



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

**ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

“ΚΑΙΝΟΤΟΜΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ (M.Eng.)”

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

ΜΙΧΑΛΗΣ ΠΕΤΡΟΥ

ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2021

ΠΕΡΙΟΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	3
1.1 Ιστορική αναδρομή σκυροδέματος	4
1.2 Δομή σκυροδέματος.....	5
1.3 Σύνθεση σκυροδέματος.....	6
2. Συμπύκνωση.....	7
2.1 Ο τρόπος που επιτυγχάνεται η συμπύκνωση.....	9
2.2 Μέθοδοι για αποτελεσματική εφαρμογή της εσωτερικής δόνησης.....	10
2.3 Αποτελέσματα συμπύκνωσης.....	11
2.4 Ποσό συμπύκνωση χρειάζεται το σκυρόδεμα.....	15
2.5 Εργαλεία συμπύκνωσης.....	15
3. Είδη δονητών.....	15
3.1 Δονητικοί κόπανοι δονητικοί οδοστρωτήρες δονητικές πλάκες και δοκοί	19
3.2 Εξωτερικοί δονητές.....	19
3.2.1 Τύποι εξωτερικών δονητών.....	20
3.2.2 Ειδικές περιπτώσεις εξωτερικής δόνησης.....	20
3.3 Εσωτερικοί δονητές.....	21
3.3.1 Κατηγορίες εσωτερικών δονητών.....	24
3.3.2 Δονητές με εύκαμπτο κινητήριο άξονα.....	24
3.3.3 Δονητές με ηλεκτρικό κινητήρα ενσωματωμένο στην κεφαλή.....	24
3.4 Πνευματικοί δονητές.....	25
3.5 Δονητές επιφάνειας.....	25
3.5.1 Δονητικοί πήχεις.....	27
3.5.2 Μικρές δονητικές μονάδες.....	27
4. Υπερδόνηση.....	28
4.1 Απόμιξη.....	29
4.2 Απώλεια αέρα σε σκυροδέματα με αερακτικό.....	29
4.3 Αστοχία καλουπιού.....	30
5. Δόνηση οπλισμού.....	30
6. Μεθοδολογία εκτέλεσης εργασιών.....	30
6.1 Επιλογή δονητή.....	31
6.2 Όγκος σκυροδέτησης.....	31
6.3 Ακτίνα ενέργειας του δονητή.....	31
6.4 Απόσταση εφαρμογής σημείων δόνησης.....	31
6.5 Πάχος στρώσεις σκυροδέτησης.....	31
7. Ειδικές περιπτώσεις συμπύκνωσης.....	32
7.1 Συμπύκνωση και οπλισμός	32
7.2 Συμπύκνωση διατομών σκυροδέματος μικρού πάχους.....	32

7.3 Συμπύκνωση σκυροδέματος υποστυλωμάτων	32
7.4 Σκυροδέτηση σε περιοχές με ενσωματούμενα στοιχεία και εσοχές του καλουπιού.....	33
7.5 Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.....	33
8. Επαναδόνηση.....	34
9. Ποιοτικοί έλεγχοι για την παραλαβή.....	34
10. Ερωτήματα σχετικά με την συμπύκνωση.....	36
11. Κάθιση.....	36
11.1 Εργάσιμο σκυρόδεμα.....	37
11.2 Μέτρηση κάθισης.....	37
11.3 Δειγματοληψία.....	39
11.3.1 Τυχαία δείγματα.....	39
11.3.2 Μεμονωμένα δείγματα.....	41
11.4 Έλεγχος συνεκτικότητας με τη δοκιμή κάθισης αρχή.....	41
11.5 Έλεγχος συνεκτικότητας βάσει βαθμού συμπύκνωσης αρχή.....	41
11.6 Έλεγχος της συνεκτικότητας βάσει διαμέτρου εξάπλωσης αρχή.....	41
11.7 Δοκιμή κάθισης	42
11.8 Διαδικασία μέτρηση της τιμής της κάθισης.....	42
12. Ευρωκώδικες.....	44
12.1 Ιστορικό του προγράμματος των Ευρωκωδίκων.....	45
12.2 Οριακές καταστάσεις.....	45
12.2.1 Οριακή κατάσταση αστοχίας.....	45
12.2.2 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.....	45
12.3 Γενικές απαιτήσεις: Ανάλυση.....	46
Βιβλιογραφία.....	47

1. Εισαγωγή

Το σκυρόδεμα είναι από τα πιο δημοφιλή υλικά κατασκευής από τον 19^ο αιώνα. Αυτό συμβαίνει γιατί μπορεί να πάρει ότι μορφή θέλουμε εμείς χωρίς δυσκολία με μόνο την κατάλληλη διαμόρφωση των ξυλότυπων. Έχει μια ιδιαίτερη ευκολία να επιτρέπει μια τεράστια ποικιλία σχημάτων και μεγεθών. Έτσι, καθιστά επιτεύξιμη οποιαδήποτε αρχιτεκτονική δημιουργία της μοντέρνας και μεταμοντέρνας αρχιτεκτονικής. Επιπλέον είναι αρκετά οικονομικό ισορροπώντας το κόστος σε κατασκευές υψηλών οικονομικών απαιτήσεων. Αυτό σε συνδυασμό με την μεγάλη και άμεση διαθεσιμότητα των συστατικών υλών του και στην σχετικά χαμηλή ενέργεια που απαιτείται για την παρασκευή του το καθιστά έναν από τους πιο περιζήτητους τρόπους κατασκευής. [1]

Η ποιότητα του σκυροδέματος εξαρτάται από την ποιότητα των εμπλεκόμενων υλικών για την κατασκευή του (τσιμέντο, άμμος, χαλίκια, πρόσθετα, νερό), από τον τρόπο ανάμιξη του καθώς και από την αναλογία με την οποία θα αναμειχθούν. Επιπλέον εξαρτώνται και από την συμπύκνωση μέσα στα καλούπια και με το αν θα γίνει επαρκώς η συντήρηση τους ειδικά τις πρώτες 7 μέρες από την παρασκευή του, όπου σε αυτό το διάστημα αποκτά το σκυρόδεμα το μεγαλύτερο ποσοστό των ιδιοτήτων του. Το σκυρόδεμα ακόμα έχει εξαιρετική αντοχή στη διαβρωτική επίδραση του νερού και γενικά είναι ανθεκτικό στις περιβαλλοντικές επιδράσεις. Έτσι, αν συνδυαστεί με τον χάλυβα και ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του ευρωκώδικα 8 το καθιστά και αντισεισμικό υλικό. [1]



Εικόνα 1: Νωπό σκυρόδεμα

1.1 Ιστορική αναδρομή σκυροδέματος

Το τσιμέντο και το σκυρόδεμα ενώ είναι δύο διαφορετικά υλικά στην ουσία δεν διαχωρίζονται στην συνείδηση του μέσου καταναλωτή ο οποίος πρακτικά γνωρίζει το τελικό προϊόν που είναι το σκυρόδεμα. Κατά συνέπεια η ιστορική τους εξέλιξη είναι συνυφασμένη και αλληλοεξαρτώμενη. Η ύπαρξη ενός τεχνητού στερεού υλικού που προκύπτει από την ανάμειξη φυσικών υλικών με συνδετικές κονίες και νερό για να αποτελέσει ένα σώμα και έχει μετεξελιχθεί στο σημερινό σκυρόδεμα, έχει ιστορία 9000 ετών. [26]

Οι αρχαίοι Έλληνες ήταν ίσως οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν υδραυλικές κονίες δηλ. κονίες που όταν ανακατευτούν με το νερό μπορούν να πήξουν και να σκληρυνθούν τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό. Είναι επομένως αυτονόητο ότι τα κονιάματα και τα σκυροδέματα που παρασκευάζονται με υδραυλικές κονίες έχουν πολύ μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις χρόνιες επιδράσεις του περιβάλλοντος.

Από το είδος αυτό των υδραυλικών κονιαμάτων που χρησιμοποίησαν οι αρχαίοι Έλληνες τα κυριότερα είναι:

- Μίγμα ασβέστη και ηφαιστειακής γης από τη Θήρα ή τη Νίσυρο στην Ελλάδα ή τη Δικαιαρχεία, αργότερα Pozzuoli, στην ελληνική αποικία της Ιταλίας κοντά στη Napoli. Το μίγμα αυτό έχει τη δυνατότητα να πήζει και να σκληραίνει μέσα στο νερό (υδραυλική κονία) χωρίς να διαλύεται όπως τα ασβεστοκονιάματα. Από την άποψη αυτή το μίγμα ασβέστη και ηφαιστειακής γης είναι πολύ συγγενές με το τσιμέντο και θα μπορούσε να θεωρηθεί ως "πρόδρομο" υλικό του σημερινού τσιμέντου. (Σήμερα παρασκευάζονται και έχουν ευρύτατη χρήση τσιμέντα με προσθήκη ποζολάνης, τα ποζολανικά τσιμέντα). Τέτοιο μίγμα φαίνεται ότι χρησιμοποιήθηκε για να γίνει υδατοστεγανή δεξαμενή χωρητικότητας 600 m³ στο ναό της Αθηνάς στην αρχαία Κάμιρο στη Ρόδο, καθώς και στην κατασκευή του λιμανιού του Πειραιά (Ζέα). Επίσης μίγματα ασβέστη τριμμένης ηφαιστειακής γης και μαρμαρόσκονης χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα στην κατασκευή σοβάδων, ειδικών επικαλύψεων για να αποτελέσουν την επιφάνεια για ζωγραφική (στούκο) αλλά και για "συγκόλληση σπασμένων τεμαχίων μαρμάρων" (αρχαϊκός ναός Αρτέμιδος).
- Τριμμένα κεραμίδια ή πλίνθοι με ασβέστη κυρίως σε θαλάσσια έργα (Δειλός, Ρόδος βίλα ελληνιστικής περιόδου.)
- Διάφορα άλλα υλικά, όπως τέφρες (Κόρτυς Αρκαδία), σιδερόσκονη (Αγορά Αθηνών), πρωτοξείδιο του μολύβδου (Λαύριον).



Το πρώτο ουσιαστικά βήμα για τη δημιουργία του τσιμέντου υπό τη μορφή που χρησιμοποιείται σήμερα θα αποδοθεί στον Άγγλο μηχανικό John Smeaton στα μέσα του 1.700 μ.Χ. Ο Smeaton άρχισε να ερευνά τα διάφορα υλικά και διαπίστωσε ότι τα ασβεστοκονιάματα με ασβέστη ο οποίος έχει παρασκευαστεί από το ψήσιμο ασβεστόλιθου που περιείχε άργιλο (δηλ. πυρίτιο και αργίλιο) μπορούσαν να πήξουν τόσο στον αέρα όσο-και σπουδαιότερο- μέσα στο νερό.

Αυτή η παρατήρηση θεωρείται ότι αποτελεί το πρώτο σημαντικό βήμα για την παραγωγή του τσιμέντου με τη μορφή που παράγεται σήμερα. Ανάλογες εξελίξεις την ίδια εποχή αναφέρονται στη Γαλλία αποδιδόμενες στους Vicat και Lesage.

Ακολουθούν διάφορες άλλες "εφευρέσεις" με αντίστοιχα διπλώματα ευρεσιτεχνίας όπως του εφευρέτη James Parker με το "Ρωμαϊκό τσιμέντο".

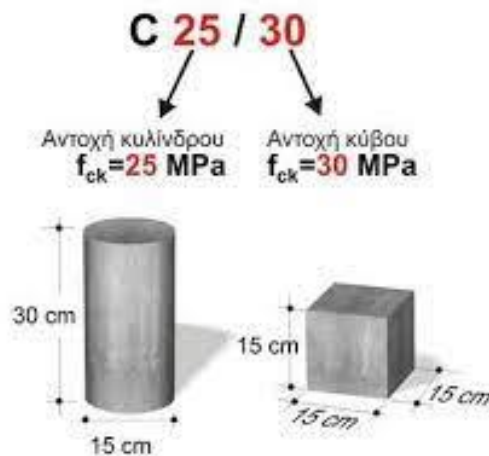
Η συστηματικότερη όμως παρασκευή τσιμέντου αποδίδεται στον Άγγλο μηχανικό Joseph Aspdin ο οποίος έδωσε στο υλικό (για το οποίο πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας) το όνομα που και σήμερα χρησιμοποιείται "τσιμέντο Portland". Το όνομα αυτό δόθηκε γιατί το χρώμα του σκληρυμένου τσιμέντου ήταν πολύ κοντά στο χρώμα των πετρωμάτων στο Portland. Σήμερα σώζεται (σε εγκαταστάσεις Βρετανικής Τσιμεντοβιομηχανίας) ένας από τους πέτρινους κλιβάνους που χρησιμοποίησε ο γιος του Aspdin, William για την παραγωγή του τσιμέντου.

Σήμερα παράγονται ετησίως σε όλο τον κόσμο πάνω από 1,5 δισεκατομμύρια τόνοι τσιμέντου και το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται από το τσιμέντο αυτό υπερβαίνει τα 10 δισεκατομμύρια τόνους. Το γεγονός αυτό καθιστά το τσιμέντο και το σκυρόδεμα τα σπουδαιότερα και πλέον διαδεδομένα δομικά υλικά της εποχής μας. Παρασκευάζεται σκυρόδεμα με θλιπτική αντοχή μεγαλύτερη από 200 MPa αλλά και σκυρόδεμα με προεπιλεγμένες ιδιότητες (χαμηλής αντοχής, υψηλής ανθεκτικότητας σε διαβρωτικές επιδράσεις του περιβάλλοντος, αυτοσυμπυκνούμενο, με αντοχή σε τριβή και κρούση και σκυρόδεμα που απορροφά αέριες ενώσεις NO_x που μολύνουν το περιβάλλον). [26]

1.2 Δομή σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα αποτελείται από κοκκώδη υλικά φυσικά ή τεχνητά, στα οποία προστίθεται τσιμέντο και νερό. Τα αδρανή υλικά αποτελούνται από λίθινους κόκκους, είτε φυσικούς οπότε ονομάζονται «**φυσικά ή συλλεκτά**» αδρανή είτε από κόκκους που προκύπτουν από την θραύση πετρώματος ή θραύση φυσικών αδρανών οπότε ονομάζονται «**θραυστά αδρανή**»

Οι διαφορετικές ιδιότητες των πρώτων υλών που αναμιγνύονται στη παραγωγή του σκυροδέματος (μάζα, όγκος, φυσικοχημικά χαρακτηριστικά) καθιστούν την παραγωγή σκυροδέματος σε μία εξαιρετικά πολύπλοκη και σύνθετη διαδικασία. Οι αυστηρές διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 1997 (Κ.Τ.Σ. 97) προβλέπουν τις ελάχιστες δοσολογίες των πρώτων υλών ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της προβλεπόμενης εφαρμογής του σκυροδέματος, όπως η εργασιμότητα, η αντοχή, η πλαστιμότητα, το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται, η απόδοση και διάρκεια ζωής της κατασκευής. Τόσο η διαδικασία παραγωγής όσο και η τελική ενσωμάτωση του σκυροδέματος στις κατασκευές διέπονται από τον εξίσου απαιτητικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ. 97), ο οποίος ισχύει σήμερα καλύπτοντας τις απαιτήσεις για σύγχρονες ασφαλείς και αντισεισμικές κατασκευές. [2][4][20]



Εικόνα 2: Τι εννοούμε ότι το σκυρόδεμα είναι κατηγορίας C25/30

1.3 Σύνθεση Σκυροδέματος

Η θεωρητική δομή του σκυροδέματος δεν ανταποκρίνεται, στην άριστη θεωρητικά σύνθεση του. Το τελικό προϊόν θα απέχει πολύ από αυτό που θεωρητικά είχε προγραμματιστεί κυρίως γιατί στην πράξη θα ήταν αδύνατη η “τακτοποίηση” των κόκκων, όπως στο θεωρητικό πρότυπο. Εξάλλου το σκυρόδεμα θα είχε τέτοια συνεκτικότητα, που θα απαιτούσε εξαιρετικά μεγάλο έργο συμπυκνώσεως. Η σύνθεση του σκυροδέματος είναι μια εμπειρική διαδικασία με σκοπό να ικανοποιεί τις απαιτήσεις τις εκάστοτε κατασκευής όπως είναι η αυξημένη ανθεκτικότητα, αντοχή και εργασιμότητα. [2] [4] [17]

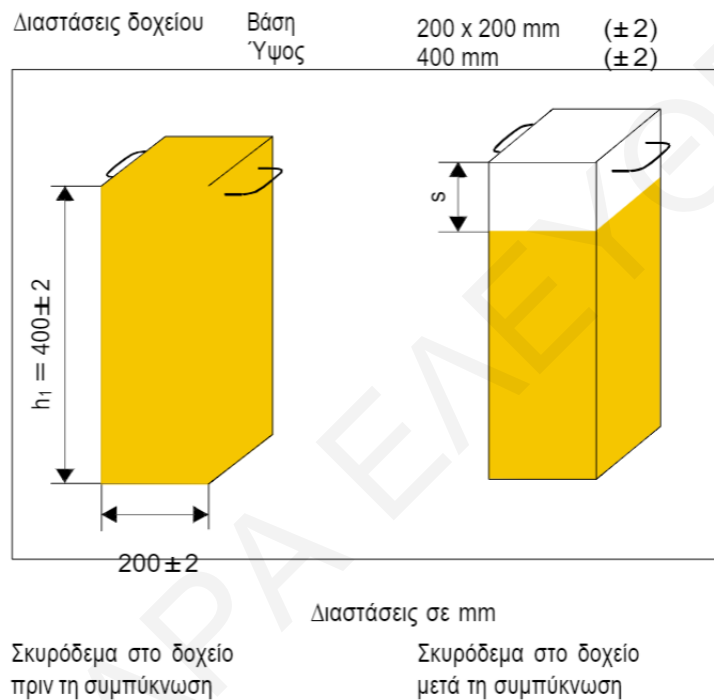
Κατηγορίες σκυροδέματος	f _{ck} κυλ. (MPa)	f _{ck} κύβου (MPa)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	15	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C36/45	35	45
C40/50	40	50
C46/55	45	55
C50/60	50	60

Εικόνα 3: Χαρακτηριστικά αντοχής σκυροδέματος ανάλογα με την κατηγορία του

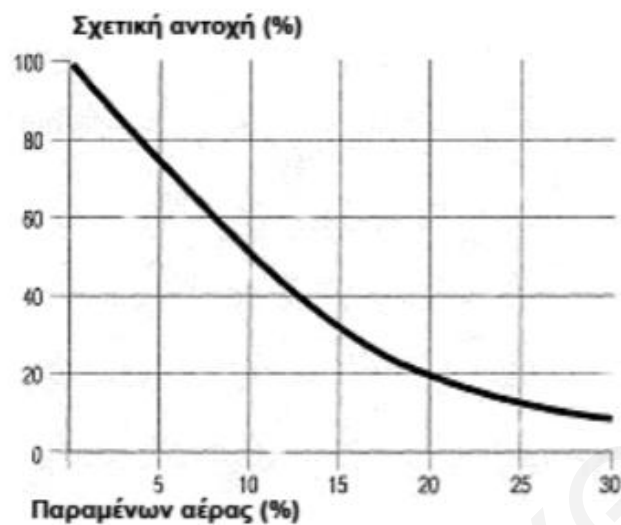
2. Συμπύκνωση

Η συμπύκνωση σκυροδέματος είναι η διαδικασία απομάκρυνσης του εγκλωβισμένου αέρα από το νωπό σκυρόδεμα αμέσως μετά την χύτευση του στον ξυλότυπο και η επίτευξη της μέγιστης πυκνότητας του μέσω της ταξινόμησης των αδρανών σε πυκνή διάταξη. Η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε αέρα αμέσως μετά την τοποθέτηση του ξυλότυπου είναι περίπου 5% έως 20%.

