



**Ανακύκλωση Νερού Στις Μονάδες Παραγωγής
Έτοιμου Σκυροδέματος: *Μια Ουσιώδης Πρακτική Για
Την Αειφορία Της Βιομηχανίας Σκυροδέματος***

Μαρία Ματπουρίδου

Επιβλέπων Καθηγητής: Σταμάτης Τσίμας

Εαυ Lu...

Πρόλογος

Η Διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε με συνεργασία του Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, της Σχολής Χημικών Μηχανικών και της Διεύθυνσης Έρευνας και Ποιότητας της Α.Ε. τσιμέντων ΤΙΤΑΝ. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής θα παρουσιαστούν στο Συνέδριο “Third International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering”, Βιέννη 2012.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα αυτής της εργασίας, Καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Σταμάτη Τσίμα και να του εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την ευκαιρία που μου έδωσε και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε αυτή την κρίσιμη για μένα χρονική στιγμή της ζωής μου .

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διευθυντή του Εργαστηρίου Σκυροδέματος, της Διεύθυνσης Έρευνας και Ποιότητας της Α.Ε. τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, κ. Χρήστο Λεπτοκαρίδη για την σημαντικότερη συμβολή του στον σχεδιασμό του ερωτηματολογίου και τη μεγάλη βοήθεια που πρόσφερε στο να σταλεί το ερωτηματολόγιο σε πολλές μονάδες έτοιμου σκυροδέματος.

Ένα ευχαριστώ από καρδιάς στη Μόνικα Ζερβάκη υποψήφια διδάκτορα της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την καθοδήγηση, συμπαράσταση και ενεργό εμπλοκή της σε όλα τα στάδια της έρευνας και της συγγραφής της Διπλωματικής αυτής εργασίας. Μόνικα, ήσουν ο καταλύτης.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στην αδελφική μου φίλη Μαρία Χρονοπούλου για τη συμπαράσταση και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας και για την επιμέλεια του κειμένου.

Περίληψη

Η Διπλωματική αυτή εργασία, συνίσταται στην επεξεργασία και τη στατιστική ανάλυση δεδομένων σχετικά με τη διαχείριση του νερού, που χρησιμοποιείται σε μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος και στοχεύει στο να τονίσει την ανάγκη της ανακύκλωσης του νερού, που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του εσωτερικού των οχημάτων στα οποία γίνεται η ανάμιξη και μεταφορά του σκυροδέματος.

Τα Στοιχεία συλλέχθηκαν με την αποστολή ερωτηματολογίου σε Ελληνικές και Ευρωπαϊκές μονάδες έτοιμου σκυροδέματος και με χημικές αναλύσεις που έγιναν σε δείγματα νερού από διάφορες ελληνικές μονάδες.

Από τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας και ανάλυσης γίνεται σαφές ότι στην Ευρώπη ακολουθείται το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1008 σε αντίθεση με την Ελλάδα όπου οι μονάδες έτοιμου σκυροδέματος συμμορφώνονται αποκλειστικά με την ελληνική νομοθεσία (ΕΛΟΤ 345). Η ανακύκλωση νερού στις μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος, είναι μια συνήθης πρακτική στα ευρωπαϊκά δεδομένα. Το ανακυκλωμένο νερό χρησιμοποιείται απευθείας για την παραγωγή νέου νωπού σκυροδέματος. Στην Ελλάδα, ανακύκλωση γίνεται στις περισσότερες μονάδες, κυρίως τις πιο μεγάλες και πάντα συνοδεύεται από το στάδιο της εξουδετέρωσης του ανακυκλωμένου νερού, αφού, αυτό επιβάλλεται από την ελληνική νομοθεσία. Μετά την εξουδετέρωσή του το νερό χρησιμοποιείται για την παραγωγή νωπού σκυροδέματος σε ανάμιξη με νερό δικτύου ή άντλησης σε πολύ μικρά ποσοστά.

Εξάγεται επίσης το συμπέρασμα ότι το ανακυκλωμένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή νωπού έτοιμου σκυροδέματος χωρίς να είναι απαραίτητη πρότερη επεξεργασία του.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Εισαγωγή – Τοποθέτηση Θέματος | 2 |
| Σκυρόδεμα | 5 |
| <i>Παρασκευή Σκυροδέματος</i> | 7 |
| <i>Πρόσμικτα Σκυροδέματος</i> | 9 |
| <i>Ιδιότητες Σκυροδέματος</i> | 11 |
| <i>Είδη Σκυροδέματος</i> | 15 |
| <i>Ελληνικό και Ευρωπαϊκό Πρότυπο Νερού Αναμίξεως</i> | 18 |
| Μονάδες Παραγωγής Έτοιμου Σκυροδέματος..... | 29 |
| <i>Μέθοδοι παραγωγής και διαγράμματα ροής μονάδων παραγωγής σκυροδέματος</i> | 29 |
| <i>Συστήματα ανακύκλωσης νερού έκπλυσης</i> | 33 |
| <i>Επίδραση από τη χρήση ανακυκλωμένου νερού στην παραγωγή σκυροδέματος</i> | 35 |
| Επεξεργασία και Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων..... | 37 |
| <i>Παρουσίαση Ερωτηματολογίου</i> | 37 |
| <i>Στατιστική μελέτη για την ανακύκλωση του νερού σε μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος</i> | 39 |
| <i>Χημικός χαρακτηρισμός δειγμάτων νερού από ελληνικές μονάδες</i> | 46 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 50 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 52 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α | 54 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β | 61 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ | 62 |

Εισαγωγή – Τοποθέτηση Θέματος

Η εργασία εστιάζει στην διαχείριση του νερού, που χρησιμοποιείται σε μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος και στοχεύει στο να τονίσει την ανάγκη της ανακύκλωσης του νερού, που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του εσωτερικού των οχημάτων στα οποία γίνεται η ανάμειξη και μεταφορά του σκυροδέματος. Η μελέτη περιλαμβάνει στατιστικά στοιχεία από ελληνικές και ευρωπαϊκές μονάδες σχετικά με την χρήση του νερού, καθώς και πειραματικά αποτελέσματα, των χημικών χαρακτηριστικών δειγμάτων νερού, από διάφορες ελληνικές μονάδες.

Τις τελευταίες δεκαετίες η βιομηχανία δομικών υλικών ασχολείται με διάφορα προβλήματα βιωσιμότητας και ζητήματα αειφόρου ανάπτυξης. Η παραγωγή τσιμέντου χαμηλών εκπομπών CO₂, η αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων καθώς και η επαναχρησιμοποίηση ανακυκλωμένων αδρανών είναι μερικές από τις πολύ καλά μελετημένες αλλά και εφαρμοσμένες πρακτικές, οι οποίες οδηγούν σε φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα τα οποία σχετίζονται με την τεχνολογία τσιμέντου και σκυροδέματος. Ακόμα όμως και με αυτήν την πληθώρα επιστημονικών και συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων, τα οποία είναι περιβαλλοντικής αλλά και νομικής σημασίας για την βιομηχανία σκυροδέματος, υπάρχουν ακόμα ζητήματα τα οποία δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά. Η μελέτη αυτή εστιάζει στην διαχείριση του νερού που χρησιμοποιείται σε μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος και υπογραμμίζει την ανάγκη ανακύκλωσης του νερού που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του εσωτερικού των οχημάτων στα οποία γίνεται η ανάμειξη του σκυροδέματος, στο τέλος κάθε βάρδιας.

Το προαναφερθέν νερό αποτελεί μείγμα τσιμεντολάσπης (που στη βιομηχανική πρακτική ονομάζεται λούμη) με δύο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά: μεγάλη περιεκτικότητα σε διαλυμένα και αιωρούμενα στερεά και υψηλές τιμές pH. Συγκεκριμένα, το νερό που προέρχεται από τον καθαρισμό των τυμπάνων περιέχει περίπου 10.000 ppm (10g/L) στερεά και έχει τιμή pH μεγαλύτερη του 12 (συνήθως 12,5) γεγονός που κάνει την απόθεση του νερού αυτού στο περιβάλλον απαγορευτική, καθώς σύμφωνα με τους Διεθνείς και

Τοπικούς περιβαλλοντικούς νόμους, υλικά με pH μεγαλύτερο του 11,5 θεωρούνται επικίνδυνα για απόθεση.

Εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την απόθεση του νερού στο περιβάλλον, υπάρχει επίσης οικονομικό αλλά και οικολογικό (σε σχέση με την διατήρηση των φυσικών πόρων) πρόβλημα το οποίο πρέπει να λάβει υπόψη της η βιομηχανία έτοιμου σκυροδέματος _ η περίσσια κατανάλωση νερού, για να καλυφθούν οι ανάγκες της. Έχει υπολογιστεί ότι στο τέλος κάθε βάρδιας σε μία μονάδα παραγωγής επιστρέφουν περίπου 200-400 kg νωπού σκυροδέματος, για το οποίο απαιτούνται περίπου 1500 L νερού για τον καθαρισμό του οχήματος. Αν συνυπολογιστεί και το γεγονός ότι για την παραγωγή, 9 m³ σκυροδέματος (μία μέση ποσότητα η οποία μεταφέρεται με φορτηγό) χρειάζονται περίπου 1600 L νερού, μπορούμε εύκολα να φτάσουμε στο συμπέρασμα ότι η ανακύκλωση του νερού μπορεί να μειώσει την κατανάλωσή του στο μισό.

Η δυσκολία στην ανακύκλωση του νερού που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του εσωτερικού των οχημάτων έγκειται στο γεγονός ότι ενώ το ευρωπαϊκό και το αμερικανικό πρότυπο για το νερό παραγωγής σκυροδέματος επιτρέπουν την χρήση του νερού που προέρχεται από τον καθαρισμό στην παραγωγή νέου σκυροδέματος υπάρχουν εθνικοί κανονισμοί, όπως το ελληνικό πρότυπο, το οποίο βασισμένο στα χημικά χαρακτηριστικά του νερού, περιορίζει ή απαγορεύει την χρήση του. Αυτό αναγκάζει την ελληνική βιομηχανία σκυροδέματος να χρησιμοποιεί για την παραγωγή σκυροδέματος το νερό έκπλυσης μόνο σε μικρό ποσοστό αφού πρώτα του γίνει εξουδετέρωση (συνήθως με προσθήκη υδροχλωρικού οξέως).

Η στατιστική μελέτη που παρουσιάζεται περιέχει στοιχεία από ευρωπαϊκές και ελληνικές μονάδες σχετικά με τις ανάγκες τους σε νερό, την φύση του ανακυκλωμένου νερού και του νερού παραγωγής καθώς επίσης και το εφαρμοζόμενο πρότυπο. Η στατιστική μελέτη αυτή γίνεται για να υπογραμμίσει την ανάγκη ανακύκλωσης του νερού που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των οχημάτων.

Επιπλέον παρουσιάζεται η χημική ανάλυση δειγμάτων νερού, τα οποία πάρθηκαν από διάφορες ελληνικές μονάδες παραγωγής.

Συνολικά η μελέτη αυτή δίνει απαντήσεις σε δύο βασικά ζητήματα:

- Ποια είναι η σημερινή κατάσταση σε ευρωπαϊκές και ελληνικές μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος σχετικά με την ανακύκλωση του νερού
- Ποια είναι η ποιότητα φρέσκου και ανακυκλωμένου νερού που ανακτήθηκε μέσω των δειγμάτων από τις ελληνικές μονάδες και πώς αυτή ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των Προτύπων.-

Σκυρόδεμα

Εισαγωγή

Το σκυρόδεμα (κν. Μπετόν, αγγλ. Concrete, γαλ. Beton) είναι για περισσότερο από έναν αιώνα τώρα, το πλέον διαδεδομένο υλικό κατασκευής στατικών φορέων, όπως στην κατασκευή κτιρίων, γεφυρών, σηράγγων, δεξαμενών κλπ. Πριν την εμφάνισή του εκτεταμένη χρήση είχαν οι ξύλινες και οι πετρόκτιστες κατασκευές. Τα τελευταία χρόνια και ιδιαίτερα στο εξωτερικό μεγάλη ανάπτυξη παρουσιάζουν οι σύμμικτες κατασκευές που συνδυάζουν σκυρόδεμα και δομικό χάλυβα, προσφέροντας ταχύτητα στην κατασκευή και οικονομία κόστους και χώρου. Όμως παρά τις εκτεταμένες εφαρμογές του, λίγοι γνωρίζουν λεπτομέρειες για τον τεχνητό αυτό λίθο, που έχει τη μοναδική 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.

Η κλασική χρήση του σκυροδέματος είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα (reinforced concrete), όπου η μάζα του ενισχύεται με σιδηρό οπλισμό (χάλυβα) ο οποίος του προσδίδει τη θλιπτική και διατμητική αντοχή που του λείπει ενώ συνεισφέρει και στην παραλαβή των θλιπτικών τάσεων. Τα δύο υλικά συνεργάζονται άριστα (καλή αμοιβαία πρόσφυση, ίδιες θερμοκρασιακές διαστολές, προστασία του οπλισμού από το σκυρόδεμα έναντι σκουριάς). Οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά συστηματικά από το Γάλλο J. Monier, το 1867.

Μια ειδική μορφή οπλισμένου σκυροδέματος είναι το προεντεταμένο σκυρόδεμα (pre-stressed concrete), όπου ο οπλισμός εντείνεται προκαταβολικά (πριν ακόμη την εφαρμογή των ωφέλιμων εξωτερικών φορτίων) δημιουργώντας μόνιμες εφελκύστηκες τάσεις σ' αυτόν και θλιπτικές στο σκυρόδεμα, οι οποίες παραμένουν με τη μορφή αυτή ακόμα και μετά την

εφαρμογή των εξωτερικών φορτίων, προσφέροντας οικονομία και στα δύο υλικά και αισθητικά καλύτερο αποτέλεσμα.

Μια άλλη διάκριση των σκυροδέτων φορέων είναι σε έγχυτους (cast-in place) και πρόχυτους (pre-cast). Η πρώτη είναι η κλασσική, συνηθισμένη περίπτωση (όπου η σκυροδέτηση του φορέα γίνεται στην τελική του θέση), ενώ η δεύτερη (όπου η σκυροδέτηση γίνεται αλλού πριν ο φορέας μεταφερθεί μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος στην τελική του θέση) εφαρμόζεται σε περιπτώσεις δυσπρόσιτων περιοχών όπως πχ στη θάλασσα, σε απόκρημνες περιοχές (πχ γέφυρες) ή ακόμα και κάτω από το νερό.

Εκτός από το κλασσικό σκυρόδεμα (του οποίου το ειδικό βάρος είναι γύρω στα $2,3 \text{ t/m}^3$ για το άοπλο και $2,4 \text{ t/m}^3$ για το οπλισμένο), παραλλαγές αποτελούν το γαρμπυλόδεμα (με γαρμπίλι αντί για σκύρα για λεπτότοιχες κατασκευές) και το αφρομπετόν (που ειδικό βάρος μεταξύ $1,2-1,84 \text{ t/m}^3$ λόγω της αντικατάσταση των σκύρων με ελαφρόπετρα το οποίο προορίζεται για χρήσεις όπως μονωτικό υλικό ή προστασία θερμομόνωσης σε δώμα κλπ.). Μια τρίτη μορφή είναι το βαρέως τύπου σκυρόδεμα (ειδ. Βάρος $3,2-5,6 \text{ t/m}^3$), για προστασία από ακτινοβολία χ ή ακτινοβολία γ σε πυρηνικούς αντιδραστήρες κλπ.

Το σκυρόδεμα παρασκευάζεται με μίξη σε κατάλληλες αναλογίες τσιμέντου, αδρανών (χαλίκων), άμμου και νερού, ενώ τακτικά χρησιμοποιούνται και πρόσμικτα (admixtures), που βελτιώνουν τις παραμέτρους του (εργασιμότητα, ταχύτητα σκλήρυνσης κλπ.). Οι αναλογίες αυτές καθορίζονται από την εκάστοτε μελέτη σύνθεσης. Τα επί μέρους αυτά υλικά περιγράφονται συνοπτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Αναφορικά με το ρυθμό σκλήρυνσης του σκυροδέματος: σε γενικές γραμμές, σε τρεις μέρες αποκτά το 50% της τελικής αντοχής του, σε μία εβδομάδα αποκτά το 70% της αντοχής του και σε 28 ημέρες περί το 95%. Υπό καλές συνθήκες περιβάλλοντος το όριο ηλικίας του σκυροδέματος μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ τα 100 χρόνια χωρίς σημαντικές αλλοιώσεις στη μάζα και στον οπλισμό^{[2],[4]}. -

Παρασκευή Σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα είναι το μίγμα τσιμέντου, αδρανών υλικών και νερού σε αναλογία που καθορίζεται σε σχέση με το σκοπό της κατασκευής.

Είναι ένα πολύτιμο υλικό με πλατιά χρήση η οποία καλύπτει σχεδόν όλες τις οικοδομικές κατασκευές και τα τεχνητά έργα.

