

## Το Αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα στην Προκατασκευή. Η τεχνολογία του και οι εφαρμογές του.

**Αθανάσιος Ν. Απέργης**

Διπλ.Πολ.Μηχ/κος ΕΜΠ / Τεχνικός Σύμβουλος Προκατασκευής  
 email: [aperthan@gmail.com](mailto:aperthan@gmail.com)

### 1. Εισαγωγή.:

Οι απαιτήσεις τα τελευταία χρόνια από κορυφαίους αρχιτέκτονες για αισθητική εμφάνιση στη μορφή των κτιρίων, και όχι μόνον, δημιούργησε τεχνολογία, τέτοια ώστε το σκυρόδεμα να ανταποκρίνεται μορφολογικά και αισθητικά σε αυτές τις απαιτήσεις. Ήδη από την δεκαετία του 70 πρωτοποριακοί Αρχιτέκτονες σχεδιάζουν προκατασκευασμένες κατασκευές με επιφάνειες εμφανούς και εγχρώμου σκυροδέματος. Η βιομηχανοποιημένη δόμηση δηλαδή η ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ εξασφαλίζει την ποιότητα του σκυροδέματος, την διαχρονικότητα του ανάγλυφου και του χρώματος της επιφάνειάς του, καθώς και τον ασφαλή τρόπο ανάρτησης των τοιχίων ενώ το κόστος των προκατασκευασμένων στοιχείων λόγω βιομηχανικής παραγωγής είναι ανταγωνιστικό.

Το «Αρχιτεκτονικό Σκυρόδεμα», όρος που επικράτησε για το εμφανές, έγχρωμο και ανάγλυφο σκυρόδεμα, βρήκε διεθνώς μεγάλη εφαρμογή ιδιαίτερα στις προκατασκευασμένες προσόψεις κτιρίων. (Σχ. 1.)

Αρκετά έργα με αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα έχουν κατασκευαστεί τα τελευταία χρόνια και στην Ελλάδα, παρά τις αντίξοες συνθήκες της οικονομικής κρίσης και τον βαθύ συντηρητισμό που επικρατεί στον χώρο της οικοδομής. (Σχ.2)



Σχ.1. Wolfsburg Science Center  
 Zaha Hadid



Σχ. 2. Νέο Μουσείο Ακρόπολης Αθηνών  
 B. Tschoumi, M. Φωτιάδης

### 2. Οι αρχιτεκτονικές απαιτήσεις και η ανταπόκριση από την Βιομηχανία της Προκατασκευής.

Η Προκατασκευή σαν βιομηχανική μέθοδος παραγωγής εξασφαλίζει τις προαπαιτούμενες τεχνικές δεσμεύσεις και παραμέτρους του Αρχιτεκτονικού σκυροδέματος με τους εξής τρόπους:

### 2.1. Σχήμα και μέγεθος. Η παραγωγή «Επί Μέτρω».

Δεδομένου ότι τα επί μέρους προκατασκευασμένα στοιχεία δεν είναι τυποποιημένα, και για να μη χαθεί το πλεονέκτημα της επαναληψιμότητας της προκατασκευής εξελίχθηκε η βιομηχανική παραγωγή «Επί Μέτρω». Η απλούστερη μέθοδος είναι η χρήση μετακινούμενων πλαισίων σε υπάρχοντες σιδηρότυπους. Η εξασφάλιση του αμετακίνητου των πλαισίων επί των σιδηροτύπων κατά τη φάση της σκυροδέτησης και της δόνησης πραγματοποιείται με ειδικούς μαγνήτες. (Σχ.3.) Για παραγωγή μεγάλου αριθμού στοιχείων υπάρχει η δυνατότητα βιομηχανικής ρομποτικής. (Σχ.4)



Σχ.3. Παραγωγή «Επί μέτρω»



