

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

“Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και Αειφόρος Ανάπτυξη”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΘΛΙΨΕΩΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ ΛΕΚΚΑ

Επιβλέπων

Δρ. Κωνσταντίνος Καλκάνης

Αθήνα, 2019

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ (ΜΚΕ)	10
1.2 ΣΚΟΠΟΙ ΤΟΥ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	11
1.3 ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	11
1.3.1 ΟΠΤΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ	11
1.3.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	12
1.3.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	12
1.3.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΑΣΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ	13
1.3.2.3 ΤΥΠΟΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΑΤΕΛΕΙΩΝ	16
1.3.2.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	19
1.3.2.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΡΩΓΜΗΣ Η ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΚΑΤΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	19
1.3.2.8 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	20
1.3.2.10 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	22
1.3.3 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	23
1.3.4 ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ	24
1.3.5 ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	24
1.3.6 ΨΑΘΥΡΕΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ	26

1.3.7 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ.....	26
1.3.8 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	28
1.3.9 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΔΙΝΟΡΡΕΥΜΑΤΩΝ	29
1. 3. 10 ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	30
1.3.10.1 ΣΦΥΡΑ ΤΟΥ FRANCK:.....	30
1.3.10.2 ΣΦΥΡΑ ΤΟΥ EINBECK:	30
1.3.10.3 ΕΞΟΛΚΕΥΣΗ ΗΛΟΥ	30
1.3.10.4 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΟΥ.....	32
1.3.11 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	33
1.3.12 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΚΠΟΜΠΗ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ.....	34
1.3.13 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ	35
1.4 ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΙΑΣ ΝΕΑΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕΣΩ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΡΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΡΑΠΑΝΟΥ.....	36
1.5 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	37
1.5.1 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ	37
1.5.2 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΤΣΙΜΕΝΤΟ.....	43
2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	43
2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	44
2.3 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ.....	44
2.4 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	47
2.5 ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	49
2.5.1 ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑ	49

2.5.2 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΟΣ ΧΡΟΝΟΥ	49
2.5.2 ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	49
2.5.3 ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΤΡΙΒΗ.....	51
2.5.4 ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΙ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑ	51
2.5.5 ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	51
2.6 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	52
2.6.1 ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	52
2.7.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ.....	56
2.7.2.1 ΠΙΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ	56
2.7.2.2 ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥΣ.....	57
2.7.2.2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ ΒΑΥΕΡ.....	57
2.7.2.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΒΑΥΕΡ.....	57
2.7.2.2.3 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥ	58
2.7.2.2.4 Η ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΡΥΘΡΑ ΥΛΗΣ.....	58
2.7.2.3 ΣΚΩΡΙΕΣ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑΣ.....	59
2.7.2.4 ΦΩΣΦΟΓΥΨΟΣ	60
2.7.2.5 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ ΤΕΧΝΗΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΑΠΟ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΕΛΛΑΦΙΣΕΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	61
2.8 ΠΡΟΣΜΕΙΚΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	63
2.9 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	65
2.9.1 ΕΜΦΑΝΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	65
2.9.2 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	67
2.9.3 ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	68

2.9.4 ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	69
2.9.5 ΙΝΟΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	71
2.9.6 ΑΦΡΟΜΠΕΤΟΝ	75
2.9.7 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ CONFLEX ΡΑΒΕ	75
2.9.8 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	77
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	77
3.2 ΚΥΜΑ	78
3.2.1 ΤΡΙΑ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ ΚΥΜΑΤΩΝ:	79
3.3 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΚΥΜΑΤΑ	83
3.4 ΚΑΘΕΤΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ	84
3.5 ΠΛΑΓΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΟΣ	85
3.6 ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΓΩΝΙΕΣ	86
3.7 ΣΚΕΔΑΣΗ - ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ - ΣΥΜΒΟΛΗ ΗΧΗΤΙΚΩΝ	87
3.8 ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΣΤΕΡΕΑ ΣΩΜΑΤΑ	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	89
4.1 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	90
4.2 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	92
4.2.1 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ	92
4.3 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΔΟΙΕΓΕΡΤΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	92
4.4 ΔΟΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΗΧΟΒΟΛΕΑ	93
4.5 ΠΟΛΩΣΗ	94

4.6 ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΥ	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	97
5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ 9 ΔΟΚΙΜΙΩΝ	97
5.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	101
5.2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΟΥ	101
5.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ.....	103
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	106
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	119
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	120

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που κατέστησαν την διατριβή αυτή δυνατή. Αυτό το έργο δεν θα ήταν εφικτό χωρίς την υποστήριξη του Δρ Κωνσταντίνου Καλκάνη υπό την καθοδήγηση του οποίου επέλεξα αυτό το θέμα. Θα ήθελα να του απευθύνω την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου, αφού οι συμβουλές του και η κατεύθυνση που μου παρείχε ήταν άκρως χρήσιμες και με βοήθησε με πολλούς τρόπους. Τον ευχαριστώ ιδιαίτερα για την απεριόριστη υπομονή του και την βοήθεια με το ερευνητικό υλικό.

Θα ήθελα, ακόμα, να ευχαριστήσω τον Δρ. Κωνσταντίνο Δημάκο, καθώς και όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, για την υποστήριξη και την παραχώρηση των συσκευών για τις ανάγκες των μετρήσεων της εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ όλο το προσωπικό του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, για όλη τη βοήθεια και την υποστήριξη που μου παρείχαν.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΘΑΛΨΕΩΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΛΕΚΚΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δρ. Κωνσταντίνος Καλκάνης

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:

2018

THESIS:

DETERMINATION OF ALTERING THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE OF VARIOUS QUALITIES BY THE ULTRASONIC TESTING INVESTIGATION AND THE TEST HAMMERMETHOD AND EXAMINATION REGARDING RELIABILITY OF RESULTS WITH THE ELECTRONIC CONCRETE TEST MACHINE.

STUDENT:

ELEFThERIOS LEKKAS

SUPERVISORS:

Dr. Konstantinos Kalkanis

ACADEMIC YEAR:

2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός μεταβολής των μηχανικών ιδιοτήτων σκυροδέματος διαφόρων ποιοτήτων με τη μέθοδο των υπερήχων και του κρουσίμετρου και έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων με την μέθοδο Σύνθλιψης Δοκιμίου Σκυροδέματος. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται, όλο και συχνότερα, η ανάγκη ελέγχου μια υφιστάμενης κατασκευής, ώστε να κριθεί αν είναι αναγκαία κάποια επέμβαση όσον αφορά την επισκευή ή την ενίσχυσή της.

Η μελέτη αναπτύσσεται σε πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ΜΚΕ (μη καταστροφικοί έλεγχοί). Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το τσιμέντο και το σκυρόδεμα(παρασκευή σκυροδέματος ,πρόσμικτα σκυροδέματος, είδη σκυροδέματος). Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ο ήχος και τα είδη κυμάτων. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο πιεζοηλεκτρισμός. Στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφεται η διαδικασία διερεύνησης της αντοχής δοκιμίων σκυροδέματος με τον συνδυασμό μη καταστροφικών μεθόδων (κρουσίμετρο, υπέρηχων) και τη δοκιμές μηχανής θλίψης σε κυβικά δοκίμια. Τα αποτελέσματα των μη καταστροφικών μεθόδων συγκρίνονται με τα αποτελέσματα των δοκιμών θλίψης προκειμένου να διερευνηθεί η εγκυρότητα των μη καταστροφικών μεθόδων.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to determine the change of the mechanical properties of concrete of various types with the ultrasound method and the test hammer and investigate the reliability of results with the Concrete Crack Test Method. In recent years, there has been an increasing need to control an existing structure in order to determine whether intervention is necessary as a reference to its repair or reinforcement. The study is developed in five chapters. In the first chapter the NDT methods(non-destructive testing) are presented. The second chapter presents the construction of cement (preparation of concrete, concrete stiffness, concrete products). The third chapter presents ultrasound and the wave types. The fourth chapter presents piezoelectricity. In the fifth chapter, the procedure for determination of durability in concrete tests with the combined non-destructive method (test hammer, ultrasonic testing) and a compression test on cubic specimens is conducted and recorded. The results of non-destructive methods are compared to the results of compressive tests to investigate the validity of non-destructive methods.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη ελέγχου των κατασκευών ώστε να εντοπίζεται έγκαιρα η ύπαρξη ρωγμών καθώς και περιοχών συγκέντρωσης τάσεων που μπορούν να προκαλέσουν την αστοχία τους, και η ανάγκη προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών όσο αυτά βρίσκονται σε λειτουργία, αποκλίσεις από την αρχική μελέτη, διαπίστωση σφαλμάτων κατά την μελέτη ή την εκτέλεση, βλάβες και φθορές στον φέροντα οργανισμό μετά από σεισμό ή τυχηματικές ή άλλες δράσεις (πυρκαγιά, πρόσκρουση οχήματος), αμφιβολίες ως προς την ασφάλεια μετά από βλάβες και φθορές που δεν οφείλονται σε εμφανείς αιτίες, οδήγησε στην ανάπτυξη των μη καταστροφικών μεθόδων.

Οι μέθοδοι μη καταστροφικού ελέγχου των υλικών αναπτύχθηκαν μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο και ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια , μετά την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και της ηλεκτρονικής και εφαρμόζονται ευρύτατα στον έλεγχο των υλικών , παράλληλα με την χρήση των καταστροφικών μεθόδων.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι ΜΚΕ των υλικών. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρύτατα στον έλεγχο των υλικών είναι η Μέθοδος των Υπερήχων .Ο υπερηχητικός έλεγχος των υλικών, είναι ένας ΜΚΕ, ο οποίος χρησιμοποιείται για την ανίχνευση επιφανειακών ή εσωτερικών ατελειών των υλικών, για τον προσδιορισμό μηχανικών ιδιοτήτων (μέτρο ελαστικότητας, λόγος Poisson, αντοχή, κ.α.) και την ομοιογένεια των χαρακτηριστικών της κατασκευής ώστε να λάβουμε λιγότερα καρότα για θραύση δοκιμίων Επίσης με τη μέθοδο των υπερήχων ελέγχουμε τις συγκολλήσεις. Η μέθοδος παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον διότι είναι απλή, χρησιμοποιεί φορητές συσκευές, και είναι ακίνδυνη για την υγεία του ανθρώπου. Με τη μέθοδο των Υπερήχων επιτυγχάνεται με σχετικά μεγάλη ακρίβεια ο προσδιορισμός ατελειών. Η χρήση των μη καταστρεπτικών μεθόδων προτιμάται στην περίπτωση κατασκευών με μεγάλη Ιστορική και Αρχιτεκτονική αξία, για τις οποίες δεν επιτρέπεται καμία επέμβαση.

1.1 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ (ΜΚΕ)



Εικόνα1.1(ΜΚΕ) <https://www.monoiso.gr>

Από το Β παγκόσμιο πόλεμο και έπειτα, οι μέθοδοι Μη καταστροφικού ελέγχου χρησιμοποιούνται κατά κόρον στον έλεγχο των υλικών. Παράλληλα ή αντικαθιστώντας τις καταστροφικές μεθόδους η πιο χρησιμοποιημένη μέθοδος είναι των υπερήχων τις τελευταίες δεκαετίες εμφανίζονται όλο και περισσότερες μέθοδοι μη καταστροφικού ελέγχου οι μέθοδοι μη καταστροφικού ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία κατασκευή ή για τη μέτρηση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργία της στην ιατρική χρησιμοποιούνται ευρύτατα οι Ράδιο γραφικές μέθοδοι τόσο σε διαγνωστικό όσο και επεμβατικό (πχ. ακτίνες Χ, Γ, Υπέρηχοι, αξονικός και μαγνητικός τομογράφος, Ενδοσκοπικές Κάψουλες). Με αυτές τις μεθόδους μπορούμε να ελέγξουμε. Αν κάποιο υλικό παρουσιάζει αστοχία, ασυνέχεια και ρωγμές χωρίς να επιφέρουν την καταστροφή τους ειδικά με τους αισθητήρες υπερήχων που βασίζονται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο και τις οπτικές ίνες, μπορούμε να ελέγξουμε συνεχώς στην κατασκευή και έτσι να εντοπίσουμε τυχόν αστοχίες σε αρχικό στάδιο με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε την έγκαιρη διάγνωση των αστοχιών, που μας βοηθάει να γίνονται έγκαιρα η υπερβάσεις.

1.2 ΣΚΟΠΟΙ ΤΟΥ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Τις τελευταίες δεκαετίες τεστ ΜΚΕ χρησιμοποιούνται για να εντοπίσουν την παρουσία ρωγμών και άλλων ασυνεχειών και να μετρήσουν το πάχος των υλικών και τον καθορισμό χαρακτηριστικών διαφορών βιομηχανικών προϊόντων.

Οι ΜΚΕ χρησιμοποιούνται τις κατασκευές για τους εξής λόγους.

- Ελέγχουν τόσο την παραγωγική όσο και την κατασκευαστική διαδικασία.
- Λόγω των έγκυρων επεμβάσεων, επιφέρουν μείωση του κατασκευαστικού κόστους.
- Αποφυγή ατυχημάτων
- Δεν επηρεάζεται η λειτουργία της κατασκευής [1, p. 12]

1.3 ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.3.1 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ



Εικόνα 1.2 ρωγμόμετρο(<http://www.totalstation.gr>)

Είναι μία μη καταστροφική μέθοδος μικρού κόστους και γρήγορη, γίνεται με γυμνό μάτι με ρωγμόμετρο ή με μεγεθυντικό φακό ή με χρήση οπτικού ενδοσκοπίου εξοπλισμού ή ρομποτικής συσκευής με ενσωματωμένες κάμερες. Μεγάλη εισφορά σε αυτή τη μέθοδο έχει η χρήση εύκαμπτων και άκαμπτων ενδοσκοπίων και η χρυσή ενδοσκοπικών κάψουλων που χρησιμοποιούνται στην ιατρική για να ελέγξουν το γαστρεντερικό σύστημα του ανθρώπου τα ενδοσκόπια λειτουργούν με τη χρήση οπτικών ινών.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου:

Μικρό κόστος

Γρήγορη εκτίμηση

Η Επιθεώρηση μπορεί να γίνει σε όλα τα στάδια της κατασκευής

Μειονεκτήματα

Έχει να κάνει με την εμπειρία και την κρίση του μηχανικού

Δεν μπορεί να ανιχνεύσει προβλήματα κάτω από την επιφάνεια του σκυροδέματος

[1, p. 15], [2, p. 13], [3, p. 41]

1.3.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ



Εικόνα 1.3 έλεγχος με υπερήχους(http://www.acucert.gr/welcomeacucert/Acucert_cp.pdf σελ7)

1.3.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των υπερήχων διατάξεις ακροφυσίων πεπιεσμένου αέρα καθώς και υψισυχνές ηλεκτρικές εκκενώσεις. Ο Orpaul langvin το 1915 χρησιμοποίησε το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο για την παραγωγή και ανίχνευση των υπερήχων. το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο ανακαλύφθηκε από τους Pierre & Jacques Currie. [2, p. 16].

Την περίοδο 1929-1935 ο Ρώσος Sokolon ασχολήθηκε με την ανίχνευση ελαττωμάτων σε μεταλλικές πλάκες προσβάλλοντας αυτές με μια δέσμη υπερήχων και μετρώντας την ένταση που μεταδίδεται σε κάθε σημείο τους και συγκρίνοντας την με αυτή που μεταδίδεται από μια περιοχή χωρίς ελαττώματα. Το 1931 ο Milhauser, χρησιμοποιώντας ζεύγος κεφαλών υπερήχων κατάφερε να ανιχνεύσει ατέλειες σε στερεά αντικείμενα με τη μέθοδο (Pitch-Catch). Λίγο αργότερα το 1942 ο Firestone και το 1945 ο Simons εφάρμοσαν τη μέθοδο παλμού-ήχους (Pulse-Echo) για τη μέτρηση του πάχους μεταλλικών υλικών.

Της τελευταίας δεκαετίας υπάρχει ραγδαία εξέλιξη των συσκευών υπερήχων, με αποτέλεσμα το μεγάλο πεδίο εφαρμογών τους: στον έλεγχο των υλικών, στην μεταλλουργία, στην αεροναυπηγική, στην ιατρική κλπ. [2, p. 16]



Εικόνα 1.4 έλεγχος με υπερήχους σε υποστύλωμα(www.geotest.gr)

1.3.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΑΣΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

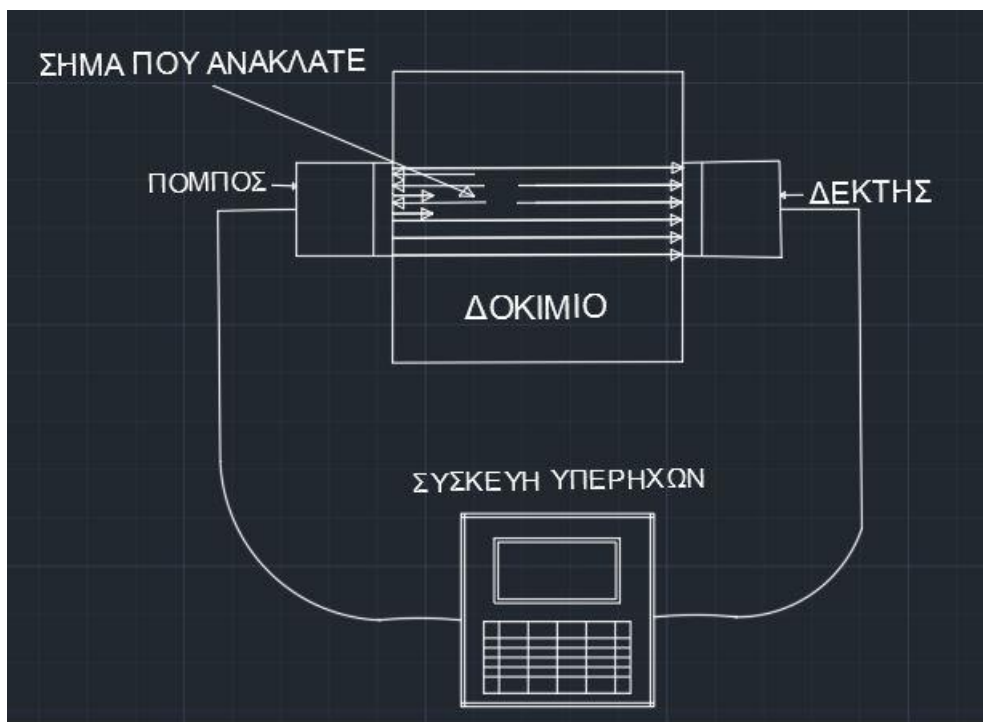
Η μέθοδος των υπερήχων καθώς και άλλες που βασίζονται στην ηχώ εξ αντανάκλασεως υπερηχητικών ή κρουστικών κυμάτων ανήκουν στις μεθόδους τακτικών κυμάτων.

Η μέθοδος των υπερήχων χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό τυχόν ανωμαλιών(Ρωγμών, κοιλοτήτων.κ.α),Όπως και τον έλεγχο της ομοιομορφίας ενός στοιχείου, Το μέτρο ελαστικότητας και την αντοχή του σκυροδέματος έπειτα από κατάλληλη βαθμονόμηση. [4, p. 14]

Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του πάχους, του μήκους ενός στοιχείου και τυχόν ανωμαλίες στη μάζα του σκυροδέματος όταν δεν είναι προσπελάσιμες οι δύο πλευρές ενός στοιχείου. [4, p. 14]

Όταν μία παραμόρφωση η πίεση εμφανίζεται απότομα στην επιφάνεια ενός στερεού εμφανίζονται τασικά κύματα για παράδειγμα με κρούση. Η διαταραχή διαδίδεται διά μέσου του στερεού, η ταχύτητα διάδοσης των τασικών κυμάτων σε ένα στερεό εξαρτάται από το μετρό Ελαστικότητας του λόγου Poisson, Της γεωμετρίας και της πυκνότητας του στερεού.

Η συσκευή των υπερήχων αποτελείται από την κεντρική μονάδα η οποία περιέχει τον υπολογιστή και δύο όμοιους κρυστάλλους όπου ένας είναι ο πομπός και άλλος είναι ο δέκτης και τοποθετούνται αντικριστά σε δύο παράλληλες επιφάνειες του στοιχείου που εξετάζεται. [4, p. 15]

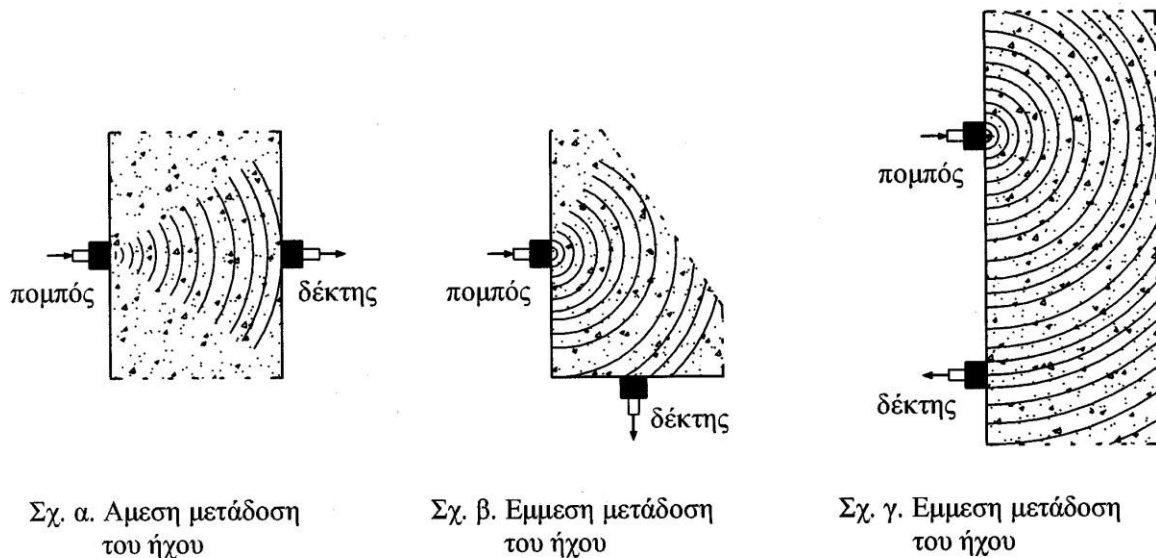


Εικόνα 1.5 Διάταξη συσκευής υπερήχων

Οι κρύσταλλοι αποτελούνται από πιεζοηλεκτρικά κεραμικά στοιχεία, όπου δίνοντάς τους ηλεκτρικό ρεύμα αλλάζουν μέγεθος ή όταν το μέγεθός τους αλλάζει παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Ο πομπός (κρύσταλλος) πάλλεται με τη φυσική του συχνότητα όταν εφαρμόζεται σ' αυτόν κατάλληλο ηλεκτρικό ρεύμα.

Ο Κρύσταλλος ταλαντώνεται και αυτό έχει ως συνέπεια παραγωγή τασικών κυμάτων τα οποία διαδίδονται διαμέσου του εξεταζόμενου στοιχείου. Και ένα χρονόμετρο ακριβείας τίθεται σε λειτουργία ταυτόχρονα με τη δημιουργία του παλμού του ρεύματος, το οποίο σταματά μόλις ο παλμός φτάσει στο δέκτη και παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα, και στην οθόνη της συσκευής αναγράφεται ο αντίστοιχος χρόνος. Η ταχύτητα των υπερήχων V δίνεται από τη σχέση $V = L/T$, όπου το L το πάχος του δοκιμίου και T ο χρόνος που χρειάστηκε το Υπερηχητικό κύμα να το διανύσει. [4, p. 14] Μετρήσεις με την μέθοδο των υπερήχων μπορούν να γίνουν με τέσσερις τρόπους.

Ο πρώτος είναι τοποθετώντας τους δύο κρυστάλλους σε δύο αντικριστές πλευρές του προς εξέταση δοκιμίου (direct transmission), ο δεύτερος τοποθετώντας τους σε δύο κάθετες μεταξύ τους πλευρές (semi-direct transmission), ενώ στον τρίτο οι κρύσταλλοι τοποθετούνται στην μοναδική προσιτή πλευρά του δομικού στοιχείου (indirect or surface transmission). [4, p. 16] ενώ στον τέταρτο (Pulse Echo) οι υπέρηχοι εκπέμπονται και συλλέγονται από τον ίδιο πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα. Η ενέργεια αυτή εμφανίζεται στη συσκευή ως συνάρτηση του χρόνου και της απόστασης με το εύρος του παλμού.



Εικόνα 1.6. Τρόποι εφαρμογής μεθόδου υπερήχων [4, p. 15]

ο πρώτος τρόπος μετρήσης είναι ο πιο ακριβής, επειδή με την τοποθέτηση των κρυστάλλων αντικριστά επιτυγχάνεται η μεταφορά της μέγιστης ενέργειας από τον πομπό στον δέκτη, ενώ ταυτόχρονα η μέτρηση του, διανυόμενου απ' το υπερηχητικό κύμα, μήκους του δομικού στοιχείου γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η ακρίβεια των μετρήσεων με τον δεύτερο τρόπο παρουσιάζεται μειωμένη, καθώς είναι δύσκολο να προσδιοριστεί επακριβώς η πορεία που διατρέχει το υπερηχητικό κύμα μέσα στην μάζα του σκυροδέματος και άρα είναι δύσκολο να μετρηθεί το μήκος L . Για την απλούστευση των ενεργειών θεωρείται ότι το μήκος L που διανύει το κύμα είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ των κέντρων των δύο κρυστάλλων. Ο τρίτος τρόπος χρησιμοποιείται όταν είναι προσιτή η μία μόνον πλευρά του προς εξέταση δοκιμίου, ή όταν αναζητείται το βάθος μιας επιφανειακής ρωγμής, ή τέλος όταν υπάρχουν υποψίες για διαφοροποίηση της ποιότητας του σκυροδέματος απ' την επιφάνεια προς το κέντρο του στοιχείου. [5, p. 55]

Για την καλύτερη μεταφορά του σήματος επαφή των κρυστάλλων στην επιφάνεια του σκυροδέματος χρησιμοποιείται λιπαντική ουσία, η οποία καλύπτει τις ατέλειες της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου. Η λιπαντική ουσία μπορεί να είναι, τζελ νερού γράσο, βαζελίνη ή γενικά κάποιο παράγωγο του πετρελαίου. Πρέπει να τοποθετείται σε μικρή ποσότητα γιατί διαφορετικά προκαλεί αθέλητες διαφοροποιήσεις στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι η ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων είναι διαφορετική στο σκυρόδεμα από ότι στην χρησιμοποιούμενη λιπαντική ουσία. Παράλληλα με την χρήση των ανωτέρω λιπαντικών ουσιών, κατά την διάρκεια της μέτρησης,

θα πρέπει οι κρύσταλλοι να πιέζονται με μεγάλη δύναμη πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Στην περίπτωση που οι εξωτερικές επιφάνειες του σκυροδέματος είναι πολύ ανώμαλες θα πρέπει, πριν την τοποθέτηση της λιπαντικής ουσίας, να γίνεται επιπέδωση των επιφανειών με την χρήση τριβείου. [5, p. 55]

Η ιδιοσυχνότητα των κρυστάλλων είναι συνήθως 50kHz. Γενικώς μικρότερης συχνότητας κρύσταλλοι (20kHz) χρησιμοποιούνται σε στοιχεία με μεγάλη μάζα σκυροδέματος, ενώ μεγαλύτερης συχνότητας κρύσταλλοι (>100kHz) χρησιμοποιούνται σε στοιχεία μικρού πάχους όταν απαιτείται ακριβέστερη μέτρηση του χρόνου διαδόσεως. [5, p. 55]

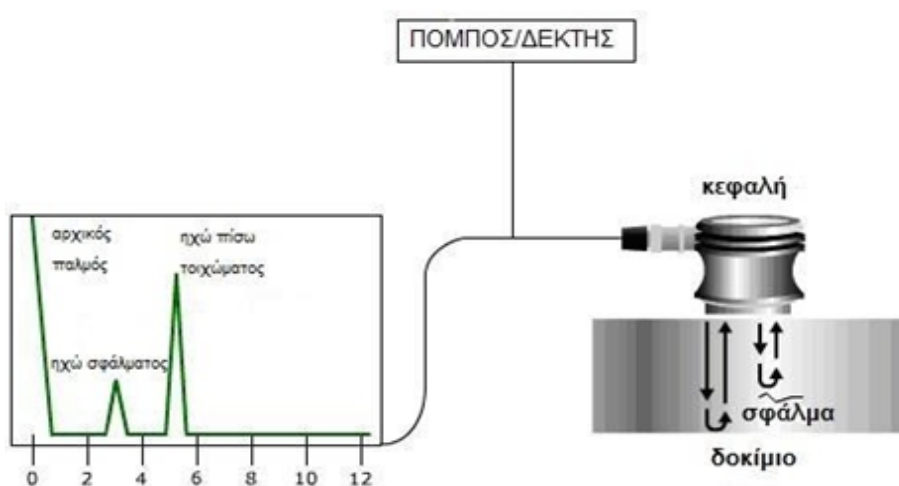
Πριν από κάθε μέτρηση της ταχύτητας των υπερήχων πρέπει να ελέγχεται η ένδειξη του οργάνου. Για άμεση επαφή των δύο κρυστάλλων η ένδειξη πρέπει να είναι μηδέν, ενώ αν χρησιμοποιείται η ειδική ράβδος βαθμονομήσεως πρέπει να είναι τόση όσο αναγράφεται στην ράβδο. Η ακρίβεια πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ $\pm 1\%$ κατά ISO DIS 8047 (1982) ή $\pm 2\%$ κατά ASTM C597 (1983). [5, p. 55]

1.3.2.3 ΤΥΠΟΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΑΤΕΛΕΙΩΝ

Τα δεδομένα που λαμβάνονται κατά την διάρκεια ενός υπερηχητικού ελέγχου, μπορούν να παρουσιαστούν στην οθόνη της συσκευής σε διάφορες μορφές/τύπους.

Σάρωση τύπου A

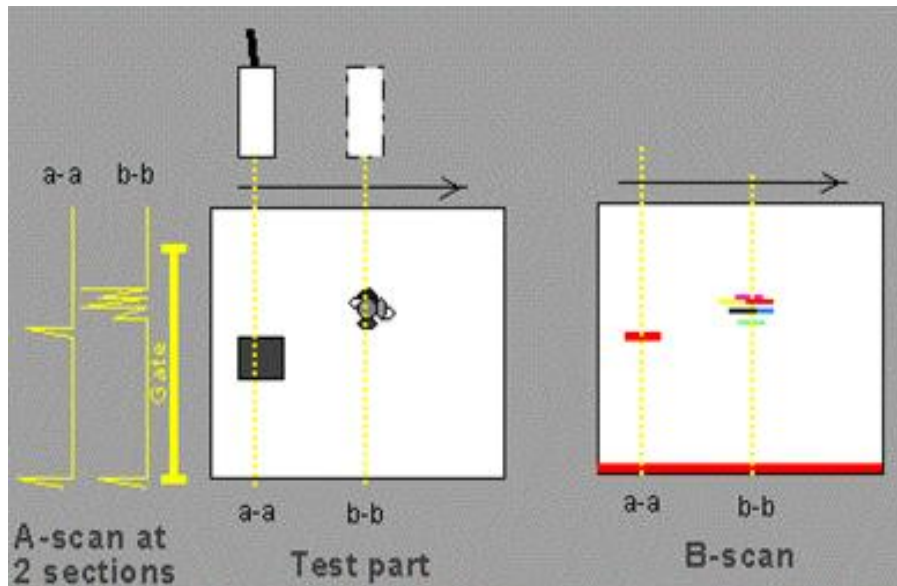
Απεικονίζει το ποσό της ανακλώμενης ενέργειας σε μία οθόνη με μορφή σημάτων όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1. Ο οριζόντιος άξονας της οθόνης παριστάνει τον χρόνο που διανύει μέσα στο υλικό ο υπέρηχος μέχρι να επιστρέψει στην κεφαλή, ενώ ο κατακόρυφος άξονας το εύρος/πλάτος σήματος δηλαδή την ηχητική ενέργεια που επιστρέφει στην κεφαλή. Η οθόνη της συσκευής έχει 10 διαιρέσεις και 10 υποδιαιρέσεις για κάθε διαίρεση, η κορυφή του σήματος θέλοντας και μη θα πέσει πάνω σε μια υποδιαίρεση ή μεταξύ αυτών άρα το πιθανό σφάλμα ανάγνωσης θα είναι της τάξης του 0.5% του συνολικού μήκους της οθόνης. [6, p. 36]. Εφαρμογές στην Οφθαλμολογία και Ηχοεγκεφαλογραφία. [7]



Σχήμα 1,1: A-Scan [6, p. 37]

Σάρωση τύπου B

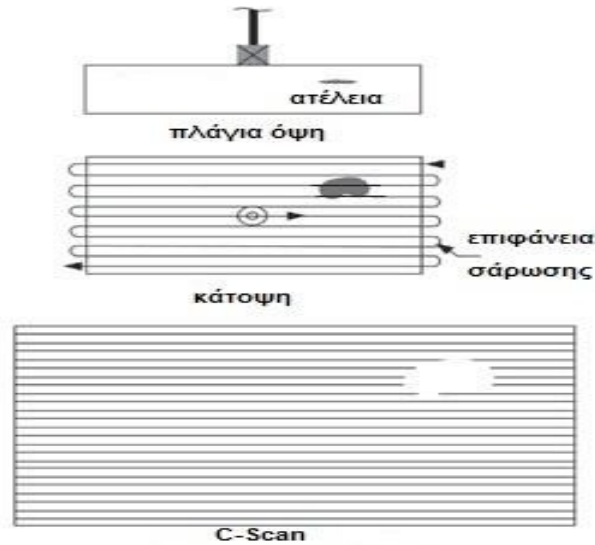
Δίνει την απεικόνιση της τομής του δοκιμίου σχήμα 1.2, αυτό γίνεται με σάρωση κατά μήκος της επιφάνειας του. Στην οθόνη ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά την απόσταση που διανύει η κεφαλή κατά τη σάρωση ενώ ο κάθετος άξονας το βάθος της ατέλειας. Το εύρος του λαμβανόμενου σήματος είναι ανάλογο με την λαμπρότητα του ειδώλου, ενώ ο συγχρονισμός της κίνησης της κεφαλής με την απεικόνιση μπορεί να αναπαριστάνει πραγματικά τις διαστάσεις του σφάλματος. [6, p. 37]



Σχήμα 1.2: B-Scan [6, p. 37]

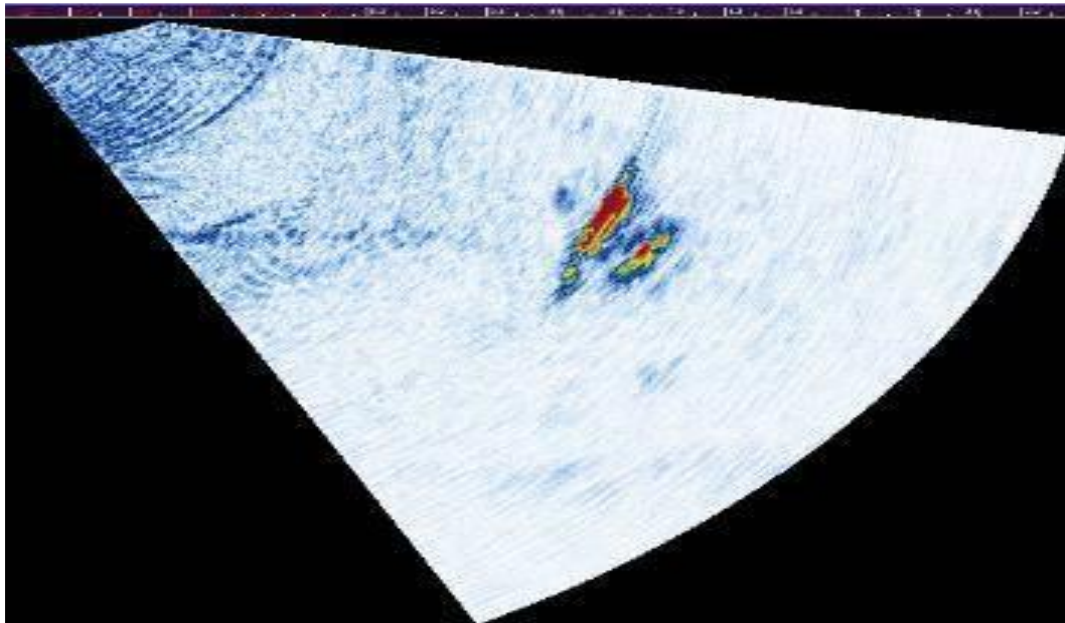
Σάρωση τύπου C

απεικονίζει την κάτοψη της επιφάνειας σαρώσεως του δοκιμίου εμφανίζοντας τα ελαττώματα σαν περιοχές διαφορετικής φωτεινότητας σε σύστημα αποτύπωσης, που συγχρονίζεται με την κίνηση της κεφαλής καθώς αυτή διατρέχει την επιφάνεια του υλικού σχήμα 1.3. πλεονέκτημα της σάρωση τύπου C είναι η μόνιμη καταγραφή μειονέκτημα η προετοιμασία τη εγκατάστασης είναι χρονοβόρα και δεν έχει ένδειξη του προσανατολισμού του σφάλματος και ότι δεν εμφανίζει το βάθος. [6, p. 38]



Σχήμα 1.3 : C-Scan [6, p. 38]

Η S – Σάρωση είναι μια μορφή παρουσίασης των δεδομένων που συναντάται μόνο στα συστήματα συστοιχίας διαφοράς φάσης. Όπως έχει αναφερθεί, το κάθε πιεζοηλεκτρικό στοιχείο της κεφαλής εκπέμπει ένα ηχητικό κύμα και εν συνεχεία όταν το δέχεται καταγράφεται το πλάτος του κύματος επιστροφής και ο χρόνος επιστροφής του. Το κάθε στοιχείο της κεφαλής λοιπόν είναι ικανό να παράγει μια A – Σάρωση. Για να δημιουργηθεί η S – Σάρωση, το κάθε πιεζοηλεκτρικό στοιχείο εστιάζει σε διαφορετική γωνία το παραγόμενο κύμα της. Έτσι, από τις επιστρεφόμενες ηχώ δημιουργείται μια A- Σάρωση για κάθε γωνία εστίασης. Εν συνεχεία όλες αυτές οι A-Σαρώσεις «προστίθενται» για να δημιουργήσουν την S – Σάρωση. [8, p. 42]



Σχήμα 1.4 : S-Scan (http://www.coastnde.com/phased_array.html)

1.3.2.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Υγρασία

Παρατηρείται αύξηση της μετρούμενης ταχύτητας όταν στο εξεταζόμενο στοιχείο επικρατεί υψηλό ποσοστό υγρασίας. [5, p. 55]

Θερμοκρασία του Σκυροδέματος

Παρατηρείται αλλαγή στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων όταν η θερμοκρασία είναι άνω των 30 °C που έχουμε μείωση ταχύτητας και όταν θερμοκρασία είναι κάτω 5 °C βαθμών αυξάνετε η ταχύτητα [5, p. 56]

Μήκος Διαδρομής

Το ελάχιστο μήκος διαδρομής πρέπει να είναι ίσο με 100mm για σκυρόδεμα με μέγιστο μέγεθος αδρανούς 20mm και 40mm. Επίσης το ελάχιστο μήκος διαδρομής θα πρέπει να είναι πενταπλάσιο του μέγιστου κόκκου αδρανών και σε καμία περίπτωση μικρότερο των 150mm. Για μεγάλα μήκη απαιτούνται συχνότητες της τάξεως των 20kHz, ενώ αντίθετα για μικρά μήκη οι συχνότητες μπορούν να φθάσουν και τα 200kHz. [5, p. 56]

Σχήμα και Διαστάσεις δοκιμίου

Όταν η διάσταση του δοκιμίου είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη η ταχύτητα του υπερήχου είναι μικρότερη. [5, p. 57]

Ράβδοι Οπλισμού

Σε περιοχές που υπάρχει μεγάλο ποσοστό οπλισμού καλό είναι να αποφεύγονται οι μετρήσεις γιατί η ταχύτητα των υπερήχων είναι 1,2-2 φορές μεγαλύτερη στον χάλυβα σε σχέση με την μετρούμενη ταχύτητα του άοπλου σκυροδέματος. [5, p. 57]

1.3.2.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΡΩΓΜΗΣ Η ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΚΑΤΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η μέθοδος βοηθάει στον προσδιορισμό της ύπαρξης και του μεγέθους κατασκευαστικών σφαλμάτων, ρωγμών και πόρων μέσα στην μάζα του σκυροδέματος. Η ύπαρξη μιας ρωγμής μπορεί να διαπιστωθεί μόνο όταν το μήκος της είναι μεγαλύτερο από το πλάτος κρυστάλλου-πομπού ή μεγαλύτερο από το μήκος κύματος του υπερήχου που χρησιμοποιείται. Αν υπάρχει ρωγή τέτοιων διαστάσεων μέσα σε ένα δομικό στοιχείο, τότε όταν τοποθετηθούν οι κρύσταλλοι κατά μήκος του άξονα του, ο χρόνος διαδόσεως του υπερηχητικού κύματος παρουσιάζεται σημαντικά αυξημένος σε σχέση με τον χρόνο διαδόσεως που παρατηρείται όταν τοποθετήσουμε τους κρυστάλλους σε γειτονικές θέσεις χωρίς ρωγμές. Για να είναι οι

