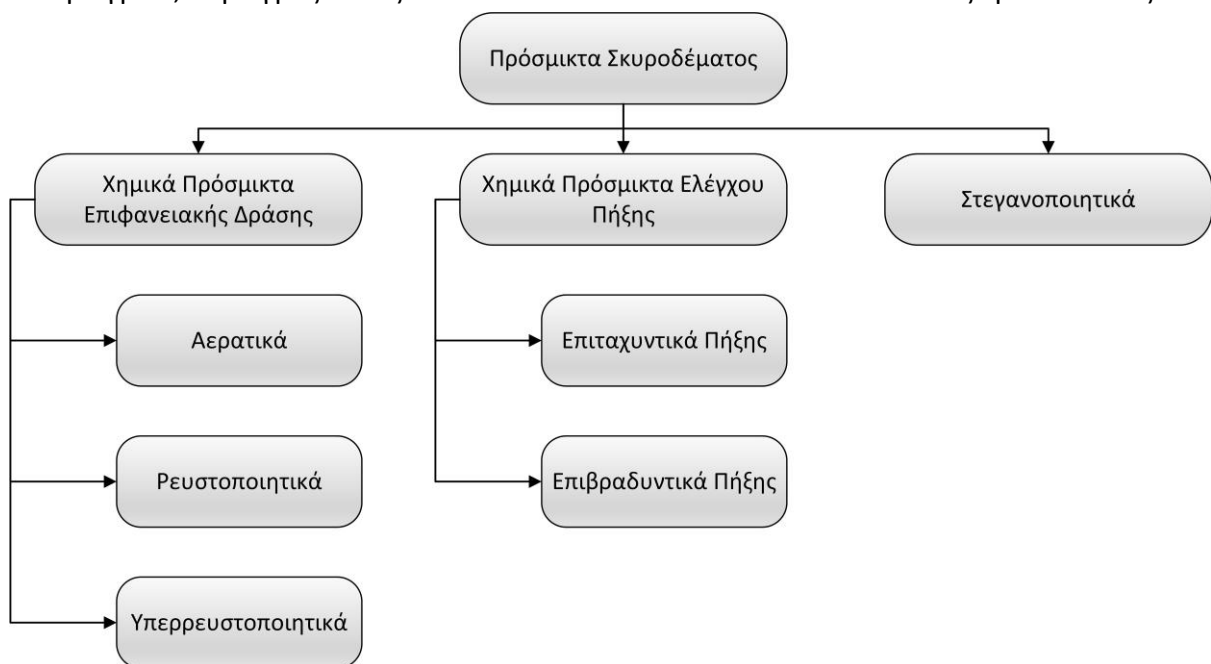
Εικόνα 2.4: Ονομασία κατηγορίας τσιμέντου

2.3.2. Πρόσμικτα

Υλικά (χημικά) που προστίθενται, κατά την ανάμιξη συστατικών σκυροδέματος, σε μικρές ποσότητες με σκοπό τροποποίηση χαρακτηριστικών του και χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες όπως παρουσιάζονται στην [Εικόνα 2.5](#). Τα πιο κύρια απ' αυτά είναι:

- Ρευστοποιητής σκυροδέματος (Plasticiser): Γνωστός και ως πλαστικοποιητής χρησιμοποιείται για την μείωση της αναλογίας νερού/τσιμέντου, χωρίς την απώλεια της εργασιμότητας και της αντοχής του μίγματος, επιβραδύνοντας την πήξη και ταυτόχρονα, διευκολύνοντας τη ροή του. Δημιουργεί προϋποθέσεις ιδανικής ενυδάτωσης του σκυροδέματος χωρίς την προσθήκη επιπρόσθετου νερού, με αποτέλεσμα την αύξηση της τελικής αντοχής του.
- Επιβραδυντής σκυροδέματος (Retarder): Χρησιμοποιείται για την παραγωγή σκυροδέματος καλής ποιότητας, όπου χρειάζεται η διατήρηση εργασιμότητας ή όταν υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες και δύσκολες συνθήκες σκυροδέτησης. Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά του είναι η αύξηση της εργασιμότητας που προσδίδει στο μίγμα σκυροδέματος χωρίς όμως να αυξάνει το νερό ανάμιξης, δηλαδή έχει το πλεονέκτημα να μειώνει ή να κρατάει σταθερό τον λόγο Νερού/Τσιμέντου διατηρώντας σταθερή την εργασιμότητα για περισσότερο χρονικό διάστημα.

- Κρυσταλλοποιητής: Πρόσμικτο με την ιδιότητα να δημιουργεί κρυστάλλους εντός των πόρων και των ρωγμών του σκυροδέματος, μειώνοντας έτσι τον όγκο του πορώδους και ταυτόχρονα στεγανοποιώντας το. Όταν προστίθεται στο σκυρόδεμα τα κρυσταλλικά συστατικά του (Na_2VCA), αντιδρούν με το νερό, τα υδροξείδια του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$, καθώς και άλλα μεταλλικά οξείδια και άλατα που εμπεριέχονται στο σκυρόδεμα. Η χημική αντίδραση που ακολουθεί οδηγεί σε αδιάλυτες ενώσεις κρυστάλλων. Τα τριχοειδή, οι πόροι και οι ρωγμές του μπετού γεμίζουν με κρυστάλλους σε εύρος έως 0.5 mm ακόμη και αν οι τριχοειδείς ρωγμές συνεχίζουν και εμφανίζονται καθ'όλη την διάρκεια ζωής του σκυροδέματος, το κρυσταλλικό πρόσμικτο συνεχίζει να ενεργοποιείται στην παρουσία υγρασίας, σφραγίζοντας τα καινούργια επιπλέον κενά. Η ποσότητα και ο χρόνος ανάμειξης των κρυστάλλων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως την σύνθεση του σκυροδέματος, την καμπύλη αδρανών και την παρουσία νερού. Οι κρύσταλλοι αυτοί είναι λευκοί και βελονοειδείς και ο μηχανισμός δημιουργίας τους είναι μη αναστρέψιμος και μόνιμος, πράγμα που σημαίνει ότι σε περίπτωση μελλοντικών ρωγμών, οι ρωγμές αυτές θα αυτοεπουλωθούν πάλι από αδιάλυτους κρυστάλλους.



Εικόνα 2.5: Κατηγορίες και είδη πρόσμικτων σκυροδέματος (ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ, 2024)

2.3.3. Αδρανή

Τα αδρανή υλικά είναι λίθινα, φυσικά ή βιομηχανικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε τεχνικά έργα, είτε με κάποιο συγκολλητικό υλικό είτε αυτούσια. Είναι οι πιο χρησιμοποιούμενες φυσικές πρώτες ύλες παγκοσμίως, κυρίως σε δομικά έργα όπως το σκυρόδεμα, αλλά και για επιχωματώσεις και διακοσμητικούς σκοπούς. Τα αδρανή υλικά αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό κατά όγκο και κατά μάζα του σκυροδέματος, κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους τους σε σύγκριση με το τσιμέντο. Γι' αυτό και στην αγγλική γλώσσα συχνά αποκαλούνται "fillers", δηλαδή υλικά πλήρωσης (Moosberg-Bustnes,

2004). Η ονομασία "αδρανή" προέρχεται από το γεγονός ότι κατά την ανάμιξη τους με συγκολλητικά υλικά (όπως τσιμέντο ή άσφαλτο) ή ακόμη και με νερό, δεν συμμετέχουν ενεργά στις διαδικασίες πήξης και σκλήρυνσης. Ωστόσο, αυτό δεν είναι απολύτως ακριβές, καθώς η χημική αδράνεια των υλικών αυτών εξαρτάται από την ορυκτολογική τους σύσταση και τα υλικά με τα οποία έρχονται σε επαφή.

Τα αδρανή υλικά με βάση την προέλευσή τους διακρίνονται σε:

Α) *Φυσικής προέλευσης*: Υλικά που έχουν δημιουργηθεί φυσικά χωρίς την ανθρώπινη επέμβαση κατά την δημιουργία τους. Τέτοια αδρανή είναι για παράδειγμα τα θραυστά λατομικά πετρώματα, ποταμίσιες ή θαλάσσιες αποθέσεις, λάβα, λατομικά προϊόντα κ.λ.π.

Β) *Τεχνητά ή βιομηχανικά*: Προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών όπως για παράδειγμα οι τέφρες, σκωρίες κ.α.

Γ) *Ανακυκλωμένα αδρανή*: Προϊόντα από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών όπως υλικά κατεδαφίσεων σκυροδέματος, ασφαλικών έργων κ.α.

Αδρανή για Σκυρόδεμα - CYS EN 12620:

Το πρότυπο CYS EN 12620 καθορίζει τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτουν τα αδρανή υλικά και η παιτάλη, τα οποία προέρχονται από την επεξεργασία φυσικών, τεχνικών ή ανακυκλωμένων υλικών καθώς και από την ανάμιξη των υλικών αυτών για χρήση στην παρασκευή σκυροδέματος. Αφορά αδρανή των οποίων η ξηρή πυκνότητα είναι μεγαλύτερη από 2 gr/cm^3 για όλα τα είδη σκυροδέματος. Καθορίζει επίσης τη χρήση και εφαρμογή συστήματος ελέγχου ποιότητας της παραγωγής στο εργοστάσιο (FPC) και παρέχει την δυνατότητα επιβεβαίωσης της συμμόρφωσης των προϊόντων με το πρότυπο.

Σύμφωνα με τα πρότυπα οι διάφοροι έλεγχοι των αδρανών αποσκοπούν στο προσδιορισμό των:

- *Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών (Geometrical Requirements)*: Τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την σύνθεση και αντλυσιμότητα του μπετού, όπως για παράδειγμα η επιφάνεια των αδρανών, το μέγεθος και το σχήμα του κόκκου. Ανάλογα με το σχήμα τους οι κόκκοι διακρίνονται σε σφαιρικούς, γωνιώδη, πλακοειδείς επιμήκεις ή κυβικούς. Τα γωνιώδη αδρανή χρειάζονται μεγαλύτερη ποσότητα τσιμεντοπολτού απτά σφαιρικά αλλά έχουν καλύτερη συνοχή και πρόσφυση με το κονίαμα.
- *Φυσικών Χαρακτηριστικών (Physical Requirements)*: Τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αντοχή και την ανθεκτικότητα του μπετού

a) Αντοχή μητρικού πετρώματος:

-Επίτευξη της απαιτούμενης αντοχής και ανθεκτικότητας του μπετού (ΚΤΣ)

-Δεν υπάρχει απαίτηση για το έλεγχο της αντοχής του μητρικού πετρώματος (EN12620)

b) Αντοχή σε επιφανειακή φθορά και κρούση:

Στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12620 οι κατηγορίες αντίστασης σε θρυμματισμό υπολογίζονται με την μέθοδο Los Angeles και κυμαίνονται μεταξύ 15-50.

c) Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση:

Η ανθεκτικότητα των αδρανών υλικών σε αποσάθρωση είναι κρίσιμη για την αξιοπιστία και τη μακροχρόνια απόδοση του σκυροδέματος. Μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση αυτής της ανθεκτικότητας είναι η δοκιμή με άλατα μαγνησίου, γνωστή και ως "Magnesium Sulfate Soundness Test". Η δοκιμή ανθεκτικότητας σε αποσάθρωση με άλατα μαγνησίου είναι, επομένως, ένα σημαντικό εργαλείο για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των αδρανών υλικών για χρήση σε δομικά έργα, διασφαλίζοντας την ανθεκτικότητα και τη μακροχρόνια απόδοση του σκυροδέματος.

d) Ειδικό βάρος:

Στόχος η μέτρηση των κενών και διακρίνεται σε απόλυτο, φαινόμενο και μεικτό. Οι τιμές ειδικού βάρους για αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του σκυροδέματος κυμαίνονται από 2.4 - 3.0, όμως κατά το πρότυπο του ΕΛΟΤ EN12620 υπολογίζεται η πυκνότητα των αδρανών και όχι το ειδικό βάρος.

e) Πορώδες:

Είναι αντιστρόφως ανάλογη με την αντοχή και την ανθεκτικότητα των πετρωμάτων. Προσδιορίζεται με την μέτρηση της υδατοαπορροφητικότητάς τους. Η δοκιμή προσδιορισμού της υδατοαπορροφητικότητας σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN12620 έχει διαφορές σε σχέση με την αντίστοιχη του Κ.Τ.Σ 97. Έτσι για να γίνει προσδιορισμός της υδατοαπορροφητικότητας των λεπτόκοκκων υλικών, το υπο εξέταση υλικό πρέπει πριν την δοκιμή να πλυθεί στο κόσκινο των 0.063mm. Για τον υπολογισμό της υδατοαπορροφητικότητας των χονδρόκοκκων υλικών ο Κ.Τ.Σ προδιαγράφει ότι το υλικό σου βρίσκετε σε κορεσμένη και επιφανειακά ξηρή κατάσταση όταν εμφανιστεί ένα φιλμ νερού πάνω στον κόκκο ενώ αντιθέτως στον EN12620 όταν δεν υπάρχει αυτό το φιλμ.

f) Κοκκομετρική διαβάθμιση:

Τα αδρανή χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους:

- παιπάλη (μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.1 mm).
- άμμος (μέγεθος κόκκων από 0.1 μέχρι 7 mm).
- σκύρα (μέγεθος κόκκων από 7 - 70 mm).

Ενώ τα αδρανή ανάλογα με το μέγεθος τους κατατάσσονται σε 4 βασικές κατηγορίες (Α., 2008):

- Άμμος (μέγεθος κόκκων από 0-4mm)
- Ρυζάκι (μέγεθος κόκκων από 4-8mm)
- Γαρμπίλι (μέγεθος κόκκων από 8-16mm)
- Χαλίκι (μέγεθος κόκκων από 16-31.5mm).

Σύμφωνα με τον (ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ Ε. Τ., Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, 2016), ως παιπάλη χαρακτηρίζεται το λεπτόκοκκο υλικό που διέρχεται από το κόσκινο τετραγωνικής οπής 0.074 mm και μπορεί να αποτελείται από άργιλο ή σκόνη από το ίδιο το υλικό. Η παιπάλη έχει την ιδιότητα να προσκολλάται στους κόκκους του υλικού, δυσκολεύοντας έτσι την πρόσφυση των αδρανών με το κονίαμα, και επίσης την δημιουργία συσσωματωμάτων που αποτελούν αδύνατα σημεία στη μάζα του σκυροδέματος. Η παρουσία παιπάλης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απαιτούμενης ποσότητας νερού στο σκυρόδεμα, μειώνοντας έτσι την αντοχή του, ενώ ταυτόχρονα συμβάλλει στην αύξηση της πλαστικότητας του μείγματος αδρανών. Γι'αυτό τον λόγο το πρότυπο (ΚΤΣ 2016, ASTM C1231, 2016) έχει σαν μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό παιπάλης να μην υπερβαίνει το 16% για την άμμο και το 1% για τα χονδρόκοκκα υλικά (σκύρα, γαρμπίλι, ρυζάκι).

Στο πρότυπο αυτό, η ονομασία των αδρανών γίνεται με βάση την περιοχή των διερχόμενων από τα κόσκινα, κατατάσσοντάς τα σε δύο κύριες κατηγορίες:

Α) Λεπτόκοκκα (Άμμοι):

- Ψαμμιτικός άμμος, στην Κύπρο είναι γνωστός και ως «ΛΑΤΟΥΡΟ» από την ομώνυμη εταιρεία που εδρεύει στο νησί και κατέχει το λατομείο λατόμευσης της. Γνωστός και ως «Αμμόλιθος» είναι κλαστικό ιζηματογενές πέτρωμα το οποίο αποτελείται από κόκκους άμμου που με την βοήθεια συγκολλητικών ουσιών συγκρατούνται μαζί και δημιουργούν το πέτρωμα.
- Διαβασικός άμμος με τους ντόπιους να τον ονομάζουν «ΣΠΑΣΤΟ» λόγω της θραύσης (σπασίματος στην κυπριακή διάλεκτο) του πετρώματος. Η άμμος αυτή προέρχεται από την θραύση του πετρώματος 'Διάβασης' που ανήκει

στην κατηγορία των φλεβικών πετρωμάτων και καταλαμβάνει μεγάλο τμήμα της ορεινής Κύπρου.

- Ασβεστολιθικός άμμος με την τοπική ονομασία «ΑΣΠΡΟΣ» είναι προϊόν της θραύσης του πετρώματος του ασβεστόλιθου. Αποτελείτε κυρίως από ασβεστίτη που δημιουργήθηκε από την απόθεση του ανθρακικού ασβεστίου χημικά ή βιογενής από την συσσώρευση και συμπαγιοποίηση διαφόρων ζωικών ή φυτικών σκελετικών οργανισμών μετά το θάνατό τους. Είναι πολύ διαδεδομένο πέτρωμα και υπάρχει άφθονο στο νησί.

B) Χονδρόκοκκα:

Τα χονδρόκοκκα υλικά είναι ευρέως γνωστά στο νησί με την ονομασία τους να είναι το μέγεθος τους σε ίντσες. Οι κατηγορίες που υπάρχουν είναι:

- Διαβασικά αδρανή διαμέτρου 8-20 mm ($\frac{3}{4}$ της ίντσας) και 4-10mm,
- Ασβεστολιθικά αδρανή διαμέτρου 8-20 mm ($\frac{3}{4}$ της ίντσας) και 4-10mm.

Στον ΚΤΣ 97 η ύπαρξη παιπάλης (μέγεθος κόκκου μικρότερο από 0.063mm) στην άμμο, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1.5% στα χονδρόκοκκα αδρανή ενώ στα λεπτόκοκκα το 3%. Για το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 δεν υπάρχει συγκεκριμένο όριο.

g) Χημικών Χαρακτηριστικών (Chemical Requirements):

Δεν πρέπει να επηρεάζουν αρνητικά την πήξη, την σκλήρυνση, την αντοχή, την σταθερότητα του όγκου και την προστασία του οπλισμού από την διάβρωση. Οι πιο κάτω ενώσεις θεωρούνται επιβλαβείς για τα αδρανή:

α) Ενώσεις Θείου: προκαλούν διόγκωση και η περιεκτικότητα σε SO_3 πρέπει να είναι μικρότερη από 1% (ανυδρίτης γύψος),

β) Ενώσεις Σιδήρου: προκαλούν διόγκωση και κηλίδες,

γ) Νιτρικά άλατα και αλογόνα: προκαλούν διάβρωση και η περιεκτικότητα σε Cl πρέπει να είναι μικρότερη του 0.2%,

δ) Ενώσεις του μολύβδου ή ψευδαργύρου: προκαλούν επιτάχυνση ή επιβράδυνση με αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής,

ε) Χλωριούχοι ή φωσφορικές ενώσεις: επηρεάζουν τον χρόνο πήξης,

στ) Πυριτικοί άργιλοι (ασβεστίου, νατρίου, καλίου).

ζ) Αποσαθρώσιμα συστατικά (αργιλικόι σχιστόλιθοι): προκαλούν μείωση αντοχής.

η) Οργανικά: προκαλούν μείωση της αντοχής και καθυστέρηση στην πήξη

θ) Γαιάνθρακες ή λιγνίτες: προκαλούν μείωση της αντοχής και η περιεκτικότητά τους πρέπει να είναι μικρότερη από 1%

ι) Κερατόλιθοι: ε.β. μικρότερο του 2.35 να μην υπερβαίνουν το 5%.

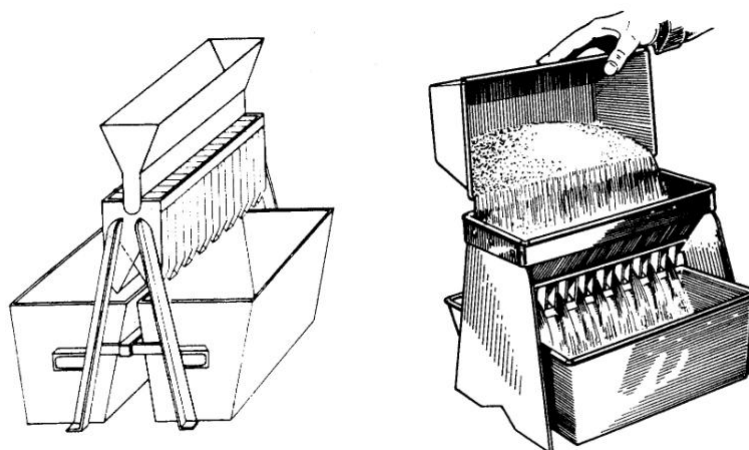
2.4. Δοκιμές αδρανών σκυροδέματος

2.4.1. Δειγματοληψία αδρανών - ΕΛΟΤ EN 12620

Ο πιο κρίσιμος παράγοντας σε μια δειγματοληψία για δοκιμές ή πειράματα είναι ο τρόπος επιλογής του δείγματος. Το δείγμα πρέπει να αντιπροσωπεύει πιστά τις ιδιότητες όλης της ποσότητας του υλικού. Στην περίπτωση μας, αυτό σημαίνει τη δειγματοληψία αδρανών από μεγάλους σωρούς. Το δείγμα σχηματίζεται από μικρές ποσότητες που λαμβάνονται με φτυάρι από τουλάχιστον δέκα σημεία της ελεύθερης επιφάνειας του σωρού, αποφεύγοντας το κάτω πέμπτο μέρος του σωρού.

Το πρότυπο CYS EN 12620 καθορίζει την αναλογία δειγματοληψίας από το σωρό με τη βοήθεια σέσουλας ή φτυαριού: 19 “φτυαριές” από το κάτω τρίτο, 7 μέρη από το μεσαίο και 1 μέρος από το πάνω τρίτο μέρος του σωρού. Η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα δείγματος αδρανούς υλικού για την παρασκευή σκυροδέματος, που απαιτείται για τους συνήθεις εργαστηριακούς ελέγχους, αναφέρεται στον ακόλουθο πίνακα.

Στο εργαστήριο, για να διασφαλιστεί ότι όλα τα δείγματα είναι ομοιόμορφα και αντιπροσωπευτικά του σωρού, γίνεται διαχωρισμός του δείγματος με συσκευές διαχωρισμού δειγμάτων (Εικόνα 2.6) ή με τετραμερισμό, δηλαδή χωρίζοντας το δείγμα σε τέσσερα ομοιόμορφα μικρότερα δείγματα. Για τα πειράματα της πτυχιακής αυτής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε η πρώτη μέθοδος με τη βοήθεια συσκευών διαχωρισμού.



Εικόνα 2.6: Συσκευές διαχωρισμού δειγμάτων αδρανών, (Αδρανή Υλικά)

2.4.2. Κοκκομετρική διαβάθμιση - CYS EN 933-1

Η κοκκομετρική ανάλυση έχει ως σκοπό τον προσδιορισμό του ποσοστού σύνθεσης του αδρανούς υλικού σε κόκκους διαφόρων μεγεθών. Η κοκκομετρική διαβάθμιση προσδιορίζει την κατανομή των διαστάσεων των κόκκων των αδρανών και απεικονίζεται με την κοκκομετρική καμπύλη.

Η διαδικασία επιτυγχάνεται με το κοσκίνισμα και τον διαχωρισμό των αδρανών ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, χρησιμοποιώντας μια σειρά από κόσκινα με διαφορετικά ανοίγματα. Η σειρά των κοσκίνων ξεκινά από το μεγαλύτερο άνοιγμα στο επάνω μέρος και συνεχίζει με μικρότερα ανοίγματα προς τα κάτω, μέχρι να φτάσει στο μικρότερο κόσκινο για τα λεπτόκοκκα υλικά (*Εικόνα 2.7*).

Το υλικό που παραμένει σε κάθε κόσκινο ονομάζεται "συγκρατούμενο", ενώ το υλικό που περνάει από το κόσκινο ονομάζεται "διερχόμενο". Στη συνέχεια, τα συγκρατούμενα υλικά ζυγίζονται και καταγράφεται το βάρος τους. Μετά από αυτό, υπολογίζεται το βάρος του διερχόμενου υλικού και το ποσοστό του διερχόμενου υλικού σε σχέση με το αρχικό δείγμα.

Ο υπολογισμός του ποσοστού διερχόμενου υλικού από το κόσκινο i δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Διερχόμενο \% στο κόσκινο } i = \frac{\text{Διερχόμενο κόσκινο } i}{\text{Αρχικό βάρος δείγματος}} \times 100 \quad (1)$$



Εικόνα 2.7: Κόσκινα για την κοκκομετρική διαβάθμιση

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης αποτυπώνονται στο κοκκομετρικό διάγραμμα, όπου στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η διάμετρος της οπής των κοσκίων σε λογαριθμική κλίμακα, ώστε να αναπτυχθεί η περιοχή των μικρών διαμέτρων, και στον κάθετο άξονα το ποσοστό του διερχόμενου υλικού. Η σύνδεση των σημείων του διαγράμματος δημιουργεί μια πολυγωνική γραμμή που ονομάζεται κοκκομετρική καμπύλη.

Στην πράξη, μας ενδιαφέρει η κατ' όγκο ποσοστιαία κατανομή των κόκκων ενός υλικού. Σε περιπτώσεις που έχουμε υλικά με διαφορετικό φαινόμενο ειδικό βάρος, απαιτείται η μετατροπή των κατά βάρος αναλογιών σε κατ' όγκο, όπως συμβαίνει όταν έχουμε μείγμα αδρανών από διαφορετικά πετρώματα.

2.4.3. Δοκιμή Καθορισμού Δείκτη Πλακοειδούς - CYS EN 933-3

Ο σκοπός της δοκιμής είναι ο καθορισμός του μέσου ελάχιστου πάχους του συνόλου των αδρανών, εκφρασμένος με τον Δείκτη Πλακοειδούς. Η δοκιμή εφαρμόζεται στα χονδρά αδρανή με ονομαστική διάμετρο μικρότερη των 80 mm και μεγαλύτερη των 4 mm. Τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται για αυτή τη δοκιμή είναι διαφορετικά από τα συνήθη κόσκινα κοκκομέτρησης: αντί για οπές, έχουν ανοξείδωτες ράβδους με ηλεκτροστατικά βαμμένο πλαίσιο και διάμετρο 5 mm, τοποθετημένες παράλληλα η μία με την άλλη, όπως παρουσιάζονται στην [Εικόνα 2.8](#).

Ο δείκτης πλακοειδούς ενός δείγματος υπολογίζεται με τον διαχωρισμό των πλακοειδών σωματιδίων και την έκφραση της μάζας τους ως ποσοστό της συνολικής μάζας του δείγματος που δοκιμάστηκε. Η παρουσία πλακοειδών ή πεπλατυσμένων χονδρόκοκκων αδρανών είναι ανεπιθύμητη στο σκυρόδεμα, στην κατασκευή ασφαλικών δρόμων και οδοστρωμάτων, καθώς αυτά τα αδρανή είναι αδύναμα στη δημιουργία καλής πρόσφυσης και συμπίκνωσης. Η δοκιμή δείκτη επιτεδότηας δεν ισχύει για τα αδρανή που παραμένουν πάνω από το κόσκινο των 63 mm. (

Ο υπολογισμός του δείκτη επιτεδότηας δίνεται από τη σχέση

$$FI = [W2 \div W1] \times 100 \quad (2)$$

FI = Δείκτης επιτεδότηας,

W2 = συνολικό βάρος του συνολικού δείγματος που διέρχεται από τα διάφορα ανοίγματα του μετρητή πάχους,

W1 = το συνολικό βάρος ενός συνολικού δείγματος,

Επιτρεπτό Όριο FI = 20.



Εικόνα 2.8: Κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη πλακοειδούς

2.4.4. Δοκιμή Μπλε του Μεθυλενίου - CYS EN 933-9

Η δοκιμή μπλε του μεθυλενίου χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της παρουσίας αργιλικών ορυκτών στα αδρανή. Αυτά τα ορυκτά είναι υδρόφιλα και διογκώνονται ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε νερό, γεγονός που μπορεί να έχει καταστρεπτικές συνέπειες στα ασφαλτομίγματα και στο σκυρόδεμα. Η δοκιμή βασίζεται στην αρχή της προσρόφησης των μορίων του μπλε του μεθυλενίου στην ενεργή επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών. Κατά τη δοκιμή, μετράτε η ποσότητα του μπλε του μεθυλενίου που απαιτείται για την μοριακή επικάλυψη όλων των αργιλικών συστατικών των αδρανών.