Σχ.4. Εξάρτημα ρομποτικής παραγωγής

### 2.2. Η τεχνολογία σκυροδέματος και οι νέες μέθοδοι παραγωγής

Η παραγωγή του Αρχιτεκτονικού σκυροδέματος προϋποθέτει σχολαστικές διαδικασίες σε όλες τις επί μέρους φάσεις της παραγωγής, καθώς και στην αποθήκευση, στη μεταφορά και στη συναρμολόγηση των προκατασκευασμένων στοιχείων. Όλες οι διαδικασίες πρέπει να παρακολουθούνται και να ελέγχονται από ένα εγκεκριμένο σύστημα ποιότητας. Π.χ. (ISO - 9000). Απαιτείται επίσης κατάλληλος διαπιστευμένος και διακριβωμένος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός στο εργοστασίου παραγωγής, καθώς και διαπιστευμένο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου.

Τα υλικά του σκυροδέματος και τα πρόσθετα πρέπει να έχουν σήμανση CE. Η δε παραγωγή του σκυροδέματος να υπάγεται στους ισχύοντες Κανονισμούς και στα Πρότυπα π.χ.ΕΛΟΤ EN 206-1, ΚΤΣ-2016 κλπ.

Οι ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν οι επιφάνειες των προκατασκευασμένων στοιχείων για να θεωρηθεί ότι το σκυρόδεμα είναι εμφανές, είναι οι εξής:

- Υφή και ανοχές στις επιφάνειες των στοιχείων βάσει της προδιαγραφής
- Χαμηλό ποσοστό επιφανειακών κενών. Μέγιστη αναλογία φυσαλίδων της τάξης 0,3 - 0.8% της εκάστοτε ελεγχόμενης επιφάνειας (Σχ.5)
- Μικρές διαστάσεις φυσαλίδων ( $\Phi < 3 \text{ mm}$  ή όπως ορίζει η προδιαγραφή)
- Ομαλή υφή σκυροδέματος
- Ομοιόμορφη εμφάνιση (Σχ.6)



Σχ. 5. Μεγάλο ποσοστό επιφανειακών κενών.



Σχ. 6. Διαφορά αποχρώσεων λόγω εσφαλμένου αποκαλουπωτικού υλικού.

Ειδικώς για το αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα απαιτούνται ιδιαίτερες επιδόσεις όσον αφορά τα τελικά χαρακτηριστικά του. Για την αποφυγή διακυμάνσεων της απόχρωσης εντός των καθορισμένων ορίων, παίζουν σημαντικό ρόλο τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και οι λοιποί παράμετροι::

- Τύπος και χρώμα του τσιμέντου. Η δυνατόν από την ίδια παρτίδα παραγωγής
- Ενιαία και πιστοποιημένα Πρόσθετα
- Σταθερά χαρακτηριστικά της άμμου. Προμήθεια από τον ίδιο κομό του λατομείου
- Ελάχιστο ποσοστό των πλακοειδών ή επιμήκων κόκκων αδρανών λόγω των επιπτώσεων που έχουν στην υφή της τελικής επιφάνειας του σκυροδέματος.
- Ενιαίος τρόπος και χρόνος ανάμειξης του σκυροδέματος.
- Σταθερός λόγος νερού / τσιμέντου.
- Ενιαίος τρόπος συμπύκνωσης του σκυροδέματος (Δόνηση, πίεση κλπ).
- Ίδιος χρόνος συμπύκνωσης (δόνησης) σκυροδέματος
- Χρήση ειδικού αποκαλουπωτικού υγρού (Συνιστώνται υδατικά αντικολλητικά γαλακτώματα ή αντίστοιχα ορυκτά έλαια με χαμηλό ιξώδες και με βάση το κερί)
- Η τελική επεξεργασία της επιφάνειας.
- Η συντήρηση του ετοιμού προϊόντος.
- Η ωρίμανση του ετοιμού προϊόντος.
- Ο χώρος και ο τρόπος αποθήκευσης (Μόνιμη σκίαση, όχι ηλιασμός) (Σχ. 7)
- Η επιμελημένη μεταφορά, και η συσκευασία. ( Σχ.8)