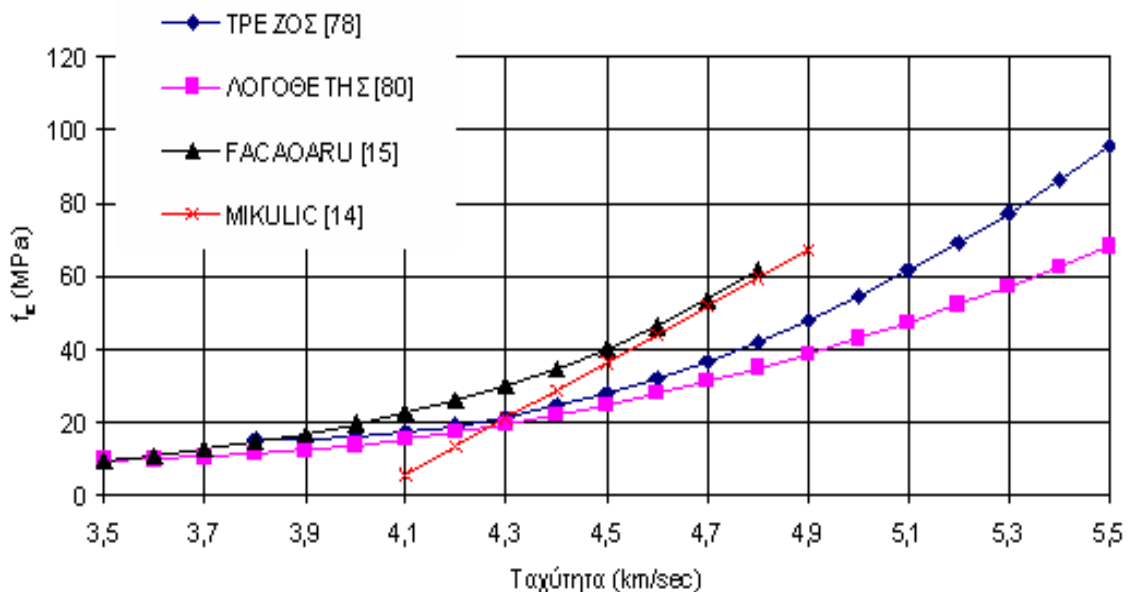
μετρηθέντες χρόνοι συγκρίσιμοι, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ομοιογένεια του σκυροδέματος του εξεταζόμενου στοιχείου. [5, p. 58]

Η ύπαρξη εσωτερικών ρωγμών ή κενών προκαλούν περίθλαση των υπερήχων με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου διαδόσεως των υπερήχων. Έτσι, αν δεν είναι γνωστή η εσωτερική κατάσταση του στοιχείου, η φαινομενικά μειωμένη ταχύτητα των υπερήχων, μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται στην μειωμένη αντοχή του σκυροδέματος. [5, p. 59]

Η ίδια τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του πάχους του επιφανειακού στρώματος το οποίο επηρεάστηκε από μια πυρκαγιά ή παγετό με αποτέλεσμα να έχει μικρότερη ταχύτητα διαδόσεως από ότι το υποκείμενο υγιές στρώμα. Η μέτρηση εκτελείται μετρώντας το χρόνο διαδόσεως των υπερήχων ως συνάρτηση της αποστάσεως μεταξύ των δύο κρυστάλλων πομπού και δέκτη. Γίνεται η υπόθεση ότι τα κύματα φθάνουν στον δέκτη κατά μήκος δύο διαδρομών: η διαδρομή 1 είναι ευθεία κατά μήκος του κατεστραμμένου σκυροδέματος και η διαδρομή 2 είναι τεθλασμένη διαμέσου του κατεστραμμένου – του υγιούς και ξανά του κατεστραμμένου σκυροδέματος. Για μικρές αποστάσεις μεταξύ των δύο κρυστάλλων συντομότερη είναι η διαδρομή 1, ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις συντομότερη είναι η διαδρομή 2. [5, p. 59]

1.3.2.8 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Στην διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορες καμπύλες που συσχετίζουν την ταχύτητα των υπερήχων με την μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Πάντως σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά: το διάστημα εμπιστοσύνης 90% μπορεί να εκτείνεται μέχρι και $\pm 0.25f_{cm}$ εκατέρωθεν των μέσων καμπυλών. Γι' αυτό δεν συνιστάται η άμεση εφαρμογή των καμπύλων χωρίς προηγούμενη βαθμονόμηση. [5, p. 60]



Σ.χ 1.5 Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της ταχύτητας των υπερήχων [5, p. 61]

Η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει με την παρασκευή ειδικών δοκιμών (με διαφορετικές αντοχές) προκειμένου για έλεγχο σκυροδέματος το οποίο δεν έχει ακόμη παραχθεί. Τα δοκίμια που θα χρησιμοποιηθούν (κυβικά ή κυλινδρικά) πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλα, ούτως ώστε να εξαφανιστεί η επίδραση του μεγέθους από τα αποτελέσματα. Κύβοι 15 cm ή μεγαλύτεροι πρέπει να προτιμώνται. Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται δοκίμια με ξηρές επιφάνειες. Σε περίπτωση που έχουν συντηρηθεί σε υγρές συνθήκες θα πρέπει να μεταφέρονται για 2 ημέρες πριν τη δοκιμή σε συνθήκες εργαστηρίου. [5, p. 61]

Σε κάθε κυβικό δοκίμιο πρέπει να γίνονται δύο μετρήσεις σε δύο κάθετες διευθύνσεις και λαμβάνεται ο μέσος όρος. Αν δεν είναι εφικτή η παρασκευή ειδικών δοκιμών (π.χ. στην περίπτωση ελέγχου υπάρχουσών κατασκευών) τότε η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει με πυρήνες που λαμβάνονται από την κατασκευή που πρόκειται να ελεγχθεί. Στα αποτελέσματα προσαρμόζεται με παλινδρόμηση παραβολική ή εκθετική σχέση της μορφής:

$$f_c = av^2 + bv + c \text{ ή } f_c = aebv \quad (1.1)$$

Στον επόμενο πίνακα δίνονται στοιχεία από την διεθνή βιβλιογραφία για ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος αναλόγως των ενδείξεων των υπερήχων. [5, p. 61]

A/A	Ταχύτητα υπερήχων v (km/s)	Ποιότητα
1	> 4,500	Εξαιρετική
2	3,500 : 4,500	Καλή
3	2,500 : 3,500	Μέτρια
4	< 2,500	Κακή
5	< 2,500	Απόμειξη, ρωγμές

Πίνακας 1,1 Ποιοτική κατάταξη σκυροδέματος [5, p. 61]

Λοιπές εφαρμογές

έλεγχος ομοιογένειας και ομοιομορφίας ενός δομικού στοιχείου αποτιμάται η αντοχή, μέτρο ελαστικότητας και ο λόγος Poisson των συνιστώντων υλικών αποτιμώνται οι αλλοιώσεις των υλικών που γίνονται με την πάροδο του χρόνου, οι οποίες οφείλονται σε διάφορα αίτια διάβρωση, πυρκαγιά, ανωμαλίες στη μάζα των δομικών στοιχείων από την κατασκευή. [5, p. 62]

1.3.2.10 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Πλεονεκτήματα

- Μεγάλη διεισδυτική ικανότητα που επιτρέπει την ανίχνευση ατελειών σε μεγάλο βάθος (μπορούν να ελεγχθούν αντικείμενα με μήκος και πάχος αρκετών μέτρων).
- Ακριβής προσδιορισμός της θέσης και μεγέθους εσωτερικών ατελειών και χαρακτηρισμός του προσανατολισμού, μορφής και τύπου τους.
- Τεχνική ευαίσθητη σε επιφανειακές και υπό επιφανειακές ασυνέχειες.
- Για τον έλεγχο του αντικειμένου μόνο αρκεί μια επιφάνεια.
- Παρέχουν πλήρη αυτοματοποίηση με δυνατότητα απεικόνισης υψηλής ευαισθησίας, παρέχοντας άμεσα αποτελέσματα.
- Η υψηλή ευαισθησία της μεθόδου επιτρέπει την ανίχνευση πολύ μικρών ατελειών.
- Δυνατότητα ογκομετρικής ανίχνευσης, που επιτρέπει τον έλεγχο του συνολικού όγκου του αντικειμένου, που εκτείνεται από την εμπρός επιφάνεια ως την πίσω επιφάνειά του.
- Παρέχει τα αποτελέσματα σε μορφή ώστε να υπάρχει δυνατότητα ψηφιακής επεξεργασίας για το χαρακτηρισμό ελαττωμάτων και βλάβης και τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των υλικών.
- Φορητότητα
- Κανένας κίνδυνος από τη χρήση της μεθόδου.

Μειονεκτήματα

- Ο χειριστής πρέπει να είναι έμπειρος για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.
- Αντικείμενα που έχουν τραχεία επιφάνεια, ακανόνιστο σχήμα, ή είναι πολύ μικρά σε μέγεθος ή έχουν πολύ λεπτή διατομή ή μη ομοιογενή, είναι δύσκολο να ελεγχθούν.
- Η επιφάνεια του δοκιμίου πρέπει να είναι προσπελάσιμη για μετάδοση υπερήχων.
- Ασυνέχειες που υπάρχουν σε μικρό βάθος αμέσως κάτω από την επιφάνεια, είναι δύσκολο να ανιχνευθούν.
- Όταν η δέσμη των υπερήχων είναι παράλληλη με της γραμμικές ατέλειες ενδέχεται να μην ανιχνευτούν.
- Είναι απαραίτητο μέσο σύζευξης για την καλή μεταφορά της ηχητικής ενέργειας στο εξεταζόμενο στοιχείο .
- χρειάζονται πρότυπα αναφοράς για την βαθμονόμηση του εξοπλισμού όσο και για τον χαρακτηρισμό των αστοχιών. [9, pp. 109-110]

1.3.3 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ



Εικόνα 1.7 -1.8 συσκευές θερμικής απεικόνισης ΚΑΜΕΡΑ
(<http://www.oelectricista.pt>),DJI(<https://i.ytimg.com>)

Η θερμογραφία είναι μια μέθοδος Μ.Κ.Ε. των υλικών όπου στηρίζεται στην ανίχνευση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του εξεταζόμενου υλικού.

Υπάρχουν τρεις τρόποι με τους οποίους η θερμότητα διαχέεται στο εξεταζόμενο υλικό, η μεταφορά θερμότητας με αγωγή, με θερμική μεταβίβαση και ακτινοβολία.

Η υπέρυθη θερμογραφία ανιχνεύει την εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το υλικό που βρίσκεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη του απόλυτου μηδενός (-273,15 κελσίου)

Η υπέρυθη θερμογραφία χρησιμοποιείται κατά κόρον από τους πολιτικούς μηχανικούς.

Χρησιμοποιείται για εξέταση μεγάλων επιφανιών με μεγάλη ταχύτητα, για την ανίχνευση υγρασίας, θερμογέφυρων, και για ρωγμές σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εξεταζόμενου υλικού. Οι μετρήσεις γίνονται με ειδικές κάμερες, η Drones που φέρουν ειδικές κάμερες που ανιχνεύουν την υπέρυθρη ακτινοβολία χωρίς να έρθουν σ' επαφή με την εξεταζόμενη επιφάνεια. εκτός από τον Μ.Κ.Ε. των υλικών η μέθοδος της θερμογραφίας χρησιμοποιείται απ' τα σώματα ασφαλείας για τον εντοπισμό ατόμων και την πυροσβεστική και στη βιομηχανία για τον έλεγχο θερμοκρασίας συσκευών και εγκαταστάσεων. Όμως για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής το κόστος είναι μεγάλο και απαιτούνται ιδανικές συνθήκες περιβάλλοντος.

Οι θερμοκάμερες μετρούν την εκπομπή της ακτινοβολίας και τη μετασχηματίζουν σε θερμογράφημα. Ο ρυθμός απεικόνισης της θερμογραφίας της επιφάνειας είναι μέχρι 400 εικόνες ανά sec

Η ενεργητική θερμογραφία βασίζεται στο ότι η μεταφορά θερμοκρασίας σ' ένα υλικό επηρεάζεται από την υπάρξει ρωγμών. Στην ενεργητική θερμογραφία απαιτείται πηγή εξωτερικής θερμότητας, [10, pp. 16-17], [11, pp. 24-26], [9, p. 76], [12, pp. 117-118,123]

1.3.4 ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ

Η ροή ρευστών είναι μια μέθοδος που βασίζεται στη διαφορά πίεσης μεταξύ δύο σημείων μιας κατασκευής που προκύπτει προκαλώντας διαρροή ρευστού από εξωτερικό προς το εσωτερικό τμήμα ή και αντίστροφα μιας κατασκευής. Βαθμός διαρροής του ρευστού προσδιορίζει τις τυχόν ατέλειες πάνω στο εξεταζόμενο υλικό κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Για αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται διάφορες συσκευές, όπου η ευαισθησία είναι συνυφασμένη με το είδος του ρευστού που χρησιμοποιείται, [9] [11, p. 41], [13], [14, p. 11]

1.3.5 ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ



Εικόνα 1.9 Συσκευή Ακτινογραφίας(<http://www.wndti.gr>)

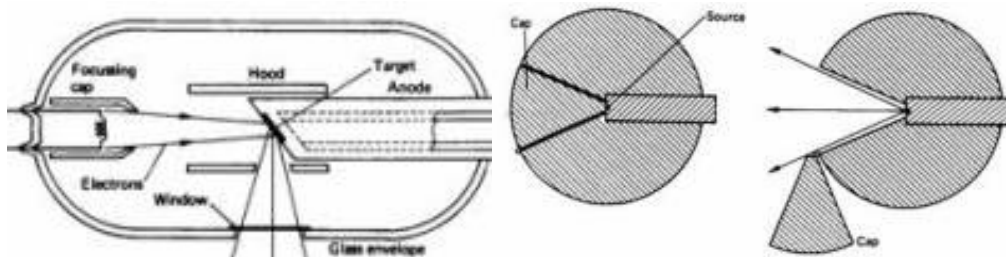
Οι ακτίνες-Χ παράγονται όταν ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια προσκρούουν πάνω σε ένα μεταλλικό αντικείμενο. Χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην ιατρική, αεροναπηγική, αλλά και για το μη καταστροφικό έλεγχο των υλικών. Οι ακτίνες Γ εκπέμπονται από ραδιενεργά υλικά όπως για παράδειγμα το κοβάλτιο. Έχοντας τις ίδιες ιδιότητες με τις ακτίνες Χ και διατάσσονται πάντα σε ευθείες γραμμές.

Τα υλικά που αξιοποιούνται για την παραγωγή ακτίνων -γ όταν αρχίζει λειτουργία τους δεν μπορεί να σταματήσει μέχρι να εξαντληθεί ο χρόνος ημιζωής τους. Μπορούν αποτυπώσουν δισδιάστατη και τρισδιάστατη προβολή αντικειμένων. Για να υπάρξει όμως τρίτη διάσταση προβολής απαιτούνται περισσότερες αποτυπώσεις.

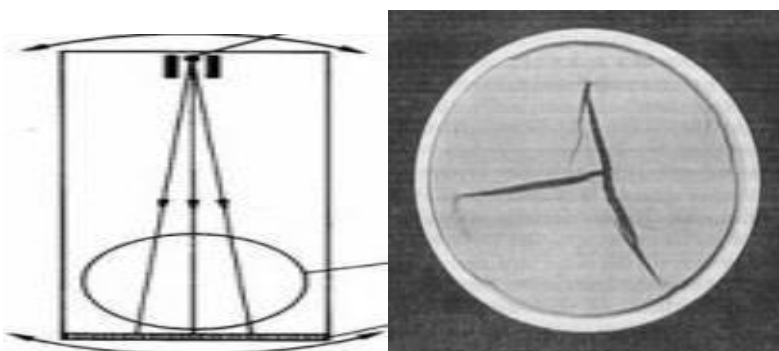
Είναι μια μέθοδος που βασίζεται στην απορρόφηση ακτινοβολίας. Ανάλογα με τη πυκνότητα του υλικού και το πάχος διείσδυσης η ακτινοβολία διαπερνά το κάθε υλικό.

Το υλικό το οποίο πρέπει να εξεταστεί πρέπει να τοποθετείται ανάμεσα στην πηγή ακτινοβολίας και του ραδιογραφικού φιλμ ή κάμερας.

Αυτή η μέθοδος είναι ιδανική για την ανίχνευση ρωγμών ή ατελειών του υλικού. Όμως είναι μια ακριβή μέθοδος και πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα προστασίας γιατί είναι μία ιδιαίτερη επικίνδυνη για την υγεία μέθοδος.



Εικόνα 1.10 : Λυχνία ακτίνων-Χ. Εικόνα 1,11 : Κάψουλα φύλαξης ραδιενεργών πηγών.



Εικόνα 1.12 : Τομογραφία με περιστροφή της πηγής. Εικόνα 1.13 : Τομογραφία υλικού με ρωγμή. (<http://users.teiath.gr/vmouss/ebooks>)

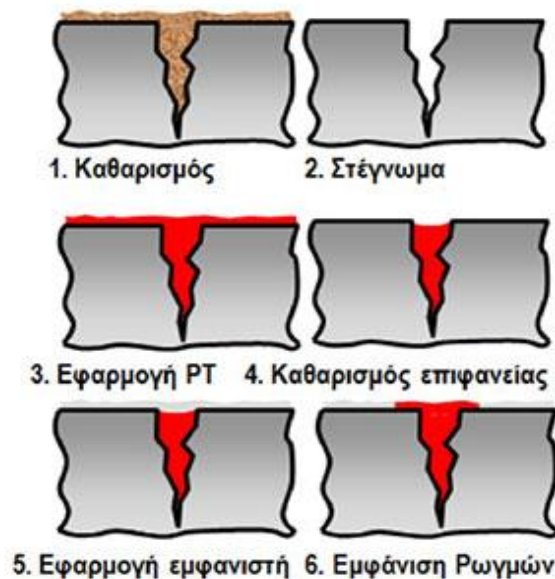
[9, p. 75], [13]

1.3.6 ΨΑΘΥΡΕΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ

Η μέθοδος των ψαθυρών επικαλύψεων περιλαμβάνει τον ψεκασμό της επιφάνειας ενός δοκιμίου με μια λεπτή επίστρωση ενός πολύ άκαμπτου, ψαθυρού υλικού το οποίο ρηγματώνεται πολύ εύκολα. Στην συνέχεια, εφαρμόζεται στο δοκίμιο τάση ή θερμική καταπόνηση και από την επεξεργασία του μεγέθους και της μορφής των ρωγμών μπορούν να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα, όπως η τάση που ασκήθηκε.

Υπάρχουν δύο ειδών ψαθυρές επικαλύψεις: Αυτές που βασίζονται στις οργανικές ρητίνες και είναι κατάλληλες για θερμοκρασίες περιβάλλοντος, καθώς και εκείνες που στηρίζονται στα κεραμικά, για έλεγχο σε συνθήκες υψηλότερων θερμοκρασιών μέχρι και 370°C. [14, pp. 15-16], [11, pp. 34-35]

1.3.7 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ



Εικόνα 1.14 Εφαρμογή Της Μεθόδου Των Διεισδυτικών Υγρών
(<https://qcontrol.gr/wp-content>)

Η μέθοδος των διεισδυτικών υγρών χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό επιφανειακών ρωγμών, κενών, ασυνεχειών σε στερεά και μη πορώδη υλικά από μέταλλο, το γυαλί, τα κεραμικά υλικά, τα πλαστικά και το καουτσούκ, το βάθος ανίχνευσης που μπορεί να ανιχνευθεί είναι 1cm για ρωγμές και 0,1mm το βάθος μιας ατέλειας και το πλάτος 1μm εφαρμόζεται συνήθως με δύο τρόπους: Με την χρήση χρωματιστών διαλυμάτων ή με την χρήση φθορίζοντων διαλυμάτων. Η χρήση χρωματιστών διαλυμάτων συνήθως κόκκινων ενδείκνυται στον έλεγχο μεγάλων δοκιμίων που δεν έχουν ιδιαίτερα λείες επιφάνειες. Το αντικείμενο που θα εξεταστεί αφού καθαρίζεται καλά για την απομάκρυνση ξένων ουσιών όπως για παράδειγμα λάδια κτλ. που βρίσκονται στην επιφάνεια της περιοχής η αφαιρεσίτους γίνεται με χρήση διαλυτικών ουσιών όπως τριχλωραιθυλένιο, τετραχλωραιθυλένιο, κτλ η και με την χρήση ατμού, σε περίπτωση που η τραχύτητα τη περιοχής δεν είναι ικανοποιητική πρέπει λειανθεί σε μικρό βαθμό . επιφάνεια

του αντικειμένου που θα εξεταστή καλύπτεται με έγχρωμο υγρό με μεγάλη επιφανειακή τάση για χρονικό διάστημα έως μια ώρα ο χρόνος που απαιτητέ για να εισχωρεί το υγρό στις επιφανειακές ρωγμές του υλικού εξαρτάτε από το υγρό. Στη συνέχεια, το πλεονάζων υγρό αφαιρείται με προσοχή, έτσι ώστε να μην αφαιρεθεί και το υγρό που έχει εισχωρήσει και η επιφάνεια καθαρίζεται ώστε να μείνει μόνο το υγρό που έχει εισέλθει στις ρωγμές του εξεταζόμενου στοιχείου. στο τέλος στην επιφάνεια απλώνεται υγρό η σκόνη η οποία όταν έρχεται σε επαφή με διεισδυτικό υγρό δημιουργείτε χρωματική αντίθεση και με την αλλαγή στο χρώμα είναι ορατή η ρωγμή. Επίσης, γίνεται και με τη χρήση υγρών τα οποία φωσφορίζουν υπό την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας.

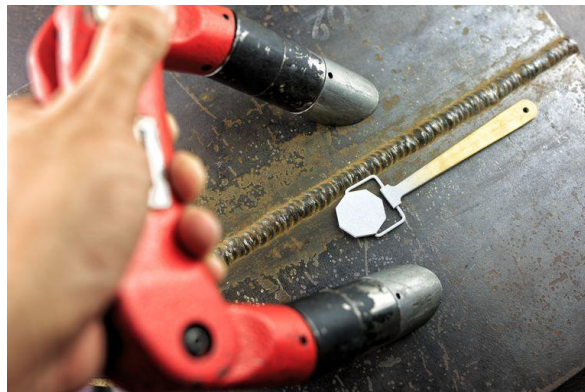
Πλεονεκτήματα

- Ο έλεγχος του αντικειμένου είναι ευκολότερος από την απλή οπτική μέθοδο.
- Μικρό κόστος εξοπλισμού
- επιθεώρηση μεγάλων επιφανειών
- Φορητότητα εξοπλισμού

Μειονεκτήματα

- πρέπει να ληφθούν μέτρα χημικής προστασίας
- χρήση της μεθόδου μόνο σε μη πορώδη υλικά
- επιφάνειες που δεν έχουν καθαριστεί καλά από ξένες ουσίες ενδέχεται να αποκρύψουν ατέλειες.
- Με κάθε επανάληψη μειώνεται η ευαισθησία της
[15, pp. 13-14], [11, pp. 32-34], [10, p. 12], [1, pp. 15-16], [13]

1.3.8 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ



Εικόνα 1.15 Μέθοδος Των Μαγνητικών Σωματιδίων (<https://www.tuv-nord.com/gr>)

Η μέθοδος είναι από της πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τούς μη καταστροφικούς ελέγχους καθώς είναι εύκολη στην χρήση για μεγάλες επιφάνειες πολύπλοκων κατασκευών και εύκολα εντοπίζεται η επιφανειακή ρωγμή χρησιμοποιείτε για ανίχνευση ρωγμών επιφανειακών η κοντά στην εξωτερική επιφάνεια του υλικού σε σιδηρομαγνητικά υλικά η και σε υλικά που μπορούν να μαγνητιστούν η οποίες δεν είναι ορατές δια γυμνού οφθαλμού.

Η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων βασίζεται στην αρχή ότι οι γραμμές μαγνητικής ροής που διαπερνούν ένα μαγνητικό υλικό έχουν διαρροή προς το περιβάλλον από το εσωτερικό του υλικού από τα σημεία που αλλάζει η συνεχειάτους λόγω ύπαρξης ρωγμών.

Η εφαρμογή της μεθόδου έχει ως εξής

Το εξεταζόμενο στοιχείο εισάγεται σε μαγνητικό πεδίο με χρήση μαγνητών η ηλεκτρομαγνητών πεδίων εφαρμόζονται μαγνητικά σωματίδια σε μορφή σκόνης (οξειδία του σιδήρου) η γίνεται επάλειψη με κατάλληλο υγρό (νερό, μελάνη, λάδι), εξέταση του στοιχείου η ύπαρξη της ρωγμής γίνεται αντιληπτή από τα σωματίδια που έλκονται στις περιοχές που υπάρχει απόκλιση και δίνουν προσεγγιστικά το μέγεθος, το σχήμα και την θέση που έχει η ασυνέχεια.

Πλεονεκτήματα

- Μεγάλες επιφάνειες κατασκευών εξετάζονται γρήγορα και ο εξοπλισμός έχει σχετικά μικρό κόστος

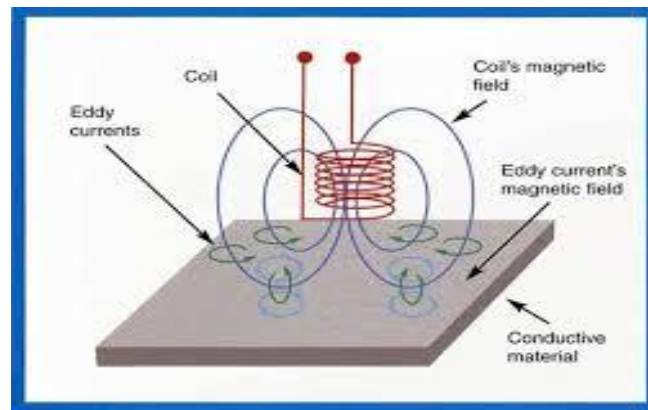
Μειονεκτήματα

- Περιορίζεται η χρήση του σε μαγνητικά υλικά η σε υλικά που μπορούν να μαγνητιστούν.
- Είναι απαραίτητη η προεργασία του στοιχείου που θα εξεταστή ώστε η επιφάνειες να είναι καθαρές.
- Δεν εντοπίζονται ρωγμές που είναι παράλληλες με τη μαγνητική ροή.
- Στα δοκίμια μεγάλων διαστάσεων χρειάζονται πολύ ισχυρά μαγνητικά πεδία.

- Σε αρκετές περιπτώσεις χρειάζεται απομαγνητισμός.

[10, p. 13], [9, pp. 77-79], [2, p. 14], [16], [15, p. 14], [1, pp. 17-18]

1.3.9 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΔΙΝΟΡΡΕΥΜΑΤΩΝ



Εικόνα 1.16 Μέθοδος των δινορρευμάτων (<https://www.nde-ed.org>)

Η μέθοδος Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό διαστάσεων των υλικών Και για τον εντοπισμό επιφανειακών ρωγμών , ατελειών σε αγώγιμα υλικά, χρησιμοποιείται για την κατάταξη των υλικών σε σχέση με την ηλεκτρική τους αγωγιμότητα και την μαγνητική διαπερατότητα.

Η λειτουργία των Δινορρευμάτων βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγήκατά την διάρκεια του ελέγχου.

Σε ένα πηνίο εφαρμόζεται επιλεγμένης συχνότητας εναλλασσόμενο ρεύμα το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο στο πηνίο. Όταν το πηνίο έρθει σε επαφή με το αγώγιμο υλικό(μέταλλο) το μαγνητικό πεδίο διέρχεται στο υλικό και δημιουργείται μαγνητικό πεδίο ίδιας συχνότητας προκαλώντας ροή επαγωγικών ρευμάτων σε αυτό η ροή των επαγωγικών ρευμάτων(δινορρευμάτων) στο υλικό δημιουργεί το δικό της μαγνητικό πεδίο το οποίο αλληλοεπιδρά με το αρχικό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του πηνιού.

Η διαταραχή της ροής των επαγωγικών ρευμάτων και του σχετικού μαγνητικού πεδίου δηλώνει ασυνέχεια η διαταραχή αναλύεται ηλεκτρονικά και αποτυπώνεται στο μετρητή οργάνου. [15, p. 15], [1, pp. 16-17]

1. 3. 10 ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μετράνε την επιφανειακής σκληρότητας του υλικού Διακρίνονται:

1.3.10.1 ΣΦΥΡΑ ΤΟΥ FRANCK:

Μετράται η διάμετρος του ίχνους (ουλής) που αφήνει επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος σφαίρα διαμέτρου 10 mm που κρούεται μέσω ελατηρίου. [17, p. 7]

1.3.10.2 ΣΦΥΡΑ ΤΟΥ EINBECK: Μετράται η διάμετρος του ίχνους (ουλής) που αφήνει επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος σφαίρα διαμέτρου 25 mm που κρούεται λόγω πτώσης της από καθορισμένο ύψος. [17, p. 7] Η συσχέτιση της αναπηδήσεως με την αντοχή γίνεται με τη βοήθεια καμπυλών συσχέτισεως, οι οποίες έχουν προκύψει από πειραματικά αποτελέσματα και δίδονται από τον κατασκευαστή του οργάνου. [17, p. 7]

1.3.10.3 ΕΞΟΛΚΕΥΣΗ ΗΛΟΥ



Εικόνα1.17 Εξόλκευση ήλου (<http://sideris-konstantinos.blogspot.com>)

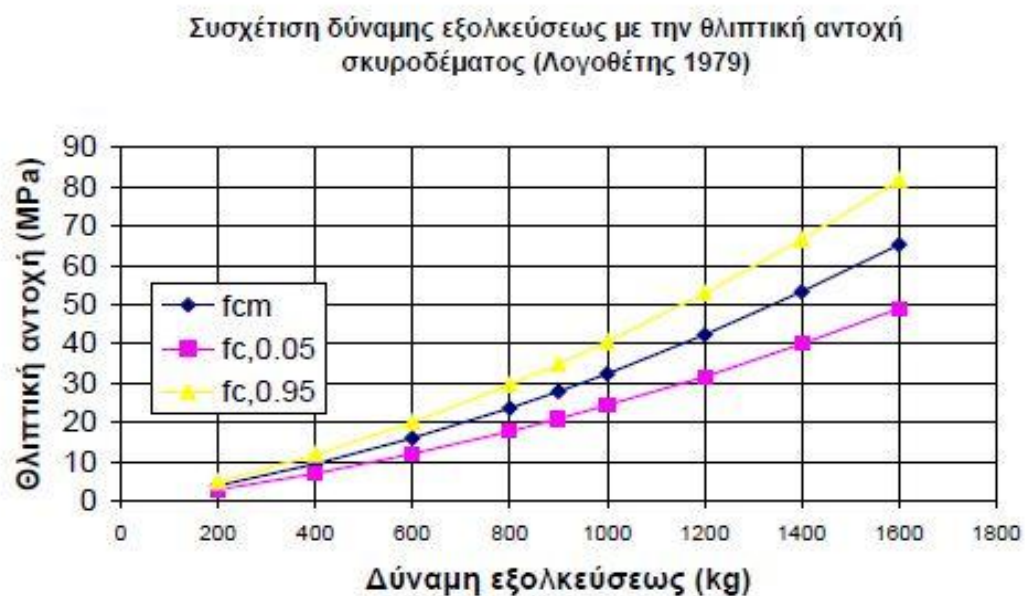


Εικόνα 1.18 (http://geoterra.gr/gr/equipment_concrete.php)

Πρόκειται για έμμεση μέθοδο προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος δι' εξολκεύσεως ήλου.

Ελληνική μέθοδο εφεύρεση της μεθόδου έγινε Τάσιο (Θ.Π. Τάσιος, Κ.Α. Δεμίρης, Αθήνα 1968). Με την χρησιμοποίηση ενός πυροδοτικού εκτοξευτή, που εκτοξεύεται σε επαφή με το σκυρόδεμα ένας πρότυπος ήλος μήκους 4cm και διαμέτρου 4mm ο οποίος εισάγεται στο σκυρόδεμα. Μετά από 10 λεπτά ο ήλος εξολκεύεται με ειδικό εξολκέα ο οποίος φέρει και δυναμόμετρο. Μετράει τη δύναμη εξολκεύσης η οποία συσχετίζεται με κατάλληλα διαγράμματα, και αντιστοιχείτε σε θλιπτική αντοχή σκυροδέματος. Σε κάθε σημείο πρέπει να γίνονται τουλάχιστον 6 μετρήσεις σε απόσταση 10cm μεταξύ τους. Επιφάνειες πάνω σε επιφάνεια πλακών, τσιμεντοκονίες, κλπ. που δεν αντιπροσωπεύουν τη θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος αποφεύγονται. [18, p. 66], [17, p. 13]

Συσχέτιση δύναμης εξολκεύσεως με την θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (Λογοθέτης 1979)



Σχ. 1.6 Συσχέτιση δύναμης εξολκεύσεως με την μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. [18, p. 67]

Μέθοδος Windsor: Παρόμοια με την προηγούμενη. Ειδικής μορφής ακίδα εκτοξεύεται με ένα είδος πιστολιού. Μετράτε η δύναμη εξόλκευσης. [17, p. 14]

Ολλανδική μέθοδος: Παρόμοια με τις προηγούμενες. Προτείνεται η τοποθέτηση βυσμάτων κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης και η εξόλκευση τους μετά την σκλήρυνση. Ομοίως μετράτε η δύναμη εξολκευσης. [17, p. 14]

Ρωσική μέθοδος: Προβλέπεται η εκτόξευση βλήματος καθορισμένου τύπου και από ορισμένη απόσταση με πυροβόλο όπλο και εν συνεχεία η εκτίμηση της ζημίας που προκαλείται. [17, p. 14]

1.3.10.4 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΟΥ



Εικόνα 1.19 Μέθοδος του Κρουσιμέτου(<https://www.concrepairs.gr/el/concrete-testing/>)

Η μη καταστροφική μέθοδος της κρούσιμησης βασίζεται στη μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας του σκυροδέματος, πάντα σε σχέση με τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.

Αυτό διαπιστώνεται από το ύψος αναπήδησης του κρουσιμετρου. Είναι μια εύκολη μέθοδος που όμως απαιτούνται 8 με 10 έλεγχοι με τη μέθοδο της κρουσιμότητας ανά όροφο και 16 ανά κτίριο.

Η μέτρηση επιφανειακής σκληρότητας μεταξύ 14 ημερών ως τριών μηνών σκυροδέματος μπορεί να εμπεριέχει σφάλμα ως 15% ενώ άνω των τριών μηνών ως 25%.

Επίσης τα σημεία κρουσιμησης πρέπει να είναι 30mm μακριά από τις ακμές του εξεταζόμενου στοιχείου το βάθος ενανθράκωσης μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην αξιοπιστία της

μετρήσεις γι' αυτό πρέπει να αφαιρείται επιφάνια στρώσεις πάχους 5 mm από την επιφάνεια του εξεταζόμενου στοιχείου. Ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου και την ποιότητα των αδρανών χρειάζονται ξεχωριστές βαθμονομήσεις ιδανική θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεταξύ 10 ως 30 βαθμούς Κελσίου επίσης το ποσοστό υγρασίας μπορεί να επηρεάσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Οι επιφάνειες που χρησιμοποιείται η μέθοδος πρέπει να είναι λείες καθώς και να μην έχουν κοπεί. Καλό είναι η μέθοδος αυτή να συνδυάζεται με κάποια άλλη μέθοδος όπως για παράδειγμα τη μέθοδο των υπερήχων ή τον πυρήνων.

Ως τελική τιμή λαμβάνεται ο μέσος όρος των αναπήδησεων με αφαίρεση του μεγαλύτερου του μικρότερου αριθμού αναπήδησης.

Άλλη μια χρήση της μεθόδου είναι η κρούση Κρουσίμετρου απλούστερης μορφής για τη διαπίστωση τυχόν ύπαρξης κενών στη μάζα του σκυροδέματος. [19, pp. 33-34], [5, pp. 62-65]

1.3.11 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΟΥ

Τα μαγνητόμετρα εντοπίζουν και προβλέπουν με ακρίβεια τη θέση του σπλισμού, το πάχος της επικάλυψης του σκυροδέματος ακόμη και τη διάμετρο της ράβδου. Η μαγνητική μέθοδος στηρίζεται στη αλληλεπίδραση του σπλισμού με ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (όργανο). Δημιουργείται ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο όπου προκαλεί ηλεκτρικό δυναμικό σε ένα κύκλωμα πριν της μετρής ελέγχουμε αν υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης του χάλυβα πριν γίνουν οι μετρήσεις δυναμικού χάλυβα με ηλεκτρόδιο αναφοράς χαλκού ή αργίλου.

Από τη σχέση $V_{SCE}+240=V_{VCSE}+300$ (1.2) [mV]

Από την παραπάνω σχέση υπολογίζεται η διάβρωση του χάλυβα. Όπως αναφέρεται στο ASTM C 876-87 υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις:

Αν $E > -200$ mVCSE' κατά πιθανότητα 90% δεν συμβαίνει διάβρωση

Αν $E > -350$ mVCSE' κατά πιθανότητα 90% συμβαίνει διάβρωση

Αν -200 mVCSE' $> E > -350$ mVCSE' δεν είναι βέβαιο αν συμβαίνει ή όχι διάβρωση.

Για τη μέτρηση υγρασίας τοποθετούνται τέσσερα ηλεκτρόδια σε μικρό βάθος, όπου συνδέονται με βολτόμετρο και ρεύμα. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ρεύμα εντάσεως I , μετριέται το αντίστοιχο δυναμικό και υπολογίζετε η αντίσταση R του σκυροδέματος, η ειδική αντίσταση ρ δίνεται από τον τύπο:

$$P = 2 * a * R \quad (1.3)$$

όπου:

ρ = ειδική αντίσταση του σκυροδέματος

a = απόσταση μεταξύ ηλεκτροδίων

R = αντίσταση του σκυροδέματος

Η τιμή της ειδικής αντίστασης καθορίζει την υγρασία.

Πλεονέκτημα

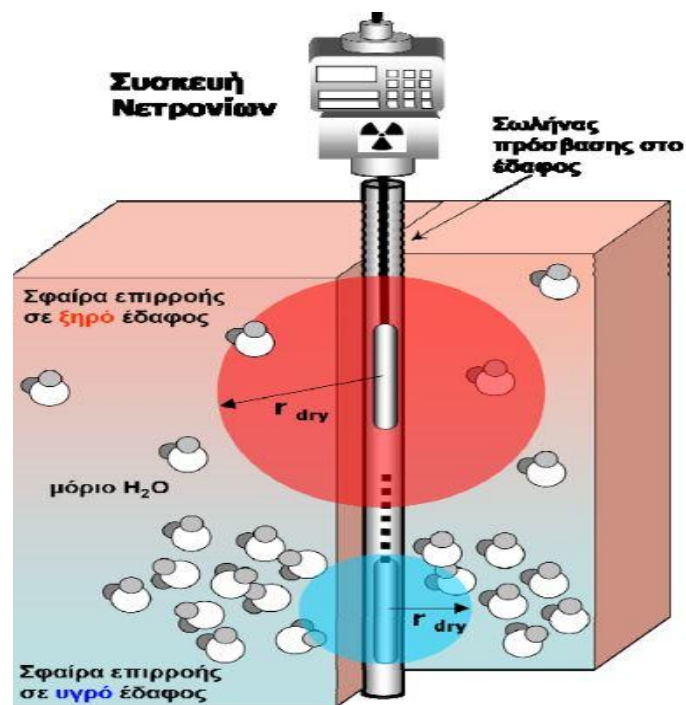
Φορητότητα συσκευής

μειονεκτήματα

μειωμένη αξιοπιστία σε περισσότερες από μια στρώση σπλισμού

[5, pp. 68-69], [19, pp. 37-38], [20, pp. 44-45]

1.3.12 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΚΠΟΜΠΗ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ



Εικόνα 1.20 Μέτρηση Υγρασίας με Εκπομπή Νετρονίων(https://www.aua.gr/stalex/EDU/PDF/Neutronprobe_doc.pdf)

Μέσο, ενός φορητού οργάνου εκπέμπονται νετρόνια στο σώμα του στοιχείου, μετρώντας την ταχύτητα της ακτινοβολίας υπολογίζεται το ποσοστό της υγρασίας, καθώς η ταχύτητα της ακτινοβολίας μειώνεται με την υγρασία. Είναι η πιο αξιόπιστη μέθοδο που προσδιορίζει το ποσοστό υγρασίας του σκυροδέματος. Μειονέκτημα της το υψηλό κόστος της συσκευής. [19, p. 41]

1.3.13 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ



Εικόνα 1.21 μέθοδος του ραντάρ (<http://geotest.gr>)

Η μέθοδος του radar είναι μία μη καταστροφική μέθοδος που βασίζεται στη ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων όταν διέρχονται από υλικά με διαφορετική διηλεκτρική σταθερά. Κατά τη διάδοση των κυμάτων στην διεπιφάνεια των υλικών με διαφορετικές διηλεκτρικές σταθερές ένα μέρος του κύματος ανακλάται ενώ το άλλο επιστρέφει και εμπεριέχει πληροφορίες και το άλλο μέρος εξασθενεί.

Η συσκευή αποτελείται από την κεντρική μονάδα και την κεραία. Η κεντρική μονάδα εκτός από την απεικόνιση των αποτελεσμάτων έχει και την δυνατότητα απευθείας εκτύπωσης και αποθήκευσης σε κάρτα μνήμης. Η επιλογή της κεραίας καθορίζει το βάθος διεύθυνσης και τις πληροφορίες που θα λάβουμε. Υψηλής συχνότητας κεραίες χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό μικρότερων στόχων και για σάρωσεις στοιχείων μικρότερου πάχους. για σάρωσεις μεγαλύτερου βάθους επιλέγονται χαμηλότερης συχνότητας κεραίες. Η κεραία σύρεται στην επιφάνεια της εξεταζόμενης περιοχής και εκπέμπονται μαγνητικά κύματα συγκεκριμένης συχνότητας που εισέρχονται στο υλικό που εξετάζεται. Η ανταπόκριση του υλικού στον παλμό εξαρτάται από της ιδιότητες του υλικού οι πιο σημαντικές είναι ηλεκτρική αγωγιμότητα και η διηλεκτρική σταθερά. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα να προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα καθώς κατά την διέλευση του τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αποσβένουν. Όταν το σήμα διέρχεται μέσω ενός υλικού χαμηλής αγωγιμότητας όπως το στεγνό σκυρόδεμα, τότε είναι δυνατό να διαπεράσει το υλικό σε σημαντικό βάθος επειδή παραμένει σε ικανοποιητικό βαθμό άθικτο όσο μικρότερη είναι η αγωγιμότητα τόσο μεγαλύτερη είναι η διαπεραστικότητα.