Η επίδραση της συμπύκνωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η θλιπτική αντοχή σκυροδέματος με περιεκτικότητα αέρα 5% είναι περίπου το 80% της αντίστοιχης του καλά συμπυκνωμένου σκυροδέματος. Με περιεκτικότητα αέρα 10% η αντοχή μειώνεται μέχρι και στο 50%. [2] [18]

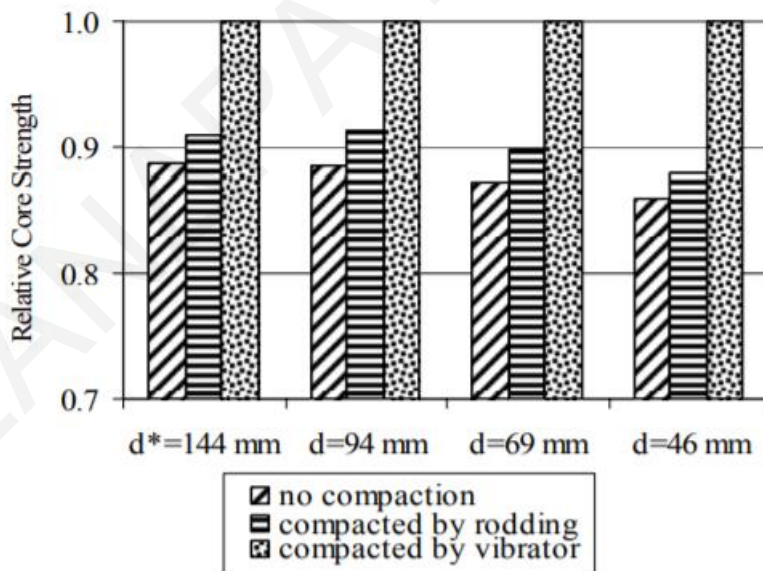


Εικόνα 4: Επίδραση της συμπύκνωσης σε σκυρόδεμα μέσα στο δοχείο με μείωση όγκου κατά S



Απώλεια αντοχής λόγω ελλιπούς συμπίκνωσης

Εικόνα 5: Διάγραμμα απώλειας αντοχής λόγω ελλιπούς συμπίκνωσης



Εικόνα 6 :Η επίδραση της συμπίκνωσης στην αντοχή του σκυροδέματος

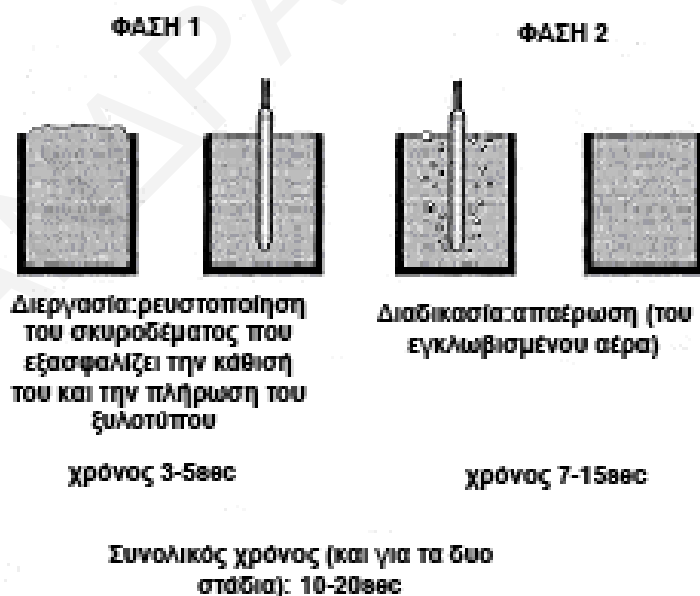
2.1 Ο τρόπος που επιτυγχάνεται η συμύκνωση

Συμύκνωση μέχρις ενός σημείου επιτυγχάνεται με συμπίεση κοπάνισα και με βύθιση σιδερόβεργας στο σκυροδέμα όπως γινόταν και παλαιότερα. Η πλήρης ωστόσο συμύκνωση επιτυγχάνεται, σήμερα, με εφαρμογή δόνησης. Η δόνηση προκαλεί την προσωρινή μείωση της τριβής και οδηγεί στην πρόσφυση μεταξύ των συστατικών του σκυροδέματος και οδηγεί στην ρευστοποίηση του. Οι κόκκοι των υλικών δονούνται και μετακινούνται υπό την επίδραση του βάρους τους, αλλά και της προσφερόμενης από τον δονητή ενέργειας, δημιουργώντας έτσι την μέγιστη πυκνότητα ιστού. Ο τσιμεντοπολιτός αναδύεται στην επιφάνεια γεμίζοντας τα κενά, σφηνώνοντας τα αδρανή και δημιουργώντας δεσμούς με αυτά. [21] [3] [14]

Πρότυπο EN 12350-4

Τάξη	Κατηγορίες Συμύκνωσης Βαθμός συμύκνωσης
CO1	≥ 1.46
C1	1.45 έως 1.26
C2	1.25 έως 1.11
C3	1.10 έως 1.04

Εικόνα 7: Ο βαθμός συμύκνωσης ανάλογα με την τάξη του σκυροδέματος

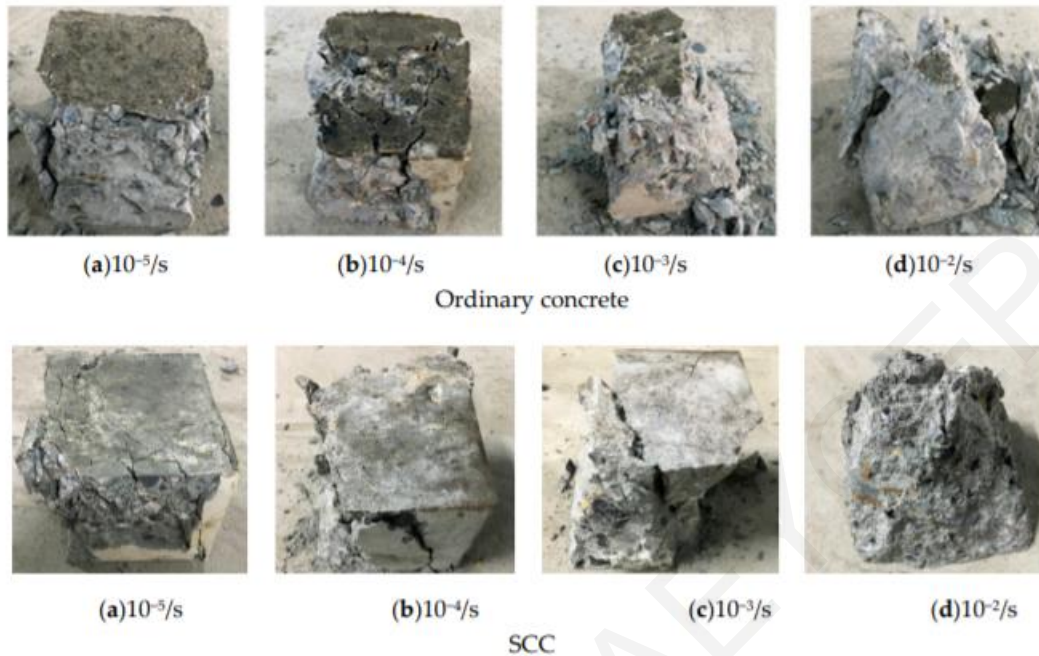


Εικόνα 8: Διαδικασία επεξεργασίας σκυροδέματος με πρώτο στάδιο την ρευστοποίηση και δεύτερο την συμύκνωση

2.2 Μέθοδοι για αποτελεσματική εφαρμογή της εσωτερικής δόνησης

Για την ορθή και αποτελεσματική δόνηση του σκυροδέματος παρατίθενται οι ακόλουθοι κανόνες ορθής πρακτικής και επισημάνσεις:

- Ο χρόνος δόνησης εξαρτάται από την συχνότητα του δονητή. Με την αύξηση της συχνότητας ελαττώνεται ο απαιτούμενος χρόνος δόνησης.
- Η συχνότητα μειώνεται κατά 20-25% όταν το στέλεχος του δονητή εισχωρεί στο σκυρόδεμα.
- Προτείνεται η διάμετρος του στελέχους δονητή να είναι έως το $\frac{1}{4}$ του πλάτους των κατακόρυφων στοιχείων που σκυροδετούνται. Η δόνηση τοιχίων, λεπτοτοιχών δοκών και υποστηλωμάτων μικρής διατομής απαιτεί λεπτότερα στελέχη.
- Ο δονητής πρέπει να εισέρχεται κατακόρυφα με ταχύτητα (περίπου 0,30 m/sec) και να ανασύρεται αργά (περίπου με το $\frac{1}{3}$ της ταχύτητας εισχώρησης).
- Η συνεχής επικάλυψη των πεδίων δράσης του δονητή σε όλη την επιφάνεια της διάστρωσης (εφαρμογή κανόνα 1,5 R) εξασφαλίζει την σύνδεση σωρών (φορτίων) και στρώσεων καθώς και την μονολιθικότητα της διάστρωσης.
- Το στέλεχος πρέπει να εισχωρεί στην περιοχή δόνησης μόνον μία φορά (διαδοχική στρώση της επιφάνειας με χρήση του κανόνα 1,5 R)
- Όταν η σκυροδέτηση γίνεται κατά στρώσεις ο δονητής πρέπει να εισχωρεί στην υποκείμενη στρώση κατά περίπου 20 cm.
- Η δόνηση πρέπει να διακόπτεται όταν η επιφάνεια του σκυροδέματος αποκτήσει γυαλάδα και σταματούν να αναβλύζουν φυσαλίδες αέρα.
- Οι κατά τυχαίο τρόπο εισχωρήσεις του δονητή στο σκυρόδεμα (και όχι με συστηματικό τρόπο κατά κάναβο) μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα τμήματα της διαστρωνόμενης ποσότητας να μείνουν αδόνητα
- Ο δονητής δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με τον ξυλότυπο γιατί δημιουργούνται ίχνη τα οποία θα παραμείνουν εμφανή μετά την αφαίρεσή του.
- Επίσης πρέπει να αποφεύγεται η επαφή του δονητή με τον οπλισμό, εκτός εάν έχουν ληφθεί μέτρα σταθεροποίησής του (π.χ. με αποστατήρες, αναβολείς κ.λ.π.)
- Οι απολήξεις των ξυλοτύπων, οι κεκλιμένες επιφάνειές τους και οι αρμοί είναι σημεία επιρρεπή στον εγκλωβισμό αέρα. Για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων αυτών, η έγχυση του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται σε μικρή απόσταση από το άκρο και ο δονητής να εφαρμόζεται προς το όριο της διάστρωσης.
- Τα ενσωματούμενα στοιχεία έχουν επίσης την τάση να εγκλωβίζουν αέρα. Στις περιπτώσεις αυτές η έγχυση πρέπει να γίνεται από την μία πλευρά σε επαρκή ποσότητα και να εφαρμόζεται δόνηση μέχρι να εμφανισθεί από την άλλη πλευρά του στοιχείου. [15] [6]

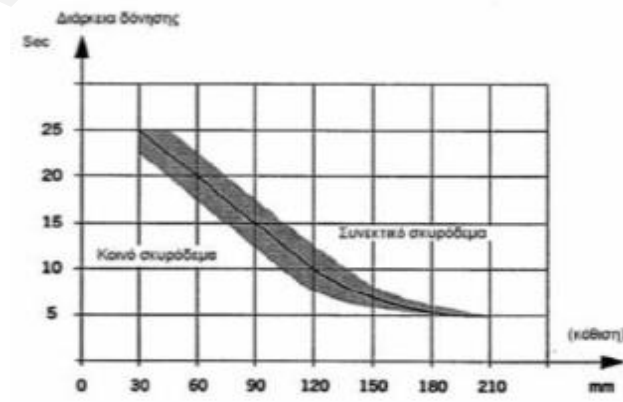


Εικόνα 9: Σχέδιο αστοχίας σκυροδέματος υπό συμπίεση με διαφορετικούς ρυθμούς πίεσης φόρτωσης

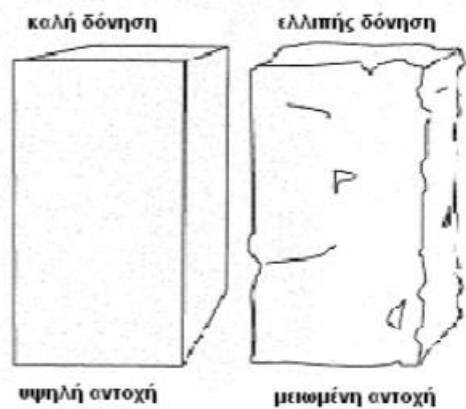
2.3 Αποτέλεσμα της δόνησης

Εφαρμόζοντας την μέθοδο της δόνηση το περισσεύον νερό, ο τσιμεντοπολτός της πάστας και ο εγκλωβισμένος αέρας οδηγούνται προς την επιφάνεια μέσω των τριχοειδών. Το ιξώδες του τσιμεντοπολτου μειώνεται με αποτέλεσμα να μειώνονται οι εσωτερικές τριβές μεταξύ των κόκκων και έτσι το νωπό σκυρόδεμα μετατρέπεται στιγμιαία σε υδαρές ρευστό.

Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν η συχνότητα δόνησης εξισώνεται με την ιδιοσυχνότητα, των συστατικών του σκυροδέματος. Μεγάλα αδρανή έχουν μικρότερη ιδιοσυχνότητα και μικρά αδρανή έχουν μεγάλη οπότε η μετακίνηση αδρανών μεγάλης διαμέτρου επιτυγχάνεται με μικρές συχνότητες και στην άλλη περίπτωση το αντίστροφο. [2] [10] [13]

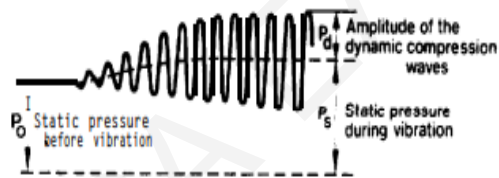


Εικόνα 10: Διάγραμμα του βαθμού κάθισης σε σχέση με την διάρκεια της δόνησης



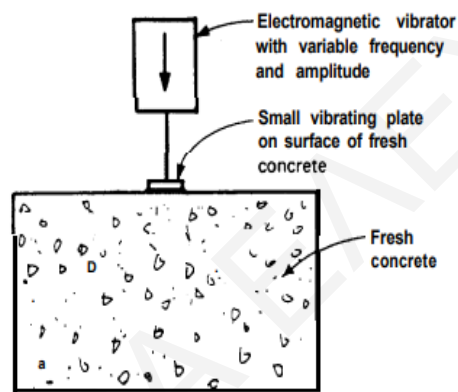
Εικόνα 11: Τα αποτελέσματα από την ελλιπής συμπύκνωση του σκυροδέματος

Οι L'Hermite και Tournon (1948) έχουν δείξει μεγάλες διαφορές στις ιδιότητες του σκυροδέματος σε κατάσταση ηρεμίας και κατά τη δόνηση. Η μετάδοση από την κατάσταση ανάπαυσης στην κατάσταση δόνησης του ρευστού έχει αποδειχθεί σχηματικά από τον Bergstrom (1949).