Συστατικά πρώτων υλών παρασκευής σκυροδέματος

Για την παρασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται τσιμέντο, νερό, άμμος και σκύρα (αδρανή). Το τσιμέντο όταν ενωθεί με το νερό αντιδρά χημικά γι αυτό ονομάζεται και ενεργό υλικό του σκυροδέματος.

Τα υλικά άμμος και σκύρα ονομάζονται αδρανή διότι διατηρούν όλες τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες και μετά την πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος.

Συνδετικά Υλικά

Το τσιμέντο είναι υδραυλική λεπτόκοκκη κονία που χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό για την παραγωγή σκυροδέματος (υδραυλικές ονομάζονται οι κονίες, που όταν αναμιχθούν με το νερό πήζουν και σκληραίνουν). Ο τσιμεντοπολτός (όπως ονομάζεται το αναμιγμένο με νερό τσιμέντο) πήζει και σκληραίνει μέσω της ενυδάτωσης τόσο σε φυσικό περιβάλλον όσο και εμβαπτισμένος σε νερό.

Τα βασικά συστατικά για παραγωγή τσιμέντου τύπου Portland είναι ασβεστολιθικά και αργιλικά πετρώματα, τα οποία αφού αναμιχθούν σε προκαθορισμένες αναλογίες υποβάλλονται σε όπτηση περίπου στους 1450°C. Από τη διαδικασία αυτή παραλαμβάνεται το κλίνκερ, το οποίο ακολούθως αλέθεται ώστε να αποκτήσει την τελική γνωστή λεπτότητα του τσιμέντου.

Λόγω της ιδιότητας που έχει το τσιμέντο να πήζει, όταν αναμιχθεί με το νερό ή να σχηματίζει σβόλους, όταν απορροφά υγρασία, πρέπει να λαμβάνονται όλα τα μέτρα για την προστασία του. Επίσης δεν επιτρέπεται η χρήση διαφορετικών τύπων τσιμέντου για την κατασκευή σκυροδέματος στο ίδιο έργο.

Αδρανή Σκυροδέματος

Τα αδρανή του σκυροδέματος, σκύρα, γαρμπίλι, χαλίκι και άμμος συνιστούν την πετρώδη δομή του, της οποίας τα κενά πρέπει να είναι πληρωμένα όσο το δυνατόν περισσότερο με συνδετική κονία. Τα αδρανή του σκυροδέματος αποτελούν, κατά προσέγγιση, το 80% του συνολικού βάρους του και καταλαμβάνουν το 70-75% του όγκου του. Η χρήση κατάλληλου μεγέθους και ποιότητας αδρανών βελτιώνει την ποιότητα του σκυροδέματος. Τα αδρανή μπορεί να είναι θραυστά ή συλλεκτά (προκύπτουν από φυσική αποσάθρωση πετρωμάτων). Για παραγωγή υψηλής ποιότητας σκυροδέματος τα αδρανή καθαρίζονται και κοκκομετρούνται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις με μηχανικές διεργασίες, όπως πλήρη ανάμιξη τους σύνθλιψη, διαχωρισμό με κόσκινα και πλύσιμο (μηχανική προετοιμασία).

Κατάλληλα για χρήση ως αδρανή σκυροδέματος είναι υλικά, τα οποία δεν επηρεάζουν τη σκλήρυνση του τσιμέντου, έχουν ισχυρή πρόσφυση με το τσιμεντοπολτό και δεν αποτελούν κίνδυνο για την ανθεκτικότητά του.

Το Νερό

Η αναλογία του νερού στο μίγμα είναι καθοριστικός παράγοντας επίτευξης των επιθυμητών αντοχών στο σκυροδέμα και πρέπει να διατηρείται αυστηρά στα όρια που καθορίζει η μελέτη σύνθεσης. Εν γένει, λιγότερο νερό συνεπάγεται μεγαλύτερες αντοχές και περισσότερο νερό σημαίνει υψηλότερη εργασιμότητα (ρευσιμότητα). Το θαλασσινό νερό είναι ακατάλληλο, ενώ στις προεντεταμένες κατασκευές απαγορεύεται ρητά.

Ανάμιξη υλικών σκυροδέματος

Η ανάμιξη του σκυροδέματος μπορεί να γίνει σε σταθερό αναμεικτήρα, σε αυτοκίνητο αναμεικτήρα ή και χειρωνακτικά. Ο χρόνος ανάμιξης πρέπει να είναι τόσο, ώστε να εξασφαλίζεται ένα ομοιόμορφο μίγμα. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από την κατηγορία του σκυροδέματος, από τη σύνθεσή του και ακόμη από τον τύπο και την κατάσταση του αναμεικτήρα. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό το έτοιμο σκυροδέμα, το οποίο πρέπει να παραδίδεται με τη σύνθεση και το εργάσιμο, που προβλέπονται από τις προδιαγραφές του έργου. Γενικά η αποφόρτιση των αυτοκινήτων-

αναμεικτών ή αυτοκινήτων-αναδευτήρων πρέπει να γίνεται σε 90 λεπτά από την προσθήκη νερού στο μίγμα.

Σε περίπτωση χρησιμοποίησης επιβραδυντικού, ο χρόνος αυτός μπορεί να αυξηθεί κατά 20 λεπτά^{[3],[6]}. -

Πρόσμικτα Σκυροδέματος

Τα πρόσμικτα σκυροδέματος είναι οργανικές ενώσεις σε υγρή μορφή ή σκόνη, οι οποίες προστίθενται στο σκυρόδεμα, σε μικρές ποσότητες, κατά τη φάση ανάμιξης (συνήθως βάσει του περιεχόμενου τσιμέντου). 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

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 συγκεκριμένη ποσότητα αέρα στο μίγμα, με τη μορφή μικρών και ομοιόμοφα κατανεμημένων φυσαλίδων αέρα, κατά τη φάση της ανάμιξης, και οι οποίες παραμένουν στη σκληρυμένη μάζα σκυροδέματος.

Επιταχυντής πήξης

Μειώνει το χρόνο που απαιτείται για την αρχική πήξη, αυξάνοντας τις πρώιμες αντοχές.

Επιταχυντής σκλήρυνσης

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

Επιβραδυντής

Επιβραδύνει το χρόνο για την αρχική πήξη και επιμηκύνει την εργασιμότητα.

Στεγνωτικό μάζας

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

Επιβραδυντής/Μειωτής νερού

Έχει τις συνδυαστικές ιδιότητες ενός μειωτή νερού (κύρια ιδιότητα) και ενός επιβραδυντή (επιπλέον ιδιότητα).

Επιβραδυντής/ Υπερρευστοποιητής

Έχει τις συνδυαστικές ιδιότητες ενός Υπερρευστοποιητή (κύρια ιδιότητα) και ενός επιβραδυντή (επιπλέον ιδιότητα).

Επιταχυντής πήξης/Μειωτής νερού

Έχει τις συνδυαστικές ιδιότητες ενός μειωτή νερού (κύρια ιδιότητα) και ενός επιταχυντή πήξης (επιπλέον ιδιότητα).

Τα παραπάνω συστατικά αναμειγνύονται σε αναλογίες σύνθεσης, που καθορίζονται από την εκάστοτε Μελέτη Σύνθεσης. Η μελέτη σύνθεσης αποτελεί το σχεδιασμό του μίγματος για την παρασκευή του σκυροδέματος και μπορεί να γίνει σε εξειδικευμένα εργαστήρια. Κατά την εκπόνηση της μελέτης σύνθεσης, παρασκευάζονται κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια, με διάφορες αναλογίες των συστατικών του σκυροδέματος, τα οποία στη συνέχεια θραύονται, ώστε να διαπιστωθεί ποια από τις δοκιμαζόμενες

αναλογίες εμφανίζει τη μέγιστη τάση θραύσης. Αυτές είναι και οι αναλογίες που θα υιοθετηθούν τελικά.

Σκοπός του υπολογισμού του όγκου του κάθε υλικού, στη σύνθεση του σκυροδέματος, είναι να καθοριστεί ο όγκος του παραγόμενου σκυροδέματος βάσει του όγκου των πρώτων υλών παρασκευής του. Ο υπολογισμός γίνεται με την προϋπόθεση, ότι οι ποσότητες του τσιμέντου, νερού, αδρανών, πρόσμικτων και προσθέτων, που θα αναμιχθούν για την παραγωγή 1 m³ νωπού σκυροδέματος, συνυπολογίζοντας τα κενά μετά τη συμπύκνωση, αθροιζόμενες έχουν όγκο 1m³[2],[6],[3].-

Ιδιότητες Σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα παρουσιάζει πολύ καλές ιδιότητες, γι αυτό και σήμερα είναι το βασικότερο δομικό υλικό. Οι σπουδαιότερες ιδιότητές του είναι:

- Ανθεκτικότητα
- Αντοχή στη θλίψη
- Αντοχή στην κάμψη και στον εφελκυσμό
- Αντοχή στην τριβή
- Πορώδες και Στεγανότητα

Ανθεκτικότητα Σκυροδέματος

Η ανθεκτικότητα, είναι η ιδιότητα του σκυροδέματος να διατηρεί την αντοχή και τη λειτουργικότητά του. Σχετίζεται άμεσα με τη διάβρωση του οπλισμού και τη συνεπαγόμενη απώλεια της συνάφειας σκυροδέματος και οπλισμού που αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για την εν γένει συμπεριφορά των κατασκευών.

Η αυξανόμενη ατμοσφαιρική μόλυνση (από την υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων της Γής) και η μόλυνση των υπόγειων υδάτων της (από την υπερεντατική καλλιέργεια των εδαφών της μέσω τοξικών φυτοφαρμάκων) επιταχύνει το ρυθμό απώλειας της ανθεκτικότητας και τη συνεπαγόμενη απώλεια της συνάφειας σκυροδέματος και χάλυβα και θέτει ζητήματα αναζήτησης νέων τρόπων ενίσχυσης της ανθεκτικότητας των κατασκευών και

εντοπισμού και κατεδάφισης των «νεκρών» κατασκευών οι οποίες οφείλουν την φαινομενική ανθεκτικότητά τους στην υπολειτουργία τους.

Αρχικά ο σχεδιασμός του σκυροδέματος στηριζόταν μόνο στην αντοχή. Εκ των υστέρων αναγνωρίστηκε η σημασία της εργασιμότητας και τελευταία η ανθεκτικότητα. Στα σύγχρονα εγχειρίδια τεχνολογίας η ανθεκτικότητα καταλαμβάνει μεγαλύτερο μέρος από την αντοχή. Η καθυστέρηση της εισαγωγής της ανθεκτικότητας ως αυτόνομου μεγέθους είχε τη βάση της στην αντίληψη ότι 'αντοχή και ανθεκτικότητα συνδέονται άμεσα' και ότι 'η απαίτηση της αντοχής καλύπτει και την απαίτηση της ανθεκτικότητας'. Η αντίληψη αυτή βασίζεται στο σκεπτικό ότι η διαταραχή της ανθεκτικότητας συνδέεται με τη δυνατότητα διείσδυσης των βλαπτικών παραγόντων και γι' αυτό με το πορώδες του σκυροδέματος το οποίο συναρτάται άμεσα με την αντοχή.

Σήμερα η ανθεκτικότητα θεωρείται σχετικά ανεξάρτητο μέγεθος που απαιτεί ιδιαίτερη αντιμετώπιση. Σχετίζεται με τη διαπερατότητα του σκυροδέματος και όχι απλά με το πορώδες του. Η πρώτη ιστορικά διάσταση αντοχής και ανθεκτικότητας μπορεί να εντοπιστεί στις αρχές του εικοστού αιώνα με την παραγωγή του **τσιμέντου αλουμινίου**. Η εισαγωγή αυτού του τσιμέντου χαιρετίστηκε ως σημαντική ώθηση στην τεχνολογία του τσιμέντου, λόγω της ιδιαίτερα ταχείας ανάπτυξης της αντοχής του (χωρίς σημαντική επιτάχυνση της πήξης του) και της υψηλής στάθμης της και της ιδιαίτερης προστασίας που προσέφερε έναντι χημικών προσβολών (έναντι θεικών). Λόγω της ταχείας ανάπτυξης της αντοχής του το τσιμέντο αυτό υιοθετήθηκε σε προεντεταμένες κατασκευές. Το 1970 απαγορεύτηκε η χρήση του στην Αγγλία μετά από εκτεταμένες αστοχίες των κατασκευών στις οποίες χρησιμοποιήθηκε, οφειλόμενες σε προοδευτική απώλεια της αντοχής του εξ' αιτίας της μετατροπής των επί μέρους συστατικών του, η κρυσταλλική δομή των οποίων απεδείχθη ιδιαίτερα ασταθής.

Διαταραχή του σκυροδέματος με το χρόνο προκύπτει λόγω:

- Βλαπτικής αλληλεπίδρασης των συστατικών του σκυροδέματος
- Βλαπτικής αλληλεπίδρασης των συστατικών του σκυροδέματος και βλαπτικών παραγόντων του περιβάλλοντος

Ένας από τους πιο σημαντικούς εξωγενείς παράγοντες αποτελεί η ενανθράκωση του σκυροδέματος. Κατά την ενανθράκωση το CO₂ της

ατμόσφαιράς με την παρουσία νερού (δηλ. HCO_3), αντιδρά με το CaOH_2 του τσιμέντου και σχηματίζει επιφανειακό στρώμα CaCO_3 , το πάχος του οποίου αυξάνει με την πάροδο του χρόνου. Όταν το μέτωπο της ενανθράκωσης φτάσει στη θέση του οπλισμού λόγω του χαμηλού pH του ενανθρακωμένου στρώματος, ο οπλισμός διαβρώνεται και διογκούμενος προκαλεί διάρρηξη του σκυροδέματος η οποία με τη σειρά της επιταχύνει το ρυθμό της ενανθράκωσης και τις συνέπειές της.

Η αύξηση του πάχους της ενανθράκωσης σχετίζεται με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου και μπορεί να αποτελέσει βάση για την εκτίμηση της ηλικίας του σκυροδέματος^{[6],[7]}.

Αντοχή Σκυροδέματος

1. Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος

Η σημαντικότερη ίσως ιδιότητα του σκυροδέματος είναι η θλιπτική του αντοχή. Το σκυρόδεμα, ακόμα και το άοπλο, εμφανίζει μεγάλη αντοχή σε θλίψη γεγονός στο οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό η χρήση του υλικού στις κατασκευές. Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος συμβολίζεται ως f_c (c: concrete) στους κανονισμούς οπλισμένου σκυροδέματος και αναφέρεται στη μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Η αντοχή αυτή μετράται στις 28 ημέρες σε κυλινδρικά ή κυβικά δοκίμια, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

Ο κανονισμός οπλισμένου σκυροδέματος ορίζει σαν βάση τη 'χαρακτηριστική' θλιπτική αντοχή f_{ck} . Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου f_{ck} ή κυβικού δοκιμίου $f_{ck, cube}$ θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου.

Όπως είναι φυσικό, η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος f_{cm} (m:mean), δηλαδή η μέση τιμή των αντοχών δύο ή περισσότερων δοκιμίων από το ίδιο δείγμα σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από τη χαρακτηριστική αντοχή f_{ck} . Ο κανονισμός συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη με την παρακάτω σχέση:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ (MPa)}$$

Η αντοχή του σκυροδέματος στη θλίψη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: την ποιότητα των υλικών, τις αναλογίες των υλικών

ανάμιξης, τον τρόπο μεταφοράς, τοποθέτησης και συμπύκνωσης του σκυροδέματος, το ποσοστό των κενών και το λόγο νερού-τσιμέντου (W/C ratio).

Ο λόγος νερού-τσιμέντου είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες, που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος στη θλίψη. Γι' αυτό, όταν προσδιορίζουμε τη συνολική ποσότητα νερού, αναφερόμαστε στο λόγο βάρους του νερού προς το βάρος του τσιμέντου που θα χρησιμοποιηθεί. Ο λόγος αυτός, πρέπει να είναι περίπου 0,26 έως 0,28 για να μπορεί να γίνεται πλήρως η χημική αντίδραση κατά την πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος.

Έχει αποδειχτεί πειραματικά ότι, όσο αυξάνεται ο λόγος του νερού-τσιμέντου, τόσο ελαττώνεται η αντοχή του σκυροδέματος^[5].

2. Εφελκυστική Αντοχή σκυροδέματος

Ο όρος εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αναφέρεται στη μέγιστη τάση την οποία μπορεί να παραλάβει το (άοπλο) σκυροδέμα όταν υποβάλλεται σε μονοαξονικό εφελκυσμό μέχρι να ρηγματωθεί. Συμβολίζεται ως f_{ct} (t: tension) και όπως είναι αναμενόμενο η τιμή της είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη αντοχή σε θλίψη.