Στο στεγνό σκυρόδεμα είναι εφικτή η διάγνωση βαθύτερων στόχων συγκριτικά με το σκυρόδεμα νεαρής ηλικίας.

Η διηλεκτρική σταθερά είναι η ικανότητα του υλικού να αποθηκεύει φορτίο, όταν σε αυτό εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο και καθορίζει την ταχύτητα με την οποία διέρχεται το ηλεκτρομαγνητικό σήμα μέσα στο υλικό. Όταν η διηλεκτρική σταθερά μειώνεται η διάδοση του σήματος στο υλικό αυξάνεται, και αντιστρόφως. Η συσκευή μετρά το χρόνο που απαιτήθηκε ώστε το σήμα να φτάσει στον δέκτη από την στιγμή της εκπομπής του οπότε, με δεδομένες την διηλεκτρική σταθερά και την ταχύτητα διάδοσης της μετατρέπεται σε πληροφορία.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι σε μικρό χρονικό διάστημα μπορεί να σαρώσει μεγάλες περιοχές, καθώς και η ευαισθησία της στην υγρασία.

Μειονέκτημα της είναι η μικρή διακριτική ικανότητα όταν οι ράβδοι οπλισμού είναι πυκνοί λόγω της αντανάκλασης, και από την επικάλυψη του οπλισμού.

[21, pp. 2,14], [22], [5, p. 74], [23, pp. 10-11,13,23]

1,4 ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΙΑΣ ΝΕΑΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕΣΩ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΡΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΡΑΠΑΝΟΥ

Νέα μέθοδο για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μέσω συσχέτισμού κατανάλωσης ρεύματος του κρουστικού δράπανου που απαιτείτε για την διατήρηση του σκυροδέματος ορισμένου βάθους, την διάμετρο του τρυπανιού και το χρόνο που απαιτείται για την εισχώρηση τρυπανιού στο σκυρόδεμα.

Εφαρμογή της μεθόδου

Προσαρμόστηκε εξοπλισμός σε κρουστικό δράπανο ώστε να καταγράφει την ισχύ που απαιτείται από το κρουστικό δράπανο, το χρόνο που απαιτείται και το βάθος διεισδύσεως. Ο τρόπος διατήρησης έγινε πιέζοντας το δράπανο κάθετα στην επιφάνεια του σκυροδέματος με βάθος διείσδυσης 30mm Η ενέργεια που καταναλώθηκε συσχέτισθηκε με την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος

Πλεονεκτήματα μεθόδου

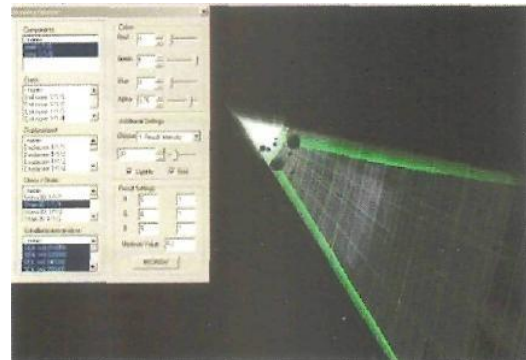
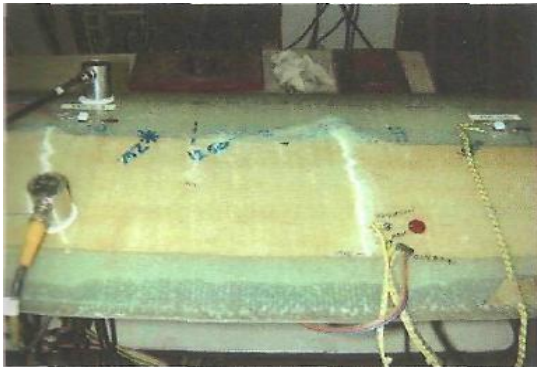
Ευκολία χειρισμού και χαμηλό κόστος

Δυνατότητα ελέγχου ακόμα και αν υπάρχει επίχρισμα

Μικρός χρόνος εφαρμογής [24, pp. 3-9]

1.5 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

1.5.1 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ



Εικόνα 1.22 , Εικόνα 1.23 Ακουστική εκπομπή [2, p. 16]

Είναι μια Μη-καταστροφική μέθοδο ελέγχου κατασκευών υψηλού κινδύνου, όπως δεξαμενές εύφλεκτων υγρών, πυρηνικοί αντιδραστήρες κλπ. Η σημασία της μεθόδου αυτής είναι πολύ μεγάλη. [2, p. 16]

Η Ακουστική εκπομπή βασίζεται στην ανάλυση και καταγραφή των ελαστικών κυμάτων που δημιουργούνται μέσα στο υλικό από την ενέργεια που απελευθερώνεται. [9, p. 76] Η πηγή των κυμάτων μπορεί να είναι τοπική μετατόπιση που συνοδεύει την πλαστική παραμόρφωση, ή η έναρξη και διάδοση αστοχίας στο υλικό. [11, p. 39]

Η τεχνική αυτή βασίζεται στο ότι τα υλικά εκπέμπουν ήχο όταν συμβαίνει κάποια μεταβολή στο εσωτερικό τους. για τον έλεγχο του υλικού το υποβάλλουμε είτε σε πίεση είτε σε άλλου είδους κόπωση και με ειδικά αισθητήρια (κυρίως πιεζοηλεκτρικές κεφαλές) εντοπίζουμε τα ηχητικά κύματα. [2, p. 16] Έχει διαπιστωθεί ότι οι ηχητικές πηγές προέρχονται κυρίως από «αδύναμες» περιοχές, που είναι ευκολότερο να αστοχήσουν ή που περιέχουν κάποια ρωγμή ή ατέλεια, εντοπίζοντας τα πιο επικίνδυνα σημεία μιας κατασκευής, που στην συνέχεια μπορούν να εξεταστούν και με άλλες μεθόδους ΜΚΕ, για να καταλήξουμε σε ένα ασφαλέστερο συμπέρασμα. [2, p. 17]

Πλεονέκτημα της ακουστικής μεθόδου είναι πως μας παρέχει την συνεχή παρακολούθηση του υλικού [2, p. 17], ανίχνευση ενεργών ασυνεχειών και ότι μπορούν να ελεγχθούν κατασκευές χωρίς να τεθούν εκτός λειτουργίας [25, pp. iso 10-11].

Μειονέκτημα της ακουστικής μεθόδου είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε περιβάλλον με εξωτερικό θόρυβο, ότι υποδεικνύει μόνο ένα εύρος που έχει υποστεί βλάβες. ([10, p. 10]

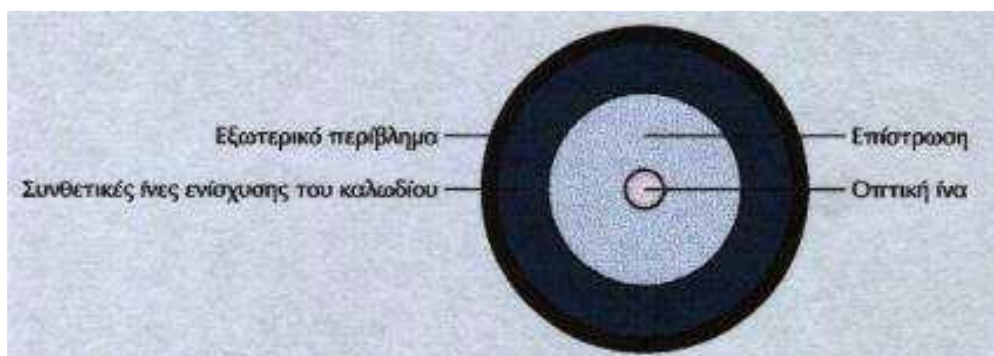
[10], [14, pp. 9-10], [11], [9], [25]

1.5.2 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Μια οπτική ίνα είναι μια γυάλινη ή πλαστική ίνα που μεταφέρει το φως κατά μήκος της. Το φως κατά την διέλευση του παραμένει στον πυρήνα της οπτικής λόγω του φαινομένου της ολικής ανάκλασης. Αυτό οδηγεί την ίνα να λειτουργήσει ως κυματοδηγός. Οι ίνες οι οποίες υποστηρίζουν πολλές συχνότητες διερχόμενου φωτός ονομάζονται πολύτροπες (multi-mode fibers, MMF) και μπορούν να μετρήσουν έως 100 σημεία κατά το μήκος μίας οπτικής ίνας [26, p. 6], ενώ εκείνες που μπορούν να μεταφέρουν φως μιας μόνο συχνότητας ονομάζονται μονότροπες (single-mode fibers, SMF). Οι πολύτροπες έχουν γενικά μεγαλύτερη διάμετρο πυρήνα, και χρησιμοποιούνται για τις υποθαλάσσιες συνδέσεις επικοινωνίας μεγάλων αποστάσεων και για εφαρμογές όπου υπάρχει ανάγκη μεταφοράς μεγάλου όγκου δεδομένων. Συνήθως οι μονότροπες ίνες χρησιμοποιούνται σε ζεύξεις επικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων. [27, p. 7]

Η ένωση οπτικών ινών είναι πιο πολύπλοκη απ' ότι η ένωση συρμάτων ή καλωδίων. Τα άκρα των ινών πρέπει να είναι κομμένα με προσοχή, και στη συνέχεια, συγκολλημένα μαζί με μηχανική πίεση ή με σύντηξη χρησιμοποιώντας ηλεκτρικό τόξο. Η βασική κατασκευή μιας οπτικής ίνας στο κέντρο του καλωδίου υπάρχει η οπτική ίνα, η οποία κατασκευάζεται από γυαλί ικανό να μεταφέρει φωτεινή δέσμη συγκεκριμένου μήκους κύματος με πολύ λίγες απώλειες.

Την οπτική ίνα περιβάλλει ειδική επίστρωση υλικού με μικρότερο δείκτη διάθλασης από το υλικό της ίνας, το οποίο ονομάζεται cladding ή buffer. Το υλικό αυτό βοηθά στη συνεχή ανάκλαση της φωτεινής δέσμης, η οποία θα εισέλθει μέσα στην οπτική ίνα, εφόσον η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της οριακής διότι σε άλλη περίπτωση θα έχουμε διάθλαση στην εξωτερική επίστρωση -cladding (σχήμα 1.7). Με αυτό τον τρόπο η οπτική ίνα εγκλωβίζει τη δέσμη του φωτός και την οδηγεί στην άκρη της.



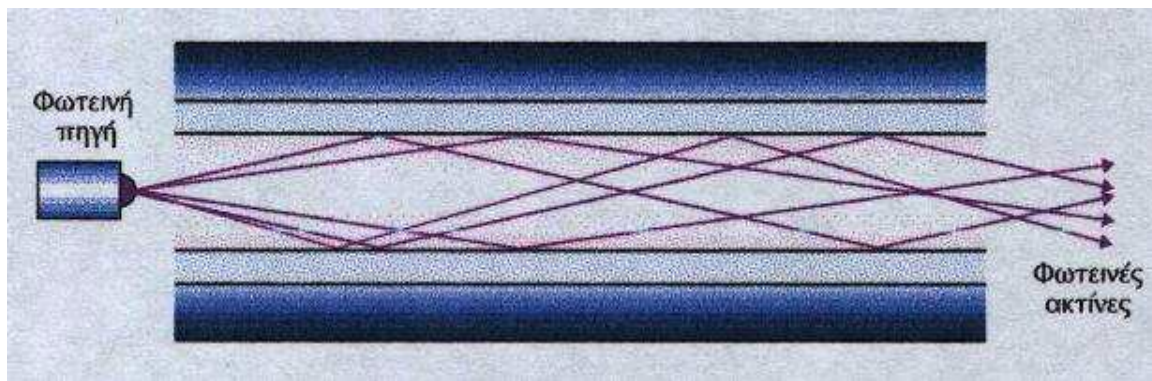
Σχ. 1.7 οπτική ίνα [27, p. 8]

Την επίστρωση περιβάλλει δέσμη συνθετικών ινών, οι οποίες έχουν στόχο την προστασία της ίνας από πιθανά τραβήγματα, όπου είναι επικίνδυνο να σπάσει το γυαλί, το οποίο αποτελεί και τον πυρήνα της ίνας. Όλα τα παραπάνω περικλείονται σε εξωτερικό πλαστικό περίβλημα όμοιο με αυτό των καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών. Υπάρχουν επίσης οπτικές ίνες, οι οποίες

κατασκευάζονται από πλαστικό. Προς το παρόν δεν είναι μέσα στις προδιαγραφές, που καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα. Οφείλουμε, όμως, να σημειώσουμε, ότι καταβάλλονται προσπάθειες για να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά τους και ειδικά η πολύτροπη, graded index πλαστική ίνα ενδέχεται να αποτελέσει αξιόπιστο μέσο μετάδοσης εφάμιλλο της γυάλινης ίνας. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες έχουν τυπικά μεγέθη 50μm/125μm, 62,5/125, 85/125 ή 100/140. Ο συνηθέστερος τύπος, ο οποίος κυκλοφορεί, είναι ο 62,5/125. Η ολική διάμετρος της οπτικής ίνας συμπεριλαμβανομένων των ενισχυτικών συνθετικών ινών και του εξωτερικού περιβλήματος φτάνει τα 900μm. Η αρχή μετάδοσης σε πολύτροπη οπτική ίνα είναι ότι οι διάφορες ακτίνες του οπτικού σήματος ανάλογα με την είσοδο τους στην οπτική ίνα ταξιδεύουν ανακλώμενες υπό διαφορετικές γωνίες,

Οπτική ίνα διακριτού δείκτη (step index)

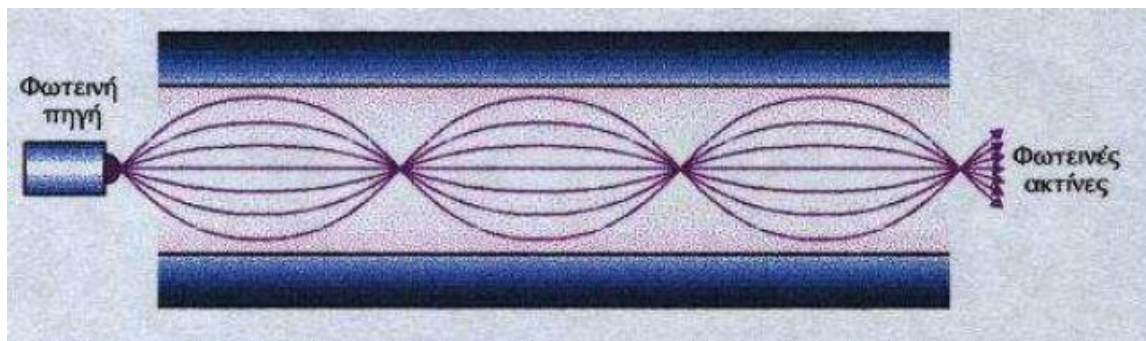
Στις ίνες αυτές συμβαίνει απότομη μεταβολή του δείκτη διάθλασης μεταξύ της κεντρικής ίνας και του υλικού επίστρωσης. Στην περίπτωση αυτή, η πορεία των ακτινών εμφανίζεται στο Σχήμα 1.8.



Σ.χ 1.8 Οπτική ίνα διακριτού δείκτη [27, p. 10]

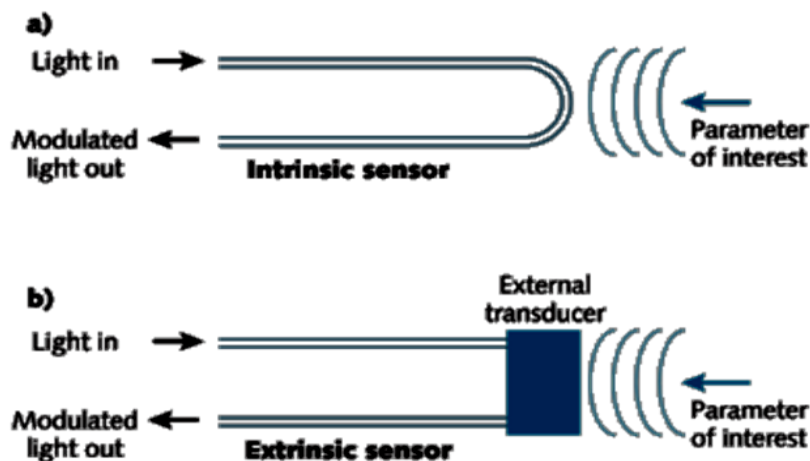
Οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη (graded index)

Οι ίνες αυτές χαρακτηρίζονται από βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης του υλικού της κεντρικής ίνας, δηλαδή έχουμε μια βαθμιαία μείωση στο δείκτη διάθλασης όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς την εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού. Η πορεία των ακτινών σε μια τέτοια ίνα είναι αυτή, που φαίνεται στο Σχήμα 1.9.



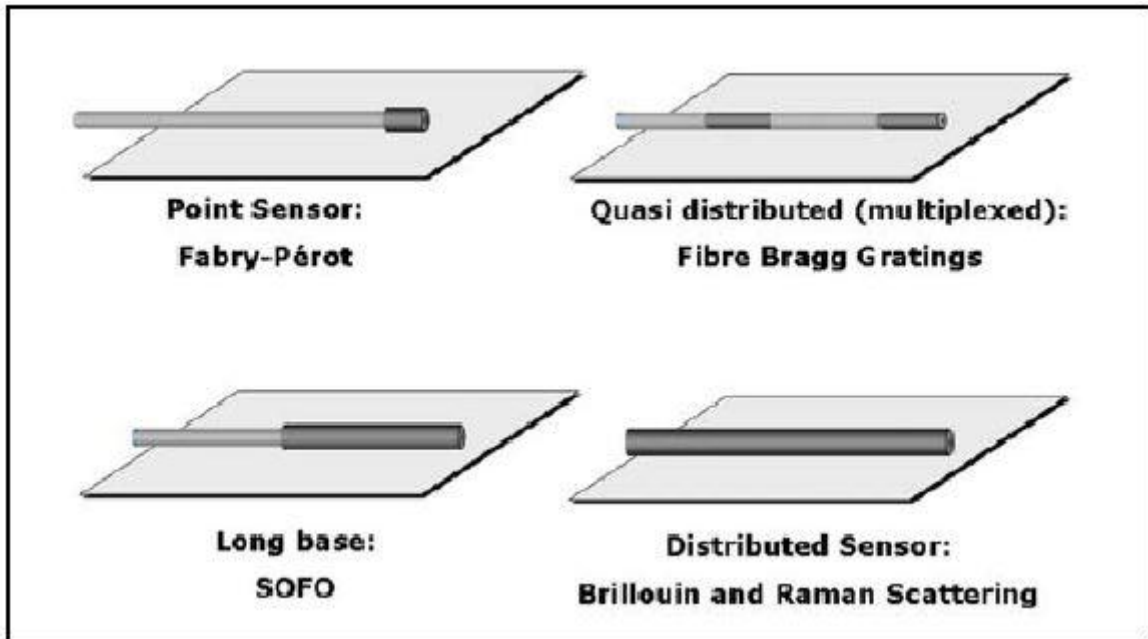
Βελτίωση των τρεχόντων αισθητήρων οπτικών ινών αναμένεται να οδηγήσει σε καλύτερη απόδοση, μεγαλύτερη αξιοπιστία και μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών.

Γενικά οι αισθητήρες οπτικών ινών διαχωρίζονται αναλόγως με το αν είναι εσωτερικοί (intrinsic) ή εξωτερικοί (extrinsic) . Οι εσωτερικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν ένα μέρος της ίδιας της οπτικής ίνας σαν αισθητήριο στοιχείο. Οποιαδήποτε περιβαλλοντική μεταβολή μπορεί να διαφοροποιήσει τις ιδιότητες της φωτεινής δέσμης που περνάει μέσα από την ίνα. Οι διαφοροποιήσεις αυτές μπορεί να είναι στην ένταση, στην φάση ή στην πόλωση. Ουσιαστικά, κάθε περιβαλλοντική επίδραση μπορεί να μετατρέπεται σε ένα οπτικό σήμα που μπορεί να ερμηνευθεί. Η ερμηνεία αυτή μπορεί να γίνει από πολλά διαφορετικά είδη εσωτερικών αισθητήρων οπτικών ινών. [26, p. 5] Το κλειδί όμως είναι ο σχεδιασμός κάθε φορά του κατάλληλου αισθητήρα για την μέτρηση της επιθυμητής παραμέτρου. Αντίθετα οι εξωτερικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν την οπτική ίνα απλά σαν μέσο μεταφοράς του φωτός η οποία το διανέμει από και προς μια αισθητήριο κεφαλή στο τέλος της ίνας (βλ. σχήμα 1.10). Η αισθητήριο κεφαλή μπορεί να περιέχει καθρέπτες, κάποιο αέριο ή υγρό αλλά και πολλούς άλλους μηχανισμούς που μπορούν να δημιουργήσουν, να διαμορφώσουν ή να διαφοροποιήσουν μια ακτίνα φωτός. [26, p. 5]



Σχ. 1.10 Αναπαράσταση λειτουργίας εσωτερικού και εξωτερικού αισθητήρα.

Ανάλογα με τη θέση και το μέγεθος του αισθητήριου στοιχείου, οι αισθητήρες οπτικών ινών ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες όπως φαίνεται παρακάτω (βλ. σχήμα 1.11) : [26, p. 5]



Σχήμα 1.11: Τύποι αισθητήρων ανάλογα με τη θέση και το μέγεθος του αισθητήριου στοιχείου. [26, p. 6]

Διαχωρισμός που εξαρτάται από την ιδιότητα του φωτός που χρησιμοποιείται από τους αισθητήρες

Ανάλογα με την ένταση του φωτός (intensity).

Ανάλογα με τη διαφορά φάσης μεταξύ δυο μηκών κύματος (interferometric).

Ανάλογα με τον συντονισμό της συχνότητας σε μια οπτική κοιλότητα (Fabry- Perot).

Με βάση την σκέδαση του φωτός. Οπισθοσκεδαζόμενοι καταναμεημένοι αισθητήρες (Rayleigh, Raman, Brillouin).

Με βάση την πόλωση του φωτός (polarimetric) και

Με βάση τις φασματικές παρεμβολές

Κατηγοριοποίηση αισθητήρων βάση εφαρμογών [26, p. 6]

Φυσικοί αισθητήρες είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση φυσικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η παραμόρφωση κ.α. Χημικοί αισθητήρες είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του pH, την ανάλυση αερίων κ.α. Τέλος βιοϊατρικοί αισθητήρες είναι αυτοί που εφαρμόζονται στην βιολογία και την ιατρική για μέτρηση της ροής του αίματος, της σύστασης της γλυκόζης κ.α. Εννοείται βέβαια, πως όλοι οι προηγούμενοι τύποι αισθητήρων ανήκουν και στις κατηγορίες αισθητήρων που αναφέρθηκαν σε αυτή την παράγραφο. [26, p. 6]

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα:

1. Η οπτικοί αισθητήρες κατασκευάζονται εξολοκλήρου από διηλεκτρικά υλικά τα οποία είναι χημικά αδρανή. [26, p. 7]
2. είναι ιδανικοί για εφαρμογές σε διαβρωτικά περιβάλλοντα διότι αποτελούνται από διηλεκτρικά υλικά τα οποία είναι χημικά αδρανή δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές λόγο ότι η οπτική ίνα είναι διηλεκτρικό μέσο. έχουν αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες λόγο ότι η οπτική ίνα έχει υψηλό σημείο τήξης για αντοχή σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες χρησιμοποιείτε προστατευτικό κάλυμμά.
3. Με το μικρό τους μέγεθος και βάρος τούς μπορούν να ενσωματωθούν μέσα σε μια σύνθετη κατασκευή χωρίς να επηρεάζεται η αντοχή της.
4. Ολοκληρωμένη τηλεμετρία τεράστιος αριθμός αισθητήρων μπορεί να τοποθετηθεί σε μια οπτική ίνα κάνοντας χρήση τεχνικών πολυπλεξίας (multiplexing) [26, p. 8]
5. Μειονεκτήματα:
6. πολύ μεγάλο κόστος
7. Η ευαισθησία του αισθητήρα λόγο ότι η ευαισθησία του αισθητήρα δεν διαχωρίζει την θερμοκρασία από την παραμόρφωση για την αντιμετώπιση που προβλήματος χρησιμοποιείτε ένας αισθητήρας που μετρά την θερμοκρασία και την παραμόρφωση και αφαιρείτε η θερμοκρασία και ξέρουμε πόση είναι η παραμόρφωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΤΣΙΜΕΝΤΟ



Εικόνα 2.1 Τσιμέντο πορτλαντ (<http://www.tsimentakritis.gr/>)

Το τσιμέντο είναι ένα υδραυλικό συνδετικό υλικό ανόργανο σε σκόνη που με την ανάμειξη του σε νερό σχηματίζει μια πάστα που πήζει και σκληραίνει μέσω αντιδράσεων και διεργασιών ενυδάτωσης μετά την σκληρυσήτου του αποκτά την αντοχή και τη σταθερότητα του ακόμα και μέσα σε νερό. [28], [29], [30], [31], [9, p. 16], [32]

2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Το πρώτο τσιμέντο που χρησιμοποίησε η ανθρωπότητα ως δομικό υλικό ήταν το φυσικό τσιμέντο που είχε δημιουργηθεί λόγω έντονων γεωλογικών μεταβολών, το φυσικό τσιμέντο προϋπήρχε τουλάχιστον εδώ και 12 εκατομμύρια χρόνια [29] Το αρχαιότερο Σκυρόδεμα ανακαλύφθηκε το 1985 στο Ισραήλ και αποτελούταν από μίγμα άσβεστη και πετρών [29]

Το τσιμέντο είναι βιομηχανικό υλικό που παράγεται με την έψηση σε ειδικούς κλιβάνους μίγματος από αλεσμένο ασβεστόλιθο και άργιλο, σε θερμοκρασίες της τάξης των 1450οC. Το προϊόν που προκύπτει στις συνθήκες αυτές από τον ορυκτολογικό μετασχηματισμό των α' υλών ονομάζεται κλίνκερ και στην συνέχεια αλέθεται σε σκόνη για να γίνει το τσιμέντο

Για την επιβράδυνση της διαδικασίας της ενυδάτωσης και για τον έλεγχο της σκλήρυνσης και της εργασιμότητας, προστίθεται κατά την άλεση μικρή ποσότητα γύψου.

Το τσιμέντο είναι το βασικό συστατικό για την παραγωγή του σκυροδέματος, που είναι το πλέον διαδεδομένο δομικό υλικό παγκοσμίως. Η παραγωγή τσιμέντου παγκοσμίως παρουσιάζει αλματώδη αύξηση. [28], [29], [30], [31], [33, p. 7]

2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Η σημαντικότερη παράγοντες που επηρεάζουν την πορεία της ενυδάτωσής είναι:

Ηλικία

Στην αρχή η ταχύτητα είναι μέγιστη ενώ σταδιακά ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου έως ο του σταματήσει

Σύσταση τσιμέντου

Σε τσιμέντα πλούσια σε C3S και C3A στην αρχή η ταχύτητα ενυδάτωσης είναι αυξημένη αρχικά , ενώ αργότερα η ενυδάτωση γίνεται με ίσες ταχύτητες.

Λεπτότητα

Η λεπτότητα αυξάνει την ενυδάτωση στα αρχικά στάδια χωρίς να επηρεάζει τον τελικό βαθμό ενυδάτωσης

Λόγος Νερού/Τσιμέντου

Ο τελικός βαθμός ενυδάτωσης μειώνεται με τη μείωση του λόγου N/T.

Θερμοκρασία

Με τη θερμοκρασία του τσιμεντοπολτού επέρχεται αύξηση ταχύτητας ενυδάτωσης χωρίς όμως να επηρεάζεται ο τελικός βαθμός ενυδάτωσης.

Πρόσμικτα χρησιμοποιούνται για να επιβραδύνουν την ενυδάτωση, και άλλα για να την επιταχύνουν [33, pp. 8-9]

2.3 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ

Για την παραγωγή του τσιμέντου χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες αλλά και υλικά υποκατάστασης (ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα,σκωρία υψικαμίνου κλπ.) που βρίσκονται σε κάθε χώρα. Με βάση τη διαθεσιμότητα των υλικών αλλά και τις απαιτήσεις των εφαρμογών, δημιουργήθηκαν οι διάφοροι τύποι τσιμέντων που παράγονται παγκοσμίως, όπως καθαρό ή αμιγές τσιμέντο, τσιμέντο με ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία,πυριτική παιπάλη κλπ., τα οποία περιλαμβάνονται στο πρότυπο (Πίνακας 2.2). Προβλέπονται συνολικά 27 τύποι τσιμέντων τα οποία όμως δεν παράγονται ή δεν κυκλοφορούν κατ' ανάγκη σε κάθε χώρα μέλος, λόγω των ιδιαιτεροτήτων που προαναφέρθηκαν. Το πρότυπο EN 197-1 προδιαγράφει σε γενική μορφή τους εξής τύπους τσιμέντου : [28]

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II	Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο

Πίνακας 2.1: Βασικοί τύποι τσιμέντου

(<http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/cement/codes->)

Το είδος και το ποσοστό των συστατικών του τσιμέντου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή, σύμφωνα με το πρότυπο, καθορίζουν τους τύπους και τα 27 προϊόντα τσιμέντου που αναλυτικά αναφέρονται στον Πίνακα 2.2. [28]

Πίνακας 2: Αναλυτικός πίνακας των τύπων τσιμέντου* που θα κυκλοφορούν στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στις γώρες που ακολουθούν τα πρότυπα CEN.

Κύριοι τύποι	Ονομασία των 27 προϊόντων (τύποι κοινών τσιμέντων)	Σύνθεση (επι της % κατά μάζα) ^{α)}										Δευτερεύοντα συστατικά						
		Κύρια συστατικά																
		Κλίνκερ Κ	Σκωρία υφικα-μίνου S	Πυριτική παυάλη β) D	Ποζολάνη φυσική Φυσική Φυσιική ηημένη P Q		Ιπάάμενες τέφρες Πυριτική κή V Ασβε-στούγος W		Ψημένος σχιστόλιθος T	Ασβεστό-λιθος L LL								
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με Σκωρία Υφικαίωνων	CEM III/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
CEM II	Τσιμέντο Πόρτλαντ με πυριτική παυάλη	CEM III/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με ποζολάνη	CEM III/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με ιπάάμενη τέφρα	CEM III/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM III/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM III/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM III/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM III/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM III/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με ηημένο σχιστόλιθος	CEM III/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM III/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM III/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM III/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5	
		Τσιμέντο Πόρτλαντ με ασβεστόλιθος	CEM III/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5
			CEM III/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5
	CEM III/A-LL		80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5	
	CEM III/B-LL		65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5	
	Τσιμέντο Πόρτλαντ-σύνθετο ^{γ)}	CEM III/A-M	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM III/B-M	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
CEM III	Σκωριοτσιμέντο	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
CEM IV	Ποζολανικό τσιμέντο ^{γ)}	CEM IV/A	65-89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	CEM IV/B	45-64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
CEM V	Σύνθετο τσιμέντο ^{γ)}	CEM V/A	40-64	18-30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	CEM V/B	20-39	31-50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		

α) Οι τιμές του πίνακα αναφέρονται στο σύνολο των κυρίων και δευτερευόντων συστατικών
β) Το ποσοστό της πυριτικής παυάλης περιορίζεται στο 10%
γ) Στα τσιμέντα Πόρτλαντ-σύνθετα CEM III/A-M και CEM III/B-M, στα ποζολανικά τσιμέντα CEM IV/A και CEM IV/B και στα σύνθετα τσιμέντα CEM V/A και CEM V/B τα κύρια συστατικά άξι του κλίνκερ πρέπει να δηλώνονται στην ονομασία του τσιμέντου (για παράδειγμα βίλεπε κεφάλαιο 8).

Πίνακας 2.2(<http://www.hcia.gr>)

Επίσης προδιαγράφονται και 6 κατηγορίες αντοχών, στις οποίες κατατάσσονται τα τσιμέντα, ανάλογα με την αντοχή σε θλίψη τσιμεντοκονιάματος, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 196-1 [28]

Κάθε κατηγορία ορίζεται από ένα κατώτερο και ένα ανώτερο όριο αντοχής. Το κατώτερο όριο αντοχής των 28 ημερών χαρακτηρίζει την συγκεκριμένη κατηγορία. Κάθε μία από τις παραπάνω περιλαμβάνει δύο υποκατηγορίες ανάλογα με τον χρόνο ανάπτυξης της αντοχής : Κανονική (N) ή Ταχεία (R). [28] (Πίνακας 2.3)

Πίνακας 2.3: Απαιτήσεις μηχανικές και φυσικές οριζόμενες ως χαρακτηριστικές τιμές

Κατηγορία Αντοχής	Αντοχή στη θλίψη MPa			Αρχικός χρόνος πήξης	Διόγκωση (Διαστολή)
	Αρχική αντοχή		Τυπική αντοχή		
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες		
32,5 N	-	≥ 16.0	≥ 32,5 ≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10.0	-			
42,5 N	≥ 10.0	-	≥ 42,5 ≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20.0	-			
52,5 N	≥ 20.0	-	≥ 52,5 -	≥ 45	
52,5 R	≥ 30.0	-			

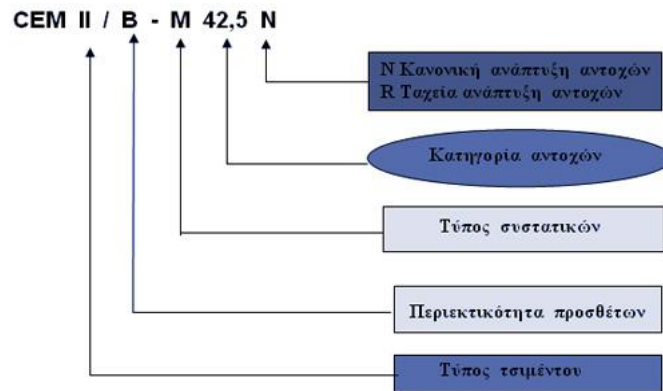
Πίνακας 2.3: Απαιτήσεις μηχανικές και φυσικές οριζόμενες ως χαρακτηριστικές τιμές
(<http://www.hcia.gr>)

Η συμμόρφωση των τσιμέντων ως προς τα όρια αντοχών είναι στατιστική και περιγράφεται στο πρότυπο.

Ο συμβολισμός των διαφόρων τσιμέντων, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1, καθορίζεται από:

- τον κύριο τύπο τσιμέντου,
- το ποσοστό clinker,
- τον τύπο του δεύτερου κύριου συστατικού,
- την κατηγορία αντοχής,
- το επίπεδο της πρώιμης αντοχής, [28]

όπως παραστατικά φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Ονοματολογία Τσιμέντων ΕΛΟΤ EN 197-1 (<http://www.hcia.gr>)



Εικόνα 2.2 Παρασκευή σκυροδέματος (<https://www.karaloucasbeton.com>)

2.4 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το σκυρόδεμα έχει την ιδιότητα να περνάει σε μικρό χρονικό διάστημα από τη ρευστή κατάσταση (νωπό), στη στερεά (σκληρυμένο), παρέχοντας τη δυνατότητα να μορφωθεί σε καλούπια κάθε σχήματος, που θα μπορούσε να επιθυμήσει κανείς, πριν στερεοποιηθεί και αποκτήσει τις τελικές αντοχές του. [33, p. 5]

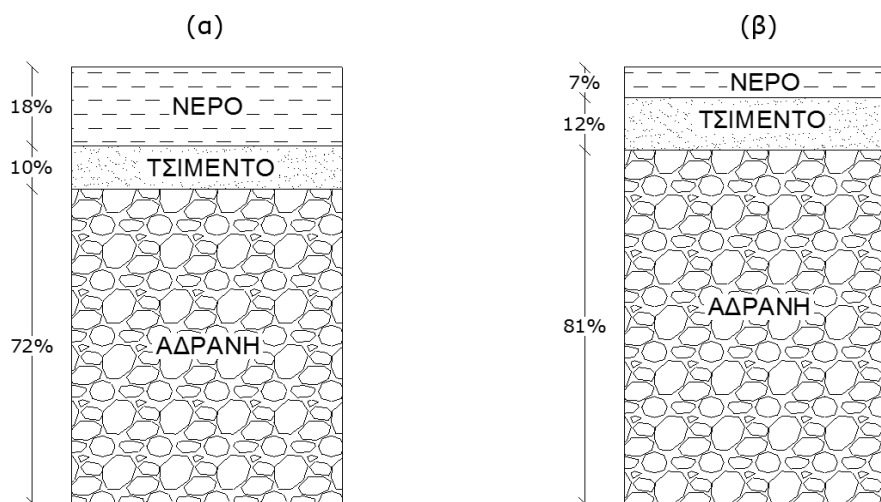
Η κλασική χρήση του σκυροδέματος είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα, όπου η μάζα του ενισχύεται με σίδηρο οπλισμό, ο οποίος του προσδίδει την εφελκυστική και διατμητική αντοχή

που του λείπει, ενώ συνεισφέρει και στην παραλαβή των θλιπτικών τάσεων. Τα δύο υλικά συνεργάζονται άριστα με καλή αμοιβαία πρόσφυση, ίδιες θερμοκρασιακές διαστολές και προστασία του οπλισμού από το σκυρόδεμα έναντι σκουριάς. [33, p. 5].

Το σκυρόδεμα παρασκευάζεται με μίξη σε διάφορες αναλογίες τσιμέντου, αδρανών, άμμου και νερού, και σε κάποιες περιπτώσεις πρόσμικτα πχ υπερρρευστοποιητή όταν θέλουμε να βελτιώσουμε την εργασιμότητα.

.Αναφορικά με το ρυθμό σκλήρυνσης του σκυροδέματος : Σε γενικές γραμμές, σε τρεις μέρες αποκτά το 50 % της τελικής αντοχής του, σε μια εβδομάδα αποκτά το 70 % της τελικής αντοχής του και σε εικοσιοκτώ ημέρες περί το 90 %. Το 100 % το αποκτά μετά παρέλευση πολλών ετών. Υπό καλές συνθήκες περιβάλλοντος, το όριο ηλικίας του σκυροδέματος μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ τα 100 χρόνια χωρίς σημαντικές αλλοιώσεις στη μάζα του και στον οπλισμό. [34, p. 25]

Ενδεικτικές αναλογίες κατά όγκο και κατά βάρος των επιμέρους υλικών του οπλισμένου παρουσιάζονται στο σχήμα 2.2. Είναι προφανές ότι το ποσοστό των αδρανών και του τσιμέντου είναι μεγαλύτερο όταν παρουσιάζονται οι αναλογίες βάρους σε σχέση με τις αναλογίες όγκου, λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους των υλικών αυτών σε σχέση με το ειδικό βάρος του νερού. [34, p. 26]



Σχήμα 2.2: Ενδεικτικές αναλογίες υλικών κατά όγκο (α) και κατά βάρος (β) νωπού σκυροδέματος (<https://encrypted-tbn0.gstatic>)

2.5 ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.5.1 ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑ

Είναι η ιδιότητα του νωπού σκυροδέματος που χαρακτηρίζει την ευκολία με την οποία αυτό μεταφέρεται, διαστρώνεται και συμπυκνώνεται. [31]

2.5.2 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΟΣ ΧΡΟΝΟΥ)

Είναι η αντίσταση του σκυροδέματος σε επιδράσεις που ασκούνται από το εξωτερικό περιβάλλον και δρουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. [31]

Οι παράγοντες που καθορίζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος

- Διαπερατότητα του σκυροδέματος.
- Περιβάλλον έκθεσης. [31]

Οι παράγοντες που συντελούν στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος είναι:

- Η χρησιμοποίηση σκληρών αδρανών υλικών με κανονική κοκκομετρική διαβάθμιση
- Η σωστή αναλογία νερού – τσιμέντου
- Η καλή ανάμιξη και συμπίεση του σκυροδέματος [33, p. 11]

2.5.2 ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η σημαντικότερη ιδιότητα του σκυροδέματος είναι η θλιπτική του αντοχή. Συμβολίζεται ως (c : concrete) στους κανονισμούς οπλισμένου σκυροδέματος και αναφέρεται στην μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Η αντοχή αυτή μετράται στις 28 ημέρες σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150mm και ύψους 300mm ή κυβικά δοκίμια ακμής 150 mm, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος. [34, p. 26]

Η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, δηλαδή η μέση τιμή των αντοχών δύο ή περισσότερων δοκιμίων από το ίδιο δείγμα σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από την χαρακτηριστική αντοχή. Ο ΕΚ2 συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη με την παρακάτω σχέση:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ (MPa)} \quad (2.1) \text{ [34, p. 26]}$$

f_{ck} ορίζεται η χαρακτηριστική τιμή θλιπτικής αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου. [34, p. 26]

Η αντοχή του σκυροδέματος στη θλίψη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- Την ποιότητα των υλικών
- Τις αναλογίες των υλικών ανάμειξης
- Τον τρόπο μεταφοράς, τοποθέτησης και συμπύκνωσης του σκυροδέματος
- Το ποσοστό των κενών
- Το λόγο νερού – τσιμέντου (W/C ratio)

Ο λόγος νερού είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας, που επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη. Γιατί όσο αυξάνεται ο λόγος νερού/τσιμέντου μειώνεται η αντοχή του σκυροδέματος. συνήθως είναι 0,45 για να είναι εργάσιμο. [33, p. 11]

Κατηγορίες σκυροδέματος	fck κυλ. (MPa)	fck κύβου (MPa)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	15	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

πίνακας 2.4 <https://openclass.teiwm.gr/modules/document/file.php.pdf> pp.5

Στον πίνακα 2.4 παρουσιάζονται οι κατηγορίες σκυροδέματος οι οποίες ορίζονται με βάση την χαρακτηριστική τιμή (σε MPa) της θλιπτικής αντοχής.