Εικόνα 12: Μετάδοση μέσω δόνησης από την κατάσταση ξεκούρασης στην κατάσταση δόνησης

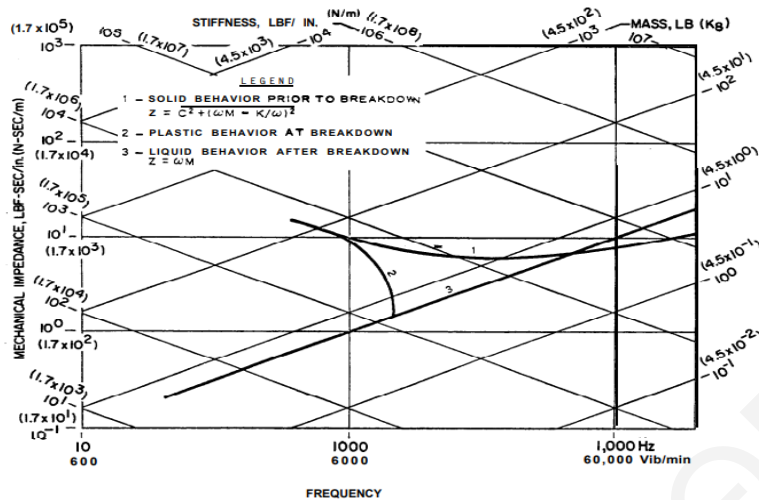
Ο Kolek (1963) πρότεινε έναν περαιτέρω διαχωρισμό της διαδικασίας δόνησης: το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τη συνήθως ταχεία καθίζηση του μη συμπιεσμένου μίγματος, το οποίο ακολουθείται από το στάδιο απαερισμού (αφαίρεση παγιδευμένου αέρα). Κατά το τελευταίο στάδιο, μπορεί να γίνει διαχωρισμός του νωπού σκυροδέματος, ειδικά με μίγματα υγρών και παρατεταμένες περιόδους δόνησης. Οι Poronics and Lombardi (1985) πρότειναν μια συσκευή για την καταγραφή της ενοποίησης νωπού σκυροδέματος με δόνηση. Ο Alexander (1977) διερεύνησε τη διαδικασία δόνησης μετρώντας τη μηχανική σύνθετη αντίσταση. Σε χαμηλά επίπεδα δόνησης, το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από υψηλή απόσβεση και ακαμψία. Δεν προσδιορίστηκε συχνότητα συντονισμού. Σε υψηλές εντάσεις δονητικής κίνησης, η σύνθετη αντίσταση μειώθηκε κατά έναν συντελεστή 5 έως 10, ο οποίος είναι χαμηλότερος από την τιμή περίπου 20 που ανέφερε ο L'Hermite. Μετά τον μετασχηματισμό, η δονητική κίνηση ελέγχθηκε από τις δυνάμεις μάζας με μικρή ή καθόλου επίδραση από ακαμψία ή απόσβεση που δείχνει ότι το σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της δόνησης συμπεριφέρεται σαν ένα υγρό. [30]



Εικόνα 13: Δοκιμή αντίστασης

Δεδομένου λοιπόν, ότι η αδράνεια είναι το κύριο εμπόδιο στην κίνηση, μπορεί να εφαρμοστεί ο δεύτερος νόμος κίνησης του Νεύτωνα. Αυτό δείχνει περαιτέρω ότι η επιτάχυνση είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην ενοποίηση του σκυροδέματος με δονήσεις. Στην εικόνα 14, δείχνει τρεις τύπους συμπεριφοράς φρέσκου σκυροδέματος που λαμβάνουν χώρα μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα ο ένας από τον άλλο. Πρώτον, εάν το επίπεδο δύναμης που χρησιμοποιείται για δόνηση του σκυροδέματος είναι χαμηλότερο από το απαιτούμενο για τη ροή του σκυροδέματος, η σύνθετη αντίσταση θα είναι σύμφωνα με την καμπύλη 1. Η σύνθετη αντίσταση μπορεί να περιγραφεί από ένα απλό μοντέλο που αποτελείται από ένα στοιχείο ακαμψίας (K), ένα στοιχείο μάζας (M) και ένα στοιχείο απόσβεσης (C). Όταν συνδέεται με τον σωστό τρόπο, η σύνθετη αντίσταση ισούται με:

$$Z = C^2 + \left(\omega * M - \frac{K}{\omega} \right)^2$$



Εικόνα 14: Τρεις τύποι συμπεριφοράς του νωπού σκυροδέματος

Εάν η δύναμη διέγερσης αυξηθεί ξαφνικά σε υψηλότερο επίπεδο, οι μηχανικές ιδιότητες αλλάζουν και η σύνθετη αντίσταση πέφτει στιγμιαία έως ότου το υλικό αλλάξει από στερεό σε υγρή μορφή. Αυτή η μείωση της σύνθετης αντίστασης φαίνεται από την καμπύλη 2. Όσο διατηρείται το υψηλότερο επίπεδο δύναμης, η σύνθετη αντίσταση θα ακολουθεί πάνω και κάτω μια «γραμμή μάζας» που υποδεικνύεται από την καμπύλη 3 καθώς η συχνότητα μεταβάλλεται. Είναι κατανοητό ότι καθώς η σύνθετη αντίσταση ακολουθεί μια γραμμή μάζας, το σύστημα που δονείται είναι μια καθαρή μάζα χωρίς απόσβεση και ακαμψία. Οι τρεις τύποι ευθειών γραμμών που εμφανίζονται: οριζόντιος, κεκλιμένος προς τα δεξιά και κλίση προς τα δεξιά είναι προεκτυπωμένος σε χαρτί μηχανικής σύνθετης αντίστασης για να επιτρέψει σε κάποιον να απεικονίζει εύκολα τη μηχανική κίνηση που λαμβάνει χώρα. Εάν η σύνθετη αντίσταση είχε εντοπίσει μία από τις γραμμές που έσκυψαν προς τα δεξιά, αυτό θα σήμαινε ότι το σύστημα που δονείται ήταν καθαρή ακαμψία. Εάν η σύνθετη αντίσταση είχε εντοπιστεί σε μία από τις οριζόντιες γραμμές, τότε το σύστημα που δονείται θα ήταν καθαρό αποσβεστήρα. Όλοι οι συνδυασμοί είναι δυνατοί και τα περισσότερα φυσικά συστήματα αποτελούνται και από τα τρία μηχανικά στοιχεία: μάζες, ελατήρια και αποσβεστήρες. Δεδομένου ότι τα μίγματα σκυροδέματος με φυσιολογικές συνέπειες συμπεριφέρονται σαν ένα υγρό κατά τη διάρκεια των κραδασμών, οι υδροδυναμικές θεωρίες ταιριάζουν καλύτερα για τον υπολογισμό των διαδικασιών και των μηχανισμών των κραδασμών από σκυρόδεμα. Επίσης, το υγρό μείγμα δεν έχει λογική συχνότητα. [30]

2.4 Ποσό συμπίκνωση χρειάζεται το σκυρόδεμα

Η απαιτούμενη συμπίκνωση καθορίζεται από την σύνθεση του σκυροδέματος καθώς και τον τρόπο που θα επιτευχθεί. . Εάν ο τσιμεντοπολτός βρίσκεται σε περίσσεια το σκυρόδεμα είναι πολύ πλαστικό και απαιτείται πολύ μικρή συμπίκνωση καθώς η σχετική μετακίνηση μεταξύ των αδρανών επιτυγχάνεται με φυσικό τρόπο χωρίς δόνηση. Εάν το σκυρόδεμα είναι υφυγρό απαιτείται ισχυρότερη δόνηση για την ρευστοποίηση του.[2] [7] [14]

2.5 Εργαλεία συμπίκνωσης

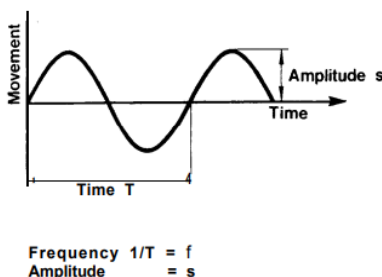
Για την μέθοδο της συμπίκνωσης του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα εργαλεία συσκευές και μέθοδοι:

- Δονητικοί κόπανοι
- Οδοστρωτήρες (δονητικοί)
- Επιφανειακοί δονητές
- Εσωτερικοί δονητές
- Εξωτερικοί δονητές
- Σιδερόβεργες
- Χτύπημα ξυλότυπου
- Επαναδόνηση
- Με τα χέρια

Ανάλογα με την κατηγορία καθίζησης έχουμε και την ανάλογη μέθοδο. [1] [3]

3. Είδη δονητών

Οι δονητές σκυροδέματος χρησιμοποιούν γενικά ένα περιστρεφόμενο εκκεντρικό βάρος. Τέτοιοι δονητές δημιουργούν αρμονική κίνηση, που χαρακτηρίζεται από ημιτονοειδές κύμα που χρησιμοποιείται για μαθηματική ανάλυση.



Εικόνα 15: Ημιτονοειδής δονητική κίνηση

Η ημιτονοειδής ταλάντωση ορίζεται από την εξίσωση:

$$x = s * \sin\omega t = s * \sin 2\pi f t$$

Όπου,

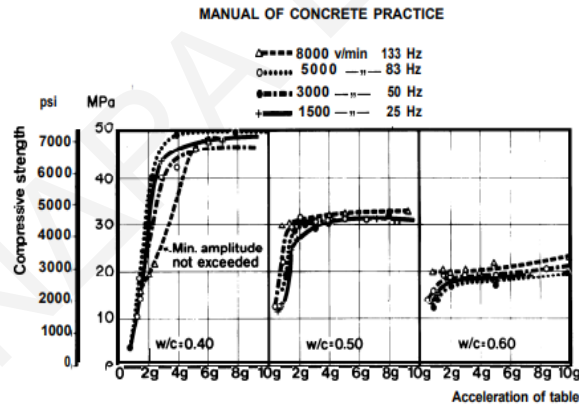
s=πλάτος ταλάντωσης (mm)

ω =γωνιακή ταχύτητα (rad/sec)

f=συχνότητα (Hz)

t=χρόνος (sec)

Βασικά, η δονητική ενοποίηση των κοκκωδών υλικών επιτυγχάνεται θέτοντας τα σωματίδια σε κίνηση, εξαλείφοντας έτσι την εσωτερική τριβή. Οι L'Hermite και Tournon (1948) έχουν δείξει ότι η εσωτερική τριβή σε φρέσκο σκυρόδεμα κατά τη δόνηση είναι 0,15 psi (0,001 MPa) σε σύγκριση με περίπου 3 psi (0,02 MPa) σε ηρεμία. Έτσι, η εσωτερική τριβή κατά τη διάρκεια των κραδασμών μειώνεται στο 5% περίπου της τιμής σε ηρεμία.



Εικόνα 16: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε θλίψη του σκληρυμένου σκυροδέματος και της επιτάχυνσης κατά τη δόνηση-Δοκιμές σε δονούμενο τραπέζι

Η εικόνα 16 δείχνει ότι η ενοποίηση του νεπού σκυροδέματος ξεκινά με επιτάχυνση περίπου 0,5 g (4,9 m / sec²). Το αποτέλεσμα της συμπίεσης αυξάνεται γραμμικά σε μια επιτάχυνση μεταξύ 1 g και 4 g (9,8 και 39,2 m / sec²) ανάλογα με τη συνοχή του σκυροδέματος. Μια περαιτέρω αύξηση της επιτάχυνσης δεν αυξάνει το αποτέλεσμα συμπίεσης.

Το αριστερό διάγραμμα στην εικόνα 16, δείχνει ότι η επιτάχυνση από μόνη της δεν είναι επαρκής, δηλαδή απαιτείται ένα ελάχιστο πλάτος. Μια ελάχιστη τιμή για το πλάτος 0,0015 ίντσες (0,04

mm) έχει προταθεί από τον Kolek (1963). Ο συσχετισμός μεταξύ επιτάχυνσης και επίδρασης της δόνησης για κανονικά μίγματα σκυροδέματος υποδεικνύει ότι μπορούν να ληφθούν ισοδύναμα αποτελέσματα συμπίεσης εντός ενός σχετικά μεγάλου εύρους συχνοτήτων, όπως φαίνεται και στην εικόνα 16.

Η εικόνα 17 παρουσιάζει ότι η αντοχή του σκληρυμένου σκυροδέματος θα είναι κυρίως ανεξάρτητη από τη συχνότητα και το πλάτος όσο ξεπερνά την ελάχιστη επιτάχυνση. **[30]**

	Specimen												Mean	Coefficient of Variation, Percent
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
At 7500 cpm and 0.063 in. (1.6 mm) amplitude														
compressive strength, psi(MPa)	6020 (41.5)	6420 (44.3)	6240 (43.0)	6210 (42.8)	6090 (42.0)	6150 (42.4)	6350 (43.8)	6050 (41.7)	7060 (48.7)	6760 (46.6)	6900 (47.6)	6960 (48.0)	6440 (44.4)	±6
density, lb/ft ³ (kg/m ³)	149 (2390)	150 (2410)	150 (2400)	150 (2400)	151 (2420)	152 (2430)	152 (2440)	151 (2420)	150 (2400)	150 (2410)	152 (2430)	150 (2410)	150 (2410)	±0.6
At 9500 cpm and 0.047 in. (1.2 mm) amplitude														
compressive strength, psi(MPa)	6280 (43.3)	6470 (44.6)	6440 (44.4)	6560 (45.2)	6110 (42.1)	6210 (42.8)	6480 (44.7)	6500 (44.8)	6980 (48.1)	7060 (48.7)	7270 (50.1)	7250 (50.0)	6630 (45.7)	±6
density, lb/ft ³ (kg/M3)	149 (2380)	149 (2390)	149 (2390)	149 (2390)	150 (2410)	150 (2410)	152 (2430)	151 (2420)	151 (2420)	153 (2450)	154 (2460)	154 (2460)	151 (2420)	±12
At 12,000 cpm and 0.059 in. (1.5 mm) amplitude														
compressive strength, psi (MPa)	6290 (43.4)	6870 (47.4)	6610 (45.6)	6410 (44.2)	6320 (43.6)	6440 (44.4)	6510 (44.9)	6540 (45.1)	7140 (49.2)	7280 (50.2)	7380 (50.9)	7320 (50.5)	6760 (46.6)	±6
density, lb/ft ³ (kg/m ³)	149 (2390)	150 (2410)	151 (2420)	150 (2410)	150 (2400)	150 (2410)	152 (2430)	151 (2420)	152 (2440)	153 (2450)	153 (2450)	154 (2460)	151 (2420)	±0.9
At 17,000 cpm and 0.03 in. (0.7 mm) amplitude														
compressive strength, psi (MPa)	5820 (40.1)	5820 (40.1)	6030 (41.6)	6020 (41.5)	5790 (29.9)	6400 (44.1)	6920 (47.7)	6130 (42.3)	7370 (50.8)	7340 (50.6)	7590 (52.3)	7300 (50.3)	6540 (45.1)	±11
density, lb/ft ³ (kg/m ³)	148 (2370)	148 (2370)	150 (2410)	148 (2370)	148 (2370)	150 (2410)	152 (2440)	151 (2420)	149 (2380)	150 (2410)	152 (2440)	151 (2420)	150 (2400)	±11

Εικόνα 17: Αντοχή σε θλίψη και πυκνότητα δειγμάτων σκυροδέματος που δονείται με εσωτερικούς δονητές σε διάφορες συχνότητες και πλάτη

Συνοπτικά, οι απαιτήσεις για την ενοποίηση νωπού σκυροδέματος είναι οι εξής:

1. Ελάχιστη επιτάχυνση για σκυρόδεμα κανονικών συστάσεων
2. Ελάχιστη δυναμική πίεση για πολύ άκαμπτες συστάσεις σκυροδέματος
3. Ελάχιστο δονητικό πλάτος για οποιοδήποτε δεδομένο μείγμα
4. Ελάχιστη δόνηση για όλα τα μείγματα

3.1 Δονητικοί κόπανοι δονητικοί οδοστρωτήρες δονητικές πλάκες και δοκοί

Είναι βενζινοκίνητοι ή πετρελαιοκίνητοι δονητές με δονούμενες πλάκες δοκούς ή κυλίνδρους. Οι δονητικοί δοκοί θα χρησιμοποιούνται μετά από την συμπύκνωση με εσωτερικούς δονητές σε πλάκες με ιδιαίτερες απαιτήσεις επιπεδότητας. Χρησιμοποιούνται τόσο για την συμπύκνωση σκυροδέματος όσο και για την συμπύκνωση επιχωμάτων. Είναι κατάλληλοι για συμπύκνωση ύφυγρου σκυροδέματος κατηγορίας καθιστής S1 έως S2 σε στρώσεις πάχους έως 20 cm. Υπάρχουν μηχανήματα διάφορων μεγεθών, οι δονητικοί οδοστρωτήρες για παράδειγμα είναι κατάλληλοι για οδοστρώματα από υφυγρό συμπυκνωμένο σκυρόδεμα. Η συμπύκνωση εφαρμόζεται μέχρι ως ότου αποκτήσει το μίγμα υγρή και ομοιόμορφη όψη.