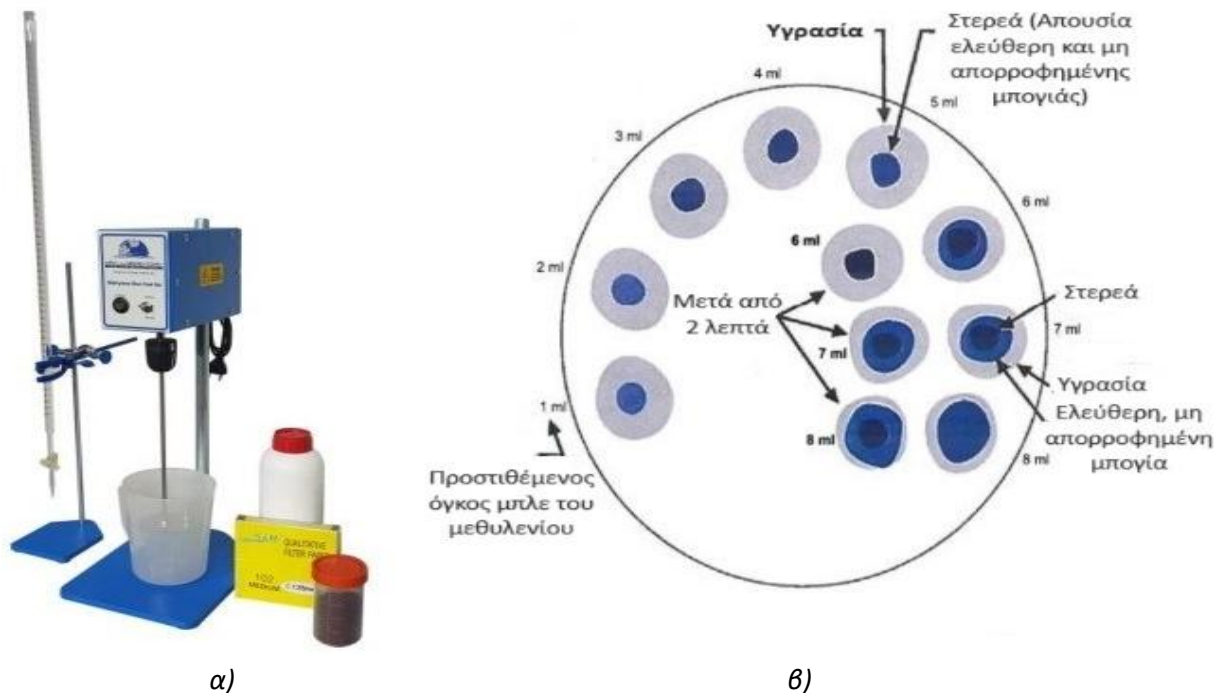
Πειραματική Διαδικασία:

Δείγμα 5 g τοποθετείται σε κωνική φιάλη χωρητικότητας 300 ml και προστίθενται 50 ml πυροφωσφορικού νατρίου. Το διάλυμα υποβάλλεται σε επεξεργασία με έναν υπερηχητικό διασπορέα (Εικόνα 2.9.α) για περίπου 10 λεπτά για διασπορά και ψύχεται. Μετά την ψύξη, προστίθεται στο διάλυμα διάλυμα κυανού του μεθυλενίου κατά 1 ml. Σε κάθε προσθήκη, το διάλυμα αναδεύεται για 30 δευτερόλεπτα. Μετά από ανάδευση, ένα σταγονίδιο λαμβάνεται με μια γυάλινη ράβδο και ρίχνεται σε ένα διηθητικό χαρτί. Η λειτουργία επαναλαμβάνεται έως ότου παρατηρηθεί ένα γαλάζιο στεφανάκι γύρω από ένα βαθύ μπλε σημείο στο χαρτί. Έπειτα το διάλυμα αναδεύεται για άλλα δύο λεπτά και γίνεται ξανά ακόμη ένα σημείο. Αν πάλι παρατηρηθεί στεφανάκι πλάτους 1.5-2 mm, η ογκομέτρηση κρίνεται ότι έχει φτάσει στο τέλος της, εάν δεν παρατηρηθεί το στεφανάκι, η λειτουργία προσθήκης κυανού του μεθυλενίου συνεχίζεται μέχρι να εμφανιστεί (Εικόνα 2.9.β).

Η ποσότητα του προσροφημένου κυανού του μεθυλενίου υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Απορροφητικότητα Μπλέ Μεθυλενίου} \left(\frac{\text{mmol}}{100\text{g}} \right) = \frac{\text{κατανάλωση } 0.01\text{N Μπλέ μεθυλενίου (ml)}}{0.5(\text{g})} \quad (3)$$

Η περιεκτικότητα σε ενεργό άργιλο εκφράζεται σε % χρησιμοποιώντας καμπύλη βαθμονόμησης.



Εικόνα 2.9: α) Τα εργαλεία για την μέθοδο Μπλέ του μεθυλενίου και β) παράδειγμα με την δημιουργία στεφανιού (Altun, 2023)

2.4.5. Δοκιμή ανθεκτικότητας σε αποσάθρωση - CYS EN-1367-2

Η δοκιμή αυτή δίνει έναν δείκτη υγείας για τα αδρανή και καθορίζει την ανθεκτικότητα τους σε αποσάθρωση λόγω καιρικών μεταβολών προσομοιάζοντας τις δυνάμεις διάγκωσης που ασκούνται στα αδρανή, με διαδοχικούς κύκλους εμποτισμού σε διάλυμα θειικού μαγνησίου και ξήρανσης. Τα σκεύη που απαιτούνται για τη δοκιμή είναι δοχεία για αδρανή υλικά, κόσκινα (63, 50, 40, 31,5, 20, 16, 10, 8, 4,75 και 4 mm), ζυγός χωρητικότητας 5 κιλών ως προς το βάρος με ακρίβεια τουλάχιστον 0.1 g και φούρνος για διατήρηση 105°C έως 110°C.

Πειραματική διαδικασία:

Τοποθετείτε το κάθε καλάθι σε ένα δοχείο που περιέχει το κορεσμένο διάλυμα θειικού μαγνησίου, έτσι ώστε η κορυφή των αδρανών να βυθίζονται πλήρως σε βάθος 20mm για περίοδο περίπου 17 ωρών. Πρέπει να διατηρείται απόσταση τουλάχιστον 20mm μεταξύ κάθε καλαθιού, των πλευρών του δοχείου και συσσωρευμένων κομματιών αλατιού. Ιδιαίτερη προσοχή στο να μην χαθεί ολόκληρο κομμάτι αδρανούς από κανένα καλάθι σε κανένα στάδιο. Στην συνέχεια το δοχείο καλύπτετε για να αποφευχθεί η εξάτμιση και η μόλυνση. Μετά τη τον απαιτούμενο χρόνο βύθισης αφαιρούμε τα καλάθια από το διάλυμα και στραγγίζουμε για περίπου 2 ώρες και στη συνέχεια καλύπτουμε το δοχείο αμέσως. Στεγνώνουμε κάθε καλάθι και το ψύχουμε σε θερμοκρασία εργαστηρίου για περίπου 5 ώρες.

Πριν από την επόμενη βύθιση πρέπει να σπάσει οποιαδήποτε τυχόν μάζα αλατιού που μπορεί να έχει συσσωρευτεί στο κάτω μέρος του το δοχείο, στην συνέχεια αναδεύουμε καλά το διάλυμα και αφήνεται να ηρεμήσει για 30 λεπτά. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για πέντε κύκλους, με τον κάθε κύκλο να έχει διάρκεια περίπου 48 ώρες. Μετά την ψύξη με την ολοκλήρωση των πέντε κύκλων, πλένονται τα αδρανή σε κάθε καλάθι με νερό βρύσης μέχρι να απαλλαγούν από το θειικό μαγνήσιο και στην συνέχεια κάθε δείγμα δοκιμής στεγνώνεται. Αμέσως μετά κοσκινίζεται με το χέρι το υλικό που έμεινε στο κόσκινο 10 mm και καταγράφεται η μάζα (M2) των αδρανών που παραμένουν στο κόσκινο με ακρίβεια 0.1 g. Τέλος υπολογίζετε η τιμή θειικού μαγνησίου (MS) σε ποσοστό κατά μάζα για κάθε δείγμα δοκιμής σε σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση, καταγράφοντας κάθε τιμή στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο:

$$MS = \frac{100(M1-M2)}{M1} \quad (4)$$

Όπου,

M1 είναι η αρχική μάζα του δοκιμίου, με ακρίβεια 0.1 g,

M2 είναι η τελική μάζα αδρανών που διατηρείται στο κόσκινο των 10 mm, με ακρίβεια 0.1 g.

Υπολογίζετε και καταγράφετε ο μέσος όρος των δύο αποτελεσμάτων που προέκυψαν με τον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό. Στον [Πίνακα 2.4](#) φαίνεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε και το πρόγραμμα για την εκτέλεση του πειράματος.

Πίνακας 2.4: Οι κύκλοι που χρησιμοποιήθηκαν για την δοκιμή ανθεκτικότητας σε αποσάθρωση

Κύκλος	Θέση	Ώρα	Διάρκεια		
1 ^{ος}	Ψυγείο	14:00	07:00	17 hrs	
	Στέγνωμα	07:00	Εώς	09:00	2 hrs
	Φούρνος	09:00	09:00	24 hrs	
	Αδράνεια	09:00	14:00	5 hrs	
2 ^{ος}	Ψυγείο	14:00	07:00	17 hrs	
	Στέγνωμα	07:00	Εώς	09:00	2 hrs
	Φούρνος	09:00	09:00	24 hrs	
	Αδράνεια	09:00	14:00	5 hrs	
3 ^{ος}	Ψυγείο	14:00	07:00	17 hrs	
	Στέγνωμα	07:00	Εώς	09:00	2 hrs
	Φούρνος	09:00	09:00	24 hrs	
	Αδράνεια	09:00	14:00	5 hrs	
4 ^{ος}	Ψυγείο	14:00	07:00	17 hrs	
	Στέγνωμα	07:00	Εώς	09:00	2 hrs
	Φούρνος	09:00	09:00	24 hrs	
	Αδράνεια	09:00	14:00	5 hrs	
5 ^{ος}	Ψυγείο	14:00	07:00	17 hrs	
	Στέγνωμα	07:00	Εώς	09:00	2 hrs
	Φούρνος	09:00	09:00	24 hrs	
	Αδράνεια	09:00	14:00	5 hrs	

2.4.6. Δοκιμή Εύρεσης Ειδικού Βάρους Αδρανών - CYS EN 1097-6

Η δοκιμή ειδικού βάρους βοηθά στην αναγνώριση του πετρώματος και η απορρόφηση νερού δίνει μια ιδέα της αντοχής του αδρανούς. Τα αδρανή που έχουν μεγαλύτερη απορρόφηση νερού είναι πιο πορώδη στη φύση τους και γενικά θεωρούνται ακατάλληλα, εκτός εάν κριθεί ότι είναι αποδεκτά με βάση τις δοκιμές αντοχής, κρούσης και σκληρότητας.

Πειραματική διαδικασία:

Για την εύρεση της απορροφητικότητας ζυγίζετε ένα μέρος από τα αδρανή και στην συνέχεια μπαίνουν για 24 ώρες σε λεκάνη καλυμμένα με νερό. Στις 24 ώρες τα αδρανή βγαίνουν από το νερό και απλώνονται σε μια πετσέτα και τα σκουπίζονται ε-επιφανειακά και ξαναζυγίζονται και καταγράφετε το καινούργιο βάρος. Τέλος μπαίνουν στο φούρνο για άλλες 24 ώρες και μετά τα ξαναζυγίζονται στεγνά.

Για την εύρεση του ειδικού βάρους ζυγίζετε ένα μέρος από τα αδρανή και εισάγετε για 24 ώρες σε λεκάνη καλυμμένα πλήρως με νερό. Στην συνέχεια με την βοήθεια ενός γυάλινου δοκιμαστικού σωλήνα και γεμίζετε με νερό μέχρι πάνω και τοποθετείτε πάνω στην επιφάνεια ένα κομμάτι γυαλί μεγαλύτερο από το στόμιο του σωλήνα (Εικόνα 2.7) έτσι ώστε να καλύπτεται εντελώς προσέχοντας να μην υπάρχουν φυσαλίδες στον σωλήνα. Ζυγίζετε ο δοκιμαστικός σωλήνας με το νερό και το γυαλί, στην συνέχεια

αφαιρείτε μια ποσότητα νερού από το σωλήνα και ένα μέρος από τα αδρανή τοποθετείτε μέσα στο σωλήνα με το νερό. Έπειτα προστίθεται όσο νερό χρειάζεται για να έρθει μέχρι το στόμιο και τοποθετείτε το κομμάτι γυαλί και πάλι με προσοχή στην μη ύπαρξη φυσαλίδων μεταξύ γυαλιού και νερού. Τέλος ζυγίζετε ο δοκιμαστικός σωλήνας με το νερό και τα αδρανή.



Εικόνα 2.10: Δοκιμή εύρεσης ειδικού βάρους

2.4.7. Προσδιορισμός της Αντίστασης του Θρυμματισμού (Los Angeles Test)

Η δοκιμή του Λος Άντζελες σε αδρανή προσδιορίζει το μέτρο της σκληρότητας των αδρανών και της αντοχής τους σε τριβή, όπως η σύνθλιψη, η υποβάθμιση και η αποσύνθεση. Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται στα οδοστρώματα του αυτοκινητόδρομου υπόκεινται σε φθορά κυρίως από οχήματα καθώς κινούνται στο δρόμο, τα σωματίδια του εδάφους που υπάρχουν ανάμεσα στα ελαστικά και το οδόστρωμα προκαλούν τριβή των αδρανών του δρόμου επομένως, τα αδρανή του δρόμου θα πρέπει να είναι αρκετά σκληρά για να αντέχουν στην τριβή. Η αντοχή στην τριβή των αδρανών προσδιορίζεται στο εργαστήριο από τη μηχανή δοκιμής του Λος Άντζελες. Η αρχή της δοκιμής αυτής είναι να παράγει λειαντική δράση με τη χρήση τυπικών χαλύβδινων σφαιρών ([Εικόνα 2.11](#)) οι οποίες όταν αναμιγνύονται με αδρανή και περιστρέφονται σε ένα τύμπανο για συγκεκριμένο αριθμό στροφών προκαλούν

παρόμοιες επιπτώσεις στα αδρανή. Το ποσοστό φθοράς των αδρανών λόγω τριβής με χαλύβδινες σφαίρες είναι γνωστή ως αντίσταση θρυμματισμού Los Angeles.



Εικόνα 2.11: Μηχάνημα Λος Άντζελες και τα μέρη του (Mishra, 2016)

Πειραματική διαδικασία:

Δείγμα πλυμένων αδρανών ξεραίνεται σε κλίβανο στους 105° - 110°C. Χρησιμοποιούνται 5 kg δείγματος για τις διαβαθμίσεις A, B, C & D και 10 kg για τις διαβαθμίσεις E, F & G από τον [Πίνακα 2.5](#) και επιλέγετε η λειαντική γόμωση σύμφωνα με τον [Πίνακα 2.6](#) ανάλογα με την ταξινόμηση των αδρανών.

Πίνακας 2.5: Βαθμονόμηση δειγμάτων δοκιμής

Μέγεθος Ανοίγματος Κοσκίνου	Βάρος Δείγματος (gr)							
Διερχόμενο (mm)	Παραμένον (mm)	A	B	C	D	E	F	G
80	63					2500*		
63	50					2500*		
50	40					5000*	5000*	
40	25	1250					5000*	5000*
25	20	1250						5000*
20	12.5	1250	2500					
12.5	10	1250	2500					
10	6.3			2500				
6.3	4.75			2500				
4.75	2.36				5000			

Στη συνέχεια τοποθετούνται τα αδρανή και το λειαντικό γέμισμα στον κύλινδρο και στερεώνετε το κάλυμμα. Ακολουθώς ρυθμίζετε το μηχάνημα με ταχύτητα 30 έως 33 στροφές ανά λεπτό. Ο αριθμός στροφών είναι 500 για τις διαβαθμίσεις A, B, C & D και 1000 για τις διαβαθμίσεις E, F & G. Το μηχάνημα πρέπει να είναι ισορροπημένο και να κινείται έτσι ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη περιφερειακή ταχύτητα. Το μηχάνημα σταματά μετά τον επιθυμητό αριθμό στροφών και το υλικό απορρίπτεται στον δίσκο που φαίνετε στην [Εικόνα 2.11](#). Όλη η σκόνη από τα αδρανή κοσκινίζεται σε κόσκινο IS 1.70 mm και το υλικό με μέγεθος μεγαλύτερο από 1.7 mm ζυγίζεται με ακρίβεια γραμμαρίου.

Πίνακας 2.6: Επιλογή λειαντικού φορτίου (Mishra, 2016)

Διαβάθμιση	Αριθμός Χαλύβδινων Σφαιρών	Βάρος Επιβάρυνσης (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
Γ	8	3330±20
Δ	6	2500±15
E	12	5000±25
Z	12	5000±25
H	12	5000±25

Βάρος διερχόμενου δείγματος από 1.7mm IS κόσκινο:

$$W1 - W2 \text{ (gr)} \quad (5)$$

Τιμή αντίστασης θρυμματισμού Λος Άντζελες:

$$\frac{W1 - W2}{W1 \times 100} \text{ (gr)} \quad (6)$$

Όπου,

W1 = Αρχικό βάρος του συνολικού δείγματος (gr)

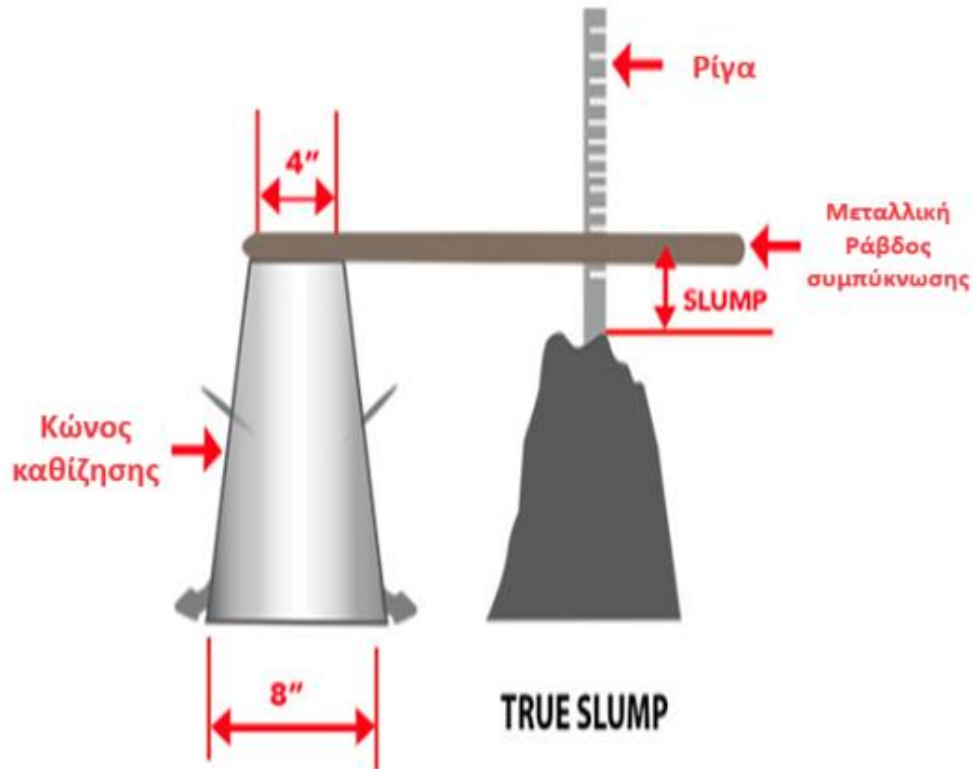
W2 = Βάρος του συνολικού δείγματος που διατηρήθηκε (gr)

3. Δοκιμές Νωπού Σκυροδέματος

Οι δοκιμές νωπού σκυροδέματος είναι κρίσιμες για την εξασφάλιση της ποιότητας, της ανθεκτικότητας και της καταλληλότητας του σκυροδέματος σε κατασκευαστικά έργα. Πρώτον, αυτές οι δοκιμές επιβεβαιώνουν ότι το σκυρόδεμα πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές και τα πρότυπα ποιότητας, γεγονός που είναι ζωτικής σημασίας για τη μακροχρόνια απόδοση και ανθεκτικότητα της κατασκευής. Δεύτερον, ο έλεγχος της εργασιμότητας επιτρέπει την αξιολόγηση της συνεκτικότητας του σκυροδέματος, διασφαλίζοντας ότι μπορεί να τοποθετηθεί και να συμπυκνωθεί σωστά. Επιπλέον, η μέτρηση της θερμοκρασίας και της περιεκτικότητας σε αέρα βοηθά στην πρόληψη προβλημάτων όπως η υπερβολική εξάτμιση του νερού ή η δημιουργία φυσαλίδων αέρα, που μπορούν να μειώσουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Οι δοκιμές πυκνότητας και χρόνου πήξης παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τη σύνθεση και την ταχύτητα σκλήρυνσης του σκυροδέματος, επιτρέποντας βελτιώσεις στην απόδοσή του. Επίσης, οι δοκιμές αντοχής σε θλίψη επιτρέπουν την εκτίμηση της μελλοντικής αντοχής του σκυροδέματος, διασφαλίζοντας ότι η κατασκευή θα αντέξει τα προβλεπόμενα φορτία και τάσεις. Τέλος, οι δοκιμές εξασφαλίζουν τη συμμόρφωση του σκυροδέματος με τις τεχνικές προδιαγραφές και τα πρότυπα κατασκευής, αποτρέποντας νομικά και ασφαλιστικά προβλήματα. Συνολικά, οι δοκιμές νωπού σκυροδέματος διασφαλίζουν ότι κάθε κατασκευαστικό έργο ξεκινά με υλικά υψηλής ποιότητας και σύμφωνα με τις προδιαγραφές, συμβάλλοντας στη δημιουργία ασφαλών και ανθεκτικών κατασκευών.

3.1. Δοκιμή κάθισης - Slump test (Εργασιμότητα)

Η δοκιμή κάθισης γνωστή και ως “Σλάμπ τεστ” από την ομώνυμη αγγλική λέξη χρησιμοποιείται για την εύρεση της εργασιμότητας και συνεκτικότητας του σκυροδέματος. Η δοκιμή αυτή γίνεται από παρτίδα σε παρτίδα για τον έλεγχο της ομοιογένειας του σκυροδέματος κατά την χρήση του και είναι το πιο απλό τεστ για να βρεθεί η εργασιμότητα του, με χαμηλό κόστος και άμεσα αποτελέσματα. Ανάλογα με την χρήση του χρησιμοποιείται και η ανάλογος βαθμός καθίζησης. Σε κάποιες περιπτώσεις το σκυρόδεμα χρειάζεται να είναι πολύ εργάσιμο όπως για παράδειγμα όταν υπάρχει πολύ στενός οπλισμός οπότε να γίνετε πιο δύσκολη η ροή του σκυροδέματος μέσω αυτού, ενώ αντίθετα χρησιμοποιείται πολύ χαμηλή καθίζηση όταν έχουμε κλίσεις και δεν θέλουμε το σκυρόδεμα να κυλήσει. Το Slump Test γίνεται πάντα με βάση των προδιαγραφών που χρησιμοποιεί η εκάστοτε χώρα και το πρότυπο που ακολουθήθηκε στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το EN 12350-2.



Εικόνα 3.1: Διαδικασία μέτρησης καθίζησης σκυροδέματος ((Risinger, Concrete Slump Testing, 2021)

- Παράγοντες που επηρεάζουν το Concrete Slump test:
 1. Ιδιότητες των υλικών όπως χημικές, λεπτότητα, κοκκομετρία, περιεχόμενη υγρασία και θερμοκρασία των τσιμεντοειδών. Μέγεθος, υφή, καθαρότητα και περιεχόμενη υγρασία των αδρανών,
 2. Δοσολογίες χημικών πρόσμικτων, είδος, συνδυασμός, αλληλεπίδραση, σειρά προσθήκης και η αποτελεσματικότητά τους,
 3. Περιεχόμενος αέρας σκυροδέματος,
 4. Παρτίδες σκυροδέματος, ανάμειξη, τρόπος μεταφοράς και ο εξοπλισμός,
 5. Θερμοκρασία σκυροδέματος,
 6. Δειγματοληψία του μπετού, τεχνική του slump και η κατάσταση των εργαλείων που χρησιμοποιούνται,
 7. Το ποσοστό του ελεύθερου νερού στο σκυρόδεμα (Εικόνα 3.4), και
 8. Ο χρόνος μεταξύ της φόρτωσης του σκυροδέματος μέχρι την ώρα της δειγματοληψίας.
- Εργαλεία που χρειάζονται για το Concrete Slump Test (Εικόνα 3.1):

Α) καλούπι με κωνικό σχήμα με ύψος 300mm, διάμετρο βάσης 200mm και διάμετρο στο πάνω μέρος 100mm,

Β) Βάση μεταλλική χωρίς πορώδες επιφάνειας μεγαλύτερης από την βάση του κώνου μας,

Γ) Ρίγα (Χάρακας) τουλάχιστον 300mm,

Δ) Μεταλλική ράβδος συμπίκνωσης (κόπανος) με διάμετρο $\Phi 16\text{mm}$ και μήκος 60cm με στρογγυλεμένο το ένα άκρο.

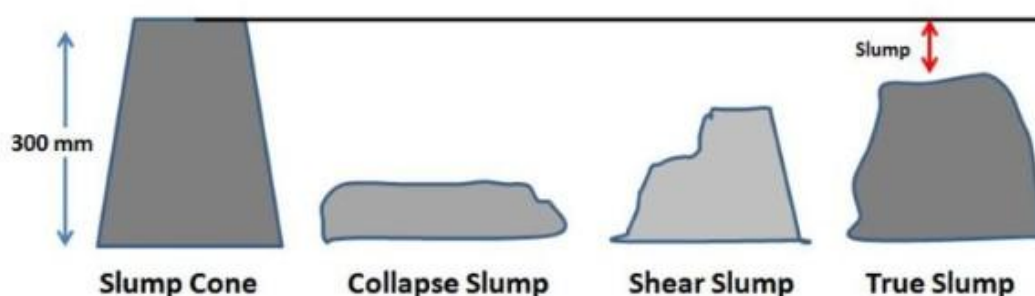
- Τύποι αποτελεσμάτων δοκιμής καθίζησης σκυροδέματος (Εικόνα 3.2):

1. *Πραγματική πτώση (True Slump)* – Η πραγματική πτώση είναι η μόνη πτώση που μπορεί να μετρηθεί στη δοκιμή. Η μέτρηση λαμβάνεται μεταξύ της κορυφής του κώνου και της κορυφής του σκυροδέματος μετά την αφαίρεση του κώνου.

2. *Μηδενική καθίζηση (Zero Slump)* – Η μηδενική καθίζηση είναι η ένδειξη πολύ χαμηλής αναλογίας νερού-τσιμέντου, η οποία έχει ως αποτέλεσμα ξηρά μείγματα. Αυτός ο τύπος σκυροδέματος χρησιμοποιείται γενικά για την κατασκευή δρόμων.

3. *Καταρρέουσα καθίζηση (Collapsed)* – Αυτή είναι μια ένδειξη ότι η αναλογία νερού-τσιμέντου είναι πολύ υψηλή, δηλ. το μείγμα σκυροδέματος είναι πολύ υγρό ή πρόκειται για μείγμα υψηλής εργασιμότητας, για το οποίο δεν ενδείκνυται η δοκιμή καθίζησης και στην χειρότερη περίπτωση υπάρχει διαχωρισμός το υλικών.

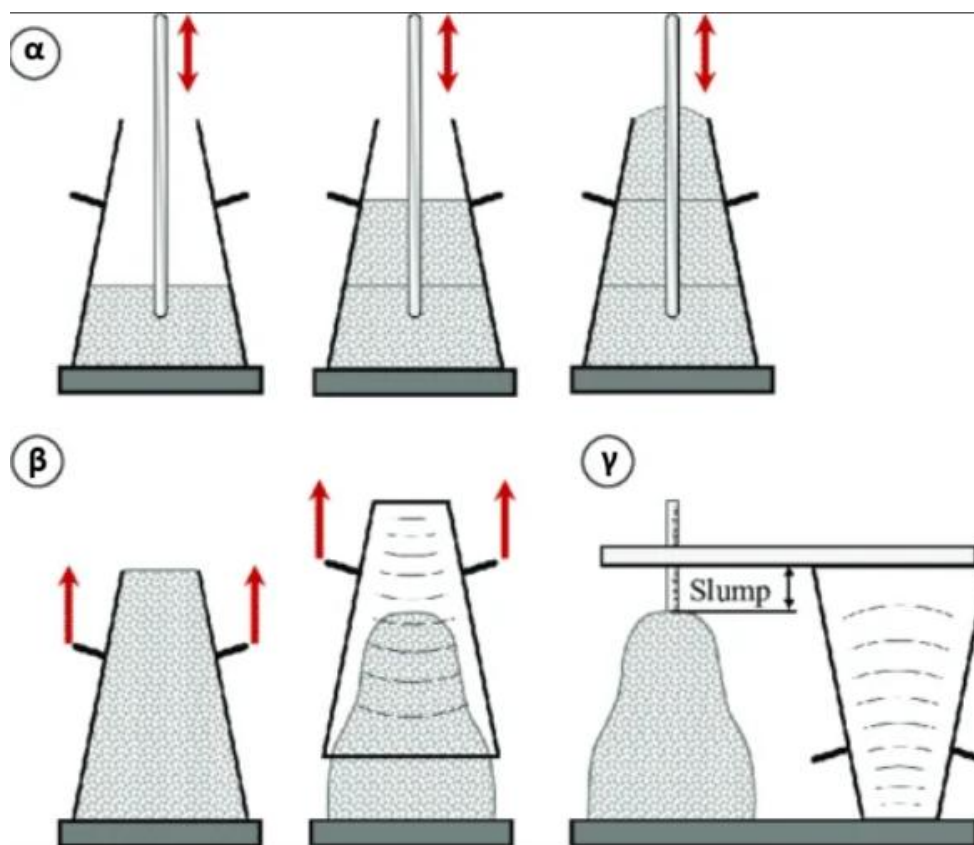
4. *Διατμητική καθίζηση (Shear)* – Η διατμητική καθίζηση υποδηλώνει ότι το αποτέλεσμα είναι ημιτελές και ότι το σκυρόδεμα πρέπει να επανεξεταστεί



Εικόνα 3.2: Τύποι αποτελεσμάτων δοκιμής καθίζησης - Slump Test (Risinger, What Is Slump Test, 2021)

Η πειραματική διαδικασία ξεκινάει καθαρίζοντας και βρέχοντας την εσωτερική επιφάνεια του κώνου και τοποθετώντας τον με την μεγαλύτερη βάση στο κάτω μέρος, σε μια λεία οριζόντια μη πορώδη πλάκα βάσης σε μέρος όπου δεν υπάρχουν κραδασμοί κατά την ώρα της πειραματικής διαδικασίας. Στην συνέχεια ενώ

ασφαλίζετε ο κώνος σε σταθερή θέση, γεμίζετε από το πάνω μικρότερο στόμιο με το έτοιμο μίγμα σκυροδέματος σε 3 περίπου ίσες στρώσεις, με την κάθε στρώση να χτυπιέται περίπου 25 φορές με το στρογγυλεμένο άκρο της ράβδου συμπίεσης, με ομοιόμορφο τρόπο πάνω από τη διατομή του καλουπιού. Για τις επόμενες στρώσεις, η συμπίεση πρέπει να διεισδύσει στο υποκείμενο στρώμα (*Εικόνα 3.3.α*). Αφαιρείτε το επιπλέον σκυρόδεμα που εξέρχεται από πάνω και ισοπεδώνετε η επιφάνεια του με ένα μυστρί και καθαρίζετε το κονίαμα ή το νερό που διέρρευσε μεταξύ του κώνου και της πλάκας βάσης. Αμέσως μετά απασφαλίζετε και ανυψώνετε ο κώνος αργά σε κάθετη κατεύθυνση μέσα σε χρόνο λιγότερο των 3 δευτερολέπτων ελευθερώνοντας το σκυρόδεμα από το κάτω μέρος (*Εικόνα 3.3.β*). Γυρίζοντας τον κώνο ανάποδα με το μεγαλύτερο άνοιγμα προς τα πάνω μετρείται η καθίζηση ως η διαφορά μεταξύ του ύψους του κώνου καθίζησης (300mm) και του μέσου όρου του σημείου του καθιζάμενου δείγματος που δοκιμάζεται (κάθετη καθίζηση) (*Εικόνα 3.3.γ*). Καταγράφεται σε χιλιοστά καθίζησης του δείγματος κατά τη διάρκεια της δοκιμής με διορθώσεις και επιτρεπτά όρια που φαίνονται στον *Πίνακα 3.1* και την διαδικασία να φαίνετε στην *Εικόνα 3.3*.