Η παραγωγή προκατασκευασμένων στοιχείων με αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα, εκτός από τα ως άνω, προϋποθέτει μεγάλη επιμέλεια και εμπειρία σε ανάλογες κατασκευές. Ενδείκνυται η παραγωγή σειράς δειγμάτων προκατασκευασμένων στοιχείων καθώς και η γραπτή σύμβαση του παραγωγού και του πελάτη για ένα συγκεκριμένο στοιχείο αναφοράς. Στη σύμβαση θα προσδιορίζονται τεχνικοί παράμετροι, όπως η γεωμετρία των στοιχείων, η υφή της επιφάνειας τους, το μέγεθος και το πλήθος των φυσαλίδων ανά μέτρο επιφάνειας κλπ. Απαραίτητη και η αναφορά σε Ευρωπαϊκά Πρότυπα όπως ΕΛΟΤ EN 13670 ή λεπτομερέστερα στο DBV/BDZ-Merkblatt „Sichtbeton“. (Βλ. Παρ. 9) Βάσει του συγκεκριμένου προκατασκευασμένου στοιχείου αναφοράς θα έχουν καταγραφεί όλες οι παράμετροι παραγωγής του, και θα παραχθούν όλα τα υπόλοιπα προκατασκευασμένα στοιχεία.



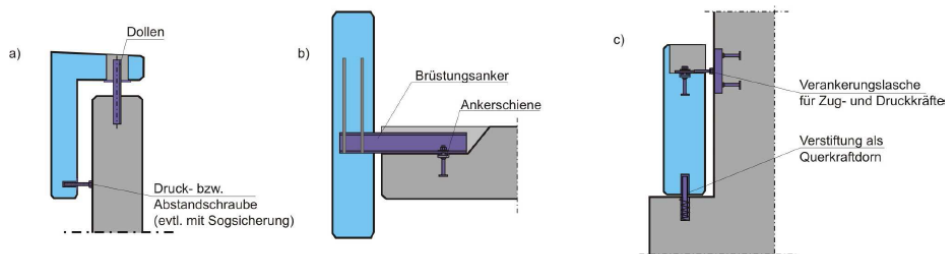
Σχ. 7. & 8. Αποθήκευση και μεταφορά προκατασκευασμένων βάθρων αγαλμάτων Νέου Μουσείου Ακρόπολης (ΠΡΟΕΤ ΑΕ 2008)

### 2.3. Τρόποι στερέωσης προκατασκευασμένων στοιχείων πρόσοψης.

Για τον σχεδιασμό και τον υπολογισμό των προκατασκευασμένων πετασμάτων λαμβάνονται υπ' όψη ότι και στα προκατασκευασμένο κτίρια :

- Στατικός υπολογισμός συναρμολόγησης εν ξηρώ,
- Σύνδεση και αποκατάσταση τελικής στατικής λειτουργίας
- Έλεγχος αλυσιδωτής κατάρρευσης
- Έλεγχος πυρασφάλειας & πυραντοχής
- Μελέτη KENAK (Εμπεριέχει και την θερμομονωτική ικανότητα των στοιχείων)

Κανονισμοί και τεχνικές εγκύκλιοι (Βλ. Παρ. 9) προδιαγράφουν, επισημαίνουν και προτείνουν τους τρόπους ανάρτησης και στερέωσης των προκατασκευασμένων στοιχείων πρόσοψης., έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η στατική επάρκεια, αλλά και η διαχρονικότητα των συνδέσεων. (Σχ.9)



Σχ. 9. Προτεινόμενοι τρόποι στερέωσης προκατασκευασμένων στοιχείων πρόσοψης βάσει της Εγκυκλίου Ν.4. της Ένωσης Γερμανών Προκατασκευαστών. (Merkblatt Nr.4 / Fachvereinigung Deutsche Betonfertigteiltbau)