Η μικρή τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος είναι ίσως το σημαντικότερο πρόβλημα του ως δομικού υλικού. Για την αντιμετώπισή του τοποθετούνται στο σκυροδέμα οπλισμοί από χάλυβα, οι οποίοι είναι αυτοί που καλούνται να παραλάβουν τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στα δομικά στοιχεία.

Ως τάξη μεγέθους η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι περίπου το 1/10 της αντίστοιχης θλιπτικής αντοχής. Ακριβέστερα, ο κανονισμός υπολογίζει τη μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος f_{ctm} βάσει της χαρακτηριστικής τιμής της θλιπτικής αντοχής μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$f_{ctm}=0,30f_{ck}^{2/3} \text{ (} f_{ctm}, f_{ck}, \text{ σε MPa) }^{[5]}$$

3. Αντοχή στην Τριβή

Η αντοχή του σκυροδέματος στη θλίψη αποτελεί το κριτήριο για την εξακρίβωση της αντοχής του στη φθορά τριβής. Σκυροδέματα που έχουν

υψηλή αντοχή στη θλίψη, παρουσιάζουν αντοχή στην τριβή. Δηλαδή, οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος στην τριβή, είναι οι ίδιοι με εκείνους που αναφέρθηκαν στην αντοχή του στη θλίψη. Για την αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος στην τριβή, στην τελική επίστρωση του δαπέδου προστίθεται σκόνη σιδήρου^[6].

Πορώδες και Στεγανότητα

Το σκυρόδεμα είναι υλικό πορώδες, δηλαδή περιέχει κενά και τριχοειδείς πόρους στη μάζα του. Τα κενά και οι πόροι δημιουργούνται συνήθως διότι τα αδρανή υλικά που αποτελούν το σκυρόδεμα είναι πορώδη υλικά, τα κενά που μένουν μεταξύ των κόκκων της άμμου, δεν είναι δυνατό να γεμίσουν τελείως με τον πολτό του τσιμέντου και όσο καλά και να γίνει η διάστρωση και το κοπάνισμα, πάντοτε θα παρουσιάζονται περιοχές με ελαττωμένη συμπύκνωση.

Το μεγάλο πορώδες μειώνει την ποιότητα του σκυροδέματος, διότι ελαττώνει τη μηχανική αντοχή του και αυξάνει την αεροπερατότητα και υδροπερατότητά του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο αέρας και το νερό να εισχωρούν εύκολα στη μάζα του σκυροδέματος και να οξειδώνουν τον οπλισμό του.

Εξάλλου, ελαττώνεται και η στεγανότητα, η οποία σε μερικά έργα είναι απαραίτητη. Για την επίτευξη στεγανότητας πρέπει να χρησιμοποιούνται βοηθητικά υλικά, που προστίθενται στο νωπό σκυρόδεμα και κλείνουν τους πόρους του, να τοποθετούνται υδατοστεγανωτικά υλικά, ή ακόμα και να επαλείφεται η επιφάνεια με ισχυρό στεγανό τσιμεντοκονίαμα ή διάφορα γαλακτώματα^{[6],[7]}.-

Είδη Σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα, ανάλογα με τον τρόπο ενίσχυσής του με οπλισμό, διακρίνεται σε άοπλο, οπλισμένο και προεντεταμένο.

Άοπλο σκυρόδεμα

Είναι το σκυρόδεμα που δεν είναι ενισχυμένο με ράβδους οπλισμού. Παρασκευάζεται από κοινό τσιμέντο Portland και αδρανή υλικά. Η περιεκτικότητά του σε τσιμέντο είναι χαμηλή, γι αυτό και ονομάζεται ισχνό σκυρόδεμα ή γκρομπετόν. Χρησιμοποιείται συνήθως σε δάπεδα, σε υποστρώματα για τα πέδιλα και σε πρόχειρες κατασκευές.

Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Είναι το σκυρόδεμα που ενισχύεται με ράβδους από χάλυβα. Τα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευάζονται στο εργοτάξιο, δηλαδή απ ευθείας στην τελική θέση ή στο εργοστάσιο, οπότε και ονομάζονται προκατασκευασμένα στοιχεία. Από το εργοστάσιο μεταφέρονται και τοποθετούνται στην οριστική θέση τους στο έργο.

Προεντεταμένο Σκυρόδεμα

Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα εφαρμόζεται άλλος τρόπος χρησιμοποίησης του χαλύβδινου οπλισμού. Ο χάλυβας σε μορφή συρμάτων ή καλωδίων δεν τοποθετείται στο ξυλότυπο «γυμνό», αλλά μέσα σε σωλήνες, ώστε κατά τη διάστρωση να μην έρχεται σε επαφή με το σκυρόδεμα. Μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, εφαρμόζονται δυνάμεις εφελκυσμού στα χαλύβδινα καλώδια και με την κατάλληλη διάταξη, συγκρατούνται σε κατάσταση τάσης.

Με τη μέθοδο αυτή διευρύνθηκαν οι δυνατότητες κατασκευής έργου από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σήμερα, είναι δυνατόν να κατασκευαστούν δοκοί ή πλάκες πολύ μεγάλων ανοιγμάτων, πράγμα που με το κοινό οπλισμένο σκυρόδεμα ήταν αδύνατο. Το προεντεταμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κυρίως σε έργα γεφυροποιίας και σε κτίρια εργοστασίων.

Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ) είναι εκείνο το σκυρόδεμα που σε νωπή κατάσταση έχει την ικανότητα να τοποθετείται στους ξυλότυπους και να διέρχεται μέσα από τον οπλισμό μόνο με τη δύναμη της

βαρύτητας χωρίς τη χρήση δονητών μάζας ή άλλης εξωτερικής ενέργειας ενώ συνάμα διατηρεί την ομοιογένειά του.

Εμφανίζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και αρκετές διαφορές, έναντι των συμβατικών, όσον αφορά τη ρεολογική συμπεριφορά του. Σε πιο τεχνικούς όρους η ρεολογική συμπεριφορά μεταφράζεται στην εργασιμότητα, η οποία είναι γενικά η ιδιότητα που χαρακτηρίζει το πόσο εύκολα γίνεται ο χειρισμός, η ανάμιξη και η διάστρωση του σκυροδέματος κατά τη νωπή του φάση. Συγκεκριμένα, το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα εμφανίζει πολύ καλή εργασιμότητα.

Η τεχνολογία του ΑΣΣ εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία το 1983 από τον Okamura ο οποίος έθεσε τις βάσεις για ένα σκυρόδεμα υψηλών προδιαγραφών για μεγάλα και ποιοτικά έργα όπου θα έχει αυξημένες αντοχές και μεγάλη ανθεκτικότητα στο χρόνο. Οι έρευνες για τις θεμελιώδεις αρχές και κανονισμούς που διέπουν το ΑΣΣ κατατέθηκαν από τους Ozawa και Mackawa στο Πανεπιστήμιο του Τόκιο. Την πρώτη του εμφάνιση στην Ευρώπη το ΑΣΣ την κάνει στις αρχές της δεκαετίας του 1990 στις χώρες της Σκανδιναβίας και ειδικά σε προκατασκευασμένα στοιχεία.

Σκυρόδεμα Υψηλής Αντοχής

Κατά την παρασκευή του δεν χρησιμοποιείται κοινό σκυρόδεμα Portland αλλά αργιλικό. Τα αργιλικά σκυροδέματα σε σύγκριση με τα κοινά, πηξουν και σκληραίνουν πολύ ταχύτερα και αποκτούν υψηλή αντοχή σε πολύ μικρότερο χρόνο. Έτσι, είναι δυνατόν οι ξυλότυποι να αφαιρεθούν νωρίτερα. Επίσης, η τελική αντοχή του σε θλίψη είναι μεγαλύτερη από την αντοχή του κοινού σκυροδέματος. Τα αργιλικά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατασκευές που εκτελούνται το χειμώνα και σε κατασκευές που θα υποστούν την επίδραση μεγάλων φορτίων σε σύντομο χρόνο.

Αεροσκυρόδεμα

Ακολουθείται ο ίδιος τρόπος παρασκευής όπως και στα κοινά σκυροδέματα, με τη διαφορά ότι κατά τη διάρκεια της ανάμιξης προστίθενται ειδικά πρόσμικτα που προκαλούν τη δημιουργία κυψελών. Έτσι δημιουργείται ένα σκυρόδεμα με σπογγώδη μάζα.

Το Αεροσκυρόδεμα παρουσιάζει άριστες μονωτικές ιδιότητες ως προς τη θερμότητα και τον ήχο αλλά έχει πολύ χαμηλή αντοχή και μικρή υδατοστεγανότητα. Χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό δαπέδων, στεγών κ.α.

Στεγανά Σκυροδέματα

Αν στο κοινό σκυρόδεμα προστεθούν ορισμένες χημικές ουσίες που κυκλοφορούν στο εμπόριο με διάφορες μορφές και ονομασίες τότε αυξάνεται η στεγανότητα του και ελαττώνεται η υδροαπορροφητικότητά του. Οι ουσίες αυτές είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και για την αύξηση της στεγανότητας οπλισμένου σκυροδέματος.

Η αντίδραση του σκυροδέματος στη δίοδο του νερού εξαρτάται κυρίως από το πορώδες της τσιμεντοκονίας. Γι αυτό, ο λόγος νερού/τσιμέντου πρέπει να είναι πολύ μικρός.

Ελαφρά Σκυροδέματα

Στα σκυροδέματα αυτά αντί για τα συνηθισμένα αδρανή χρησιμοποιούνται πορώδη και ελαφρά υλικά όπως είναι η ελαφρόπετρα και ο περλίτης.-

[1],[3],[6],[7]

Ελληνικό και Ευρωπαϊκό Πρότυπο Νερού Αναμίξεως

Στις μονάδες έτοιμου σκυροδέματος τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα ακολουθούνται οι προδιαγραφές Προτύπων για το νερό παραγωγής. Στις Ευρωπαϊκές μονάδες ακολουθείται το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1008 σε αντίθεση με την Ελλάδα όπου ακολουθείται το ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 345. Ακολουθεί μια ανάλυση των 2 αυτών προτύπων.

Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ 345

«Το ύδωρ αναμίξεως και συντηρήσεως Σκυροδέματος»^[14]

Αντικείμενο

Η παρούσα προδιαγραφή αφορά το νερό παρασκευής και συντήρησης σκυροδέματος. Το θαλασσινό νερό δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας προδιαγραφής.

Απαιτήσεις

Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή σκυροδέματος οφείλει να είναι αναγνωρισμένο ως πόσιμο, δηλαδή κανονικού δικτύου ή πηγής πόσιμου νερού που χρησιμοποιείται για αρκετό χρονικό διάστημα ή αλλιώς να πληροί τις πιο κάτω απαιτήσεις κατά περίπτωση.

Προεντεταμένο Σκυρόδεμα

Το νερό σιμεντενέσεων πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις της στήλης (α) του πίνακα 1. Εάν τα ποσοστά μιας ή περισσότερων βλαπτικών ουσιών που περιγράφονται στον πίνακα είναι μεγαλύτερα των ποσοστών της στήλης (α) του πίνακα 1 αλλά όχι μεγαλύτερα εκείνων της στήλης (β), επιτρέπεται η χρήση του συγκεκριμένου νερού υπό τους πιο κάτω δύο όρους που ισχύουν ταυτόχρονα:

I. Υπάρχει μακρόχρονη πείρα αναμφισβήτητης ικανοποιητικής συμπεριφοράς σε έργα προεντεταμένου σκυροδέματος με χρήση του συγκεκριμένου νερού.

II. Η θλιπτική αντοχή προεντεταμένου σκυροδέματος κατασκευασμένου με χρήση του συγκεκριμένου νερού σε ηλικίες 7 ημερών, 28 ημερών και 6 μηνών δεν υπολείπεται περισσότερο από 10% της θλιπτικής αντοχής αντίστοιχου σκυροδέματος το οποίο κατασκευάστηκε με πόσιμο νερό.

Σε όλες τις περιπτώσεις απαγορεύεται η χρήση νερού εάν τα ποσοστά μιας ή περισσότερων βλαπτικών ουσιών που περιγράφονται στον πίνακα 1 είναι μεγαλύτερα από αυτά της στήλης (β).

Σιδηροπαγές Σκυρόδεμα ή άοπλο σκυρόδεμα ειδικών απαιτήσεων

Εάν τα ποσοστά μιας ή περισσότερων βλαπτικών ουσιών που περιγράφονται στον πίνακα είναι μεγαλύτερα των ποσοστών της στήλης (α) του πίνακα 1 αλλά όχι μεγαλύτερα εκείνων της στήλης (β), επιτρέπεται η χρήση του συγκεκριμένου νερού, υπό τον όρο ότι υπάρχει μακρόχρονη πείρα αναμφισβήτητης ικανοποιητικής συμπεριφοράς σε έργα σιδηροπαγούς

σκυροδέματος με χρήση του συγκεκριμένου νερού ή στην περίπτωση που υπάρχει έλλειψη τέτοιας πείρας, υπό τον όρο ότι η θλιπτική αντοχή προεντεταμένου σκυροδέματος κατασκευασμένου με χρήση του συγκεκριμένου νερού σε ηλικίες 7 ημερών, 28 ημερών και 6 μηνών δεν υπολείπεται περισσότερο από 10% της θλιπτικής αντοχής αντίστοιχου σκυροδέματος το οποίο κατασκευάστηκε με πόσιμο νερό.

Άοπλο σκυρόδεμα χωρίς ειδικές απαιτήσεις

Επιτρέπεται η χρήση του συγκεκριμένου νερού, υπό τον όρο ότι υπάρχει μακρόχρονη πείρα αναμφισβήτητης ικανοποιητικής συμπεριφοράς στη χρήση του για την κατασκευή άοπλου σκυροδέματος ή εφόσον τα ποσοστά της στήλης (β) του πίνακα 1 ή εφόσον η θλιπτική αντοχή προεντεταμένου σκυροδέματος κατασκευασμένου με χρήση του συγκεκριμένου νερού σε ηλικίες 7 ημερών, 28 ημερών και 6 μηνών δεν υπολείπεται περισσότερο από 10% της θλιπτικής αντοχής αντίστοιχου σκυροδέματος το οποίο κατασκευάστηκε με πόσιμο νερό.

| Α/Α | Ιδιότητες-Συστατικά | Όρια (ppm) | |
|-----|---|--------------------|--------------------|
| | | “α” | “β” |
| 1 | Ολική οξύτητα, εκφρασμένη σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO ₃), μετρούμενη ως προς δείκτη φαινολοφθαλείνης | 100 ^(α) | 500 ^(β) |
| 2 | Ολική αλκαλικότητα, εκφρασμένη σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO ₃), μετρούμενη ως προς δείκτη ηλιανθίνης | 500 ^(c) | - |
| 3 | Ανόργανα Στερεά (άοπλο και σιδηροπαγές σκυρόδεμα) | 3000 | 15000 |
| 4 | Ανόργανα Στερεά (προεντεταμένο σκυρόδεμα) | 800 | 800 |
| 5 | Οργανικά Στερεά | 200 | 500 |
| 6 | Θειικά άλατα, εκφρασμένα σε θειικό νάτριο (Na ₂ SO ₄), για άοπλο και σιδηροπαγές σκυρόδεμα | 1500 | 3000 |
| 7 | Θειικά άλατα, εκφρασμένα σε θειικό νάτριο | 400 | 400 |

| | | | |
|----|---|---------------------|-------|
| | (Na ₂ SO ₄), για προεντεταμένο σκυρόδεμα | | |
| 8 | Χλωριούχα άλατα, εκφρασμένα σε χλωριούχο νάτριο (NaCl), για άοπλο και σιδηροπαγές σκυρόδεμα | 2000 | 15000 |
| 9 | Χλωριούχα άλατα, εκφρασμένα σε χλωριούχο νάτριο (NaCl), για προεντεταμένο σκυρόδεμα | 400 | 400 |
| 10 | Υπερμαγγανικό κάλιο (KMnO ₄), μόνο για οπλισμένο σκυρόδεμα | 50 | 100 |
| 11 | Λιπαρές και σακχαρώδεις ουσίες | Εντελώς απαλλαγμένο | |

Πίνακας 1. «Όρια Βλαπτικών Ουσιών»

- (a) Για την πρώτη διερεύνηση καταλληλότητας γίνεται να γίνει χρήση μέτρησης pH, οπότε το αντίστοιχο κατώτερο όριο είναι 6.
- (b) Ομοίως με πιο πάνω με κατώτερο όριο pH=5
- (c) Ομοίως με πιο πάνω με κατώτερο όριο pH=9.

Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 1008

«Νερό αναμίξεως σκυροδέματος-Διασάφιση για τη δειγματοληψία, τον έλεγχο και την αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού, συμπεριλαμβανομένου και του νερού που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στην βιομηχανία σκυροδέματος, ως νερού αναμίξεως.»^[15]

Εισαγωγή

Η ποιότητα του νερού αναμίξεως για την παραγωγή σκυροδέματος μπορεί να επηρεάσει το χρόνο σκλήρυνσης, την ανάπτυξη αντοχών του σκυροδέματος και την προστασία του οπλισμού από τη διάβρωση.