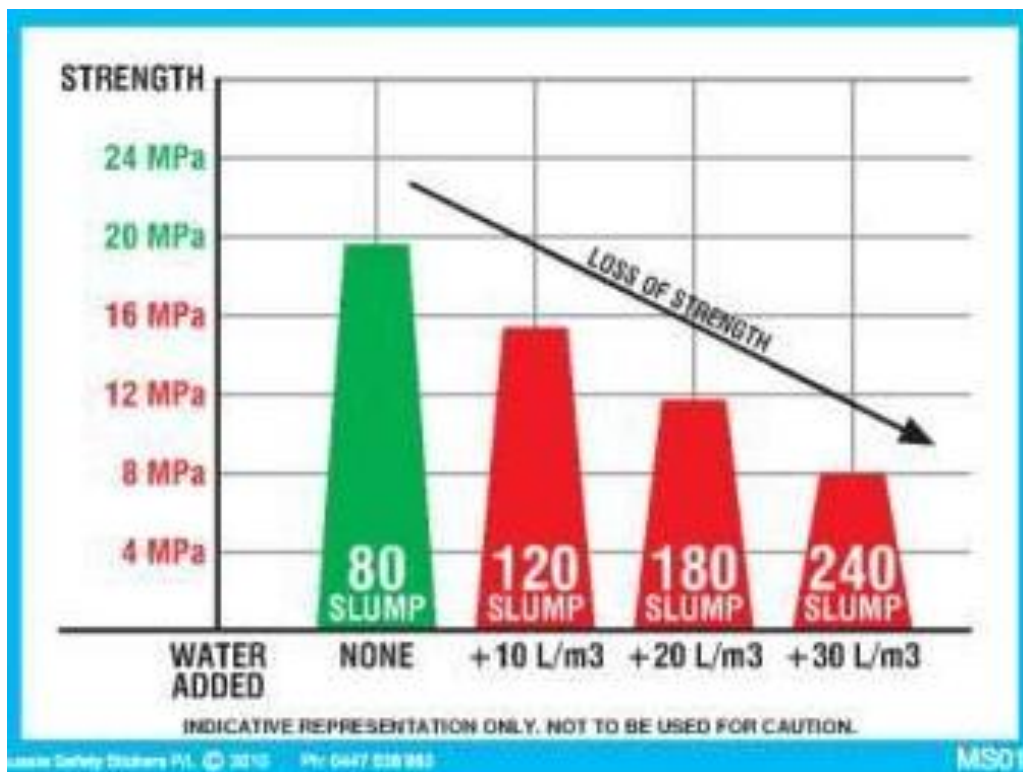
Εικόνα 3.3: Πειραματική διαδικασία δοκιμής καθίζησης - Σλαμπ τεστ (Ascent, 2024)

Πίνακας 3.1: Διορθώσεις και επιτρεπτά όρια στην δοκιμή καθίζησης

Προδιαγεγραμμένη Καθίζηση (mm)	Επιτρεπόμενα Όρια (mm)
≤60	±10
≥60 ≤80	±15
>80 ≤100	±20
>110 ≤150	±30
>150	±40

Ανάμιξη νερού σε σκυρόδεμα:

Η χρήση υπερβολικού νερού στο σκυρόδεμα είναι ίσως η πιο κοινή κατάχρηση στις κατασκευές σκυροδέματος για τον λόγο ότι αυξάνει την εργασιμότητα του και γίνεται πιά εύκολη η άπλωση και η διάστρωση του, άρα μειώνεται και ο χρόνος και ο κόπος που χρειάζεται απο πλευράς εργασιών. Σε ένα μείγμα σκυροδέματος με σωστή αναλογία, χρειάζεται μόνο το μισό περίπου του νερού ανάμιξης για την ενυδάτωση του τσιμέντου, το υπόλοιπο δρα ως λιπαντικό για να του δίνει εργασιμότητα. Όταν εισαχθεί περισσότερο νερό από αυτό που είναι απαραίτητο για να επιτύχουμε την εργασιμότητα που επιδιώκουμε, το σκυρόδεμα αραιώνεται, η πυκνότητα και η αντοχή του μειώνονται ([Εικόνα 3.4](#)). Η αντοχή σε θλίψη είναι ανάλογη με την αντοχή του τσιμεντοπολτού που με τη σειρά του εξαρτάται από την αναλογία Νερού-Τσιμέντου. Εκτός από την απώλεια αντοχής, άλλα αποτελέσματα της υπερβολικής ανάμιξης νερού είναι η υπερβολική ρηγμάτωση που προκύπτει από υψηλή συρρίκνωση σε συνδυασμό με την χαμηλή αντοχή σε εφελκυσμό και η δημιουργία σκόνης στην επιφάνεια του σκυροδέματος που προκαλείται από υπερβολική ενυδάτωση που φέρνει τα λεπτόκοκκα στην επιφάνεια. Παράδειγμα για την αύξηση της καθίζησης με την προσθήκη επιπλέον νερού και η επίδραση στην αντοχή του σκυροδέματος για συγκεκριμένη κατηγορία και σύνθεση σκυροδέματος φαίνεται στην παρακάτω [Εικόνα 3.4](#).



Εικόνα 3.4: Επίδραση προσθήκης επιπλέον ποσότητας νερού στην αντοχή και στην καθίζηση για συγκεκριμένη σύνθεση σκυροδέματος κατηγορίας 20MPa και 80mm καθίζησης (Water - Cement Ratio, 2010)

3.2. Μέτρηση Θερμοκρασίας

Η μέτρηση της θερμοκρασίας του νωπού σκυροδέματος, σύμφωνα με τις προδιαγραφές, γίνεται με θερμόμετρο ακρίβειας $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$, το οποίο εισάγεται εντός του δείγματος του σκυροδέματος κατά 75mm για τουλάχιστον 2 λεπτά. Η θερμοκρασία του σκυροδέματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 5°C κατά την τοποθέτηση και μικρότερη των 30°C κατά την εφαρμογή του. Αυτή η διαδικασία διασφαλίζει ότι το σκυρόδεμα θα σκληρυνθεί σωστά και θα αποκτήσει τις επιθυμητές ιδιότητες, αποφεύγοντας προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από ακατάλληλες θερμοκρασίες κατά την τοποθέτηση και σκλήρυνση.

3.3. Προσδιορισμός Πυκνότητας (EN 12360-6)

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος είναι η πυκνότητά του, η οποία μπορεί να μεταβάλλεται αναλόγως της σύνθεσης του διαλύματος, όπως και το βάρος του αφού εξαρτάται από την πυκνότητα. Η πυκνότητα εκφράζει την ποσότητα μάζας του σώματος στη μονάδα του όγκου.

Πειραματική διαδικασία:

Νωπό σκυρόδεμα εισάγετε σε τρεις στρώσεις σε στερεό στεγανό δοχείο (αφού πρώτα ζυγιστεί άδειο για να είναι γνωστό το βάρος του δοχείου). Γίνεται συμπίκνωση κάθε στρώσης με την βοήθεια ράβδου $\Phi 16$ (Εικόνα 3.5), κάθε στρώση συμπυκνώνετε 25 φορές με την ράβδο να μην ακουμπάει τον πυθμένα του δοχείου στην πρώτη στρώση

και χωρίς να εισέρχεται της προηγούμενης στρώσης για τις δύο επόμενες. Μετά το τέλος της συμπίκνωσης του σκυροδέματος γίνεται διάστρωση της επιφάνειας και ζυγίζεται το δοχείο μαζί με το σκυρόδεμα. Αφαιρώντας το βάρος του κενού δοχείου από το βάρος του πλήρους δοχείου υπολογίζουμε το βάρος του σκυροδέματος. Διαιρώντας το βάρος του σκυροδέματος με τον γνωστό όγκο υπολογίζουμε την πυκνότητα, ή φρέσκο μοναδιαίο βάρος. Η διαδικασία γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο (ΚΤΣ 2016, EN 12360-6, 2016).



Εικόνα 3.5: Διαδικασία συμπίκνωσης σκυροδέματος για τον προσδιορισμό της πυκνότητας του σκυροδέματος

3.4. Υπολογισμός φαινόμενου ειδικού βάρους (EN 12350-6)

Φαινόμενο βάρος ενός αδρανούς υλικού ορίζεται ο λόγος της μάζας του υλικού που καταλαμβάνει όλο τον όγκο κυλινδρικού δοχείου όταν αυτό έχει πληρωθεί με ελεύθερη ροή του αδρανούς και χωρίς περαιτέρω συμπίκνωση, προς τον όγκο του δοχείου και αποδίδεται με μονάδες kg/m^3 . Το φαινόμενο βάρος του νωπού σκυροδέματος συνήθως κυμαίνεται από 2.35 έως 2.4 kg ανά m^3 . Ενώ σε περιοχές με ποταμίσια (φυσικά) αδρανή μπορεί να είναι και 2.32 kg ή/και 2.3 kg .

Πειραματική διαδικασία:

Ο έλεγχος για τον προσδιορισμό του φαινόμενου ειδικού βάρους εφαρμόστηκε σύμφωνα με τον EN 12350-6. Το νωπό σκυρόδεμα τοποθετήθηκε σε μήτρα γνωστών διαστάσεων (V) και μάζας (M_1). Η μήτρα ζυγίζεται εκ νέου όντας γεμάτη από το δείγμα (Εικόνα 3.6). Ο υπολογισμός του ζητούμενου φαινόμενου ειδικού βάρους γίνεται μέσω της σχέσης :

$$d = \frac{M_2 - M_1}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (7)$$

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε με μήτρα διαστάσεων όγκου V ίσου με 0.003 m^3 .



Εικόνα 3.6: Ζύγισμα μήτρας μετά την συμπύκνωση για την εύρεση πυκνότητας

3.5. Δοκιμή περιεκτικότητας σε Αέρα (EN 12350-7)

Μέσω της δοκιμής αυτής προσδιορίζεται ο περιεχόμενος αέρας που εγκλωβίζεται στο μίγμα κατά τη σκυροδέτηση. Το ποσοστό του αέρα που εγκλωβίζεται στο σκυρόδεμα επηρεάζει την ποιότητα και την συμπεριφορά του. Εξαρτάται συνήθως από το λόγο νερού/ τσιμέντου, τη λεπτότητα άλεσης, το χρόνο ανάδευσης, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά την παραγωγή και τις συνθήκες συντήρησης. Η περιεκτικότητα σε αέρα προσδιορίζετε με τη συσκευή μέτρησης πίεσης σύμφωνα με τον EN 12350-7. Το νωπό σκυρόδεμα του μίγματος τοποθετείτε στη συσκευή σε τρεις στρώσεις ίσου πάχους, με κάθε στρώση να συμπυκνώνετε με χαλύβδινη ράβδο κυκλικής διατομής Φ16 και με περίπου 10-15 ελαφριά κτυπήματα στην γύρο περιφέρεια της συσκευής, πριν την τοποθέτηση της επόμενης. Ανοίγοντας έπειτα τις δύο βαλβίδες στα πλαϊνά της συσκευής και με την διοχέτευση νερού μέσω της μίας έως ότου βγει το νερό από την άλλη για την απελευθέρωση οποιουδήποτε αέρα που έχει τυχόν εγκλωβιστεί εντός της συσκευής. Στη συνέχεια προσθέτουμε αέρα εντός της συσκευής με την βοήθεια του μικρού μοχλού στο πάνω μέρος μέχρι να φτάσει η βελόνα του πιεσόμετρου στην μηδενική θέση. Αμέσως μετά με την βοήθεια του μοχλού αποσυμπίεσης και παράλληλα χτυπώντας ελαφριά το πλάι της συσκευής διαβάσετε από το πιεσόμετρο η ζητούμενη μέτρηση και προσδιορίζετε η % περιεκτικότητα σε αέρα.

3.6. Μεθοδολογία πειραματικής διαδικασίας

Οι πειραματικές διαδικασίες ξεκίνησαν με τον έλεγχο των κύριων συστατικών του σκυροδέματος, συγκεκριμένα των αδρανών, τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ποιότητά του. Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία από όλα τα αδρανή που θα χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή του σκυροδέματος που απαιτούνταν για όλα τα πειράματα της πτυχιακής εργασίας. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα αδρανή περιλάμβαναν τη δοκιμή εύρεσης ειδικού βάρους, τη δοκιμή ανθεκτικότητας σε αποσάθρωση, τη δοκιμή μπλε του μεθυλενίου, τη δοκιμή καθορισμού δείκτη πλακοειδούς και την κοκκομετρική διαβάθμιση, και όλα εκτελέστηκαν στο ειδικά διαμορφωμένο εργαστήριο της εταιρείας "Β.Σ.Κ. Γεωανάλυση λτδ".

Για τους σκοπούς της έρευνας παράχθηκαν σε εργοστάσιο παραγωγής σκυροδέματος 4 m³ σκυροδέματος κατηγορίας C30/37, σύμφωνα με συγκεκριμένη συνταγή (mix design), τα οποία φορτώθηκαν σε φορτηγό μπετονιέρα. Μετά την προετοιμασία όλων των εργαλείων και των καλουπιών που θα χρησιμοποιούνταν στις δοκιμές και τις δειγματοληψίες του νωπού σκυροδέματος, το δείγμα παρέμεινε στη μπετονιέρα για περίπου 5 λεπτά, με γρήγορες στροφές ανάδευσης (9-11 στροφές/λεπτό) για την ομογενοποίηση του σκυροδέματος πριν τη λήψη δείγματος. Στη συνέχεια έγινε δειγματοληψία από το δείγμα σκυροδέματος, το οποίο αναμίχθηκε ξανά καλά σε καρότσι κήπου με τη βοήθεια μεταλλικής σέσουλας για περαιτέρω ομογενοποίηση.

Αμέσως μετά πραγματοποιήθηκε η πρώτη δοκιμή καθίζησης (Slump Test) για να διαπιστωθεί η εργασιμότητα του σκυροδέματος για τα πρώτα δείγματα. Έπειτα ξεκίνησε η δειγματοληψία των κυβικών και κυλινδρικών δοκιμίων. Λόγω του μεγάλου όγκου δειγμάτων, υπήρχε ένας τεχνικός για την τοποθέτηση του φρέσκου σκυροδέματος στα καλούπια και άλλος για την συμπύκνωση με τη βοήθεια της ράβδου συμπύκνωσης, ώστε να αποφευχθούν τυχόν διαφοροποιήσεις στα δείγματα λόγω διαφορετικού δειγματολήπτη. Την ίδια στιγμή, ένας τρίτος τεχνικός ήταν υπεύθυνος για τη μέτρηση του φαινομένου ειδικού βάρους και της πυκνότητας του δείγματος σκυροδέματος. Μετά από περίπου 10 λεπτά, πραγματοποιήθηκε ξανά δοκιμή καθίζησης και συνεχίστηκε η δειγματοληψία των δοκιμίων, σημειώνοντας ποια από αυτά ήταν με τη νέα καθίζηση για μελλοντική αντιστοιχία.

Μετά το πέρας της δειγματοληψίας, μεταφερθήκαμε στην πλατεία του εργοστασίου, περίπου 100 μέτρα πιο κάτω, όπου βρισκόταν το μεγάλο κυβικό καλούπι χωρητικότητας 1 m³ και έγινε η δειγματοληψία του μεγάλου κυβικού δοκιμίου σε δύο στρώσεις, με συμπύκνωση της κάθε μίας από αυτές με τη βοήθεια δονητή. Το δοκίμιο αυτό δημιουργήθηκε για τη δειγματοληψία των καρότων, την εκτίμηση της αντοχής με το

κρουσιόμετρο και τη μέθοδο εξώλκευσης ήλου ακριβώς 28 ημέρες μετά την ημέρα δειγματοληψίας.

Την επόμενη ημέρα της δειγματοληψίας, τα κυλινδρικά και κυβικά δοκίμια όλων των διαστάσεων μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για να τοποθετηθούν σε λουτρό συντήρησης, ώστε να διατηρηθούν σε σταθερή θερμοκρασία 20°C κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Τα κυβικά δοκίμια των 150 mm³ ήταν τα μόνα που εξετάστηκαν στις 3, 7, 14, 21, 28 και 56 ημέρες, προκειμένου να δημιουργηθεί γραφική παράσταση με την ωρίμανση του σκυροδέματος που εξετάσαμε. Όλα τα δοκίμια ζυγίστηκαν εντός και εκτός νερού πριν τη θραύση τους, μετρήθηκε η καθετότητα και η επιπεδότητά τους, και αμέσως μετά έσπασαν. Τα κυβικά δοκίμια των 100 mm³ έσπασαν στις 7, 28 και 56 ημέρες, ενώ τα κυλινδρικά έσπασαν μόνο στις 28 ημέρες. Από την πρώτη δειγματοληψία, τρία δείγματα δοκιμάστηκαν εντός των πρώτων 10 λεπτών με το πρώτο Slump Test και άλλα τρία δείγματα δοκιμάστηκαν στη δεύτερη δειγματοληψία μετά από 10 λεπτά με το δεύτερο Slump Test.

Ο όρος δειγματοληψία υποδηλώνει την στατιστική διερεύνηση του μέρους ενός συνόλου, με σκοπό την διεξαγωγή συμπερασμάτων για το σύνολο αυτό. Σκοπός δειγματοληψίας είναι η παραγωγή δειγμάτων ελέγχου για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος και των ιδιοτήτων του μίγματος σκυροδέματος.

3.7. Δειγματοληψία νωπού σκυροδέματος σύμφωνα με το πρότυπο EN 12390:

- Καλούπια/Μήτρες για δειγματοληψία

Για τις ανάγκες του πειράματος της πτυχιακής εργασίας απαιτήθηκαν 30 κυβικές πλαστικές μήτρες ονομαστικής εσωτερικής διάστασης d=150mm, 4 διπλές κυβικές πλαστικές μήτρες ονομαστικής εσωτερικής διάστασης d=100mm και 6 κυλινδρικές μήτρες d=150 mm πλάτους και ύψους h=300 mm οι οποίες παραχωρήθηκαν από το ίδιο το εργαστήριο. Στις συγκεκριμένες μήτρες έγινε καθαρισμός με πιεστικό νερού υψηλής πίεσης για να είναι καθαρά χωρίς ξένα σωματίδια όπως παλιό λάδι στις εσωτερικές επιφάνειες τους καθώς και υπολείμματα σκυροδέματος που θα επηρέαζαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

A) Κυβικό καλούπι 100mm και 150mm:

Εργαλεία που χρειάζονται:

1. Καρότσι (κήπου)
2. Καλούπι κυβικού δείγματος διαστάσεων 150x150x150mm και 100x100x100mm
3. Λιπαντικό λάδι για ευκολία στην εξαγωγή των δοκιμίων

4. Χαρτόνι ή πλαστικό ειδικό πώμα για το κλείσιμο της τρύπας εξαγωγής
5. Κόπανος/Ράβδος συμπύκνωσης από χάλυβα Φ16
6. Μυστρί

Β) Κυλινδρικό καλούπι:

Εργαλεία που χρειάζονται:

1. Καρότσι (κήπου)
 2. Καλούπι κυλινδρικού δείγματος διαστάσεων 300X150mm
 3. Λιπαντικό λάδι για ευκολία στην εξαγωγή των δοκιμίων
 4. Κόπανος/Ράβδος συμπύκνωσης από χάλυβα Φ16, μήκος 60 mm και στρογγυλεμένο ή σχήμα σφαίρας στο ένα άκρο.
 5. Μυστρί
- Προετοιμασία πριν την δειγματοληψία και για τις δυο περιπτώσεις :
 - Καθαρισμός επιφανειών καλουπιών
 - Καθαρισμός εργαλείων που θα χρησιμοποιηθούν
 - Λάδωμα καλουπιών

Δειγματοληψία:

Το δείγμα πρέπει να λαμβάνεται σε καρότσι κήπου για αποφυγή διαχωρισμού και ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της λήψεως του σκυροδέματος και της παρασκευής του δοκιμίου, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 15 λεπτά της ώρας. Οι μήτρες πριν από τη χρήση τους πρέπει να έχουν λαδωθεί ελαφρά με λάδι και κάθε μήτρα γεμίζεται με τη σέσουλα. Για τη συμπύκνωση του δοκιμίου χρησιμοποιείται χαλύβδινη ράβδος με τετράγωνη βάση με ακμή 35mm, με στρογγυλεμένα άκρα ενώ για τα κυλινδρικά δοκίμια μεταλλική ράβδος συμπύκνωσης (κόπανος) με διάμετρο Φ16mm και μήκος 60cm με στρογγυλεμένο το ένα άκρο. Το γέμισμα κάθε κυβικής μήτρας γίνεται σε δύο στρώσεις με καθε μία να συμπυκνώνεται με 25 κτύπους ενώ για τα κυλινδρικά δοκίμια γίνεται σε τρεις στρώσεις με κάθε μία να συμπυκνώνεται με 36 χτύπους. Η συμπύκνωση γίνεται αμέσως μετά την τοποθέτηση του σκυροδέματος στην μήτρα και χωρίς διακοπή μεταξύ των στρώσεων. Κατά τη συμπύκνωση της πρώτης στρώσης η ράβδος πρέπει να εισχωρεί μέχρι τον πυθμένα της μήτρας, χωρίς να ακουμπάει τον πάτο του καλουπιού και στις άλλες δύο στρώσεις να διεισδύει μέχρι 2cm στην προηγούμενη. Μετά τη συμπύκνωση της τελευταίας στρώσης επιπεδώνεται η τελική επιφάνεια και αριθμείται το δοκίμιο. Για κάθε δοκίμιο, καταγράφεται ο αριθμός του δελτίου αποστολής, η ώρα λήψης του σκυροδέματος από το φορτηγό, η ώρα δημιουργίας του δείγματος όπως και οι συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν.



Εικόνα 3.7: Κυβικά καλούπια αμέσως μετά την δειγματοληψία

- Συντήρηση:

Δεξαμενή νερού συντήρησης δοκιμών:

Το εργαστήριο της εταιρείας "Β.Σ.Κ.Γεωανάλυση LTD" διαθέτει δεξαμενή συντήρησης δοκιμών σκυροδέματος όπου πραγματοποιήθηκε η συντήρηση των κυλινδρικών και κυβικών δοκιμών της πτυχιακής εργασίας. Στην προσπάθειά να υπάρξει ίδιο και σταθερό περιβάλλον συντήρησης ώστε να μην διαταραχτεί η ομοιόμορφη ωρίμανση των δοκιμών, αποφασίστηκε να επιτευχθούν και οι απαραίτητες προϋποθέσεις, σύμφωνα με τις προδιαγραφές (ΚΤΣ 2016, ASTM-C192/C192M, 2016). Γι' αυτό, πριν την έναρξη της συντήρησης των δοκιμών μέσα στους θαλάμους, πραγματοποιήθηκαν οι ενέργειες εκείνες που διασφάλιζαν τη δέσμευση εκείνων των παραμέτρων που θα επηρέαζαν τις προαναφερόμενες απαιτήσεις.

1. Αδειάστηκε και καθαρίστηκε η δεξαμενή από τυχόν υπολείμματα σκυροδέματος και λαδιών και ξαναγέμιστηκε με καθαρό νερό,
2. Έγινε τοποθέτηση ψηφιακού θερμομέτρου στην μέση της δεξαμενής με ακρίβεια 0.1°C.

Διαδικασία συντήρησης:

Τα δοκίμια παραμένουν στο εργοτάξιο, εντός των μητρών προστατευμένα απο τυχόν κρούσεις και δονήσεις. Πρέπει να φυλάσσονται υπό σκιά και να προστατεύονται από τον αέρα για περισσότερο από 16 και λιγότερο από 32 ώρες. Αμέσως μετά την αφαίρεση των δειγμάτων απο τις μήτρες, τα δοκίμια συντηρούνται σε θερμοκρασία 18-22 °C και σε περιβάλλον σχετικής υγρασίας μεγαλύτερο του 90%. Κατά την μεταφορά των δειγμάτων απο το σημείο δειγματοληψίας προς στο εργαστήριο πρέπει να

αποφεύγονται κρούσεις και δονήσεις όπως και μεγάλες αποκλίσεις στην θερμοκρασία περιβάλλοντος.



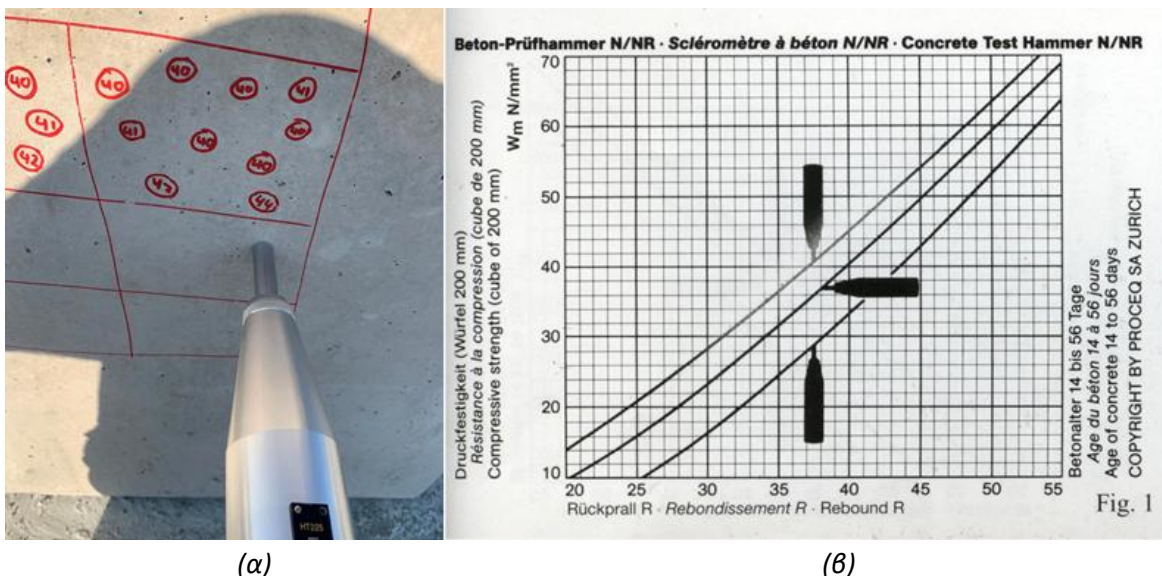
Εικόνα 3.8: Δοκίμια σε συνθήκες 100% κορεσμού στο εργαστήριο

4. Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος

4.1. Μη καταστροφικές μέθοδοι

4.1.1. Schmidt NDT test ή δοκιμή αναπήδησης (Rebound Test)

Αυτή η δοκιμή είναι μια μέθοδος σκληρότητας επιφάνειας γνωστή ως δοκιμή σφυριού Schmidt ή δοκιμή αναπήδησης ή δοκιμή ανάκρουσης. Αυτή η δοκιμή εφαρμόζεται συχνά για τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών αντοχής σκυροδέματος. Αναπτύχθηκε το έτος 1948 από τον Ελβετό μηχανικό Ernst Schmidt και συνήθως αναφέρεται ως η αιτία της μεθόδου σφυριού Schmidt λόγω του σφυριού αναπήδησης Schmidt (Εικόνα 4.1.α). Το σφυρί αναπήδησης είναι ένα σφυρί ελεγχόμενο με ελατήριο που ολισθαίνει σε μια ράβδο μέσα σε ένα ταραχώδες περίβλημα. Όταν η κεφαλή πιέζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος, η μάζα αναπηδά και αποσύρεται ενάντια στη δύναμη του ελατηρίου. Το σφυρί προσκρούει στο σκυρόδεμα και η ελεγχόμενη μάζα του ελατηρίου αναπηδά παρασύροντας τον μετρητή στην εγκατεστημένη κλίμακα. Ο μετρητής αναδεικνύει τον αριθμό αναπήδησης δηλαδή την απόσταση που διανύθηκε από τη μάζα. Η τυπική σχέση μεταξύ της αντοχής σε θλίψη και του αριθμού αναπήδησης οριζόντια και κατακόρυφη σε ξηρή ή υγρή επιφάνεια του σκυροδέματος φαίνεται στο παρακάτω γράφημα στην Εικόνα 4.1 (β). Ο αριθμός της αναπήδησης λαμβάνεται από τον μέσο όρο 15 μετρήσεων.



Εικόνα 4.1: (α) Δοκιμή ανάκρουσης με το Schmidt Hammer και (β) προσδιορισμός αντοχής με την δοκιμή ανάκρουσης.

4.1.2. Μέθοδος εξόλκευσης ήλου (Pull Out Test)

Η μέθοδος εξόλκευσης ήλου μετρά τη δύναμη που απαιτείται για την εξαγωγή της διαμορφωμένης ράβδου από το υπό εξέταση σκληρυμένο σκυρόδεμα που εξετάζεται. Όσο ισχυρότερο είναι το σκυρόδεμα, τόσο περισσότερη δύναμη απαιτείται για την εξαγωγή της. Χρησιμοποιώντας καθιερωμένες συσχετίσεις, η δύναμη παρέχει τις ιδιότητες αντοχής του σκυροδέματος. Οι ράβδοι τοποθετούνται με δύο μεθόδους Cast-in ή στερεωμένες στη θέση τους. Στη μέθοδο "Cast-in", οι ράβδοι εισάγονται στο φρέσκο σκυρόδεμα και αφήνονται να σκληρύνουν ενώ στην σταθερή θέση οι ράβδοι τοποθετούνται με ένα ειδικό πιστόλι όπως φαίνεται στα δεξιά της [Εικόνας 4.2](#) που χρησιμοποιεί καψύλια που ωθεί και εισάγει τη ράβδο στο σκληρυμένο σκυρόδεμα. Το όργανο στην αριστερή πλευρά της [Εικόνας 4.2](#), τοποθετείται στη ράβδο και σφίγγεται πάνω της και από την αριστερή πλευρική κύλιση του τροχού η ράβδος τραβιέται προς τα πάνω και η δύναμη που απαιτείται (δύναμη έλξης) αντιστέκεται από τις ορθές τάσεις (Normal stresses) και από τις τάσεις διάτμησης που δρουν στην εισαγόμενη επιφάνεια και η δύναμη ασκείται μέχρι να καταγραφεί η αρχική θραύση στην επιφάνεια.