Οι συνήθεις τρόποι σύνδεσης στην προκατασκευή είναι οι εξής:

- Αρμοί συνδέσεων (Με σκυρόδεμα)
- Κολητές συνδέσεις (Με εποξειδικά υλικά)
- Ηλεκτροσυγκόλληση μεταλλικών πλακών
- Ηλεκτροσυγκόλληση ράβδων οπλισμού

• Έτοιμα εξαρτήματα σύνδεσης . (Ειδικώς για τα προκατασκευασμένα στοιχεία πρόσοψης ενδείκνυται η χρήση έτοιμων τυποποιημένων εξαρτημάτων σύνδεσης)  
 Τα έτοιμα εξαρτήματα συνδέσεων και στερεώσεων κατασκευάζονται από εταιρείες που η παραγωγή τους ελέγχεται από εγκεκριμένο σύστημα ποιότητας. Τα έτοιμα εξαρτήματα πρέπει να έχουν τα εξής χαρακτηριστικά

- Τυποποιημένα εξαρτήματα
- Ποιοτικά αξιόπιστα
- Πιστοποιημένα με σήμανση CE
- Κατοχυρωμένες «ευρεσιτεχνίες» ειδικευμένων εταιρειών (Σχ.10)



Σχ.10. Διάφορα εξαρτήματα στερέωσης στοιχείων πρόσοψης και οι εφαρμογές τους  
 Οι συνήθεις αστοχίες των συνδέσεων επηρεάζουν την εμφάνιση της πρόσοψης των προκατασκευασμένων στοιχείων και δημιουργούν αισθητικά αλλά και στατικά προβλήματα, όπως:

- Κατακορυφότητα
- Επιπεδότητα
- Ανεπαρκή έδραση
- Χαλαρή σύνδεση

Η σφράγιση των αρμών, μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

- Στεγανοποίηση με χρήση στεγανού σκυροδέματος
- Υψηλής ποιότητας εύκαμπτες μεμβράνες στεγανοποίησης (PVC, FPO, κλπ)
- Βαφές πολουρίας, πολουρεθάνης και εποξειδικής βάσης
- Συστήματα ενεμάτωσης
- Ειδικά κονιάματα και επιχρίσματα
- Συνδυασμός των ως άνω !

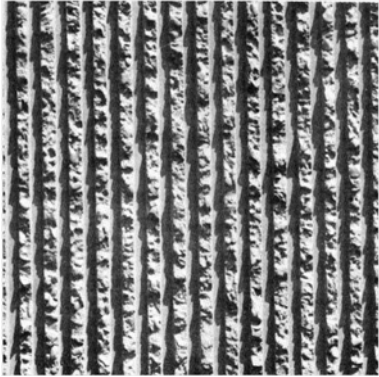
### 3. Εμφανή προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος διαμορφωμένης Επιφάνειας:

Για την δημιουργία ανάγλυφων επιφανειών χρησιμοποιούνται αντίστοιχα διαμορφωτικά καλούπια. Τα διαμορφωτικά καλούπια ποικίλουν με γνώμονα την ποιότητα και την επαναληπτικότητα του παραγομένου προϊόντος. Συνήθως χρησιμοποιούνται σιδηροτύποι με επιφανειακά διαμορφωτικά.

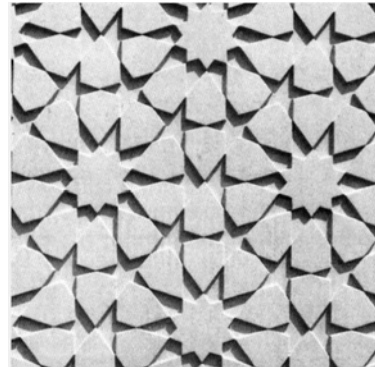
Για την διαμόρφωση της επιφάνειας των προκατασκευασμένων στοιχείων μια αξιόπιστη μέθοδος είναι η χρήση ελαστομερών. Στα ελαστομερή υπάρχουν αποτυπωμένες έτοιμες ανάγλυφες επιφάνειες, κατασκευασμένες από εταιρείες που ειδικεύονται στο είδος. Κολλιούνται στον σιδηρότυπο και αποτυπώνουν το αρνητικό τους μοτίβο στην επιφάνεια του σκυροδέματος. (Σχ.11.& 12) Μπορεί όμως να σχεδιαστεί και το οποιοδήποτε μοναδικό