Η χρήση τους επιβάλλεται στις πλάκες επί εδάφους. Στις περιπτώσεις αυτές οι εσωτερικοί δονητές είναι αναποτελεσματικοί λόγω της απορρόφησης των κραδασμών από το υπέδαφος. [3][4][15]



Εικόνα 18: Δείγμα δονητικού κοπάνου (μηχανήματος)

3.2 Εξωτερικοί δονητές

Διακρίνονται σε ηλεκτροκίνητους και πεπιεσμένου αέρα. Η δόνηση δημιουργείται από την περιστροφή έκκεντρης μάζας. Οι δονητές συνιστάται να παρέχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της συχνότητας στην περιοχή μεταξύ 4500 δονήσεων ανά λεπτό (75 Hz) και 9000 δονήσεων ανά λεπτό (150 Hz). Οι εξωτερικοί δονητές ξυλότυπου πρέπει να εφαρμόζονται κάτω από την επιφάνεια του διαστρωθέντος σκυροδέματος (και όχι σε θέσεις που δεν έχουν ακόμη γεμίσει) και να λειτουργούν σε περιοχή συχνοτήτων 2000-6000 δονήσεων το λεπτό (rpm). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί για το ενδεχόμενο δημιουργίας φαινομένων «άντλησης» (εισρόφησης νωπού σκυροδέματος από τις ανώτερες στοιβάδες προς τις κατώτερες) που μπορούν να οδηγήσουν στον εγκλωβισμό αέρα στο σκυρόδεμα. Ο εξοπλισμός της συμπύκνωσης πρέπει να σταθεροποιείται επαρκώς, ενώ ο ξυλότυπος πρέπει να διαθέτει την απαραίτητη ακαμψία και στιβαρότητα ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί με ασφάλεια στην επαναλαμβανόμενη δόνηση ή/και τα κρουστικά φορτία. Συνιστάται για αυτό η εφαρμογή κλειδών ασφάλισης στους συνδέσμους. Οι διατομές σκυροδέματος οι οποίες έχουν πάχος έως 600 mm και ύψος έως 750 mm συμπυκνώνονται επιτυχώς με εξωτερικούς δονητές σε

μονάδες προκατασκευής. Για την κατασκευή τοίχων και λοιπών ευμεγεθών στοιχείων πάχους >300 mm είναι συνήθως απαραίτητη και η ταυτόχρονη εσωτερική δόνηση.[3][4][24][25]



Εικόνα 19: Δείγμα εξωτερικών δονητών διαφορετικών ειδών

3.2.1 Τύποι εξωτερικών δονητών

Οι εξωτερικοί δονητές (δονητές καλουπιού) διακρίνονται στους εξής τύπους:

- **Περιστροφικοί:** η λειτουργία τους βασίζεται στην περιστροφή έκκεντρης μάζας. Παράγουν κατά βάση απλή αρμονική ταλάντωση, με συνιστώσες τόσο κάθετες όσο και παράλληλες προς την επιφάνεια του καλουπιού. Η κινητήρια διάταξη μπορεί να είναι ηλεκτρική, υδραυλική ή πνευματική. Οι δονητές αέρος και οι υδραυλικοί λειτουργούν σε συχνότητα 6.000-12.000 δονήσεων το λεπτό (vpm) δηλ: 100-200 Hz. Η συχνότητα ρυθμίζεται με ρύθμιση της πίεσεως. Οι ηλεκτρικοί δονητές συνήθως λειτουργούν σε συχνότητα 3000 vpm (για ρεύμα 50 Hz/AC). Διατίθενται και μοντέλα που λειτουργούν σε συχνότητες 6000, 9000 και 12000 vpm(100,150,200 Hz), κυρίως στην Ευρώπη, τα οποία απαιτούν τροφοδοσία μέσω converter.
- **Παλινδρομικοί:** η λειτουργία τους βασίζεται στην παλινδρόμηση εμβόλου. Συνήθως είναι πνευματικής οδήγησης (πεπιεσμένου αέρα) και λειτουργούν σε συχνότητες 1000-5000 vpm(20-80 Hz). Δημιουργούν παλμούς κάθετα προς την επιφάνεια του τύπου.
- **Ηλεκτρομαγνητικοί:** δημιουργούν ημιτονοειδείς ή πριονωτές ταλαντώσεις.
- **Χειρός, ηλεκτρικοί ή αέρος** για την επιβοήθηση της συμπίκνωσης μικρών στοιχείων από σκυρόδεμα.
- **Επιλογή τύπου δονητή για κατακόρυφα καλούπια**[3][4][9][11]

3.2.2 Ειδικές περιπτώσεις εξωτερικής δόνησης

Για «σφιχτά» μίγματα καταλληλότεροι είναι οι δονητές χαμηλής συχνότητας / μεγάλου εύρους ταλαντώσεις. Επιφέρουν καλύτερη συμπίκνωση και επιτυγχάνουν καλύτερες τελικές επιφάνειες σκυροδέματος (λιγότερες σφηκοφωλιές) σε σκυροδέματα με μεγαλύτερη πλαστικότητα. Η διαχωριστική γραμμή μεταξύ δονητών υψηλής/χαμηλής συχνότητας και

μεγάλου/μικρού εύρους ταλαντώσεις τοποθετείται στις 6000 rpm(100 Hz) και τα 0,13 mm, αντίστοιχα. Η αποτελεσματικότητα των δονητών επιφανείας εξαρτάται από την επιτάχυνση που προσδίδεται από τον ξυλότυπο στην μάζα του σκυροδέματος. Επιταχύνσεις 1-2 g συνιστώνται για «μαζικά μίγματα» (πλαστικά), ενώ για τα συνεκτικά («σφιχτά»), συνιστώνται 3-5g. Αντίστοιχα, συνιστώνται εύρη ταλάντωσης 0,025 mm για τα πλαστικά και 0,050 mm για τα «σφιχτά».

Οι εμπειρικοί τύποι που έχουν προταθεί από τον Forssblad (1971) παρέχουν ικανοποιητική ακρίβεια στον προσδιορισμό της απαιτούμενης φυγόκεντρης δύναμης ενός εξωτερικού δονητή για την επαρκή συμπίκνωση του σκυροδέματος:

- Για πλαστικά μίγματα Φυγόκεντρος δύναμη $CF:CF= 0,5 [(μάζα \text{ καλουπιού}) + 0,2 (μάζα \text{ σκυροδέματος})]$
- Για σφιχτά μίγματα $CF= 1,5 [(βάρος \text{ καλουπιού}) + 0,2 (βάρος \text{ σκυροδέματος})]$

Η απόσταση μεταξύ των δονητών καλουπιού, συνήθως είναι μεταξύ 1,50 και 2,00 m, ενώ για στοιχεία πάχους >300 mm συνήθως απαιτείται και πρόσθετη εσωτερική δόνηση. Η συχνότητα και το εύρος ταλάντωσης πρέπει να ελέγχονται σε διάφορες θέσεις του καλουπιού με χρήση δονησιγράφου (vibrograph). Εφίσταται η προσοχή στην τοποθέτηση ηλεκτρικών δονητών καλουπιού σε εύκαμπτα στοιχεία του τύπου: μπορεί να επέλθει καταστροφή της συσκευής.

Ο χρόνος δόνησης με δονητές καλουπιού είναι μεγαλύτερος του χρόνου δόνησης με εσωτερικούς δονητές, και μπορεί να είναι από 2 minμέχρι και 30 min(όταν πρόκειται για εσωτερικές δυσπρόσιτες θέσεις). Το σκυρόδεμα πρέπει να εναποτίθεται σε στρώσεις 25-40 cm, οι οποίες θα δονούνται ανεξάρτητα.

3.3 Εσωτερικοί δονητές

Οι εσωτερικοί δονητές αποτελούνται από σωληνωτό περίβλημα εντός του οποίου είναι προσαρμοσμένη μία περιστρεφόμενη έκκεντρη μάζα. Κατά την περιστροφή της η έκκεντρη μάζα προκαλεί δονήσεις (ταλάντωση) στο περίβλημα, και όταν αυτό βυθισθεί στον περιβάλλοντα μάζα του σκυροδέματος. Το εσωτερικά δονούμενο σκυρόδεμα που διαστρώνεται κατά την κατακόρυφη έννοια απαιτεί επιδεξιότητα και προσεκτική εκτέλεση των εργασιών. Οι εσωτερικοί δονητές είναι κατάλληλοι για την παραγωγή προκατασκευασμένων στοιχείων και για σκυροδετήσεις με σιδηρότυπους (π.χ. βάθρων γεφυρών). Μπορεί να είναι σταθεροί (στερεομενοι σε ένα σημείο), κινητοί ή/και να τοποθετούνται στα στηρίγματα του καλουπιού και όχι απ' ευθείας στην επιφάνειά του. Στα κατακόρυφα στοιχεία, συνήθως, η θέση τοποθετήσεώς τους παρακολουθεί την περιοχή της εκάστοτε στάθμης διαστρωνομένου σκυροδέματος. Η χρήση των δονητών αυτών και η επιλογή της θέσης τους πρέπει να γίνεται μόνον από έμπειρους τεχνικούς. Σε αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες απαιτείται ο κάτοχος του δονητή να είναι κάτοχος κάποιου πτυχίου (που μπορεί να σημαίνει 10-ετή εμπειρία). Αντίθετα στις ΗΠΑ δεν απαιτείται τέτοιο πτυχίο.

Ο χειριστής του εσωτερικού δονητή κατά την κατακόρυφη διάστρωση του σκυροδέματος πρέπει να κατανοεί τα εξής δύο βασικά θέματα

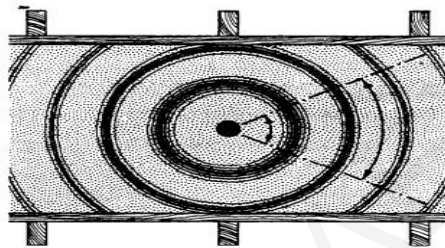
- Σε τι αποστάσεις πρέπει να εισχωρεί ο δονητής;

- Μέχρι ποιο βαθμό της υποκείμενης στρώσης πρέπει να φθάνει;

Η απάντηση στα ερωτήματα αυτά προϋποθέτει κατανόηση των ρεολογικών χαρακτηριστικών του μίγματος και της αντλίας ενέργειας του δονητή (R). Γενικά, η απόσταση των διαδοχικών εισχωρήσεων των δονητών (εσωτερικών) πρέπει να είναι περίπου ίση προς 1,5 R.

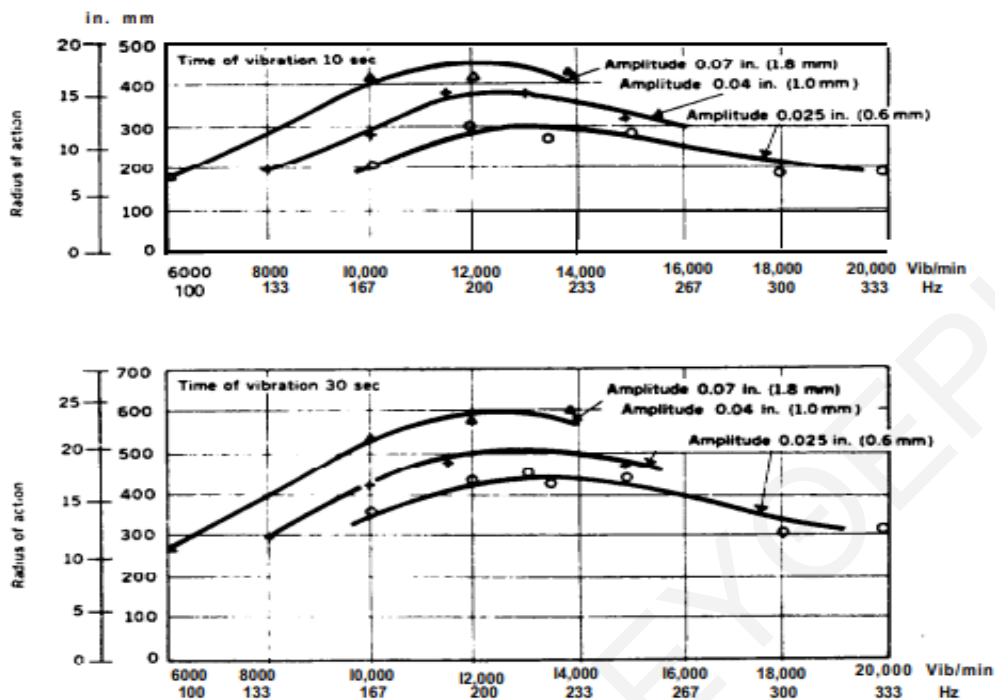
Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εσωτερικοί δονητές, όταν κινούνται κατά την κατακόρυφο, δεν επενεργούν κάτω από το ρύγχος τους. Το πεδίο δράσεως τους έχει τη μορφή ανεστραμμένου κώνου, με γωνία της τάξης των 30° C για σκυρόδεμα χαμηλής κάθισης, η οποία μειώνεται όσο αυξάνεται η κάθιση. [4][12]

Ένας εσωτερικός δονητής που βυθίζεται σε φρέσκο σκυρόδεμα δημιουργεί γρήγορα επαναλαμβανόμενα κύματα συμπίεσης. Τα πλάτη των κυμάτων μειώνονται γρήγορα με την αύξηση της απόστασης από τον δονητή.



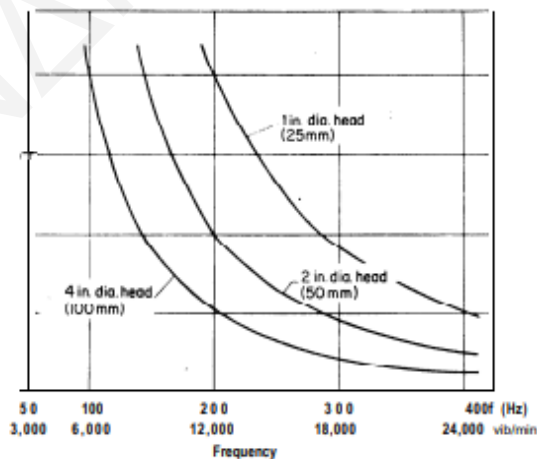
Εικόνα 20: Αρχή της εσωτερικής δόνησης

Για να αποκτήσετε επαρκή ακτίνα δράσης, ένας εσωτερικός δονητής πρέπει να λειτουργεί σε υψηλή ένταση δόνησης. Οι επιδράσεις των εσωτερικών δονητών στο νωπό σκυρόδεμα έχουν μελετηθεί από τους Bergstrom (1949), Ersoy (1962), Forssblad (1965a), Taylor (1976), Goldstein (1968) και άλλους. Οι Bergstrom και Forssblad μέτρησαν τις ακτίνες δράσης των δονητών σε διάφορα χρονικά διαστήματα βάσει φωτογραφιών της επιφάνειας του σκυροδέματος. Οι σχέσεις μεταξύ συχνότητας, πλάτους και ακτίνας δράσης για έναν εσωτερικό δονητή 2 ίντσες (60 mm) μετά από 10 και 30 δευτερόλεπτα δονήσεων φαίνονται στην εικόνα 21. Η μεγαλύτερη ακτίνα δράσης εμφανίστηκε σε βέλτιστη συχνότητα περίπου 200 Hz (12.000 κραδασμοί / λεπτό). Η αύξηση του πλάτους είχε ως αποτέλεσμα αυξημένη ακτίνα δράσης σε όλες τις συχνότητες. Στις χαμηλότερες συχνότητες, υπήρχε κατά προσέγγιση σχέση μεταξύ της επιτάχυνσης του δονητή και της ακτίνας δράσης του. Η βέλτιστη συχνότητα εσωτερικής δόνησης επιβεβαιώθηκε από πειραματικές δοκιμές από τους Taylor (1976) και Goldstein (1968). Οι καμπύλες συχνότητας παρουσιάστηκαν από τον Ersoy (1962). Ωστόσο, δεν έδειξε βέλτιστες τιμές. Στη μελέτη του, ο Ersoy χρησιμοποίησε μικρές μορφές 34 in. X 8 in. X 8 in. (850 mm x 200 mm x 200 mm), οι οποίες μπορεί να έχουν επηρεάσει τα αποτελέσματα των δοκιμών. Είναι πιθανό ότι οι αντανakλάσεις από τα τοιχώματα της μορφής και οι δονήσεις των μορφών προκάλεσαν υψηλότερες επιταχύνσεις από ό, τι θα συνέβαινε σε μεγαλύτερες μορφές. [30]



Εικόνα 21: Συσχέτιση μεταξύ ακτίνας δράσης, συχνότητας και πλάτους για εσωτερικό δονητή 60 mm

Το 1972 το Kolenda έχει αναπτύξει καμπύλες για εσωτερικούς δονητές διαφορετικών διαμέτρων, οι οποίες δείχνουν συνδυασμούς συχνοτήτων και πλάτους που δεν πρέπει να ξεπεραστούν εάν πρέπει να αποφευχθεί η σπηλαιώση.

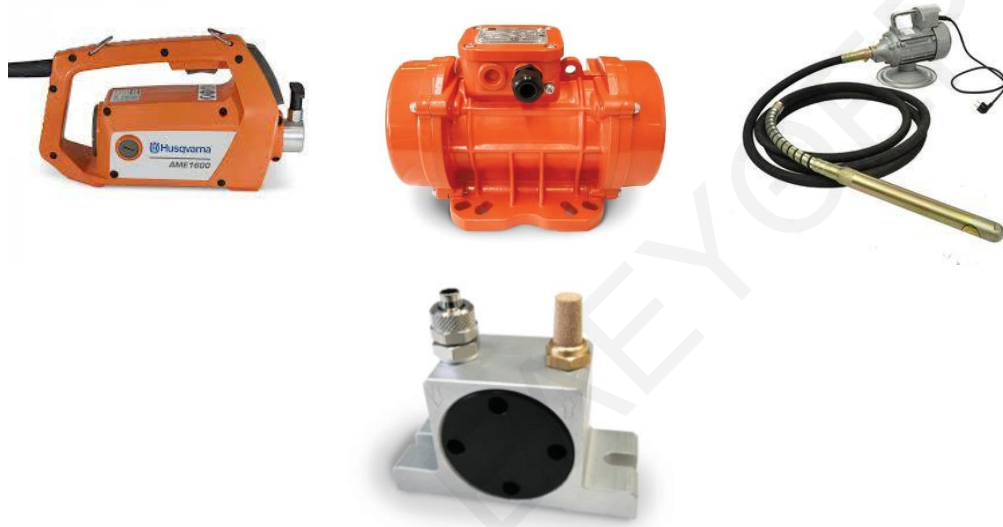


Εικόνα 22: Συχνότητες και πλάτη που δεν πρέπει να ξεπεραστούν για να αποφευχθεί η σπηλαιώση

3.3.1 Κατηγορίες εσωτερικών δονητών

Οι εσωτερικοί δονητές κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες

- Δονητές με εύκαμπτο κινητήριο άξονα
- Δονητές με ηλεκτρικό κινητήρα ενσωματωμένο στο κέλυφος του δονητή
- Δονητές με πνευματική κίνηση [24] [25]



Εικόνα 23: Δείγμα εσωτερικών δονητών διαφορετικών ειδών

3.3.2 Δονητές με εύκαμπτο κινητήριο άξονα

Αποτελούνται από

- Κινητήρια διάταξη (πετρελαίου, βενζίνης ή ηλεκτρική)
- Εύκαμπτου άξονα μετάδοσης της κίνησης εντός σταθερού ελαστικού περιβλήματος (οπλισμένου ελαστικού σωλήνα)
- Δονουμένη κεφαλή-στέλεχος σε διάμετρο 18mm έως και 75mm με ταχυσυνδεσμο προσαρμογής στον ελαστικό άξονα μετάδοσης κίνησης.