Κατά την αξιολόγηση της καταλληλότητας του υποψήφιου για χρήση νερού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο η σύνθεσή του όσο και φύση της εφαρμογής στην οποία θα χρησιμοποιηθεί το σκυρόδεμα που θα παραχθεί.

Ταξινόμηση των ειδών του νερού

Σε γενικές γραμμές η καταλληλότητα του υποψήφιου για χρήση στην παραγωγή σκυροδέματος νερού εξαρτάται από την προέλευσή του. Ξεχωρίζουν οι ακόλουθοι τύποι νερού.

I. Πόσιμο Νερό

Το νερό αυτό είναι κατάλληλο και δεν χρειάζεται έλεγχο.

II. Νερό που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος

Το νερό αυτό, το οποίο αναλύεται πιο κάτω, είναι συνήθως κατάλληλο για χρήση στην παραγωγή σκυροδέματος, αλλά πρέπει να πληροί τα κριτήρια του παραρτήματος Α.

III. Νερό από υπόγειες πηγές

Το νερό αυτό μπορεί να είναι κατάλληλο αλλά πρέπει να ελεγχθεί.

IV. Νερό επιφανειακών υδάτων και βιομηχανικών λυμάτων

Το νερό αυτό μπορεί να είναι κατάλληλο αλλά πρέπει να ελεγχθεί.

V. Θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό

Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή άοπλου σκυροδέματος, αλλά γενικά δεν είναι κατάλληλο για την παραγωγή οπλισμένου ή προεντεταμένου σκυροδέματος.

VI. Νερό αποβλήτων

Το νερό αυτό δεν είναι κατάλληλο για την παραγωγή σκυροδέματος.

Απαιτήσεις

Το νερό που θα αξιολογηθεί ως κατάλληλο για παραγωγή σκυροδέματος πρέπει να πληρεί τις ακόλουθες προϋποθέσεις.

Προκαταρκτικός έλεγχος

Το νερό πρέπει να εξετάζεται σε σχέση με τις προϋποθέσεις που του πίνακα 2. Το νερό το οποίο δεν πληροί ένα ή περισσότερα κριτήρια του πίνακα 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο αν πληροί τα κριτήρια που περιγράφονται στην παράγραφο «Ρυθμός σκλήρυνσης και Αντοχή».

| | | Απαιτήσεις |
|---|--------------------------------|--|
| 1 | Λιπαρές και σακχαρώδεις ουσίες | Ίχνη |
| 2 | Απορρυπαντικά | Σε περίπτωση αφρού, αυτός πρέπει να εξαφανιστεί σε 2 λεπτά |
| 3 | Χρώμα | Για όλα τα νερά εκτός της παραγράφου II: Το |

| | | |
|---|----------------------|---|
| | | χρώμα πρέπει να είναι υποκίτρινο |
| 4 | Αιωρούμενα σωματίδια | <4ml ιζήματος |
| 5 | Οσμή | Νερό παραγράφου II: Καμία οσμή, εκτός αν είναι ίδια με του πόσιμου νερού και ελαφριά μυρωδιά τσιμέντου. Αν είναι παρούσα σκωρία υφικαμίνου, επιτρέπεται ελαφριά οσμή υδρόθειου. |
| | | Νερό από άλλες πηγές: Καμία οσμή, εκτός αν είναι ίδια με του πόσιμου νερού. Καμία οσμή υδρόθειου μετά την προσθήκη υδροχλωρικού οξέως |
| 6 | Οξέα | pH≥4 |
| 7 | Οργανική Ύλη | Το χρώμα πρέπει να αξιολογείται ποιοτικά ως κιτρινωπό καφέ, μετά την προσθήκη υδροξειδίου του νατρίου(NaOH) |

Πίνακας 2. Απαιτήσεις προκαταρκτικού ελέγχου για το νερό ανάμιξης

Χημικές Ιδιότητες

Χλωρίδια

Η περιεκτικότητα του νερού σε χλώριο, εκπεφρασμένη σε Cl⁻ δεν πρέπει να ξεπερνά τα όρια που δίνονται στον πίνακα 3.

| Τελική Χρήση | Μέγιστη περιεκτικότητα σε χλώριο (mg/L) |
|-------------------------|---|
| Προεντεταμένο Σκυρόδεμα | 500 |
| Οπλισμένο Σκυρόδεμα | 1000 |
| Άοπλο Σκυρόδεμα | 4500 |

Πίνακας 3. Μέγιστη ποσότητα χλωριδίων στο νερό ανάμιξης

Θειικά Ιόντα

Η περιεκτικότητα του νερού σε θειικά ιόντα εκπεφρασμένη σε SO₄²⁻ δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2000 mg/L.

Αλκάλια

Σε περίπτωση που στην παρασκευή σκυροδέματος θα χρησιμοποιηθούν αδρανή τα οποία αντιδρούν με αλκάλια πρέπει να ελέγχεται η περιεκτικότητα του νερού σε αλκάλια. Η περιεκτικότητα του νερού σε οξείδιο του νατρίου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1500 mg/L.

Επιβλαβείς Χημικές Ουσίες

Πρέπει να γίνεται ποιοτικός έλεγχος για σάκχαρα, φωσφορικά και νιτρικά, μόλυβδο και ψευδάργυρο. Αν ο ποιοτικός έλεγχος έχει θετικά αποτελέσματα πρέπει να γίνεται είτε χημικός έλεγχος για τον καθορισμό της ποσότητας της επιβλαβούς ουσίας είτε έλεγχος του χρόνου σκλήρυνσης και της θλιπτικής αντοχής του παραγόμενου σκυροδέματος.

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης πρέπει να συμφωνούν με τον πίνακα 4.

| Επιβλαβής Ουσία | Μέγιστη επιτρεπτή ποσότητα(mg/L) |
|--|----------------------------------|
| Σάκχαρα | 100 |
| Φωσφορικά: εκπεφρασμένα ως P ₂ O ₅ | 100 |
| Νιτρικά: εκπεφρασμένα ως NO ₃ ⁻ | 500 |
| Μόλυβδος (Pb ²⁺) | 100 |
| Ψευδάργυρος (Zn ²⁺) | 100 |

Πίνακας 4. Ποσοτικά όρια επιβλαβών ουσιών

Χρόνος Σκλήρυνσης και Αντοχή

Ο αρχικός χρόνος σκλήρυνσης των δειγμάτων σκυροδέματος παρασκευασμένου με το υπό δοκιμή νερό δεν πρέπει να υπερβαίνει τη 1 ώρα και να μην υπολείπεται περισσότερο από 25% από τον αρχικό χρόνο σκλήρυνσης αντίστοιχου σκυροδέματος το οποίο κατασκευάστηκε με αποσταγμένο ή απιονισμένο νερό. Ο τελικός χρόνος σκλήρυνσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 12 ώρες και να μην υπολείπεται περισσότερο από 25% από τον αρχικό χρόνο σκλήρυνσης αντίστοιχου σκυροδέματος το οποίο κατασκευάστηκε με αποσταγμένο ή απιονισμένο νερό.

Η μέση θλιπτική αντοχή σε δείγματα σκυροδέματος ή ασβεστοκονιάματος 7 ημερών, πρέπει να είναι τουλάχιστον στο 90% της μέσης θλιπτικής αντοχής αντίστοιχου σκυροδέματος ή ασβεστοκονιάματος τα οποία κατασκευάστηκαν με αποσταγμένο ή απιονισμένο νερό.

Παράρτημα Α

(κανονιστικό)

«Απαιτήσεις για τη χρήση του νερού που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος»

Σκοπός

Χρήση του νερού (αυτούσιο ή σε ανάμιξη με νερό από άλλες πηγές) που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος, για την παραγωγή σκυροδέματος.

Όροι και διευκρινήσεις

Το νερό που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος περιλαμβάνει:

- Νερό το οποίο ανακτάται από υπολείμματα σκυροδέματος
- Νερό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον καθαρισμό υπολειμμάτων σκυροδέματος από φορηγά, αναμικτήρες, αναδευτήρες και αντλίες σκυροδέματος
- Νερό πριονίσματος, λείανσης ή αναβλύζων από σκληρυμένο σκυρόδεμα
- Νερό από παραγόμενο νωπό σκυρόδεμα
- Το νερό αυτό μπορεί να αναχθεί από:
- Δεξαμενές εξοπλισμένες με αναδευτήρες ούτως ώστε τα στερεά να κατανέμονται εξίσου σε όλη την ποσότητα του νερού
- δεξαμενές καθίζησης

Περιορισμοί:

Το νερό που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος (αυτούσιο ή σε ανάμιξη με νερό από άλλες πηγές) μπορεί να

χρησιμοποιηθεί ως νερό ανάμιξης για την παρασκευή οπλισμένου ή άοπλου σκυροδέματος, καθώς και για την παραγωγή προεντεταμένου σκυροδέματος εφόσον πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

1) Η επιπλέον μάζα στερεών του σκυροδέματος που έχει παραχθεί με τη χρήση του νερού αυτού πρέπει να είναι μικρότερη από 1% (m/m) από την συνολική ποσότητα μάζας των αδρανών του σκυροδέματος.

2) Πρέπει να συνυπολογίζεται η πιθανή επιρροή του συγκεκριμένου νερού στο παραγόμενο σκυρόδεμα αν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις χρήσης του, πχ αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα, προεντεταμένο σκυρόδεμα, Αεροσκυρόδεμα κλπ.

3) Πρέπει να γίνεται ισοκατανομή της ποσότητας του συγκεκριμένου νερού που χρησιμοποιείται για τη συνολική παραγωγή μιας ημέρας.

Απαιτήσεις

Το νερό που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος (αυτούσιο ή σε ανάμιξη με νερό από άλλες πηγές), πρέπει να πληροί και τις ακόλουθες πρόσθετες προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή σκυροδέματος.

Αποθήκευση

Το αποθηκευμένο νερό πρέπει να είναι πιθανώς προστατευμένο από πιθανή μόλυνση.

Κατανομή στερεών στο νερό

Πρέπει να διασφαλίζεται ομοιόμορφη κατανομή των στερεών στο συγκεκριμένο νερό, με πυκνότητα μεγαλύτερη του 1,01 kg/L. Νερό με πυκνότητα μικρότερη ή ίση με 1,01 kg/L μπορεί να θεωρηθεί ότι περιέχει αμελητέα ποσότητα στερεών.

Η μάζα των στερεών στο νερό

Η μάζα των στερεών στο νερό, καθορίζεται από τον πίνακα 5 με βάση την πυκνότητα του νερού. Τα στερεά σωματίδια στο νερό, πρέπει να υπολογίζονται κατά την μελέτη σύνθεσης για το σχεδιασμό του μίγματος για την παρασκευή του σκυροδέματος.

| Πυκνότητα νερού (kg/L) | Μάζα στερεών (kg/L) | Όγκος νερού ανάμειξης (L/L) |
|------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1,02 | 0,038 | 0,982 |
| 1,03 | 0,057 | 0,973 |
| 1,04 | 0,076 | 0,964 |
| 1,05 | 0,095 | 0,955 |
| 1,06 | 0,115 | 0,945 |
| 1,07 | 0,134 | 0,936 |
| 1,08 | 0,153 | 0,927 |
| 1,09 | 0,172 | 0,918 |
| 1,10 | 0,191 | 0,909 |
| 1,11 | 0,210 | 0,900 |
| 1,12 | 0,229 | 0,891 |
| 1,13 | 0,248 | 0,882 |
| 1,14 | 0,267 | 0,873 |
| 1,15 | 0,286 | 0,864 |

Πίνακας 5 περιεκτικότητα στερεών.

(Κατά τον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκε πυκνότητα σωματιδίων 2,1 kg/L.)

Έλεγχος

Η πυκνότητα του νερού που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος (αυτούσιο ή σε ανάμιξη με νερό από άλλες πηγές), πρέπει να προσδιορίζεται σε ομογενοποιημένα δείγματα που ανακτώνται από τις δεξαμενές που περιέχουν το συγκεκριμένο νερό.

Για να γίνεται χρήση του νερού αυτού για παραγωγή σκυροδέματος, η πυκνότητά του πρέπει να μετράτε τουλάχιστον μία φορά ημερησίως, την στιγμή που πιθανολογείτε ότι το νερό έχει την μεγαλύτερη πυκνότητα, εκτός αν υπάρχουν διαδικασίες ελέγχου της πυκνότητας, στο «εγχειρίδιο ποιότητας» της παραγωγικής μονάδας .

Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αυτόματες συσκευές – στην περίπτωση αυτή το εγχειρίδιο ποιότητας της παραγωγικής μονάδας πρέπει να περιγράφει την μέθοδο που χρησιμοποιείτε και τον τρόπο βαθμονόμησης της.

Οι απαιτήσεις και προϋποθέσεις του ελληνικού προτύπου (ΕΛΟΤ 345), του ευρωπαϊκού προτύπου (EN 1008) καθώς και του αμερικανικού προτύπου (ASTM 1602)^[16], αναφερόμενες στο νερό ανάμιξης για την παραγωγή σκυροδέματος, παρατίθενται στον ακόλουθο συνοπτικό συγκριτικό πίνακα 6.-

| Πρότυπο | pH | Στερεά (ppm) | SO₄²⁻ (ppm) | Cl⁻ (ppm) |
|----------------|-----------|---------------------|--|-----------------------------|
| EN 1008 | >4 | - | <2000 | <500 |
| ASTM 1602 | - | 50000 | <3000 | <500 |
| ΕΛΟΤ 345 | 6-9 | 3000 | <1014 | <1214 |

Πίνακας 6 προδιαγραφές προτύπων για το νερό ανάμιξης.

Μονάδες Παραγωγής Έτοιμου Σκυροδέματος

Μέθοδοι παραγωγής και διαγράμματα ροής μονάδων παραγωγής σκυροδέματος

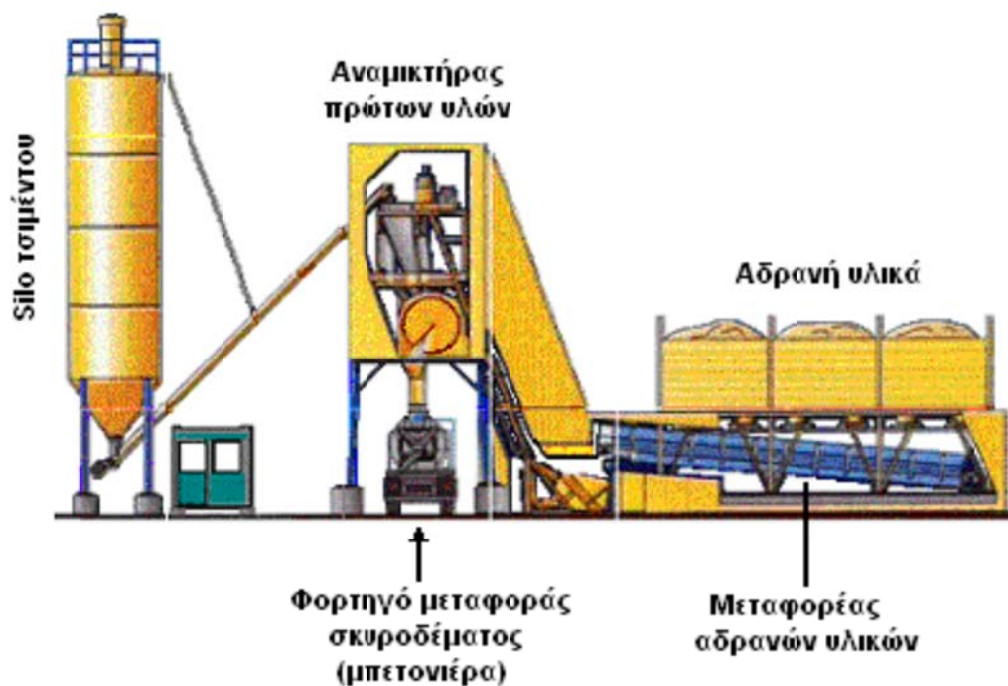
Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος:

- Η υγρή αυτοτελής (batch) μέθοδος και
- Η ξηρή αυτοτελής μέθοδος

Κατά την υγρή μέθοδο παρασκευής, ακριβείς ποσότητες όλων των συστατικών του σκυροδέματος (τσιμέντο ή υποκατάστατά του, αδρανή υλικά, νερό και χημικά πρόσθετα) τροφοδοτούνται σε μηχανικό αναμικτήρα (Εικόνα 1 και 2).

Το προϊόν της διεργασίας ανάμιξης, που είναι το έτοιμο σκυρόδεμα (Ready Mixed Concrete) μεταφέρεται κατόπιν με ειδικά φορτηγά (συνεχώς αναδευόμενο ως ρευστό μεγάλου ιξώδους) στη θέση (έργο) όπου θα χρησιμοποιηθεί. Εκεί το σκυρόδεμα αποχύνεται σε καλούπια και δονείται ώστε να συμπυκνωθεί και να πάρει τη μορφή του στοιχείου του έργου.