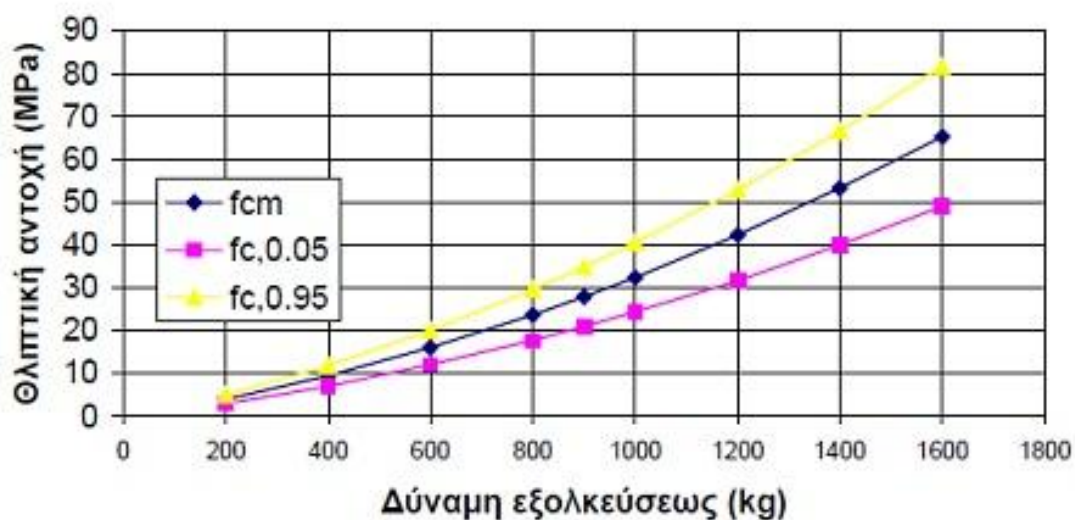
Εικόνα 4.2: α) Στο αριστερό μέρος το εργαλείο εξαγωγής και μέτρησης της αντίστασης και β) δεξιά το μηχάνημα Hilti για την εισαγωγή των καρφιών στο σκυρόδεμα στα δεξιά

Οι αναπτυσσόμενες τριβές οι οποίες είναι ανάλογες των πλευρικών πιέσεων, αποτελούν κριτήριο της αντοχής του υλικού για τον λόγο ότι εξαρτώνται από τις ελαστικές και πλαστικές ιδιότητες του υλικού. Η σχέση (7) είναι η συνάρτηση πιθανής συμβατικής αντοχής σκυροδέματος και δύναμης εξόλκευσης εμπεγμένου ήλου:

$$\beta_w = -4 + 19.3H + 1.36H^2 \quad (7)$$

Όπου,

H = η δύναμη εξόλκευσης ήλου. Κάθε μέτρηση β_w και η μέση τιμή τους ικανοποιεί το κριτήριο συμμορφώσεως του (ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ Ε. Τ., Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, 2016). Σε κάθε θέση πρέπει να γίνονται τουλάχιστον 6 επιτυχείς δοκιμές σε απόσταση 10cm τουλάχιστον μεταξύ τους με τις επιφάνειες που δεν είναι αντιπροσωπευτικές της αντοχής του σκυροδέματος να αποφεύγονται όπως για παράδειγμα οι τσιμεντοκονίες κλπ. Στην πιο κάτω [Εικόνα 4.3](#) παρουσιάζεται η καμπύλη συσχέτισης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με την δύναμη εξολκείσεως, σύμφωνα με τα πειράματα (Λογοθέτης, 1979).



Εικόνα 4.3: Καμπύλη συσχέτισης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με δύναμη εξολκείσεως, σύμφωνα με τα πειράματα (Λογοθέτης, 1979)

4.2. Ημί - Καταστροφικές μέθοδοι

4.2.1. Μέθοδος πυρηνοληψίας καρότων (Coring):

- Πυρηνοληψία δειγμάτων από κυβικό δοκίμιο σκυροδέματος 1x1x1m:

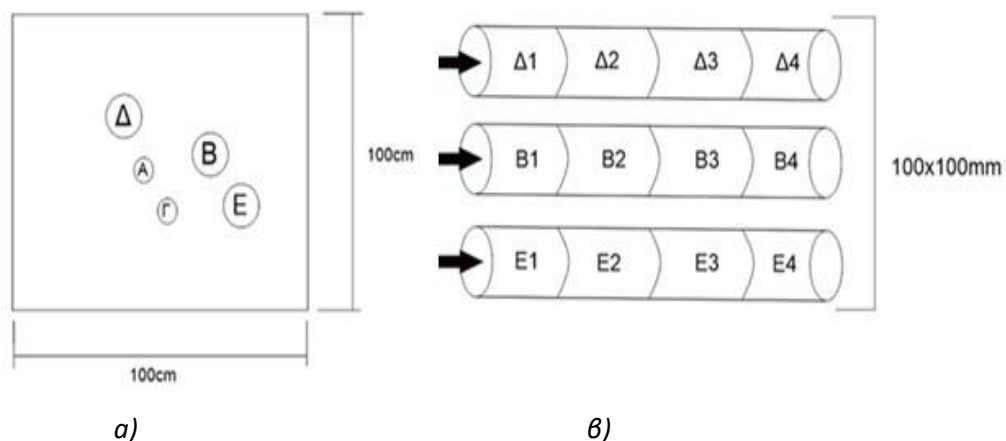
Για την εξαγωγή των πυρήνων από το κυβικό μας δοκίμιο 100x100x100cm χρησιμοποιήθηκε καροταρία "Husqvarna DMS 240" ([Εικόνα 4.4](#)) με αρίδα Φ82 για εξαγωγή καρότων Φ73mm και αρίδα Φ112 για εξαγωγή πυρήνων με διάμετρο Φ100mm. Οι αρίδες εξαγωγής καρότων έχουν στην άκρη τους δόντια από εργοστασιακό διαμάντι για να μπορούν να διεισδύουν και να κόβουν σκληρυμένο σκυρόδεμα.



Εικόνα 4.4: Μηχανή Husqvarna DMS240 πυρηνοληψίας καρότων κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας

Πειραματική διαδικασία εξαγωγής πυρήνων:

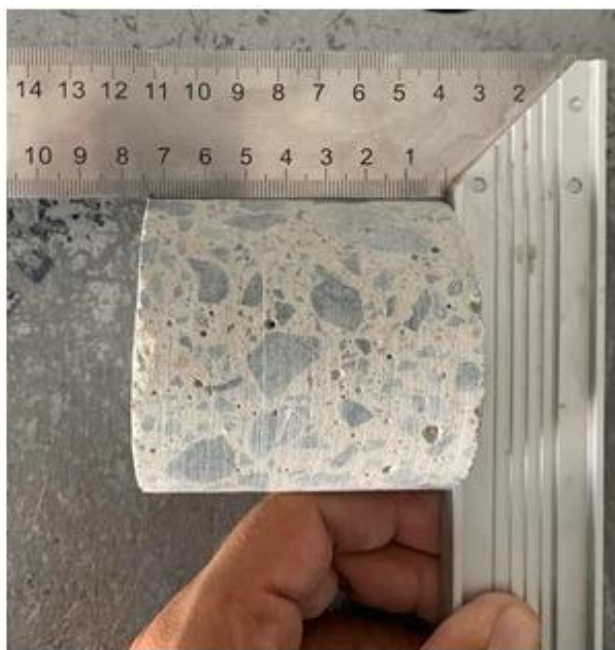
- Για να είναι οριζόντια η πυρηνοληψία πρέπει να γίνει καλή σταθεροποίηση της μηχανής. Οπότεν γίνεται διάνοιξη μιας κάθετης τρύπας βάθους 8 cm περίπου με ηλεκτρικό τρυπάνι σε απόσταση 33mm από την μέση του σημείου που θα γίνει η εξαγωγή του δείγματος και στην συνέχεια εισάγετε το εκτονούμενο αγκύριο στην τρύπα αυτή και με δυνατά κτυπήματα με την βοήθεια βαριάς ή σφυριού για να ανοίξει το κάτω μέρος του και να στερεωθεί στο μπετόν καλά για να μπορεί να στερεωθεί η μηχανή πυρηνοληψίας πάνω σε αυτό με ασφάλεια.
- Βιδώνετε η βάση της μηχανής πάνω του και στερεώνετε σφικτά
- Ενώσαμε την μηχανή μας με μια παροχή νερού για την απομάκρυνση της λάσπης και των θρυμματισμένων αδρανών που θα δημιουργούνται από την κοπή του σκυροδέματος
- Κάθε δείγμα που έβγαине αναγραφόταν το γράμμα του σημείου από όπου πάρθηκε και ο αριθμός του που μας δείχνει το βάθος στο οποίο βρισκόταν ([Εικόνα 4.5](#)).
- Όταν τα καρότα φτάσουν στο εργαστήριο πρέπει να κοπούν στις σωστές διαστάσεις (1/1) με δίσκο κοπής ([Εικόνα 4.6](#)), να λειανθούν και να καλυφθούν τα δύο άκρα με Θεϊκό Όξύ (Sulphur Acid) όπως φαίνετε στην [Εικόνα 4.7](#) πιο κάτω.



Εικόνα 4.5: (α)Αριστερά η πρόσοψη των καρότων 10x10cm και (β) δεξιά η πλάγια όψη με την κατεύθυνση και το βάθος του κάθε πυρήνα

- Κοπή, λείανση και προετοιμασία καρότων:

Αμέσως μετά την εξαγωγή των πυρήνων από το εργοστάσιο παραγωγής όπου έγιναν οι δειγματοληψίες, όλα τα δείγματα τα καρότα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου κόπηκαν στις σωστές διαστάσεις 100x100 mm και 73x73 mm με τον δίσκο κοπής που βρίσκεται στο εργαστήριο, ακολούθως πραγματοποιήθηκε λείανση των δύο άκρων.



α)



β)

Εικόνα 4.6: (α) Αριστερά μέτρηση ύψους καρότου 10cm και β)δεξιά δίσκος κοπής Einhell με αδαμάντινα δόντια για κοπή σκυροδέματος

- Συντήρηση πυρήνων:

Τα δοκίμια αμέσως μετά την εξαγωγή τους, επέστρεψαν στο εργαστήριο όπου μετά την κοπή και την λείανση τους συντηρήθηκαν σε συνθήκες εργαστηρίου στους 20°C για τουλάχιστον 24 ώρες πριν την θραύση τους.



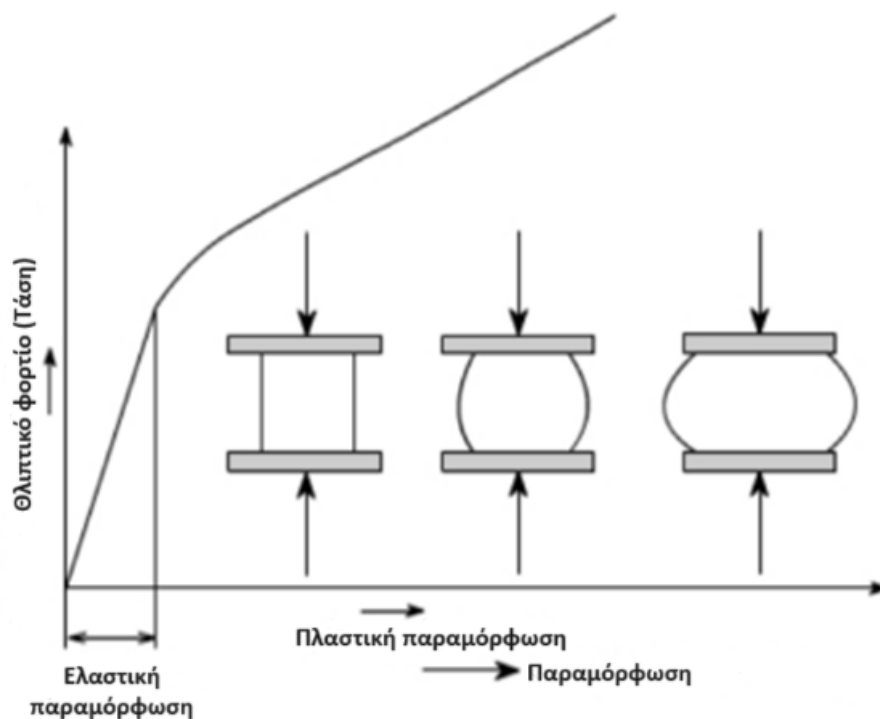
Εικόνα 4.7: Πυρήνας μετά το καπέλωμα (κονία επιπεδώσεως)

Πριν από την εκτέλεση δοκιμών αντοχής σε θλίψη των κυλινδρικών δειγμάτων σκυροδέματος, πρέπει να γίνει προετοιμασία των άκρων που θα έρθουν σε επαφή με τις πλάκες της σερβουδραυλικής πρέσας διότι σε αντίθεση με τα κυβικά δοκίμια που χρησιμοποιούνται οι επίπεδες πλευρές των δοκιμών που είναι φυσικά λείες λόγω του σχήματος τους και των καλουπιών που χρησιμοποιούνται. Η επιπεδότητα των επιφανειών ενός κυλινδρικού δοκιμίου με κονίαμα θείου (ΚΤΣ 2016, ASTM C617, 2016) παίζει σημαντικό ρόλο στην καλή επαφή των επιφανειών του δείγματος με της πλάκες επαφής της θλιπτικής μηχανής. Η άλλη μέθοδος (ΚΤΣ 2016, ASTM C1231, 2016) είναι με την χρήση μη συγκολλημένων μαξιλαριών νεοπρενίου σε μεταλλικούς δακτυλίους συγκράτησης. Η κάλυψη κυλινδρικών δοκιμών σκυροδέματος και πυρήνων σκυροδέματος με κονίαμα θείου ή άλλες ενώσεις κάλυψης προετοιμάζει τα δείγματα για δοκιμές αντοχής σε θλίψη. Συγκεκριμένα, αυτή η διαδικασία παρέχει επίπεδες επιφάνειες κάθετες στον άξονα του δείγματος για ομοιόμορφη κατανομή των δυνάμεων φόρτωσης. Όπως σημειώνεται στο (ΚΤΣ 2016, ASTM C617, 2016), το θειούχο κονίαμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή δειγμάτων με μεγαλύτερες αντοχές θλίψης από το δικό του. Το θειικό οξύ όταν φτάσει σε ψηλές θερμοκρασίες λιώνει και γίνεται ρευστό και αυτό πετυχαίνεται με την βράση του μέσα σε μία κατσαρόλας. Με την τήξη του, χύνετε σε ένα μεταλλικό πιατάκι και τοποθετείτε η πλευρά που θα καλυφθεί από κάτω να έρθει σε επαφή με το λιωμένο υλικό. Αφού αφεθεί να κρυώσει σκληραίνειτε και γίνεται ένα με το σκυρόδεμα και μπαίνει για συντήρηση για δύο τουλάχιστον ώρες πριν

την θραύση ή για 16 ώρες αν οι θλιπτικές αντοχές του ξεπερνούν τα 35MPa. (Gilson, 2008).

4.3. Θραύση δοκιμίων με δοκιμή μονοαξονικής θλίψης (UCS)

Η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο (ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ Ε. Τ., 2016). Το δοκίμιο που ελέγχεται συμπιέζεται με δύο ίσες δυνάμεις ίδιας διεύθυνσης και αντίθετης φοράς και λόγω της απλότητας της και δεδομένου ότι η θλίψη είναι η πιο σημαντική παράμετρος αντοχής του σκυροδέματος είναι η πιο κοινή δοκιμή. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής το δοκίμιο βραχύνεται και διογκώνεται πλευρικά και η κατάσταση αυτή ονομάζεται «βαρελοποίηση» (J.J.Brooks, 1987)([Εικόνα 4.8](#)).



Εικόνα 4.8: Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης κυβικού δοκιμίου

Η θλιπτική αντοχή του δοκιμίου προκύπτει από την μέγιστη δύναμη που μπορεί να παραλάβει μέχρι τη θραύση του. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$f_c = F/A \quad (8)$$

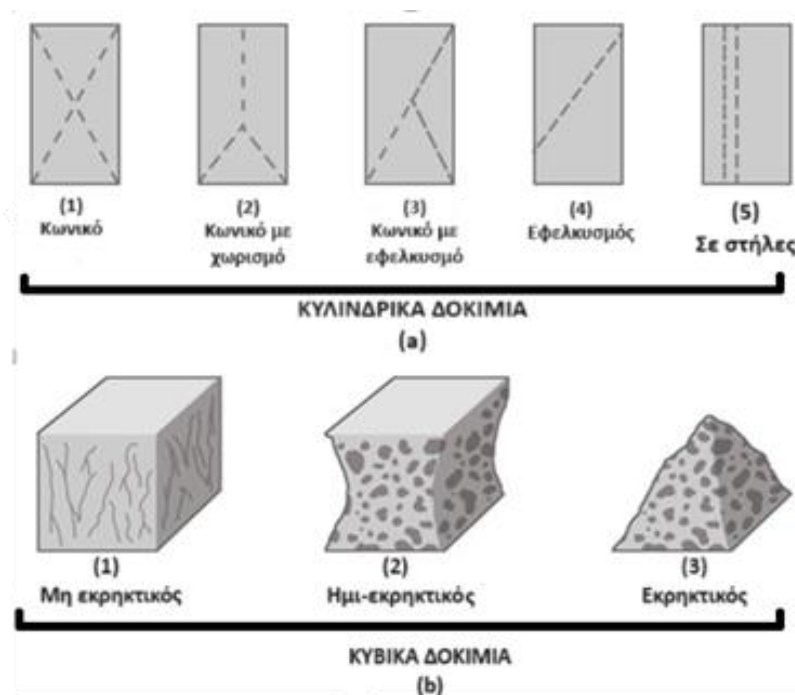
όπου,

f_c : Η θλιπτική αντοχή του δοκιμίου σε MPa

F : Η μέγιστη επιβαλλόμενη κατακόρυφη δύναμη σε KN

A : Η θλιβόμενη επιφάνεια σε cm^2

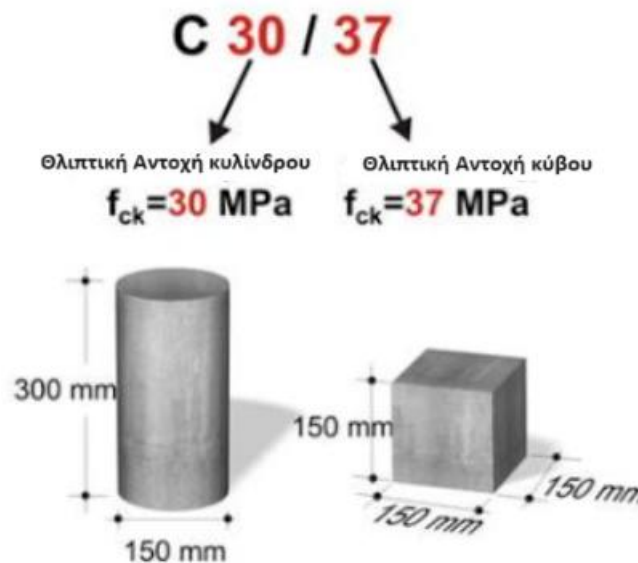
Ένα δοκίμιο σκυροδέματος κατά την θραύση του στις 7 ημέρες παρέχει μια ένδειξη της πιθανής αντοχής των 28 ημερών και αντιστοιχεί περίπου στο 65-70% της τελικής αντοχής στις 28 ημέρες (CEB, 2020). Σ' αυτό το σημείο παρατίθενται οι αποδεκτοί τύποι αστοχίας των κυβικών και κυλινδρικών δοκιμίων όλων των διαστάσεων σύμφωνα με τον (ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ Ε. Τ., 2016) (Εικόνα 4.9):



Εικόνα 4.9: Αποδεκτοί και μη τύποι αστοχίας κυβικών και κυλινδρικών δοκιμίων (DOKIMI.ORG, 2006)

Κατά τη δοκιμή του σκυροδέματος για αντοχή σε θλίψη, το σχήμα του δείγματος μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την χώρα που διεξάγετε το πείραμα ή το πρότυπο που. Το σχήμα του δείγματος μπορεί να είναι ένας κύλινδρος ή ένας κύβος. Αναμένετε ότι το σχήμα του δείγματος θα επηρεάσει την τιμή της αντοχής ακόμα κι αν μπορεί να έχουν το ίδιο σχέδιο μείγματος. Η αντοχή σε θλίψη ενός κύβου είναι μεγαλύτερη από τη θλιπτική αντοχή ενός κυλίνδρου για δείγματα που παρασκευάζονται από το ίδιο σχέδιο μείγματος.

Η κύρια αιτία για αυτή τη διακύμανση είναι οι διαφορετικές αναλογίες μήκους προς διάμετρο για κύβους και κυλίνδρους. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.10, η αναλογία μήκους προς διάμετρο για τον κύβο είναι 1:1, ενώ για τους κυλίνδρους, η αναλογία είναι 2:1. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η επάνω πλάκα της θλιπτικής μηχανής να έχει μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής με τον κύβο σε σχέση με τον κύλινδρο, αυξάνοντας έτσι τον περιορισμό στο δείγμα κύβου. Έτσι, το δείγμα κύβου θα απαιτήσει μεγαλύτερη τάση για να αστοχήσει σε σύγκριση με τον κύλινδρο.

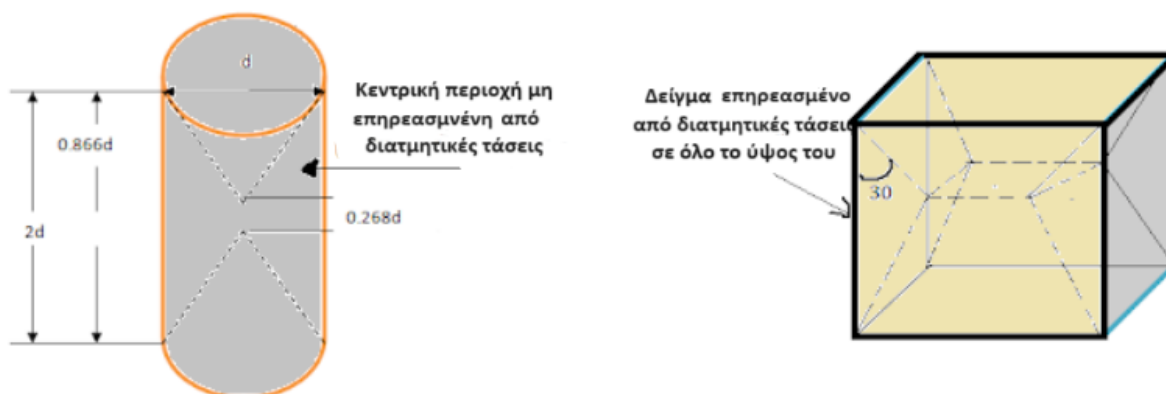


Εικόνα 4.10: Διαφορές κύβου κυλίνδρου, (Kramer, 2009)

Πριν φορτισθεί το δείγμα (κύβος ή κύλινδρος), οι χαλύβδινες πλάκες τοποθετούνται πάνω και κάτω από το δείγμα. Σε αντίθεση με το δείγμα σκυροδέματος, δεν υπάρχει καθόλου πλευρική διαστολή στις χαλύβδινες πλάκες. Αυτό σημαίνει ότι ο χάλυβας θα εμποδίσει το σκυρόδεμα να διαστέλλεται πλευρικά ως αποτέλεσμα. Έτσι οι χαλύβδινες πλάκες θα αποτρέψουν την πλευρική διαστολή του δείγματος σκυροδέματος. Αυτό είναι ένα σύνηθες φαινόμενο στη δομή σκυροδέματος του δείγματος, η οποία βρίσκεται κοντά στο άκρο της πλάκας. Ως αποτέλεσμα, εκτός από τη θλιπτική τάση που προκαλείται από την επιβαλλόμενη θλιπτική δύναμη, αναπτύσσεται τάση τριβής μεταξύ της πλάκας και του δείγματος έτσι ένα στοιχείο μέσα στο δείγμα θα αντιμετωπίσει «διατμητική τάση». Αυτό είναι αποτέλεσμα δύο ενεργών τάσεων στα δείγματα.

1. Τάση τριβής μεταξύ των χαλύβδινων πλακών και των δειγμάτων σκυροδέματος.
2. Δύναμη συμπίεσης στα δείγματα.

Έχει σημειωθεί ότι η αλληλεπίδραση των τάσεων 1 και 2 θα προκαλέσει αστοχία αξονικού φορτίου, ως αποτέλεσμα αυτού θα παρέχεται μεγαλύτερος αριθμός αντοχής σε θλίψη. Επίσης έχει σημειωθεί ότι το συνολικό ύψος του κύβου επηρεάζεται από τη συγκράτηση που προκαλείται από την τριβή μεταξύ του δείγματος και των πλακών ενώ ο κύλινδρος, από την άλλη πλευρά, έχει ανεπηρέαστα μέρη σε αυτήν την κατάσταση (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.11: Διατμητικές τάσεις και σχήμα, (Converge, 2023)

Οι κύβοι και οι κύλινδροι αποτυγχάνουν με διάτμηση στις 45 και 60 μοίρες, αντίστοιχα, από την οριζόντια. Ως αποτέλεσμα, το δείγμα κύβου θα υποστεί μεγαλύτερη συνολική τάση από το δείγμα κυλίνδρου, ακόμη και με το ίδιο μείγμα σκυροδέματος, αυτό θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη στους κύβους από ότι στους κυλίνδρους (Εικόνα 4.10). Εφόσον ο σχεδιασμός του μείγματος είναι ο ίδιος και για τα δύο δείγματα η εξίσωση που διέπει κατά προσέγγιση τη σχέση μεταξύ της αντοχής του κύβου και του κυλίνδρου, είναι η εξής: (ASTM-C469, 2014)

$$\text{Θλιπτική αντοχή κύβου} = 1.25 \times (\text{Θλιπτική αντοχή κυλίνδρου}) \quad (9)$$

Υδραυλική πρέσα:

Η πρέσα θραύσης δοκιμών αποτελεί αποδεδειγμένα το κυριότερο μηχάνημα κάθε εργαστηρίου σκυροδέματος ως το όργανο που δοκιμάζει τις αντοχές των δοκιμών σκυροδέματος όπως ορίζει η Εθνική Νομοθεσία μέσω του Κ.Τ.Σ.-2016. Για την διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε πλήρως αυτόματη υδραυλική πρέσα θραύσης δοκιμών της εταιρείας PROTEM (Εικόνα 4.12) μέγιστης αντοχής 3000 KN που βρίσκεται στο εργαστήριο. Ενας υπολογιστής είναι ενωμένος με την υδραυλική πρέσα, μέσω του οποίου μπορεί να ρυθμίστει η επιφάνεια (A) φόρτισης, ο ρυθμός φόρτισης (KN/sec) αλλά και τα Hertz με τα οποία θα φορτίζετε το δοκίμιο που θα ελεγχθεί. Το μέγιστο φορτίο καταγράφεται πάνω στην οθόνη του υπολογιστή σε kN και MPa με ακρίβεια 1%.



Εικόνα 4.12: Σερβοϋδραυλική πρέσα PROTEM που χρησιμοποιήθηκε για την θραύση των δοκιμών

Καρότα/Πυρήνες:

Τα καρότα μετά από 24 ώρες που έγιναν οι απαιτούμενες διαδικασίες συντήρησης, κοπής και λείανσης είναι έτοιμα για την θραύση τους. Εκλέχθηκαν δοκίμια 73x73 mm και 100x100mm. Οι δύο πλάκες πρέπει να καθαρίζονται προσεκτικά πριν το δείγμα τοποθετηθεί στον θάλαμο δοκιμής. Το φορτίο θα πρέπει να εφαρμόζεται συνεχώς με ρυθμό 0.3 MPa/s και η αστοχία πρέπει να συμβεί σε χρόνο μεγαλύτερο των 30 sec.

Κυλινδρικά και Κυβικά δοκίμια:

Ελέγχθηκαν δοκίμια διαστάσεων 150x150x150 mm, 100x100x100 mm και πέρα από την αντοχή τους ο έλεγχος αποτελεί ένδειξη της ποιότητας και της εσωτερικής τους δομής. Στόν έλεγχο των κυλινδρικών δοκιμών διαμέτρου 150mm και ύψους 30mm η αντοχή του κυλίνδρου συνήθως αποτελεί το 80% της αντοχής του κυβικού δοκιμίου όπως φαίνεται και στην ονομασία της κατηγορίας στην [Εικόνα 2.2](#) (Converge, 2023). Όλα τα δοκίμια αυτά βγαίνουν από την δεξαμενή συντήρησης που βρίσκονται και είναι πλήρως κορεσμένα σε συνθήκες υγρασίας 100%, ζυγίζονται αρχικά σε νερό για να βρεθεί η πυκνότητα ενώ στη συνέχεια σκουπίζονται και ζυγίζονται σε συνθήκες SSD - Surface Saturated Dry δηλαδή με στεγνή την επιφάνεια τους. Αμέσως μετά την μέτρηση του βάρους τους, της καθετότητας και της επιπεδότητας τα δοκίμια τοποθετούνται στην

σερβοϋδραυλική πρέσα ανάμεσα από τις δυο πλάκες και ξεκινάει η διαδικασία της θραύσης (*Εικόνα 4.13.α*) και αμέσως μετά την ολοκλήρωση της το θραυσμένο δοκίμιο ελέγχεται αν ο τύπος θραύσης είναι αποδεκτός ή όχι (*Εικόνα 4.9*). Κάθε φορά που αλλάζει η διάμετρος και το σχήμα του δοκιμίου που εξετάζεται πρέπει να γίνονται οι απαραίτητες αλλαγές στις ρυθμίσεις της πρέσας για να πραγματοποιούνται σωστά οι διαδικασίες της θραύσης. Ως ρυθμός φόρτισης χρησιμοποιήθηκαν τα 0.6 MPa/sec για όλες τις δοκιμές.