3.3.3. Δονητές με ηλεκτρικό κινητήρα ενσωματωμένο στην κεφαλή

Λειτουργούν υπό τάση 380, 220 η 42 βολτ. Ο ηλεκτρικός κινητήρας και η έκκεντρη μάζα βρίσκονται στην κεφαλή. Έχουν μικρό βάρος και εμβέλεια από 15 έως 25 μέτρα. Συνήθως διατίθενται σε διαμέτρους από 30mm έως 80mm. Ο χειρισμός τους γίνεται από ένα μόνο τεχνίτη. Είναι ιδιαίτερα ευπαθείς όταν λειτουργούν στον αέρα (εκτός σκυροδέματος).[4][10]

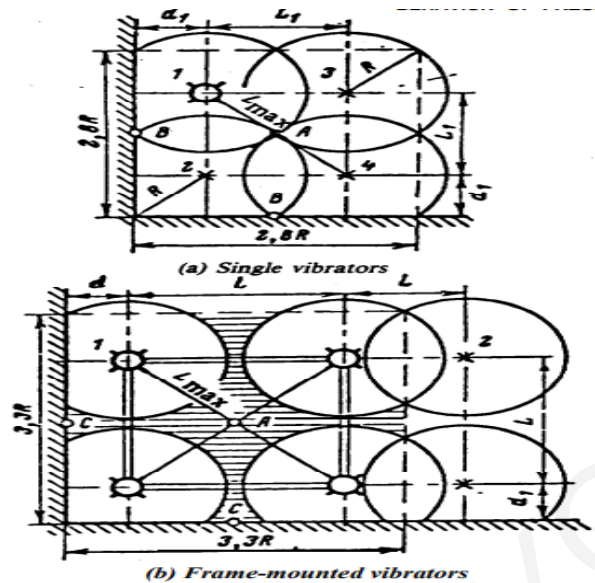
3.4 Πνευματικοί δονητές

Οι πνευματικοί δονητές τροφοδοτούνται από αεροσυμπιεστή. Διακρίνονται σε παλινδρομικούς και κρουστικούς περιστροφικού ή κινουμένης σφαίρας. Μετά την εκτόνωση ο αέρας διαφεύγει μέσα από σωλήνα χαμηλής πίεσης που περιβάλλει τον σωλήνα τροφοδοσίας πεπιεσμένου αέρα. Στους εμβαπτιζομένους δονητές πεπιεσμένου αέρα η κινητήρια διάταξη συνήθως ευρίσκεται εκτός της κεφαλής οπότε η διάμετρος του σωλήνα προσαγωγής αέρα το οποίο δεν υπερβαίνει τα 2.0 μ.

Η συχνότητα δόνησης των πνευματικών δονητών εξαρτάται σημαντικά από την συνεκτικότητα του σκυροδέματος. Η ταχύτητα δόνησης στο σκυρόδεμα μπορεί να είναι ακόμα και 60% μικρότερη από την ταχύτητα δόνησης στον αέρα. Εάν το σκυρόδεμα είναι πολύ συνεκτικό τότε η ταχύτητα δόνησης θα μειωθεί σημαντικά και θα μειωθεί η ακτίνα συμπύκνωσης.[3][4]

3.5 Δονητές επιφάνειας

Επιφανειακή δόνηση, που απεικονίζεται στην εικόνα 24, μπορεί να επιτευχθεί με συγκριτικά ελαφριές, μονές ή διπλές δονούμενες στρώσεις που μπορούν να στερεώσουν έως 8 ίντσες (200 mm) στρώματα πάχους που ρέουν προς πλαστικό σκυρόδεμα. Για τέτοιες βαθμίδες, συνηθίζεται ένα εύρος συχνοτήτων από 3000 έως 6000 δονήσεις / λεπτό (50 έως 100 Hz) και επιταχύνσεις από 5 έως 10 g (49 έως 98 m / sec²). Η κατανομή πλάτους κατά μήκος των επιχρισμάτων πρέπει να είναι λογικά ομοιόμορφη. Για σκληρά μίγματα, απαιτούνται βαρύτερα στρώματα για να επιτευχθεί το απαιτούμενο αποτέλεσμα συμπύκνωσης και βάθους. Η προσπάθεια συμπίεσης εξαρτάται κυρίως από τις δυναμικές τάσεις που δημιουργούνται στο σκυρόδεμα και μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τον Walz (1960).



Εικόνα 12: εσωτερικοί δονητές

Οι δονητές επιφανείας εφαρμόζονται στην άνω επιφάνεια της στρώσεως και συμπυκνώνουν το σκυροδέμα από τα πάνω προς τα κάτω, μέσω της μάζας του σκυροδέματος (βουναλάκι) που συσσωρεύεται στην προμετωπίδα τους.

Με την ισοπέδωση που επιτυγχάνουν συντελούν και στην διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας του σκυροδέματος. Χρησιμοποιούνται, κατά κανόνα, στην κατασκευή πλακών. Οι δονητικοί πήχεις που χρησιμοποιούνται για την συμπύκνωση παχέων στρώσεων σκυροδέματος πρέπει να έχουν ένα ελάχιστο πλάτος προκειμένου να επιτύχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στο απαιτούμενο βάθος. Διακρίνονται σε δύο βασικούς τύπους δονητών επιφανείας σε δονητικοί πήχεις και μικρές δονητικές μονάδες.[3][4]

3.5.1 Δονητικοί πήχεις

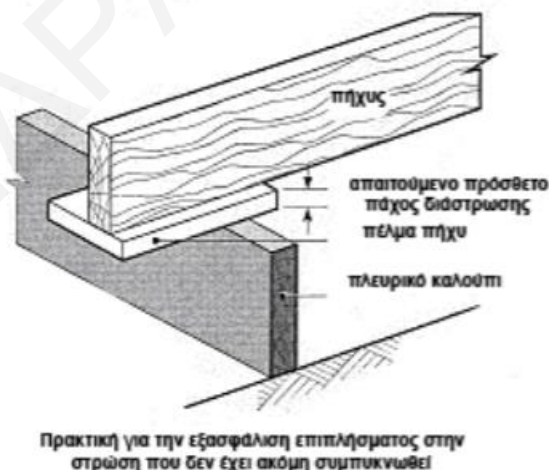
Οι δονητικοί πήχεις αποτελούνται από απλή ή διπλή δοκό που γεφυρώνει την σκυροδετούμενη πλάκα. Είναι κατάλληλοι για οριζόντιες ή ελαφρώς κεκλιμένες πλάκες. Ανάλογα με το μήκος τους πήχου, διατάσσονται μία ή περισσότερες δονητικές μονάδες στην άνω επιφάνειά τους (ηλεκτρικού ή πνευματικού τύπου ή με κινητήρα εσωτερικής καύσεως). Επιπλέον η δοκός στηρίζεται στα άκρα της στους τύπους (καλούπια), έτσι ώστε εκτός από την λειτουργία συμπύκνωσης να εξασφαλίζει και την τελική διαμόρφωση της επιφάνειας (φινίρισμα). Οι δονητικοί πήχεις μετακινούνται με τα χέρια στις μικρής κλίμακας σκυροδετήσεις ή, στην περίπτωση μεγάλων έργων (π.χ. καταστρώματα οδών από σκυρόδεμα), με μηχανική υποβοήθηση (αυτοκινούμενοι δονητικοί πήχεις, finishers σκυροδέματος). Η δόνηση η οποία παράγεται από την ταλάντωση της δοκού μεταφέρεται στο παρακείμενο νωπό σκυρόδεμα.

Για την επίτευξη συμπύκνωσης σε αρκετό βάθος, ιδιαίτερα στην περίπτωση «σφιχτών» μιγμάτων απαιτείται υψηλό εύρος ταλάντωσης. Συχνότητες της τάξης των 3.000-6.000 rpm (50-100 Hz) είναι ικανοποιητικές. Οι δονητικοί πήχεις συνήθως λειτουργούν με επιταχύνσεις της τάξης των 5g.

Η συμπύκνωση δίδεται από την σχέση: Συμπύκνωση = μάζα πήχου (στατικό φορτίο) x εύρος x συχνότητα / Ταχύτητα κίνησης.[1][4]

3.5.2 Μικρές δονητικές μονάδες

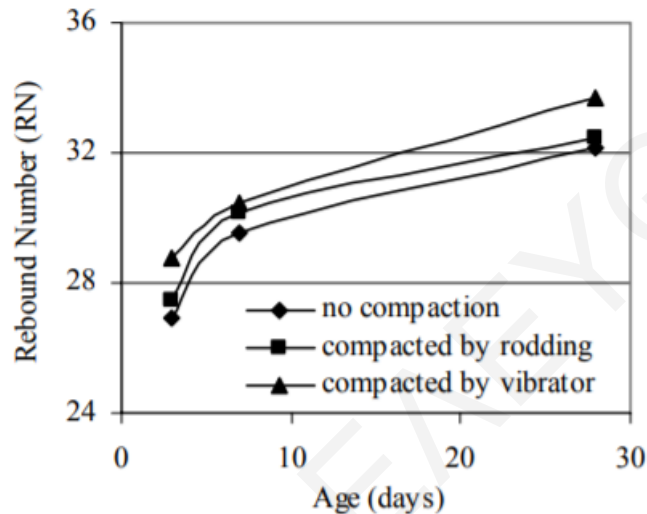
Μικρές δονητικές μονάδες προσαρμοσμένες σε συνήθη εργαλεία τελειωμάτων.



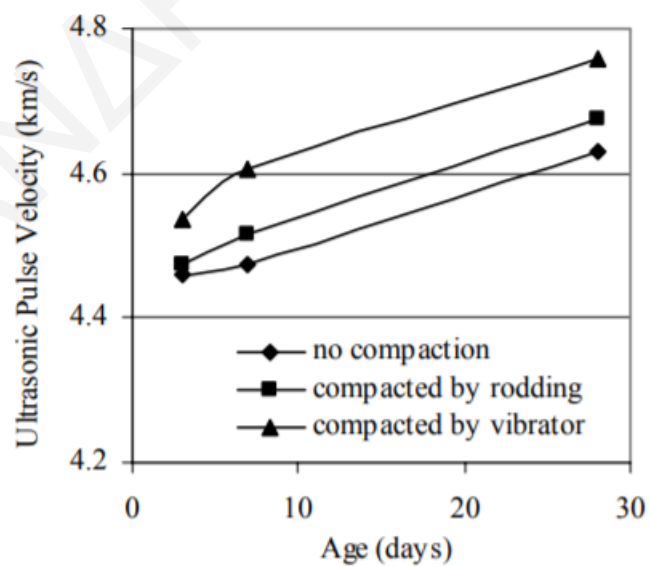
Εικόνα 13: Απεικόνιση τεχνικής για την εξασφάλιση επιπλήσματος στην στρώση του σκυροδέματος που δεν έχει συμπυκνωθεί

4. Υπερδόνηση

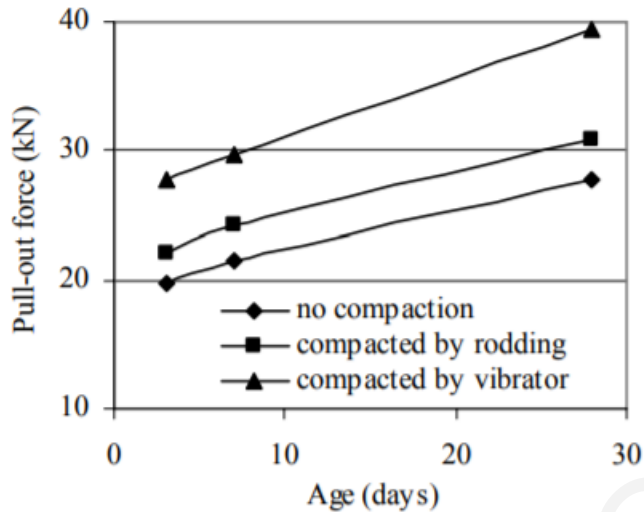
Μπορεί να επέλθει είτε με εσφαλμένη χρήση των δονητών ή με χρησιμοποίηση υπερδιαστασιοποιημένου εξοπλισμού. Τα αποτελέσματα είναι η απόμιξη, η απώλεια αέρα σε σκυροδέματα με αερακτικό, υπερβολικές παραμορφώσεις ή βλάβες καλουπιού μπορούν να παρατηρηθούν στην περίπτωση χρήσης εξωτερικών δονητών και αστοχία καλουπιού.



Εικόνα 14: Η επίδραση της συμπίεσης σε Rebound Number (RN) [27] [28]



Εικόνα 15: Η επίδραση της συμπίεσης στο UPV (Υπερηχητική ταχύτητα παλμού km /s) [27] [28]



Εικόνα 16: Η επίδραση της συμπίεσης στη δύναμη έλξης. [27] [28]

4.1 Απόμιξη

Η απόμιξη επέρχεται όταν η βαρύτητα και η δόνηση έχουν αρκετό χρόνο για να αλληλοεπιδράσουν. Με την παρατεταμένη ή υπερβολική δόνηση οι δυνάμεις συνοχής εντός της μάζας του σκυροδέματος ενδίδουν στην επενέργεια της βαρύτητας και η δόνηση προκαλεί την βύθιση των βαρύτερων κόκκων των αδρανών και την ανάδυση των ελαφρύτερων εντός της μήτρας του τσιμεντοπολτού. Το αποτέλεσμα εκδηλώνεται υπό μορφή εκγαλάκτησης (laitance) στην επιφάνεια του σκυροδέματος με ελάχιστη περιεκτικότητα ευμεγέθων αδρανών. Το φαινόμενο παρατηρείται συχνότερα στις υδαρές συνθέσεις (μεγάλης κάθισης) και στα ελαφροσκυροδέματα.

Αντιμετωπίζεται με κατάλληλο έλεγχο της συνεκτικότητας του μίγματος (μικρότερη κάθιση). Δημιουργία σειραδίων άμμου. Εμφανίζονται συνηθέστερα σε ισχνά ή τραχέα μίγματα (ασυνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης, με περιορισμένα λεπτόκοκκα), καθώς και όταν χρησιμοποιείται ο δονητής για την προώθηση του σκυροδέματος. [7]

4.2 Απώλεια αέρα σε σκυροδέματα με αερακτικό

Η απώλεια αέρα σε σκυροδέματα με αερακτικό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της επιδιωκόμενης αντοχής του σκυροδέματος σε κύκλους ψύξης/απόψυξης. Το φαινόμενο εμφανίζεται συνηθέστερα σε μίγματα μεγάλης περιεκτικότητας σε νερό. Όταν το έτοιμο σκυρόδεμα περιέχει τον προβλεπόμενο εγκλωβισμένο αέρα και έχει την προβλεπόμενη κάθιση, είναι απίθανο να προκληθεί σημαντική απώλεια αέρα. Εν τούτοις με τις πολλές εισαγωγές του δονητή στο σκυρόδεμα σε κοντινές αποστάσεις είναι δυνατόν να προκληθεί συσσωμάτωση των εγκλωβισμένων φυσαλίδων αέρα και στην συνέχεια ανάβλυσή τους με αποτέλεσμα την μείωση

του εμπεριεχομένου αέρα. Υπερβολικές παραμορφώσεις ή βλάβες καλουπιού μπορούν να παρατηρηθούν στην περίπτωση χρήσης εξωτερικών δονητών. [7]

4.3 Αστοχία καλουπιού

Η παρατεταμένη δόνηση στο αυτό σημείο μπορεί να επιφέρει την ανάπτυξη υπερβολικής εσωτερικής πίεσης, η οποία σε συνδυασμό με ταχύ ρυθμό διάστροφης (ταχύτερος ρυθμός πλήρωσης του καλουπιού έναντι του προβλεπομένου), μπορεί να οδηγήσει (σε ορισμένες περιπτώσεις) στην αιφνίδια αστοχία και κατάρρευση του ξυλοτύπου. [7] [8]

5. Δόνηση οπλισμού

Όταν ο δονητής δεν μπορεί να εισχωρήσει στο σκυρόδεμα, όπως π.χ. στις θέσεις πυκνά διατεταγμένου οπλισμού, μπορεί να αποβεί χρήσιμη η δόνηση εκτεθειμένων τμημάτων του οπλισμού. Ορισμένοι Μηχανικοί είναι της άποψης ότι η πρακτική αυτή οδηγεί στην υποβάθμιση της συνάφειας οπλισμού και σκυροδέματος στα τμήματα της χύτευσης που το σκυρόδεμα έχει αρχίσει να πήζει. Πάντως, μετά από προσεκτική διερεύνηση σκληρυμένου σκυροδέματος που έχει συμυκνωθεί με τον τρόπο αυτό, δεν προέκυψαν στοιχεία που να δικαιολογούν τους φόβους αυτούς. Στη διάρκεια που το σκυρόδεμα είναι ακόμη ρευστό (διαθέτει κινητικότητα), με την δόνηση αυτή, κατ' ουσία, αυξάνεται η συνάφεια χάλυβα –σκυροδέματος λόγω της επερχόμενης απομάκρυνσης εγκλωβισμένου αέρα και νερού κάτω από τις ράβδους του οπλισμού.