Παρατηρούμε ότι η χαρακτηριστική τιμή της θλιπτικής αντοχής των κυβικών δοκιμίων είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή των αντίστοιχων κυλινδρικών. Στην πράξη όλοι οι υπολογισμοί για τις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος γίνονται με βάση $f_{ck,cube}$ την χαρακτηριστική τιμή της θλιπτικής αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων.

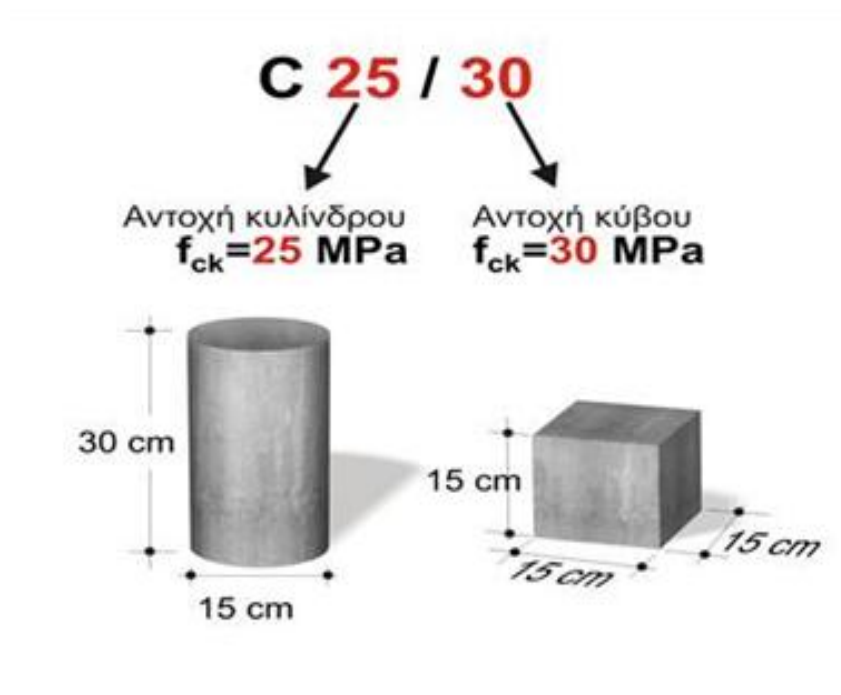
[34, pp. 26-27], [33, pp. 11-12]

2.5.3 ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΤΡΙΒΗ

Σκυροδέματα που έχουν υψηλή αντοχή στη θλίψη, παρουσιάζουν αντοχή στην τριβή. παράγοντες, που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος στην τριβή, είναι οι ίδιοι με στην αντοχή του σε θλίψη [33, p. 12]

2.5.4 ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΙ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑ

Το σκυρόδεμα είναι πορώδες υλικό αποτελείται από τριχοειδείς πόρους στη μάζα του και κενά λόγω ότι παρουσιάζονται περιοχές με ελαττωμένη συμπίκνωση όσο καλά και να έχει γίνει η διάστρωση και η δόνηση, τα αδρανή είναι πορώδη υλικά, το μεγάλο πορώδες μειώνει την αντοχή, τη στεγανότητα και αυξάνει την αεροπερατότητα και την υδροπερατότητα. [33, p. 12]



Εικόνα 2.3 Δοκίμια Σκυροδέματος(<https://www.buildinghow.com/el-gr>)

2.5.5 ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Εφελκυστική αντοχή είναι η μέγιστη τάση την οποία μπορεί να παραλάβει το άοπλο σκυρόδεμα όταν υποβάλλεται και μόνοαξονικο εφελκυσμό μέχρι να επέλθει ριγμάτωση .Η αντοχή σε εφελκυσμό είναι από 1/10 μέχρι 1/15 της αντοχής σε θλίψη και η αντοχή σε κάμψη από 1/7 μέχρι 1/10 της αντοχής σε θλίψη. Συμβολίζεται ως (t: tension).Το σημαντικότερο πρόβλημα του σκυροδέματος είναι η μικρή τιμή της εφελκυστικής αντοχής για αυτό τοποθετούνται στο σκυρόδεμα οπλισμοί από χάλυβα, οι οποίοι είναι αυτοί που καλούνται να παραλάβουν τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στα δομικά στοιχεία.

Τα αδρανή με γωνιώδεις κόκκους δίνουν σκυροδέμα ισχυρότερο σε εφελκυσμό και σε κάμψη από αυτά που έχουν στρογγυλεμένους κόκκους. [34, p. 27], [33, p. 12]

2.6 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Για την παρασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται τσιμέντο, νερό, αδρανή σε αναλογία που καθορίζεται σε σχέση με την κατηγορία σκυροδέματος που θέλουμε. Είναι ένα υλικό που χρησιμοποιήστε κατά κόρων σε έργα υποδομής και κτίρια.

2.6.1 ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



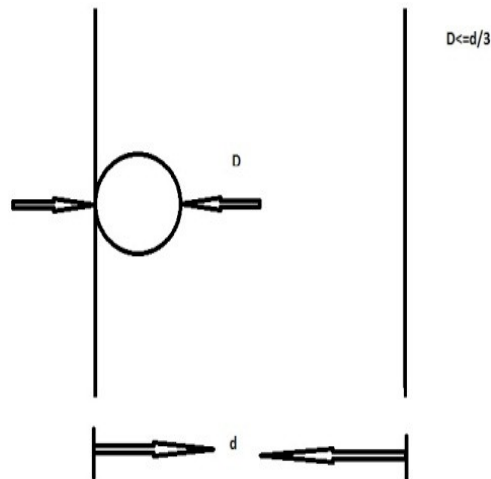
Εικόνα 2.4 Αλληλουχία διεργασιών για την παραγωγή αδρανών υλικών σε υπαίθριο λατομείο (<http://www.orykta.gr>)

Αδρανή ονομάζονται τα φυσικά ή τεχνητά πετρώματα (όπως η άμμος, τα χαλίκια, τα σκύρα και ανακυκλώσιμα υλικά), με διάφορα μέγεθη κόκκων, και προέρχονται από την εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων ή από την απόληψη φυσικών αποθέσεων και σπάζονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο. Χρησιμοποιούνται στα τεχνικά έργα με άλλο συγκολλητικό υλικό ή αυτούσια, είναι οι πιο χρησιμοποιούμενες φυσικές πρώτες ύλες τη υφελίου. [35, p. 14] [36, pp. 11-13], [30] [37]

Αποτελούν το κύριο υλικό του σκυροδέματος, αποτελούν κατά προσέγγιση το 80% του συνολικού βάρους του και καταλαμβάνουν το 70-75% του όγκου του σκυροδέματος. Για υψηλής ποιότητας σκυροδέματος, τα αδρανή καθαρίζονται και κοκκομετρούνται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις με μηχανικές διεργασίες. Η χρήση κατάλληλου μεγέθους και

κατάλληλης ποιότητας αδρανών βελτιώνει την ποιότητα του σκυροδέματος. Λέγονται αδρανή γιατί δεν αντιδράνε χημικά με τις συγκολλητικές ύλες. ([36, pp. 11-13], [37] [30], [38, pp. 92-94]

Το κοκκομετρικό φάσμα, η αντοχή, το σχήμα και το ειδικό βάρος των αδρανών επηρεάζουν άμεσα τις ιδιότητες του σκυροδέματος [35, p. 15]



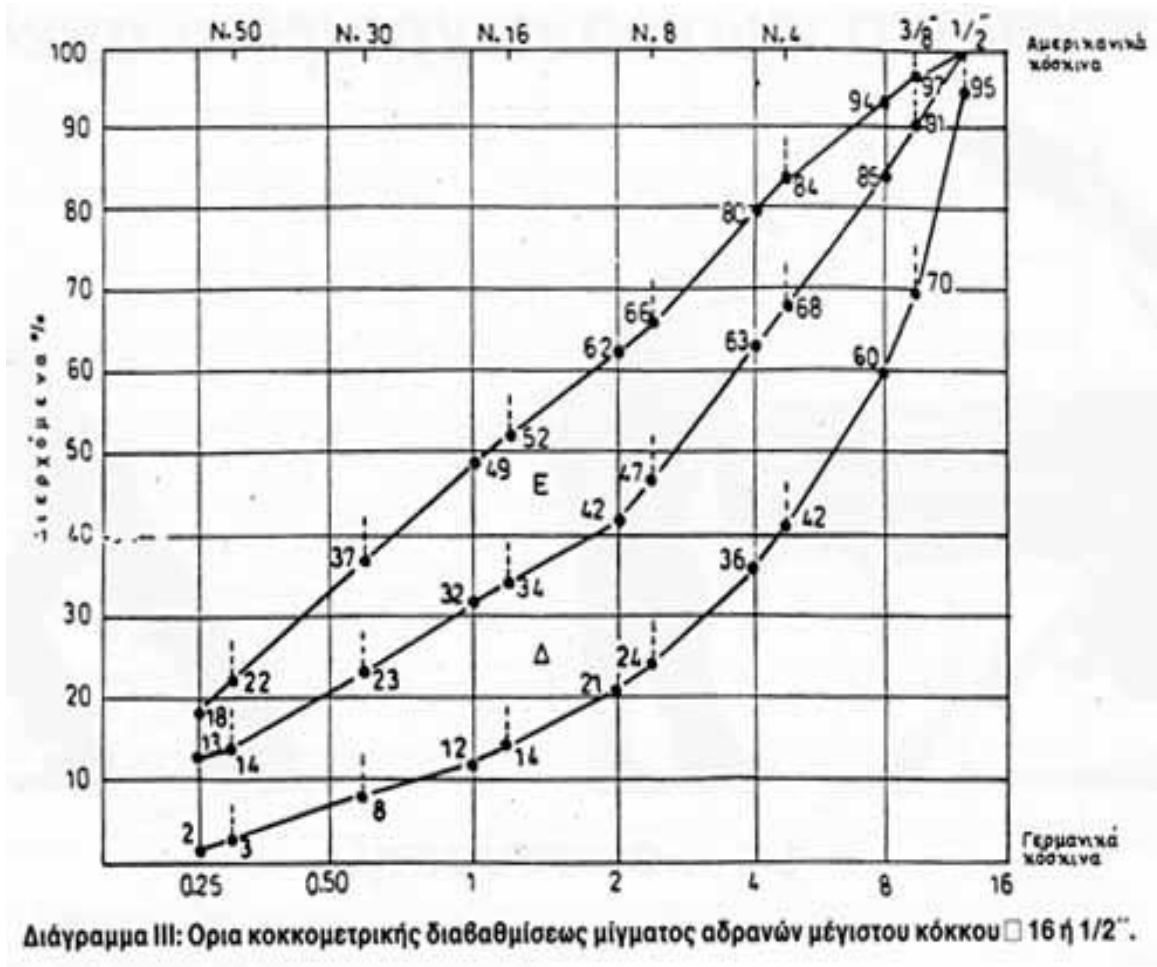
Σχ. 2.3α: Περιορισμός διαστάσεων του μέγιστου κόκκου αδρανών σε συνάρτηση με το πάχος του στοιχείου [35, p. 15]

α) κοκκομετρική σύνθεση

Ο μέγιστος κόκκος των αδρανών δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1/3 της μικρότερης διαστάσεως του προς σκυροδέτηση δομικού στοιχείου (Σχ. 2.3α) και η μέγιστη διάσταση των κόκκων των αδρανών δεν πρέπει να υπερβαίνει την οριζόντια και κατακόρυφη ελεύθερη απόσταση μεταξύ παράλληλων ράβδων του οπλισμού. Πάντως, καλό είναι να χρησιμοποιούνται αδρανή με μέγιστο κόκκο 32 mm. [35, p. 15]

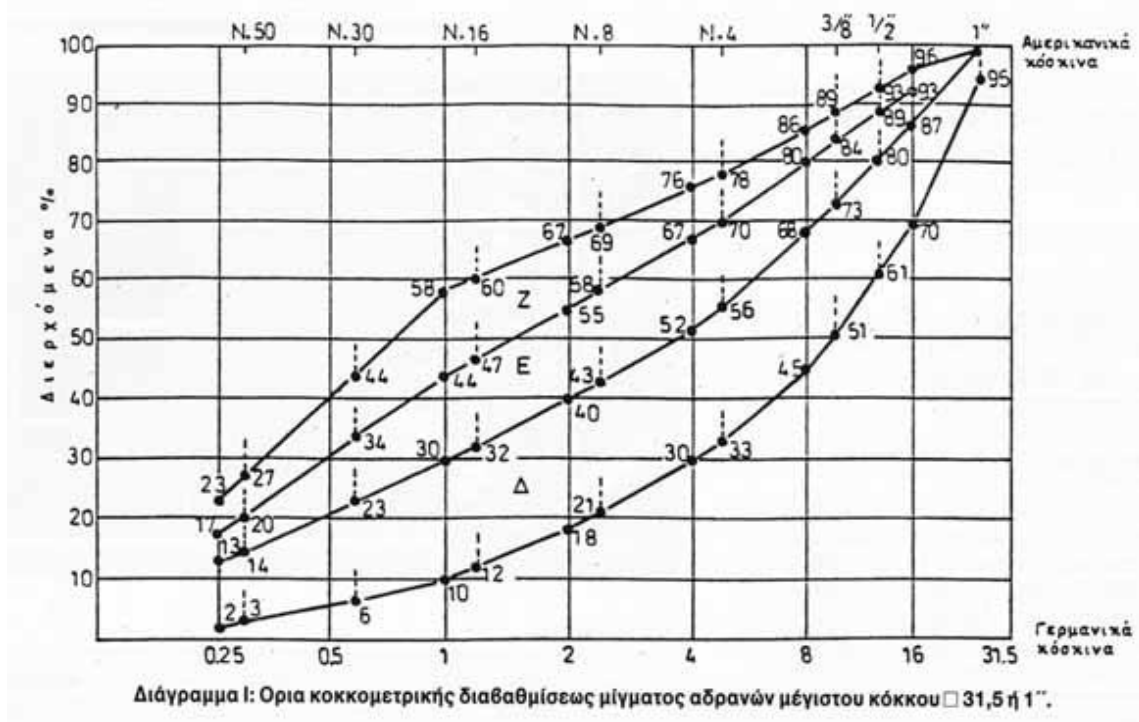
Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του σκυροδέματος. Καθορίζεται με δοκιμές κοσκίνισεως και παριστάνεται με κοκκομετρική γραμμή σε σύστημα συντεταγμένων με τετμημένες την διάσταση, υπό λογαριθμική κλίμακα, των οπών των προτύπων κοσκίνων και τεταγμένες το ποσοστό της ποσότητας, που διέρχεται από το κόσκινο, επί του συνολικού βάρους. [35, p. 15]

Στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 1997 καθορίζονται οι ακραίες κοκκομετρικές γραμμές που οριοθετούν τις περιοχές Δ, Ε, ανάμεσα από τις οποίες πρέπει να διέρχεται η κοκκομετρική γραμμή των αδρανών (Σχ. 2.3β, Σχ. 2.3γ). Η εκλογή της σειράς των προτύπων κοσκίνων- διάσταση οπής της επόμενης διπλάσια της προηγούμενης έγινε με βάση το δεδομένο, ότι τα χονδρότερα αδρανή επηρεάζουν λιγότερο τις ιδιότητες του σκυροδέματος. [37], [35, p. 15]



Σχ. 2.3 β: Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 16 ή 1/2" [37]

Οι συνεχείς κοκκομετρικές γραμμές πρέπει να διέρχονται από την υποζώνη Δ (ευνοϊκή περιοχή), η περιοχή Ε καθορίζει τα ανεκτά μίγματα αδρανών για σκυρόδεμα με χαρακτηριστική αντοχή μέχρι C 40/50. [35, p. 16]



Σχ. 2.3γ: Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 32,5 ή 1". [37]

β) Αντοχή

Η θραυστή άμμος και τα σκύρα θεωρούνται κατάλληλα, όταν η θλιπτική αντοχή του πετρώματος υπερβαίνει τα 100 MN/m². Η συλλεκτή άμμος και τα χαλίκια, λόγω της φυσικής επιλογής κατά τη δημιουργία τους, έχουν γενικά την απαιτούμενη αντοχή. [35, p. 17]

γ) Σχήμα

Αδρανή σφαιρικά ή κυβικά δίνουν εύκολα κατεργάσιμο σκυρόδεμα. Το αντίθετο συμβαίνει για τους πλακοειδείς χάλικες, δηλαδή αυτούς που έχουν μήκος μεγαλύτερο του τριπλάσιου των δυο άλλων διαστάσεων και οι οποίοι δεν πρέπει να υπερβαίνουν σε βάρος το μισό των πάνω από τα 8 mm αδρανών. [35, p. 17]

Τα αδρανή πρέπει να είναι απαλλαγμένα προσμίξεων.

Νερό αναμείξεως

Στο νερό της ανάμειξης δεν πρέπει να χρησιμοποιείτε θαλασσινό νερό, το νερό πρέπει να είναι καθαρό και να περιέχει ξένες ουσίες διαλυμένες ή αιωρούμενες.

2.7.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ

2.7.2.1 ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

Η ιπτάμενη τέφρα είναι το κύριο παραπροϊόν της καύσης λιγνίτη στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της ΔΕΗ. Η παραγωγή ιπτάμενης τέφρας στην Ελλάδα ανέρχεται στα 8,0 εκατομμύρια τόνους περίπου. Από την ποσότητα αυτή, το 70 % προέρχεται από τους ΑΗΣ της περιοχής Πτολεμαΐδας . Αμυνταίου και το υπόλοιπο 30 % από τους ΑΗΣ της Μεγαλόπολης. Μέρος των ιπταμένων τεφρών (12 % περίπου της ετήσιας παραγωγής) αγοράζονται από τις εγχώριες Τσιμεντοβιομηχανίες και χρησιμοποιούνται στην παραγωγή σύνθετου τσιμέντου. Η χρήση αυτή ξεκίνησε στις αρχές του 1980 [39, p. 1]. Ορισμένες ιπτάμενες τέφρες εκτός των ποζολανικών ιδιοτήτων παρουσιάζουν και υδραυλικές (τσιμεντένιες) ιδιότητες. [39, p. 1]. Οι πυριτικές τέφρες εξασφαλίζουν καλύτερη μεταγενέστερη απόδοση αφού αντιδρούν αργά λόγω της σημαντικής παρουσίας κρυσταλλικών φάσεων που θεωρούνται αδρανείς σε αλκαλικό περιβάλλον, παρουσιάζουν λιγότερες διογκώσεις που προκαλούνται είτε λόγω αλκαλοπυριτικής δράσης είτε λόγω της επίθεσης θειικών σε σχέση με τις ασβεστικές [40, p. 2] ενώ στην Ελλάδα είναι πλούσιες σε ασβέστιο και ονομάζονται ασβεστικές. Οι υψηλής περιεκτικότητας σε ασβέστιο τέφρες προσδίδουν καλύτερες πρώιμες αντοχές στο προϊόν. [40, p. 2]

Η ιπτάμενη τέφρα, μπορεί να αναμιχθεί με παραδοσιακές πρώτες ύλες και να παραχθούν κεραμικά πλακίδια με αρκετά καλές μηχανικές ιδιότητες. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι η χημική σύνθεση της ιπτάμενης τέφρας που είναι παρόμοια με αυτή των συμβατικών πρώτων υλών (περιεκτικότητα σε SiO_2 και Al_2O_3) καθώς επίσης και το μέγεθος των κόκκων που δεν διαφέρει πολύ με αυτό των κόκκων των παραδοσιακών πρώτων υλών. [41, p. 11]

Πλεονεκτήματα

Μεγάλη διαθεσιμότητα, Χαμηλό κόστος.

Μειονεκτήματα

Περιεκτικότητα σε ραδόνιο.

2.7.2.2 ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥΣ

2.7.2.2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ BAYER

Το 1855 , ο Γάλλος μεταλλειολόγος , Louis Le Chatelier , κατάφερε την εξαγωγή της αλουμίνας από τον βωξίτη[4]. Αυτό το πέτυχε με τη συσσωμάτωση της αλουμίνας με ανθρακικό νάτριο στους 1200οC και κατόπιν την έκπλυση του παραγόμενου αργλικού νατρίου με νερό .Τοαποτέλεσμα ήταν ο διαχωρισμός ως ίζημα του υδροξειδίου του αλουμινίου από το διάλυμα του αργλικού νατρίου και η ταυτόχρονη έκλυση διοξειδίου του άνθρακα .

Το υδροξείδιο του αλουμινίου , ως τότε χρησιμοποιούνταν ως διαβρωτικό μέσο στην βιομηχανία παραγωγής χρωμάτων . Δεν άργησε όμως να αυξηθεί και η ζήτηση της καθαρής αλουμίνας, όταν αυτή αποτέλεσε την πρώτη ύλη της παραγωγής αλουμινίου με την ανάπτυξη της μεθόδου Hall-Heroult . [42, p. 29]

Ο αυστριακός χημικός Karl Josef Bayer κατάφερε να αναπτύξει μια νέα βελτιωμένη μέθοδο για την παραγωγή υδροξειδίου του αλουμινίου από βωξίτη . Η μέθοδος αυτή ονομάστηκε προς τιμήν του “Bayer Process”[9] . Ο αυστριακός χημικός τιμήθηκε για το έργο του αυτό με το γερμανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας 43977 τον Αύγουστο του 1888. Για πρώτη φορά, η μέθοδος Bayer χρησιμοποιήθηκε από την εταιρεία “Merrimac Chemical Company” στη Μασαχουσέτη των ΗΠΑ . Ενώ , το 1901 κατασκευάστηκαν εγκαταστάσεις παραγωγής αλουμίνας από το εργοστάσιο “Alcoa” στο Ιλινόις . Από το 1901 και ύστερα δημιουργήθηκαν βιομηχανίες παραγωγής αλουμίνας σε περισσότερες από 25 χώρες , ενώ η σημερινή δυναμικότητα τους ξεπερνάει τους 40*106 τόνοι ανά έτος [4], [42, p. 29]

2.7.2.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ BAYER

Το κυριότερο χαρακτηριστικό που εκμεταλλεύεται η μέθοδος Bayer είναι ότι ο βαιμίτης , ο γιββσίτης και το διάσπορο μπορούν να διαλυθούν στο διάλυμα καυστικού νατρίου , υπό μέτριες υδροθερμικές συνθήκες. [42, p. 29]

Η διαλυτότητα του οξειδίου του αργιλίου (Al₂O₃) στο καυστικό νάτριο (NaOH) εξαρτάται από τη θερμοκρασία , ενώ τα άλλα συστατικά του βωξίτη μένουν σχεδόν αδρανή κατά τη μέθοδο Bayer .

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά επιτρέπουν τον σχηματισμό διαλύματος αργλικού νατρίου , τον φυσικό διαχωρισμό των προσμίξεων αλλά και την καθίζηση της καθαρής αλουμίνας από το ψυχρό διάλυμα . [42, p. 29]

Τα κύρια χαρακτηριστικά της Μεθόδου Bayer παραμένουν αμετάβλητα τα τελευταία 100 χρόνια [4] , ενώ σημαντικά έχουν διευρυνθεί οι λειτουργικές διαδικασίες της μεθόδου , αφού η εξέλιξη της χημικής μηχανικής είναι μεγάλη. [42, p. 29]

2.7.2.2.3 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥ

Η Ε.Ι. είναι το στερεό υπόλειμμα-απόβλητο που προέρχεται από τη μεταλλουργική επεξεργασία του βωξίτη κατά τη μέθοδο Bayer^[8]. Πρακτικά πρόκειται για μία αλκαλική λάσπη και περιέχει 3 έως 12 kg καυστικού νατρίου (NaOH) ανά τόνο παραγόμενης αλουμίνας. Εκατομμύρια τόνοι Ε.Ι. παράγονται ετησίως σε όλο τον κόσμο και διατίθενται στην ξηρά, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζονται τεράστιες εκτάσεις γης. Επομένως, η αξιοποίηση της Ε.Ι. αποτελεί προτεραιότητα για όλα τα εργοστάσια παραγωγής αλουμίνας. [42, p. 34]

Στο παρελθόν, η απόθεση της Ε.Ι. γινόταν στη θάλασσα και η λύση αυτή χρησιμοποιούταν στη Γαλλία, στην Ιαπωνία και στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το “Αλουμίνιο Ελλάδος” απέθετε μέχρι και το τέλος του 2011 την Ε.Ι. στη θάλασσα του Κορινθιακού κόλπου. Από την 1η Ιανουαρίου του 2012, η απόθεση της Ε.Ι. του ‘Αλουμινίου της Ελλάδας’ γίνεται στη ξηρά. [42, p. 37]

Εξαιτίας των σημερινών περιβαλλοντικών κανονισμών, η απόθεση της Ε.Ι. στην θάλασσα είναι απαγορευμένη. Γι’ αυτό και η απόθεση της Ε.Ι. στη στεριά αποτελεί την μόνη λύση για τη διαχείρισή της. [42, p. 37]

Ο τομέας των κατασκευών παρουσιάζει ιδιαίτερη αύξηση και εκατομμύρια κατασκευαστικά υλικά καταναλώνονται ετησίως σε όλο τον κόσμο. Γι’ αυτό και είναι σημαντικό να παρασκευαστούν χρήσιμα υλικά από την Ε.Ι. και να εισαχθούν στον τομέα των κατασκευών. [42, p. 36]

Η ερυθρά ύλη είναι ένα ρευστό στερεό απόβλητο παραπροϊόν της επεξεργασίας του βωξίτη για την παραγωγή αλουμίνας με τη διεργασία Bayer.

2.7.2.2.4 Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΡΥΘΡΑ ΥΛΗΣ

Η ερυθρά ύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως :

- αδρανές υλικό,
- Συμπληρωματική πρώτη ύλη στην παραγωγή τούβλων και κεραμιδιών
- Υπόστρωμα στην κατασκευή επιχωμάτων στην οδοποιία,
- Στρώμα γεωλογικού φραγμού για τη στεγανοποίηση πυθμένα ή ενδιάμεσης στρώσης των ΧΥΤΑ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων) ή για τη στεγάνωση επιφάνειας ΧΥΤΑ
- Πρώτη ύλη στην παραγωγή σιδήρου [42, p. 37]
- πρώτη ύλη για την παραγωγή τσιμέντου, Στην γεωργία λόγω ότι είναι αλκαλική ανεβάζει το pH του εδάφους σε Οξινά εδάφη και σε άλλες διάφορες εφαρμογές.

[36, p. 14]



Εικόνα 2.5 Ερυθράς ιλύος (<https://www.indiamart.com>)

2.7.2.3 ΣΚΩΡΙΕΣ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑΣ

Οι σκωρίες χαλυβουργίας χρησιμοποιούνται ως κονίες ,αδρανή υλικά ,είναι το πιο διαδομένο αδρανές υλικό. Το 25% της σκωρίας αυτής ανακυκλωνόταν μέχρι το 2001 μέσω της εγχώριας βιομηχανίας τσιμέντου. Η χρήση της στην τσιμεντοβιομηχανία ωστόσο, περιορίστηκε από το 2001, λόγω των αυστηρότερων κανονισμών σχετικά με την παρουσία εξασθενούς χρωμίου στα τσιμέντα. Η σκωρία Η/Κτης ΛΑΡΚΟ χρησιμοποιούταν ως πρόσθετο στη φαρίνα, με αποτέλεσμα την ενδεχόμενη μετατροπή του περιεχόμενου σε αυτή τρισθενούς χρωμίου σε εξασθενές στις οξειδωτικές συνθήκες του περιστροφικού κλιβάνου παραγωγής κλίνκερ. Το 5% της σκωρίας αυτής πωλείται σε μονάδες παραγωγής άμμου αμμοβολής [43, p. 29] . Για χρήση στην οδοποιία στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι σκωρίες χαλυβουργίας είναι παραπροϊόν που προέρχεται από την παραγωγική διαδικασία των Χαλυβουργιών. [36, pp. 14-15]



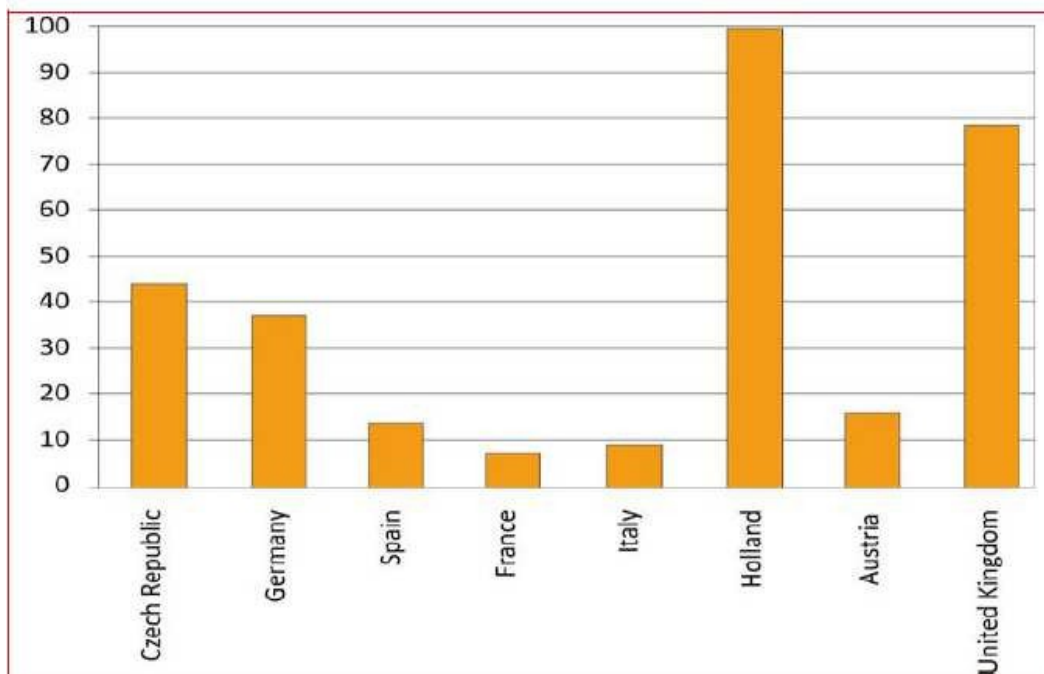
Εικόνα 2.6 Αποθέματα σκωρίας στο εργοστάσιο επεξεργασίας αδρανών αποβλήτων της εταιρείας ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε. Στείρα Βωξίτη [36, p. 15]

2.7.2.4 ΦΩΣΦΟΓΥΨΟΣ

Το φωσφογύψος αναφέρεται στο ένυδρο θειικό ασβέστιο που σχηματίζεται ως υποπροϊόν της παραγωγής λιπασμάτων από φωσφορικά πετρώματα. [44] Ο φωσφογύψος είναι ένα παραπροϊόν από την παραγωγή φωσφορικού οξέος με κατεργασία φωσφορικού μετάλλευρου (απατίτη) με θειικό οξύ. [44] Περιέχει βαρέα μέταλλα και ραδιενεργά στοιχεία που προέρχονται από το αρχικό ακατέργαστο ορυκτό. Ορισμένες ιδιότητες του Φωσφόγυψου τον καθιστούν άριστο για την αντικατάσταση του γύψου. πρέπει λαμβάνονται μέτρα για ασφαλή χρήση λόγω των Ραδιενεργών στοιχείων και βαρέων μετάλλων που περιέχει. [36, p. 16], [45], [46], [47], [48]

2.7.2.5 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ ΤΕΧΝΗΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΑΠΟ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι χώματα, χαλίκι, κομμάτια ή στοιχεία από σκυρόδεμα (οπλισμένο ή μη), επιχρίσματα, πλίνθοι (τούβλα), πλάκεςεπιστρώσεως, γύψος, μέταλλα, ξύλο, άμμος, λαξευμένες πέτρες, τρίματαειδών υγιεινής κ.λπ. [36, p. 17]



Εικόνα 2.7 Ποσοστό των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις που ανακυκλώθηκαν το 2008 [36, p. 17]

Τα υλικά κατεδαφίσεων χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια και προκύπτουν από την εξ ολοκλήρου ή επιμέρους κατεδάφιση των κατασκευών.

Η σύσταση των υλικών αυτών ποικίλλει ανάλογα με το είδος, την ηλικία, τη μορφή, τη χρήση και το μέγεθος του κτιρίου/κατασκευής,

Τα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις, εκτός της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία τους, ρόλο παίζει επίσης η τεχνική κατεδάφισης. όσο μεγαλύτερος είναι ο διαχωρισμός των αποβλήτων σε ομοιογενή κλάσματα κατά την διάρκεια του σταδίου της κατεδάφισης), τόσο η επακόλουθη διαδικασία ανακύκλωσης των αποβλήτων γίνεται απλούστερη και αποτελεσματικότερη. [36, p. 19]



Εικόνα 2.8 επεξεργασία αδρανών υλικών.(<http://www.ergozakynthos.com>)

Ασφαλής Μετατροπή Ραδιενεργών Αποβλήτων σε Αδρανή Υλικά

Τα ραδιενεργά κατάλοιπα λόγω της τοξικότητάς τους, του μεγέθους της εξάπλωσης τους και της αθροιστικής τους δράσης, αποτελούν την πιο επικίνδυνη μορφή ρύπανσης του περιβάλλοντος. Μερικά από αυτά, και συγκεκριμένα τα υψηλού επιπέδου ραδιενεργά απόβλητα που παράγονται από σταθμούς παραγωγής πυρηνικής ενέργειας, πυρηνικούς αντιδραστήρες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ,λειτουργίας ερευνητικών αντιδραστήρων. [36, p. 20]

Χρήση ραδιενεργών υλικών στην ιατρική και τη βιομηχανία

Επεξεργασία υλικών που περιέχουν φυσικά ραδιονουκλετίδια. παραμένουν επικίνδυνα για χιλιάδες χρόνια. [36, p. 20]

Τα ραδιενεργά απόβλητα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τα επίπεδα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, χαρακτηριστικό που καθορίζει και τη μέθοδο διαχείρισής τους πλέον έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι μετατροπής των ραδιενεργών αποβλήτων σε αδρανή υλικά και καθαρή ενέργεια. Συγκεκριμένα, τα ραδιενεργά απόβλητα εισάγονται σε έναν αντιδραστήρα και μέσω υψηλής θερμοκρασίας (μέσω πυρσών πλάσματος) τα μετατρέπουν σε αδρανή υλικά, μη ραδιενεργά. Τα υπολείμματα άνθρακα από την διαδικασία εξαερώνονται, και τα ανόργανα υλικά μετατρέπονται σε αδρανή. [36, p. 21]

Συγκεκριμένα, με τη διαδικασία που ονομάζεται Plasma Gasification Meltingtechnology (PGM), το προϊόν που παράγεται από τον αντιδραστήρα είναι ένα σκληρό μαύρο υλικό σαν γυαλί, το οποίο δεν εκπέμπει ακτινοβολία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για την ασφαλτόστρωση των δρόμων ή μπορεί να χυτευθεί σε καλούπια για την παρασκευή τούβλων ή παρόμοιων υλικών για κατασκευές. [36, p. 21]

Κατά την διάρκεια της μετατροπής, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, το 70% της οποίας χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του αντιδραστήρα και ένα 30% μπορεί να διοχετευθεί στο δίκτυο ηλεκτροδότησης ή για όποιο άλλο σκοπό κριθεί απαραίτητο. [36, p. 22]

2.8 ΠΡΟΣΜΕΙΚΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα πρόσμεικτα σκυροδέματος είναι ουσίες σε υγρή μορφή ή σκόνη, οι οποίες προστίθενται στο σκυρόδεμα, σε μικρές ποσότητες, κατά τη φάση ανάμιξης. Επηρεάζουν τις ιδιότητες του φρέσκου και/ή του σκληρυμένου σκυροδέματος με χημικό και/ή φυσικό τρόπο.

Μειωτής νερού

Καθιστά δυνατή τη μείωση του περιεχόμενου νερού σε ένα μίγμα, χωρίς επίδραση στη συνεκτικότητά του ή αυξάνει το εργάσιμό του χωρίς αλλαγή του περιεχόμενου νερού ή επιτυγχάνει και τα δύο αποτελέσματα.

Υπερρευστοποιητής

Ο υπερρευστοποιητής σκυροδέματος εφαρμόζεται σε υγρή μορφή που χρησιμοποιείται για την καλύτερη εργασιμότητα του σκυροδέματος. Προσδίδει μεγαλύτερη ρευστότητα και αυξάνει το χρόνο εργασιμότητας. Μειώνει το λόγο N/T κατά 15% με αποτέλεσμα την αύξηση των αντοχών. Καθιστά δυνατή τη σημαντική μείωση του περιεχόμενου νερού σε ένα δεδομένο μίγμα σκυροδέματος, χωρίς επίδραση στη συνεκτικότητά του ή αυξάνει σημαντικά το εργάσιμό του χωρίς αλλαγή του περιεχόμενου νερού ή επιτυγχάνει και τα δύο αποτελέσματα.

Ρυθμιστής Ιξώδους

Μειώνει το νερό απόμιξης που προκύπτει λόγω εξίδρωσης στο νωπό σκυρόδεμα.

Αερακτικό

Εισάγει στο νωπό σκυρόδεμα ελεγχόμενη ποσότητα αέρα με τη μορφή μικροσκοπικών φυσαλίδων, οι οποίες κατανέμονται ομοιόμορφα και χωρίς να δημιουργείται δίκτυο επικοινωνίας μεταξύ τους. Η ιδιότητα αυτή βελτιώνει τις ιδιότητες του σκυροδέματος σε πολύ μεγάλο βαθμό στην περίπτωση τόσο του νωπού, όσο και του σκληρυμένου σκυροδέματος

Νωπό σκυρόδεμα:

Πολύ σημαντική βελτίωση εργασιμότητας, ακόμα και σε περιπτώσεις σκυροδέματος μεγάλου όγκου, καθώς και σε μείγματα με θραυστά και μεγάλου μεγέθους αδρανή

Καμία μεταβολή στο χρόνο πήξης του τσιμέντου (έναρξη και ολοκλήρωση)

Βελτίωση εργασιμότητας, με ταυτόχρονη μείωση διαχωρισμού και απόμειξης

Βελτίωση της αντλησιμότητας

Σκληρυμένο σκυρόδεμα:

Αύξηση στεγανότητας και αντοχής σε κύκλους ψύξης/απόψυξης

Αυξημένη ανθεκτικότητα

Ανθεκτικότητα σε παγολυτικά άλατα και περιβαλλοντικές επιδράσεις(σικά προσμικτα

Επιταχυντής πήξης

Επιταχύνει την αρχική πήξη, αυξάνοντας τις πρώιμες αντοχές

Επιταχυντής σκλήρυνσης

Επιταχύνει τις πρώιμες αντοχές με ή χωρίς επίδραση στο χρόνο πήξης.

Επιβραδυντής

παρατείνει την εργασιμότητα καθυστερεί την αρχική πήξη .

Στεγνωτικό μάζας

Μειώνει την απορρόφηση νερού από τους τριχοειδείς πόρους του σκληρυμένου σκυροδέματος.