Εικόνα 4.13: α) πυρήνας κατά την διάρκεια της θραύσης και β) ο πυρήνας μετά την θραύση



Εικόνα 4.14: α) δοκίμιο κατά την διαδικασία μέτρησης του βάρους του και β)κυβικό δοκίμιο μετά την θραύση.

5.Μετρήσεις και επεξεργασία μετρήσεων

5.1. Μετρήσεις ζητούμενων μεγεθών

5.1.1. Βάρος (W):

Σαν βάρος ενός αντικειμένου ονομάζουμε την δύναμη του αντικειμένου σε σχέση με τη βαρύτητα. Το βάρος είναι διάνυσμα και είναι το γινόμενο της μάζας m του σώματος και του μεγέθους της τοπικής επιτάχυνσης της βαρύτητας g και μπορεί να μετρηθεί με την βοήθεια μίας ζυγαριάς. ($g=9.81 \text{ m/s}^2$)

$$W = m * g \quad (10)$$

5.1.2. Βάρος SSD (A):

Σαν βάρος SSD (Surface Saturated Dry) ή αλλιώς κορεσμένη ξηρή επιφάνεια είναι η κατάσταση όπου η επιφάνεια ενός υλικού είναι στεγνή αλλά τα κενά μεταξύ των σωματιδίων του βρίσκονται σε πλήρη κορεσμό στο νερό. Η προσρόφηση νερού κατά μάζα (A) ορίζεται από την πιο κάτω σχέση:

$$A = \frac{M_{ssd} - M_{dry}}{M_{dry}} (gr) \quad (11)$$

όπου:

M_{ssd} = μάζα του δείγματος κορεσμένης επιφάνειας ξηρού

M_{dry} = μάζα του δείγματος δοκιμής που έχει ξηρανθεί σε φούρνο

5.1.3. Μέτρηση Όγκου (V):

Σαν όγκος ονομάζετε το μέγεθος του χώρου που καταλαμβάνει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο όπως μετράται σε κυβικές μονάδες και υπολογίζετε με τους πιο κάτω τύπους αναλόγος του σχήματος του.

Όγκος κύβου:

$$V = a^3 \quad (12)$$

Όγκος κύλινδρου:

$$V = \pi r^2 h \quad (13)$$

όπου:

a = Μήκος μίας άκρης

r = Ακτίνα κυκλικής βάσης

h = Ύψος

5.1.4. Μέτρηση πυκνότητας (ρ):

Η πυκνότητα μιας ουσίας είναι η σχέση μεταξύ της μάζας της και του όγκου του. Η μάζα των ατόμων, το μέγεθός τους και η διάταξη τους καθορίζουν την πυκνότητα. Η πυκνότητα ισούται με τη μάζα της ουσίας (m) διαιρεμένη με τον όγκο της (V) και μετριέται σε gr/cm^3 .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (14)$$

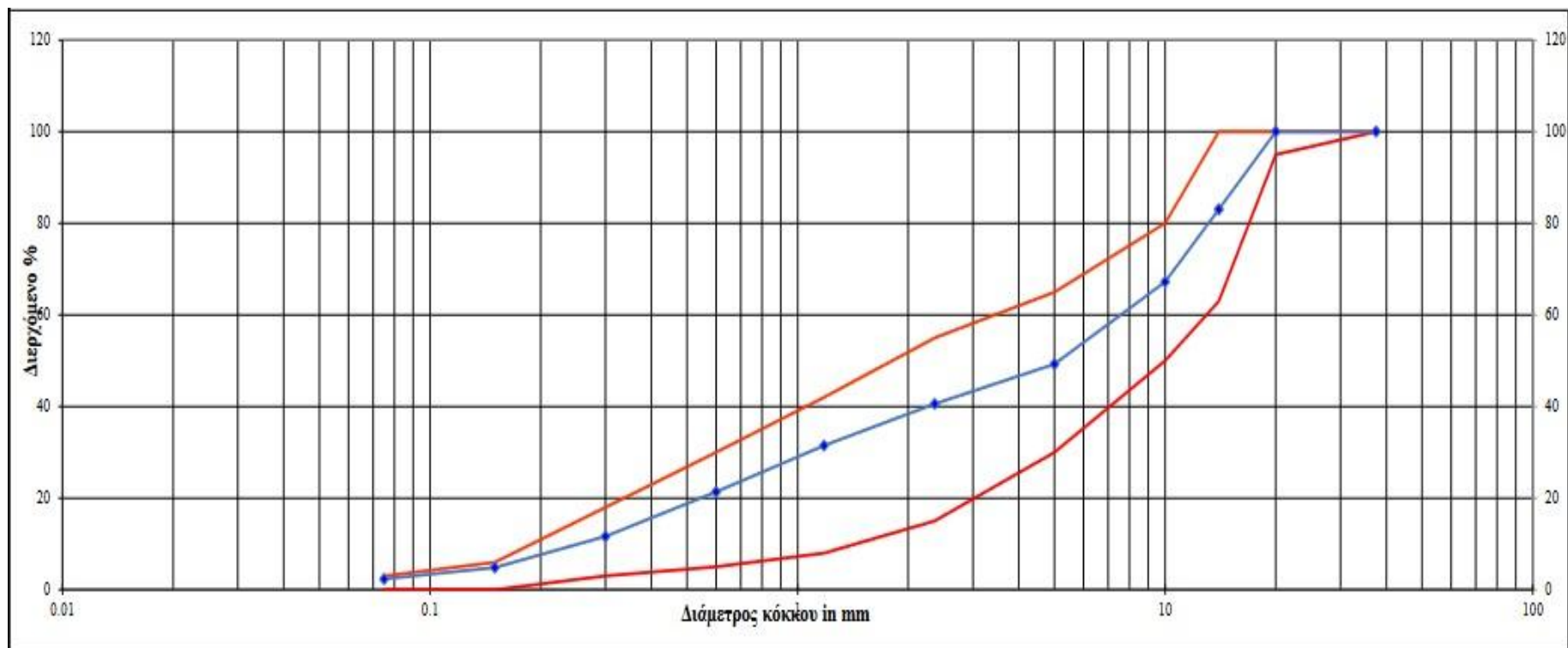
5.2. Σύνθεση σκυροδέματος:

Πίνακας 5.1: Σύνθεση σκυροδέματος – Mix Design C30/37 695 της εταιρείας Αθηνόδωρου Μπετόν ΛΤΔ που χρησιμοποιήθηκε για την πειραματική διαδικασία

S.S.D(KG/m ³)		Quarry/ ADDITIVES SUPLIER	RAW MATERIALS	% ALL IN AGGREGATES	RAW MATERIALS DATA					
					% of Raw Materials	Absorpti on of Raw Materials	Moisture of Raw Materials	SPECIFIC GRAVITY	VOLUME [m3]	WEIGHT OF Saturated- surface-dry (S.S.D) FOR 1 m3 [Kg]
(8/20mm)	550	Skyramont	Aggregates 20 mm(8/20) SKR [%]	AGGREGATES	32.74	2.50	2.50	2.65	0.208	550.00
(4/10mm)	340		Aggregates 14 mm [%]		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
Z1 skr	430	Skyramont	Aggregates 10 mm(4/10) SKR [%]	53.0	20.24	2.50	2.50	2.65	0.128	340.00
Z2 Pls	0	Skyramont	Fine Aggregates CP(0/4) SKR [%]	SAND	25.60	2.50	2.50	2.60	0.165	430.00
Z3 latouros	360			47.0	0.00	2.60	2.60	2.45	0.000	0.00
CEMENT II 42.5	410	latouros	Fine Aggregates FP(0/4) [%]		21.43	2.30	2.30	2.50	0.144	360.00
Microsilica	0		Total Aggregates		100.00				0.645	1680.00
SKY 695	4.3	Vasiliko	CEMENT II 42.5[Kg]		410.00			3.20	0.128	410.00
R200BM	0.8	Elkem	Microsilica(kg)		0.00			0.65	0.000	0.00
			W/C RATIO		0.44					
H2O	180		WATER [Lt]		180.00			1.00	0.180	180.00
W/C ratio	0.44		ADDITIVES							
Density(kg/m ³)	2275.1		SKY 695		2.400			1.00	0.004	4.30
			R200BM		0.700			1.00	0.001	0.80
			0		0.000			0.00	0.000	0.00
					0.000			0.00	0.000	
					0.000			0.000	0.000	0.00
			TOTAL AGGREGATES [Kg]					Total Volume	1.00	2275.10
			Draining Air		2.50				0.025	
			SLUMP [mm]		160-210					

Πίνακας 5.2: Αδρανή και ποσοστά συμμετοχής στην σύθεση σκυροδέματος - Mix Design

ΕΙΔΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ	ΣΚΥΡΑ 8/20mm		ΣΚΥΡΑ 4/10mm		ΑΜΜΟΣ Ζ1		ΑΜΜΟΣ Ζ3		ΟΛΙΚΟ %	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ % CYS64:1986	
Ποσοστό συμμετοχής		32.74		20.24		25.6		21.43	100		
ΚΟΣΚΙΝΑ CYS64	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)		ΠΟΣΟΣΤΟ (%)		ΠΟΣΟΣΤΟ (%)		ΠΟΣΟΣΤΟ (%)		ΠΟΣΟΣΤΟ (%)		
37.5	100	32.7	100	20.2	100	25.6	100	21.4	100	100	100
20	100	32.7	100	20.2	100	25.6	100	21.4	100	95	100
14	48.2	15.8	100	20.2	100	25.6	100	21.4	83	63	100
10	6.0	2	90	18.2	100	25.6	100	21.4	67.2	50	80
5.00	5.0	1.6	6.9	1.4	96.9	24.8	100	21.4	49.3	30	65
2.36			1.1	0.2	78.0	20.0	95.0	20.4	40.5	15	55
1.18					48.5	12.4	88.9	19.1	31.5	8	42
0.6					27.7	7.1	66.5	14.3	21.3	5	30
0.3					15.7	4.0	35.5	7.6	11.6	3	18
0.15					10.1	2.6	10.4	2.2	4.8	0	6
0.075	1.4		1.5		7.0	1.8	2.6	0.6	2.3	0	3



Εικόνα 5.1: Κοκκομετρική ανάλυση σε mm.

5.3. Αποτελέσματα και πίνακες αποτελεσμάτων

5.3.1. Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας αδρανών και άμμων

Για την εύρεση του ειδικού βάρους και της απορροφητικότητας των αδρανών και άμμων που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκαν για την πειραματική διαδικασία διαμορφώθηκαν οι πύο κάτω πίνακες. Στους [πίνακες 5.4, 5.5, 5.6, 5.7](#) και [5.8](#) οι τιμές που μας ενδιαφέρουν για τα αδρανή και τους άμμους είναι η τιμή του Ειδικού βάρους bulk σε συνθήκες μηδενικής υγρασίας, σε συνθήκες S.S.D., το φαινόμενο ειδικό βάρος και η απορροφητικότητα των υλικών. Το τελικό αποτέλεσμα προήλθε απο δυο δειγματοληψίες, όπου για την κάθε μια έγινε υπολογισμός των ζητούμενων μεγεθών και στο τέλος βγήκε ο μέσος όρος που είναι και η ζητούμενη τελική τιμή. Στον [πίνακα 5.3](#) φαίνονται οι τελικές τιμές των αποτελεσμάτων όλων των πειραμάτων για το κάθε είδος και μέγεθος κόκκου.

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας αδρανών και άμμων

		Διαβ.8/20	Διαβ.4/10	Διαβ.0/4	Ασβε.0/4	Ψαμμ.0/4
Ειδικό Βάρος (Ξηρό)	gr/cm ³	2.57	2.56	2.65	2.71	2.65
Ειδικό βάρος (SSD)	gr/cm ³	2.64	2.63	2.69	2.72	2.69
Φαινόμενο Ειδικό βάρος	gr/cm ³	2.77	2.76	2.74	2.75	2.74
Απορροφητικότητα	%	2.82	2.85	1.18	0.52	1.18

Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας διαβασιικού αδρανές 8/20

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			1	2	3	M.O.
Βάρος ξηρού δείγματος μετά απο φούρνο	A	gr.	824.1	834.9		
Βάρος δείγματος S.S.D.(Saturated Surface Dry Sample)	B	gr.	847.3	858.5		
Βάρος γυάλινου σκέυους & απιοντισμένου νερού	C	gr.	3430.6	3430.6		
Βάρος γυάλινου σκέυους & απιοντισμένου νερού & δείγματος	D	gr.	3955.7	3964.8		
Bulk Ειδικό Βάρος (Ξηρό σε φούρνο)	$\frac{A}{B - (D - C)}$	gr/cm ³	2.56	2.57		2.57
Bulk Ειδικό βάρος (SSD)	$\frac{B}{B - (D - C)}$	gr/cm ³	2.63	2.65		2.64
Φαινόμενο Ειδικό βάρος	$\frac{A}{A - (D - C)}$	gr/cm ³	2.76	2.78		2.77
Απορροφητικότητα (Absorbtion)	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	%	2.8	2.8		2.8
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ		SG	>2		gr/cm ³	
Ministerial Order 253/2006		Abs.	<4		%	

Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας για διαβασικό αδρανές διαμέτρου 4-10mm

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			1	2	3	M.O.
Βάρος ξηρού δείγματος μετά από φούρνο	A	gr.	622.6	699.2		
Βάρος δείγματος S.S.D.(Saturated Surface Dry Sample)	B	gr.	640.5	719.0		
Βάρος γυάλινου σκέυους & απιοντισμένου νερού	C	gr.	3430.6	3430.6		
Βάρος γυάλινου σκέυους & απιοντισμένου νερού & δείγματος	D	gr.	3828.1	3875.8		
Bulk Ειδικό Βάρος (Ξηρό σε φούρνο)	$\frac{A}{B - (D - C)}$	gr/cm ³	2.56	2.55		2.56
Bulk Ειδικό βάρος (SSD)	$\frac{B}{B - (D - C)}$	gr/cm ³	2.64	2.63		2.63
Φαινόμενο Ειδικό βάρος	$\frac{A}{A - (D - C)}$	gr/cm ³	2.77	2.75		2.76
Απορροφητικότητα (Absorbtion)	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	%	2.9	2.8		2.9
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	SG		>2		gr/cm ³	
Ministerial Order 253/2006	Abs.		<4		%	

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας για διαβασικό άμμο διαμέτρου 0-4mm

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			1	2	3	M.O.
Βάρος ξηρού δείγματος μετά από φούρνο	A	gr.	635.0	526.2		
Βάρος δείγματος S.S.D.(Saturated Surface Dry Sample)	B	gr.	642.3	532.6		
Βάρος γυάλινου σκέυους & απιοντισμένου νερού	C	gr.	3430.6	3430.6		
Βάρος γυάλινου σκέυους & απιοντισμένου νερού & δείγματος	D	gr.	3833.9	3764.7		
Bulk Ειδικό Βάρος (Ξηρό σε φούρνο)	$\frac{A}{B - (D - C)}$	gr/cm ³	2.66	2.65		2.65
Bulk Ειδικό βάρος (SSD)	$\frac{B}{B - (D - C)}$	gr/cm ³	2.69	2.68		2.69
Φαινόμενο Ειδικό βάρος	$\frac{A}{A - (D - C)}$	gr/cm ³	2.74	2.74		2.74
Απορροφητικότητα (Absorbtion)	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	%	1.1	1.2		1.2
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	SG		>2		gr/cm ³	
Ministerial Order 253/2006	Abs.		<4		%	

Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας για Ψαμμιτικό άμμο διαμέτρου 0-4mm

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			1	2	3	M.O.
Βάρος ξηρού δείγματος μετά απο φούρνο	A	gr.	537.8	623.2		
Βάρος δείγματος S.S.D.(Saturated Surface Dry Sample)	B	gr.	544.7	630.6		
Βάρος γυάλινου σκέυους & απιοντισμένου νερού	C	gr.	3430.6	3430.6		
Βάρος γυάλινου σκέυους & απιοντισμένου νερού & δείγματος	D	gr.	3767.1	3824.6		
Bulk Ειδικό Βάρος (Ξηρό σε φούρνο)	$\frac{A}{B - (D - C)}$	gr/cm ³	2.58	2.63		2.61
Bulk Ειδικό βάρος (SSD)	$\frac{B}{B - (D - C)}$	gr/cm ³	2.62	2.67		2.64
Φαινόμενο Ειδικό βάρος	$\frac{A}{A - (D - C)}$	gr/cm ³	2.67	2.72		2.70
Απορροφητικότητα (Absorbtion)	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	%	1.3	1.2		1.2
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	SG		>2		gr/cm ³	
Ministerial Order 253/2006	Abs.		<4		%	

Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα ειδικού βάρους και απορροφητικότητας για Ασβεστολιθικό άμμο διαμέτρου 0-4mm

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			1	2	3	M.O.
Βάρος ξηρού δείγματος μετά απο φούρνο	A	gr.	591.3	546.6		
Βάρος δείγματος S.S.D.(Saturated Surface Dry Sample)	B	gr.	594.6	549.2		
Βάρος γυάλινου σκέυους & απιοντισμένου νερού	C	gr.	3430.6	3430.6		
Βάρος γυάλινου σκέυους & απιοντισμένου νερού & δείγματος	D	gr.	3806.7	3778.5		
Bulk Ειδικό Βάρος (Ξηρό σε φούρνο)	$\frac{A}{B - (D - C)}$	gr/cm ³	2.71	2.72		2.71
Bulk Ειδικό βάρος (SSD)	$\frac{B}{B - (D - C)}$	gr/cm ³	2.72	2.73		2.72
Φαινόμενο Ειδικό βάρος	$\frac{A}{A - (D - C)}$	gr/cm ³	2.75	2.75		2.75
Απορροφητικότητα (Absorbtion)	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	%	0.6	0.5		0.5
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	SG		>2		gr/cm ³	
Ministerial Order 253/2006	Abs.		<4		%	

5.3.2. Αποτελέσματα Μπλε του μεθυλενίου για άμμους

Στον [πίνακα 5.9](#) παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα απο τα πειράματα με την μέθοδο μπλέ του μεθυλενίου για τους Άμμους απο 0-4mm που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα της διπλωματικής εργασίας. Ελέγχθηκαν και τα τρία είδη άμμου (Διαβασικός, Ψαμμιτικός και Ασβεστολιθικός) με βάση το πρότυπο **CYS EN 933 - 9:2009**. Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δύο απο τα τρία είδη άμμου, ο διαβασικός και ο ψαμμιτικός. Και για τα 3 είδη άμμου οι τιμές για την αναλογία Μπλέ του Μεθυλενίου σε γρ. σε σχέση με μπλέ χρωστική σε kg του δείγματος είναι χαμηλότερες του ανώτερου επιτρεπτού όριου που είναι 10 gr/kg με βάση το πρότυπο **CYS EN13139 – ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ 5.5.2**. Οι τιμές των αποτελεσμάτων και τα δεδομένα φαίνονται στον [πίνακα 5.9](#) πίο κάτω.

Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα Μπλε του Μεθυλενίου για άμμους 0-4mm

ΤΕΣΤ ΓΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΔΡΑΝΩΝ						
ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΧΟΥ: CYS EN 933 - 9:2009						
Μέρος 9: Τέστ Μπλέ του μεθυλενίου						
Κωδικός Εντύπου:ΚΔ07		Ημ/νία Έκδοσης: 30/06/2020		Σύνταξη & Έγκριση: Β.Φ.		
Αρ. Ανάθεσης:	3309	Ημ/νία Δειγματοληψίας:	14.07.2023			
Πελάτης:	Ν.ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΔΗΣ	Ημ/νία Ελέγχου:	21.07.2023			
Έργο:	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ	Δειγματολήπτης:	Ν.ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΔΗΣ – ΓΕΩΑΝΑΛΥΣΗ			
Πηγή Δείγματος:	ΣΩΡΟΣ	Περιγραφή Δείγματος:	ΑΜΜΟΣ 0/4			
			Διαβασικός	Ψαμμιτικός	Ασβεστολιθικός	
Ξηρή Μάζα δείγματος 0/2mm		M1	200	201	201	gr
Όγκος προσροφημένου διαλύματος απο Καολινίτη (Αν χρησιμοποιήθηκε)		V'	-	-	-	ml
Συνολικό ποσό μπλέ χρωστικής που προστέθηκε		V1	40	70	30	ml
Μπλέ του Μεθυλενίου σε γρ. σε σχέση με μπλέ χρωστική σε kg του δείγματος 0/2mm		MB	2	3.5	1.5	gr/kg
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ CYS EN13139, ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ 5.5.2		MB	<10			gr/kg

5.3.3. Αποτελέσματα δείκτη πλακοειδότητας αδρανών – Flakiness Index

Πιο κάτω στους πίνακες 5.10 και 5.11 φαίνονται τα αποτελέσματα του Δείκτη πλακοειδότητας (Flakiness Index) με βάση το πρότυπο **CYS EN 12620: 2002** για τα διαβασικά αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν στην παραγωγή του σκυροδέματος για την πτυχιακή εργασία. Έγινε έλεγχος για διαβασικά αδρανή διαμέτρου 8-20mm, Gc 90/15, GT15, f1.5 (Πίνακας 5.10) και διαμέτρου 4-10mm, Gc 80/20, GT15, f1.5 (Πίνακας 5.11). Με βάση το πρότυπο που ακολουθήθηκε το επιτρεπτό όριο Δείκτη πλακοειδότητας (Flakiness Index) είναι 20% και κάτω. Το ποσοστό και για τις δύο περιπτώσεις βρίσκεται κάτω από το όριο άρα είναι και τα δύο σύμφωνα με τα πρότυπο, με τα διαβασικά αδρανή διαμέτρου 8-20mm (Πίνακας 5.10) να έχουν σαν αποτέλεσμα το ποσοστό του 6.8% και για τα διαβασικά αδρανή διαμέτρου 4-10mm (Πίνακας 5.11) 17.9%.

Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα δείκτη πλακοειδότητας διαβασικών αδρανών 8/20mm, Gc 90/15, GT15, f1.5

Sample Description		ΔΙΑΒΑΣΙΚΑ ΑΔΡΑΝΗ d/D 8/20mm, Gc 90/15, GT15, f1.5				Sampling Date				17/10/2022		
Περιγραφή Δείγματος						Ημ/νία δειγματοληψίας						
Place of Sampling		ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΙΣΣΟΥΡΙΟΥ				Date of Testing				26/10/2022		
Χώρος Δειγματοληψίας						Ημ/νία Ελέγχου						
Source of Sampling		ΣΩΡΟΣ				Relavant Standard				CYS EN 12620: 2002		
Πηγή Δειγματοληψίας						Σχετικό Πρότυπο						
Μέγεθος υποδιαίρεσης	mm	40-31.5	31.5-25	25-20	20-16	16-12.5	12.5-10	10-8	8-6.3	6.3-5	5-4	Σύνολο
Κόσκινο πλακοειδότητας /FLAKINESS Sieve	mm	20	16	12.5	10	8	6.25	5	4	3.15	2.5	
Βάρος υποδιαίρεσης στο δείγμα	g	-	-	94	1032	1279	2034	238	97	25	11	4810
Βάρος πλακοειδών σωματιδίων στο δείγμα	g	-	-	0	64	90	130	22	15	6	1	328
Πλακοειδές σωματίδια στο δείγμα	%	-	-	0	6.2	7.0	6.4	9.2	15.5	24.0	9.1	77.4
Δείκτης πλακοειδότητας /FLAKINESS INDEX	%	-										6.8

Πίνακας 5.11: Αποτελέσματα δείκτη πλακοειδότητας δαιβασικών αδρανών 4/10mm, Gc 80/20, GT15, f1.5

Sample Description		ΔΙΑΒΑΣΙΚΑ ΑΔΡΑΝΗ d/D 4/10mm, Gc 80/20, GT15, f1.5				Sampling Date				17/10/2022		
Περιγραφή Δείγματος						Ημ/νία δειγματοληψίας						
Place of Sampling		ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΙΣΣΟΥΡΙΟΥ				Date of Testing				26/10/2022		
Χώρος Δειγματοληψίας						Ημ/νία Ελέγχου						
Source of Sampling		ΣΩΡΟΣ				Relavant Standard				CYS EN 12620: 2002		
Πηγή Δειγματοληψίας						Σχετικό Πρότυπο						
Μέγεθος υποδιαίρεσης	mm	40-31.5	31.5-25	25-20	20-16	16-12.5	12.5-10	10-8	8-6.3	6.3-5	5-4	Totals
Κόσκινο πλακοειδότητας /FLAKINESS Sieve	mm	20	16	12.5	10	8	6.25	5	4	3.15	2.5	
Βάρος υποδιαίρεσης στο δείγμα	g	-	-				245	491	793	639	462	2630
Βάρος πλακοειδών σωματηδίων στο δείγμα	g	-	-				47	82	128	117	96	470
Πλακοειδές σωματήδια στο δείγμα	%	-	-				19.2	16.7	16.1	18.3	20.8	91.1
Δείκτης πλακοειδότητας /FLAKINESS INDEX	%	-										17.9

5.3.4. Προσδιορισμός της Αντίστασης του Θρυμματισμού (Los Angeles Test):

Στους πίνακες 5.12 και 5.13 πιο κάτω, φαίνονται τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των πειραματικών διαδικασιών για τον προσδιορισμό της αντίστασης του Θρυμματισμού (Los Angeles Test) των διαβασικών αδρανών 8-20mm (Πίνακας 5.12) και 10-14mm (Πίνακας 5.13). Τα πειράματα έγιναν με βάση το πρότυπο **BS EN 1097-2:2020** και το σχετικό πρότυπο **CYS EN 12620: 2002** που έχουν σαν μέγιστο επιτρεπτό όριο φθοράς για τα αδρανή το 30%. Με τα αποτελέσματα και στις δύο περιπτώσεις για τα διαβασικά αδρανή 8-20mm και των 10-14mm να είναι εντός των ορίων του προτύπου με τιμές αποτελεσμάτων 18.7% και 20.1% αντίστοιχα.