Συνιστάται η χρησιμοποίηση κατάλληλου προσαρμοστή στο ρύγχος του δονητή για τον σκοπό αυτό. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην άμεση επαφή του ρύγχους με την εσχάρα του οπλισμού αφού μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του δονητή.[9] [11]

6. Μεθοδολογία εκτέλεσης εργασιών

Επισημαίνεται ότι δεν πρέπει να χρησιμοποιείται εσωτερικός δονητής στην περίπτωση πολύ συνεκτικού σκυροδέματος με κάθιση S1 ή S2, όταν ο δονητής δεν βυθίζεται στο σκυρόδεμα με το ίδιο βάρος του και πρέπει να εφαρμοσθεί πρόσθετη δύναμη για να εισχωρήσει ή όταν η οπή που δημιουργείται στο σκυρόδεμα με την είσοδο του δονητή δεν κλείνει όταν αυτός αποσύρεται.

Επίσταται επίσης η προσοχή στις περιπτώσεις σκυροδεμάτων με υψηλή ρευστότητα: η χρήση εσωτερικών δονητών μπορεί να οδηγήσει σε απόμιξη του σκυροδέματος.[2][4]

6.1 Επιλογή δονητή

Η επιλογή του εσωτερικού δονητή γίνεται με βάση την εργασιμότητα του νεπού σκυροδέματος όπως αυτή εκφράζεται από την κατηγορία κάθισης. Οι συνήθεις, τυποποιημένες διαμέτροι στελέχους των εσωτερικών δονητών είναι 30, 40, 48, 57 και 65 έως 80 mm. Διατίθενται επίσης δονητές Φ 18 έως 25 mm κατάλληλοι για εργαστήρια ή σε περιπτώσεις πυκνού οπλισμού, καθώς και δονητές με διάμετρο έως 150 mm για χρήση σε σκυροδετήσεις μεγάλου πάχους (mass concrete) με μεγάλων διαστάσεων αδρανή.

Η διάμετρος του δονητή και η απόσταση των ράβδων πρέπει να είναι τέτοια ώστε η εισχώρηση και η ανάνυψη του δονητή να γίνεται χωρίς την ανάγκη επιβολής ιδιαίτερης δύναμης για τη δίοδο μεταξύ των ράβδων οπλισμού, πράγμα που πέραν της κακής συμπύκνωσης έχει και ως αποτέλεσμα την βλάβη του ίδιου του δονητή.

Η δόνηση των ράβδων οπλισμού έχει ως αποτέλεσμα την «εκτίναξη» των μεγαλύτερων κόκκων από τη ράβδο και την συγκέντρωση λεπτόκοκκου υλικού στην περίμετρό της, πράγμα που οδηγεί σε μία μορφή απόμειξης και στην τοπική μείωση της πρόσφυσης.

Πρέπει όμως να λαμβάνεται υπόψη ότι οι δονητές μικρής διαμέτρου έχουν περιορισμένη ακτίνα δράσης, οπότε απαιτείται περισσότερος χρόνος για την επαρκή δόνηση του σκυροδέματος. Σε στοιχεία με μεγάλη πυκνότητα οπλισμού συνιστάται να προβλέπονται (κατά τη μελέτη και το σιδέρωμα) θέσεις για την είσοδο του δονητή.[4][13][14]

6.2 Όγκος σκυροδέτησης

Συνήθως οι δονητές έχουν θεωρητική απόδοση από 5 m³/h έως 50 m³/h, ανάλογα με τη διάμετρο, το μήκος του στελέχους τους και τη ρευστότητα του σκυροδέματος. Ο υπολογισμός του αριθμού των απαιτούμενων δονητών πρέπει να γίνεται με βάση απόδοση ίση προς το 70% της θεωρητικής.[1][13]

6.3 Ακτίνα ενεργείας του δονητή

Η ακτίνα του νοητού κυλίνδρου στον οποίο μεταδίδεται η δόνηση κατά την είσοδο του δονητή είναι περίπου δεκαπλάσια της διαμέτρου του στελέχους του δονητή και εξαρτάται, εκτός από την ισχύ του δονητή, από τη συνεκτικότητα του σκυροδέματος το πάχος του στοιχείου και το μέγεθος των αδρανών. Είναι ως εκ τούτου σκόπιμο να διαπιστώνεται κάθε φορά επί τόπου, με εκτίμηση του κύκλου από τον οποίο αναδύονται φυσαλίδες αέρα, τσιμεντοπολτός και νερό κατά τη λειτουργία του δονητή.[4][13][14]

6.4 Απόσταση εφαρμογής σημείων δόνησης

Η απόσταση των σημείων εισαγωγής του δονητή στη μάζα του σκυροδέματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται αλληλοκάλυψη των κύκλων ενέργειας του δονητή. Ο ΚΤΣ απαιτεί η απόσταση των σημείων εμβάπτισης του δονητή να είναι το πολύ 1,5 A, όπου A η ακτίνα ενεργείας του δονητή

Στις περιπτώσεις που η αποτελεσματικότητα της δόνησης δεν μπορεί να ελεγχθεί οπτικά (π.χ. τοιχία μεγάλου ύψους), η εμπειρία του χειριστή αποτελεί τον πλέον σημαντικό παράγοντα επιτυχίας.[14]

6.5 Πάχος στρώσης σκυροδέτησης

Το πάχος του νωπού σκυροδέματος στο οποίο εφαρμόζεται δόνηση δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 50 cm. και πάντως μικρότερο από το μήκος του στελέχους[14]

7. Ειδικές περιπτώσεις συμπίκνωσης

7.1 Συμπύκνωση και οπλισμός

Παρόλο που δεν είναι πάντοτε εφικτό, συνιστάται να επιδιώκεται να μην εφαρμόζεται δόνηση επί του οπλισμού, γιατί έχει ως συνέπεια την συγκέντρωση λεπτόκοκκων αδρανών γύρω από τις ράβδους που επιφέρουν την τοπική μείωση της πρόσφυσης. Παρά ταύτα, είναι ενίοτε αναγκαία, προκειμένου να μην δημιουργηθούν διάκενα σκυροδέματος ή πλήρης έλλειψη συμπίκνωσης σε κάποιες περιοχές.

Όταν δονείται ο οπλισμός παρατηρούνται συχνά στην ορατή επιφάνεια του σκυροδέματος ίχνη στις θέσεις του οπλισμού που οφείλονται στην μείωση του πάχους επικάλυψης λόγω συνίχισης. Τυχόν τέτοια ίχνη πρέπει να αποκαθίστανται κατά την τελική διαμόρφωση της επιφανείας του νωπού σκυροδέματος.

Σε περιπτώσεις σκυροδετήσεων μεγάλης χρονικής διάρκειας, η δόνηση του οπλισμού πρέπει να αποφεύγεται, γιατί έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά κραδασμών στις υποκείμενες στρώσεις του σκυροδέματος που έχουν ήδη αρχίσει να αναπτύσσουν αντοχή με συνέπεια τη δημιουργία μικρορηγματώσεων στην περιοχή γύρω από τον οπλισμό, που οδηγούν σε μείωση της συνάφειας και καθιστούν τον οπλισμό ευπαθέστερο σε διάβρωση.

Στις γωνίες και κατά μήκος των ακμών του καλουπιού και γενικά όταν η επικάλυψη του σιδηροπλισμού είναι περιορισμένη πρέπει να γίνεται επιμελημένη συμπίκνωση για να μην παραμένουν διάκενα που δεν έχουν πληρωθεί από σκυρόδεμα.[3][12]

7.2 Συμπύκνωση διατομών σκυροδέματος μικρού πάχους

Κατά τη συμπίκνωση διατομών μικρού πάχους (δάπεδα, πλάκες) ο δονητής πρέπει να εισέρχεται και να κινείται σχεδόν οριζόντια, ανάμεσα στις σχάρες οπλισμού. Οι διαδοχικές διαδρομές του δονητή πρέπει να είναι παράλληλες.

Καταλληλότεροι για τις περιπτώσεις αυτές είναι οι δονητές μικρού μήκους στελέχους με κοντό λάστιχο.[3]

7.3 Συμπύκνωση σκυροδέματος υποστρωμάτων

Εάν η σκυροδέτηση γίνεται χωρίς διακοπή (προϋποτίθεται ότι το καλούπι έχει την απαιτούμενη αντοχή), το στέλεχος του δονητή είναι αναγκαίο να παραμένει εντός του σκυροδέματος καθ' όλη τη διάρκεια της σκυροδέτησης και να ακολουθεί την ανερχόμενη στάθμη του σκυροδέματος (πρέπει δηλαδή να διατηρείται διαρκώς κάτω από την επιφάνεια του σκυροδέματος).

Τα υποστρώματα συνιστάται να δονούνται με δονητές μάζας, με ακτίνα ενεργείας που καλύπτει ολόκληρη την διατομή τους.[3]

Ο δονητής ξυλοτύπου (επιφανείας) πρέπει να τοποθετείται στη βάση του υποστυλώματος πριν από την έναρξη της σκυροδέτησης με το διακόπτη κλειστό και να ενεργοποιείται μόλις αρχίσει η τροφοδοσία του σκυροδέματος για την εξασφάλιση καλύτερης συμπύκνωσης στην ένωση του παλαιού με το νέο σκυρόδεμα.

7.4 Σκυροδέτηση σε περιοχές με ενσωματούμενα στοιχεία και εσοχές του καλουπιού

Η μεταφορά σκυροδέματος με το δονητή γενικά απαγορεύεται. Ωστόσο στις θέσεις που πρέπει να προωθηθεί το σκυρόδεμα κάτω από ενσωματούμενα στοιχεία (π.χ. σωλήνες) ή οπές περιχαρακωμένες με καλούπι ή διογκωμένη πολυστερίνη (π.χ. παράθυρα σε τοιχία ή τρύπες μηχανολογικών εγκαταστάσεων σε τοιχία) η σκυροδέτηση και η δόνηση πρέπει να γίνεται μονόπλευρα και μέσω της δόνησης να μεταφέρεται το σκυρόδεμα στην απέναντι πλευρά. Όταν το σκυρόδεμα πληρώσει την περιοχή κάτω από το άνοιγμα είναι απαραίτητο να ακολουθεί σκυροδέτηση και από την άλλη πλευρά. Όταν εγκιβωτισθεί πλήρως το ενσωματούμενο στοιχείο τότε πρέπει να γίνεται επαναδόνηση.[3][14]

7.5 Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα

Βασικό χαρακτηριστικό του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι η αυξημένη του ρευστότητα, χαρακτηριστικό που διευκολύνει την διάστρωση και συμπύκνωση του υλικού. Οι δύο αυτές εργασίες γίνονται χωρίς καμία παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα (το σκυρόδεμα αυτό ονομάζεται και αυτοεπιπεδούμενο).

Με το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα εξασφαλίζεται η μη απόμιξη των υλικών, πράγμα που επιτυγχάνεται με την:

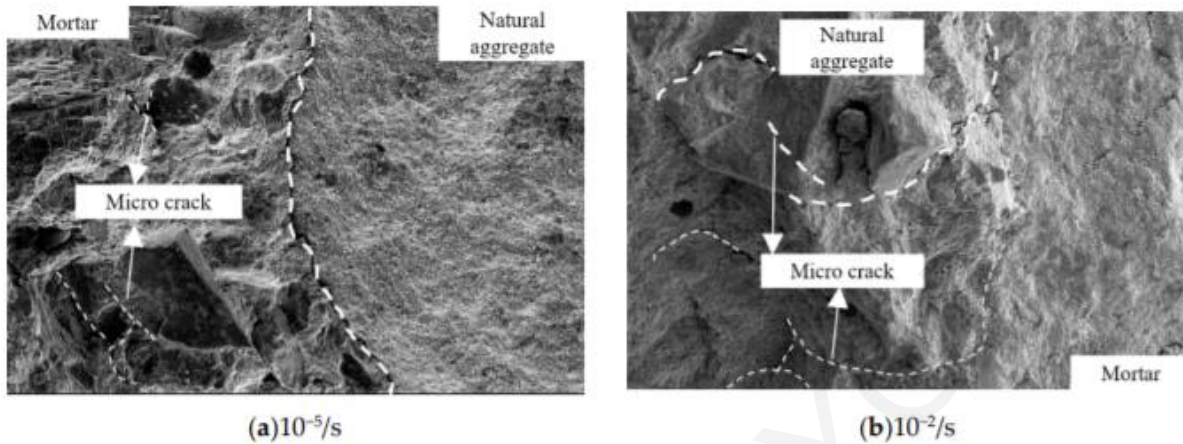
- κατάλληλη επιλογή των αδρανών
- την χρήση λεπτόκοκκων (μεγέθους παιπάλης) αδρανών υλικών
- την χρήση ειδικών χημικών προσθέτων

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα έχει υψηλή ανθεκτικότητα. Συνιστάται για τις κατασκευές με πυκνή διάταξη οπλισμού όπως οι σύγχρονες αντισεισμικές κατασκευές αλλά και όπου είναι απαραίτητη η σκυροδέτηση υπό πίεση, λόγω περιορισμένης πρόσβασης (π.χ. επισκευή με μανδύες, σκυροδέτηση κάτωθεν).[2][3]

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, που ξεκίνησε από την Ιαπωνία την περασμένη δεκαετία και επεκτάθηκε σε όλο τον κόσμο, αλλάζει τα δεδομένα στον κατασκευαστικό τομέα καθώς συμβάλλει σε:

- ταχύτερη εφαρμογή
- μεγαλύτερες αποδόσεις
- μείωση του κόστους εφαρμογής
- βελτίωση των συνθηκών εργασίας
- μείωση των αβεβαιοτήτων και ενδεχόμενων αστοχιών εξοπλισμού κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης

- μείωση της περιβαλλοντικής όχλησης
- ειδικές εφαρμογές, όπως η ενίσχυση και επισκευή δομικών στοιχείων όπου απαιτείται σκυροδέτηση υπό πίεση



Εικόνα 17 :Μικροσκοπικό μοτίβο αστοχίας του αυτοσυμπκνωμένου σκυροδέματος (SCC) υπό διαφορετική φόρτιση[27] [28]

8. Επαναδόνηση

Η επαναδόνηση είναι πρόσθετη διαδικασία για επιπλέον αύξηση της πυκνότητας και της αντοχής του σκυροδέματος, ειδικότερα σε περιπτώσεις υψηλής περιεκτικότητας σε νερό ή ταχείας σκυροδέτησης.

Επιμελημένη επαναδόνηση απαιτείται και στις περιπτώσεις πυκνού οπλισμού επειδή παρουσιάζεται συνίζηση κάτω από τις οριζόντιες ράβδους του άνω οπλισμού. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται και η ποιότητα των ορατών επιφανειών.

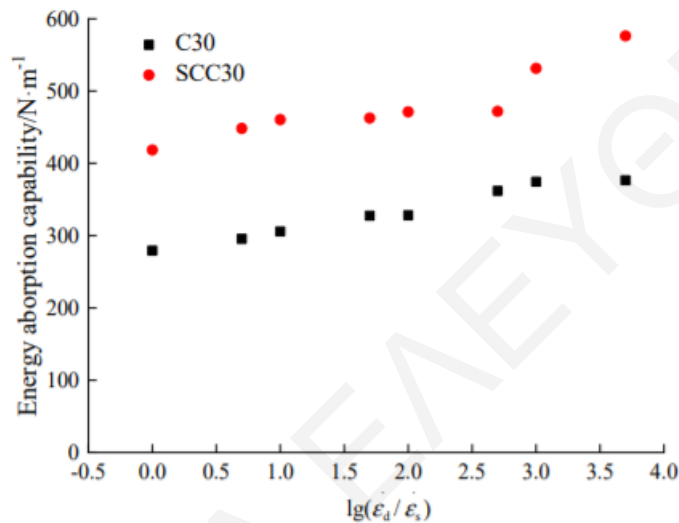
Με την προϋπόθεση ότι το σκυρόδεμα διατηρείται ακόμα εργάσιμο, η επαναδόνηση μπορεί να γίνει ακόμα και μία ώρα ή περισσότερο μετά την αρχική δόνηση. Ο δονητής πρέπει να βυθίζεται στο σκυρόδεμα μόνο με το βάρος του, ενώ κατά την έξοδό του η σπλή του σκυροδέματος πρέπει να κλείνει. Εάν δεν συντρέχουν οι προϋποθέσεις αυτές, η επαναδόνηση απαγορεύεται.[3][7][14]

9. Ποιοτικοί έλεγχοι για την παραλαβή

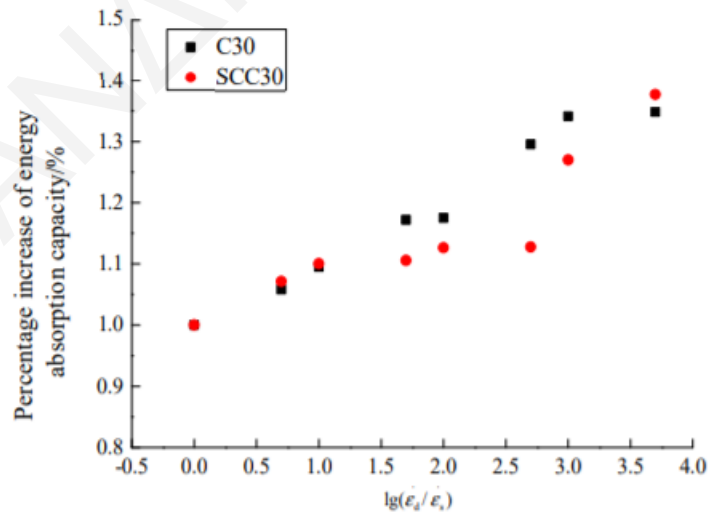
Απαιτούνται κατ' ελάχιστον οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- Διαπίστωση της ορθής επιλογής δονητή ή δονητών και της μεθοδολογίας δόνησης, πριν από την έναρξη της σκυροδέτησης.