Επιβραδυντής / μειωτής νερού

Συνδυάζει χαρακτηριστικά ενός μειωτή νερού κύριο χαρακτηριστικό και επιπλέον τα χαρακτηριστικά του επιβραδυντή

Επιβραδυντής / υπερρευστοποιητής

Συνδυάζει τα χαρακτηριστικά ενός υπερρευστοποιητή το κύριο χαρακτηριστικό και ενός επιβραδυντή

μειωτής νερού

επιτρέπει την μείωση νερού χωρίς να επηρεάζεται η εργασιμότητα

[33], [49], [50, pp. 107-108], [51], [52] [53, pp. 4,6,8]

2.9 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Εκτός από το κλασσικό σκυρόδεμα (του οποίου το ειδικό βάρος είναι γύρω στα 2,3 t/m³ για το άοπλο και 2,4 t/m³ για το οπλισμένο), παραλλαγές αποτελούν το γαρμπιλόδεμα (με γαρ Μπίλι αντί για σκύρα για λεπτότοιχες κατασκευές). Μια τρίτη μορφή είναι το βαρέως τύπου σκυρόδεμα (ειδ. βάρος 3,2 - 5,6 t/m³), για προστασία από ακτινοβολία-Χ ή ακτινοβολία-γ σε πυρηνικούς αντιδραστήρες κλπ. [33, p. 7]

2.9.1 ΕΜΦΑΝΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



Εικόνα 2.9 Μουσείο Ακρόπολης ο φέρων οργανισμός, είναι από εμφανές Σκυρόδεμα (<https://hashmag.gr>)

Το εμφανές ή ανεπίχριστο σκυρόδεμα ή, όπως ονομάστηκε από τον Le Corbusier, το «Béton brut», είναι το σκυρόδεμα που δεν καλύπτεται από επιχρίσματα ή άλλες επενδύσεις. Ως δομικό υλικό κυριάρχησε στην περίοδο του μοντερνισμού και της μπρουταλιστικής αρχιτεκτονικής, καθώς εξέφραζε απόλυτα τις ιδέες της λιτής αισθητικής και των απαλλαγμένων από κάθε μορφή διακόσμησης επιφανειών. [54]. Σήμερα η χρήση του ανεπίχριστου σκυροδέματος έχει επεκταθεί σε όλες σχεδόν τις κλίμακες του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, από τα δημόσια κτίρια μέχρι τις ιδιωτικές κατοικίες και από τις εξωτερικές όψεις μέχρι τη διακόσμηση εσωτερικών χώρων και την κατασκευή χρηστικών αντικειμένων και επίπλων. Μ' αυτό το υλικό μπορούν να κατασκευαστούν ή να επενδυθούν εσωτερικοί και εξωτερικοί τοίχοι, δάπεδα, οροφές, υποστυλώματα, δοκάρια, τζάκια, πάγκοι κουζίνας, έπιπλα, φωτιστικά, νιπτήρες κ.α. [54]. Η διεύρυνση των εφαρμογών του εμφανούς σκυροδέματος στον εσωτερικό χώρο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις νέες δυνατότητες κατεργασίας των ορατών επιφανειών αλλά και στις βελτιωμένες μεθόδους κατασκευής. Όσον αφορά στα πλεονεκτήματα, οι επιφάνειες εμφανούς σκυροδέματος είναι

πυράντοχες, ανθεκτικές στη φθορά, στην υγρασία και στη μούχλα, ενώ κατά τη διάρκεια της ζωής τους απαιτούν ελάχιστη συντήρηση. Η φύση του υλικού δίνει τη δυνατότητα κατασκευής σύνθετων ή ακόμη και καμπυλόμορφων όγκων. Επίσης σημαντικές είναι οι θερμοχωρητικές ιδιότητες των συμπαγών στοιχείων σκυροδέματος που συμβάλλουν στη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων. [54]

Στα μειονεκτήματα του υλικού, κατατάσσεται η δυσκολία τοποθέτησης αγωγών και καλωδίων στη μάζα του τοίχου. Επίσης η κατασκευή ανεπίχριστου σκυροδέματος έχει μεγαλύτερο κόστος κατασκευής σε σχέση με του απλού σκυροδέματος, μειονέκτημα, ωστόσο, που αντισταθμίζεται από τη μη απαίτηση επένδυσης των επιφανειών και από την ελάχιστη συντήρηση. [54]

Το ηχοαπορροφητικό εμφανές σκυρόδεμα αποτελεί μια ακόμη καινοτόμο εφαρμογή, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θέατρα, αθλητικούς χώρους, μουσικές σκηνές κτλ. Το συγκεκριμένο προϊόν κατασκευάζεται με τη δημιουργία σχισμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος, μέσα στις οποίες τοποθετούνται ηχοαπορροφητικά υλικά. Το διαφανές ή φωτοδιαπερατό σκυρόδεμα αποτελεί ένα μείγμα από λεπτόκοκκα αδρανή μαρμάρου και τσιμέντου με εκατομμύρια ενσωματωμένες οπτικές υάλινες ίνες. Οι φιγούρες και τα αντικείμενα που βρίσκονται μεταξύ μιας φωτεινής πηγής και του στοιχείου από σκυρόδεμα προβάλλονται ως σκιές στην άλλη πλευρά. Η αντοχή του υλικού είναι ίδια μ' αυτήν του παραδοσιακού σκυροδέματος. [54]. Το εμφανές η αν επίχριστο σκυρόδεμα δεν καλύπτεται από επιχρίσματα και μπορεί να παραχθεί σε ευρεία σειρά επιλογών χρώματος και υφής της τελικής επιφάνειας και έχει εξαιρετική προσαρμογή σε περίπλοκα σχήματα είτε με επεξεργασία της επιφάνειας του σε συνδυασμό με τη χρήση ειδικών αδρανών, η με ειδικά καλούπια. [55, pp. 30-31]

2.9.2 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



Εικόνα 2.10 χρήση διαπερατού σκυροδέματος αντί για ασφαλτό (www.fire.gr)

Το πράσινο σκυρόδεμα είναι ένα ανθεκτικό υψηλού πορώδους(μεγέθους περίπου 2-8 χιλιοστά) μείγμα με ελεγχόμενα φυσικοχημικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά. Το πράσινο σκυρόδεμα επιτρέπει την εύκολη αποχέτευση του νερού από το έδαφος.

Αποτελείται από ένα μείγμα νερού, τσιμέντου και χοντρόκοκκων υλικών δεν περιλαμβάνει λεπτόκοκκα υλικά γι' αυτό είναι γνωστό και ως μη λεπτόκοκκο, βασικά είναι ένα σκυρόδεμα με συνεχή κενά τα οποία ενσωματώνονται σκοπίμως στο σκυρόδεμα. Λόγω του υψηλού πορώδους επιτρέπει στο αέρα και το νερό να διέρχεται εύκολα.

Εφαρμογές του πράσινου σκυροδέματος

Εφαρμόζεται σε γήπεδα τένις σε αυτοκινητόδρομους, σε κήπους, σε πεζοδρόμια, υπαίθριους χώρους στάθμευσης

Οφέλη από τη εφαρμογή του:

Οικονομικά οφέλη λόγω της εισροής υδάτων στο έδαφος καθώς και στη μείωση δαπανών για αντιπλημμυρικά έργα.

Στους κήπους και στα πεζοδρόμια λόγω εισροής αέρα και νερού τα δέντρα και τα φυτά ευδοκιμούν.

Τα οφέλη του στο οδόστρωμα είναι λόγω του χρώματος και της αντοχής του σε σχέση με την ασφαλτό, λόγω των κενών μεταβάλλει την παραγωγή θορύβου ελαχιστοποιώντας την άντληση του αέρα μεταξύ ελαστικού και του οδοστρώματος. επιπλέον οι πόροι απορροφούν τον ήχο μέσω των εσωτερικών τριβών μεταξύ των κινούμενων μορίων του αέρα και των πορώδων [56, p. 30], [57], [55, pp. 30-31]

2.9.3 ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



Εικόνα 2.11 Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα(<https://i.ytimg.com>)

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι ένας τύπος σκυροδέματος υψηλής αντοχής που εφαρμόζεται με εκτόξευση με υψηλή πίεση. Έχει υψηλή δομική αντοχή 2000PSI λόγω της μεγάλης συμπύκνωσης και της μεγάλης περιεκτικότητας του σε τσιμέντο σε σχέση με τα έγχυτα τσιμέντα. Τα αδρανή που περιέχει είναι μικρής Κοκκομετρικής διαβάθμισης

Πριν την εκτόξευση του χρειάζεται καθαρισμός της παλιάς επιφάνειας και αγκρίση της περιοχής που πρόκειται να ενισχυθεί

Διαδικασία παραγωγής και εκτόξευση σκυροδέματος :

Δύο είναι η μέθοδοι Παρασκευής υγρή μέθοδος και η ξηρή μέθοδος

Στην υγρή μέθοδο έρχεται έτοιμο το σκυρόδεμα από τη μονάδα παραγωγής σκυροδέματος

Στην ξηρή μέθοδο η ανάμιξη των συστατικών του σκυροδέματος γίνεται στο εργοτάξιο και διοχετεύετε στην μηχανή εκτόξευσης. Πριν την έξοδο του μίγματος από το ακροφύσιο πραγματοποιείται μικρή προσθήκη νερού.

Εφαρμόζεται κυρίως για ενίσχυση σοβαρών βλαβών φερόντων στοιχείων ενός κτηρίου.

Όπως σε πλάκες, σε δοκάρια ,Θεμέλια, Φέρουσα Τοιχοποιία, σε Σήραγγες, για την αντιστήριξη πρανών

Πλεονεκτήματα :

- Δεν Χρειάζεται ξυλότυπος.
- Εφαρμογή σε δυσπρόσιτες περιοχές
- Υψηλές αντοχές λόγω χαμηλού συντελεστή νερού /τσιμέντου
- Έχει καλή πρόσφυση με το προ υπάρχων σκυρόδεμα λόγω της εκτόξευσης σε υψηλή πίεση
- [30], [55, pp. 31-32,35-36], [58], [59], [60], [61]

2.9.4 ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Πρωτοπόροι στην ανάπτυξη και εφαρμογή του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος υπήρξαν οι Ιάπωνες ερευνητές (σε ακαδημαϊκό επίπεδο) και κατασκευαστές (σε επίπεδο παραγωγής), οι οποίοι εκλήθησαν να αντιμετωπίσουν, στα μέσα της δεκαετίας του '80, την αυξανόμενη έλλειψη σε ειδικευμένο προσωπικό και να μειώσουν τα επακόλουθα προβλήματα ανθεκτικότητας των κατασκευών Ο/Σ, λόγω πλημμελούς δόνησης. Ως απάντηση στα προβλήματα αυτά, επροτάθη από τον Okamura το 1986 η ανάπτυξη μίας σύνθεσης σκυροδέματος, η οποία θα αναιρούσε την ανάγκη συμπύκνωσης του υλικού μέσω μηχανικής δόνησης (Ouchi, 1998). Βασική και θεμελιώδης εργαστηριακή έρευνα πραγματοποιήθηκε από τους Ozawa και Maekawa στο Πανεπιστήμιο του Τόκιο. [62, p. 1]

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της χρήσης αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι: η αυξημένη παραγωγικότητα (ως αποτέλεσμα της μείωσης του χρόνου σκυροδέτησης), η δυνατότητα σκυροδέτησης μελών περίπλοκης γεωμετρίας ή μελών με ιδιαίτερα πυκνό οπλισμό, οι βελτιωμένες εξωτερικές επιφάνειες, η αυξημένη ανθεκτικότητα (ως αποτέλεσμα της ικανοποιητικής και ομοιόμορφης συμπύκνωσης) και το αναβαθμισμένο περιβάλλον εργασίας (ως αποτέλεσμα της μείωσης της ηχορύπανσης και της φυσικής καταπόνησης από τη δόνηση). [62, p. 2]

Για την αποφυγή της πιθανότητας διαχωρισμού, συνιστάται ο περιορισμός του ελεύθερου ύψους ρίψης του ΑΣΣ στα 5 m (AFGC, 2000), ή η εισχώρηση του σωλήνα εντός του στοιχείου και η βαθμιαία ανύψωσή του, καθώς ο όγκος του νερού σκυροδέματος αυξάνεται. [62, p. 9]

Συντήρηση: Άμεση συντήρηση των ελεύθερων επιφανειών είναι απαραίτητη για την αποφυγή

ρηγματώσεων λόγω πλαστικής συστολής, η οποία είναι εντονότερη στο ΑΣΣ, σε σύγκριση με το

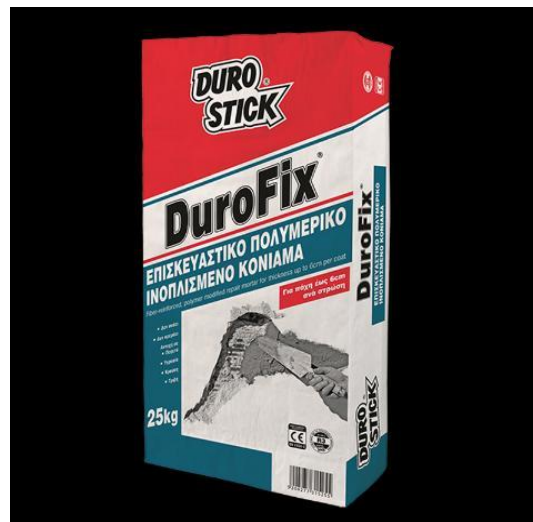
κοινό σκυρόδεμα. Το πρόβλημα της έντονης συστολής δύναται να αντιμετωπισθεί με την προσθήκη διογκωτικών μέσων (Hori et al. 1998). [62, p. 9]

Το αυτό συμπυκνωμένο σκυρόδεμα είναι ένα σκυρόδεμα το οποίο συμπυκνώνεται υπό την επίδραση του ίδιου του βάρους και γεμίζει τους ξυλότυπους χωρίς να χρειάζεται η συμπύκνωση με μηχανικά μέσα αυτό επιτυγχάνεται χάρη στις βελτιωμένες ρεολογικές ιδιότητες του υλικού αυτό οφείλεται στην ύπαρξη ισχυρού υπερρρευστοποιτή και λόγω της μεγάλης ύπαρξης λεπτών υλικών με αποτέλεσμα ενός σκυροδέματος με χαμηλή τάση διαρροής. [55, pp. 36-38], [31], [57] , [56, p. 30].



Εικόνα 2.12 Αυτόσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (<https://encrypted-tbn0.gstatic.com>)

2.9.5 ΙΝΟΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



Εικόνα 2.13 Ινοοπλισμένο Σκυρόδεμα (<https://www.durostick.gr>)

Το σκυρόδεμα που συντίθεται από υδραυλικά τσιμέντα, λεπτόκοκκα η και χονδρόκοκκα αδρανή και ασυνεχείς διακριτές ίνες ορίζεται ως ινοπλισμένο σκυρόδεμα. Οι ίνες είναι μικρού μήκους, της τάξης των μερικών εκατοστών, και διαμέτρου που είναι συνήθως κλάσμα του χιλιοστού, και διασκορπίζονται στη μάζα του υλικού κατά την ανάμιξη των συστατικών του, σε ποσοστό της τάξης του 1-3% κ.ο. Συνήθως παρασκευάζονται από χάλυβα, πολυπροπυλένιο η γυαλί, ενώ εφαρμογές βρίσκουν και ίνες από άλλα υλικά, όπως ο άνθρακας, η αραμιδη, ο πολυεστέρας, το νάιλον και φυσικά υλικά, όπως το ξύλο. Ο βασικός ρόλος των ινών στο σκυρόδεμα είναι η αύξηση της παραμόρφωσης του υλικού κατά την αστοχία (που σχετίζεται με ελκυστικές τάσεις) και ο περιορισμός γενικά της ρηγμάτωσης (π.χ. λόγω συστολής ξήρανσης), ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις επιτυγχάνεται και (μικρή συνήθως) αύξηση της αντοχής. Αποτέλεσμα είναι κυρίως η αύξηση της δυσθραυστότητας του υλικού, δηλαδή της ικανότητας του να απορροφήσει ενέργεια κατά την παραμόρφωση, που αντιπροσωπεύεται από το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη φορτίου-παραμόρφωσης.

Το εμβαδόν αυτό είναι συχνά 10-40 φορές μεγαλύτερο για το ινοπλισμένο σκυρόδεμα από ότι στο άοπλο. Τα τελευταία χρόνια οι χρήσεις του ΙΝΟ.Σ. έχουν επεκταθεί σε παρά πολλές κατηγορίες έργων πολιτικού μηχανικού λόγω των βελτιωμένων μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων του σε σύγκριση με το συμβατικό άοπλο σκυρόδεμα.

Ιδιότητες Ινοπλισμένου Σκυροδέματος

- Μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη
- Αντίσταση στη δημιουργία και στην εξάπλωση των ρωγμών
- Αυξημένη αντοχή στην κρούση
- Αυξημένη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Αντίσταση στο φαινόμενο της αποφλοιώσης
- Μεγαλύτερη δυσθραυστότητα.
- Μεγαλύτερη αντοχή σε φορτία μετά την θραύση
- Οικονομία στη συντήρηση και μεγαλύτερη διάρκεια χρήσης του έργου [63, p. 19]

Το 90% των ινών που παράγονται δεν είναι ευθείες, έχουν δηλαδή κάποιο ιδιαίτερο σχήμα. Οι ιδιαίτερες γεωμετρίες που έχουν οι ίνες αποσκοπούν στην καλύτερη προσαρμογή τους στο σκυρόδεμα. Παγκόσμια στατιστική ανάλυση έχει δείξει ότι το 67,1% των ινών που χρησιμοποιούνται έχουν γαντζωτό άκρο. Σα υπόλοιπα πιο δημοφιλή ήδη ινών είναι ευθείες (9,1%), μηχανικά παραμορφωμένες (9,1%), κυματοειδείς (7,9%) και άλλα είδη ινών διαφόρων τύπων (6,6%) (Katzner, 2006).

Η αποτελεσματικότητα των ινών ως μέσα ενίσχυσης του σκυροδέματος δεν εξαρτάται μόνο από το είδος που χρησιμοποιείται αλλά από ένα πλήθος παραγόντων. Ο πιο σημαντικός από αυτούς είναι ο λόγος του μήκους προς τη διάμετρο, γνωστός και ως λόγος μορφής (aspect ratio ή l/d). Στο μέγεθος αυτό είναι αδιάστατο και επηρεάζει την εργασιμότητα του σκυροδέματος και την απόσταση των ινών μέσα σε αυτό. Για να επιτυγχάνεται καλή εργασιμότητα ο λόγος αυτός δεν πρέπει ποτέ να ξεπερνά την τιμή 150. [63, p. 20]

Οι πρώτες έρευνες στις ίνες υάλου ξεκίνησαν τις δεκαετίες του 1950 και 1960 και αφορούσε τον τύπο E (βοριοπυριτικό γυαλί). Σα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι η αλκαλική δράση του σκυροδέματος κατέστρεφε τις ίνες και μείωνε δραματικά την αντοχή του σκυροδέματος. Από τη δεκαετία του 1960 και μετά αναπτύχθηκαν κατάλληλες ίνες υάλου ώστε να μπορούν να χαρακτηριστούν ως υλικό ενίσχυσης του σκυροδέματος και να ανθίστανται στις υψηλές τιμές pH (James, 1990). Έτσι, οι ίνες αυτές αντέχουν σε αλκαλικό περιβάλλον και είναι τύπου AR (alkali-resistant) διατηρώντας μακροπρόθεσμα σταθερή την αντοχή του σκυροδέματος διότι μειώνουν τη διάβρωση του γυαλιού μέσα στο σκυρόδεμα (Bentur A., 1990). [63, p. 27]

Εκτός από την ανθεκτικότητά τους στα αλκάλια είναι ειδικά κατασκευασμένες να μη φθείρονται από τη διαδικασία ενυδάτωσης του σκυροδέματος. [63, p. 27]

Οι σύγχρονες ίνες από γυαλί είναι ένα ισχυρό και ελαφρύ υλικό, με αντοχή σε εφέλκυσμό από 280 έως 3.500 MPa και μέτρο ελαστικότητας από 3,1 έως 3,5 GPa, ικανές να αντέξουν ακόμη και έντονα αλκαλικό περιβάλλον. [63, p. 27]

Η υγρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την αντοχή σε εφέλκυσμό. Η υγρασία εύκολα προσροφάτε, και μπορεί να επιδεινώσει τις μικροσκοπικές ρωγμές και ατέλειες στην επιφάνεια, και να μείωση την συνεκτικότητα. [44], [63, p. 28]

Οι ίνες υάλου είναι αρκετά πιο ακριβές από τις χαλύβδινες. Στο ειδικό τους βάρος είναι περίπου το ένα τρίτο των χαλύβδινων. Επίσης, αύξηση της διαμέτρου της υάλινης ίνας έχει σα συνέπεια τη μείωση της αντοχής της και την αύξηση του μέτρου ελαστικότητάς της. [63, p. 28]

ΥΛΙΚΑ

Είδη ινών

Οι κυριότερες ίνες που χρησιμοποιούνται στα σκυροδέματα για κατασκευή είναι:

- Μεταλλικές ίνες
- Ίνες γυαλιού, που χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται αντίσταση στα αλκάλια
- Συνθετικές ίνες από διάφορα υλικά όπως: πολυπροπυλενίου, πολυαιθυλενίου, πολυολεφινών και πολυβινιλίου (PVA)
- Ίνες άνθρακα, πίσσας και polyacrylonitrile (PAN) [64, p. 1]

Για τα κατασκευαστικά σκυροδέματα οι πιο σημαντικές ίνες είναι οι μεταλλικές.

Οι πιο διαδεδομένες ίνες σκυροδέματος είναι οι ίνες χάλυβα. Διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία μορφών. Αρκετα διαδεδομένες επίσης είναι και οι ίνες πολυπροπυλενίου, κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους και της χημικής τους αδράνειας.

Οι ίνες αυτές είναι συνήθως συσσωματωμένες σε ομάδες και όχι μεμονωμένες για να βελτιώνεται η συνάφεια με το σκυρόδεμα και να διευκολύνεται ο διασκορπισμός τους κατά την ανάμιξη.

Προστίθενται στο σκυρόδεμα σε ποσότητα που κυμαίνεται μεταξύ 0,5-2kg/m³. Οι ίνες γυαλιού είναι αρκετά διαδεδομένες και είναι χαμηλού κόστους, αλλά βασικό μειονέκτημα τους είναι ότι προσβάλλονται από το αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος.

Περισσότερο ανθεκτικές στο περιβάλλον αυτό είναι οι ίνες γυαλιού AR, που όμως κοστίζουν αρκετά παραπάνω.

Το αρκετά υψηλό κόστος των ινών άνθρακα και αραμιίδης έχει εμποδίσει μέχρι σήμερα την ευρεία χρήση τους σε κατασκευές σκυροδέματος, παρόλο που η επίδραση τους στο υλικό έχει ιδιαίτερα ευνοϊκά αποτελέσματα (ιδιαίτερα των ινών άνθρακα). Επιθυμητά χαρακτηρίστηκα των ινών για τη βελτίωση της μηχανικής συμπεριφοράς του σκυροδέματος είναι το μεγάλο μέτρο ελαστικότητας, που επιτρέπει μεταφορά τάσεων από το σκυρόδεμα στις ίνες,

Ο λόγος Poisson παρόμοιος με αυτόν του σκυροδέματος, ώστε να μην προκαλείται αποκόλληση των ινών, μεγάλος λόγος μήκους προς διάμετρο (l/d), ώστε η αστοχία των ινών να γίνεται με εξόλκευση και όχι με θραύση, και να αυξάνεται το έργο παραμόρφωσης και όσο το δυνατόν πιο παραμορφωμένη επιφάνεια, ώστε να βελτιώνεται η συνάφεια τους με το σκυρόδεμα και να αυξάνεται το φορτίο που απαιτείται για την αποκόλληση και εξόλκευση τους.

Εφαρμογές Ινοπλισμένου σκυροδέματος

Η χρήση των ινών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εφαρμόζεται ευρέως στην κατασκευή υπογείων έργων, όταν τοποθετείται ως πρώτο κέλυφος στήριξης κατά τη διάνοιξη σηράγγων καθώς και σε εργασίες στήριξης πρανών. Αποφεύγει επίσης πτώση κομματιών σε περίπτωση ρηγματομένου κελύφους αφού οι ίνες ελέγχουν τη ρηγμάτωση και σπλίζουν όλη τη μάζα σκυροδέματος.



Εικόνα 2.14 Εφαρμογή Ινοπλισμένου σκυροδέματος (<http://kataskevnh.blogspot.com>)

Πρόσφατα στην Ελλάδα, τα λιμάνια του Αστακού και της Θίβης κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας ινοπλισμένο σκυρόδεμα. Τα λιμενικά δάπεδα που κατασκευάζονται με ινοπλισμένο σκυρόδεμα είναι πλέον ανταγωνιστικά λόγω του χαμηλού συνολικού κόστους κατασκευής και της αυξημένης αποδοτικότητας. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα ως σύνθετο υλικό με αντοχή σε εφελκυσμό λόγω των ινών αντισταθμίζει την αντίστοιχη χαμηλή αντοχή και ελαστικότητα του σκυροδέματος κάνοντας έτσι τα λιμενικά δάπεδα ανθεκτικότερα κάτω από διαβρωτικές συνθήκες. [65], [55, pp. 38-46]

2.9.6 ΑΦΡΟΜΠΕΤΟΝ

Αφρομπετόν ή αλλιώς αφρώδες σκυρόδεμα είναι ένα υλικό με εξαιρετικές ιδιότητες. Έχει αποδειχτεί να εμφανίζει μεγάλη διάρκεια ζωής. Είναι ένα υλικό αρκετά αναγνωρισμένο που απαιτεί όμως και την κατάλληλη μηχανή παραγωγής αφρώδους σκυροδέματος και την πολύ καλή γνώση της συμπεριφοράς του από αυτόν που θα το εφαρμόσει. Πρόκειται για ελαφρότατο, σκληρό και αφρώδες κονίαμα.

Το τσιμέντο, αποτελείται από ομοιόμορφες απειράριθμες κυψελίδες, έχει ως αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό φυσαλίδων αέρα εντός της μάζας του τσιμέντου παράγοντας μια ομοιογενή δομή «κηρήθρας», η οποία προσφέρει στο τελικό προϊόν θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες καθώς και μεγάλη αντοχή, οι οποίες προσφέρουν μεγάλη θερμομονωτική και ηχομονωτική ικανότητα. Ιδανικό για την ηχομόνωση μεταξύ ορόφων και για γεμίσματα δαπέδων. Είναι το πιο διαδεδομένο υλικό σε εφαρμογές. Χρησιμοποιείτε σαν υλικό ρύσεων. Διαμορφώνοντας ρύσεις με ελεύθερη και ταχύτερη απορροή του νερού προς τις υδροροές σε ταράτσες, ζαρντινιέρες, γεμίσματα δαπέδων και πλήρωση και εξομάλυνση ανισοτήτων επιφανειών. Μετά το στέγνωμα παρουσιάζει λεία και βατή επιφάνεια.

Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι στο σύνολο των χώρων που χρησιμοποιούν αφρομπετόν αντιπροσωπεύει το 85% των ρύσεων των κτιρίων όσο και τα γεμίσματα των ορόφων και συντελούν στην αύξηση της διάρκειας ζωής και την βελτίωση των χαρακτηριστικών τους, με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη αξιοπιστία στην πάροδο του χρόνου. Έχει σαν συνέπεια χαμηλή θερμοαγωγιμότητα $\lambda=0,11$ σε πυκνότητα 350k/cm. Μείωση κατανάλωσης πετρελαίου και κλιματιστικών. Θα εξοικονομείτε ενέργεια έως και 65% για θέρμανση ή για ψύξη. Εμφανίζει μεγάλη υδατοαπορροφητικότητα λόγω της κυψελώδης του δομής και για το λόγω αυτό στην περίπτωση που βρέχονται οι επιφάνειες πρέπει να στεγανοποιούνται. [66], [67], [68]

2.9.7 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ CONFLEX PAVE

Στο Nanyang Technological University της Σιγκαπούρης δημιούργησαν ένα νέο είδους σκυροδέματος που το ονόμασαν ConFlex Pave, είναι εύκαμπτο, ωστόσο ανθεκτικότερο και πιο μακράς διάρκειας από το κανονικό τσιμέντο, που είναι βαρύ, διόλου εύκαμπτο και σπάει υπό πίεση. Τα πλεονεκτήματα του είναι δυνατή η παραγωγή λεπτών προκατασκευασμένων πλακών για γρήγορη εγκατάσταση, μειώνοντας τον χρόνο οικοδομικών εργασιών. Απαιτείται λιγότερη συντήρηση, μειώνει σημαντικά το πάχος και το βάρος των προκατασκευασμένων πλακών για πλακόστρωτα, επιτρέποντας έτσι εύκολη εγκατάσταση σε νέες πλάκες που έχουν κατασκευαστή αλλού για να αντικαταστήσουν τις παλιές.

Το ConFlexPave αποτελείται από ανάμειξη από είδη σκληρών υλικών με πολυμερείς μικροΐνες. Η συμπερίληψη αυτών των ειδικών συνθετικών ινών, πέρα από το ότι το καθιστά εύκαμπτο υπό πίεση, αυξάνει την αντοχή. Έχει δοκιμαστεί επιτυχώς σε πλάκες μικρής κλίμακας στα εργαστήρια του πανεπιστημίου. Η κλίμακα θα αυξηθεί για περαιτέρω δοκιμές μέσα στα επόμενα χρόνια. [69]

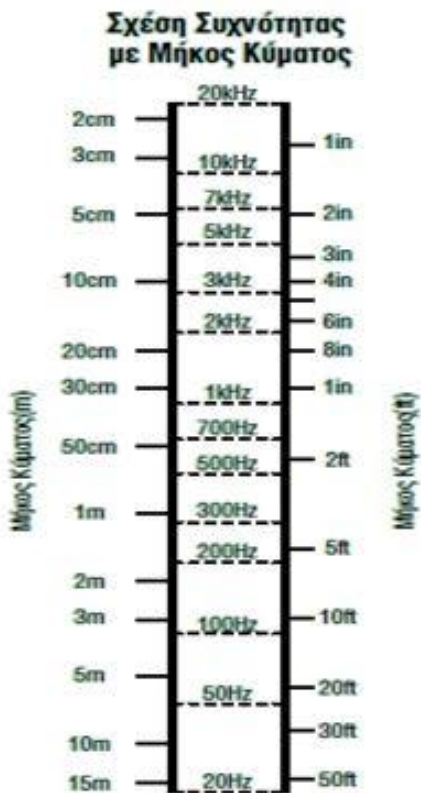
2.9.8 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Κατά την παρασκευή τους χρησιμοποιείται κοινό τσιμέντο Πόρτλαντ και αργιλικό. Τα αργιλικά σκυροδέματα, σε σύγκριση με τα κοινά, πηζούν και σκληρύνονται πολύ ταχύτερα και αποκτούν υψηλή μηχανική αντοχή σε μικρότερο χρόνο . Η τελική αντοχή τους σε θλίψη είναι μεγαλύτερη από την αντοχή των κοινών σκυροδεμάτων. [33, p. 14]

Τα αργιλικά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατασκευές που εκτελούνται το χειμώνα και σε κατασκευές που θα υποστούν την επίδραση μεγάλων φορτίων σε σύντομο χρόνο. [33, p. 14]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ



Σχήμα 3.1: Σχέση συχνότητας με μήκος κύματος [22, p. 15]

ΗΧΟΣ: είναι κύματα που παράγονται από μία πηγή που ταλαντώνονται μέσω ενός Ελαστικού μέσου(Αερίων, Υγρών) Και καταλήγουν σε ένα δέκτη. Μονάδα μέτρησης συχνότητας του ήχου είναι Hertz τα βασικά χαρακτηριστικά του ήχου είναι η ταχύτητα, η ισχύς, η διάρκεια, το φάσμα συχνοτήτων, η κατεύθυνση, η φάση.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ: Ταχύτητα είναι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου μέσα στο χώρο δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται Από παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η Πίεση και από το μέσο που προσπίπτει το κύμα.Για παράδειγμα η ταχύτητα στο ατσάλι είναι ίση με 6640m/sec Ενώ σε ξηρό ατμοσφαιρικό αέρα στους 20 βαθμούς είναι 343m/s.Γενικότερα όσο πυκνότερο είναι το μέσο διαδόσεως τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ηχητικού κύματος.Η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας.

ΦΑΣΗ: Φάση είναι ο χρόνος που απαιτείται για ένα κύκλο ενός ημιτονοειδούς κύματος.Η μονάδα μέτρησης είναι σε μοίρες υπάρχουν Τριών ειδών φάσης ανάμεσα σε δύο ηχητικά κύματα

Όταν τα κύματα βρίσκονται σε φάση τότε το τελικό κύμα θα έχει πλάτος το Άθροισμα των πλατών.

Όταν τα κύματα βρίσκονται εκτός φάσης τα μήκη κύματος τους είναι τελείως διαφορετικά και δεν τέμνονται πουθενά. Όταν τα κύματα βρίσκονται σε φάση Αντίστροφης Έχουν το ίδιο πλάτος και Αλληλοεξουδετερώνονται.

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: Είναι η συγκεκριμένη διεύθυνση που έχει ο ήχος με ή χωρίς ανάκλαση από το υλικό

ΔΙΑΡΚΕΙΑ: Είναι η μέτρηση του ήχου που απαιτείται από την αρχή της διαδόσεως του ήχου ως την εξασθένηση του

ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ: Είναι συχνότητες που κατέχουν τα ηχητικά κύματα.

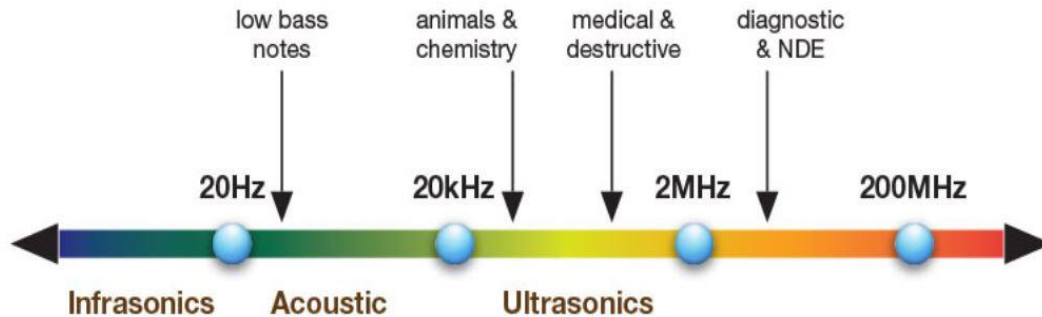
ΙΣΧΥΣ: Η ισχύς που εκπέμπεται από μία πηγή είναι η ενέργεια του ήχου στη μονάδα του χρόνου. Μονάδα μέτρησης είναι τα Watts.

[30], [70] ([22, pp. 15-17], [16, pp. 16-18, 22,24,37,39-40]

3.2 ΚΥΜΑ

Κύμα είναι μια διαταραχή από την ισορροπία, που μεταφέρει ενέργεια και ορμή με σταθερή ταχύτητα [71] η οποία ταξιδεύει μέσα στον χώρο. Η κυματική κίνηση εμφανίζεται σχεδόν παντού στη φύση: οι κυματισμοί του νερού, οι σεισμικές δονήσεις, τα ηχητικά κύματα, τα κύματα σε μια χορδή. Όταν ένα σώμα ταλαντώνεται στον αέρα, αλληλοεπιδρά με τα μόρια του και προκαλεί την κίνησή τους. Τα μόρια πλησιάζουν ή απομακρύνονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πυκνώματα και αραιώματα και η πίεση του αέρα να μεταβάλλεται περιοδικά γύρω από μια μέση τιμή. Μέσω των αλληλεπιδράσεων των μορίων μεταφέρεται ενέργεια από μόριο σε μόριο και τελικά ενέργεια από το σώμα που ταλαντώνεται διαδίδεται στο χώρο. Επομένως οι ταλαντώσεις των σωμάτων στον αέρα δημιουργούν μηχανικά κύματα τα οποία διαδίδονται σε αυτόν και ονομάζονται ηχητικά κύματα. Επειδή τα μόρια του αέρα κινούνται κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, τα ηχητικά κύματα είναι διαμήκη κύματα. Όταν η συχνότητά τους είναι μεγαλύτερη από 20 Hz και μικρότερη από 20.000 Hz φθάσουν στο ανθρώπινο αφτί προκαλούν το αίσθημα της ακοής. Κύματα με συχνότητα μικρότερη των 20 Hz ονομάζονται υπόηχοι. Κάθε ήχος του οποίου η συχνότητα είναι χαμηλότερη από το κατώτατο όριο συχνοτήτων που μπορούν να γίνουν αντιληπτές από την ανθρώπινη ακοή. [30]. Αυτή η περιοχή του ακουστικού φάσματος χρησιμοποιείται στη σεισμολογία για την παρακολούθηση των σεισμών. Οι υπόηχοι μπορούν να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις, ειδικά μέσα σε στερεά ή υγρά μέσα και να παρακάμψουν εμπόδια χωρίς σημαντική εξασθένηση. [72] Η πρώτη καταγεγραμμένη παρατήρηση φυσικών υπόηχων σημειώθηκε μετά την έκρηξη του ηφαιστείου Κρακατόα το 1883, όταν τα ηχητικά κύματα που δημιουργήθηκαν περιέτρεξαν τη Γη πάνω από επτά φορές και καταγράφηκαν από βαρόμετρα σε όλο τον κόσμο. [72]. Έχει διαπιστωθεί ότι οι υπόηχοι προκαλούν αισθήματα δέους ή φόβου στους ανθρώπους. Από τη στιγμή που δεν μπορούν να γίνουν συνειδητά αισθητοί, κάποιος που δέχεται την επίδραση υπόηχων μπορεί να νομίσει ότι είναι μάρτυρας υπερφυσικών φαινομένων. Οι υπόηχοι έχουν προστεθεί εσκεμμένα κατά καιρούς στην ηχητική μπάντα ορισμένων ταινιών προκειμένου να προκαλέσουν ανησυχία ή δυσφορία στους θεατές. [72] Παράγονται από μεγάλες πηγές, π.χ. σεισμικά κύματα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ηφαίστεια, πυρηνικές εκρήξεις, δίνες ανεμοστρόβιλων • ζώα όπως φάλαινες, ελέφαντες επικοινωνούν με υπόηχους σε αποστάσεις πολλών km. [73, p. 15] ενώ με συχνότητα μεγαλύτερη των 20.000 Hz ονομάζονται υπέρηχοι. Παράγονται από πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους, Χαρακτηρίζονται από υψηλή ένταση & κατευθυντικότητα και βρίσκουν εφαρμογές στην ιατρική, Μκε, στη μελέτη υποβρύχιων αντικειμένων. [73, p. 15]

Ultrasonics Range Diagram



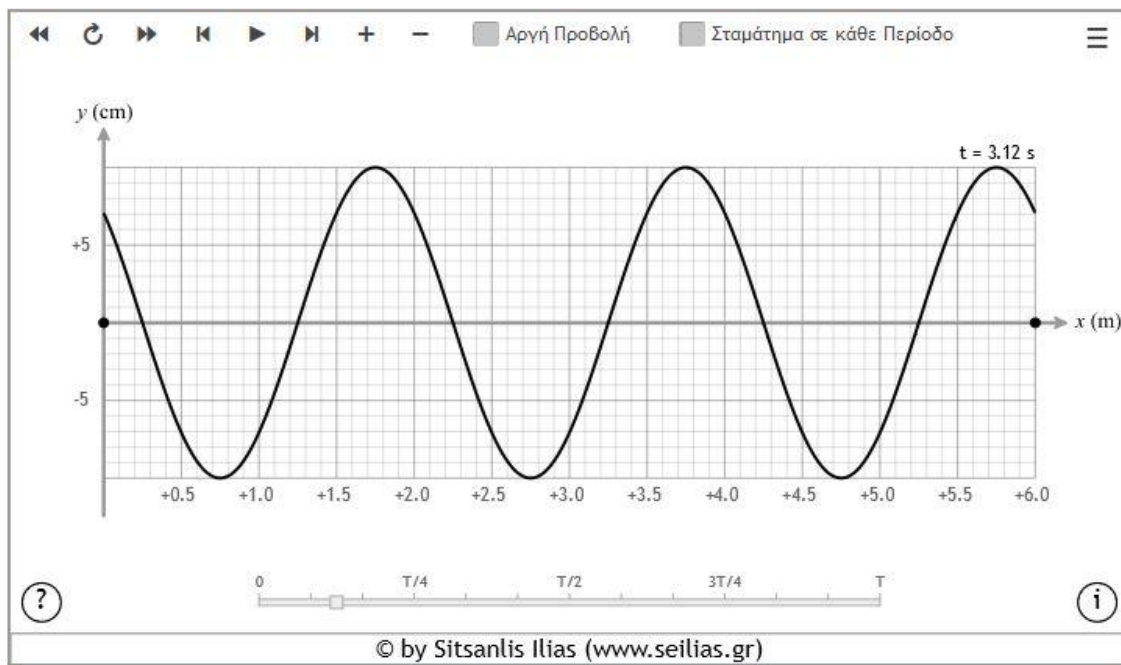
Σχ. 3.2 (<http://el.science.wikia.com>)

3.2.1 ΤΡΙΑ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ ΚΥΜΑΤΩΝ:

Τα μηχανικά κύματα, που ταξιδεύουν διαμέσου ενός υλικού, π.χ. αέρας, νερό, στερεά κτλ.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, που δε χρειάζονται ύλη, για να ταξιδέψουν (ταξιδεύουν και στο κενό), και τα κύματα πιθανότητας της Κβαντικής Φυσικής, όπου τα υποατομικά σωματίδια εμφανίζουν και κυματικές ιδιότητες.