Πίνακας 5.12: Αποτελέσματα Αντίστασης Θρυμματισμού (Los Angeles Test) διαβασικών αδρανών 8-20mm

Υποεξέταση υποδιαίρεση mm	A (11 spheres)	B (11 spheres)	C (9 spheres)	
14-12.5	30-40%			
12.5-10	60-70%			
14-11.2		60-70%		
11.2-10		30-40%		
10-6.3			100%	
TOTAL	5000 ±5g	5000 ±5g	5000 ±5g	
Είδος κοκκομετρίας	Βάρος σφαιρικών δειγμάτων	Βάρος της υποεξέταση υποδιαίρεσης	Υλικό που διαπερνά το 1.60mm	Φθορά / Wear (%)
A	4582	5000	936.2	18.724
B	4582			
C	3786			

Πίνακας 5.13: Αποτελέσματα Αντίστασης Θρυμματισμού (Los Angeles Test) διαβασικών αδρανών 10-14mm

Υποεξέταση υποδιαίρεση mm	A (11 spheres)	B (11 spheres)	C (9 spheres)	
14-12.5	30-40%			
12.5-10	60-70%			
14-11.2		60-70%		
11.2-10		30-40%		
10-6.3			100%	
ΣΥΝΟΛΟ	5000 ±5g	5000 ±5g	5000 ±5g	
Είδος κοκκομετρίας	Βάρος σφαιρικών δειγμάτων	Βάρος της υποεξέταση υποδιαίρεσης	Υλικό που διαπερνά το 1.60mm	Φθορά / Wear (%)
A	4582			0
B	4582			0
C	3786	5000	1007.3	20.146

5.3.5. Αποτελέσματα κυβικών δοκιμών 150x150x150mm:

Πίνακας 5.14: Πληροφορίες για δειγματοληψία και τα δοκίμια

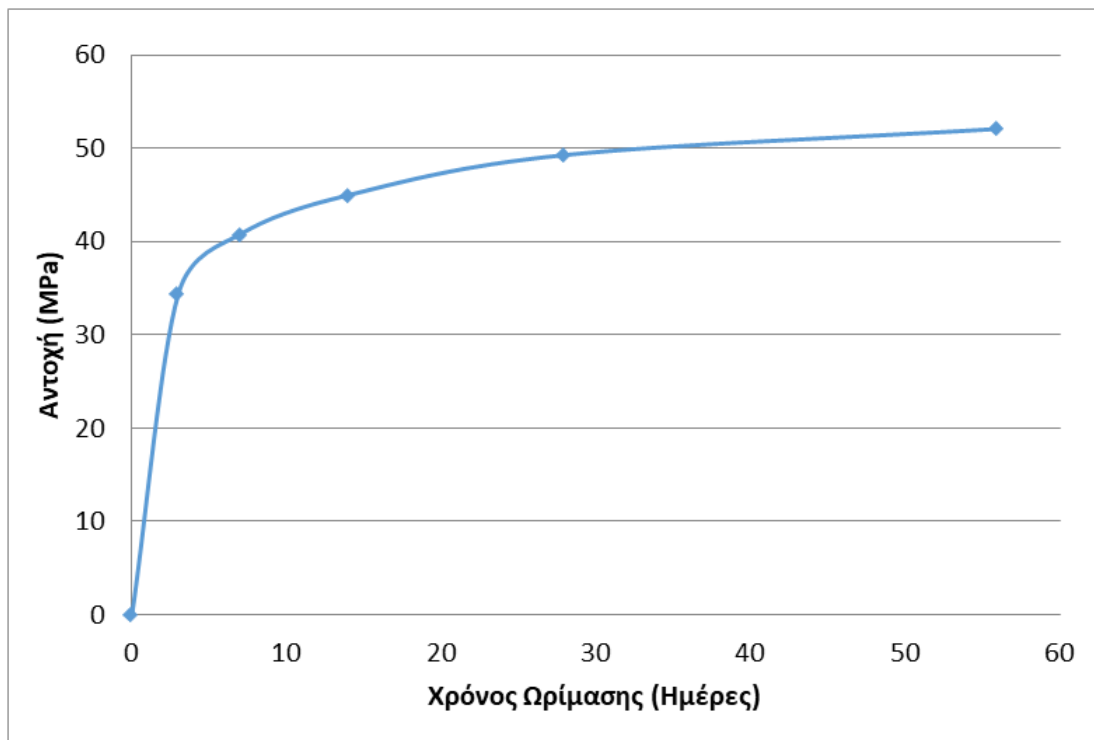
Σχήμα	Κυβικό	
Επιφάνεια (Α)	225.0	cm ²
Ρυθμός θραύσης	0.6	MPa/sec
Διαστάσεις δοκιμίου	150x150x150mm	
Όγκος	3375	cm ³

Για την έρευνα των αποτελεσμάτων που χρειάζονται για να γίνει συσχέτιση του χρόνου ωρίμανσης του σκυροδέματος σε ημέρες σε σχέση με τις αύξηση της τάσης σε MPa, τα δοκίμια χωρίστηκαν σε 5 ομάδες με κάθε ομάδα δειγμάτων να υπόκειται σε μονοαξονική θλίψη σε διαφορετικές ημέρες 3, 7, 14, 28 και σε 56 ημέρες. Απο κάθε ομάδα βγήκε ο μέσος όρος της τάσης των αποτελεσμάτων, η μέγιστη τάση όπως και η ελάχιστη τάση σε MPa ([Πίνακας 5.16](#))

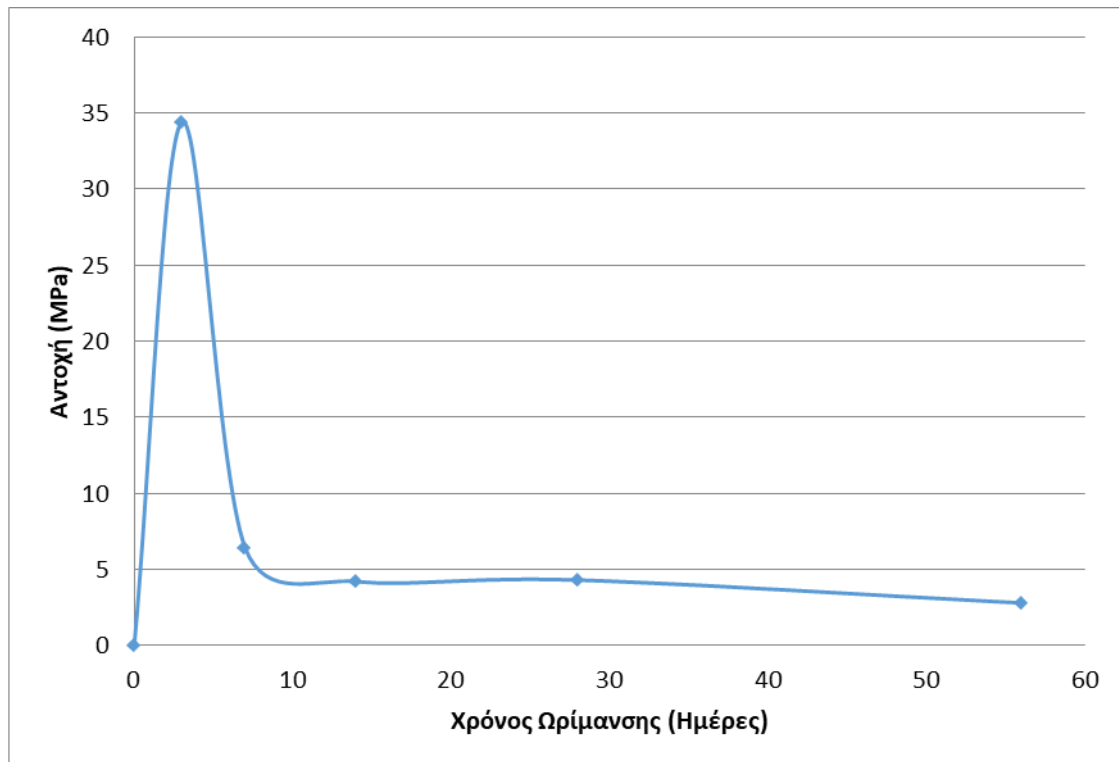
Πίνακας 5.15: Μέσος όρος θλιπτικής αντοχής (MPa) σε σχέση με ημέρες ωρίμανσης

Ημέρες	Μέσος όρος τάσης (MPa)	Μέγιστη τάση (MPa)	Ελάχιστη τάση (MPa)
3	34.4	35.7	32.2
7	40.8	43.1	39.5
14	45	48.8	43.8
28	49.3	51.7	47.1
56	52.1	52.8	51

Σύμφωνα με τιμές απο τον [πίνακα 5.15](#) και την γραφική της [Εικόνας 5.2](#), παρατηρείτε απότομη αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος κατά τις πρώτες 7 ημέρες. Αυτή η περίοδος θεωρείται κρίσιμη για την ανάπτυξη της αρχικής του αντοχής, ειδικότερα, η επίτευξη περίπου 65% της συνολικής του αντοχής έως την 7η ημέρα είναι σύμφωνη με τις καθιερωμένες προδιαγραφές (Midtech, 2016), συμβάλλοντας έτσι στη διασφάλιση της μακροχρόνιας ανθεκτικότητας και σταθερότητας της κατασκευής. Μετά την 7η ημέρα, παρατηρείτε ότι η αντοχή του σκυροδέματος συνεχίζει να αυξάνεται, αν και σε πιο ήπιους ρυθμούς. Αυτή η ομαλή αύξηση μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους παράγοντες, όπως η χημική ωρίμανση του σκυροδέματος και η αφυδάτωση των συστατικών του. Η παρακολούθηση αυτών των μεταβολών είναι κρίσιμη για τη σωστή εκτίμηση της μακροχρόνιας αντοχής και ανθεκτικότητας των δομικών στοιχείων που περιλαμβάνουν σκυρόδεμα. Στην [Εικόνα 5.3](#) γίνεται συσχέτιση της αύξησης της αντοχής του σκυροδέματος σε σχέση με τον χρόνο και μας δείχνει ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα μίας απότομης αύξησης της αντοχής του σκυροδέματος τις πρώτες περίπου 7 ημέρες και αμέσως μετά μία απότομη πτώση του ρυθμού αύξησης και ομαλή σταθεροποίηση του ρυθμού μέχρι και την 56η ημέρα. Το σκυρόδεμα θα συνεχίσει να αυξάνει την αντοχή του με την πάροδο του χρόνου για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί και για αρκετά χρόνια, ειδικά όταν βρίσκετε για συντήρηση σε συνθήκες πλήρες κορεσμού (Syglof, 1976).



Εικόνα 5.2: Γραφική παράσταση θλιπτικής αντοχής (τάσης) σε σχέση με τις ημέρες ωρίμανσης για κυβικά δοκίμια με ακμή 150mm



Εικόνα 5.3: Συσχέτιση ρυθμού αύξησης της αντοχής σε σχέση με τον χρόνο για κυβικά δοκίμια με ακμή 150mm

Για κάθε κυβικό δοκίμιο με ακμή 150mm μετρήθηκε το βάρος του σε γραμμάρια σε συνθήκες SSD όπως και το βάρος του κάθε δοκιμίου μέσα στο νερό για την εύρεση της πυκνότητας με τον όγκο των δοκιμίων να είναι ο ίδιος για όλα τα δοκίμια στα 3375 cm³. Στην συνέχεια απο το αποτέλεσμα της φόρτισης του κάθε δοκιμίου σε σχέση με την επιφάνεια φόρτισης υπολογίζεται η αντοχή σε MPa (kN/mm²) κάθε δοκιμίου όπως και ο Μ.Ο. της κάθε παρτίδας που έσπασε σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα για να μπορέσουν να είναι συγκρίσιμες οι τιμές των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον [πίνακα 5.16](#) πιο κάτω.

Πίνακας 5.16: Πληροφορίες και μετρούμενα μεγέθη για κυβικά δοκίμια 150x150x150mm

ΚΥΒΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ 150x150x150mm												
Δοκίμιο	Ημέρες	Θραύση	Κάθιση-Slump(mm)	Βάρος σε νερό (gr)	Βάρος SSD (gr)	Πυκνότητα (gr/cm ³)	Όγκος (cm ³)	Φορτίο (KN)	Τάση (MPa)	Μ.Ο.	Μέγιστη Τάση	Ελάχιστη τάση
11891	3	17/07/2023	180	4395	7683	2.28	3375	773.5	34.4	34.4	35.7	32.2
11895		17/07/2023	180	4354	7647	2.27	3375	786.5	35.0			
11899		17/07/2023	180	4425	7752	2.30	3375	781.6	34.7			
11903		17/07/2023	180	4426	7739	2.29	3375	803.2	35.7			
11907		17/07/2023	180	4475	7817	2.32	3375	724.2	32.2			
11911		17/07/2023	180	4396	7709	2.28	3375	775.5	34.5			
11892	7	21/07/2023	180	4418	7690	2.28	3375	897	39.9	40.8	43.1	39.5
11896		21/07/2023	180	4496	7832	2.32	3375	889.8	39.5			
11900		21/07/2023	180	4454	7755	2.30	3375	920.1	40.9			
11904		21/07/2023	160	4507	7834	2.32	3375	918.1	40.8			
11908		21/07/2023	160	4512	7840	2.32	3375	970.8	43.1			
11912		21/07/2023	160	4507	7821	2.32	3375	906.2	40.3			
11893	14	28/07/2023	180	4538	7844	2.32	3375	996.8	44.3	45.0	48.8	43.8
11897		28/07/2023	180	4492	7813	2.31	3375	985.3	43.8			
11901		28/07/2023	180	4556	7890	2.34	3375	985.5	43.8			
11905		28/07/2023	160	4523	7850	2.33	3375	1097.4	48.8			
11909		28/07/2023	160	4451	7746	2.30	3375	997.3	44.3			
11894	28	11/08/2023	180	4510	7803	2.31	3375	1081.6	48.1	49.3	51.7	47.1
11898		11/08/2023	180	4516	7817	2.32	3375	1122.5	49.9			
11902		11/08/2023	180	4455	7756	2.30	3375	1059.1	47.1			
11906		11/08/2023	160	4567	7899	2.34	3375	1163.4	51.7			
11923		11/08/2023	160	4523	7830	2.32	3375	1120.2	49.8			
11927		11/08/2023	160	4511	7828	2.32	3375	1130.8	50.3			
11930		11/08/2023	160	4498	7789	2.31	3375	1092.8	48.6			
11910	56	08/09/2023	180	4494	7862	2.33	3375	1183.3	52.6	52.1	52.8	51.0
11914		08/09/2023	160	4521	7856	2.33	3375	1169.7	52.0			
11918		08/09/2023	160	4500	7798	2.31	3375	1187.8	52.8			
11922		08/09/2023	160	4467	7804	2.31	3375	1148.0	51.0			

5.3.6. Κυβικά δοκίμια 100x100x100mm:

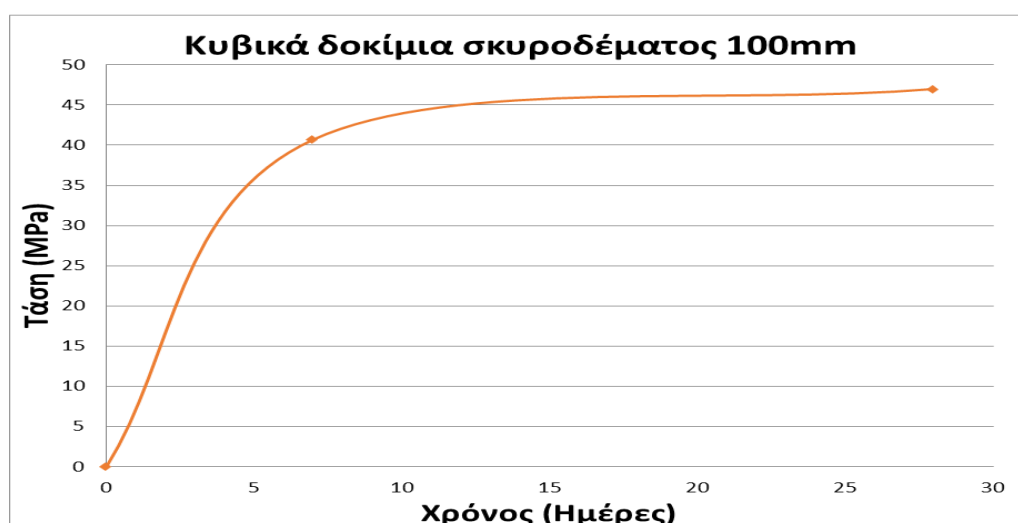
Πίνακας 5.17: Πληροφορίες για την δειγματοληψία και τα δοκίμια

Σχήμα	Κυβικό	
Επιφάνεια (Α)	100.0	cm ²
Ρυθμός θραύσης	0.6	MPa/sec
Διαστάσεις δοκιμίου	100x100x100mm	
Όγκος	1000	cm ³

Όπως και στα κυβικά δοκίμια με ακμή 150mm έτσι και για αυτά με ακμή 100mm έγινε επίσης σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δοκιμών με τα ζευγάρια τους με το πρώτο δοκίμιου του κάθε ζεύγους να υπόκειται σε θραύση στις 7 ημέρες και το δεύτερο στις 28 ημέρες. Κάθε ζεύγος δοκιμών στον Πίνακα 5.18 έχει το ίδιο χρώμα όπως για παράδειγμα το δοκίμιο 1.1 με το 2.1. Για κάθε δοκίμι μετρήθηκε το βάρος του μέσα στο νερό, το βάρος του σε συνθήκες SSD και καταγράφηκε το φορτίο σε KN απο την θραύση του κάθε δοκιμίου και με γνωστή την επιφάνεια επαφής Α (Πίνακας 5.17) υπολογίστηκε η Τάση σε MPa και ο Μέσος Όρος για όλα τα δοκίμια που έσπασαν στις 7 ημέρες και ξεχωριστά για τις 28 ημέρες.

Πίνακας 5.18: Πληροφορίες και μετρούμενα μεγέθη για κυβικά δοκίμια 100x100x100mm

Δοκίμιο	Ημέρες	Βάρος σε νερό (gr)	Βάρος SSD (gr)	Πυκνότητα (gr/cm ³)	Φορτίο (KN)	Τάση (MPa)	M.O.MPa
1.1	7	1357	2342	2.342	413.5	41.4	40.7
1.2	7	1352	2335	2.335	410.1	41.1	
1.3	7	1354	2338	2.338	405.3	40.6	
1.4	7	1359	2345	2.345	395.2	39.6	
2.1	28	1358	2341	2.341	481.3	48.1	47.0
2.2	28	1351	2334	2.334	478.3	47.9	
2.3	28	1355	2339	2.339	465	46.5	
2.4	28	1358	2344	2.344	452.8	45.3	



Εικόνα 5.4: Γραφική παράσταση θλιπτικής αντοχής (τάσης) σε σχέση με τις ημέρες ωρίμανσης

Ομοίως με βάση τα αποτελέσματα της [Εικόνας 5.4](#) και του [Πίνακα 5.18](#) για τα κυβικά δοκίμια των 100x100x100mm η αντοχή του σκυροδέματος παρουσιάζει μια σημαντική αύξηση κατά τις πρώτες ημέρες, με ιδιαίτερη ένταση μέχρι την 7^η μέρα. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η διαδικασία υδροποίησης του τσιμέντου, η οποία είναι ιδιαίτερα ενεργή κατά τις πρώτες ημέρες, και οι φυσικοί και χημικοί μηχανισμοί που συμβαίνουν κατά την ωρίμανση του σκυροδέματος. Ουσιαστικά, την πρώτη εβδομάδα το σκυρόδεμα επιτυγχάνει σημαντικά επίπεδα αντοχής χάρη στην διαδικασία ενυδάτωσης του τσιμέντου η οποία είναι η χημική αντίδραση μεταξύ του τσιμέντου με το νερό. Αυτή η διαδικασία είναι κρίσιμη για την τελική αντοχή του σκυροδέματος και επηρεάζεται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η σύσταση του μείγματος.

5.3.7. Κυλινδρικά δοκίμια 300x150mm:

Πίνακας 5.19: Πληροφορίες για τα κυλινδρικά δοκίμια 300x150mm

Σχήμα	Κυλινδρικό	
Επιφάνεια (Α)	176.6	cm ²
Ρυθμός θραύσης	0.6	MPa/sec
Διαστάσεις δοκιμίου	150x300mm	
Όγκος	5298.5	cm ³

Τα κυλινδρικά δοκίμια χρησιμοποιήθηκαν για σύγκριση των δοκιμών μεταξύ τους με τις δυο δειγματοληψίες που έγιναν με διαφορετικό αποτέλεσμα καθίζησης και τα αποτελέσματα από την θραύση στις 28 ημέρες. Στον [Πίνακα 5.20](#) πιο κάτω φαίνονται με διαφορετικό χρώμα οι δύο δειγματοληψίες κυλινδρικών δοκιμών. Η πρώτη δειγματοληψία με τα τρία πρώτα δοκίμια (1,2,3) με καθίζηση στα 180 mm και η δεύτερη (4,5,6) στα επόμενα τρία δοκίμια με καθίζηση 160 mm μετά το πέρας 8 λεπτών. Μετά από την συντήρηση των δοκιμών για 28 ημέρες σε συνθήκες 100% κορεσμού στο εργαστήριο, πριν την θραύση τους μετρήθηκε το βάρος των δοκιμών σε S.S.D. (γρ.) και έγινε υπολογισμός της πυκνότητας με την [Εξίσωση 14](#). Μετά την θραύση των δοκιμών έγινε καταγραφή του φορτίου σε kN και με γνωστή την επιφάνεια επαφής των δοκιμών έγινε η μετατροπή σε MPa. Για να μπορεί να γίνει σύγκριση των τιμών της θραύσης των κυλινδρικών δοκιμών (με αναλογία 1:2) με τα κυβικά δοκίμια πρέπει να γίνει η αναγωγή τους στο κυβικό (1:1) με την βοήθεια της [εξίσωσης 9](#) και ακολούθως βρέθηκε ο μέσος όρος των δύο δειγματοληψιών ξεχωριστά με μια απόκλιση των 5.9 MPa με ψηλότερη αυτή που έγινε αρχικά με το αποτέλεσμα καθίζησης στα 180 mm. Τέλος βγήκε ο γενικός Μέσος Όρος των τιμών Τάσης των κυλινδρικών δοκιμών με την αναγωγή.

Πίνακας 5.20: Πληροφορίες και μετρούμενα μεγέθη για κυλινδρικά δοκίμια 300x150mm

Δοκίμιο	Κάθιση (mm)	Βάρος SSD (gr)	Πυκνότητα (gr/cm³)	Φορτίο (KN)	Τάση (MPa) (1:2)	Τάση (MPa) (1:1)	Μ.Ο. Κυβικό (1:1)	Μ.Ο. Κυβικό (1:1)
1	180	12373	2.34	646.5	36.6	45.8	45.0	42.0
2	180	12356	2.33	620	35.1	43.9		
3	180	12385	2.34	641.2	36.3	45.4		
4	160	12432	2.35	531	30.1	37.6	39.1	
5	160	12451	2.35	551.1	31.2	39.0		
6	160	12396	2.34	574.1	32.5	40.6		

5.3.8. Πυρήνες - Δοκίμια πυρηνοληψίας:

- **Πυρήνες 100x100mm:**

Πιο κάτω (Πίνακας 5.21) δίνονται οι πληροφορίες για όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων για τα δοκίμια σκυροδέματος από την πυρηνοληψία, όπως οι διαστάσεις, την επιφάνεια επαφής θραύσης, την ημερομηνία δειγματοληψίας και θραύσης.

Πίνακας 5.21: Πληροφορίες για τα δοκίμια 100x100mm από την πυρηνοληψία

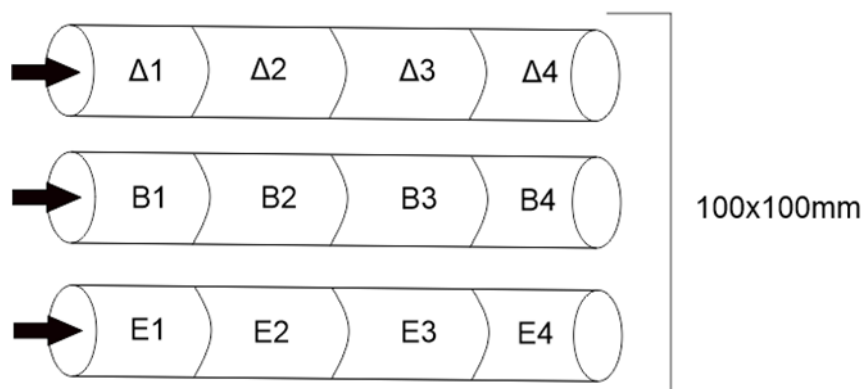
Σχήμα	Κυλινδρικό	-
Διαστάσεις δοκιμίων	100x100	cm
Ύψος - l	100	mm
Διάμετρος - D	100	mm
Επιφάνεια - A	78.5	cm ²
Ρυθμός φόρτισης	0.6	MPa/s

Στον Πίνακα 5.22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για του πυρήνες 100x100 mm από την δειγματοληψία από το μεγάλο κυβικό καλούπι 1.00 m³. Στην πρώτη στήλη είναι η ονομασία του κάθε δοκιμίου με την κάθε γραμμή να αντιστοιχεί σε ένα δοκίμιο, ενώ στις αμέσως επόμενες τρεις στήλες φαίνονται οι διαστάσεις σε mm και το βάρος σε gr του κάθε δοκιμίου. Στον πίνακα επίσης φαίνονται τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς για τον Μέσο Όρο της αντοχής, του Βάρους και η Τυπική απόκλιση όπως και το βάθος από το οποίο εξάχθηκε το κάθε δείγμα σε mm.

Πίνακας 5.22: Πληροφορίες και μετρούμενα μεγέθη για δοκίμια 100x100mm από πυρηνοληψία

Δοκίμιο	Βάρος (gr)	Φόρτιση (kN)	Τάση (MPa)	Μ.Ο. MPa	Μ.Ο. Βάρους	Τυπική απόκλιση	Μ.Ο. (MPa)	Βάθος (cm)
B1	1993	228.4	29.1	34.3	1954	4.3	37.8	0-25
B2	1939	306.2	39					25-50
B3	1934	299	38.1					50-75
B4	1950	242.7	30.9					75-100
Δ1	1951	392.5	50	39.3	1949	7.8		0-25
Δ2	1964	307.1	39.1					25-50
Δ3	1933	219.9	28					50-75
Δ4	1948	314.9	40.1					75-100
E1	1931	383.8	48.9	39.9	1968	6.9		0-25
E2	2004	238.6	30.4					25-50
E3	1951	339.3	43.2					50-75
E4	1984	291.4	37.1					75-100

Στην [Εικόνα 5.5](#) παρακάτω παρουσιάζεται η φορά με την οποία έγινε η δειγματοληψία αλλά και την σειρά με την οποία βγήκε το κάθε δείγμα. Η εξαγωγή έγινε από αριστερά προς τα δεξιά με αποτέλεσμα να έχουμε σαν δοκίμια κοντά στην επιφάνεια τα Δ1, B1, E1, Δ4, B4 και το E4 και πιο βαθιά στο εσωτερικό μέρος του μεγάλου δοκιμίου 1m³ τα δοκίμια Δ2, Δ3, B2, B3, E2 και E3. Το σημείο εξαγωγής του κάθε δοκιμίου στο μεγάλο δοκίμιο φαίνεται στο [Εικόνα 5.6](#) πιο κάτω.

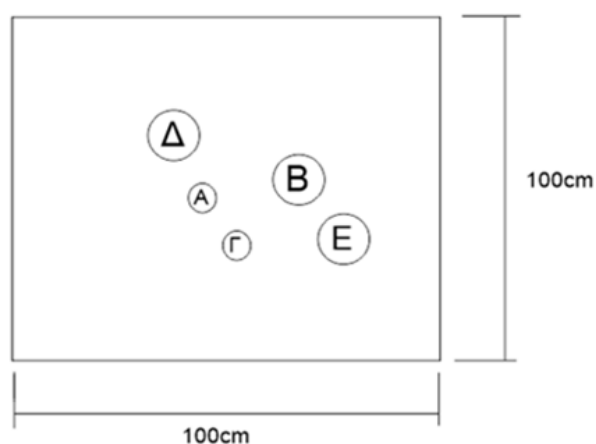


Εικόνα 5.5: Πλάγια όψη δοκιμίων 100x100mm απο το κυβικό δοκίμιο απ'όπου έγινε η εξαγωγή τους

- **Πυρήνες 73x73mm:**

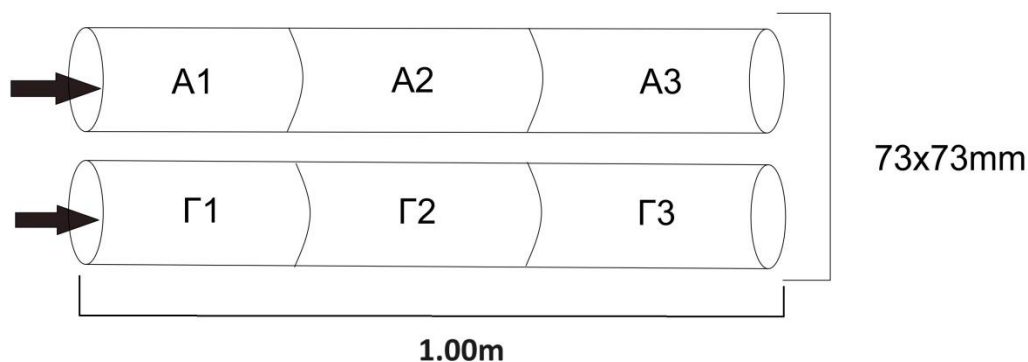
Πίνακας 5.23: Πληροφορίες για τα δοκίμια 73x73mm από την πυρηνοληψία

Σχήμα	Κυλινδρικό	-
Διαστάσεις δοκιμίων	73x73	cm
Κατηγορία	C30/37	-
Ύψος - I	73	mm
Διάμετρος - D	73	mm
Επιφάνεια - A	42.0	cm ²
Ρυθμός φόρτισης	0.6	MPa/s



Εικόνα 5.6: Θέση του κάθε δοκιμίου στο κυβικό δείγμα απ'όπου έγινε η εξαγωγή του

Στο παρακάτω [Εικόνα 5.7](#) φαίνεται η φορά που βγήκαν τα δείγματα, με τους πυρήνες Α1 και Γ1 να είναι η μια πλευρά του μεγάλου δοκιμίου και Α3 και Γ3 η άλλη πλευρά του. Τα δοκίμια Α2 και Γ2 ήταν τα δύο μεγάλα δοκίμια από τον πυρήνα του μεγάλου κυβικού δοκιμίου. Κάθε μεγάλος πυρήνας μήκους περίπου 335 mm, διαιρέθηκε σε μικρότερα δοκίμια των 73 mm ύψους και βγαίνουν οι υποδιαιρέσεις που φαίνονται στο [Πίνακα 5.14](#) πιο κάτω (Α1.1, Α1.2,...).



Εικόνα 5.7: Πλάγια όψη δοκιμίων 73x73mm απο το κυβικό δοκίμιο απ'όπου έγινε η εξαγωγή τους

Πίνακας 5.24: Πληροφορίες και μετρούμενα μεγέθη για δοκίμια 73x73mm από πυρηνοληψία

	Δοκίμιο	Πυκνότητα (gr/cm ³)	Όγκος (cm ³)	Βάρος (gr)	Φορτίο (kn)	Μpa
A1	A1.1	8.43	84.4	711	174.9	41.5
	A1.2	8.45	83.4	705	156.6	37.1
	A1.3	8.42	84.1	708	151.9	36
	A1.4	8.58	84.1	722	128.8	30.5
	A1.5	8.64	84.5	730	146.5	34.7
A2	A2.1	8.59	84.0	722	146.4	34.7
	A2.2	8.68	84.5	733	128.1	30.4
	A2.3	8.65	84.5	731	154.5	36.6
	A2.4	8.63	84.5	729	142.1	33.6
	A2.5	8.64	84.5	730	144.6	34.2
A3	A3.1	8.64	84.5	730	156.6	37.1
	A3.2	8.54	84.2	719	174.1	41.3
	A3.3	8.44	84.5	713	155.1	36.8
	A3.4	8.58	84.5	725	162.1	38.4
	A3.5	8.57	84.5	724	163	38.6
Γ1	Γ1.1	8.31	84.2	700	178.3	42.3
	Γ1.2	8.64	84.5	730	155.4	36.9
	Γ1.3	8.46	83.4	706	131.3	31.1
	Γ1.4	8.44	84.1	710	144	34.1
	Γ1.5	8.58	84.2	723	151.6	35.9
Γ2	Γ2.1	8.49	84.0	713	137.6	32.6
	Γ2.1	8.48	84.0	712	109.6	26
	Γ2.3	8.50	84.0	714	134.6	31.9
	Γ2.4	8.48	84.1	713	128.7	30.5
	Γ2.5	8.45	84.2	712	129.96	30.8
Γ3	Γ3.1	8.62	84.0	724	149	35.4
	Γ3.2	8.40	84.0	706	134.3	31.8
	Γ3.3	8.24	84.0	692	140.3	33.3
	Γ3.4	8.40	84.1	707	136.7	32.4
	Γ3.5	8.42	84.2	709	145.6	34.5

Πίνακας 5.25: Μετρούμενοι μέσοι όροι και τυπική απόκλιση σε σχέση με το βάθος δειγματοληψίας

	Δοκίμιο	Μ.Ο. MPa	Μ.Ο. Πυκνότητας	Μ.Ο. Βάρους	Τυπική απόκλιση	Βάθος (cm)	Μ.Ο. MPa
A1	A1.1	37.3	8.5	713.5	2.6	0	36.7
	A1.2					7	
	A1.3					14	
	A1.4					21	
	A1.5					28	
A2	A2.1	34.8	8.6	728	1.1	35	
	A2.2					42	
	A2.3					49	
	A2.4					56	
	A2.5					63	
A3	A3.1	38.4	8.6	722.2	1.6	70	
	A3.2					77	
	A3.3					84	
	A3.4					91	
	A3.5					98	
Γ1	Γ1.1	37.3	8.5	715.8	3.1	0	
	Γ1.2					7	
	Γ1.3					14	
	Γ1.4					21	
	Γ1.5					28	
Γ2	Γ2.1	30.4	8.5	712.8	2.3	35	
	Γ2.1					42	
	Γ2.3					49	
	Γ2.4					56	
	Γ2.5					63	
Γ3	Γ3.1	34.4	8.4	708.3	0.9	70	
	Γ3.2					77	
	Γ3.3					84	
	Γ3.4					91	
	Γ3.5					98	

Για να είναι αποδεκτές οι παραπάνω τιμές των μετρήσεων για τους πυρήνες των 100mm και 73mm (Πίνακας 5.23 & 5.25) πρέπει να γίνει αμφισβήτηση της ποιότητας του σκυροδέματος με δεδομένη κατηγορία, σε νέες κατασκευές με βάση το Ευρωπαϊκό Προτύπο: EN 13791/2006. (Σακελλαρίου & Καλογεροπούλλου, 2008). Με την βοήθεια των εξίσωσεων 15, 16 και 17 υπολογίζετε η μέση τιμή, στην συνέχεια η διασπορά και τέλος η τυπική απόκλιση (Πίνακας 5.16 & 5.17 & 5.18) η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των παραπάνω τιμών.