Κατά την ξηρή μέθοδο παραγωγής οι ακριβώς υπολογισμένες ποσότητες των στερεών πρώτων υλών τροφοδοτούνται μαζί με την αναγκαία ποσότητα νερού στο περιστρεφόμενο τύμπανο του οχήματος (πχ φορτηγό) παρασκευής-μεταφοράς. Ταυτόχρονα επίσης προστίθενται στο τύμπανο οι αναγκαίες ποσότητες χημικών πρόσθετων και η ανάμιξη όλων των συστατικών γίνεται εντός τους περιστρεφόμενου κάδου κατά τη μετακίνηση του οχήματος και τη μεταφορά του σκυροδέματος στο κατασκευαζόμενο έργο.

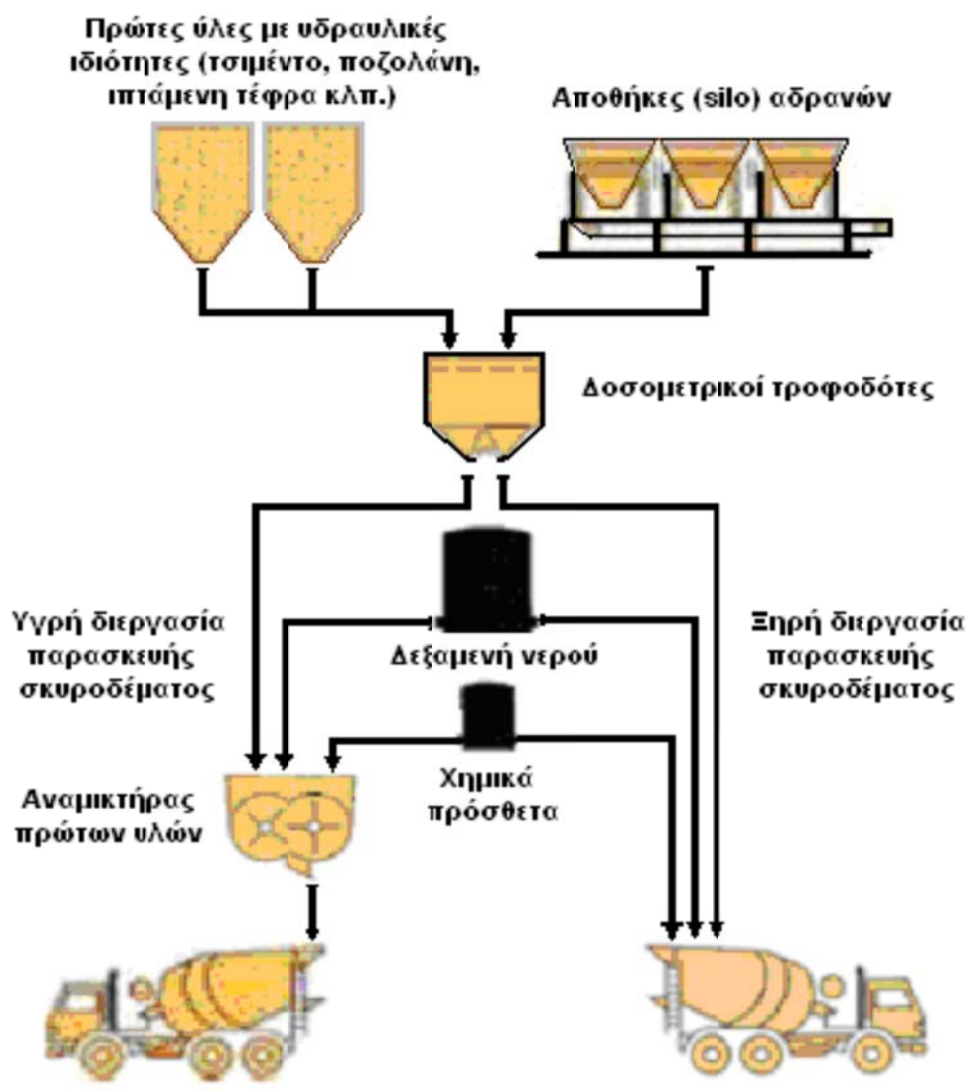


Εικόνα 1: Διάταξη μηχανημάτων και αποθηκών πρώτων υλών κατά την υγρή μέθοδο παρασκευής έτοιμου σκυροδέματος.

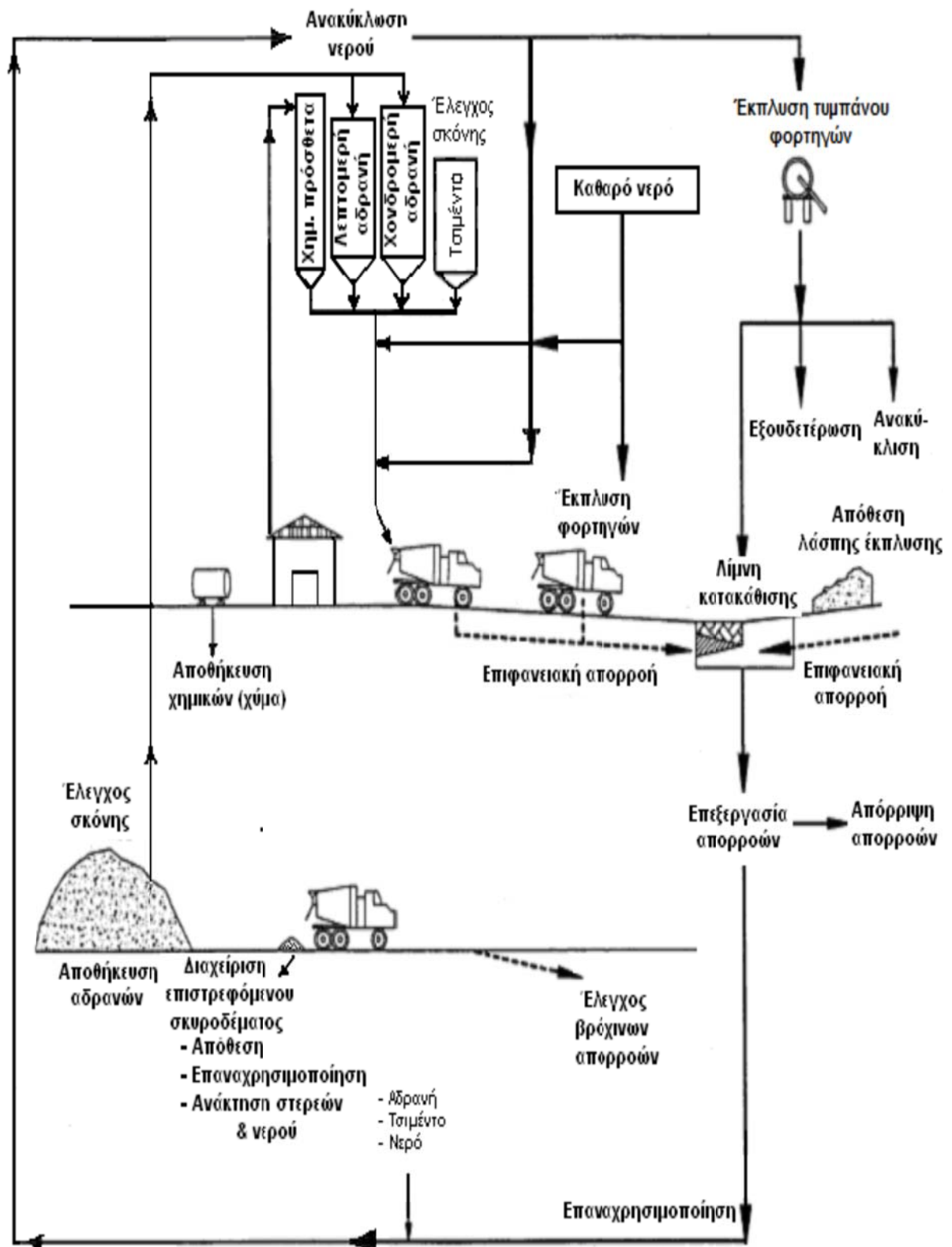
Στην Εικόνα 3. φαίνεται ένα αναλυτικό διάγραμμα ροής διεργασιών σύγχρονης μονάδας παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος (ready mixed concrete) στο οποίο φαίνονται επίσης και οι απαραίτητες συμπληρωματικές διεργασίες που πρέπει να περιλαμβάνονται στο κύκλωμα, ώστε η παραγωγή του σκυροδέματος να γίνεται με τον πιο οικονομικό αλλά και «περιβαλλοντικά» φιλικό τρόπο.

Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται ο τρόπος διαχείρισης του αχρησιμοποίητου (περίσσειμα) σκυροδέματος, το οποίο πρέπει στην πλειονότητα των περιπτώσεων να επιστρέφεται στη μονάδα και επίσης υποδεικνύεται ο τρόπος διαχείρισης των παντός είδους στερεών και υγρών αποβλήτων που προκύπτουν, τα οποία σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να απορρίπτονται στο περιβάλλον χωρίς προηγουμένως να έχουν υποστεί την απαραίτητη επεξεργασία.

Η «περιβαλλοντική» διάσταση της παραγωγής του σκυροδέματος είναι μια παράμετρος η οποία πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά την ανέγερση και τη λειτουργία μονάδων παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος^[6].-



Εικόνα 2. Αυτοτελείς διεργασίες (υγρή - ξηρή) παρασκευής σκυροδέματος



Εικόνα 3. Διάγραμμα ροής διεργασιών σε μονάδα παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος.

Συστήματα ανακύκλωσης νερού έκπλυσης

Ένα σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα που ανακύπτει στην παραγωγή τσιμέντου και σκυροδέματος είναι η μόλυνση των νερών, με κυριότερο αυτό στη διαδικασία παραγωγής και χρήσης του σκυροδέματος. Η κατανάλωση νερού στις μονάδες ετοιμού σκυροδέματος είναι το υπ' αριθμόν ένα πρόβλημα. Υπολογίζεται ότι χρειάζονται περίπου 1500L νερού ανά φορτηγό (μπετονιέρα) και ανά ημέρα για έκπλυση και το pH του νερού που προκύπτει είναι συνήθως μεγαλύτερο του 12. Η ισχυρή αλκαλικότητά του το καθιστά ιδιαίτερα τοξικό για οποιουσδήποτε υδρόβιους οργανισμούς. Στις σύγχρονες μονάδες ετοιμού σκυροδέματος υπάρχουν δεξαμενές απόρριψης των νερών έκπλυσης, όπου τα περιεχόμενα στερεά καθιζάνουν και το νερό επεξεργάζεται για επαναχρησιμοποίηση. Πολλές φορές επίσης υπάρχουν ειδικές εγκαταστάσεις απόρριψης του πλεονάζοντος σε μια κατασκευή σκυροδέματος για έκπλυση και ανάκτηση των αδρανών τα οποία ανατροφοδοτούνται στη μονάδα. Είναι φανερό ότι σοβαρό πρόβλημα προκύπτει από την ανεξέλεγκτη έκπλυση των οχημάτων μεταφοράς και των αντλιών τροφοδοσίας επί τόπου του έργου, γεγονός στο οποίο δεν έχει δοθεί η αναγκαία σημασία στη χώρα μας, καθώς και από την ύπαρξη εκατοντάδων πολύ μικρών μονάδων οι οποίες εξυπηρετούν απομακρυσμένες περιοχές (πχ. νησιά) και δεν διαθέτουν συστήματα ανακύκλωσης.

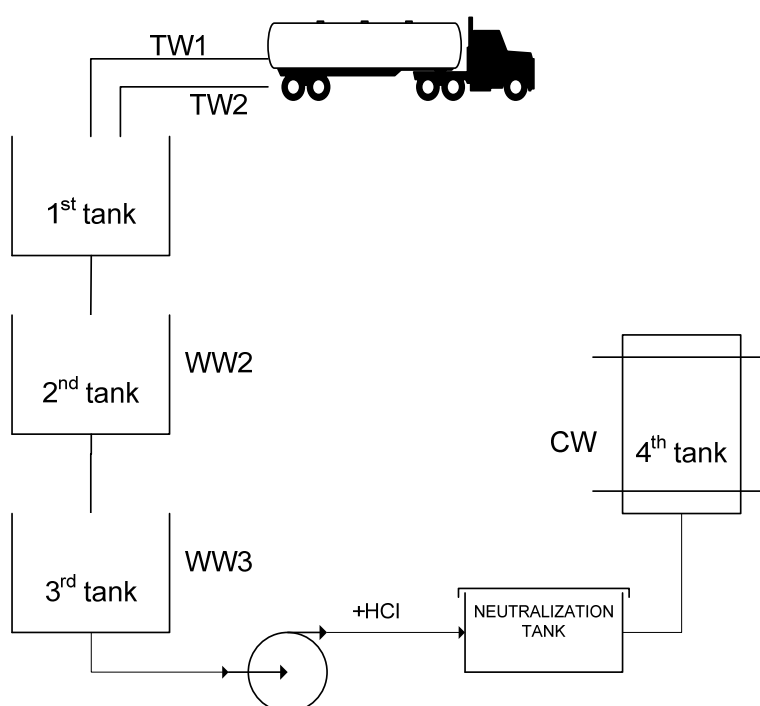
Μια συνήθης εγκατάσταση ανακύκλωσης νερού, σε μια Ελληνική μονάδα περιγράφεται παρακάτω και απεικονίζεται σχηματικά στην εικόνα 4.

Η διαδικασία ακολουθεί συνήθως πέντε (5) στάδια:

1. Τα οχήματα μεταφοράς ξεπλένονται 2 φορές.
2. Το νερό έκπλυσης μεταφέρεται σε μια δεξαμενή (την πρώτη από ένα σύστημα συνήθως τριών δεξαμενών) για να ηρεμήσει.
3. Το νερό από την πρώτη δεξαμενή μπορεί να υπερχειλίζει σε μια δεύτερη και εν συνεχεία σε μια τρίτη δεξαμενή. Με τη διαδικασία αυτή, από κάποια χρονική στιγμή και έπειτα η πρώτη δεξαμενή περιέχει μόνο τσιμεντολάσπη (λούμνη).

4. Το νερό από την τρίτη δεξαμενή μεταφέρεται με τη βοήθεια αντλίας σε μια τέταρτη δεξαμενή όπου του γίνεται εξουδετέρωση με την προσθήκη υδροχλωρικού οξέως (HCl_{conc}), με σκοπό τη μείωση του pH (περίπου μέχρι 7). Η διαδικασία αυτή επιβάλλεται από το Ελληνικό Πρότυπο, το οποίο προβλέπει ότι το νερό που χρησιμοποιείται ως νερό ανάμιξης στην παραγωγή έτοιμου σκυροδέματος πρέπει να έχει pH μεταξύ 6-9.

5. Το νερό μετά την εξουδετέρωση χρησιμοποιείται ως νερό ανάμιξης στη διαδικασία παραγωγής σε μικρό ποσοστό, περίπου 0-20%, σε συνδυασμό με νερό δικτύου ή νερό άντλησης.



Εικόνα 4. Σύστημα ανακύκλωσης νερού μονάδας παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος

Οι Ευρωπαϊκές μονάδες χρησιμοποιούν παρόμοια συστήματα με αυτό που περιγράφεται πιο πάνω.

Η κύρια διαφορά των ελληνικών με τα ευρωπαϊκά συστήματα ανακύκλωσης είναι το στάδιο της εξουδετέρωσης. Οι ευρωπαϊκές μονάδες, οι οποίες λειτουργούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ευρωπαϊκού προτύπου δεν εντάσσουν το στάδιο της εξουδετέρωσης του ανακυκλωμένου νερού (στάδιο 4) στη διαδικασία. Αυτό συμβαίνει γιατί σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο το pH του νερού ανάμιξης πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο του 4

(≥ 4) αλλά και η περιεκτικότητά του σε Cl^- μικρότερη από 500 ppm (το όριο στο ελληνικό πρότυπο είναι < 1214 ppm)^[13].

Επίδραση από τη χρήση ανακυκλωμένου νερού στην παραγωγή σκυροδέματος.

Στη διεθνή αρθρογραφία, υπάρχουν δεκάδες μελέτες που αφορούν την επίδραση της χρήσης ανακυκλωμένου νερού έκπλυσης στις ιδιότητες του σκυροδέματος το οποίο παράγεται με χρήση του συγκεκριμένου νερού. Τέτοιες μελέτες έχουν γίνει και από το Τμήμα Χημικών Μηχανικών, από το Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου^[13].

Σκοπός αυτών των μελετών είναι να κριθεί κατά πόσο το νερό έκπλυσης επηρεάζει τις βασικές ιδιότητες του έτοιμου σκυροδέματος. Στις μελέτες αυτές μετρώνται, επίσης, διάφορα χημικά χαρακτηριστικά του νερού, για να διαπιστωθεί το κατά πόσο αυτά είναι εντός των ορίων που επιβάλλουν τα διεθνή αλλά και εγχώρια πρότυπα.

Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα από τις διάφορες μελέτες συνοψίζονται ως εξής:

- Η χρήση ανακυκλωμένου νερού, μειώνει ελαφρώς την εργασιμότητα του σκυροδέματος, κάτι που μπορεί να διορθωθεί με τη χρήση πρόσμικτων.
- Οι θλιπτικές αντοχές που αναπτύσσονται μετά πάροδο 28 ημερών δεν υπολείπονται περισσότερο από 4-5%, των αντοχών που αναπτύσσονται σε σκυρόδεμα που παράχθηκε με χρήση πόσιμου νερού (τόσο το ευρωπαϊκό όσο και το ελληνικό πρότυπο επιτρέπουν μια διαφορά της τάξης του 10%).
- Η χρήση ανακυκλωμένου νερού, μειώνει την απορρόφηση του νερού από τους τριχοειδείς πόρους του σκληρυμένου σκυροδέματος, βελτιώνοντας την ανθεκτικότητά του.
- Η ποιότητα του σκυροδέματος δεν επηρεάζεται από την τιμή του pH του νερού ανάμιξης.
- Στην περίπτωση που η νομοθεσία επιβάλλει εξουδετέρωση του νερού με HCl_{conc} , η πρακτική αυτή οδηγεί στην ανάπτυξη μεγαλύτερων αντοχών. Το

πλεονέκτημα όμως αυτό χάνεται εφόσον το ποσοστό χρήσης του ανακυκλωμένου νερού στην παραγωγή είναι πολύ μικρό (0-20%).

Καταληκτικά μπορεί να ειπωθεί ότι η οποιαδήποτε δυσπιστία στη χρήση νερού ανακύκλωσης για την παραγωγή νωπού έτοιμου σκυροδέματος, δε μπορεί να στοιχειοθετηθεί, πόσο δε μάλλον αν λάβουμε υπόψη και τα περιβαλλοντικά οφέλη που αποφέρει η χρήση νερού ανακύκλωσης^{[8],[9],[10],[11],[12]}.-

Επεξεργασία και Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων

Η έρευνα που διεξήχθη αφορούσε α) την αποστολή ερωτηματολογίων σε ευρωπαϊκές και ελληνικές μονάδες έτοιμου σκυροδέματος, καθώς και τη στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων και β) στατιστική επεξεργασία που έγινε σε αναλύσεις δειγμάτων νερού από διάφορες ελληνικές μονάδες. Τα δείγματα νερών και οι αναλύσεις αυτών, έγιναν στο εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας.

Τα ερωτηματολόγια, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της έρευνας παρουσιάζονται παρακάτω. Η έρευνα αυτή παρουσιάστηκε επίσης και στο συνέδριο “Third International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering”, Βιέννη 2012.

Παρουσίαση Ερωτηματολογίου

Κύριος σκοπός του ερωτηματολογίου ήταν η καταγραφή του ποσοστού των ευρωπαϊκών και ελληνικών μονάδων έτοιμου σκυροδέματος που έχουν σύστημα ανακύκλωσης νερού και κατά πόσο γίνεται χρήση του νερού αυτού στην παραγωγή νέου σκυροδέματος.

Η αποστολή τους έγινε σε ηλεκτρονική μορφή (e-mail), στις περισσότερες εταιρείες. Αναρτήθηκαν επίσης σε ιστοσελίδα (www.sludgewater.speedsurvey.com), στην οποία οι ενδιαφερόμενοι μπορούσαν να απαντήσουν και τα αποτελέσματα της έρευνας καταγράφονταν αυτόματα. Στις ελληνικές μονάδες τα ερωτηματολόγια στάλθηκαν με τηλεομοιοτυπία (fax) καθώς πάρα πολλά εργοστάσια δεν διέθεταν υπηρεσίες internet.

Το ερωτηματολόγιο δημιουργήθηκε υπό τη σύνθετη μορφή των ερωτήσεων πολλαπλών απαντήσεων καθώς και ερωτήσεων ανάπτυξης θέματος. Συνολικά περιείχε 15 ερωτήσεις. Η δομή του ήταν τέτοια ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για 2 βασικά ερωτήματα:

1. Αν η μονάδα διαθέτει σύστημα ανακύκλωσης νερού.
2. Αν το νερό χρησιμοποιείται απευθείας στην παραγωγή ή μετά από επεξεργασία,

αλλά και για επιμέρους ζητήματα όπως το είδος των αδρανών που χρησιμοποιούνται, με σκοπό να αποκτηθεί μια πλήρης εικόνα του τρόπου λειτουργίας μιας μονάδας παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος.

Οι πρώτες δύο ερωτήσεις αφορούν στον προσδιορισμό της μονάδας (έτοιμου, προκατασκευασμένου σκυροδέματος ή άλλου τύπου) και τη δυναμικότητά της. Στις ερωτήσεις 3,4 και 5 ζητείται να προσδιοριστεί η μέση μηνιαία κατανάλωση νερού, το κόστος αυτής και η κύρια πηγή από την οποία προέρχεται το νερό. Σκοπός των ερωτήσεων αυτών ήταν να αναδειχθεί η μεγάλη ποσότητα νερού που χρειάζεται μια μονάδα που παρασκευάζει έτοιμο σκυρόδεμα, καθώς και η επιβάρυνση που δέχεται το οικοσύστημα από την άντληση τέτοιων ποσοτήτων νερού. Οι ερωτήσεις 6,7,8 και 9 εστιάζουν στην παρουσία ή μη ενός συστήματος ανακύκλωσης στη μονάδα, στο αν το νερό χρησιμοποιείται απ' ευθείας για νέα παραγωγή ή αν του γίνεται κάποια πρότερη επεξεργασία και στο αν γίνεται χρήση του ανακυκλωμένου νερού για άλλο σκοπό εκτός από την παραγωγή. Συγκεκριμένα στην ερώτηση 8 ζητείται να γίνει μια περιγραφή του συστήματος ανακύκλωσης. Οι τέσσερις αυτές ερωτήσεις αποτελούν το βασικό «κεφάλαιο» που εξετάζεται σε αυτή τη Στατιστική Μελέτη – την ανακύκλωση του νερού και τη χρήση του στην παραγωγή σκυροδέματος-. Με τη 10^η ερώτηση προσδιορίζεται ο τύπος των αδρανών που χρησιμοποιεί η μονάδα. Ο τύπος των αδρανών παίζει ρόλο στον καθορισμό των χημικών χαρακτηριστικών του νερού καθώς επίσης και στην ποσότητα στερεών που αυτό θα περιέχει. Οι ερωτήσεις 11 και 12 αφορούν στην επαναχρησιμοποίηση της τσιμεντολάσπης (λούμης) και του επιστρεφόμενου σκυροδέματος. Οι ερωτήσεις αυτές έχουν αρκετά μεγάλη σημασία αφού η χρήση της τσιμεντολάσπης και του επιστρεφόμενου σκυροδέματος εντάσσεται στα πλαίσια μιας γενικής περιβαλλοντικής πρακτικής, γεγονός που θα πρέπει να αναδεχθεί. Στη συνέχεια, στην ερώτηση 13 ζητείται να αναφερθούν τυχόν παραπροϊόντα που παράγονται στη μονάδα με σκοπό να αναπτυχθεί μια γενική εικόνα των δραστηριοτήτων της. Οι ερωτήσεις 14 και 15 αφορούν το πρότυπο στο οποίο συμμορφώνεται η μονάδα και τη χώρα στην οποία είναι εγκατεστημένη. Σκοπός είναι να αναδειχθεί το γεγονός ότι όλες οι ευρωπαϊκές μονάδες ακολουθούν το ευρωπαϊκό πρότυπο σε αντίθεση με τις ελληνικές που εφαρμόζουν την

ελληνική νομοθεσία. Με τον τρόπο αυτό τονίζεται η διαφοροποίηση των ελληνικών μονάδων στον τρόπο ανακύκλωσης του νερού.

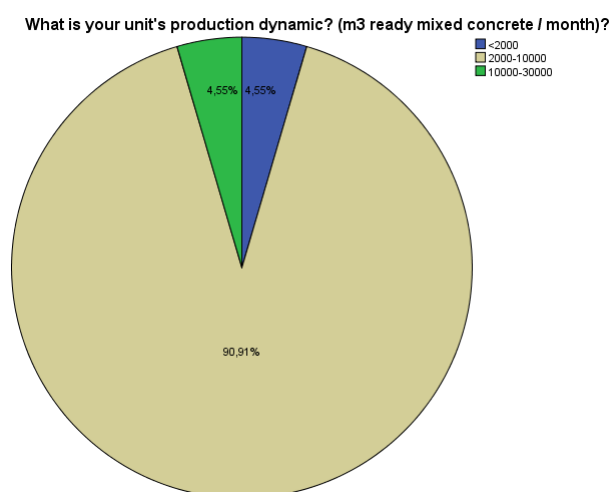
Τα ερωτηματολόγια στην Ελληνική και Αγγλική Γλώσσα παρατίθενται αυτούσια στο Παράρτημα Α.

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που αναφέρεται στην συνέχεια, βασίσθηκε στο SPSS (Statistical Packages for the Social Sciences) που είναι ένα στατιστικό πακέτο ανάλυσης δεδομένων το οποίο προσφέρει δυνατότητες για δημιουργία αναφορών, ανάλυση και μοντελοποίηση δεδομένων καθώς και για γραφική παράσταση τους. Το συγκεκριμένο λογισμικό στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να α) δημιουργηθούν συγκεντρωτικές γραφικές παραστάσεις των δεδομένων^[20] και β) δημιουργηθούν πίνακες περιγραφικής στατιστικής οι οποίοι παρουσιάζονται στο Παράρτημα Γ.

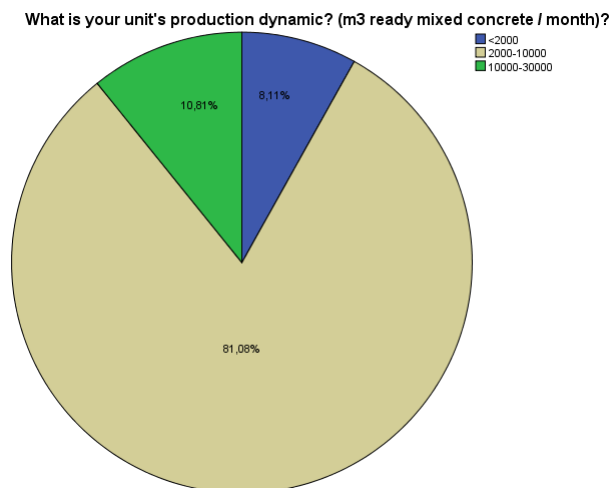
Στατιστική μελέτη για την ανακύκλωση του νερού σε μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος

Έγινε σύγκριση μεταξύ ευρωπαϊκών και Ελληνικών μονάδων παρασκευής έτοιμου σκυροδέματος.

Η στατιστική μελέτη έγινε υπό την μορφή ερωτηματολογίου, το οποίο στάλθηκε σε ευρωπαϊκές και ελληνικές μονάδες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω, υπό την μορφή διαγραμμάτων.



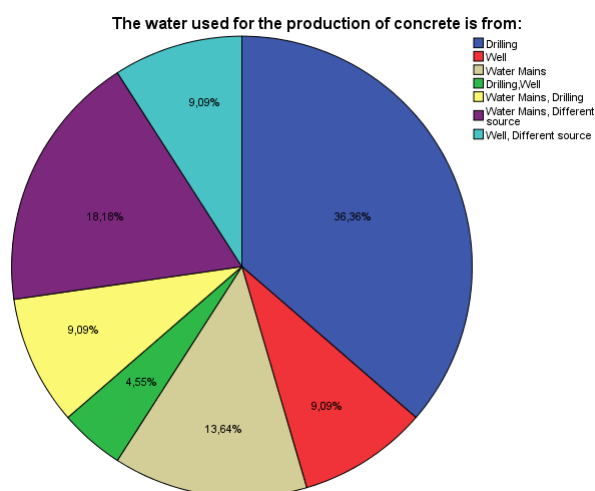
Εικόνα 4^α Δυναμικότητα ευρωπαϊκών μονάδων (m³ έτοιμου σκυροδέματος / μήνα)



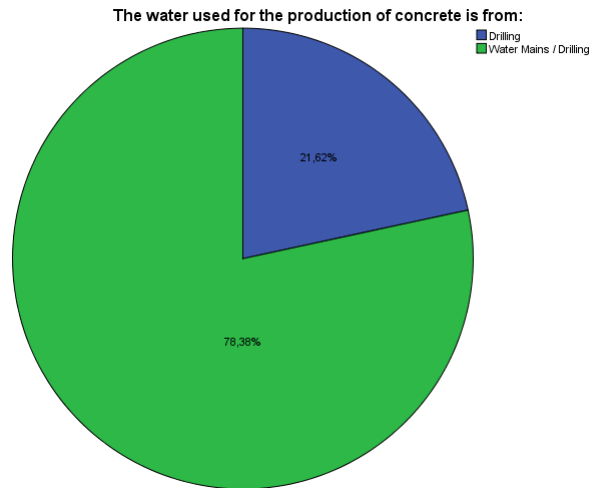
Εικόνα 4^β Δυναμικότητα ελληνικών μονάδων (m³ έτοιμου σκυροδέματος / μήνα)

Η δυναμικότητα παραγωγής, των περισσότερων ευρωπαϊκών αλλά και ελληνικών μονάδων (90,9% στην Ευρώπη και 81% στην Ελλάδα), είναι 2.000-10.000 m³ έτοιμου σκυροδέματος το μήνα. Βασιζόμενοι στο γεγονός ότι χρειάζονται 1.600 λίτρα νερού για την παραγωγή 9 m³ σκυροδέματος, μπορούμε να υπολογίσουμε ότι δαπανώνται περίπου 1.000 m³ νερού τον μήνα σε μία μονάδα μεσαίας δυναμικότητας.

Ο υπολογισμός αυτός, συνάδει και με τις απαντήσεις των ερωτηθέντων.

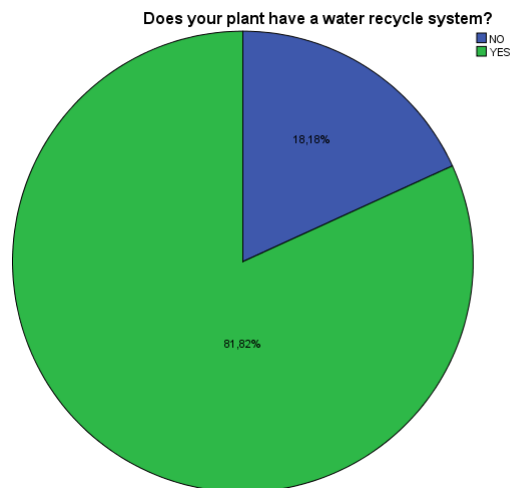


Εικόνα 5^α ευρωπαϊκές απαντήσεις στο ερώτημα «από πού προέρχεται το νερό που χρησιμοποιείται;».

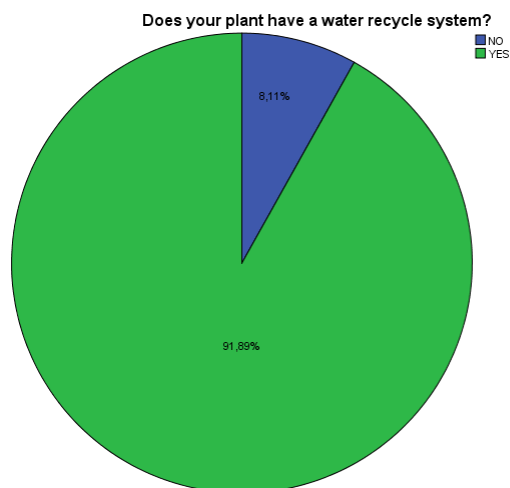


Εικόνα 5^β ελληνικές απαντήσεις στο ερώτημα «από πού προέρχεται το νερό που χρησιμοποιείτε;» .

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα, στην Ευρώπη, το νερό προέρχεται, από διάφορες πηγές, όπως δίκτυα ύδρευσης, πηγάδια, γεωτρήσεις, φυσικές πηγές κ.τ.λ. σε, αντιδιαστολή με την Ελλάδα, όπου το νερό που χρησιμοποιείτε είναι σε μεγάλο ποσοστό (78,4%) συνδυασμός νερού από δίκτυα ύδρευσης και γεωτρήσεων.