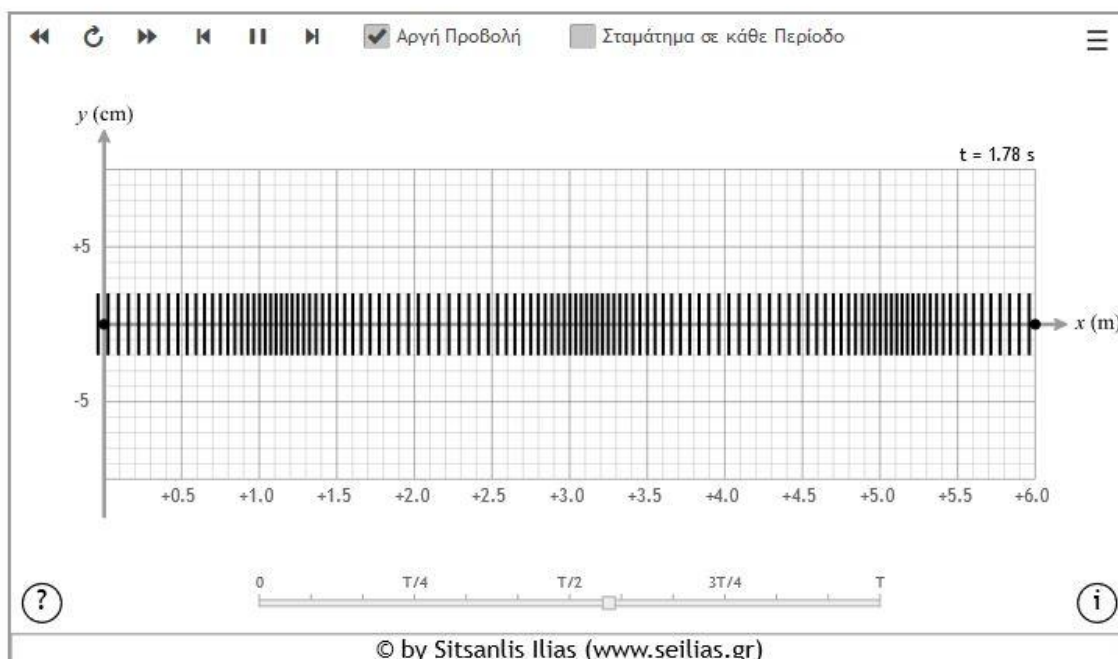
Εγκάρσια Κύματα



Εικόνα 3.1 Εγκάρσια κύματα (www.seilias.gr)

Τα εγκάρσια κύματα δεν μπορούν να υποστηριχθούν από τις ελαστικές συγκρούσεις των μικροσωματιδίων εντός του υλικού [10, p. 25], η διεύθυνση διάδοσης τους είναι κάθετη στη διεύθυνση της ταλάντωσης των σωματιδίων που είναι το μέσο διαδόσεως . [44] Εγκάρσιο λέγεται το κύμα όπου τα σωματίδια του μέσου ταλαντώνονται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Δεν διαδίδονται χωρίς να ασκηθεί αρκετή ελκτική δύναμη. Στα εγκάρσια κύματα εμφανίζονται μέγιστα και ελάχιστα. Η ταχύτητα που διάδοσης τους για το ίδιο υλικό είναι περίπου η μισή από την ταχύτητα των διαμηκών κυμάτων. [10, p. 25] η διαδοσή τους γίνεται μόνο σε στερεά υλικά γιατί προϋποθέτουν μεγάλη συνεκτικότητα μεταξύ των μορίων της ύλης [74],p.2]. Στα κύματα αυτά σχηματίζονται όρη και κοιλάδες [75]

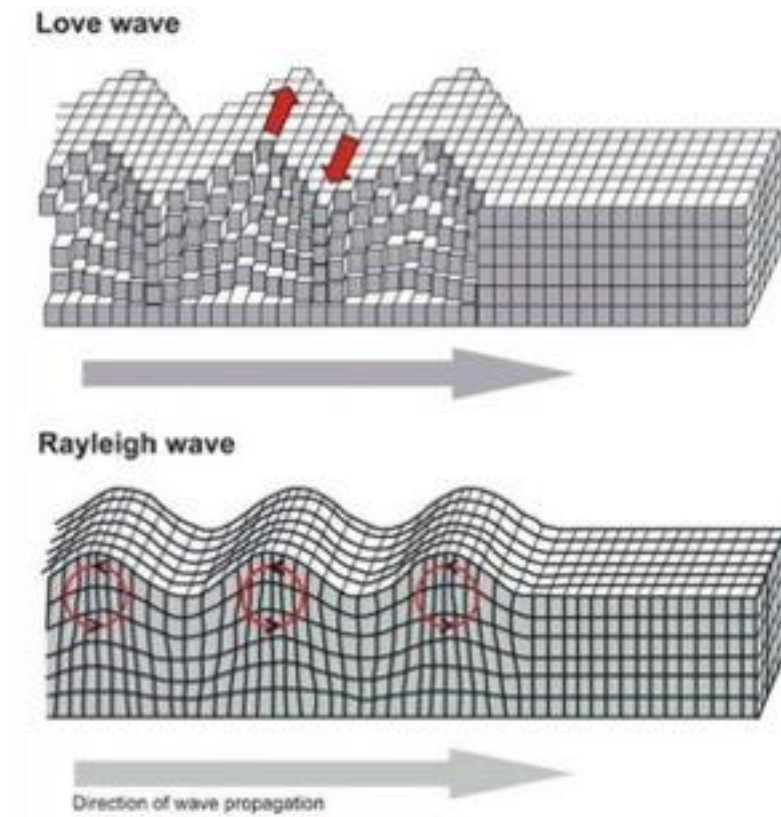
Διαμήκη Κύματα



Εικόνα 3.2 Διαμήκη Κύματα (www.seilias.gr)

Διαμήκη κύματα (Longitudinal waves): Είναι τα κύματα τα οποία φεύγοντας από μία ηχητική πηγή και προσπίπτοντας σε ένα μέσο με μια συγκεκριμένη ταχύτητα. Στα διαμήκη κύματα τα μόρια ταλαντώνονται γύρω από τη θέση ισορροπίας τους παράλληλα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Το κύμα διαδίδεται ως ένα μέτωπο/κύμα μεταβολής της πίεσης. [73, p. 2]. Κατά τη διάδοση των διαμηκών κυμάτων στα υλικά αναπτύσσονται διαδοχικά πυκνώματα και αραιώματα και τα ατομικά μέρη που μεταδίδουν το κύμα δονούνται προς τα εμπρός και προς τα πίσω ακολουθώντας τη διεύθυνση με την οποία διαδίδεται το κύμα. Τα διαμήκη κύματα διαδίδονται με ευκολία τόσο στα υγρά και στα

αέρια, όσο και στα ελαστικά στερεά. Ενδεικτικές ταχύτητες είναι 6000m/s στον χάλυβα, 4500m/s στο σκυρόδεμα, 1500m/s στο νερό και 330m/s στον αέρα. [10, p. 25]



Εικόνα 3.3 (<http://atlaswikigr.wikifoundry.com/page>)

Επιφανειακά κύματα ή Rayleigh

Τα επιφανειακά κύματα δημιουργούνται όταν τα εγκάρσια κύματα διαθλώνται στις 90°. Τα μόρια συνδυάζουν την εγκάρσια και τη διαμήκη κίνηση, με αποτέλεσμα να κινούνται σε ελλειπτική τροχιά. Παράγονται, όταν τα διαμήκη προσπίπτουν σε μια επιφάνεια υπό γωνία, που η τιμή της είναι ίση ή μεγαλύτερη της δεύτερης κρίσιμης γωνίας [2, p. 34]

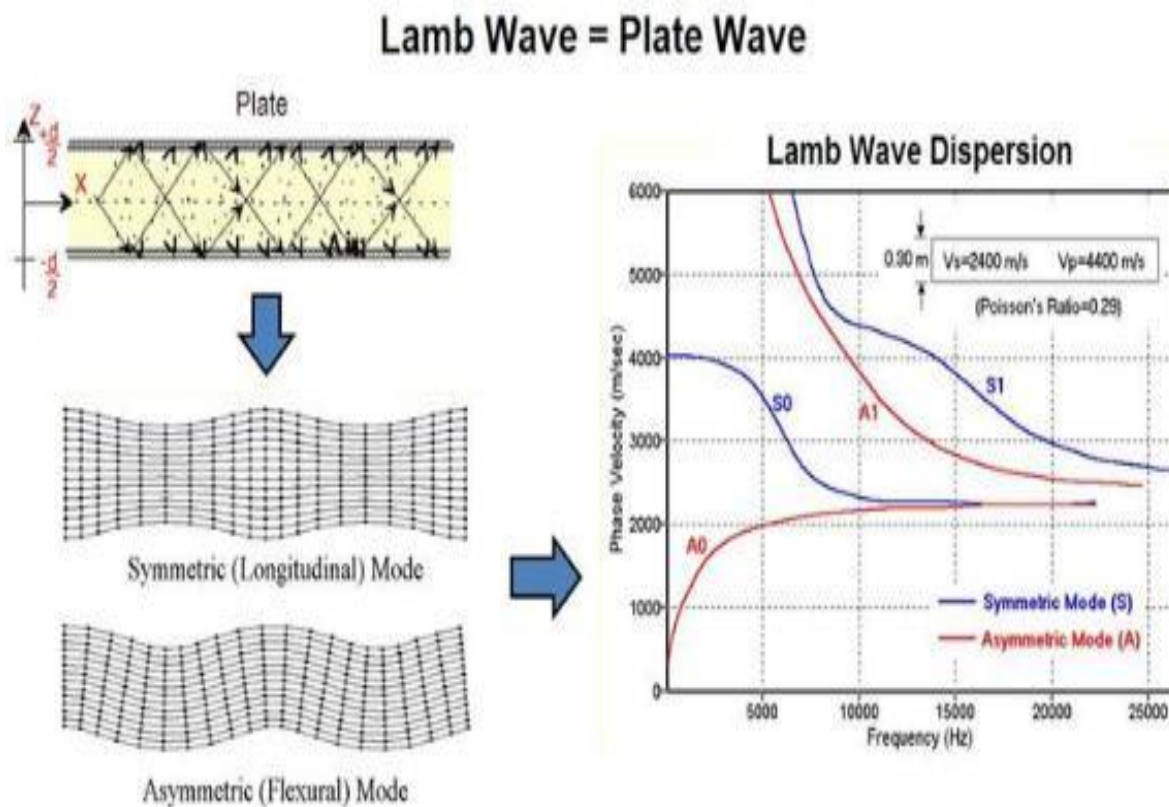
Διεισδύουν μέσα στο στερεό υλικό, σε βάθος που είναι ίσο με ένα μήκος κύματος και έχουν την ιδιότητα να ακολουθούν το προφίλ της επιφάνειας στην οποία διαδίδονται. Διαδίδονται με ταχύτητα που είναι περίπου ίση με το 90% αυτής των εγκαρσίων κυμάτων στο ίδιο υλικό. Τα κύματα Rayleigh είναι πολύ χρήσιμα στο μη καταστροφικό έλεγχο καθώς είναι πολύ ευαίσθητα στις επιφανειακές ατέλειες και ανακλώνται από απότομες αλλαγές στο προφίλ, όπως είναι οι ρωγμές. Τέλος, μπορούν να φτάσουν σε περιοχές που άλλα είδη κυμάτων συναντούν δυσκολία. [76, pp. 36-37]

Κύματα Love (L) Waves

Το πρώτο είδος επιφανειακών κυμάτων ονομάζεται Love (L) Wave. Αν και είναι αρκετά πιο αργό από τα κύματα χώρου είναι το γρηγορότερο από τα επιφανειακά κύματα και κινεί το έδαφος οριζόντια. Δημιουργούν δηλαδή μετακινήσεις πλευρικές της επιφάνειας του εδάφους. Περιορισμένα στην επιφάνεια της κρούστας της γης, τα Love(L) Wave παράγουν εξ ολοκλήρου την οριζόντια κίνηση. Αν και ταξιδεύουν αργά από τη σεισμική πηγή, είναι πολύ καταστρεπτικά. [77, p. 4]

Είναι αυτά τα κύματα που είναι συχνότερα υπεύθυνα για την κατάρρευση κτιρίων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού [77, p. 4]

Κύματα πλακών ή κύματα Lamb.



Εικόνα 3.4 (<http://www.masw.com/sitebuilder>)

Παράγονται, όμως, σε πλάκες, των οποίων το πάχος είναι ίσο με μερικά μήκη κύματος και καταλαμβάνουν όλο το πάχος της πλάκα. [76, p. 37]

Η διάδοση τους εξαρτάται από την πυκνότητα και τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού, ενώ παράλληλα επηρεάζεται από τη συχνότητα του κύματος και το πάχος της πλάκας. Υπάρχουν

δύο τύποι κυμάτων πλακών, που ορίζονται από το είδος της κίνηση των δομικών σωματιδίων. Εάν τα δομικά σωματίδια κινούνται συμμετρικά, ως προς τον ουδέτερο άξονα της πλάκας, έχουμε τα διασταλτικά κύματα ενώ εάν κινούνται ασύμμετρα, έχουμε τα καμπτικά. [76, p. 37]

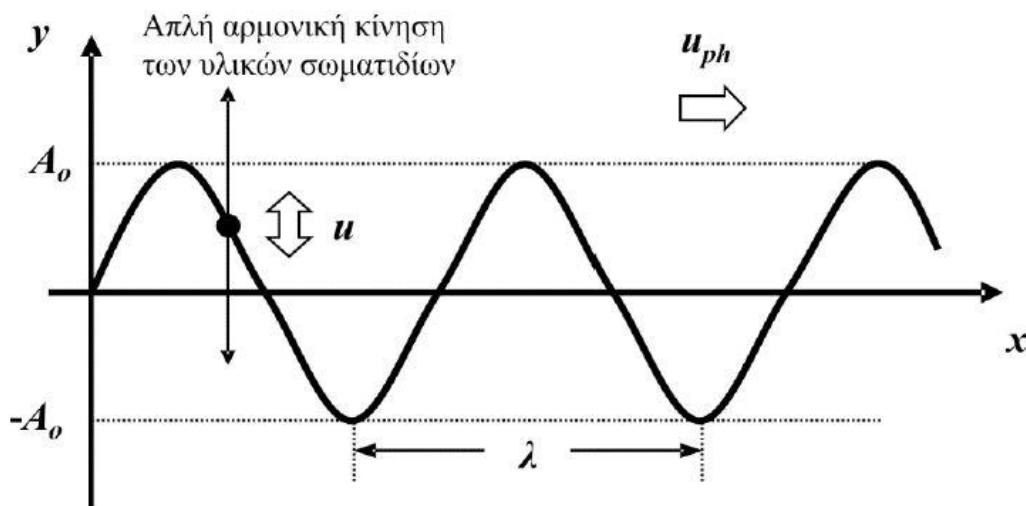
Στρεπτικά κύματα λέγονται αυτά που αναπτύσσονται σε σώματα που έχουν τη μορφή ράβδου και εκτελούν στρεπτική ταλάντωση γύρω από τον επιμήκη άξονα της ράβδου. Η διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων στρέψεως συμπίπτει με τη διεύθυνση του άξονα της ράβδου. [14, p. 18]

3.3 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΚΥΜΑΤΑ

Η συχνότητα κύματος f είναι ο αριθμός των κύκλων ανά δευτερόλεπτο. Η μονάδα μέτρησης του είναι το Hertz και δίνεται από τον τύπο $f=1/T$ όπου T =περίοδος και μονάδα μέτρησης sec και είναι ο χρόνος που κάνει για ένα πλήρη κύκλο μία κυματική διαταραχή. Το μήκος κύματος λ είναι η απόσταση μεταξύ δύο συμπυκνωμάτων ή δύο αρωμάτων της κυματικής διαταραχής μονάδα μέτρησης του είναι το m Ταχύτητα κύματος η ταχύτητα διαδόσεως c είναι αριθμός διάδοσης του κύματος σ' ένα μέσο. Μονάδα μέτρησης είναι m/sec.

Δίνεται από τις σχέσεις $c=\lambda/T$ (3,1) ή $c=\lambda*f$ (3,2) Θεμελιώδης νόμος της Κυματικής.

Βάσει του θεμελιώδους νόμου της κυματικής η συχνότητα του κύματος δεν αλλάζει όταν αυτό διαδίδεται σε διαφορετικά υλικά αλλάζει όμως το μήκος κύματος του. [70] [78]



Σχήμα 4.2 Στιγμιότυπο ενός εγκάρσιου κύματος σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Σχ.3.3 (<https://encrypted-tbn0.gstatic.com>)

3.4 ΚΑΘΕΤΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Όταν το κύμα συναντήσει κάθετα τη διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών, τότε ένα τμήμα του θα ανακλαστεί και ένα άλλο θα διαθλασθεί. Τα ποσοστά ανάκλασης και διάθλασης εξαρτώνται από ένα μέγεθος που ονομάζεται ακουστική αντίσταση Z του υλικού και ισούται με το γινόμενο της πυκνότητας ρ του υλικού επί την ταχύτητα διάελευσης C του κύματος διαμέσου του υλικού αυτού:

$$Z = \rho c \quad (3.3)$$

Σημειώνεται ότι η ταχύτητα c συνιστά σταθερά ενός υλικού και έχει άλλη τιμή για κάθε υλικό. [14, p. 18]

Εφόσον έχει οριστεί η έννοια της ακουστικής αντίστασης Z , ορίζουμε τον συντελεστή

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (3.4)$$

ανάκλασης R ως

και το συντελεστή διάθλασης T ως

$$T = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (3.5) \quad \varepsilon \quad Z_1 = \rho_1 c_1 \quad \text{και} \quad Z_2 = \rho_2 c_2$$

Οι συντελεστές ανάκλασης και διάθλασης δίνουν το ποσοστό της ηχητικής πίεσης που ανακλάται ή διαθλάται στο δεύτερο υλικό. Στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών ισχύει η συνέχεια της ηχητικής πίεσης που εκφράζεται από τη σχέση: [14, p. 19]

$$p_0 + p_1 = p_2 \quad (3.6)$$

όπου P_0 είναι η ακουστική πίεση του προσπίπτοντος κύματος, $p_1 = R p_0$ η ακουστική πίεση του ανακλώμενου κύματος και $p_2 = T p_0$ η ακουστική πίεση του διαθλώμενου κύματος. Οπότε ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$p_0 + R p_0 = T p_0 \quad \text{και} \quad 1 + R = T \quad (3.7)$$

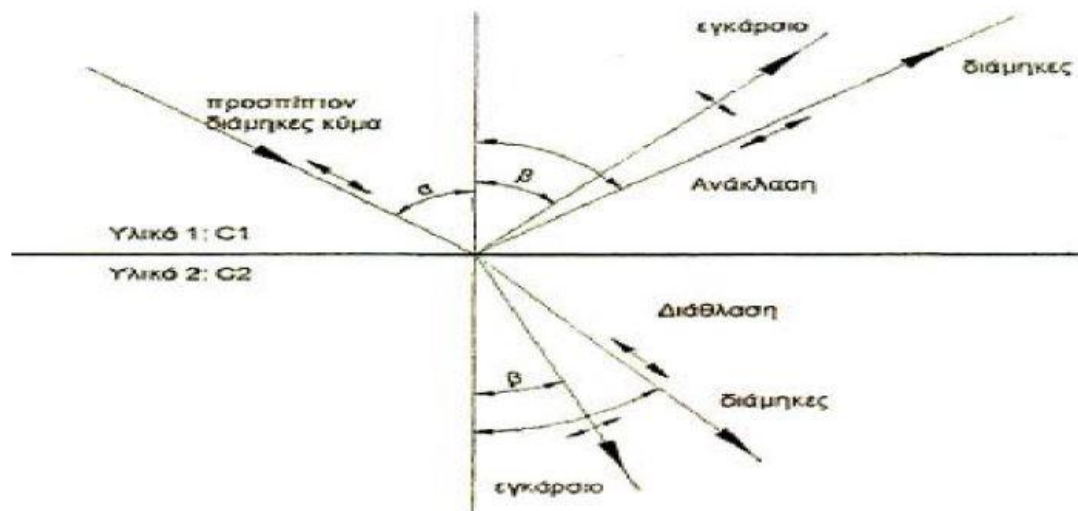
Εάν οι ακουστικές αντιστάσεις δύο υλικών είναι ίσες ($Z_1 = Z_2$), τότε δεν υπάρχει ανάκλαση ($R = 0$), ενώ όλος ο ήχος περνά ανεμπόδιστα μέσα από τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών ($T = 1$). Έτσι, προκύπτει ότι κατά τη μετάβαση των υπερηχητικών κυμάτων από το χάλυβα στο αέρα ανακλάται το 99.96% της ενέργειάς τους, ενώ από χάλυβα σε Plexiglas το 68%, από αλουμίνιο σε νερό το 70% και τέλος από χαλαζία σε αλουμίνιο το 0.64% της ενέργειάς τους. [14, p. 19]

Για λόγους ακουστικής επαφής κρίνεται απαραίτητη η προσθήκη κάποιου υγρού στη διεπιφάνεια κεφαλής - εξεταζόμενου υλικού, το οποίο θα εξουδετερώνει το στρώμα αέρα

που κανονικά θα υπήρχε μεταξύ των δύο υλικών. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται διάφορες πάστες ή και μέλι, γράσο ή λάδι μηχανής. [14, p. 19]

3.5 ΠΛΑΓΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΚΥΜΑΤΟΣ

Όταν ένα κύμα προσπέσει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών υπό γωνία, τότε παράγονται δύο κύματα λόγω ανάκλασης (διάμηκες και εγκάρσιο) και δύο λόγω διάθλασης (διάμηκες και εγκάρσιο). Προφανώς, όταν κάποιο από τα υλικά είναι υγρό ή αέριο, τα εγκάρσια κύματα εξαφανίζονται και μένουν μόνο τα διαμήκη. Οι διευθύνσεις όλων των κυμάτων, τόσο του προσπίπτοντος όσο και των ανακλώμενων και διαθλώμενων κυμάτων, καθορίζονται από τη γωνία που σχηματίζει κάθε ένα από αυτά με την κάθετη προς τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών. [14, p. 19]



Σχ.3.4 Πλάγια πρόσπτωση κύματος [14, p. 20]

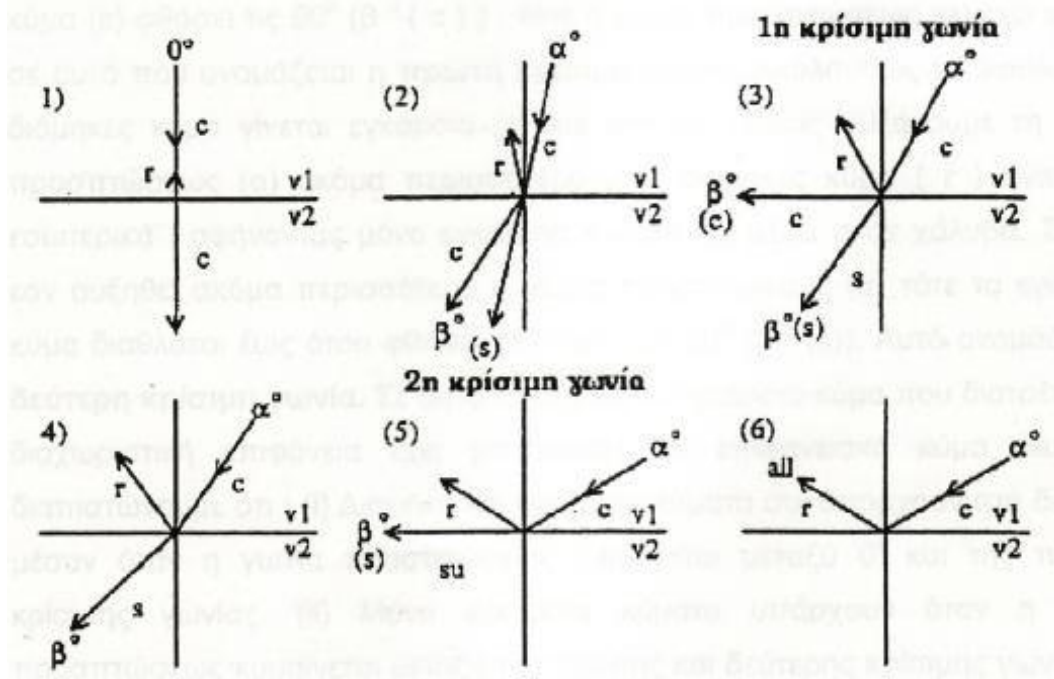
Στην περίπτωση της πρόσπτωσης υπό γωνία, ισχύει ο νόμος του Snell που στη γενική του μορφή είναι: $\sin\alpha/\sin\beta=C1/C2$ και αναλυοντάς τον προκύπτει:

$$\sin\alpha/CL^1=\sin\alpha_L/CL^1=\sin\alpha_T/CT^1=\sin\beta_L/CL^2=\sin\beta_T/CT^2 \quad (3.8)$$

Στη διεπιφάνεια δύο υλικών, υπάρχουν δύο κρίσιμες γωνίες πρόσπτωσης του κύματος, οι οποίες είναι αυτές που εξαφανίζουν το διαθλώμενο διάμηκες και το διαθλώμενο εγκάρσιο κύμα αντίστοιχα. [14, p. 20]

3.6 ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΓΩΝΙΕΣ

Είναι οι γωνίες προσπτώσεως από το πρώτο μέσον, κατά τις οποίες τα προσπίπτοντα κύματα μέσα στο δεύτερο μέσον, διαθλώνται και συγχρόνως αλλάζουν κυματομορφή. Η πρώτη κρίσιμη γωνία είναι εκείνη που το διαθλώμενο διαμήκης κύμα εξαφανίζεται αφήνοντας μόνο εγκάρσια κύματα στο δεύτερο μέσον. Η δεύτερη κρίσιμη γωνία είναι εκείνη όπου το διαθλώμενο εγκάρσιο κύμα μετατρέπεται σε επιφανειακό. Οι κρίσιμες γωνίες υπολογίζονται με το νόμο του Snell. [2, p. 42]



Σχήμα 3.5 : Κρίσιμες γωνίες. [2, p. 42]

Παράδειγμα πλεξιγκλάς-χάλυβας

Διάγραμμα 1: ένα διαμήκης κύμα (c) προσπίπτει στο όριο πλεξιγκλάς – χάλυβα υπό γωνία 00 (κάθετα). Στην διαχωριστική επιφάνεια ένα μέρος της ενέργειας (r) ανακλάται και ένα άλλο μέρος (c) διαπερνά το χάλυβα, συνεχίζοντας την πορεία του κάθετα.

Διάγραμμα 2: Καθώς αυξάνουμε την γωνία (α) του προσπίπτοντος κύματος (c) μέσα στο πλεξιγκλάς (πρέπει $\alpha_0 <$ πρώτη κρίσιμη γωνία) το κύμα στο χάλυβα (c) διαθλάται κατά γωνία β_0 , λόγω της διαφοράς των ταχυτήτων μετάδοσης στο πλεξιγκλάς (V_1) και στο χάλυβα (V_2). Όμως μαζί με το διαθλώμενο διαμήκης κύμα θα υπάρχει και ένα αδύναμο εγκάρσιο κύμα (s). [2, p. 42]

Διάγραμμα 3: Εάν αυξήσουμε ακόμα την γωνία προσπτώσεως μέχρι το διαθλώμενο κύμα (c) φτάσει τις 90° ($\beta_0 = c$), τότε η γωνία προσπτώσεως (α) έχει φτάσει στο σημείο που ονομάζεται πρώτη κρίσιμη γωνία. [10]

Διάγραμμα 4: καθώς συνεχίζουμε να αυξάνουμε την γωνία προσπτώσεως (α), το διαμήκες κύμα (r) ανακλάται εσωτερικά, αφήνοντας μέσα στο χάλυβα μόνο εγκάρσια κύματα (s). [10]

Διάγραμμα 5: αυξάνοντας ακόμα περισσότερο την γωνία προσπτώσεως (α), το εγκάρσιο κύμα διαθλάται μέχρι να φτάσει την τιμή των 90° ($\beta_0 = s$). Το σημείο αυτό ονομάζεται δεύτερη κρίσιμη γωνία. Στο σημείο αυτό το εγκάρσιο κύμα έχει μετατραπεί σε επιφανειακό (su). [2, p. 42]

Διάγραμμα 6: από την τιμή της δεύτερης κρίσιμης γωνίας και πάνω, όλες οι συμβατικές μορφές μετάδοσης ανακλώνται εσωτερικά. [2, p. 42]

3.7 ΣΚΕΔΑΣΗ - ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ - ΣΥΜΒΟΛΗ ΗΧΗΤΙΚΩΝ

Τα τρία φαινόμενα που μπορεί να υποστεί ένα κύμα, όταν κατά την διαδρομή του συναντήσει κάποιο εμπόδιο είναι η σκέδαση, η περίθλαση και η συμβολή. [14, p. 21]

Εάν η διάμετρος d του εμποδίου είναι μικρότερη από το μήκος κύματος λ του ηχητικού κύματος ($d \ll \lambda$), τότε το εμπόδιο δεν επηρεάζει τη διάδοση του κύματος.

Εάν $d = \lambda$, τότε το εμπόδιο επηρεάζει έντονα τη διάδοση του κύματος. Ανάλογα με τον προσανατολισμό των εμποδίων, το κύμα υφίσταται ανακλάσεις και διαδίδεται προς διάφορες κατευθύνσεις με αποτέλεσμα την εξασθένηση του. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται σκέδαση.

Εάν $d > \lambda$ (και όχι $d \gg \lambda$), τότε το ηχητικό κύμα παρακάμπτει το εμπόδιο και διαδίδεται μέσα στο υλικό. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται περίθλαση.

Στην περίπτωση που το εξ' ανακλάσεως ηχητικό κύμα υπερτίθεται στο αρχικό, έχουμε το φαινόμενο της συμβολής δύο κυμάτων. Αναλόγως με την διαφορά φάσης και συχνότητας των δύο κυμάτων, μπορούμε να έχουμε ενίσχυση ή εξασθένηση του τελικού κύματος. [14, p. 21]

3.8 ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΣΤΕΡΕΑ ΣΩΜΑΤΑ

Τα στερεά σώματα σε γενικές γραμμές εμφανίζουν αρκετά μεγάλη απόσβεση, η οποία οφείλεται κυρίως σε δύο λόγους: στην απορρόφηση και στην διασπορά. [14, p. 21]

Η απορρόφηση, η απώλειά της ταλαντωτικής ενέργειας των σωματιδίων, [7, p. 11] λόγω της εσωτερικής τριβής, είναι η μετατροπή μέρους της ενέργειας του υπερήχου σε θερμότητα. Η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη σε υψηλότερη συχνότητα. [14, p. 21]

Η διασπορά, οφείλεται στην ανομοιογένεια και στην ανισοτροπία κάποιων υλικών, όταν αυτά περιέχουν εγκλείσματα, κόκκους ή πόρους. [14, p. 22]

Η διασπορά λαμβάνει χώρα όταν το μήκος κύματος του υπερήχου πλησιάζει το μέγεθος ενός κόκκου ή ενός πόρου μέσα στο υλικό διάδοσης. Ουσιαστικά πρόκειται για μια ακανόνιστη ανάκλαση και διάθλαση των κυμάτων, που οδηγεί στην εξασθένηση του αρχικού ήχου. [14, p. 22]

Τρεις βασικές κατηγορίες υλικών υπάρχουν, όσον αφορά το κατά πόσον αποσβένουν ένα υπερηχητικό κύμα.

Υλικά με χαμηλή απόσβεση, μικρότερη των 10 dB/m. Πρόκειται για τον χάλυβα και τα χαμηλά κράματα του, τον σφυρήλατο σίδηρο, το γυαλί, κα.

Υλικά με μέση απόσβεση μέχρι 100 dB/m, όπως τα υψηλά κράματα χάλυβα, ο μόλυβδος κα.

Υλικά με υψηλή απόσβεση, πάνω από 100 dB/m. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν το σκυρόδεμα, το ξύλο κλπ. Αυτά τα υλικά είναι και τα πλέον δύσκολα για να εξεταστούν. Συνήθως χρησιμοποιούμε πολύ λεπτά δοκίμια αυτών των υλικών, έτσι ώστε η συνολική απόσβεση να είναι περιορισμένη και να μπορούμε να προβούμε σε ασφαλή συμπεράσματα. [14, p. 22]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

Ο πιεζοηλεκτρισμός είναι η ιδιότητα κάποιων υλικών να παράγουν ηλεκτρική τάση όταν δέχονται κάποια μηχανική τάση/πίεση ή ταλάντωση. Στη δεκαετία του 1950-60 βρέθηκε ότι το ανθρώπινο οστό επίσης επιδεικνύει ένα πιεζοηλεκτρικό δυναμικό όταν εφαρμόζεται σε αυτό στερεητική φόρτιση. Το φαινόμενο τυγχάνει ευρείας εκμετάλλευσης σε διάφορες εφαρμογές της ακουστικής, βιοϊατρική, μικροζυγαριές [79], αξιοποιείται στις συσκευές των υπερήχων, ακουστικούς αισθητήρες και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφού μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.

Γίνονται έρευνες για το πώς μπορεί να αυξηθεί η απόδοση του πιεζοηλεκτρισμού έτσι ώστε να μπορεί να ενταχθεί και στο αστικό περιβάλλον αλλά και στην κατοικία. Έχει εφαρμοσθεί στην Τουλούζη της Γαλλίας όπου μέσω του πιεζοηλεκτρισμού και χρησιμοποιώντας την ενέργεια από τους πεζούς διατηρούνται ανοιχτά τα φώτα του δρόμου [80].

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, συνδυάζει της ηλεκτρικές με μηχανικές ιδιότητες των υλικών και αντίστροφα.

Για παράδειγμα, αν πιεζοηλεκτρικά υλικά (π.χ. χαλαζίας, τουρμαλίνη) υπόκεινται σε ηλεκτρικές διεγέρσεις κατά μήκος συγκεκριμένων κρυσταλλικών προσανατολισμών, τότε εμφανίζονται, κατά μήκος καλώς ορισμένων κρυσταλλικών προσανατολισμών, μηχανικές παραμορφώσεις. Αντίθετα, μια μηχανική παραμόρφωση του υλικού προκαλεί τη δημιουργία ηλεκτρικών φορτίων πόλωσης. Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο εμφανίζεται τόσο σε μονοκρυσταλλικά όσο και σε πολυκρυσταλλικά υλικά. Στις μέρες μας, τα υλικά με πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες απέκτησαν τεράστια τεχνική σημασία ως λειτουργικά υλικά.

Τα πολυκρυσταλλικά κεραμικά, όπως είναι το BaTiO₃ και η PZT, είναι πιεζοηλεκτρικά υλικά με ευρεία χρήση εξαιτίας του χαμηλού κόστους κατασκευής και των σχεδόν αυθαίρετων δυνατών σχημάτων που μπορούν να πάρουν, σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικά πιεζοηλεκτρικά υλικά.

Επιπλέον, τα συγκεκριμένα υλικά παρουσιάζουν εξαιρετικές πιεζοηλεκτρικές και διηλεκτρικές ιδιότητες, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμα στο πεδίο των πιεζοηλεκτρικών διεγερτών. [16]

4.1 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1880 από τα αδέρφια pierre και Jacques curie, πρόκειται για ένα μηχανισμό μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική και το αντίστροφο. Όταν η επιφάνεια των κρυσταλλικών υλικών συμπιέζεται μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρικό ρεύμα και όταν εφαρμοστεί ηλεκτρικό ρεύμα εμφανίζονται μηχανικές παραμορφώσεις.

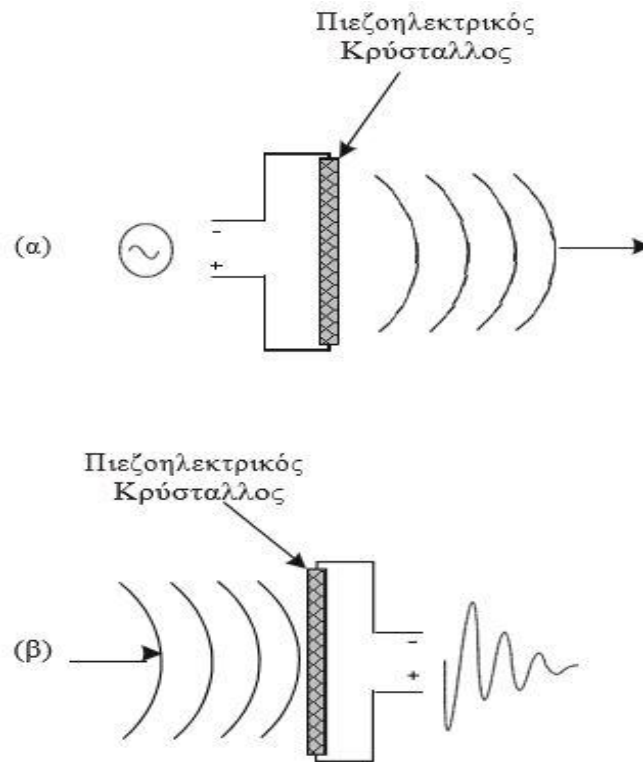
Όταν εφαρμοστεί εναλλασσόμενη τάση σε ορισμένες διαστάσεις του κρυστάλλου θα υφίστανται συνεχείς αυξομειώσεις. Οι συνεχείς αυξομειώσεις δημιουργούν δόνηση στον κρύσταλλο. [16, p. 62] .

Οι δονήσεις μεταδίδονται στο Περιβάλλον π.χ σκυρόδεμα με τη μορφή αυξομειώσεων πίεσης, κατά την αντίστροφη πορεία το ηχητικό κύμα που προσπίπτει στον κρύσταλλο μεταδίδει μηχανικές δονήσεις, ο κρύσταλλος δονείται και παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα [16, p. 62] .

Το ηλεκτρικό δυναμικό (ή το φορτίο) μπορεί εύκολα να μετρηθεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικών διατάξεων. Έτσι επιτυγχάνεται η ανίχνευση των υπερήχων. Συνεπώς η ίδια πηγή μπορεί να είναι συγχρόνως και ανιχνευτής ηχητικών κυμάτων (Kossoff, 2004).

Η χρήση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου είναι σε συσκευές εκπομπής ήχου, Αισθητήρων Ακουστικής εκπομπής, συσκευές υπερήχων, κ.ά.

Η παραγωγή και ανίχνευση των υπερήχων βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Πρόκειται για έναν μηχανισμό μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική και αντιστρόφως. Όταν κρυσταλλικά υλικά συμπιέζονται από ηχητικά κύματα, στην επιφάνειά τους αναπτύσσονται ηλεκτρικά φορτία. Αντιθέτως, όταν στα υλικά αυτά εφαρμοσθεί ηλεκτρική τάση, παρουσιάζονται μηχανικές παραμορφώσεις (διόγκωση, συμπίεση) (Ballato, 1995). [16, p. 62]



Σχήμα 4.2 (α) Μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε ακουστική – αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, (β) μετατροπή της ακουστικής ενέργειας σε ηλεκτρική ευθύ πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. [16, p. 62]

Οι πιο γνωστοί πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι που συναντώνται στη φύση είναι ο χαλαζίας και το άλας Rochelle. Στα σύγχρονα απεικονιστικά συστήματα χρησιμοποιείται ένα τεχνητό κεραμικό υλικό - ο τιτανιούχος ζirkονιούχος μόλυβδος - PZT. Το υλικό αυτό χαρακτηρίζεται από υψηλή απόδοση και ευαισθησία ως προς την παραγωγή και ανίχνευση υπερήχων.

Επίσης μπορεί πολύ εύκολα να λάβει το επιθυμητό σχήμα και μέγεθος. Αν και πρόκειται για κεραμικό και όχι κρυσταλλικό υλικό, ο όρος πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος εξακολουθεί να χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία. [16, p. 62]

4.2 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

4.2.1 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ

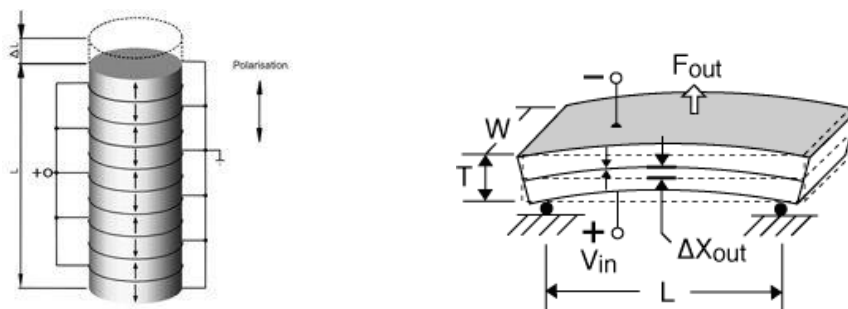
Τα πιεζοκεραμικά δεν εμφανίζουν μακροσκοπικά πιεζοηλεκτρική συμπεριφορά, παρά το γεγονός ότι αποτελούνται από μεμονωμένους μονοκρυσταλλους που έχουν πιεζοηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Τα κεραμικά στα οποία η αυθόρμητη πόλωση των κόκκων μπορεί να αναπροσαρμοστεί από ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο σχηματίζοντας μακροσκοπικά την παραμένουσα αυθόρμητη πόλωση, απουσία του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου, ονομάζονται σιδηροηλεκτρικά και έχουν πολυκρυσταλλική δομή. Σήμερα τα πολυκρυσταλλικά κεραμικά σαν το BaTiO₃ και PZT, ανήκουν στα περισσότερο χρησιμοποιούμενα πιεζοηλεκτρικά υλικά. Αυτό συμβαίνει λόγω του χαμηλού κόστους κατασκευής και των σχεδόν αυθαίρετων πιθανών μορφών που μπορούν να πάρουν, σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικά πιεζοηλεκτρικά υλικά. Επιπλέον, τα συγκεκριμένα υλικά έχουν πολύ καλές πιεζοηλεκτρικές και διηλεκτρικές ιδιότητες. [81, p. 8]

4.3 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΔΙΕΓΕΡΤΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι πιεζοηλεκτρικοί διεγέρτες εφαρμόζονται σε πλήθος συσκευών μαζικής παραγωγής, όπως είναι: Ηχεία, μικρόφωνα, κεφαλές, πικάπ, γεώφωνα, υδρόφωνα, προβολείς, Sonar, βιοϊατρική, μικροζυγαριές [79] οι μετατροπείς και αισθητήρες υπερηχητικής ισχύος, οι διεγέρτες κάμψης σε μηχανές ύφανσης, οι κεφαλές εκτυπωτών, οι διεγέρτες για την κάμψη δοκών σε βαλβίδες, τα οπτικά συστήματα και πρόσφατα, ως πολυστρωματικοί διεγέρτες στα συστήματα ψεκασμού στην αυτοκινητοβιομηχανία. [81, p. 3]

Το μεγαλύτερο μέρος των πιεζοηλεκτρικών διεγερτών έχει κυρίως τη μορφή στοιβάς σωρευμένων λεπτών πιεζοηλεκτρικών στρωμάτων και τη μορφή δοκών κάμψης και απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα (Σχ.4.3). [81, p. 3]

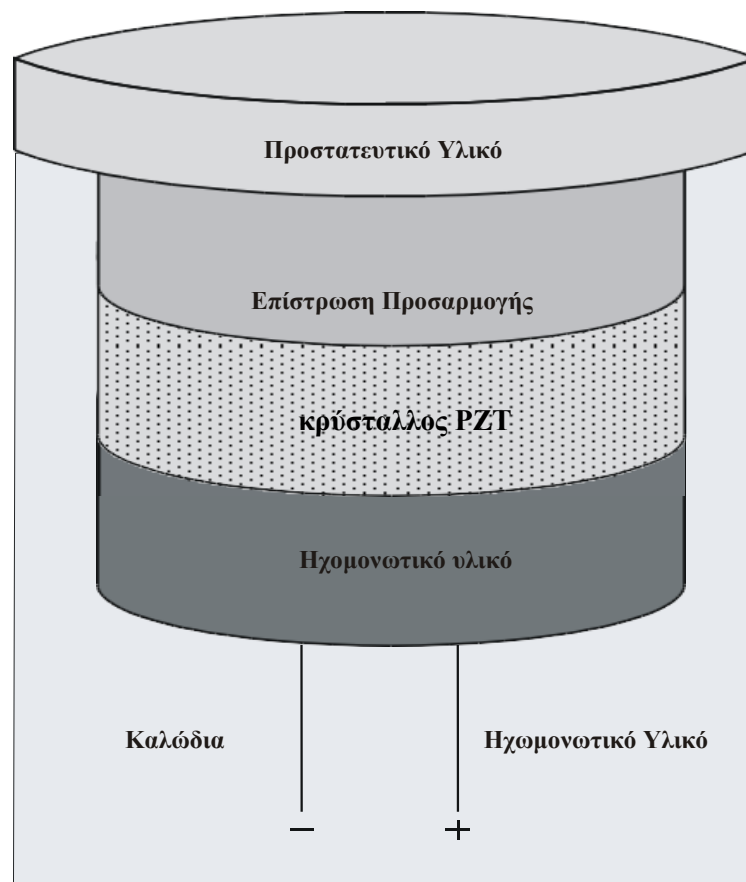
Οι διεγέρτες με τη μορφή δοκών κάμψης βασίζονται στο εγκάρσιο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο (τύπου d₃₁) η εφαρμογή τους γίνεται εκεί που απαιτούνται μεγάλες παραμορφώσεις.