μοτίβο και να αποτυπωθεί στο ελαστομερές που θα χυτευθεί επί του μοτίβου, και ακολούθως το ελαστομερές να χρησιμοποιηθεί σαν καλούπι. Η μέθοδος αυτή εγγυάται:

- Τέλειο φινίρισμα επιφανειών.
- Αξιοπίστη διαδικασία βιομηχανικής παραγωγής.
- Ενιαία οπτική παρουσία των επί μέρους προκατασκευασμένων στοιχείων
- Αισθητικό αποτέλεσμα.



Σχ.11. Ανάγλυφη επιφάνεια πετάσματος



Σχ.12. Ανάγλυφο μοτίβο πετάσματος.

Άλλες μέθοδοι διαμόρφωσης επιφανειών είναι η Στίλβωση (Σχ. 13 & 14.) και η Απόξεση (Σκαπιτσάρισμα). Για τη μέθοδο της στίλβωσης οι επί μέρους διαδικασίες είναι η εξομάλυνση, η λείανση και ακολούθως η στίλβωση όπου όλες εφαρμόζονται με βιομηχανικό τρόπο. Συνήθως απαιτείται και μια επί πλέον επεξεργασία για τη διαχρονική εξασφάλιση της τελικής επιφάνειας με ειδικά υλικά που έχουν βάση το κερί ή υλικά εφνάλωσης κλπ.



Σχ. 13. Δειγματολόγιο στίλβωμένων προϊόντων



Σχ.14.Βιομηχανική επεξεργασία λείανσης προκατασκευασμένου στοιχείου

Η μέθοδος της απόξεσης όπως και οι παρεμφερείς παλαιότερες μέθοδοι (π.χ. ατριφισιέλ, κλπ), έχουν το μειονέκτημα της μη τυποποιημένης και ακριβής χειρονακτικής εργασίας, καθώς και τις μακρόχρονες επιπτώσεις της γυμνής επιφάνειας του σκυροδέματος στις καιρικές συνθήκες. Τέλος η εξωτερική μορφή των κτιρίων αλλά και η υφή των επιφανειών κάλυψης τους, εκλέγονται βάσει της τρέχουσας αισθητικής. Έτσι έχουμε μορφές και διάρθρωση εξωτερικών επιφανειών βάσει της τρέχουσας μόδας.

Η προκατασκευή έχει να επιδείξει εκτεταμένες μορφολογικές επεμβάσεις σε προσόψεις κτιριακών έργων. Στην Ελλάδα έχουνε παραχθεί και τοποθετηθεί σε αρκετά επώνυμα

κτίρια προκατασκευασμένα στοιχεία όψεως, με αξιόλογες μορφολογικά ανάγλυφες επιφάνειες. (Π.χ. Νέο Μουσείο Ακρόπολης, Εθνικό Θέατρο Αθηνών, Αεροδρόμιο Ελ. Βενιζέλος, Εμπορικά κέντρα, κλπ). (Σχ. 15 & 16)



Σχ.15. Νέο Μουσείο Ακρόπολης Αθηνών.



Σχ.16. Κτίριο γραφείων στην Παιανία,

#### 4. Έγχρωμες επιφάνειες προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος με χρήση εγχρώμων αδρανών.

Σημαντική προϋπόθεση, βιομηχανοποιημένης τεχνολογίας παραγωγής είναι η εκλογή των αδρανών ως προς το χρώμα, και την κοκκομετρία τους γιατί επηρεάζει τον τελικό χρωματισμό της επιφάνειας του σκυροδέματος. Η εκλογή επίσης άσπρου ή κοινού τσιμεντού παίζει σημαντικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα.