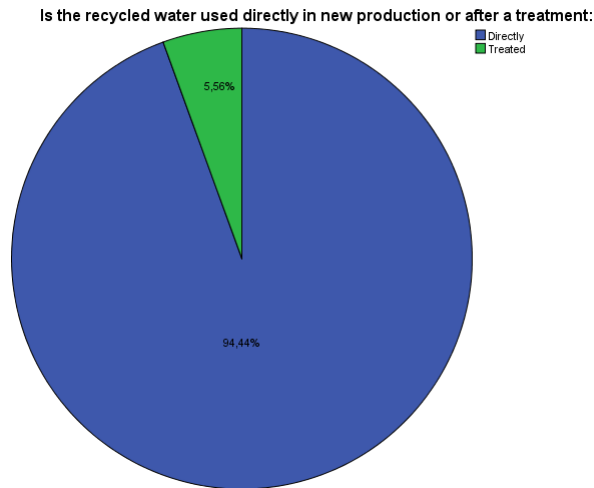
Εικόνα 6^α Ευρωπαϊκές απαντήσεις στο ερώτημα «Διαθέτει η μονάδα σύστημα ανακύκλωσης νερού;»:



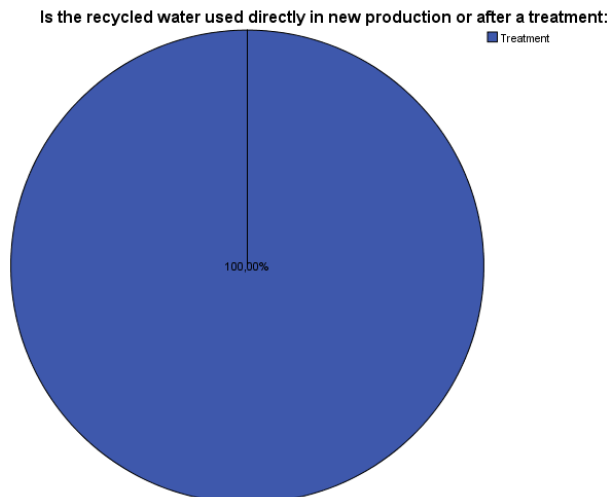
Εικόνα 6^β Ελληνικές απαντήσεις στο ερώτημα «Διαθέτει η μονάδα σύστημα ανακύκλωσης νερού;»:

Η πλειονότητα των ευρωπαϊκών καθώς και των ελληνικών μονάδων, που πήραν μέρος στην έρευνα απάντησαν ότι, διαθέτουν σύστημα ανακύκλωσης νερού. Παρόλο που από τα διαγράμματα φαίνεται, ότι στην Ελλάδα το ποσοστό των μονάδων που διαθέτουν σύστημα ανακύκλωσης σε σχέση με την Ευρώπη είναι μεγαλύτερο, θεωρούμε ότι το αποτέλεσμα δεν είναι ακριβές διότι η Ελλάδα διαθέτει πάρα πολλές μικρές μονάδες, οι πλείστες από τις οποίες δεν ανταποκρίθηκαν στην έρευνα.

Το πιο κοινό σύστημα ανακύκλωσης που χρησιμοποιείτε από Ευρωπαϊκές χώρες είναι το σύστημα το οποίο ονομάζεται «Screw Separator» όπου ο διαχωρισμός του νερού από τα στερεά γίνεται με τη διαδικασία της καθίζησης. Στην Ελλάδα οι μονάδες χρησιμοποιούν δεξαμενές υπερχειλίσης. Η «βαρέλα» από τις μπετονιέρες ξεπλένεται δύο φορές και το νερό μεταφέρεται στην πρώτη δεξαμενή. Το μίγμα ηρεμεί και τα στερεά κατακάθονται στον πυθμένα της δεξαμενής. Όταν η πρώτη δεξαμενή γεμίσει, το μίγμα υπερχειλίζει στη δεύτερη και εν συνεχεία σε τρίτη δεξαμενή.



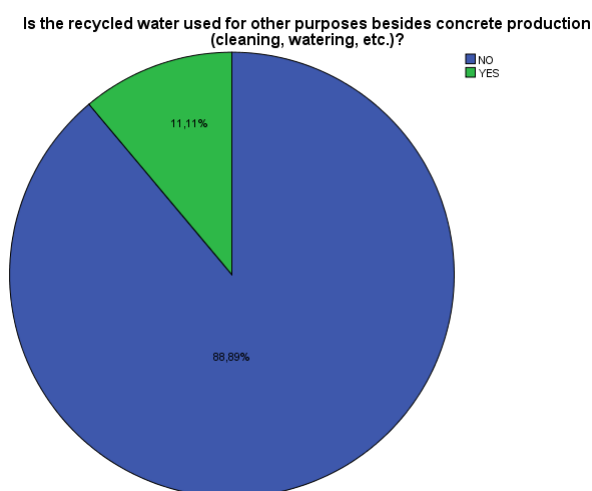
Εικόνα 7^α Ευρωπαϊκές απαντήσεις στο ερώτημα «Το ανακυκλωμένο νερό χρησιμοποιείται απευθείας στην παραγωγή ή του γίνεται κάποια πρότερη επεξεργασία;»



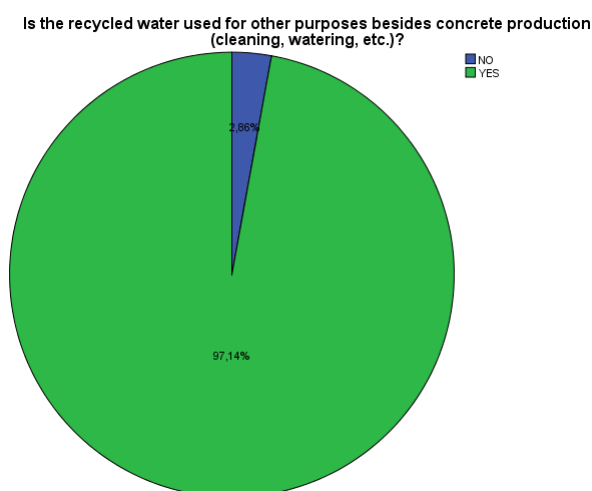
Εικόνα 7^β Ελληνικές απαντήσεις στο ερώτημα «Το ανακυκλωμένο νερό χρησιμοποιείται απευθείας στην παραγωγή ή του γίνεται κάποια πρότερη επεξεργασία;»

Στην Ευρώπη το ανακυκλωμένο νερό χρησιμοποιείται απευθείας στην παραγωγή νέου σκυροδέματος από το 100% σχεδόν των παραγωγών. Στην Ελλάδα από την άλλη, γίνεται πάντα επεξεργασία του, πριν από οποιαδήποτε χρήση. Το νερό αντλείται από την τρίτη δεξαμενή του συστήματος ανακύκλωσης σε μια τέταρτη δεξαμενή στην οποία προστίθεται υδροχλωρικό οξύ (HCl_{conc}), με σκοπό να μειωθεί το pH του σε περίπου 7 (ουδέτερο). Το νερό αυτό, αναμιγνύεται στην συνέχεια, με μη επεξεργασμένο νερό δικτύου ύδρευσης ή γεώτρησης, (εικόνα 2^β) σε ποσοστό 0 έως 20% με σκοπό την

χρήση του σε καινούρια παραγωγή. Η ελληνική αυτή πρακτική επιβάλλεται από το ελληνικό πρότυπο (ΕΛΟΤ 345).



Εικόνα 8^α Ευρωπαϊκές απαντήσεις στην ερώτηση «γίνετε χρήση του ανακυκλωμένου νερού για άλλο σκοπό (πότισμα, καθάρισμα, κ.λπ.);»



Εικόνα 8^β Ελληνικές απαντήσεις στην ερώτηση «γίνετε χρήση του ανακυκλωμένου νερού για άλλο σκοπό (πότισμα, καθάρισμα, κ.λπ.);»

Στην Ευρώπη το ανακυκλωμένο νερό, συνήθως δεν χρησιμοποιείτε για άλλο σκοπό εκτός της παραγωγής. Σε αντίθεση με την Ελλάδα, στην οποία χρησιμοποιείτε ευρέως, ακόμα και για πότισμα, αφού τα επίπεδα του pH είναι σημαντικά μειωμένα. Παρόλα αυτά για την ασφαλή χρήση θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι, το νερό είναι όντως ουδέτερο για την αποφυγή μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα.

Όλοι οι ερωτηθέντες απάντησαν ότι η λούμη (sludge) που παραμένει στον πυθμένα των δεξαμενών απορρίπτεται. Αυτό, αυτόματα μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όλες οι βιομηχανίες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος, που συμμετείχαν στην έρευνα, υποτιμούν το υλικό αυτό όπου προέρχεται από την διαδικασία ανακύκλωσης νερού, το οποίο θα μπορούσε ενδεχομένως να είναι κατάλληλο για άλλες εφαρμογές. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι, η μέση παραγόμενη ποσότητα λούμης σε μία μονάδα μέσης δυναμικότητας είναι 200 τόνοι τον χρόνο.

Γενικά οι απαντήσεις που λήφθηκαν προέρχονταν όλες από μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος που στην πλειοψηφία τους (σε ποσοστό 90,9% στην Ευρώπη και 80,08% στην Ελλάδα) έχουν δυναμικότητα παραγωγής 2000-10000m³ έτοιμου σκυροδέματος το μήνα. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι στην ερώτηση «Ποια είναι η μέση κατανάλωση νερού από τη μονάδα ανά μήνα και ποιο το κόστος αυτής;», οι ακριβείς απαντήσεις ήταν ελάχιστες και δε μπορούσαν να εξαχθούν στατιστικά αποτελέσματα. Εδώ συμπεραίνεται ότι στις πλείστες περιπτώσεις δεν παρακολουθείται η ποσότητα του νερού που καταναλώνεται. Οι περισσότερες (54,5% στην Ευρώπη και 75,68% στην Ελλάδα) μονάδες χρησιμοποιούν μίγμα αδρανών - ασβεστολιθικά (θραυστά αδρανή λατομείου), δολομιτικά και πυριτικά (ποταμίσια αδρανή) – στην παραγωγή. Επίσης είναι εμφανές ότι στην Ευρώπη σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό (72,73%), το επιστρεφόμενο σκυρόδεμα δεν ξαναχρησιμοποιείται, σε αντίθεση με την Ελλάδα που γίνεται συνήθως (89,19%) χρήση του σε νέα παραγωγή νωπού σκυροδέματος. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι όλες οι ευρωπαϊκές μονάδες ακολουθούν τις προδιαγραφές του ευρωπαϊκού προτύπου (EN1008). Στην Ελλάδα οι μονάδες συμμορφώνονται κατά αποκλειστικότητα με την ελληνική νομοθεσία (ΕΛΟΤ 345).

Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου δείχνουν ότι στην Ευρώπη είναι κοινή πρακτική η ανακύκλωση του νερού και η επαναχρησιμοποίηση του στην παραγωγή χωρίς πρότερη επεξεργασία. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός, ότι όλα τα ευρωπαϊκά εργοστάσια λειτουργούν με βάση τις προδιαγραφές του ευρωπαϊκού προτύπου EN 1008 το οποίο επιτρέπει την χρήση αλκαλικού νερού στην παραγωγή σκυροδέματος. Στην αντίθετη όχθη

βρίσκεται η Ελλάδα, όπου όλες οι μονάδες είναι υποχρεωμένες στην επεξεργασία του νερού το οποίο επαναχρησιμοποιείται στην παραγωγή. Ο περιορισμός αυτός όμως που επιβάλλεται από την ελληνική νομοθεσία, δεν εξηγεί το γεγονός ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό του ανακυκλωμένου νερού χρησιμοποιείται για την παραγωγή σκυροδέματος και το μεγαλύτερο ποσοστό αυτού σε περιφερειακές χρήσεις.

Χημικός χαρακτηρισμός δειγμάτων νερού από ελληνικές μονάδες

Τα δείγματα του νερού που χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτή την μελέτη προέρχονται από 11 ελληνικές μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Αρχικής πηγής (δίκτυο ύδρευσης, γεώτρηση)
- Ανακύκλωσης
- Παραγωγής

Ο πλήρης Πίνακας με τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζεται στο Παράρτημα Β.

Οι ελληνικές μονάδες είναι υποχρεωμένες να χρησιμοποιούν ως νερό παραγωγής (μείγμα νερού αρχικής πηγής και ανακύκλωσης) νερό το οποίο πληρεί τις προδιαγραφές του ελληνικού προτύπου, γι' αυτό και συχνά επιβάλλεται η επεξεργασία στο ανακυκλωμένο νερό έτσι ώστε να μην αλλοιώνει τις ιδιότητες του νερού παραγωγής.

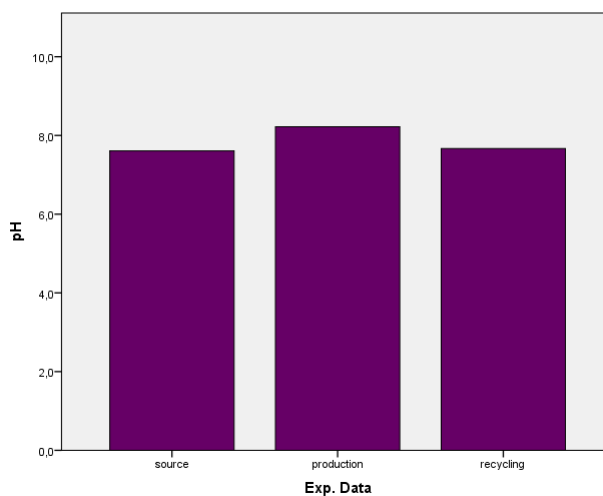
Οι μέθοδοι με τις οποίες μετρήθηκαν τα χημικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων νερού φαίνονται στον πίνακα 7.

| Παράμετρος | Μέθοδος μέτρησης |
|------------------------------------|------------------|
| pH | ISO 10523:2008 |
| TDS | Σταθμικά |
| Cl⁻ | ISO 9297:1985 |
| SO₄⁻² | ISO 2480:1972 |

| | |
|---------------------|----------|
| Οξύτητα | ΕΛΟΤ 345 |
| Αλκαλικότητα | ΕΛΟΤ 345 |

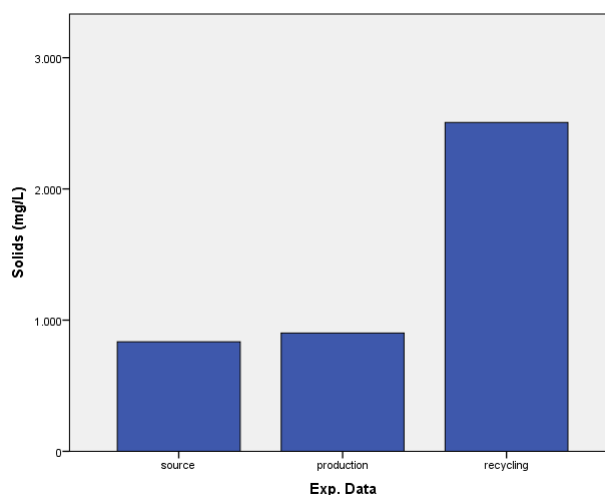
Πίνακας 7. Μέθοδοι μέτρησης των χημικών χαρακτηριστικών δειγμάτων νερού

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυση των μετρήσεων των χημικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων νερού φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



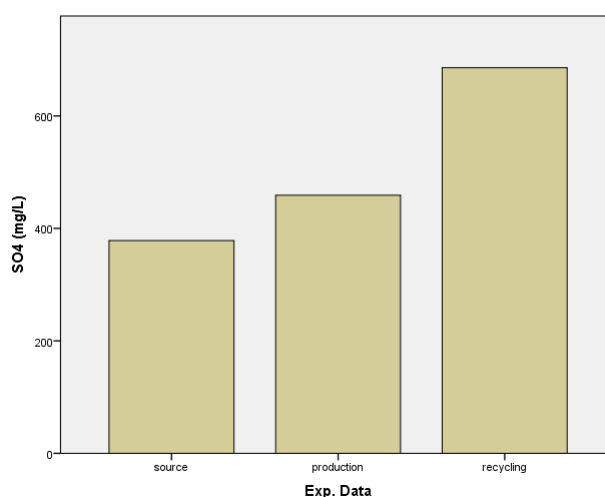
Εικόνα 9 Κατανομή pH στις 3 κατηγορίες δειγμάτων νερού.

Το νερό που προέρχεται από τις 3 κατηγορίες των παραπάνω δειγμάτων, έχει pH εντός των ορίων που καθορίζονται από το ελληνικό πρότυπο. Τα αποτελέσματα αυτά είναι συμβατά με τις παρατηρήσεις του προηγούμενου κεφαλαίου, όπου αναφέρθηκε ότι οι ελληνικές μονάδες επεξεργάζονται το ανακυκλωμένο νερό, έτσι ώστε να μειώσουν το pH του από 12,5 σε 7,5 όπως φαίνεται πιο πάνω.