Σχ-4.3 Διεγέρτες με τη μορφή στοιβάς και τη μορφή δοκού κάμψης [81, p. 3]

Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα πιεζοηλεκτρικών διεγερτών, με τη μορφή δοκών κάμψης, αποτελούν οι μονόμορφες δομές με ένα ενεργό πιεζοηλεκτρικό και ένα παθητικό ελαστικό στρώμα, οι δίμορφες δομές με δυο ενεργά πιεζοηλεκτρικά στρώματα και οι τρίμορφες δομές με ένα παθητικό ελαστικό στρώμα ανάμεσα σε δυο ενεργά πιεζοηλεκτρικά στρώματα.. [81, p. 4] Οι εξελίξεις οδήγησαν στη δημιουργία μονόμορφων πιεζοηλεκτρικών δοκών με πολυστρωματική τεχνολογία, όπου ο διεγέρτης αποτελείται από αρκετά παθητικά ελαστικά, εύκαμπτα και ενεργά πιεζοηλεκτρικά στρώματα. Η πολυστρωματική τεχνολογία έχει ως αποτέλεσμα το πλεονέκτημα της χρήσης ακόμα χαμηλότερων ηλεκτρικών δυναμικών λειτουργίας, επεκτείνοντας έτσι σημαντικά το πεδίο των εφαρμογών. [81, p. 5]

4.4 ΔΟΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΗΧΟΒΟΛΕΑ



Σχήμα 4.4 διάγραμμα μονοκρυσταλλικού ηχοβολέα [16, p. 71]

Απορροφητικό υλικό (Backing Material): μειώνει το χωρικό μήκος παλμού βελτιώνοντας τη διακριτική ικανότητα του συστήματος. [16, p. 71]

Καλώδια

Πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος PZT: που μεταβάλλει τις διαστάσεις του όταν του εφαρμοστεί ηλεκτρική τάση στα άκρα του.

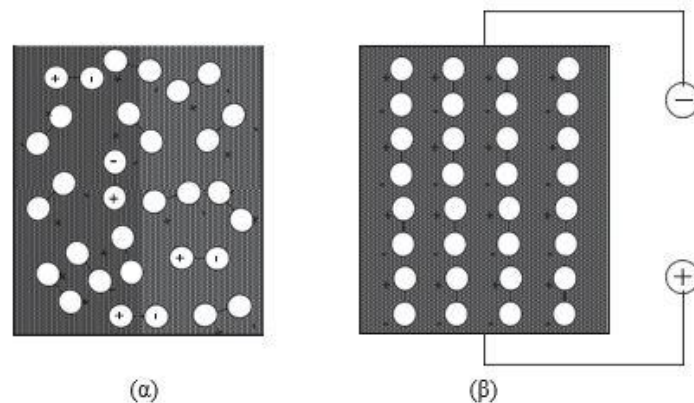
Επίστρωση Προσαρμογής εμπέδησης: ελαχιστοποιεί την απώλεια ακουστικής ενέργειας λόγω διαφοράς ακουστικής εμπέδησης μεταξύ του πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου και του εξεταζόμενου στοιχείου .

Προστατευτικό Υλικό: παρέχει τη δομική και υδροστεγή προστασία στην επιφάνεια του ηχοβολέα.

[82], [16, p. 72]

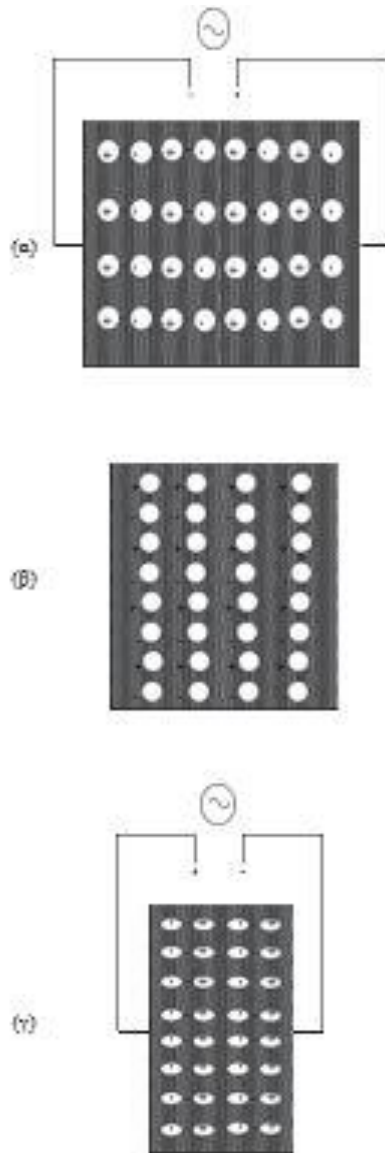
4.5 ΠΟΛΩΣΗ

Στην κατηγορία των σιδηρομαγνητικών υλικών, δημιουργούνται περιοχές, στο εσωτερικό των οποίων σχηματίζονται ηλεκτρικά δίπολα προσανατολισμένα σε καθορισμένη κατεύθυνση. Οι περιοχές διατάσσονται έτσι ώστε μακροσκοπικά το υλικό να εμφανίζεται ηλεκτρικά ουδέτερο. Εάν ένα τέτοιο υλικό θερμανθεί σε υψηλές θερμοκρασίες (~300 0C) παρουσία ηλεκτρικού πεδίου, τότε τα δίπολα απελευθερώνονται από τον αρχικό προσανατολισμό και επαναπροσανατολίζονται όλα σύμφωνα με το ηλεκτρικό πεδίο. Ο νέος προσανατολισμός καθίσταται μόνιμος ύστερα από ψύξη σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (Σχήμα 4.5). [16, p. 63]



Σχήμα 3.2 (α) Περιοχές με προσανατολισμένα δίπολα, (β) Νέος προσανατολισμός δίπολων σε ηλεκτρικό πεδίο.

Σχ.4.5 [16, p. 63]



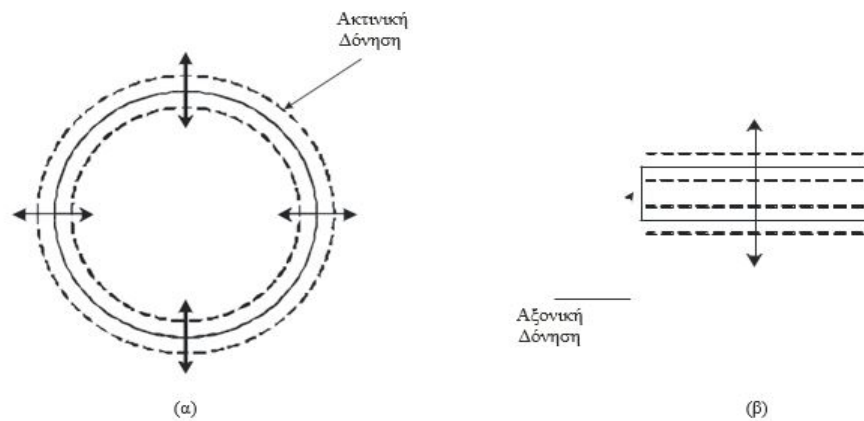
Σχήμα 3.3 (α) Διόγκωση ύστερα από εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης. (β) Κρύσταλλος σε συνθήκες ηρεμίας. (γ) Συμπίεση ύστερα από εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης με αντίθετη πολικότητα.

Σχ.4.6 [16, p. 63]

Η συγκεκριμένη θερμοκρασία πέραν της οποίας ο αρχικός προσανατολισμός των δίπολων χάνεται ονομάζεται θερμοκρασία Curie (Ballato, 1995). [16, p. 63]

Μέσω μηχανικών πιέσεων ο προσανατολισμός των δίπολων μπορεί να μεταβάλλεται ελαφρώς επιτρέποντας την εμφάνιση ηλεκτρικών φορτίων στις επιφάνειες του υλικού (Wayne, 2004). Αν εφαρμοσθεί εναλλασσόμενη τάση στα άκρα ενός κρυστάλλου, τότε, ανάλογα με την πόλωση της τάσης, ο κρύσταλλος θα αλλάζει τις διαστάσεις του (συμπίεση - διόγκωση). Αν η εφαρμοζόμενη τάση σταματήσει, τότε ο κρύσταλλος επανέρχεται στις αρχικές του διαστάσεις (Σχήμα 4.6). [16, p. 63]

Η δόνηση των πιεζοηλεκτρικών υλικών έχει συνήθως δύο βασικές συνιστώσες. Υπάρχει μία δόνηση «ακτινική» και μία δόνηση «κατά πάχος» ή αξονική- (Σχήμα 4.7). [16, p. 64]

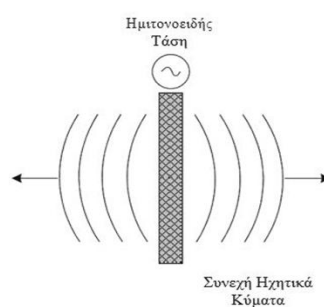


Σχήμα 3.4 Δόνηση πιεζοηλεκτρικού πλακιδίου: (α) Επιφάνεια πλακιδίου - ακτινική δόνηση, (β) Πάχος πλακιδίου - δόνηση κατά πάχος ή αξονική.

Σχ 4.7 [16, p. 64]

4.6 ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΥ

Όταν εφαρμοσθεί μία ημιτονοειδής τάση κατά μήκος ενός κρυστάλλου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8 τότε εκπέμπονται και από τις δύο επιφάνειες συνεχή ηχητικά κύματα ίδιας συχνότητας με της τάσης που εφαρμόστηκε. Σχ. 4.8 Έχει βρεθεί ότι το πλάτος της ταλάντωσης των επιφανειών του κρυστάλλου μεγιστοποιείται σε συγκεκριμένες συχνότητες (Kossoff,2004).



Σχήμα 3.5. Τα συνεχή ηχητικά κύματα που εκπέμπονται από την μπροστά και την πίσω πλευρά του κρυστάλλου λόγω του ημιτονοειδούς ηλεκτρικού σήματος.

Σχ.4.8 Συντονισμός Πιεζοηλεκτρικού Κρυστάλλου. [16, p. 65]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ 9 ΔΟΚΙΜΙΩΝ

1) Αρχικά λαδώθηκαν οι μήτρες και ζυγίστηκαν τα υλικά για να δημιουργηθούν 3 διαφορετικές ποιότητες σκυροδέματος C10/15, C20/25, C30/37.



Εικόνα 5.1 λάδωμα μήτρας

Για την παρασκευή του σκυροδέματος στην μπετονιέρα χρησιμοποιήθηκαν πρώτα το χαλίκι (16-31,5 mm) μετά η άμμο(0-4 mm) , νερό και τελευταίο το τσιμέντο.



Εικόνα 5.2 ζύγισμα υλικών



Εικόνα 5.3 Παρασκευή σκυροδέματος

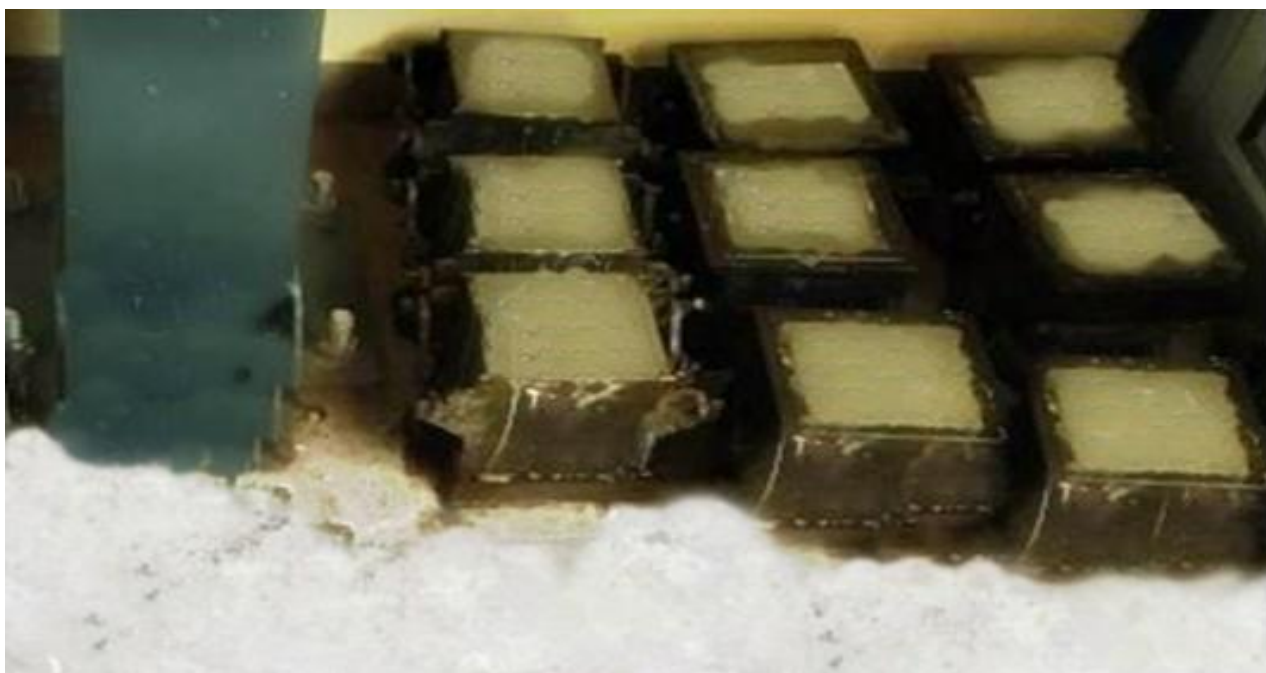
Έπειτα τοποθετήθηκε το μείγμα στις μήτρες. Δεν πρέπει να παρθεί επιφανειακό σκυρόδεμα καθώς και αυτό που βρίσκεται στον πάτο.

Γεμίζεται μέχρι τη μέση το δοκίμιο με σκυρόδεμα και χρησιμοποιείται δονητής, στην συνέχεια γεμίζεται όλο το δοκίμιο και δονίζεται ξανά, κατόπιν με το μυστρί λειαίνεται η επιφάνεια.

Μετά γράφεται η κατηγορία του σκυροδέματος και η ημερομηνία. Έπειτα αφού έχει γίνει η προηγούμενη διαδικασία για όλα τα δοκίμια, στοιβάζονται σε ένα μέρος, διαβρέχονται και σκεπάζονται με λινάτσα υγρή για να μην φύγει η υγρασία.



Εικόνα 5.4 Γέμισμα μήτρας(http://ggs.com.cy/images/resized/medium_picture55.jpg)



Εικόνα 5.5 Δοκίμια σκυροδέματος

Μετά από τέσσερις μέρες ξεκαλουπώνονται τα δοκίμια και καθαρίζονται οι μήτρες.



Εικόνα 5.6 Ξεκαλούπωμα Δοκιμίων

Τα δοκίμια τοποθετούνται στη πισινά για 24 μέρες με εκλεγόμενη θερμοκρασία (20 ± 2) στις 24 μέρες αφαιρούνται από την πισίνα και τοποθετούνται σε σκιερό και δροσερό μέρος για να φύγει η υγρασία και για να γίνουν οι μετρήσεις μετά από δύο μέρες.

5.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

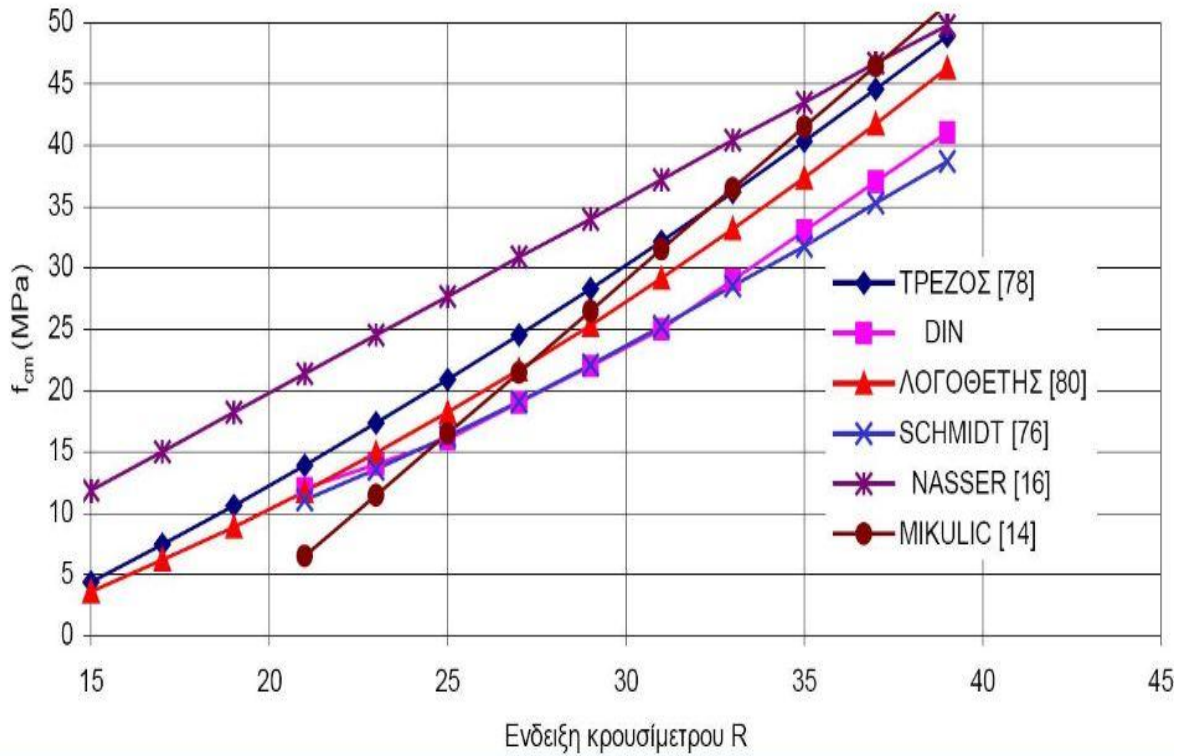
5.2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΟΥ



Εικόνα 5.7 μέτρηση με το κρουσίμετρο

Αφού καθαρίστηκαν, λειάνθηκαν και στηρίχτηκαν κατάλληλα τα δοκίμια, ξεκίνησαν οι μετρήσεις. Πιέζοντας το κρουσίμετρο κατακόρυφα στο σκυρόδεμα δημιουργείται πίεση και προκαλείται αναπήδηση, έτσι πάνω στο όργανο εμφανίζεται ένα νούμερο κάθε φορά, το Rebound. Σημειώνονται κάθε φορά τα Rebound για τον υπολογισμό της αντοχής του σκυροδέματος. Για το κάθε δοκίμιο μετρήθηκαν 10 Rebound μετά υπολογίστηκε ο μέσος όρος και ξαναέγινε ο υπολογισμός του μέσου όρου με αφαίρεση του μέγιστου με μικρότερου Rebound για να βρεθεί από το διάγραμμα Schmidt η θλιπτική αντοχή με βάση την αντίστοιχη Rebound διότι η συσκευή είναι Schmidt.

Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της ενδείξεως του κρουσίμετρου



Σχ.5.1 Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της ενδείξεως του κρουσίμετρου

Μόλις τελείωσαν οι μετρήσεις ξεκίνησαν οι διαδικασίες υπολογισμού της αντοχής του σκυροδέματος. Αφού ολοκληρώθηκαν όλες οι μετρήσεις με το κρουσίμετρο, έγινε η χρήση της συσκευής υπερήχων.

5.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ



Εικόνα 5.8 μέτρηση με υπερήχους



Εικόνα 5.9 μέτρηση με υπερήχους

Το πρώτο βήμα για να ξεκινήσει η διαδικασία ήταν η βαθμονόμηση του οργάνου. Πριν από κάθε χρήση πρέπει να γίνεται η βαθμονόμηση ώστε να εξασφαλίζεται η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Κάποια όργανα συνοδεύονται με μια ειδική μεταλλική ράβδο που χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση του.

Αν το όργανο δεν περιέχει ράβδο βαθμονομήσεως, όπως το όργανο που χρησιμοποιήθηκε τότε ενώνεται ο πομπός με το δέκτη και το αποτέλεσμα οργάνου πρέπει να είναι μηδέν, αν υπάρχει διαφορά, θα πρέπει να ρυθμισθεί το όργανο, ανάλογα με τις οδηγίες που ορίζει ο κατασκευαστής.

Αφού ολοκληρώθηκε ο έλεγχος του οργάνου, αποθηκεύτηκαν στην μνήμη του τα στοιχεία που ήδη είναι γνωστά, για να ξεκινήσουν οι μετρήσεις, αποθηκεύτηκαν στη μνήμη των υπερήχων οι αποστάσεις των εξεταζόμενων δοκιμίων καθώς και η μέση τιμή αναπήδησης που έχει ήδη βρεθεί από το κρουσίμετρο. Για την αποφυγή σφαλμάτων χρησιμοποιήθηκε λιπαντική ουσία, βαζελίνη, ώστε να καλυφθούν οι ατέλειες του δοκιμίου που θα εξεταστεί.

Όταν οι κρύσταλλοι έρθουν σε επαφή με το δομικό στοιχείο, αυτό πρέπει να είναι λείο για να ασκείται μεγάλη πίεση από τους κρυστάλλους χωρίς να υπάρχουν φθορές στο όργανο.

Σε περίπτωση που οι εξεταζόμενες επιφάνειες είναι αρκετά ανομοιόμορφες θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί τριβείο για τη λείανση τους και να μην τοποθετηθεί μεγάλη ποσότητα λιπαντικής ουσίας γιατί υπάρχει κίνδυνος να προκληθούν διαφοροποιήσεις στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων.

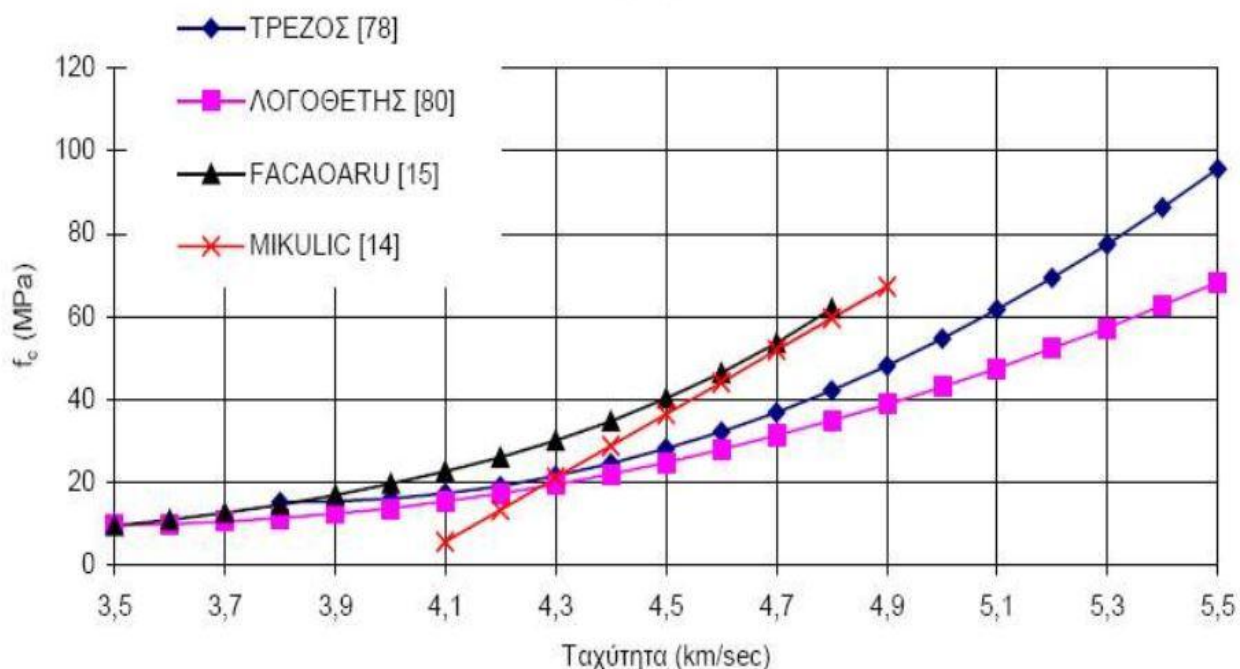
Οι μετρήσεις των υπερήχων έγιναν τοποθετώντας αντικριστά τους κρυστάλλους που είναι η πιο ακριβής μέθοδος αφού δίνει τη δυνατότητα να υπολογισθεί ακριβώς η απόσταση των δυο κρυστάλλων.

Μόλις τοποθετηθήκαν κατάλληλα οι κρύσταλλοι στο εξεταζόμενο στοιχείο τέθηκε το όργανο σε λειτουργία και σε λίγα δευτερόλεπτα εμφανίστηκε στην οθόνη του, η ένδειξη της ταχύτητας διάδοσης του κύματος (V) στο υλικό, το μήκος (L) και το χρόνο (t) που χρειάζεται για να φτάσει από τον πομπό στο δέκτη.

Μόλις γίνει η εφαρμογή της μεθόδου αυτής, σε όλα δοκίμια ξεκινά η επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέση ταχύτητα για κάθε δοκίμιο (M.O.v.), μέσω της οποίας γίνεται ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής f_c με χρήση του παρακάτω διαγράμματος t (km/s)/ f_c (MPa)

Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της ταχύτητας των υπερήχων



Σχ.5.2 Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της ταχύτητας των υπερήχων

Η συνδυαστική χρήση του κρουσίμετρου και της συσκευής υπερήχων διασφαλίζει εγκυρότερο προσδιορισμό της αντοχής του σκυροδέματος.

Για την διερεύνηση της εγκυρότητας των προβλέψεων των παραπάνω μεθόδων ο προσδιορισμός της αντοχής του σκυροδέματος έγινε και με δοκιμές θλίψης, με την ηλεκτρονική μηχανή μονοαξονικής θλίψης δοκιμίων.

Η μηχανή φόρτισης συμπεριλαμβάνει ένα ηλεκτρονικό πρόγραμμα όπου μετά τη θραύση εμφανίζει ακριβώς την αντοχή του σκυροδέματος, το μέγιστο φορτίο, τη δύναμη που ασκήθηκε στο δοκίμιο και το διάγραμμα χρόνου/φόρτισης.

5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ



Εικόνα 5.10 μέτρηση με την ηλεκτρονική μηχανή θλίψεως

Πίνακας 2. Εμπειρικές σχέσεις για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος f_c .

Παράμετροι	Εξίσωση	Αρ. Εξ.	Παραπομπή
V_p	$f_c(V_p) = 1.146 \exp(0.77V_p)$	(E.1)	Turgut 2004
	$f_c(V_p) = 1.119 \exp(0.715V_p)$	(E.2)	Nash't et al. 2005
	$f_c(V_p) = 0.0854 \exp(1.2882V_p)$	(E.3)	Trtnik et al. 2009
	$f_c(V_p) = 176.9 - 96.467V_p + 13.906(V_p)^2$	(E.4)	Λογοθέτης 1978
	$f_c(V_p) = 1.2 \times 10^{-5} (1000V_p)^{1.7447}$	(E.5)	Kheder 1999
	$f_c(V_p) = 36.72V_p - 129.077$	(E.6)	Qasrawi 2000
R	$f_c(R) = -9.40 + 0.52R + 0.02R^2$	(E.7)	Λογοθέτης 1978
	$f_c(R) = 0.4030R^{1.2083}$	(E.8)	Kheder 1999
	$f_c(R) = 1.353R - 17.393$	(E.9)	Qasrawi 2000
V_p, R	$f_c(V_p, R) = \exp(1.78 \ln(V_p) + 0.85 \ln R - 0.02)$	(E.10)	Λογοθέτης 1978
	$f_c(V_p, R) = 18.6 \exp(0.515V_p + 0.019R)$	(E.11)	Arioglu et al. 1991
	$f_c(V_p, R) = 10^3(0.10983 + 0.00157R - 0.79315 \left(\frac{V_p}{10}\right) - 0.00002R^2 + 1.29261 \left(\frac{V_p}{10}\right)^2)$	(E.12)	Amini et al. 2016
	$f_c(V_p, R) = 0.42R + 13.166V_p - 40.255$	(E.13)	Erdal 2009
	$f_c(V_p, R) = 0.0158(1000V_p)^{0.4254}R^{1.1171}$	(E.14)	Kheder 1999

Σημείωση: Στις παραπάνω σχέσεις η V_p σε km/sec και το f_c σε MPa

Πίνακας 5.1 Εμπειρικές σχέσεις για την εκτίμηση της Θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος [83, p. 4]

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ				
ΔΟΚΙΜΙΑ C 30-37				
Δ1				
	L	T	V	μέσος όρος
1	150MM	30μς	5000m/s	V= 4899m/s
2	150MM	30,6μς	4901m/s	fsk= 48,5Mpa
3	147MM	30,5μς	4819m/s	
4	147 MM	30,4μς	4835m/s	
5	150MM	30,2μς	4966m/s	
6	147MM	30,2μς	4867m/s	
7	150 MM	30,0μς	5000m/s	
8	147MM	30,6μς	4803m/s	
Δ2				
1	152MM	31,2μς	4872 m/s	V= 4877m/s
2	152MM	31,4 μς	4840m/s	fsk= 47Mpa
3	150MM	30,7μς	4885 m/s	
4	150MM	31μς	4838m/s	
5	150MM	30,5μς	4918m/s	
6	152MM	31μς	4903m/s	
7	150MM	30,8μς	4870m/s	
8	152MM	31,1μς	4887m/s	
Δ3				
1	151MM	30,9μς	4890m/s	V= 4871m/s
2	151MM	31,4μς	4808 m/s	fsk= 47Mpa
3	150MM	31,2μς	4807m/s	
4	150MM	30,8μς	4870m/s	
5	151MM	30,6μς	4934m/s	
6	150MM	31,2μς	4901m/s	
7	151 MM	30,8μς	4918m/s	
8	150MM	30,6μς	4838m/s	

Πίνακας 5.2 Μετρήσεις Υπερήχων

ΔΟΚΙΜΙΑ C10-15				
Δ4				
1	150MM	40,5 μς	3700 m/s	V= 3753 m/s
2	150MM	39,5 μς	3797m/s	fsk= 12 Mpa
3	150MM	39,8 μς	3768 m/s	
4	150MM	40 μς	3750 m/s	
5	150MM	40,2 μς	3731 m/s	
6	150MM	39,8 μς	3768 m/s	
7	150MM	39,6 μς	3787 m/s	
8	150MM	40,3 μς	3722 m/s	
Δ5				
1	149MM	39,6 μς	3760 m/s	V= 3738 m/s
2	150MM	40,7 μς	3685m/s	fsk= 12Mpa
3	150MM	40,5 μς	3703 m/s	
4	149 MM	39,5 μς	3772 m/s	
5	149 MM	39,3 μς	3791 m/s	
6	150MM	40,6μς	3694 m/s	
7	149 MM	39,4 μς	3781 m/s	
8	150MM	40,3 μς	3722 m/s	
Δ6				
1	148MM	41,6 μς	3560 m/s	V= 3531 m/s
2	147MM	42,5 μς	3458m/s	fsk= 11 Mpa
3	148MM	41,1 μς	3600 m/s	
4	147MM	42 μς	3500 m/s	
5	148MM	41,3 μς	3583 m/s	
6	147MM	42,3 μς	3475 m/s	
7	148MM	41,2 μς	3592 m/s	
8	147MM	42,2 μς	3483 m/s	

Πίνακας 5.3 Μετρήσεις Υπερήχων

ΔΟΚΙΜΙΑ C20-25				
Δ7				
1	150MM	31,5 μs	4760 m/s	V= 4755 m/s
2	150MM	31,8 μs	4716 m/s	fsk= 39,5 Mpa
3	150MM	31,6 μs	4746 m/s	
4	150MM	31,6 μs	4746 m/s	
5	150MM	31,2 μs	4807 m/s	
6	150MM	31,4 μs	4770 m/s	
7	150MM	31,9 μs	4702 m/s	
8	150MM	31,3 μs	4792 m/s	
Δ8				
1	151MM	31,1 μs	4855 m/s	V= 4789 m/s
2	152MM	32,2 μs	4720 m/s	fsk= 41,5Mpa
3	152MM	32 μs	4750 m/s	
4	151MM	31,3 μs	4824 m/s	
5	151MM	31,4 μs	4839 m/s	
6	152MM	32 μs	4750 m/s	
7	151MM	31,5 μs	4793m/s	
8	151MM	31,6 μs	4778 m/s	
Δ9				
1	149MM	31,8μs	4690m/s	V= 4644 m/s
2	150MM	32,3 μs	4638 m/s	fsk= 34 Mpa
3	150MM	32,5μs	4620 m/s	
4	149MM	32,0 μs	4650 m/s	
5	150MM	32,1 μs	4670m/s	
6	149MM	32,2μs	4630 m/s	
7	150MM	32,3 μs	4640 m/s	
8	149MM	32,4 μs	4610 m/s	

Πίνακας 5.4 Μετρήσεις Υπερήχων

ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΗ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟΥ										
ΔΟΚΙΜΙΑ C 30-37										
ΜΕΤΡΗΣΗΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δ1	26	24	28	29	29	28	26	28	29	29
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	27,6									
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΜΕ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ										27,9
Fsk	21 Μρα									
ΜΕΤΡΗΣΗΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δ2	25	29	27	28	31	30	32	31	26	32
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	29,1									
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΜΕ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ										29,52
Fsk	23 Μρα									
ΜΕΤΡΗΣΗΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δ3	27	29	32	26	30	30	32	31	32	29
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	29,8									
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΜΕ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ										30
Fsk	24 Μρα									

Πίνακας 5.5 Μετρήσεις Κρουσίμετρου

ΔΟΚΙΜΙΑ C10-15										
ΜΕΤΡΗΣΗΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δ4	18	19	21	19	20	18	18	18	24	20
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	19,5									
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΜΕ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ										19,13
Fsk	7 Μπα									
ΜΕΤΡΗΣΗΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δ5	21	19	20	20	19	21	19	20	25	20
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	20,4									
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΜΕ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ										20
Fsk	8 Μπα									
ΜΕΤΡΗΣΗΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δ6	19	22	22	20	19	21	20	23	21	21
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	20,80									
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΜΕ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ										20,80
Fsk	11Μπα									

Πίνακας 5.6 Μετρήσεις Κρουσίμετρου

ΔΟΚΙΜΙΑ C20-25										
ΜΕΤΡΗΣΗΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δ7	25	30	30	30	34	31	28	21	26	32
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	28,7									
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΜΕ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ										29
Fsk	22Μπα									
ΜΕΤΡΗΣΗΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δ8	26	29	29	29	26	26	24	22	29	23
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	26,3									
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΜΕ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ										26,5
Fsk	18Μπα									
ΜΕΤΡΗΣΗΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δ9	27	28	29	29	26	29	28	26	29	27
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	27,80									
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΜΕ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ										27,80
Fsk	20Μπα									

Πίνακας 5.7 Μετρήσεις Κρουσίμετρου

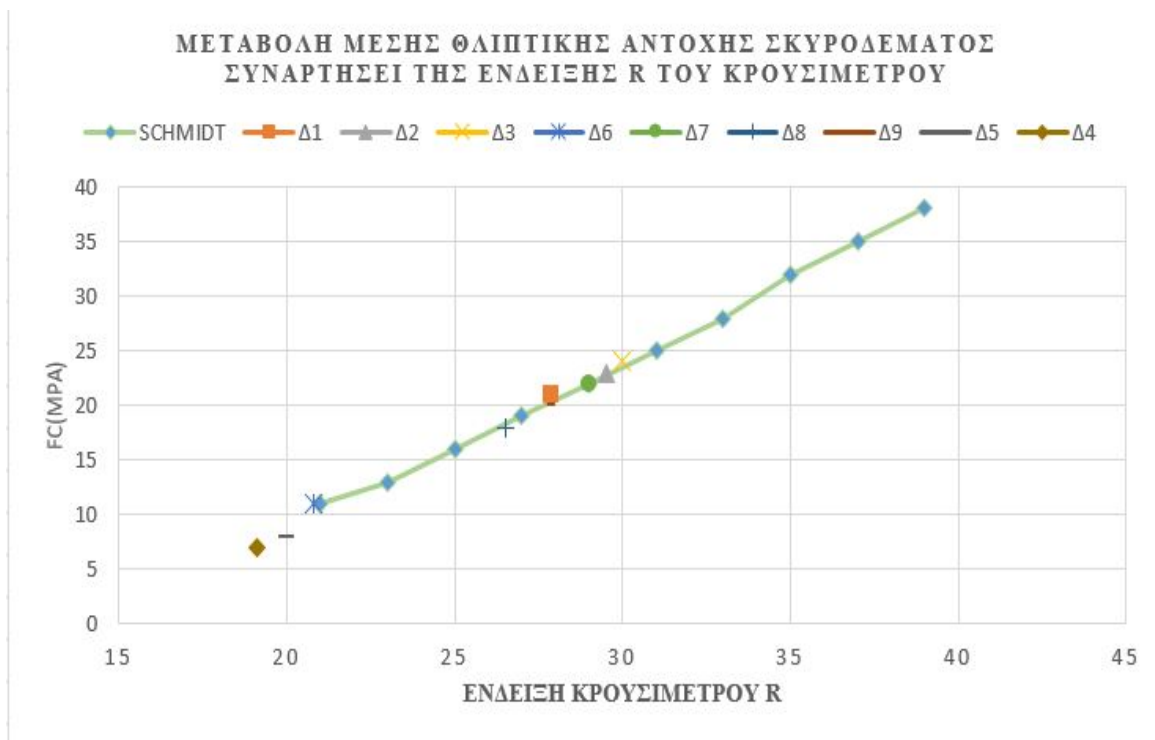
ΜΕΘΟΔΟΣ ΘΛΙΨΕΩΣ	
ΔΟΚΙΜΙΑ C30-37	
D1	38,32
D2	38,02
D3	37,22
ΔΟΚΙΜΙΑ C10-15	
D4	10,9
D5	10,73
D6	10,94
ΔΟΚΙΜΙΑ C20-25	
D7	32,84
D8	32
D9	26

Πίνακας 5.8 Μετρήσεις με την συσκευή μονοαξονικής θλίψης

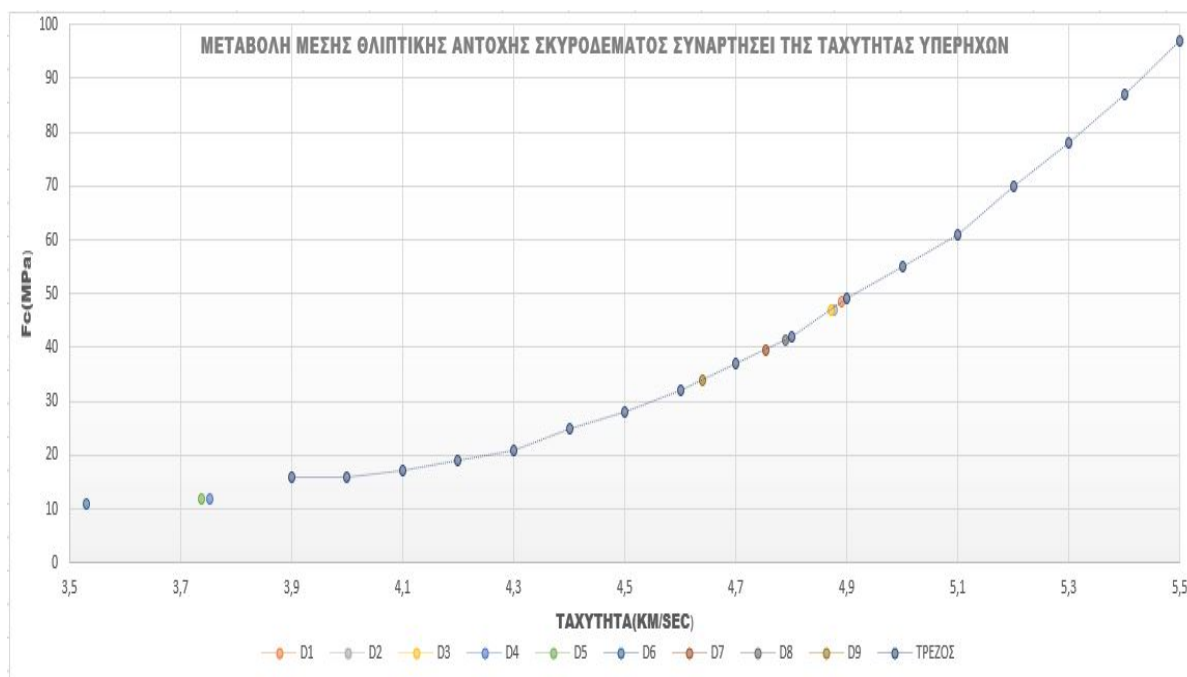


Εικόνα 5.11 μέτρηση με το κρουσίμετρο

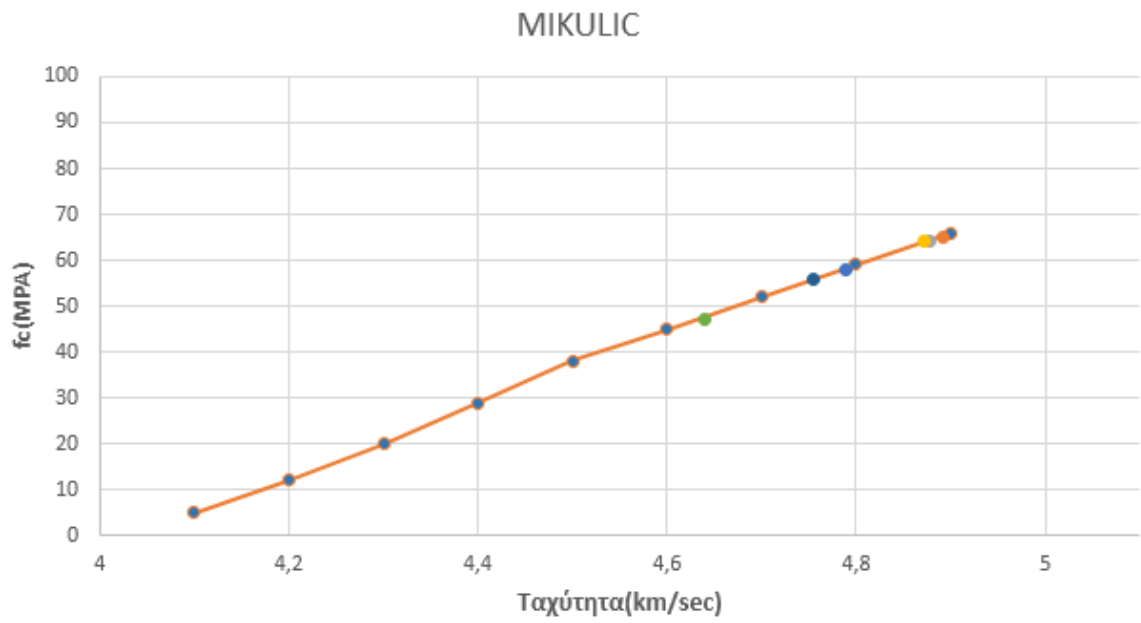
Χρησιμοποιείται η καμπύλη Schmidt (Σχ.5.3) επειδή η συσκευή μας είναι Schmidt