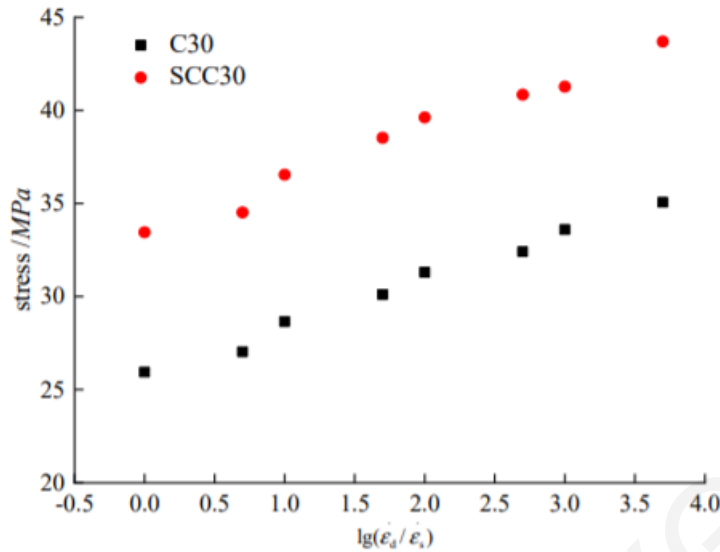
- Παρακολούθηση των εργασιών κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης και συμπίκνωσης και διαπίστωση τόσο της σωστής διαδικασίας δόνησης όσο και της επίτευξης του προσδοκωμένου αποτελέσματος.
- Έλεγχος των επιφανειών του σκυροδέματος μετά την αφαίρεση των καλουπιών για τη διαπίστωση εμφανών κακοτεχνιών οφειλομένων στη δόνηση (ύπαρξη φωλεών, εμφανείς ράβδοι οπλισμού κ.λπ.). Στην περίπτωση αυτή ο Ανάδοχος υποχρεούται να αποκαταστήσει την επιφάνεια με κατάλληλα υλικά (τσιμεντοειδή, διογκωτικά κονιάματα κ.λπ.), σύμφωνα με τις εντολές της Αρμόδιας Αρχής. Οι σχετικές δαπάνες επιβαρύνουν τον Ανάδοχο.[11]



Εικόνα 18 :Η επίδραση του ρυθμού καταπόνησης στην ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. [27] [28]



Εικόνα 19:Η επίδραση του ρυθμού καταπόνησης στην ποσοστιαία αύξηση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας[27] [28]



Εικόνα 20 Σχέση μεταξύ ρυθμού καταπόνησης και μέγιστης πίεσης.[27] [28]

10. ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Παρατίθενται ορισμένα από τα συνήθη ερωτήματα που ανακύπτουν στην πράξη:

- Πόσο πρέπει να διαρκεί;
- Πότε μπορεί να πει κανείς ότι το σκυρόδεμα έχει συμπτυκνωθεί πλήρως;

Πρόκειται κατά κύριο λόγο για θέμα εμπειρίας. Εύκολα μπορεί κανείς να εξοικειωθεί με ένα δονητικό στέλεχος (δονητής εμβαπτίσεως) και να «αισθάνεται» πότε η συμπίκνωση είναι πλήρης. Ωστόσο, κάποιες ενδείξεις μπορούν να βοηθήσουν σ' αυτό. Κατά την δόνηση του σκυροδέματος αναβλύζουν φυσαλίδες αέρα. Όταν τείνουν να σταματήσουν, τότε μπορεί να εκτιμήσει κανείς ότι το σκυρόδεμα έχει συμπτυκνωθεί επαρκώς.

11. Κάθιση

Η κάθιση είναι ένα μέτρο εργασιμότητας που εκφράζεται με την απώλεια ύψους, σε cm, που παρουσιάζει μια κωνική στήλη νεπού σκυροδέματος, όταν ανασυρθεί η κωνική μήτρα (κόνος καθίσεως) με την οποία μορφώθηκε.[15]

11.1 Εργάσιμο σκυρόδεμα

Με τον όρο ‘εργάσιμο’ εννοείται η συμπεριφορά του νωπού σκυροδέματος κατά την ανάμιξη, χειρισμό, παράδοση και τοποθέτησή του και μετά κατά τη συμπύκνωση και το φινίρισμα της επιφάνειάς του. Αποτελεί μία μέτρηση της ικανότητας παραμόρφωσης του νωπού σκυροδέματος. Καθορίζεται από μετρήσιμα μεγέθη. Το Πρότυπο EN206-1 κατηγοριοποιεί τη συνεκτικότητα σε 4-6 τάξεις ανάλογα με τη μέθοδο μέτρησης. Αυτές οι κατηγορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προδιαγράψουν και να ελέγξουν συνεκτικότητα σκυροδέματος από άκαμπτο έως ρευστό. Οι δοκιμές συνεκτικότητας χρησιμοποιούνται για τακτικό έλεγχο του νωπού σκυροδέματος. Η συχνότητα ελέγχου πρέπει να καθορίζεται βάσει της σπουδαιότητας της κατασκευής και να οργανώνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να διασφαλίζεται η συνεχής παραλαβή σκυροδέματος δεδομένης ποιότητας.

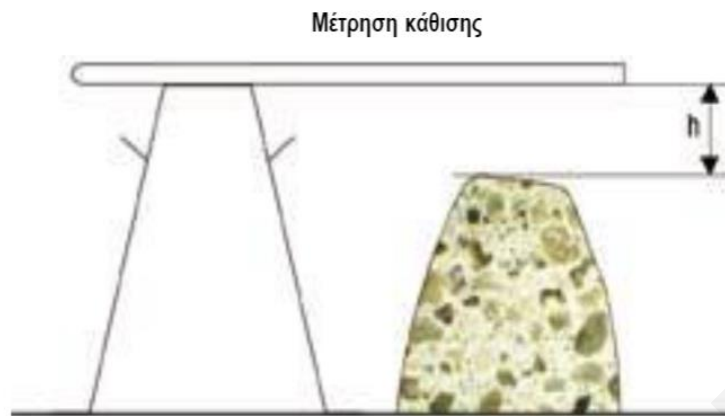
Εξάπλωση είναι ένα μέτρο εργασιμότητας που εκφράζεται με τη μέση διάμετρο σε cm που αποκτά μια κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος, η οποία μορφώθηκε επάνω στην τράπεζα εξαπλώσεως, έπειτα από ορισμένο αριθμό αναπηδήσεων της τράπεζας.[15]

11.2 Μέτρηση κάθισης

Η κάθιση του σκυροδέματος πρέπει να μετριέται πριν από τη διάστρωση σε δείγμα που θα παίρνεται μετά την αποφόρτωση του ενός τρίτου περίπου του αναμίγματος ή του ενός τρίτου του φορτίου του, αυτοκινήτου, αν πρόκειται για έτοιμο σκυρόδεμα (εργοταξιακό ή εργοστασιακό). Η τιμή της καθίσεως θα προκύπτει ως μέσος όρος των μετρήσεων δύο δοκιμών που θα γίνονται σε ποσότητες σκυροδέματος προερχόμενες από το ίδιο αρχικό δείγμα. Η τιμή αυτή, προκειμένου περί εργοταξιακού σκυροδέματος, δεν πρέπει να διαφέρει από την κάθιση της Μελέτης Συνθέσεως ή την κάθιση που έχει διαμορφωθεί επιτόπου του έργου ο Επιβλέπων με κατάλληλη προσαρμογή των αναλογιών της Μελέτης Συνθέσεως περισσότερο από το ένα τέταρτό της.

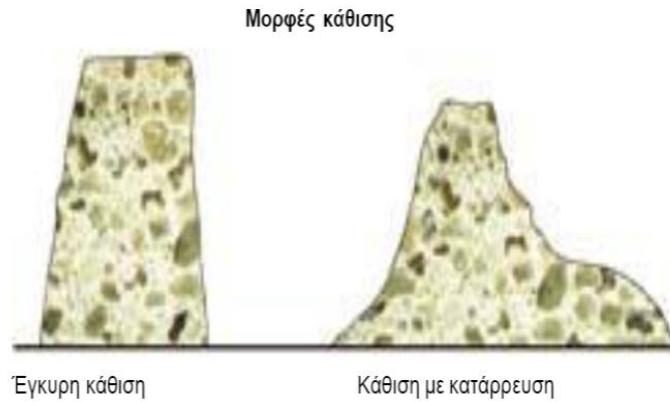
Η κάθιση του έτοιμου εργοστασιακού σκυροδέματος πρέπει να βρίσκεται μέσα στα όρια της κατηγορίας καθίσεως του. Αν η τιμή που μετρήθηκε βρίσκεται έξω από αυτά τα όρια, γίνονται ακόμη δύο δοκιμές σε νέο δείγμα και υπολογίζεται ο μέσος όρος των τεσσάρων μετρήσεων. Οι τέσσερις μετρήσεις πρέπει να γίνουν σε διάστημα 15 min. Αν πρόκειται για έτοιμο σκυρόδεμα, του οποίου η αποφόρτωση καθυστέρησε, από υπαιτιότητα του αγοραστή, περισσότερο από μισή ώρα το εργοστάσιο δεν ευθύνεται για τη μειωμένη κάθιση.

Για κάθιση σκυροδέματος μέχρι 50 mm, η συμπύκνωση γίνεται με δονητή, αμέσως μετά από το πλήρες γέμισμα της μήτρας. Για μεγαλύτερη κάθιση γίνεται με τη ράβδο συμπυκνώσεως. Στη δεύτερη περίπτωση (της ράβδου), κάθε μήτρα γεμίζεται με τη σέσουλα (όχι μυστρί, γιατί διαφεύγει το λεπτό υλικό) σε δύο στρώσεις (μισή και μισή κάθε φορά) και κάθε στρώση συμπυκνώνεται ιδιαίτερα. Η συμπύκνωση κάθε στρώσεως απαιτεί 25 χτυπήματα με την σχετική ράβδο. Η ράβδος συμπυκνώσεως είναι Φ16, μήκους 60 cm., με στρογγυλεμένα άκρα. Κατά τη συμπύκνωση της κατώτερης στρώσης η ράβδος πρέπει να εισχωρεί μέχρι τον πυθμένα της μήτρας.



Εικόνα 21: Απεικόνιση την μέτρηση της κάθισης βαθμού h

Η συμπύκνωση θα γίνεται αμέσως μετά την τοποθέτηση του σκυροδέματος στη μήτρα και χωρίς διακοπή μεταξύ 1ης και 2ης στρώσης. Μετά τη συμπύκνωση επιπεδώνεται η τελική επιφάνεια και αριθμείται το δοκίμιο. Τα δοκίμια πρέπει να παραμείνουν στη σκιά, μέσα στις μήτρες, χωρίς χτυπήματα, δονήσεις, ξήρανση τουλάχιστον 20 ώρες και όχι περισσότερο από 32 ώρες. Μετά την αφαίρεση τους από τις μήτρες τα δοκίμια μεταφέρονται το ταχύτερο δυνατόν στο δημόσιο ή αναγνωρισμένο ιδιωτικό εργαστήριο όπου θα θραύσουν. Σε περίπτωση που προβλέπεται σημαντική καθυστέρηση παραδόσεως στο εργαστήριο, τα δοκίμια πρέπει να διατηρηθούν συσκευασμένα μέσα σε υγρή άμμο, πριονίδια κ.λπ. για τη διατήρηση της υγρασίας τους. Κρούσεις και δονήσεις κατά τη μεταφορά και αποκλίσεις από τη θερμοκρασία συντηρήσεως ($20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$), πρέπει να αποφεύγονται.[15]



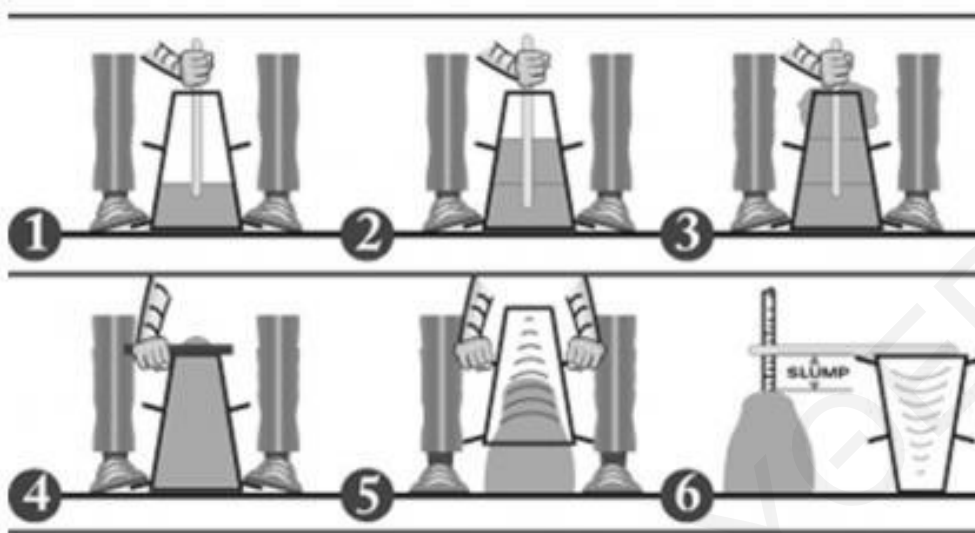
Εικόνα 22: Μορφές κάθισης σκυροδέματος κατά τον έλεγχο

11.3 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία για διαδοχικούς ελέγχους νωπού σκυροδέματος καλύπτεται από: Το Πρότυπο EN12350-1 για σύνθετα και τυχαία δείγματα. Σύνθετα δείγματα: Ποσότητες σκυροδέματος οι οποίες αποτελούνται από έναν αριθμό μεμονωμένων δειγμάτων τα οποία λαμβάνονται ομοιόμορφα γύρω από έναν αναμικτήρα ή τη μάζα του σκυροδέματος και μετά αναμιγνύονται πλήρως. [15]

11.3.1 Τυχαία δείγματα

Τα τυχαία δείγματα είναι μεμονωμένα δείγματα που προέρχονται από ένα μόνο μέρος του αναμικτήρα ή της μάζας του σκυροδέματος και μετά αναμιγνύονται πλήρως. [15]



Εικόνα 23: Χαρακτηριστικά στάδια δοκιμής κάθισης κατά ΕΛΟΤ EN 12350-2



Εικόνα 24 : Διάγραμμα μετρήσεων κάθισης κατά ΕΛΟΤ EN 12350-21

11.3.2 Μεμονωμένα δείγματα

Τα μεμονωμένα δείγματα είναι αυτά που λαμβάνονται από ένα κατάλληλο σημείο και μετά αναμιγνύονται πλήρως. Η απόφαση για τη λήψη τυχαίων ή σύνθετων δειγμάτων εξαρτάται από τον επιδιωκόμενο σκοπό. Η ολική ποσότητα δειγμάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,5 φορές μεγαλύτερη της απαιτούμενης ποσότητας σκυροδέματος που απαιτείται για έλεγχο (μία γεμάτη χειράμαξα χωρητικότητας 60 λίτρων είναι συνήθως αρκετή).[15]

11.4 Έλεγχος Συνεκτικότητας με τη Δοκιμή Κάθισης

Μεταλλικός κόλουρος κώνος ανοιχτός επάνω και κάτω γεμίζεται με νωπό σκυρόδεμα και συμπυκνώνεται. Όταν ο κώνος σηκωθεί, η κάθιση δίνει ένα μέτρο της συνεκτικότητας του σκυροδέματος. Η κάθιση είναι η διαφορά σε mm μεταξύ του ύψους του μεταλλικού κώνου και του ύψους του νωπού σκυροδέματος μετά της πτώση του.

Ολόκληρη η διαδικασία από την αρχή του γεμίσματος μέχρι να σηκωθεί ο κώνος πρέπει να ολοκληρώνεται εντός 150 δευτερολέπτων. Η δοκιμή είναι έγκυρη μόνο όταν δίνει κάθιση κατά την οποία το σκυρόδεμα παραμένει σε μεγάλο βαθμό ακέραιο και συμμετρικό μετά την αφαίρεση του κώνου, δηλαδή το σκυρόδεμα να παραμένει όρθιο στη μορφή ενός κολοουρού κώνου (ή τμήματος κώνου). Εάν το σκυρόδεμα καταρρεύσει, πρέπει να ληφθεί άλλο δείγμα. Εάν το δείγμα καταρρεύσει σε δύο διαδοχικούς ελέγχους, το σκυρόδεμα δε διαθέτει την πλαστικότητα και τη συνοχή που απαιτούνται για τη δοκιμή κάθισης.[15]

11.5 Έλεγχος της Συνεκτικότητας βάσει Βαθμού Συμπύκνωσης

Το νωπό σκυρόδεμα τοποθετείται προσεκτικά σε μεταλλικό δοχείο. Η συμπύκνωση πρέπει να αποφεύγεται. Όταν το μεταλλικό δοχείο γεμίσει, η επιφάνεια του σκυροδέματος οριζοντιώνεται στο επίπεδο της ακμής του δοχείου, χωρίς όμως να δονηθεί. Το σκυρόδεμα ακολούθως δονείται, π.χ. με δονητή μεγίστης διαμέτρου 50 mm. Μετά τη συμπύκνωση μετράται το ύψος από την κορυφή του δοχείου έως την επιφάνεια του σκυροδέματος και στις τέσσερις πλευρές του δοχείου. Η μέση τιμή χρησιμοποιείται για υπολογισμό του βαθμού συμπυκνώσεως.[15]

11.6 Έλεγχος της Συνεκτικότητας βάσει Διαμέτρου Εξάπλωσης

Η δοκιμή καθορίζει τη συνεκτικότητα του νωπού σκυροδέματος μετρώντας την εξάπλωση του σκυροδέματος σε οριζόντια επίπεδη βάση. Μεταλλικός κόλουρος κώνος γεμίζεται με σκυρόδεμα (σε δύο στρώσεις) και συμπυκνώνεται με καθορισμένο τρόπο. Ο κώνος ακολούθως αφαιρείται κατακόρυφα προς τα επάνω. Μετά από την οποιαδήποτε κατάρρευση σκυροδέματος, η βάση

ανυψώνεται χειροκίνητα ή μηχανικά 15 φορές έως το δείκτη ανύψωσης και αφήνεται να πέσει έως τους δείκτες πτώσης. Η εξάπλωση του σκυροδέματος μετριέται παράλληλα προς τις πλευρές της βάσης διαμέσου του κέντρου της.[1][13][15]

11.7 Δοκιμή κάθισης

Η δοκιμή κάθισης προσδιορίζει την εργασιμότητα του νωπού σκυροδέματος, δηλαδή της ρευστότητας του παραγόμενου προϊόντος. Ανάλογα με την χρήση του παραγόμενου σκυροδέματος απαιτείται και διαφορετική εργασιμότητα για αυτό ο προσδιορισμός της καθίσταται αναγκαίος. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12350-2.