Πίνακας 5.26: Πίνακας αποτελεμάτων για αμφισβήτηση της ποιότητας του σκυροδέματος για πυρήνες 73mm (Α)

ΠΥΡΗΝΑΣ "Α" 73mm			
Αρ.Δοκιμίου	MPa	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ Μ.Τ.	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΤΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ
A1.1	41.5	5.4	29.2
A1.2	37.1	1.0	1.0
A1.3	36	-0.1	0.0
A1.4	30.5	-5.6	31.4
A1.5	34.7	-1.4	2.0
A2.1	34.7	-1.4	2.0
A2.2	30.4	-5.7	32.5
A2.3	36.6	0.5	0.3
A2.4	33.6	-2.5	6.3
A2.5	34.2	-1.9	3.6
A3.1	37.1	1.0	1.0
A3.2	41.3	5.2	27.0
A3.3	36.8	0.7	0.5
A3.4	38.4	2.3	5.3
A3.5	38.6	2.5	6.3
ΣΥΝΟΛΟ	541.5		148.1
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	36.1		
ΔΙΑΣΠΟΡΑ	9.87		
Τ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	3.14		

Πίνακας 5.27: Πίνακας αποτελεμάτων για αμφισβήτηση της ποιότητας του σκυροδέματος για πυρήνες 73mm (Γ)

ΠΥΡΗΝΑΣ "Γ" 73mm			
Αρ.Δοκιμίου	MPa	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ Μ.Τ.	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΤΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ
Γ1.1	42.3	9.0	81.0
Γ1.2	36.9	3.6	13.0
Γ1.3	31.1	-2.2	4.8
Γ1.4	34.1	0.8	0.6
Γ1.5	35.9	2.6	6.8
Γ2.1	32.6	-0.7	0.5
Γ2.1	26	-7.3	53.3
Γ2.3	31.9	-1.4	2.0
Γ2.4	30.5	-2.8	7.8
Γ2.5	30.8	-2.5	6.2
Γ3.1	35.4	2.1	4.4
Γ3.2	31.8	-1.5	2.2
Γ3.3	33.3	0.0	0.0
Γ3.4	32.4	-0.9	0.8
Γ3.5	34.5	1.2	1.4
ΣΥΝΟΛΟ	499.5		184.9
Μ.Τ.	33.3		
ΔΙΑΣΠΟΡΑ	12.33		
Τ.ΑΠΟΚΛΙΣΗ	3.51		

Πίνακας 5.28: : Πίνακας αποτελεσμάτων για αμφισβήτηση της αντοχής (MPa) σκυροδέματος για πυρήνες 100mm

ΠΥΡΗΝΕΣ "Β,Δ,Ε" 100mm							
Δοκίμιο	MPa	Μ.Τ. MPa	ΣΥΝΟΛΟ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ Μ.Τ.	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΤΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ	ΔΙΑΣΠΟΡΑ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
B1	29.1	34.3	137.1	-5.2	26.78	15.03	3.88
B2	39			4.7	22.33		
B3	38.1			3.8	14.63		
B4	30.9			-3.4	11.39		
Δ1	50	39.3	157.2	10.7	114.49	48.57	6.97
Δ2	39.1			-0.2	0.04		
Δ3	28			-11.3	127.69		
Δ4	40.1			0.8	0.64		
E1	48.9	39.9	159.6	9.0	81.00	38.00	6.16
E2	30.4			-9.5	90.25		
E3	43.2			3.3	10.89		
E4	37.1			-2.8	7.84		

Η αντοχή της ελεγχόμενης περιοχής οφείλει να ικανοποιεί και τα δύο παρακάτω κριτήρια:

1 ^ο κριτήριο	$\frac{f_m(n)}{0.85} - 1,48 * s \geq f_{ck}$	(N/mm ²)
-------------------------	--	----------------------

και

2 ^ο κριτήριο	$\frac{f_{min}}{0.85} + 4 \geq f_{ck}$	(N/mm ²)
-------------------------	--	----------------------

Όπου:

- $f_m(n)$ ο μέσος όρος των τιμών θραύσης των πυρήνων
- s = η τυπική απόκλιση των τιμών θραύσης των πυρήνων
- f_{ck} η χαρακτηριστική αντοχή που αντιστοιχεί στη δεδομένη κατηγορία του υπό έλεγχο σκυροδέματος
- f_{min} η μικρότερη τιμή θραύσης πυρήνα
- n πλήθος πυρήνων

Αν τα δύο παραπάνω κριτήρια ικανοποιούνται, τότε η περιοχή μπορεί να θεωρηθεί ότι διαθέτει σκυρόδεμα με κατάλληλη αντοχή και συμμορφώνεται με το Πρότυπο EN 206-13 (Σακελλαρίου & Καλογεροπούλλου, 2008). Τα δοκίμια που δεν τηρούν τα κριτήρια βγαίνουν εκτός και δεν χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς. Στους [Πίνακες 5.30](#) και [5.31](#), με κόκκινο χρώμα και την λέξη "Fail" είναι οι τιμές που δεν τηρούν τα κριτήρια και με πράσινο χρώμα και την λέξη "PASS" εκείνα που τηρούν τα κριτήρια.

Πίνακας 5.29: Πίνακας ελέγχου τιμών που πληρούν τα κριτήρια για Πυρήνες 73mm

BS EN13791:2019 , Πυρήνες 73mm				
		33.15	28.05 για M=4	
		$\geq 0.85 \times (f_n + 2)$	$\geq 0.85 \times (f_{ck} - M)$	
Δοκίμιο	Mpa	Μέσος Όρος	Χαμηλότερη Τιμή	Αποτέλεσμα
A1.1	41.5	PASS	PASS	PASS
A1.2	37.1	PASS	PASS	PASS
A1.3	36	PASS	PASS	PASS
A1.4	30.5	FAIL	PASS	FAIL
A1.5	34.7	PASS	PASS	PASS
A2.1	34.7	PASS	PASS	PASS
A2.2	30.4	FAIL	PASS	FAIL
A2.3	36.6	PASS	PASS	PASS
A2.4	33.6	PASS	PASS	PASS
A2.5	34.2	PASS	PASS	PASS
A3.1	37.1	PASS	PASS	PASS
A3.2	41.3	PASS	PASS	PASS
A3.3	36.8	PASS	PASS	PASS
A3.4	38.4	PASS	PASS	PASS
A3.5	38.6	PASS	PASS	PASS
Γ1.1	42.3	PASS	PASS	PASS
Γ1.2	36.9	PASS	PASS	PASS
Γ1.3	31.1	FAIL	PASS	FAIL
Γ1.4	34.1	PASS	PASS	PASS
Γ1.5	35.9	PASS	PASS	PASS
Γ2.1	32.6	FAIL	PASS	FAIL
Γ2.1	26	FAIL	FAIL	FAIL
Γ2.3	31.9	FAIL	PASS	FAIL
Γ2.4	30.5	FAIL	PASS	FAIL
Γ2.5	30.8	FAIL	PASS	FAIL
Γ3.1	35.4	PASS	PASS	PASS
Γ3.2	31.8	FAIL	PASS	FAIL
Γ3.3	33.3	PASS	PASS	PASS
Γ3.4	32.4	FAIL	PASS	FAIL
Γ3.5	34.5	PASS	PASS	PASS

Πίνακας 5.30: Πίνακας ελέγχου τιμών που πληρούν τα κριτήρια για Πυρήνες 100mm

BS EN13791:2019 , Πυρήνες 100mm				
		≥ 33.15	≥ 28.05	
		$\geq 0.85 \times (f_n + 2)$	$\geq 0.85 \times (f_{ck} - M)$	
Δοκίμιο	Mpa	Μέσος Όρος	Χαμηλότερη Τιμή	Αποτέλεσμα
B1	29.1	FAIL	PASS	FAIL
B2	39	PASS	PASS	PASS
B3	38.1	PASS	PASS	PASS
B4	30.9	FAIL	PASS	FAIL
Δ1	50	PASS	PASS	PASS
Δ2	39.1	PASS	PASS	PASS
Δ3	28	FAIL	FAIL	FAIL
Δ4	40.1	PASS	PASS	PASS
E1	48.9	PASS	PASS	PASS
E2	30.4	FAIL	PASS	FAIL
E3	43.2	PASS	PASS	PASS
E4	37.1	PASS	PASS	PASS

5.3.9. Δοκιμή αναπήδησης – NDT Schmidt hammer test:

Πίνακας 5.31: Πληροφορίες για την δοκιμή αναπήδησης

Τιμή αναπήδησης	H	-
Θλιπτική αντοχή	R	Mpa
Κατεύθυνση στόχευσης	a=-90°	Μοίρες
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	36	°C

Στον Πίνακα 5.32 παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα από κάθε δοκιμή που έγινε πάνω στο δοκίμιο 1m³ και η αντίστοιχη μετατροπή από τιμή αναπήδησης σε θλιπτική αντοχή R (MPa) με την βοήθεια της γραφικής παράστασης στην Εικόνα 4.1, όπως επίσης και ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων της θλιπτικής αντοχής R (MPa) του κάθε σημείου απ' όπου βγαίνει και το τελικό αποτέλεσμα για την κάθε δοκιμή.

Πίνακας 5.32: Αποτελέσματα δοκιμής αναπήδησης και μετατροπή σε θλιπτική αντοχή (MPa)

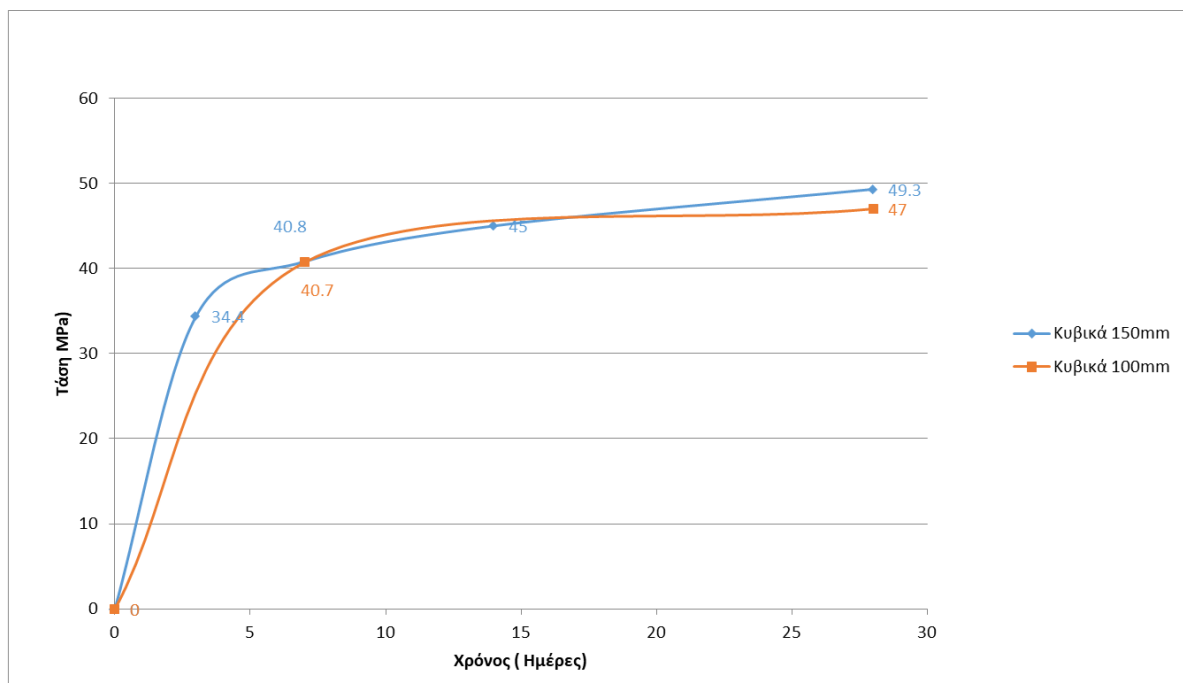
1			2			3		
H	R (MPa)	M.O. R (MPa)	H	R (MPa)	M.O. R (MPa)	H	R (MPa)	M.O. R (MPa)
41	39	38.5	40	38	39.2	41	39	39
40	38		40	38		40	38	
40	38		41	39		41	39	
40	38		40	38		40	38	
40	38		41	39		40	38	
42	41		40	38		41	39	
41	39		42	41		42	41	
40	38		40	38		40	38	
40	38		40	38		41	39	
40	38		44	45.3		42	41	
4			5			6		
H	R (MPa)	M.O. R (MPa)	H	R (MPa)	M.O. R (MPa)	H	R (MPa)	M.O. R (MPa)
39	36.4	38.9	44	45.3	42.3	40	38	40.0
40	38		41	39		44	45.3	
39	36.4		46	48		41	39	
40	38		40	38		42	41	
46	48		41	39		41	39	
41	39		46	48		41	39	
40	38		41	39		42	41	
40	38		46	48		42	41	
41	39		42	41		41	39	
40	38		40	38		40	38	

6. Συγκρίσεις - Συμπεράσματα - Εισηγήσεις

6.1 Συγκρίσεις:

- Κυβικά δοκίμια με ακμή 150mm – Κυβικά δοκίμια με ακμή 100mm:

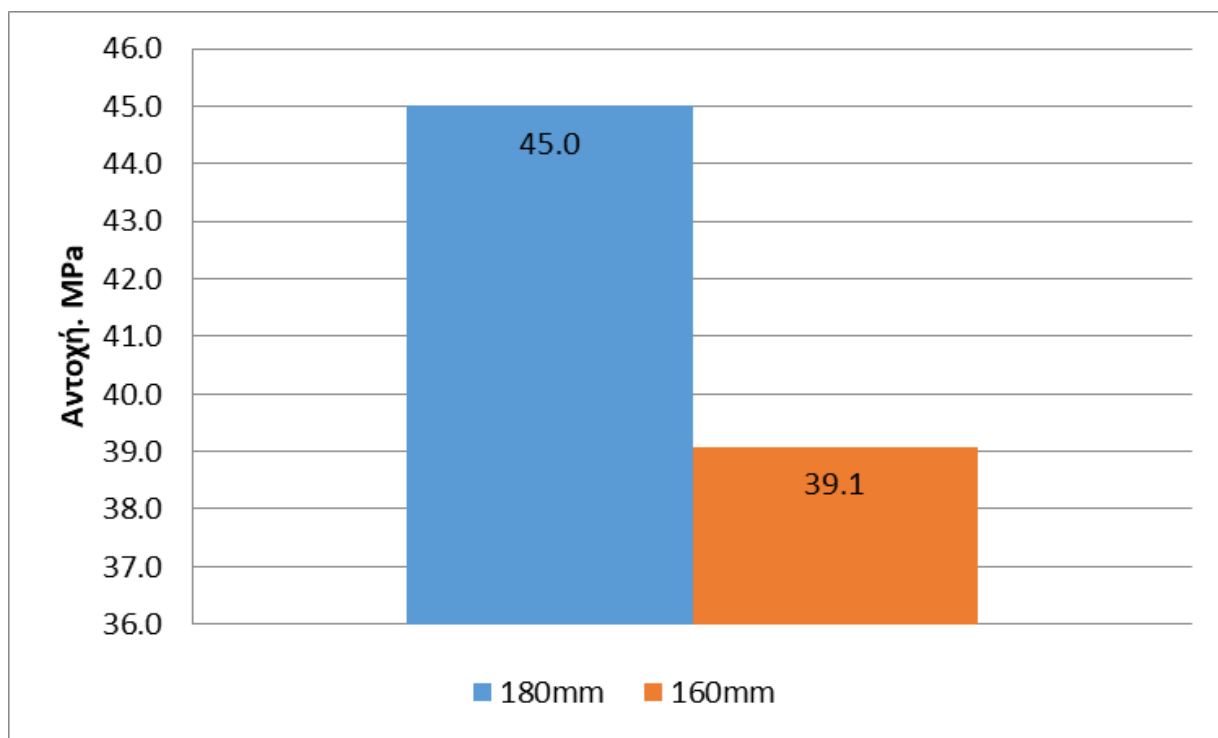
Στην παρακάτω γραφική παράσταση της [Εικόνας 6.1](#) γίνεται σύγκριση της αντοχής – τάσης σε MPa του σκυροδέματος σε σχέση με τον χρόνο ωρίμανσης μέχρι την 28^η ημέρα, των δύο διαφορετικών μεγεθών κυβικού δοκιμίων που κατασκευάστηκαν από νωπό σκυρόδεμα. Με μπλέ χρώμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κυβικών δοκιμίων, διαστάσεων 150x150x150mm ενώ με το πορτοκαλί χρώμα τα κυβικά δοκίμια διαστάσεων 100x100x100mm. Όπως παρατηρείτε και από την γραφική, οι δυο καμπύλες σχεδόν αλληλεπικαλύπτονται ειδικά την 7^η ημέρα η τιμή έχει απόκλιση 0.01 MPa, πράγμα που υποδεικνύει την σχεδόν όμοια συμπεριφορά και ωρίμανση και των δύο κυβικών δειγμάτων ανεξαρτήτως μεγέθους. Σαν αποτέλεσμα θα περίμεναμε το μεγαλύτερο δείγμα να ωριμάζει πιο αργά ενώ από τα αποτελέσματα μας φαίνεται το αντίθετο, το κυβικό δοκίμιο με ακμή 100mm πιάνει την τιμή 34.4 MPa περίπου στις 5 μέρες ενώ το δοκίμιο με ακμή 150mm περίπου στις 2.5 ημέρες και αυτό μπορεί να οφείλετε στην έλλειψη μετρήσεων στις ίδιες χρονικές στιγμές.



Εικόνα 6.1: Γραφική παράσταση ωρίμανσης κυβικών δοκιμίων 100mm και 150mm σε σχέση με τον χρόνο

- **Κυλινδρικά δοκίμια με κάθιση 180mm - Κυλινδρικά δοκίμια με κάθιση 160mm:**

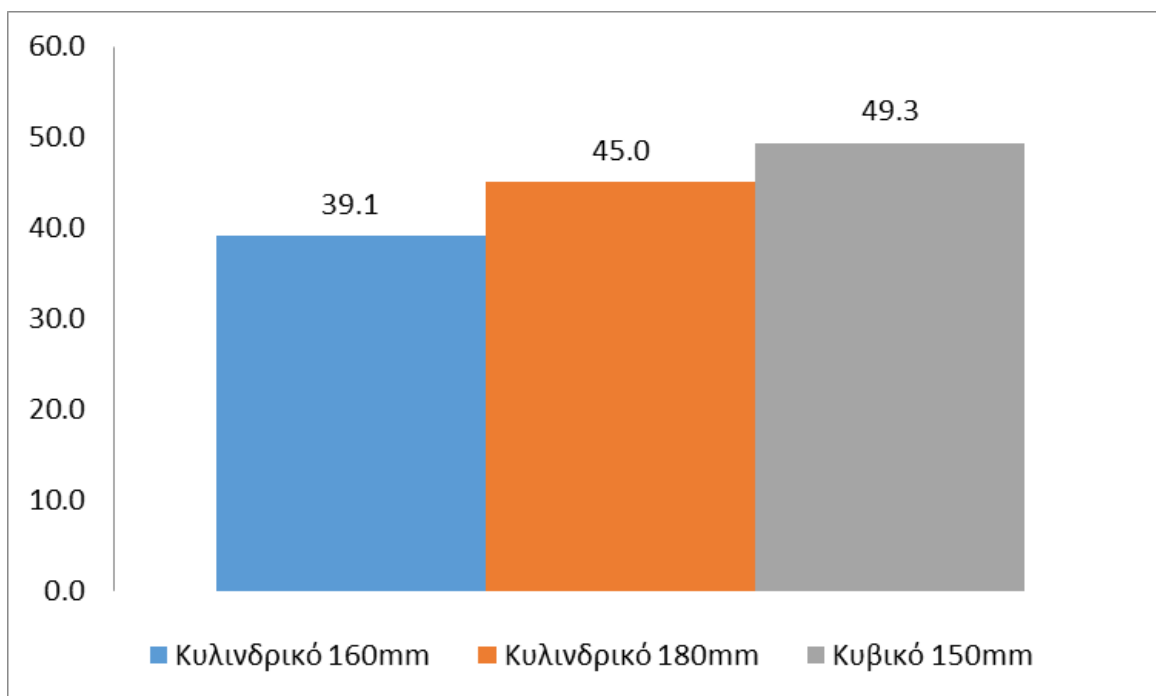
Απο τα αποτελέσματα που προέκυψαν απο την θραύση των κυβικών δοκιμών βλέπουμε ότι υπάρχει μια διαφορά στις τιμές τις αντοχής στα δοκίμια που έγιναν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Οι τιμές που προέκυψαν απο την θραύση των κυλινδρικών δοκιμών με κάθιση 180mm είναι μεγαλύτερες απο τις τιμές που προέκυψαν απο τα δείγματα που η δειγματοληψία τους έγινε μετά την πάροδο των 8 λεπτών και είχαν τιμή κάθισης ίση με 160mm. Ο μέσος όρος των δυο δειγματοληψιών έχει μια απόκλιση της τάξης των 5.9 MPa με την χαμηλότερη τιμή της πρώτης δειγματοληψίας (κάθιση 180mm) που είναι ίση με 43.9 MPa να είναι ψηλότερη απο την πιο ψηλή τιμή της δεύτερης δειγματοληψίας με κάθιση 160mm που μετρήθηκε στα 40.6 MPa. Αυτό μπορεί να οφείλετε στην ύπαρξη σημαντικής περιβαλλοντικής επίδρασης όπως η θερμοκρασία που ήταν αρκετά ψηλή την ώρα της πειραματικής διαδικασίας και δυσκολεύει περισσότερο την συμπύκνωση του σκυροδέματος στο καλούπι λόγω της μείωσης της εργατικότητας αφήνοντας κενά εντός του δείγματος μειώνοντας έτσι την αντοχή και την πυκνότητα του δοκιμίου. (Concrete Technology, 1987)



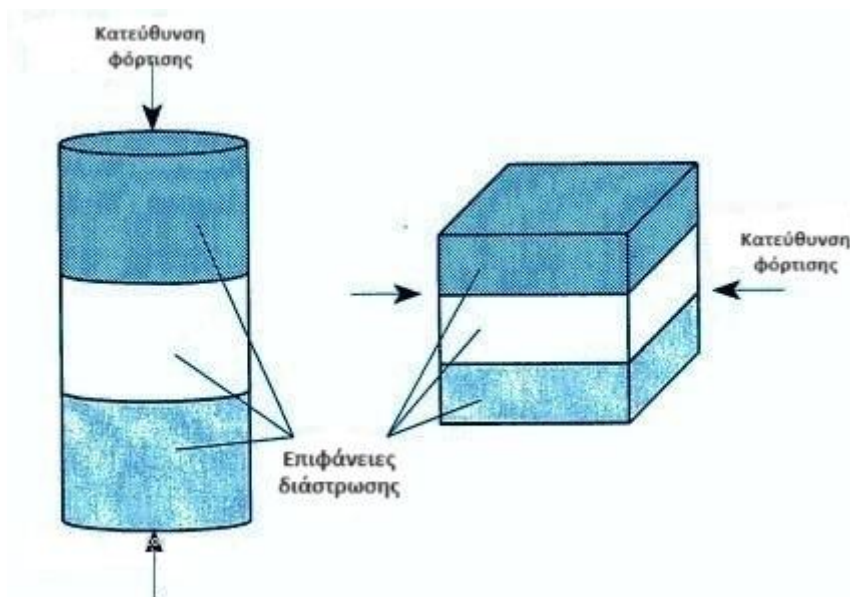
Εικόνα 6.1: Σύγκριση μέσων όρων αποτελεσμάτων κυλινδρικών δοκιμών με διαφορετική κάθιση

- **Κυβικά δοκίμια με ακμή 150mm – Κυλινδρικά δοκίμια:**

Στην παρακάτω γραφική της [Εικόνα 6.2](#) γίνεται η σύγκριση των κυλινδρικών δοκιμών με καθίζηση 180mm, με καθίζηση 160mm και των κυβικών δοκιμών με ακμή 150mm. Οι τιμές των δύο μεθόδων για να μπορούν να είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους πρέπει να γίνει αναγωγή τους με την βοήθεια της [εξίσωσης 9](#). Απο τις τιμές των αποτελεσμάτων παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές αντοχής σε θλίψη απο τα κυλινδρικά δοκίμια σε σχέση με τα κυβικά των 150mm. Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα της δειγματοληψίας λιγότερων κυλινδρικών δοκιμών σκυροδέματος σε σχέση με τα κυβικά που δεν μας δίνει μια πιο σωστή εικόνα των αποτελεσμάτων, όπως επίσης σημαντική είναι και η διαφορετική φορά με την οποία σπάζουν τα δοκίμια, με τα κυβικά να σπάνε οριζόντια της επιφάνειας διάστρωσης του σκυροδέματος ενώ τα κυλινδρικά κάθετα σε αυτήν με αποτέλεσμα να παίζει σημαντικό ρόλο η συμπύκνωση ([Εικόνα 6.3](#)). Επίσης παρατηρείτε ότι οι τιμές στην δεύτερη δειγματοληψία στα 160 mm είναι χαμηλότερες και οι τρείς σε σχέση με τα δοκίμια με καθίζηση 180 mm ([Πίνακας 5.21](#)). Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα της καθυστερημένης ανάμειξης και τοποθέτησης του σκυροδέματος, όπου το μείγμα μπορεί να αρχίσει να πήζει ή να σκληραίνει χάνοντας έτσι την εργασιμότητα του και σαν αποτέλεσμα να καταστήσει δυσκολότερη τη σωστή τοποθέτηση και συμπίκνωση του σκυροδέματος που οδηγεί σε κενά στο σκυρόδεμα, γεγονός που μειώνει σημαντικά τη θλιπτική αντοχή του.