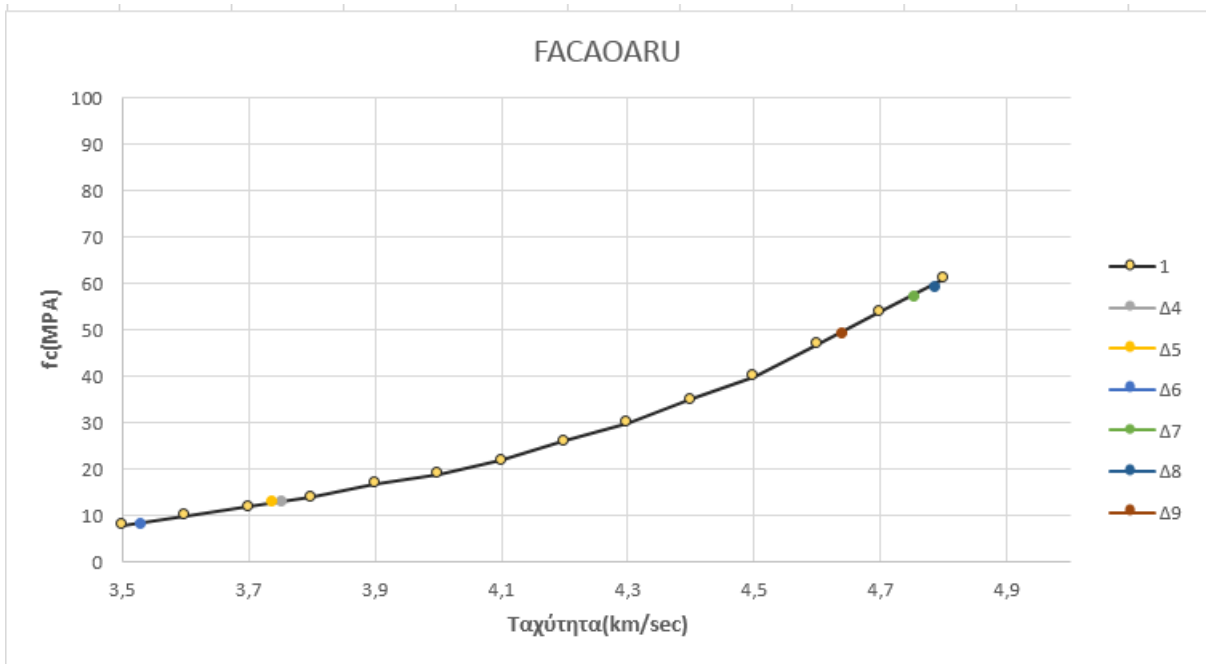
ΣΧ 5.3 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΙ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ R ΤΟΥ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟΥ



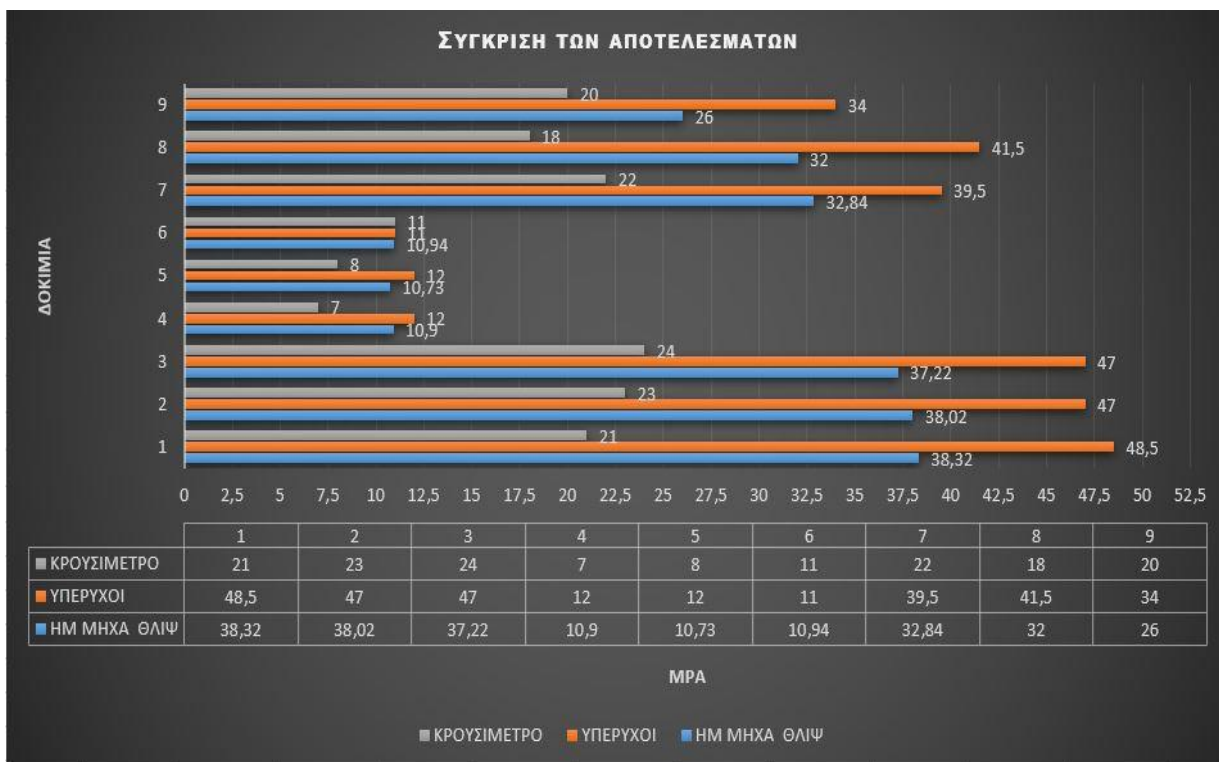
Σχ 5.4 Καμπύλη ΤΡΕΖΟΥ



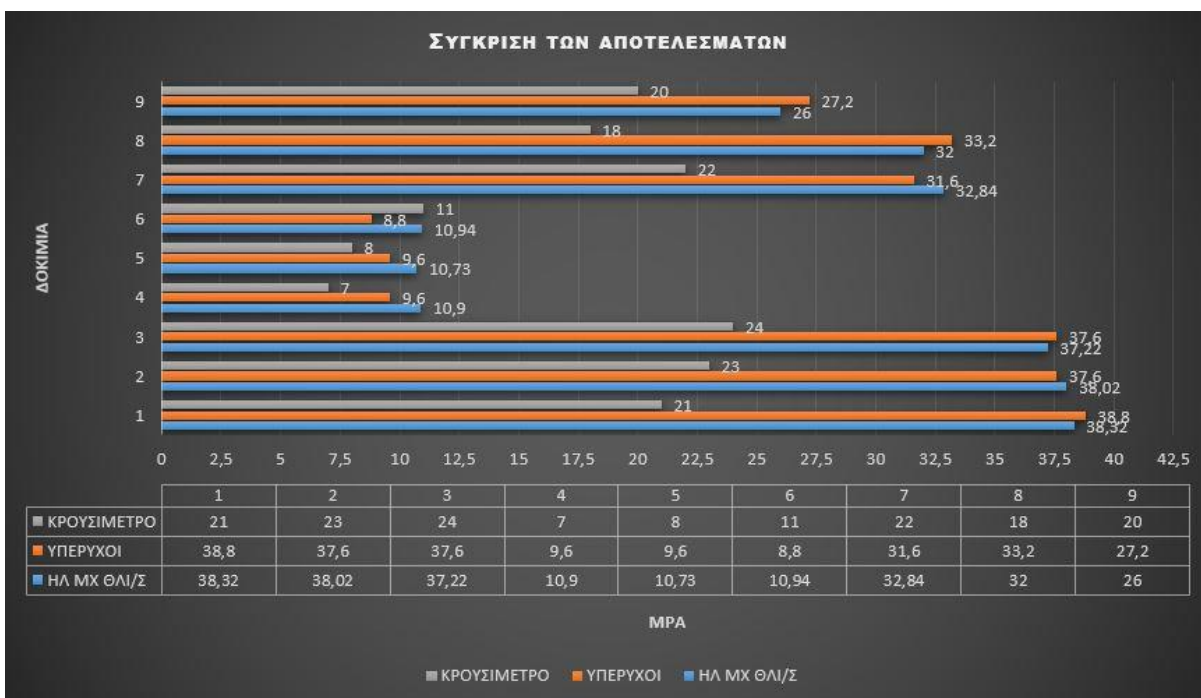
Σχ 5.5 Καμπύλη MIKULIC



Σχ 5.6 Καμπύλη FACAOARU



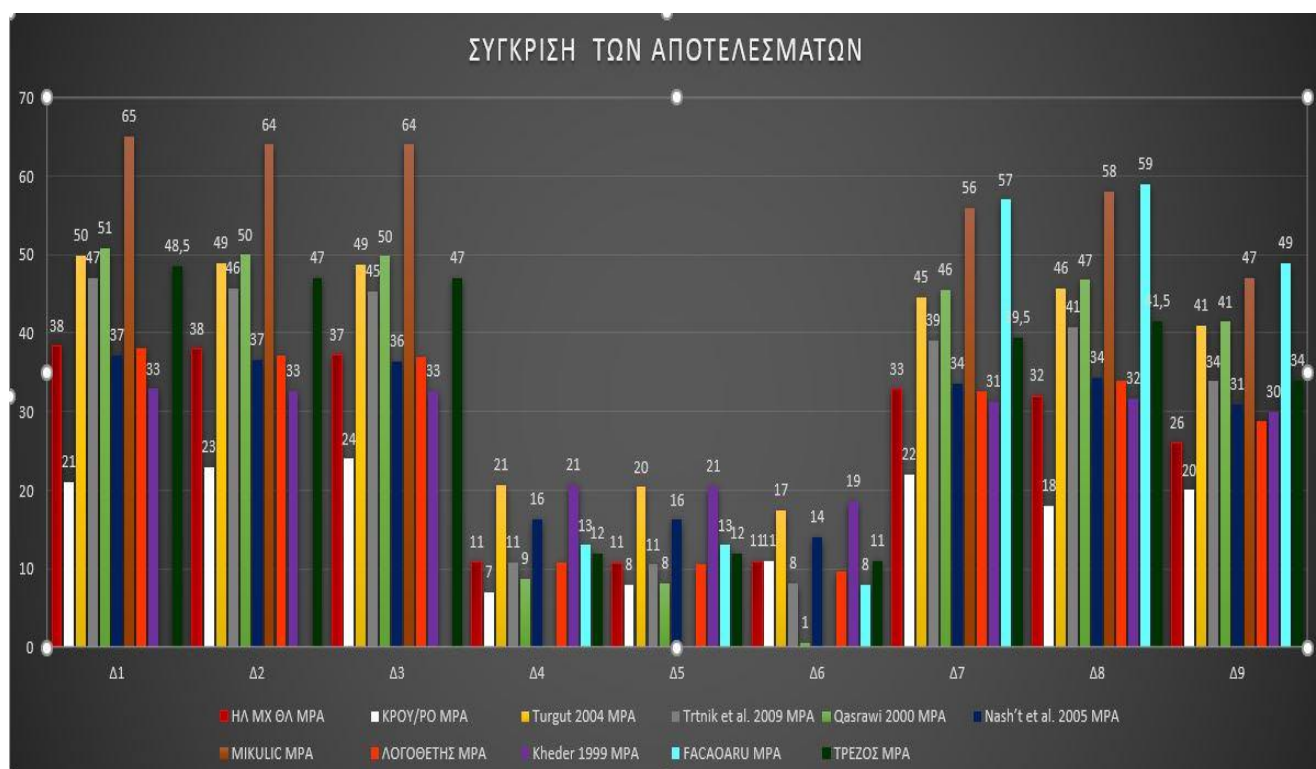
Σχ 5.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



ΣΧ 5.8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΕΙΩΤΙΚΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ 0,8 ΣΤΟΥΣ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ

ΜΕΘΟΔΟΣ ΘΑΛΙΨΕΩΣ		ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟ		ΥΠΕΡΥΧΟΙ									
				ΤΑΧΥΤΗΤΑ	Turgut 2004	Trtnik et al. 2009	Qasrawi 2000	Nash't etal. 2005	ΜΙΚΥΛΙC	ΛΟΓΟΘΕΤΗΣ	Kheder 1999	ΦΑCΑΟΑΡΥ	ΤΡΕΖΟC
ΔΟΚΙΜΙΑ	ΜΡΑ	ΜΡΑ	v	ΜΡΑ	ΜΡΑ	ΜΡΑ	ΜΡΑ	ΜΡΑ	ΜΡΑ	ΜΡΑ	ΜΡΑ	ΜΡΑ	ΜΡΑ
Δ1	38,32	21	4,899	49,82	47,01	50,81	37,15	65	38,05	32,9			48,5
Δ2	38,02	23	4,877	48,98	45,7	50	36,57	64	37,18	32,65			47
Δ3	37,22	24	4,871	48,76	45,35	49,78	36,42	64	36,95	32,58			47
Δ4	10,9	7	3,753	20,61	10,74	8,73	16,37		10,72	20,67	13		12
Δ5	10,73	8	3,738	20,37	10,53	8,18	16,2		10,6	20,52	13		12
Δ6	10,94	11	3,531	17,37	8,07	0,58	13,97		9,65	18,58	8		11
Δ7	32,84	22	4,755	44,59	39,05	45,52	33,52	56	32,61	31,23	57		39,5
Δ8	32	18	4,789	45,77	40,8	46,77	34,34	58	33,84	31,63	59		41,5
Δ9	26	20	4,64	40,94	33,85	41,45	30,96	47	28,81	29,97	49		34

Πίνακας 5.9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σ.Χ 5.9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως προκύπτει από το συγκριτικό διάγραμμα η μέθοδος των υπερήχων καταλήγει και για τα δοκίμια σε μεγαλύτερες τιμές αντοχής σε σχέση με την μηχανή μονοαξονικής θλίψης. Αντίθετα η μέθοδος της κρουσιμέτρησης καταλήγει και σε αποτελέσματα μικρότερα σε σχέση με την μηχανή ομοαξονικής θλίψης. Ελέγχοντας όμως την απόκλιση μεταξύ των τριών μεθόδων παρατηρείται πως οι υπέρηχοι δίνουν πιο κοντινά αποτελέσματα σε σχέση με την μηχανή ομοαξονικής θλίψης. Το γεγονός ότι καταλήγει σταθερά σε μεγαλύτερη τιμή αντοχής μπορεί να αντιμετωπιστεί με την χρήση ενός μειωτικού συντελεστή της τάξης του 0,8(όπως αναφέρει στην πτυχιακή του εργασία ο Σπύρος - Γεράσιμος Σταματούλης Μη καταστροφικοί Έλεγχοι σε Υφιστάμενες Κατασκευές Σεπτέμβριος 2013) ο οποίος όταν θα πολλαπλασιάζεται με τις τιμές των υπερήχων θα καταλήγει σε πιο κοντινές τιμές αντοχής σε σχέση με την μηχανή μονοαξονικής θλίψης. Από τα αποτελέσματα των εμπειρικών σχέσεων που εφαρμόστηκαν, οι τιμές των υπερήχων που κατέληξαν σε πιο κοντινές τιμές αντοχής σε σχέση με την μηχανή μονοαξονικής θλίψης, ήταν η εμπειρική σχέση του Λογοθέτη και του Nash't.etal.2005.

Από την σύγκριση των πειραματικών αντοχών και των αντοχών που προκύπτουν από τις μη καταστρεπτικές μεθόδους (κρουσίμετρο, υπέρηχος) διαπιστώνεται απόκλιση. Η διαφορά αυτή εμφανίζεται μεγαλύτερη στην περίπτωση που γίνεται χρήση κρουσίμετρου ενώ είναι σημαντικά μειωμένη όταν γίνεται χρήση της μεθόδου των υπερήχων. Επίσης από τους πίνακες αντοχών σκυροδέματος και τα αντίστοιχα διαγράμματα παρατηρείται σε όλα τα μεγέθη των δοκιμίων οι τιμές αντοχών που προκύπτουν από τους υπερήχους είναι υψηλότερες από τις τιμές του κρουσίμετρου και πολύ πιο κοντά στις τιμές θραύσης.

1. Βιβλιογραφία

- [1]. ΙΩΑΝΝΗ, ΠΑΠΠΟΥ. *Διπλωματική Εργασία «ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΜΕ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ »* . Πάτρα : s.n., Σεπτέμβριος 2012.
- [2]. ΜΑΡΤΙΝΟΣ, ΓΕΩΡΓΙΟΣ. *ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΣΤΟ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ*. ΠΑΤΡΑ : s.n., ΙΟΥΛΙΟΣ 2014 .
- [3]. Μ. ΣΠΙΘΑΚΗΣ, ΧΡ. ΣΠΑΝΟΣ,Κ. ΤΡΕΖΟΣ. *ΠΡΑΚΤΙΚΑ – ΔΙΔΑΚΤΙΚΑ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ.ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ*. ΑΘΗΝΑ : ΤΕΕ, Μάιος 2001. σ. 41.
- [4]. Βορκά Χρυστάλλα,Λακκοτρύπης Κώστας. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΤΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ. dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/.../lakkotripisch_vorkach_ferrosfan.pdf
[Ηλεκτρονικό] ΣΕΛ 14-16.
- [5]. ΧΡ. ΣΠΑΝΟΣ , Μ. ΣΠΙΘΑΚΗΣ Κ. ΤΡΕΖΟΣ. *ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΑ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ. ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ*. ΑΘΗΝΑ : s.n., Μάιος 2001. σσ. 54-61.
- [6]. Σάββας, Κουσιδης. *ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μη Καταστροφικός Έλεγχος Μέθοδος Υπερήχων*. Κοζάνη : s.n., 2013. σσ. 36-48.
- [7]. *ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ*. ΚΑΘ. Δ. Κουτσούρης, Δρ. Ο. Πάνου-Διαμάντη. s.l. : ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.
- [8]. Χρήστος, Καραφυλλίδης. *Διπλωματική Εργασία Μη Καταστροφικός Έλεγχος με τη Μέθοδο Υπερήχων και την Τεχνική Phased Array*. [επιμ.] Καθηγητής Π.Δ.Μ. Θεοδουλίδης Θεόδωρος. Κοζάνη : ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ, 2015. σ. 87. Σελίδες 41-43.
- [9]. ΣΥΛΑΚΟΣ, ΓΕΩΡΓΙΟΣ. *ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ «ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ ΝΑΝΟ-ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΑΣΤΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΕΡΗΧΩΝ»* . ΙΩΑΝΝΙΝΑ : s.n., 2017.
- [10]. Ενωτιάδη, Νικόλαου Πρ. *ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ – ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΔΟΜΙΚΗΣ ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΥΠΟ ΑΝΑΠΑΛΑΙΩΣΗ (ΜΟΥΣΕΙΟ ΜΙΚΡΑΣΙΑΤΙΚΟΥ ΕΛΛΗΝΙΣΜΟΥ) ΜΕ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥΣ»*. Αθήνα : s.n., Οκτώβριος 2017. σσ. 12-13,15-19.
- [11]. Κυριάκος, Φλέντζερης. *Διπλωματική ΕργασίαΜηχανικές Ιδιότητες και Έλεγχος Εξαρτημάτων με Μη Καταστροφικές και Καταστροφικές Μεθόδους*. Αθήνα : s.n., 2013.
- [12]. Ματίκας, Θεόδωρος. *Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι*. ΙΩΑΝΝΙΝΑ : ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ, 2015.
- [13]. Μούσας, Δρ. Β.Χ. Μ-Κ Έλεγχος & Αξιολόγηση. 3. *Μη-Καταστροφικός Έλεγχος (ΜΚΕ)*. [Ηλεκτρονικό] 27 august 2018. <http://users.teiath.gr/vmouss/ebooks/fmndt/30ndt.html>.

- [14]. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, ΚΟΤΣΑΝΑΚΗΣ. *Διπλωματική Εργασία «Μελέτη και αξιολόγηση λειτουργικότητας στοιχείων μηχανών με χρήση μη καταστροφικών ελέγχων»*. ΑΘΗΝΑ : s.n., 2012.
- [15]. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΒΑΪΟΠΟΥΛΟΣ. *ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ: ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ*. ΠΑΤΡΑ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2017.
- [16]. ΣΤΑΥΡΟΣ, ΤΣΑΝΤΗΣ. *Αρχές Φυσικής & Τεχνολογίας της Διαγνωστικής Υπερηχογραφία*. ΣΕΑΒ. ISBN: 978-960-603-212-7 , σ. 304.
- [17]. *Ημερίδα ειδικά θέματα αντισεισμικού σχεδιασμού κτιρίων- ενισχύσεις-επισκευές Έλεγχοι - Εργαστηριακές Δοκιμές – Αποτύπωση Υλικά για επεμβάσεις σε κατασκευές*. χαλιορής, Κωσταντίνος. Ξάνθη : s.n., 2009.
- [18]. Κ. ΤΡΕΖΟΣ, Μ. ΣΠΙΘΑΚΗΣ,ΧΡ. ΣΠΑΝΟΣ. ΠΡΑΚΤΙΚΑ – ΔΙΔΑΚΤΙΚΑ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ.ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ. [Ηλεκτρονικό] ΑΘΗΝΑ, Μάιος 2001. Σελ 66.
- [19]. Σταματούλης, Γεράσιμος. *Μη καταστροφικοί Έλεγχοι σε Υφιστάμενες Κατασκευές*. Σεπτέμβριος 2013.
- [20]. Ελένη, Ζαμπέτα. *ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Εργαστηριακός και Εργοταξιακός Έλεγχος Αντοχής Υφιστάμενου Κτιρίου από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα και Ανίχνευση Ωπλισμού Φέροντος Οργανισμού*. [επιμ.] Επιβλέπων Καθηγητής Νικολουτσόπουλος Νικόλαος. Αθήνα : Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Μάιος 2016.
- [21]. *Χρήση Ραντάρ για τη Διερεύνηση Σκυροδέματος με Εγκιβωτισμένα Στοιχεία Διαφόρων Υλικών*. Κωνσταντίνος Τρέζος,Βασιλική Παλιεράκη,Ιωάννης Π. Σφήκας,Ερατώ Οικονομοπούλου,Κωνσταντίνος Χριστίδης. Θεσσαλονίκη : ΕΠΕΣ, 2016. σ. 15.
- [22]. ΙΩΑΝΝΗΣ, ΤΣΟΠΑΝΟΓΛΟΥ Χ. *ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥ STUDIO ΛΑΪΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ*. ΑΡΤΑ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ, 2015.
- [23]. Οικονομοπούλου, Ερατώ. *ποτίμηση της Εσωτερικής Κατάστασης Στοιχείων από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα με τη Χρήση Ραντάρ*. Αθήνα : s.n., Μάρτιος 2016.
- [24]. Μιχαήλ Παπαχριστοφόρου, Στέλιος Ξανθός. *Πιλοτική ανάπτυξη μιας νέας μεθόδου για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος*. s.l. : Skyrodema2018_paper_34.pdf , 2018.
- [25]. Κωτούζας, Απόστολος Μ.Μ. *Δ.Π Έλεγχος σωλήνων εναλλακτών θερμότητας*. Κοζάνη : Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Ιούλιος 2015.
- [26]. ΚΩΤΣΙΔΗ, ΗΛΙΑ Α. *ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΜΕ ΚΟΛΛΗΤΙΚΑ ΜΕΣΑ*. ΑΘΗΝΑ : s.n., Φεβρουάριος 2012.

- [27]. ΜΙΧΑΗΛ-ΣΑΒΒΑΣ, ΔΙΑΛΕΚΤΟΣ. ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ. [επιμ.] Κ. ΚΟΥΔΟΥΜΑΣ. ΗΡΑΚΛΕΙΟ : s.n., 2012. σσ. 7-16,35,46-48.
- [28]. hcia. Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος. Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος. [Ηλεκτρονικό] 8 june 2018. <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/cement/codes-standards/>.
- [29]. interbeton. <http://www.interbeton.gr>. Η ιστορία του σκυροδέματος. [Ηλεκτρονικό] 9 june 2018. <http://www.interbeton.gr/default.asp?siteID=1&pageid=38&langid=1>.
- [30]. Βικιπαίδεια. <https://el.wikipedia.org>. <https://el.wikipedia.org>. [Ηλεκτρονικό] 6 Μαΐου 2017. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B4%CF%81%CE%B1%CE%BD%CE%AE_%CF%85%CE%B%CE%B9%CE%BA%CE%AC.
- [31]. lafarge. Τσιμέντο | Όμιλος ΗΡΑΚΛΗΣ, τσιμέντο, σκυρόδεμα και αδρανή. [Ηλεκτρονικό] 2018. [Παραπομπή: 18 8 2018.] <https://www.lafarge.gr/tsimento>.
- [32]. Ελλάδα, Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών. Ιστορία - Εξέλιξη. Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος. [Ηλεκτρονικό] 10 June 2018. <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/history/>.
- [33]. ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ, ΕΥΡΥΔΟΓΛΟΥ. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ. ΜΑΙΟΣ 2013.
- [34]. Γεώργιος Παναγόπουλος, Εμμανουήλ Κίρτας. Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι. Σέρρες : Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κεντρικής Μακεδονίας, 2017. σ. 263.
- [35]. ΚΑΪΣΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ, ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΑΝΔΡΙΑΝΑ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ ΑΔΡΑΝΗ. σσ. 14-18.
- [36]. ΤΙΜΟΣ ΜΑΡΑΣΙΔΗΣ, ΣΤΡΑΤΟΣ ΝΤΑΛΑΡΗΣ. ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ ΚΑΙ. ΑΘΗΝΑ : s.n., ΜΑΡΤΙΟΣ 2017. σσ. 14-21 24,29.
- [37]. 97, Νέ/ Καν/ Τεχ/ Σκυ -. Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος - 97. [επιμ.] Πολ. Μηχανικός, Δημήτριος Σκόδρας, Χημ. Μηχανικός, Χρήστος Τελειώνης, Πολ. Μηχανικός Νικόλαος Μαρσέλλος. Αθήνα : s.n., 21 Μαρτίου 1997.
- [38]. Δομικά Υλικά Τσιμέντο & Σκυρόδεμα. Καθ.Α.Μοροπούλου, Α.ΕΔΙΠ Κ. Λαμπρόπουλος. ΑΘΗΝΑ : ΕΜΠ, 2014.
- [39]. Σακελλαρίου, Α.Γ. ΤΕΕ. [Ηλεκτρονικό] 15-17 10 2003. [Παραπομπή: 10 10 2018.] <http://library.tee.gr/digital/m1964>.
- [40]. Σ. Αντίοχος, Σ. Τσίμας. ΤΕΕ. [Ηλεκτρονικό] 15-17 10 2003. [Παραπομπή: 20 9 2018.] http://library.tee.gr/digital/m1964/m1964_contents.htm.
- [41]. Αλέξανδρος, Καραστεργίου. Διπλωματική Εργασία Μελέτη της Συνεργατικής Υδροθερμικής Κατεργασίας Ιπτάμενης Τέφρας και Μεταλλουργικής Σκωρίας για την Παρασκευή Δομικών Υλικών.

[επιμ.] Επιβλέποντες Γ. Δημητρακόπουλος Θ. Κεχαγιάς καθηγητές:. Θεσσαλονίκη : ΜΕΤ.ΠΡΟΓ.ΣΠΟΥΔΩΝ .ΦΥΣΙΚΗΣ Α.Π.Θ, 2009.

[42]. Βασιλική, Λιβανίου. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Τεχνολογική και Οικονομική Αποτίμηση της Τεχνολογίας Αξιοποίησης του Βιομηχανικού Καταλοίπου της Ερυθράς Ιλύος για Παραγωγή Χυτοσιδήρου και Ορυκτοβάμβακα. ΑΘΗΝΑ: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ, 2012. σ. 142.

[43]. ΤΖΕΒΕΛΕΚΟΥ, ΘΕΟΦΑΝΗΣ. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΝΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΑΝΑΓΩΓΙΚΗ ΤΗΞΗ ΚΟΝΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΙΔΗΡΟΚΕΛΙΟΥ. ΠΑΤΡΑ : Πανεπιστήμιο Πατρών, 2004. σ. 324. 29.

[44]. wikipedia. wikipedia.org. [Ηλεκτρονικό] 2017. [Παραπομπή: 22 9 2018.] <https://en.wikipedia.org/wiki/Phosphogypsum>.

[45]. Εκτίμηση Ραδιολογικών Επιπτώσεων από Βιομηχανία Παραγωγής Λιπασμάτων στο Περιβάλλον. Πασχαλίδης, Δρ. Ιωάννης. Κύπρος : Ανάδοχος Φορέας: Πανεπιστήμιο Κύπρου, 2007.

[46]. Azevedo, Geoffrey S. Ashworth and Pablo. *Agricultural Wastes*. ISBN: 978-1-60741-305-9. New York : Nova Science Publishers, 2009.

[47]. Σωματαρίδου Βασιλική, Msc Γεωλόγος Σύμβουλος Περιβάλλοντος-Ειδικός GIS,). periballondiki. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 10 8 2018.] http://periballondiki.blogspot.com/2009/04/blog-post_17.html .

[48]. Ενέργειας, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής. Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. [Ηλεκτρονικό] 2018. [Παραπομπή: 10 7 2018.] <http://eeae.gr/>.

[49]. sika. <https://grc.sika.com>. <https://grc.sika.com>. [Ηλεκτρονικό] 18 Οκτωβρίου 2018. https://grc.sika.com/content/greece/main/el/solutions_products/02/02a001/02a001sa99.html.

[50]. Δομικά Υλικά. Καθ. Α. Μοροπούλου, ΕΔΙΠ Κ. Λαμπρόπουλος. ΑΘΗΝΑ : ΕΜΠ, 2014.

[51]. GGS. Κατηγορίες σκυροδέματος | GGS. ggs.com.cy. [Ηλεκτρονικό] 27 10 2018. http://ggs.com.cy/kathgories_skyrodematos/kathgories-skyrodematos.

[52]. www.texnikos.gr. [Ηλεκτρονικό] 2018. [Παραπομπή: 20 9 2018.] <https://www.texnikos.gr/domisi/61-prosmikta-skyrodematos>.

[53]. ΦΩΤΕΙΝΗ ΚΕΧΑΓΙΑ, Max Obbliger, ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΩΧΟΣ. ΤΕΕ. [Ηλεκτρονικό] 13 7 2016. [Παραπομπή: 10 9 2018.] http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_kehagia.pdf.

[54]. Lab, K Arch. karchlab. [Ηλεκτρονικό] Τρίτη, 20 Νοεμβρίου 2018, 4:55:42 μ.μ. [Παραπομπή: 15 9 2018.] https://karchlab.wordpress.com/2017/09/18/epifaneies_emfanous_skyrodematos_esoteriko/.

- [55]. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΑΝΔΡΙΑΝΑ, ΚΑΪΣΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ. *ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ ΑΔΡΑΝΗ*. [επιμ.] ΚΟΝΙΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ. s.l. : ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ. σσ. 29-42.
- [56]. Βαρδάκα, Γεωργία. *Διδακτορική διατριβή Διαπερατό σκυρόδεμα ανάπτυξη, Σχεδιασμός, μελέτη ιδιοτήτων και περιβαλλοντικά οφέλη*. Ε.Μ.Π Αθήνα : Σελίδα 30, 2013.
- [57]. ggs. Διαπερατό σκυρόδεμα - Πράσινο σκυρόδεμα | GGS. <http://ggs.com.cy>. [Ηλεκτρονικό] 2018. <http://ggs.com.cy/proionta/diaperato-skyrodema>.
- [58]. ΕΠΕ, Επιδόμος. Επιδόμος Ε.Π.Ε. ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ - ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΩΝ. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 20 8 2018.] <http://www.epidomos.gr/>.
- [59]. Τόγελος, Βασίλης. Βασίλης Τόγελος. [Ηλεκτρονικό] 05 March 2014 22:23. [Παραπομπή: 22 8 2018.] <http://www.togelos.com/apokatastash-ktirion/>.
- [60]. Μελετητική, Λ.Δασκαλάκης | Τεχνική - Κατασκευαστική -. Λ.Δασκαλάκης | Τεχνική - Κατασκευαστική - Μελετητική. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 25 8 2018.] <http://www.eandas.gr/el/>.
- [61]. eandas. www.eandas.gr. www.eandas.gr. [Ηλεκτρονικό] 21 7 2018.
- [62]. *Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα: Ανασκόπηση, Ιδιότητες και Προοπτικές στην Ελλάδα*. Κ.Γ. Παπανικολάου, Αθ.Χ. Τριανταφύλλου. 2003.
- [63]. ΧΠΑΠΑΔΑΚΗ, ΖΩΓΡΑΦΙΑ. *ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΕΡΕΤΝΗΣΗ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ*. Χανιά : s.n., 2010.
- [64]. Παναγιώτης, Κομνηνού Ελένη-Οικονόμου. *ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Συγκριτική αξιολόγηση μηχανικών χαρακτηριστικών και μηχανικής συμπεριφοράς σκυροδέματος, ινοπλισμένου με μεταλλικές και συνθετικές ίνες*. [επιμ.] Επιβλέπων: Ευστράτιος Γ. Μπαδογιάννης-Λέκτορας Ε.Μ.Π. Αθήνα : ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Ιούλιος 2015.
- [65]. Μάλαμας, Μελαμπιανάκης Τσιτσιριδάκης. kataskevh.blogspot.com. kataskevh.blogspot.com. [Ηλεκτρονικό] 2 Ιανουάριος 2010. [Παραπομπή: 10 8 2018.] http://kataskevh.blogspot.com/2010/02/blog-post_14.html.
- [66]. Κατασκευαστική, Κυρίτσης. <http://www.ikyritsis.gr/>. *Κυρίτσης Κατασκευαστική* . [Ηλεκτρονικό] 2 6 2017. <http://www.ikyritsis.gr/2017-02-06-16-45-30>.
- [67]. [monodomiki.gr](http://www.monodomiki.gr). [monodomiki.gr](http://www.monodomiki.gr). www.monodomiki.gr. [Ηλεκτρονικό] 2018. <https://www.monodomiki.gr/Arthra-kai-symvoyles/Genika-Themata-Monoseon>.
- [68]. durostar. durostar. *Γεμίσματα αφρομετόν*. [Ηλεκτρονικό] 2018. <https://www.durostar.gr>
- [69]. <http://kataskevesktirion.gr>. [kataskevesktirion](http://kataskevesktirion.gr). [Ηλεκτρονικό] 2016. [Παραπομπή: 2018 8 20.] <http://kataskevesktirion.gr>.

- [70]. Νικολάου, Χρυσοβαλάντης. cvaladis.blogspot.com. [Ηλεκτρονικό] 2014. [Παραπομπή: 20 9 2018.] http://cvaladis.blogspot.com/2014/12/1_70.html.
- [71]. Βιβλίο(Γ Γυμνασίου, Φυσική) Ηλεκτρονικό. <http://ebooks.edu.gr/new/>. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGYM-C201/296/2071,7282/>. [Ηλεκτρονικό] 2018.
- [72]. <https://el.wikipedia.org/>. <https://el.wikipedia.org/>. [Ηλεκτρονικό] 2017. [Παραπομπή: 15 10 2018.] <https://el.wikipedia.org/>.
- [73]. Ηχος. Παλούρα, Ε. Κ. 2013.
- [74]. *KEF_7_KYMATA-converted.docx*. *KEF_7_KYMATA-converted.docx*.
- [75]. (*kymata kefaleo 5. 5*, (*kymata kefaleo*.
- [76]. ΘΕΟΔΩΡΟΣ, ΧΑΣΙΩΤΗΣ. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΛΥΣΤΡΩΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΕΜΒΑΠΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ. [επιμ.] Αν. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π. ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Ν.ΤΣΟΥΒΑΛΗΣ. ΑΘΗΝΑ : ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 2012.
- [77]. ΜΠΕΝΑΚΗΣ, ΜΑΝΩΛΗΣ. <https://blogs.sch.gr/>. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 10 9 2018.] <https://blogs.sch.gr/ebenakis/files/2009/03/sismic-waves.pdf>.
- [78]. Βικιπαίδεια. Οπλισμένο σκυρόδεμα - Βικιπαίδεια. [Ηλεκτρονικό] 2018. [Παραπομπή: Κυριακή, 28 Οκτωβρίου 2018, 10:01:06 π.μ. 28 Οκτωβρίου 2018 2018.] <https://el.wikipedia.org/wiki/>.
- [79]. Γαλάνης, Σπυρίδων. Δυπλ.Διατρ.Δυναμική διερεύνηση πιεζοηλεκτρικών κατασκευών με χρήση πεπερασμένων. ΧΑΝΙΑ : s.n., 2014.
- [80]. Tasos. docplayer. www.docplayer.gr. [Ηλεκτρονικό] 8/2/2016. [Παραπομπή: 27 7 2018.] <https://docplayer.gr/23917391-Kefalaio-6-eyfyi-syntheta-ylika-mihaniki-ton-piezoile....>
- [81]. wikipedia. Πιεζοηλεκτρισμός. [Ηλεκτρονικό] 29 11 2018. [Παραπομπή: 1 12 2018.] <https://el.wikipedia.org/wiki/>.
- [82]. Ι. ΚΑΝΔΑΡΑΚΗΣ,Στ. ΤΣΑΝΤΗΣ. ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ ΣΤΗΝ ΥΠΕΡΗΧΟΓΡΑΦΙΑ. ΑΘΗΝΑΣ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ -ΑΘΗΝΑΣ.
- [83]. *Skyrodema2018_paper_173 Εκτίμηση της Ολιπτικής Αντοχής του Σκυροδέματος με Χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων*. Αθανασία ΣΚΕΝΤΟΥ, Νικόλαος ΜΑΡΓΑΡΗΣ, Μαρία Γ. ΔΟΥΒΙΚΑ,Ελισάβετ ΒΙΝΤΖΗΛΑΙΟΥ, Κωνσταντίνος Χ. ΡΕΠΑΠΗΣ, ΒασίλειοςΜΩΚΟΣ1, Παναγιώτης Γ. ΑΣΤΕΡΗΣ. 2018.
- [84]. ΔΗΜΗΤΡΑ, ΛΙΓΚΑΝΑΡΗ. ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ . ΑΡΤΑ : s.n., 2006.

- [85]. ΣΩΤΗΡΗΣ, ΝΙΚΗΦΟΡΟΥ-ΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ. *ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ*. ΑΘΗΝΑ : s.n., ΜΑΡΤΙΟΣ 2012.
- [86]. Γαλάνης, Σπυρίδων. *Δυπλ.Διατρ.Δυναμική διερεύνηση πιεζοηλεκτρικών κατασκευών με χρήση πεπερασμένων στοιχείων*. ΧΑΝΙΑ : s.n., 2014.
- [87]. T.Hirschi, H.Knauber M.Lanz, J.Schlumpf, Schrabach C.Spirig και U.Waeber, Απόδοση στα Ελληνικά και προσαρμογή: Εύη Σάλτα. *texnikos.gr. texnikos.gr*. [Ηλεκτρονικό] 21 8 2016. <https://www.texnikos.gr/domisi/61-prosmikta-skyrodematos>.
- [88]. Tsantis, Stavros. <https://repository.kallipos.gr>. <https://repository.kallipos.gr>. [Ηλεκτρονικό] 2015. https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/5981/1/02_chapter_03.pdf.
- [89]. <https://repository.kallipos.gr>. <https://repository.kallipos.gr>. [Ηλεκτρονικό] https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/193/3/02_chapter_4.pdf.
- [90]. *ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ*. Κώστας, Τσακαλάκης. ΑΘΗΝΑ : s.n., 2010. σ. 20.
- [91]. C.K.Y.Leung, Fiber optic sensors in concrete: The future?", NDT&E International,. Παρακολούθηση κατασκευών από σκυρόδεμα με αισθητήρες οπτικών ινών. *PRAXI Network*. [Ηλεκτρονικό] Σάββατο 3 Νοεμβρίου 2018. <http://praxinetwork.gr/en/coop/tom/10013>.
- [92]. ΚΤΕΝΑΣ, ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ – ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ. <http://www.episkevesold.civil.upatras.gr>. [Ηλεκτρονικό] <http://www.episkevesold.civil.upatras.gr/ergasies%202006/7%20ΚΤΕΝΑΣ.pdf>.
- [93]. ΙΩΑΝΝΗΣ, ΤΣΟΠΑΝΟΓΛΟΥ Χ. *ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥ STUDIO ΛΑΪΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ*. [επιμ.] ΕΠΟΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΚΟΥΛΙΟΣ ΜΑΡΚΟΣ. ΑΡΤΑ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ, 2015.