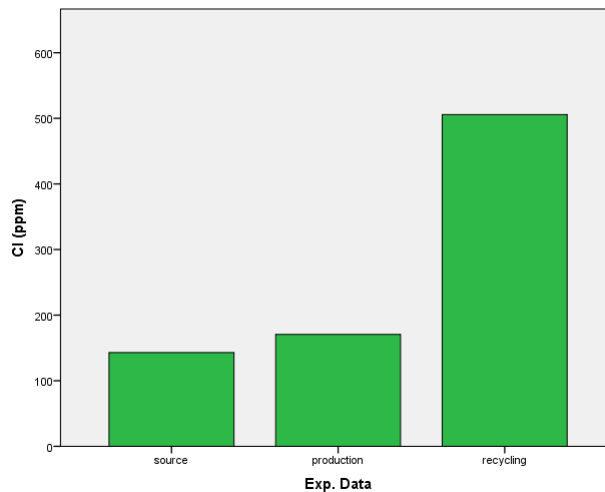


Εικόνα 10 Κατανομή στερεών στις 3 κατηγορίες δειγμάτων νερού.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης σχετικά με την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε στερεά είναι πλήρως αναμενόμενα. Τα δείγματα των νερών «αρχικής πηγής» και «παραγωγής», παρουσιάζουν χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά σε συμφωνία με το ελληνικό πρότυπο. Τα δείγματα νερού «ανακύκλωσης» έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε στερεά, όπως ήταν αναμενόμενο, σε ποσότητα περίπου 2.500ppm και αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το νερό, μετά το πλύσιμο της «βαρέλας», περιέχει ποσότητα στερεών περίπου 10.000 με 15.000ppm και το νούμερο αυτό μειώνεται στα 2.500ppm μετά την καθίζηση στις δεξαμενές.



Εικόνα 11 Κατανομή θειικών ιόντων στις 3 κατηγορίες δειγμάτων νερού.



Εικόνα 12 Κατανομή χλωριόντων στις 3 κατηγορίες δειγμάτων νερού.

Η κατανομή σε θειικά ιόντα και χλωριόντα ακολουθεί την κατανομή των στερεών. Τα δείγματα νερού «αρχικής πηγής» και «παραγωγής», έχουν χαμηλή περιεκτικότητα ιόντων ενώ αυξημένα χλωριόντα παρατηρούνται όπως είναι αναμενόμενο στα δείγματα νερού «ανακύκλωσης» αφού υφίστανται επεξεργασία με HCl_{conc} για εξουδετέρωση έτσι ώστε να πληρούνται οι προδιαγραφές του ελληνικού προτύπου. Εφόσον η ανάλυση έγινε σε δείγματα από διάφορες μονάδες και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν μέσες κατανομές από όλες τις μονάδες, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η αύξηση σε SO_4^{2-} που παρατηρείται στα δείγματα νερού «ανακύκλωσης» οφείλετε στο ότι ορισμένες μονάδες χρησιμοποιούν H_2SO_4 για την εξουδετέρωση.-

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης τα τελικά συμπεράσματα αυτής της έρευνας είναι:

- Οι περισσότερες περιπτώσεις ευρωπαϊκές και ελληνικές μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος διαθέτουν σύστημα ανακύκλωσης νερού.
- Η ανακύκλωση στις ευρωπαϊκές μονάδες γίνεται με βάση το ευρωπαϊκό πρότυπο EN1008 και το νερό χρησιμοποιείται για την παραγωγή νέου σκυροδέματος χωρίς πρότερη επεξεργασία.
- Οι ελληνικές μονάδες ακολουθούν τις προδιαγραφές του ελληνικού προτύπου (ΕΛΟΤ345) σύμφωνα με το οποίο το νερό πρέπει να εξουδετερωθεί πριν χρησιμοποιηθεί ως νερό παραγωγής.
- Οι ελληνικές μονάδες δεν χρησιμοποιούν το επεξεργασμένο νερό μόνο για παραγωγή σκυροδέματος, αντί αυτού, γίνεται χρήση κυρίως για πότισμα και καθαριότητα, εφαρμογές όχι και τόσο ασφαλείς.
- Λόγω της ιδιομορφίας της χώρας μας (με πολλές απομακρυσμένες και δύσκολα προσβάσιμες περιοχές όπως τα εκατοντάδες νησιά της), η Ελλάδα διαθέτει πάρα πολλές μικρές μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος, μικρής δυναμικότητας, οι οποίες συνήθως δε διαθέτουν σύστημα ανακύκλωσης νερού, κυρίως λόγω του ασύμφορου κόστους μιας τέτοιας εγκατάστασης σε σχέση με τον τζίρο της μονάδας.
- Η λούμη που συλλέγεται κατά την διαδικασία ανακύκλωσης απορρίπτεται από όλους.
- Η χημική ανάλυση των δειγμάτων νερού από τις διάφορες μονάδες επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της στατιστικής μελέτης. Το ανακυκλωμένο νερό έχει ουδέτερο pH (περίπου 7,5), σχετικά μειωμένη περιεκτικότητα σε στερεά (2.500 ppm) και αυξημένη περιεκτικότητα σε χλωριόντα ή θειικά ιόντα.

Καταληκτικά, η ανακύκλωση νερού στις μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος, είναι μια συνήθης πρακτική στα ευρωπαϊκά δεδομένα. Το ανακυκλωμένο νερό χρησιμοποιείται απευθείας για την παραγωγή νέου σκυροδέματος. Στην Ελλάδα, ανακύκλωση γίνεται στις περισσότερες μονάδες, κυρίως τις πιο μεγάλες και πάντα συνοδεύεται από το στάδιο της

εξουδετέρωσης του ανακυκλωμένου νερού, αφού, αυτό επιβάλλεται από την ελληνική νομοθεσία. Μετά την εξουδετέρωσή του το νερό χρησιμοποιείται για την παραγωγή νωπού σκυροδέματος σε ανάμιξη με νερό δικτύου ή άντλησης σε πολύ μικρά ποσοστά.

Βασιζόμενοι στη Διεθνή Βιβλιογραφία, καθώς και σε μελέτες που έγιναν τόσο στην Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η παραγωγή σκυροδέματος με ανακυκλωμένο νερό δεν αλλάζει τις βασικές ιδιότητές του, σε μερικές δε περιπτώσεις τις βελτιώνει.

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης μας, είναι πολλά και απορρέουν από αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων του. Η τσιμεντοβιομηχανία και η βιομηχανία παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος έχουν κάνει σημαντικά βήματα προς τη σωστή κατεύθυνση, μειώνοντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη δραστηριότητά τους.

Σήμερα, που η Γη εκπέμπει S.O.S και όλες οι προβλέψεις για τη βιωσιμότητα όλων των κατοίκων της είναι δυσοίωνες οφείλει ο κάθε ένας από εμάς σα μονάδα αλλά και σα σύνολο να συμβάλουμε αποτελεσματικά στην ανατροπή αυτής της πορείας.-

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Neville, A. M., 2000, Properties of Concrete, 4th Edition, Prentice Hall.
2. Neville, A.M, Brooks J.J, 1987, Concrete Technology, 2nd Edition, Prentice Hall.
3. Popovics Sandor, 1992, CONCRETE MATERIALS, Properties, Specifications and Testing, 2nd Edition, NOYES PUBLICATIONS, New Jersey.
4. Τσίμας. Σ. & Τσιβιλής Σ., 2000, Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
5. Δρ. Γ.Κ Παρισάκης, Χημεία και Τεχνολογία Τσιμέντου, 1992, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π, Αθήνα.
6. Ε.Γ Μαρκέτου, Αντοχή Υλικών, τόμος ΙΙ, εκδ. Συμμετρία, Αθήνα 1995.
7. Τσακαλάκης Κώστας, 2010, Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π, Αθήνα.
8. Παναγόπουλος Γεώργιος & Κίρτας Εμμανουήλ, 2005, Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι, Τμήμα Δομικών Έργων, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών.
9. Chatveera B., Lertwattanaruk P., Makul N., Effect of sludge water from Ready-mixed concrete plant on properties and durability of concrete, Science Direct, Cement & Concrete Composites 28 (2006) 441-450.
10. Nan Su, Buquan Miao, Fu Shung Liu, Effect of wash water and underground water on properties of concrete, Cement & Concrete Research 32 (2002) 777-782.

11. Cement Concrete & Aggregates Australia, Use of Recycled water in Concrete Production, Report August 2007.
12. Chatveera B., Lertwattanaruk P., 2009, Use of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture, Journal of Environmental Management.
13. Sealey B.J., Phillips P.S., Hill G.J., 2001, Waste management issues for the UK ready-mixed concrete industry, Resources Conservation & Recycling 32.
14. Tsimas S., Zervaki M., 2011, Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants, Management of Environmental Quality: An International Journal 22, Special Issue: 5th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems.
15. ΕΛΟΤ 345, 1979. Το Ύδωρ Αναμίξεως και Συντηρήσεως Σκυροδέματος, Ελληνικός Οργανισμός Τυποποιήσεως (ΕΛΟΤ), Αθήνα
16. EN 1008, 2002. Mixing water for concrete – Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete, European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
17. ASTM C 1602/C 1602M, 2006. Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete, ASTM International, United States.
18. <http://concretestructures.blogspot.gr/>
19. <http://mycourses.ntua.gr/courses/CIVIL1084/>
20. <http://www.ermco.eu/documents/home.xml?lang=en>
21. <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Ελληνικό Ερωτηματολόγιο

Ανακύκλωση Νερού σε Μονάδες Παραγωγής Έτοιμου Σκυροδέματος

(Μια έρευνα που απευθύνεται σε μονάδες Έτοιμου και Προκατασκευασμένου σκυροδέματος, από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών)

1. Στη μονάδα παράγεται:

- Έτοιμο Σκυρόδεμα
- Προκατασκευασμένο Σκυρόδεμα
- Άλλο (παρακαλώ να διευκρινίσετε):
.....

2. Ποια είναι η δυναμικότητα της μονάδας (m^3 έτοιμου σκυροδέματος / μήνα);

Παρακαλώ επιλέξτε:

- <2000 :
- 2000-10000 :
- 10000-30000:
- 30000-50000 :
- >50000 :

3. Τι ποσότητα νερού καταναλώνεται στη μονάδα (m^3 /μήνα);

Παρακαλώ σημειώστε:

.....

- Δεν γνωρίζω :
- Δεν ελέγχεται :

4. Ποιό είναι το κόστος κατανάλωσης (€/μήνα) νερού;

Παρακαλώ σημειώστε:

Δεν γνωρίζω:

Δεν ελέγχεται:

5. Η μονάδα καταναλώνει νερό:

Δικτύου :

Γεώτρησης :

Πηγής :

Άλλο(παρακαλώ να
διευκρινίσετε) :

6. Διαθέτει η μονάδα σύστημα ανακύκλωσης νερού:

ΝΑΙ :

ΟΧΙ :

7. Το ανακυκλωμένο νερό χρησιμοποιείται απευθείας στην παραγωγή ή του γίνεται κάποια πρότερη επεξεργασία:

Απευθείας :

Επεξεργασία
(παρακαλώ να
διευκρινίσετε) :

8. Παρακαλώ περιγράψτε με συντομία το χρησιμοποιούμενο σύστημα ανακύκλωσης:

.....
.....
.....

9. Γίνεται χρήση του ανακυκλωμένου νερού για άλλο σκοπό (πότισμα, καθάρισμα, κλπ.):

ΝΑΙ (παρακαλώ να
διευκρινίσετε) :

ΟΧΙ

10. Ποιός τύπος αδρανών χρησιμοποιείται;

Ασβεστολιθικά Αδρανή (Θραυστά Αδρανή

Λατομείου) :

Δολομιτικά Αδρανή :

Πυριτικά Αδρανή (Ποταμίσια Αδρανή):

Συνδυασμός:

11. Η λούμη (λάσπη στον πυθμένα των δεξαμενών νερού) αξιοποιείται ή απορρίπτεται?

Απορρίπτεται

Αξιοποιείται (παρακαλώ να

διευκρινίσετε)

12. Γίνεται αξιοποίηση του επιστρεφόμενου σκυροδέματος;

ΝΑΙ :

ΟΧΙ :

13. Τι παραπροϊόντα ή/και απόβλητα προκύπτουν από την παραγωγική διαδικασία;

.....

.....

Αγγλικό Ερωτηματολόγιο

Concrete sludge water recycling

(A survey concerning reclamation methods for Ready mix and Precast concrete Plants conducted by the National Technical University of Athens, School of Chemical Engineers)

1. Are you a:

Ready mix concrete Producer

Precast Concrete Producer

Other (Please specify)

2. What is your unit's production dynamic? (m^3 ready mixed concrete / month)?

Please choose:

<2000

2000-10000

10000-30000

30000-50000

>50000

3. What is your estimation of the monthly average water quantity used (m^3 /month)?

Please Note

Not Known

Not Monitored

4. What is your estimation of the average water consumption cost (€/month)?

Please Note

Not Known

Not Monitored

5. The water used for the production of concrete is from:

Water Mains

Drilling

Well

Different source (please

specify)

6. Does your plant have a water recycle system?

YES

NO

7. Is the recycled water used directly in new production or after a treatment:

Directly :

Treated (please

define) :

8. Please provide a brief description of the water recycling system used:

9. Is the recycled water used for other purposes besides concrete production (cleaning, watering, etc.)?

YES

(please
define)

NO

10. Which type of aggregate is used?

Crushed / Quarry

River Gravel

River Crushed

Combination

Other (please
specify)

11. Is the sludge in the bottom of the water tanks rejected or used?

Rejected

Used

(please
define)

12. Is the returned concrete reused?

NO

YES (please elaborate)

13. What byproducts and/or wastes are produced:

14. Which standard is followed for the concrete mixing water?

Please choose:

EN 1008

ASTM 1602

Other (please

specify)

15. In which country is your plant located?

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

What is your unit's production dynamic? (m3 ready mixed concrete / month)?

| Europe | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|-------------------|-----------|---------|---------------|--------------------|
| <2000 | 1 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| Valid 10000-30000 | 1 | 4,5 | 4,5 | 9,1 |
| 2000-10000 | 20 | 90,9 | 90,9 | 100,0 |
| Total | 22 | 100,0 | 100,0 | |

| Hellas | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|-------------------|-----------|---------|---------------|--------------------|
| <2000 | 3 | 8,1 | 8,1 | 8,1 |
| Valid 10000-30000 | 4 | 10,8 | 10,8 | 18,9 |
| 2000-10000 | 30 | 81,1 | 81,1 | 100,0 |
| Total | 37 | 100,0 | 100,0 | |

The water used for the production of concrete is from:

| Europe | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|----------------------------------|-----------|---------|------------------|--------------------|
| Drilling | 8 | 36,4 | 36,4 | 36,4 |
| Drilling,Well | 1 | 4,5 | 4,5 | 40,9 |
| Water Mains | 3 | 13,6 | 13,6 | 54,5 |
| Water Mains, Different source | 4 | 18,2 | 18,2 | 72,7 |
| Water Mains, Drilling | 2 | 9,1 | 9,1 | 81,8 |
| Well | 2 | 9,1 | 9,1 | 90,9 |
| Well, Different source | 2 | 9,1 | 9,1 | 100,0 |
| Total | 22 | 100,0 | 100,0 | |

| Hellas | Frequenc y | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|------------------------------|---------------|---------|------------------|-----------------------|
| Drilling | 8 | 21,6 | 21,6 | 21,6 |
| Valid Water Mains / Drilling | 29 | 78,4 | 78,4 | 100,0 |
| Total | 37 | 100,0 | 100,0 | |

Does your plant have a water recycle system?

| Europe | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|-----------|-----------|---------|---------------|--------------------|
| NO | 4 | 18,2 | 18,2 | 18,2 |
| Valid YES | 18 | 81,8 | 81,8 | 100,0 |
| Total | 22 | 100,0 | 100,0 | |

| Hellas | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|-----------|-----------|---------|---------------|--------------------|
| NO | 3 | 8,1 | 8,1 | 8,1 |
| Valid YES | 34 | 91,9 | 91,9 | 100,0 |
| Total | 37 | 100,0 | 100,0 | |

Which type of aggregate is used?

| Europe | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|-----------------------|-----------|---------|---------------|--------------------|
| Combination | 12 | 54,5 | 54,5 | 54,5 |
| Combination, Other | 1 | 4,5 | 4,5 | 59,1 |
| Crushed / Quarry | 4 | 18,2 | 18,2 | 77,3 |
| Other | 2 | 9,1 | 9,1 | 86,4 |
| River Crushed | 1 | 4,5 | 4,5 | 90,9 |
| River Gravel | 2 | 9,1 | 9,1 | 100,0 |
| Total | 22 | 100,0 | 100,0 | |

| Hellas | Frequency | Percent | Valid Percent | Cumulative Percent |
|--|-----------|---------|---------------|--------------------|
| Crushed/Quarry | 8 | 21,6 | 21,6 | 21,6 |
| Crushed/Quarry / Combination | 28 | 75,7 | 75,7 | 97,3 |
| Crushed/Quarry / River crushed / Combination | 1 | 2,7 | 2,7 | 100,0 |
| Total | 37 | 100,0 | 100,0 | |