Εικόνα 6.2: Γραφική απεικόνιση των τιμών της αντοχής των κυλινδρικών δοκιμών σε σχέση με τα κυβικά δοκίμια 150mm



Εικόνα 6.3: Φόρτιση σε σχέση με την επιφάνεια διάστρωσης του σκυροδέματος, (Relation between the Cubic and the Cylindrical concrete sample, 2012)

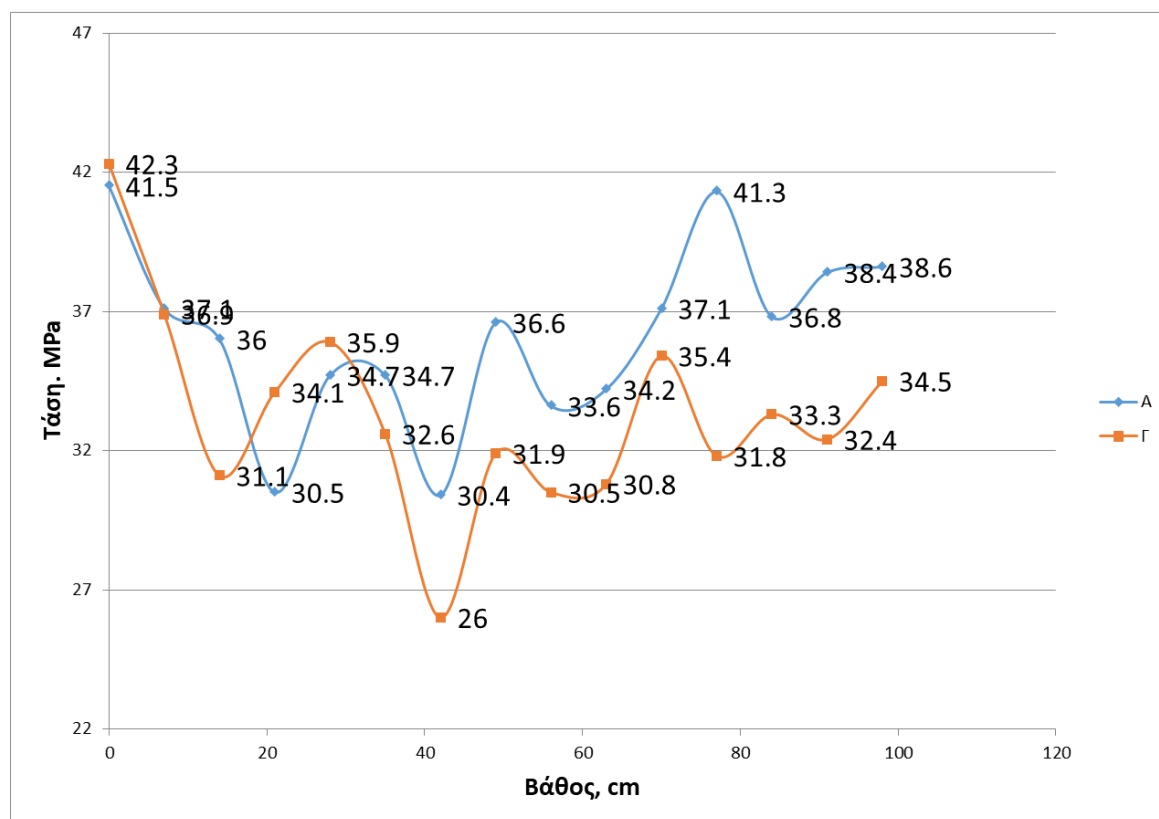
- **Κυβικά δοκίμια – Πυρήνες:**

Πυρήνες 73mm:

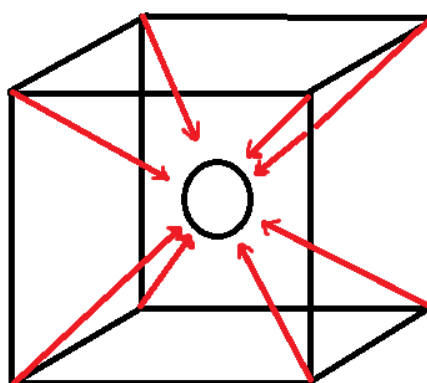
Στην παρακάτω [Εικόνα 6.4](#) γίνεται συσχέτιση του βάθους δειγματοληψίας σε σχέση με την ωρίμανση δηλαδή την αύξηση της αντοχής σε MPa των πυρήνων των 73x73mm. Τα αρχικά Α και Γ είναι απο τα σημεία δειγματοληψίας απο το μεγάλο κυβικό δοκίμιο όπως φαίνεται στην [Εικόνα 5.6](#). Στον οριζόντιο άξονα της γραφικής βρίσκεται το βάθος σε εκατοστά, ξεκινώντας από τα αριστερά στα 0cm να είναι τιμές των πρώτων δειγμάτων κοντά στην επιφάνεια εισόδου της καροτομηχανής και προχωρώντας προς τα δεξιά μέχρι τα 100cm να βρίσκονται οι τιμές των τελευταίων δειγμάτων στην επιφάνεια εξόδου της ([Εικόνα 5.7](#)), ενώ στον κάθετο άξονα βρίσκεται η τάση σε MPa. Αυτό που παρατηρείτε από την [Εικόνα 6.4](#) είναι οι ψηλότερες τιμές αντοχής να βρίσκονται στα δοκίμια που εξήχθησαν απο σημείο κοντά στην επιφάνεια ενώ παρατηρείτε μείωση της αντοχής όσο το σημείο εξαγωγής των δειγμάτων κοντεύει στον πυρήνα του μεγάλου δοκιμίου, με τις χαμηλότερες τιμές να βρίσκονται στα δοκίμια που εξάχθηκαν κοντά στον πυρήνα. Στην συνέχεια αν παρατηρήσουμε τον [πίνακα 6.1](#) που μας δείχνει τους μέσους όρους της αντοχής των δοκιμίων για τους πυρήνες με ακμή 73mm και 100mm, φαίνεται η διαφορά που υπάρχει στις τιμές με τις δύο περιπτώσεις τα δοκίμια στο εσωτερικό να έχουν έναν μέσο όρο τιμών περίπου 3 - 4MPa χαμηλότερη αντοχή απο αυτά που εξήχθησαν κοντά στην επιφάνεια. Απο αυτό μπορεί να βγεί το συμπέρασμα ότι η ωρίμανση του σκυροδέματος και αντίστοιχα και η αύξηση της αντοχής ξεκινάει από το εξωτερικό του μεγάλου δοκιμίου και προχωράει προς το εσωτερικό, στον πυρήνα του όπως φαίνεται και στο σχήμα στην [Εικόνα 6.5](#).

Πίνακας 6.1: Μέσος όρος αντοχής πυρήνων στο εσωτερικό και κοντά στην επιφάνεια

Βάθος Δειγματοληψίας	Πυρήνες 100mm	Πυρήνες 73mm
Πυρήνες εσωτερικό	36.30	32.57
Πυρήνες επιφάνεια	39.35	36.87



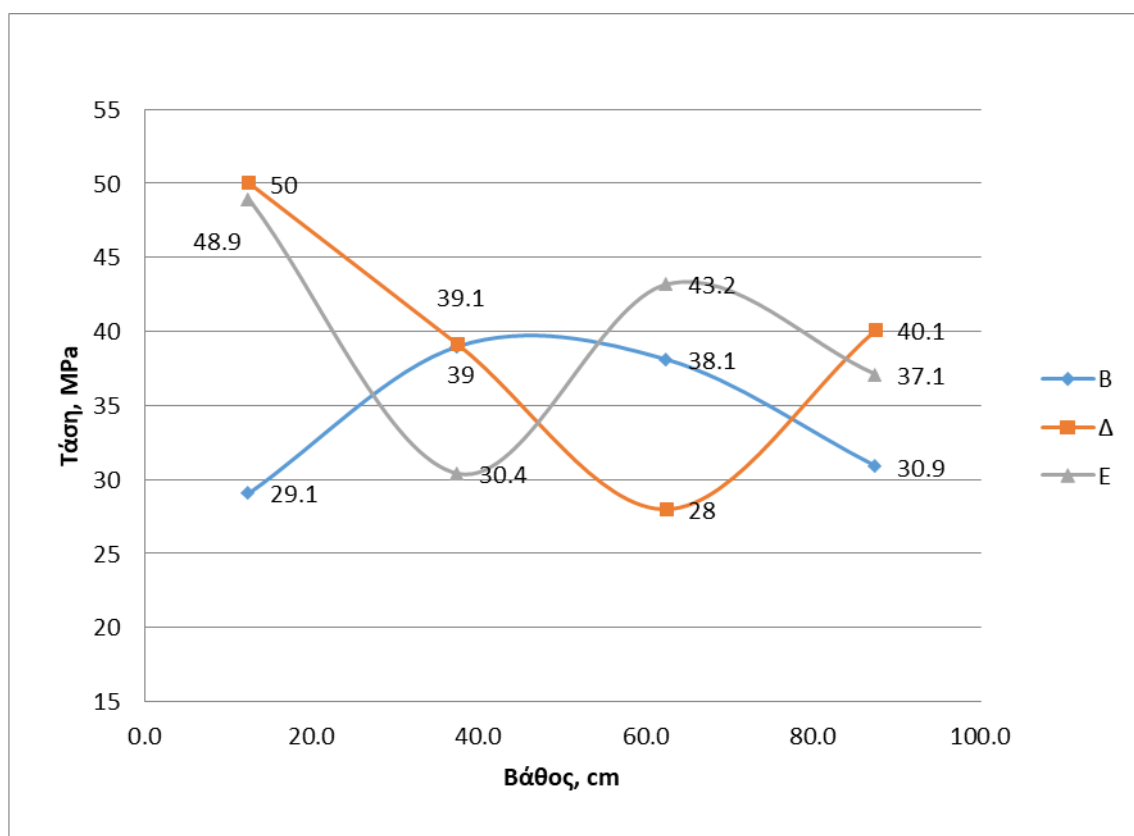
Εικόνα 6.4: Γραφική παράσταση της σχέσης του βάθους δειγματοληψίας σε σχέση με την αντοχή του σκυροδέματος για Πυρήνες 73mm



Εικόνα 6.5: Αναπαράσταση της κατεύθυνσης με την οποία προχωράει η ωρίμανση του σκυροδέματος στο μεγάλο κυβικό δοκίμιο

Πυρήνες με ακμή 100mm:

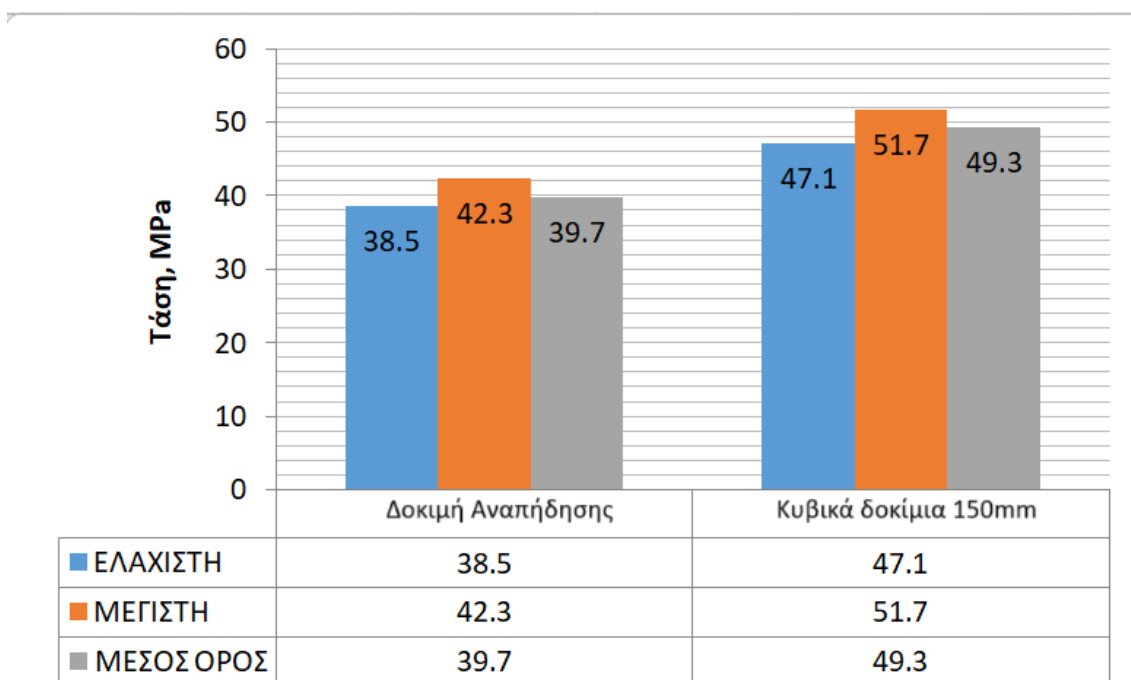
Στο [Εικόνα 6.6](#) γίνεται συσχέτιση του βάθους δειγματοληψίας σε σχέση με την αντοχή των πυρήνων – καρότων σκυροδέματος με τα αρχικά B, Δ και E να αντιστοιχούν στα σημεία δειγματοληψίας απο το μεγάλο κυβικό δοκίμιο όπως φαίνεται στην [Εικόνα 5.5](#) και [Εικόνα 5.6](#). Όπως και στην γραφική της [Εικόνα 6.4](#) έτσι και εδώ παρατηρείτε μια διαφοροποίηση της αντοχής των δειγμάτων που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια για τα σημεία δειγματοληψίας Δ και E σε σχέση με αυτά που εξήχθησαν από τον πυρήνα του δοκιμίου. Οι ψηλότερές τιμές και των δύο σημείων βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια και οι χαμηλότερες τιμές κοντά στον πυρήνα. Αντιθέτως το B σημείο δειγματοληψίας (Μπλε χρώμα) το οποίο έχει τις δύο τιμές ακατάλληλες που δεν πληρούν τα κριτήρια ([Πίνακας 5.23](#)) βλέπουμε ανάποδη κλίση στην καμπύλη με τις χαμηλότερες μας μετρήσεις να βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια.



Εικόνα 6.6: Γραφική παράσταση της σχέσης του βάθους δειγματοληψίας σε σχέση με την αντοχή του σκυροδέματος για Πυρήνες 100mm

- **Τέστ Αναπήδησης (Schmidt Hammer) – Κυβικά δοκίμια 150mm:**

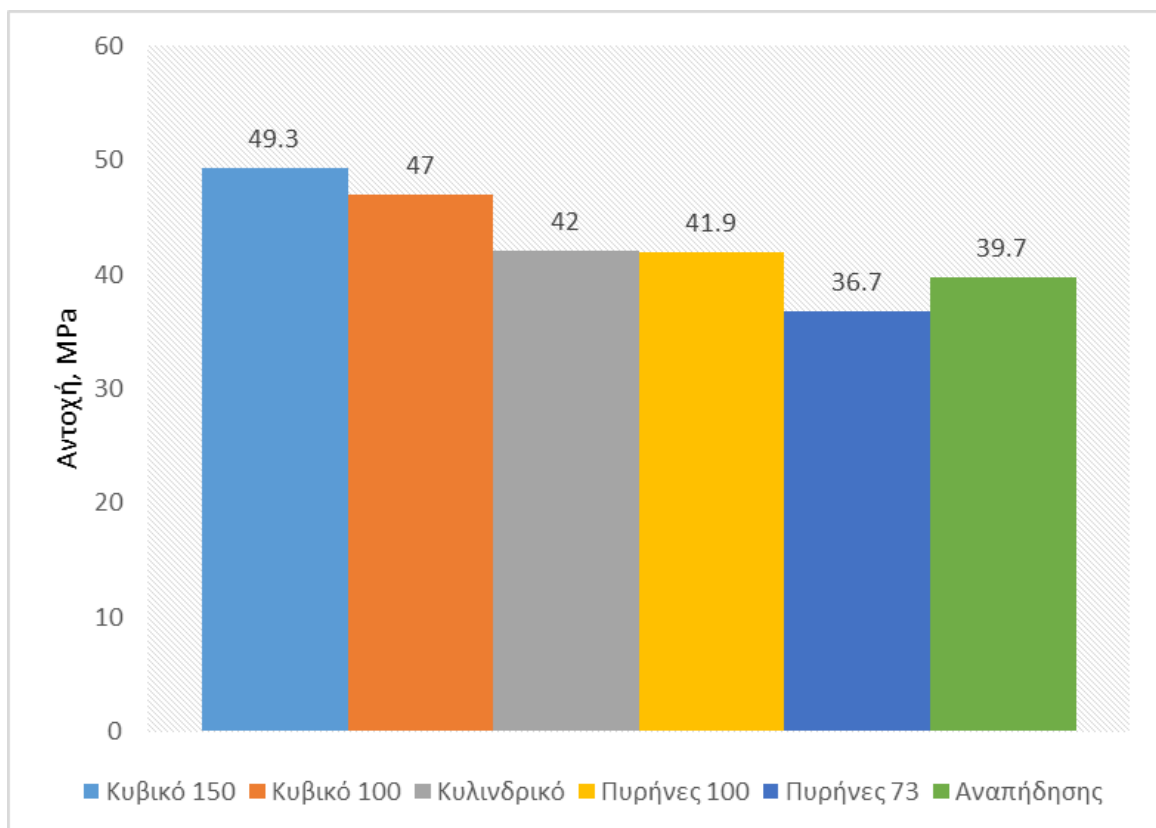
Στην παράκατω [Εικόνα 6.7](#) γίνεται συσχέτιση των αποτελεσμάτων της αντοχής με την δοκιμή αναπήδησης με Schmidt hammer σε σχέση με τα κυβικά δοκίμια 150mm. Παρατηρείτε μια διαφορά της τάξης περίπου των 10 MPa μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων με τις τιμές της δοκιμής αναπήδησης να είναι χαμηλότερες. Όμως παρατηρείτε η ίδια περίπου απόκλιση σε MPa και στις δύο περιπτώσεις απο την ελάχιστη στην μέγιστη και απο τον μέσο όρο που αυτό φαίνεται και απο τις τυπικές αποκλίσεις των δύο δοκιμών που είναι χαμηλές και σχεδόν ίσες ([Πίνακας 6.3](#)).



Εικόνα 6.7: Γραφική παράσταση συσχέτισης τιμών αντοχής με το τέστ αναπήδησης σε σχέση με τις τιμές απο τα κυβικά δοκίμια

- Γενική σύγκριση όλων των μεθόδων στις 28 ημέρες:

Στο πάρακατω [Διάγραμμα 6.8](#) παρουσιάζονται οι αντοχές σε MPa όλων των μεθόδων που συγκρίνονται στην διπλωματική εργασία ανηγμένες. Αυτό που παρατηρείτε είναι ότι τον πιο ψηλό μέσο όρο αντοχής έχουν οι δύο μέθοδοι με τα κυβικά δοκίμια και αμέσως επόμενη η μέθοδος κυλινδρικών δοκιμών. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η δειγματοληψία με νωπό σκυρόδεμα με τις έμμεσες μεθόδους (Κυβικά, κυλινδρικά δοκίμια) δηλαδή τις μεθόδους όπου το σκυρόδεμα ωρίμασε σε ιδανικές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας έδωσε πιο ψηλές τιμές από τις άμεσες μεθόδους που χρησιμοποίησαν σαν δείγμα το σκυρόδεμα που έμεινε να σκληρύνει σε συνθήκες εργοταξίου σαν μια συνηθισμένη κατασκευή (Πυρήνες, Δοκιμή αναπήδησης).



Εικόνα 6.8: Διάγραμμα με την σύγκριση της αντοχής του σκυροδέματος στις 28 ημέρες των μεθόδων μεταξύ τους

Στον [Πίνακα 6.2](#) πιο κάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ δοκιμών που είχαν σαν περιβάλλον συντήρησης το εργαστήριο (Κυβικά με ακμή 150mm, κυβικά με ακμή 100mm και κυλινδρικά δοκίμια) και δοκιμών που είχαν σαν περιβάλλον συντήρησης το χώρο του εργοταξίου (Πυρήνες 100mm, πυρήνες 73mm, Τέστ αναπήδησης). Από τα παρακάτω αποτελέσματα παρατηρείτε ότι τα αποτελέσματα των δοκιμών που συντηρήθηκαν σε συνθήκες εργοταξίου έχουν περίπου 15% πιο χαμηλό μέσο όρο αντοχής από τα δοκίμια που συντηρήθηκαν στο εργαστήριο κάτω από ιδανικές συνθήκες (100% κορεσμού).

Πίνακας 6.2: Μ.Ο. αντοχής σκυροδέματος σε σχέση με τον χώρο συντήρησης

Χώρος Συντήρησης	Μ.Ο. Μρα	Διαφορά	Διαφορά, %
Εργαστήριο	46.10	6.67	14.46
Εξωτερικό	39.43		

Τέλος, ένα από τα πιο βασικά στοιχεία μίας πειραματικής διαδικασίας είναι η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων της η οποία μπορεί να οφείλετε σε διάφορους παράγοντες όπως τον δειγματολήπτη, τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και να είναι κάτι που ήταν φυσικό να περιμένουμε. Βάση των αποτελεσμάτων οι μέθοδοι με την πιο χαμηλή τυπική απόκλιση είναι οι μέθοδοι με τα κυβικά δοκίμια 100mm και 150mm και το τρέστ αναπήδησης με τιμές 1.13, 1.43 και 1.27 αντίστοιχα. Οι μέθοδοι με την μεγαλύτερη απόκλιση είναι αυτές με την μέθοδο της πυρηνοληψίας με τα δοκίμια των 73mm να έχουν τυπική απόκλιση ίση με 3.33 και οι πυρήνες των 100mm να έχουν απόκλιση ίση με 5.67 την ψηλότερη απ' όλες τις υπόλοιπες μεθόδους.

Πίνακας 6.3: Τυπικές αποκλίσεις στη εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος

Μέθοδος	Τυπική Απόκλιση
Πυρήνες 73mm	3.33
Πυρήνες 100mm	5.67
Τρέστ Αναπήδησης	1.27
Κυλινδρικά	3.14
Κυβικά 150mm	1.43
Κυβικά 100mm	1.13

7. Συμπεράσματα-Προτάσεις

7.1 Συμπεράσματα:

Μετά από το πέρας των πειραματικών διαδικασιών, τους υπολογισμούς και την αξιολόγηση των μετρήσεων μεταξύ των μεθόδων για την εύρεση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και των διαφορών μεταξύ των έμμεσων και άμεσων δοκιμών εύρεσης της αντοχής του σκυροδέματος, η πειραματική μελέτη οδήγησε στο τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Στην μέθοδο πυρηνοληψίας σχεδόν όλα τα δοκίμια – πυρήνες με τις πιο χαμηλές τιμές ανεξαρτήτως μεγεθους, εξήχθησαν απο το εσωτερικό (πυρήνα) του μεγάλου δοκιμίου ενώ οι πιο ψηλές τιμές απο αυτά που εξήχθησαν απο κοντά στην επιφάνεια του. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ωρίμανση του σκυροδέματος ξεκινάει απο το εξωτερικό και προχωράει προς το εσωτερικό αφήνοντας τις πιο χαμηλές τιμές στον πυρήνα του δοκιμίου σκυροδέματος.
- Απο τα αποτελέσματα θεωρούμε ότι η μέθοδος με τα κυβικά δοκίμια με ακμή 150mm είναι η πιο αξιόπιστη για μέτρηση της αντοχής του σκυροδέματος. Όλες οι μέθοδοι ενδύκνουντε για αντοχή σκυροδέματος όμως η μέθοδος πυρηνοληψίας και η μέθοδος αναπήδησης – Schmidt hammer υπόκειντε και σε παράγοντες που μειώνουν αλλά και που αυξάνουν τις τελικές τιμές των αποτελεσμάτων οι οποίοι σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξετάζονται και να λαμβάνονται υπόψιν.
- Βάση των αποτελεσμάτων παρατηρείτε ότι τα δοκίμια που είχαν σαν χώρο συντήρησης το εργαστήριο σε συνθήκες πλήρους κορεσμού (Κυβικά δοκίμια, κυλινδρικά δοκίμια), είχαν πίο ψηλές τιμές αντοχής απο τα δοκίμια που είχαν χρησιμοποιήσει το δοκίμιο που έμεινε για συντήρηση σε συνθήκες εργοταξίου (Πυρηνοληψία, Τέστ αναπήδησης - Schmidt Hammer). Οι λόγοι που μπορεί να επηρέασαν τις τιμές των αποτελεσμάτων μπορεί να οφείλονται:

Α) Ο τρόπος χύτευσης στο κυβικό δοκίμιο που αφέθηκε στον χώρο του εργοταξίου έγινε με την βοήθεια δονητή ενώ στα κυβικά και τα κυλινδρικά δοκίμια έγινε με την ράβδο συμπίκνωσης με το χέρι. Ο όγκος του μεγάλου δοκιμίου στον χώρο του εργοταξίου ήταν πολύ μεγαλύτερος άρα η συμπίκνωση και η εξαγωγή του εισερχόμενου αέρα κατά την χύτευση είναι πίο δύσκολη.

Β) Οι συνθήκες συντήρησης είναι επίσης ένας πολυ σημαντικός ρόλος για την μείωση της αντοχής του σκυροδέματος και πολύ πιθανόν να είναι και ένας απο τους πίο κύριους παράγοντες που υπάρχει η απόκλιση στα αποτελέσματα των μεθόδων που χρησιμοποίησαν τα δοκίμια με συντήρηση

εντός του εργαστηρίου σε σχέση με τις μεθόδους που χρησιμοποίησαν το δοκίμιο με συντήρηση στις συνθήκες εργοταξίου.

- Τα αποτελέσματα των δοκιμών με κυβικό σχήμα (150mm και 100mm) έχουν μεγαλύτερες τιμές αντοχής από τα δοκίμια με κυλινδρικό σχήμα (κυλινδρικά δοκίμια, πυρήνες 73mm και 100mm) ανεξαρτήτως αν η αναλογία ύψους προς βάση είναι 1:1 ή 2:1. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι η διεύθυνση φόρτισης για τα κυβικά δοκίμια γίνεται κάθετα στην διεύθυνση χύτευσης ενώ στα κυλινδρικά οριζόντια ([Εικόνα 6.3](#)).
- Τέλος, παρατηρήθηκε ότι η μέθοδος η οποία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απόκλιση είναι αυτή της πυρηνοληψίας, ενώ οι μέθοδοι με την χαμηλότερη απόκλιση είναι αυτές των κυβικών δοκιμών και της αναπήδησης, πράγμα που καθιστά τις πιο αντικειμενικές μεθόδους για εκτίμηση της αντοχής σκυροδέματος.

7.2 Προτάσεις:

Σαν προτάσεις για συνέχεια της παραπάνω διπλωματικής εργασίας θα ήταν:

- Η χρήση μικρότερης κατηγορίας σκυροδέματος για να γίνει δυνατή η μέτρηση της αντοχής με την μέθοδο εξώλκευσης ήλου.
- Να γίνει μέτρηση της αντοχής τους σκυροδέματος με την μέθοδο της δοκιμής αναπήδησης (Schmidt Hammer test) σε σκυρόδεμα που βρίσκεται σε συνθήκες εργοταξίου κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης σε σχέση με αυτό που συντηρείτε σε πρότυπες συνθήκες εργαστηρίου ώστε να βρεθεί η διαφορά στα αποτελέσματα που προκύπτουν στην αντοχή.
- Να γίνουν οι αντίστοιχες δοκιμές σε μή συμβατικά σκυροδέματα.

Βιβλιογραφία

- Altun, O. B. (2023). The effect of Clay type, fineness and methylene blue Value on mini-slump PERFORMANCE OF CEMENTIOUS SYSTEMS. https://www.researchgate.net/publication/374850720_The_Effect_of_Clay_Type_Fineness_and_Methylene_Blue_Value_on_Mini-Slump_Performance_of_Cementitious_Systems.
- Ascent, C. E. (2024). Methods to Measure Workability of Concrete. <https://blog.certifiedmtp.com/slump-test-table-measure-workability-of-concrete/>.
- ASTM-C469. (2014). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. *American Standard Testing and Material*, 4.
- Australia, P. (2010). Water - Cement Ratio. <https://www.prontoconcrete.com.au/prontoemix/>.
- CEB. (2020). Σημασία αντοχής σκυροδέματος 7 ημερών. <https://civilenggblitz.com/7-day-concrete-strength/>.
- Converge. (2023). Concrete testing: Cube test vs Cylinder test. <https://www.civilengineeringforum.me/cylinder-cube-strength-ratio/>.
- Discoveries, E. (2012). Relation between the Cubic and the Cylindrical concrete sample. <https://engineeringdiscoveries.com/relation-between-the-cubic-and-cylindrical-strength-of-concrete/>.
- DOKIMI.ORG. (2006). ΔΟΚΙΜΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΔΟΚΙΜΗ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΠΕΤΟΝ ΙΚΕ. <https://dokimi.org/%ce%ad%ce%bb%ce%b5%ce%b3%cf%87%ce%bf%cf%82-%cf%83%ce%ba%cf%85%cf%81%ce%bf%ce%b4%ce%ad%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%bf%cf%82/%ce%bc%ce%b5%ce%bb%ce%ad%cf%84%ce%b5%cf%82-%cf%83%ce%ba%cf%85%cf%81%ce%bf%ce%b4%ce%ad%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%bf%cf%82-%cf%>.
- Gilson, G. (2008). compressive-strength-testing. <https://www.globalgilson.com/concrete-compression-testing-machines>.
- J.J.Brooks, A. &. (1987). Comparison of Barreling Effect in Compression Tests of Two Kinds of Specimens Using the Finite Element Method. <https://archive.org/details/concretetechnolo0000nevi>.
- Kramer. (2009). characteristic strength of concrete . <https://www.buildinghow.com/en-us/Products/Books/Volume-A/The-construction/Concrete>.
- Miano, A., Ebrahimian, H., Jalayer, F., & Prota, A. (2023). Reliability Estimation of the Compressive Concrete Strength Based on Non-Destructive Tests. *Sustainability*, 15(19).
- Midtech. (2016). Compressive strength of concrete. <https://midtech.com.jo/1867-2/>.
- Mishra, G. (2016). Los Angeles test. <https://theconstructor.org/transportation/determination-of-los-angeles-abrasion-value/1361/>.

- Moosberg-Bustnes, H. (2004). The function of fillers in concrete. *Springer Nature*.
- Nepomuceno, M. C., & Bernardo, L. F. (2019). Evaluation of self-compacting concrete strength with non-destructive tests for concrete structures. *Applied Sciences*, 9(23).
- Neville, A. M. (1987). Concrete Technology. 422.
- Orykta.gr. (2009). Ελληνική τσιμεντοβιομηχανία. <https://www.orykta.gr/ekmetalleusi-emploutismos/metallourgikes-diergusies/81-elliniki-tsimentobiomihania#page,5>.
- Poorarbab, A., Ghasemi, M., & Azhdary Moghaddam, M. (2020). Concrete compressive strength prediction using non-destructive tests through response surface methodology. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4).
- Risinger, M. (2021). Concrete Slump Testing. <https://www.humboldtmg.com/blog/concrete-slump-testing>.
- Risinger, M. (2021). What Is Slump Test. <https://www.humboldtmg.com/blog/concrete-slump-testing>.
- Syglof, B. a. (1976). Variation of Concrete Strength with Time. <https://theconstructor.org/concrete/concrete-compressive-strength-variation-with-time/5933/>.
- A., A. (2008). Αδρανή Υλικά. <https://www.adramerinosgroup.gr/adrani-ylika-xalkidiki/>.
- ΓΕΩΑΝΑΛΥΣΗΣ, B. (2024). ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ. <https://geoanalysis.com.cy/>.
- ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, E. T. (2016). EN 12390-3. <https://teemag.gr/ftp/2016/fek.pdf>.
- ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, E. T. (2016). Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος. <https://teemag.gr/ftp/2016/fek.pdf>, 116.
- ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, E. T. (2016). ΚΤΣ 2016, EN 12360-6. <https://teemag.gr/ftp/2016/fek.pdf>, 116.
- ΕΛΛΑΔΟΣ, E. T. (2016). ΚΤΣ 2016, ASTM C1231. <https://teemag.gr/ftp/2016/fek.pdf>.
- ΕΛΛΑΔΟΣ, E. T. (2016). ΚΤΣ 2016, ASTM-C192/C192M. *American Society for Testing and Materials*.
- ΕΛΛΑΣ, Δ. (2019). Νέες Κατηγορίες Σκυροδέματος. <https://www.diastrasihellas.gr/en/%ce%bd%ce%ad%ce%b5%cf%82-%ce%ba%ce%b1%cf%84%ce%b7%ce%b3%ce%bf%cf%81%ce%af%ce%b5%cf%82-%cf%83%ce%ba%cf%85%cf%81%ce%bf%ce%b4%ce%ad%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%bf%cf%82/>.
- ΕΤΕΚ. (2018). ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ.
- ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ, E. T. (2016). ΚΤΣ 2016, ASTM C617. <https://teemag.gr/ftp/2016/fek.pdf>, 116.
- Λογοθέτης. (1979). Μέθοδος Εξώλκευσης ήλων. <https://nnk.gr/eksolkeusi.html>.
- ΛΤΔ, Γ. (2024). ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ.

Σακελλαρίου, Α., & Καλογεροπούλλου, Ι. (2008). ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.