Η διάταξη που χρησιμοποιείται αποτελείται από:

- Ένα κώνο ύψους τριακοσίων χιλιοστών (300mm) και διάμετρο βάσης και κορυφής διακόσια χιλιοστά (200mm) και εκατό χιλιοστά (100mm) αντίστοιχα.
- Μία σιδερένια ράβδο συμπίκνωσης μήκους εξακοσίων χιλιοστών (600mm) και διαμέτρου δεκαέξι χιλιοστών (16mm) με στρογγυλεμένη απόληξη.
- Ένα μυστρί.
- Μία μη απορροφητική σιδερένια επίπεδη βάση.
- Χάρακα βαθμονομημένο από μηδέν έως τριακόσια χιλιοστά (0-300mm).
- Λεκάνη μίξης από υλικό που δεν προσβάλλεται από το τσιμέντο
- Χωνί από το ίδιο υλικό του κώνου.

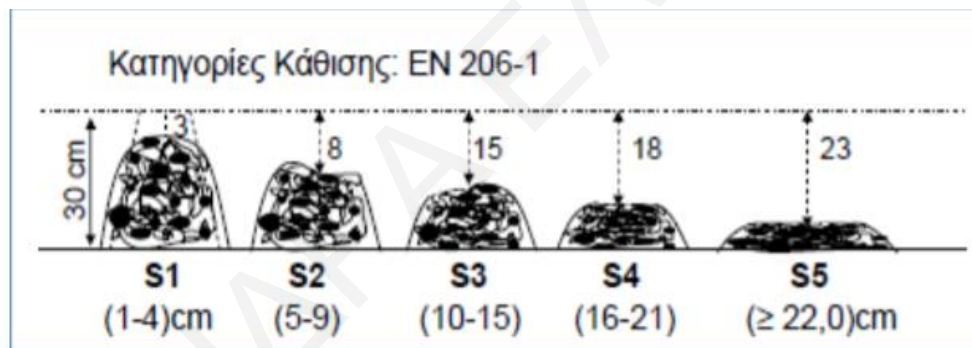
11.8 Διαδικασία μέτρησης της τιμής της κάθισης

Η διαδικασία μέτρησης της τιμής της κάθισης του σκυροδέματος έχει ως εξής:

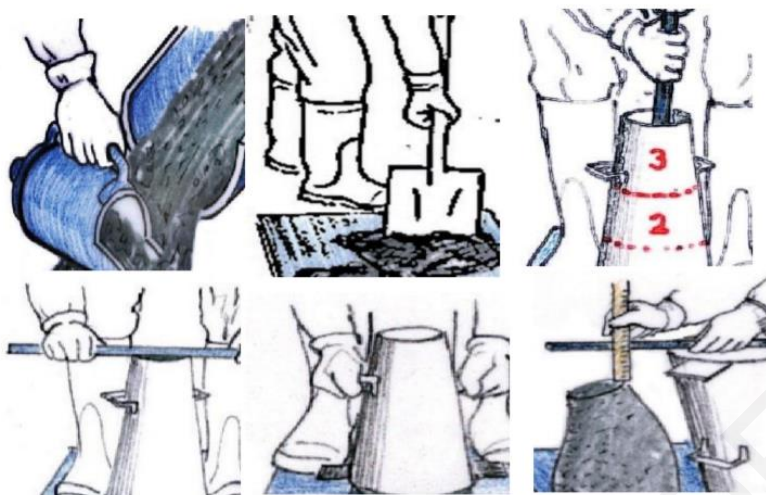
- Ο κώνος κάθισης τοποθετείται πάνω σε επίπεδη, άκαμπτη, οριζόντια, μη απορροφητική επιφάνεια και διαβρέχεται εσωτερικά, αυτός και η επιφάνεια έδρασης.
- Ο κώνος γεμίζεται με τη σέσουλα σε τρεις στρώσεις ίσου ύψους, με σκυρόδεμα από το δείγμα.
- Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25 χτυπήματα της ράβδου συμπυκνώσεως, που κατανέμονται κατά το δυνατόν ομοιόμορφα στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Τα χτυπήματα ξεκινούν από την περίμετρο της μήτρας και με σπειροειδή κίνηση φθάνουν στο κέντρο. Κατά την συμπίκνωση της κατώτερης (πρώτης) στρώσης, η ράβδος βυθίζεται σε όλο το βάθος του σκυροδέματος και, κατά την έμπηξή της, έχει στην αρχή μια μικρή κλίση που βαθμιαία ελαττώνεται, τείνοντας προς την κατακόρυφο. Στη δεύτερη και τρίτη στρώση η ράβδος βυθίζεται σε όλη τη στρώση, εισερχόμενη λίγο (περίπου 1 - 2cm) και

στην αμέσως από κάτω της, Στην ανώτερη (τρίτη) στρώση ο κώνος γεμίζεται με περίσσεια σκυροδέματος, που συμπληρώνεται συνεχώς κατά τη διάρκεια συμπίκνωσης

- Ύστερα από τη συμπίκνωση και της ανώτερης στρώσης, αφαιρείται το σκυρόδεμα που πλεονάζει και επιπεδώνεται η άνω επιφάνεια του, με παλινδρομική κύλιση της ράβδου συμπτκνώσεως στα χείλη του κώνου.
- Αμέσως μετά το γέμισμα του κώνου και τη συμπίκνωση του σκυροδέματος, καθαρίζεται η περιοχή γύρω από τη βάση του και ο κώνος ανασύρεται αργά, από τις πλευρικές χειρολαβές. Η ανασύρση πρέπει να γίνεται ομαλά, με σταθερή ταχύτητα και κατακόρυφη προς τα πάνω κίνηση, χωρίς στροφή και τραντάγματα, και να ολοκληρώνεται μέσα σε 5 - 10 sec (ο παρασκευαστής μετράει αργά από το 1001 έως το 1005). Ολόκληρη η διαδικασία της δοκιμής από την έναρξη του γεμίσματος μέχρι την αφαίρεση του κώνου πρέπει να ολοκληρώνεται σε χρόνο μικρότερο των 150 sec.
- Η διαφορά ανάμεσα στο ύψος του κώνου και του υψηλότερου σημείου του σκυροδέματος, που ελευθερούμενο από το μεταλλικό περίβλημα "κάθισε", μετριέται με προσέγγιση 5 mm, εκφράζεται σε ακέραια εκατοστά του μέτρου και αποτελεί την κάθιση του σκυροδέματος που ελέγχεται. [13][14][15]



Εικόνα 25: Μετρούμενη κάθιση σύμφωνα με το πρότυπο EN 206-1



Εικόνα 26: Η διαδικασία της δοκιμής της κάθισης

Σύμφωνα με το πρότυπο EN 206-1 οι κατηγορίες κάθισης είναι πέντε και φαίνονται στην παρακάτω εικόνα και στον πίνακα.

Κατηγορία	Επεξήγηση	Κάθιση σε mm
S1	Πολύ σφιχτό	10 έως 40
S2	Σφιχτό	50 έως 90
S3	Μαλακό	100 έως 150
S4	Πολύ μαλακό	160 έως 210
SS ¹⁾	Ρέον	≥ 220

Εικόνα 27: Κατηγορίες κάθισης νοπού σκυροδέματος

12 Ευρωκώδικες

Οι Δομικοί Ευρωκώδικες αποτελούν μια ομάδα προτύπων για τον στατικό και γεωτεχνικό σχεδιασμό κτιρίων και έργων πολιτικού μηχανικού.[3][5]

12.1 Ιστορικό του προγράμματος των Ευρωκωδίκων

Η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (Commission of the European Communities - CEC) άρχισε την εργασία θέσπισης ενός συνόλου εναρμονισμένων τεχνικών κανόνων για το σχεδιασμό κτιριακών έργων και έργων πολιτικού μηχανικού, οι οποίοι αρχικώς θα χρησιμοποιούντο εναλλακτικά με τους διάφορους κανόνες που ισχύουν στις Χώρες Μέλη και τελικώς θα τους αντικαθιστούσαν. Αυτοί οι τεχνικοί κανόνες έγιναν γνωστοί ως "Δομικοί Ευρωκώδικες".

Το 1990, αφού συμβουλευθήκε τις αντίστοιχες Χώρες Μέλη, η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, CEC, μεταβίβασε την εργασία της περαιτέρω ανάπτυξης, έκδοσης και αναθεώρησης των Δομικών Ευρωκωδίκων στη Ευρωπαϊκή επιτροπή Τυποποίησης (European Committee of

Standardization – CEN). Η Τεχνική Επιτροπή της CEN, CEN/TC 250, είναι υπεύθυνη για όλους τους Δομικούς Ευρωκώδικες. [3][5]

Μέχρι και σήμερα έχει γίνει εργασία για τους ακόλουθους Δομικούς Ευρωκώδικες, καθένας εκ των οποίων γενικά αποτελείται από πολλά μέρη:

- ENV 1991 Ευρωκώδικας 1 Βάσεις σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών
- ENV 1992 Ευρωκώδικας 2 Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα
- ENV 1993 Ευρωκώδικας 3 Σχεδιασμός χαλύβδινων κατασκευών
- ENV 1994 Ευρωκώδικας 4 Σχεδιασμός σύνθετων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα
- ENV 1995 Ευρωκώδικας 5 Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών
- ENV 1996 Ευρωκώδικας 6 Σχεδιασμός κατασκευών από λιθοδομή
- ENV 1997 Ευρωκώδικας 7 Γεωτεχνικός σχεδιασμός
- ENV 1998 Ευρωκώδικας 8 Σχεδιασμός αντισεισμικών κατασκευών
- ENV 1999 Ευρωκώδικας 9 Σχεδιασμός κατασκευών από κράμα αλουμινίου

Από την CEN/TC 250 σχηματίστηκαν χωριστές υπο-επιτροπές για τους Ευρωκώδικες που αναφέρονται παραπάνω.

Σημειώνεται ότι το τμήμα του Δομικού Ευρωκώδικα για το Γεωτεχνικό Σχεδιασμό, το οποίο οριστικοποιήθηκε και εγκρίθηκε για δημοσίευση υπό τη διεύθυνση της CEC, εκδίδεται από την CEN ως Ευρωπαϊκό Δοκιμαστικό Πρότυπο (ENV) με αρχική διάρκεια ισχύος τριών ετών. [5] [3]

12.2 Οριακές καταστάσεις (υπόμνηση από EN 1990)

Οριακή κατάσταση αστοχίας:

Η οριακή κατάσταση αστοχίας είναι η κατάσταση η οποία σχετίζεται με την κατάρρευση ή αστοχία μιας κατασκευής ή ενός δομικού στοιχείου (συμπεριλαμβανομένης της απώλειας ισορροπίας ή ευστάθειας). [3][5]

12.2.1 Οριακή κατάσταση αστοχίας

Η οριακή κατάσταση αστοχίας είναι η κατάσταση η οποία σχετίζεται με την κατάρρευση ή αστοχία μιας κατασκευής ή ενός δομικού στοιχείου (συμπεριλαμβανομένης της απώλειας ισορροπίας ή ευστάθειας). [29]

12.2.2 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι η κατάσταση η οποία σχετίζεται με την ευκαμψία της κατασκευής, δηλαδή την παραμόρφωση, τη ρηγμάτωση και την ταλάντωση που προκαλεί

βλάβη σε δομικά και μη -δομικά στοιχεία ή προκαλεί αίσθηση ανασφάλειας στους ανθρώπους ή επιδρά αρνητικά στην αισθητική της κατασκευής.[29]

12.3 Γενικές απαιτήσεις : Ανάλυση

Συνήθη προσομοιώματα συμπεριφοράς που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση είναι: - γραμμική-ελαστική συμπεριφορά - γραμμική-ελαστική συμπεριφορά με περιορισμένη ανακατανομή - πλαστική συμπεριφορά - περιλαμβάνονται προσομοιώματα θλιπτήρων - ελκυστήρων - μη-γραμμική συμπεριφορά 50 όπου η αλληλεπίδραση εδάφους-ανωδομής έχει σημαντική επιρροή στα εντατικά μεγέθη της κατασκευής, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιότητες του εδάφους και οι επιρροή της αλληλεπίδρασης σύμφωνα με το EN 1997-1. [29]

Βασικές απαιτήσεις σχεδιασμού κατασκευών Ένας φορέας θα σχεδιάζεται και θα κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε με κατάλληλους βαθμούς αξιοπιστίας και κατά τρόπο οικονομικό:-να αντιμετωπίζει όλες τις δράσεις και τις επιδράσεις, οι οποίες είναι πιθανόν να εμφανισθούν κατά την εκτέλεση και τη χρήση του ,και-να παραμένει κατάλληλος για τη χρήση, για την οποία απαιτείται κατά τη διάρκεια της σκοπούμενης ζωής του. Ένας φορέας θα σχεδιάζεται έτσι ώστε να διαθέτει επαρκή:

- αντίσταση
- λειτουργικότητα
- ανθεκτικότητα

Βιβλιογραφία

[1] Επίσημο site TEE <https://web.tee.gr/>

[2] Ελληνική Δημοκρατία Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε προσωρινές εθνικές τεχνικές προδιαγραφές ΠΕΤΕΠ 01-01-05-00

[3] Αλέξανδρος Δημήτριος Τσώνος σύγγραμμά με τίτλο : Σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα σύμφωνα με τους ευρωκώδικες, - εκδ. σοφία

[4] Σχέδιο Ελοτ ΤΠ 1501-01-01-05-00:2021 ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗΣ

[5] Ευρωκώδικας 7 – ENV 1997 Γεωτεχνικός Σχεδιασμός

[6] Ελληνική Δημοκρατία, υπουργείο υποδομών, μεταφορών και δικτύων: Κανονισμοί τεχνολογίας σκυροδέματος 2015

[7] Γεωργοπούλου Θεοφανή-στοιχεία κατ. Σκυροδέματος I&II – εκδ. ΟΕΔΒ 1983

[8] Δειμέζη Αριστείδη-Γενική δοκμή II -εκδ. Ίδρυμα ευγενίδου 1969

[9] Σπυροπούλου Ι.Παν.-εγχειρίδιο οπλ. Σκυροδέματος- εκδ. Ι. Χιωτέλλης 1963

[10] Τάσιος Θ. Π. -Κατασκευές & Θεμελιώσεις από οπλ. Σκυρόδεμα -εκδ. Συμμετρία 1986

[11] Wommelsdorff – Οπλισμένο σκυρόδεμα (Μελέτη & Κατασκευή) – μεταφρ. Γ. χατζηθεοδώρου – εκδ. Μ. Γκιούρδας 1976.

[12] Διπλωματική Εργασία των προπτυχιακών φοιτητών: Σπάργιας Στέφανος
Φώτος Δημήτριος

[13] Ζ. Ν. Χρηστού ΕΤΕΠ / ΤΕΙ . Δ. ΕΛΛΑΔΑΣ/ Τμήμα πολιτικών μηχανικών ΤΕ/ Εργαστήριο Οπλισμένου σκυροδέματος

[14] Πτυχιακή εργασία – Λιουτα Δημητρά, Ζαφειροπούλου Μαρία, Λυμπεροπούλου Μαρία με επιβλέπων Δρ. Μπισκίνης Διονύσιος, Πανεπιστήμιο Πατρών

[15] Ανώτατο Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Σχολή τεχνολογικών εφαρμογών τμήμα πολιτικών έργων και υποδομής, Μελέτη σύνθεση σκυροδέματος Παναγιώτης Α. Μιχάλης και Σωτήρης Χ. Δημητρίου.

[16] Ζ. Li, *Advanced Concrete Technology*, John Wiley & Sons, Inc, 2011.

[17] Τ. Ρ. Fahl, *Concrete Principles*, 2nd ed., American Technical Publishers, Inc, 2009.

- [18] S. Mindess, J. F. Young and D. Darwin, *Concrete*, Prentice Hall, 2003.
- [19] Reprinted from the McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology, 10th Edition. Copyright c 2003 by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.
- [20] Website Britannica Home > Technology > Engineering > Civil Engineering
- [21] Theconstructor.org/concrete/
- [22] America's cement Manufactures : *How-concrete-is-made*
- [23] www.ccaa.com.au concrete basics pdf
- [24] iosifidis-tools.gr (είδη δονητών)
- [25] Δ.Β Ιγγλεσης & ΣΙΑ Ε.Ε δομικά μηχανήματα
- [26] Ένωση τιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος (ιστορία και εξέλιξη)
- [27] EFFECT OF COMPACTION ON ASSESSED CONCRETE STRENGTH
UncanSERES07.pdf
- [28] An Experimental Study of Dynamic Compression Performance of Self-Compacting Concrete materials-13-03731.pdf
- [29] Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα, <http://portal.tee.gr/>
- [30] Behavior of Fresh Concrete ACI 309.1 R-93 (Reapproved 1998) During Vibration Reported by ACI Committee 309

ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