Για μεγάλες επιφάνειες π.χ. στοιχεία προσόψεως κτιρίων, όπου τα χρωματικά αποτελέσματα είναι αμέσως συγκρίσιμα, πρέπει όλες οι παράμετροι παραγωγής των προκατασκευασμένων στοιχείων να είναι ενιαίοι, ελέγξιμοι και σταθεροί. Πρέπει να τηρούνται οι παράμετροι που αναφέρονται αναλυτικά στην παράγραφο 2.2

Η τεχνική της απογυμνωμένης ή ξεπλυμένης επιφάνειας σκυροδέματος από τον επιφανειακό τσιμεντοπολτό, ξεκίνησε εργοστασιακά από μικρής επιφάνειας προκατασκευασμένα προϊόντα, όπως π.χ. πλάκες πεζοδρομίου κλπ. Ο όρος «ξεπλυμένος» ίσχυε για μια πρωτόγονη τεχνική, που αμέσως μετά την σκυροδέτηση δηλ. όσο είναι νωπός ακόμη ο επιφανειακός τσιμεντοπολτός απομακρύνεται με νερό υπό πίεση, και μένουν ανάγλυφοι οι κόκκοι των αδρανών.

Η απλή αυτή μέθοδος αντικαταστάθηκε από μια βιομηχανοποιημένη διαδικασία, που αμέσως βρήκε εφαρμογή στη προκατασκευή για μεγάλες επιφάνειες.

Εταιρείες που ειδικεύονται στα χημικά πρόσθετα, διαθέτουν υλικά που όταν επαλειφθούν στον σιδηρότυπο ή κατευθείαν στην επιφάνεια του σκυροδέματος επιβραδύνουν την πήξη του επιφανειακού τσιμεντοπολτού σε ελεγχόμενο βάθος. Έτσι έχουμε δύο εφαρμογές :

- Θετική εφαρμογή : Κατευθείαν στην επιφάνεια του σκυροδέματος:
- Αρνητική εφαρμογή : Επάλειψη στον σιδηρότυπο

Το επιβραδυντικό υλικό επιδρά στον τσιμεντοπολτό επί 60 περίπου λεπτά όσο χρειάζεται η στερεοποίηση του. Το βάθος έκθεσης των αδρανών είναι συνάρτηση του μεγέθους τους και της κοκκομετρίας τους. Το ελεγχόμενο βάθος απογύμνωσης των κόκκων ποικίλει από 0,5 χλστ μέχρι 7.0 χλστ. Οι κόκκοι θα πρέπει να απογυμνώνονται κατά το 1/3 του μεγέθους τους ώστε να μη αποκολλούνται από το προκατασκευασμένο στοιχείο. Ο τσιμεντοπολτός απομακρύνεται με υδροβολή μετά από 24- 72 ώρες, μετά τη σκυροδέτηση του στοιχείου.

Με τα δεδομένα αυτά, μπορεί να προγραμματισθεί η παραγωγή στην προκατασκευή, αφού έχουμε συγκεκριμένες βιομηχανικές παραμέτρους. Η εκλογή των εγχρώμων αδρανών και η επιλεγμένη κοκκομετρία τους δίνει και το τελικό αισθητικό αποτέλεσμα.

Η μέθοδος αυτή εγγυάται:

- Τέλειο φινίρισμα επιφανειών
- Αξιοπίστη διαδικασία για βιομηχανική παραγωγή
- Ελεγχόμενο βάθος απογύμνωσης αδρανών
- Ενιαία οπτική παρουσία των επί μέρους προκατασκευασμένων στοιχείων.
- Αισθητικό αποτέλεσμα στην απογυμνωμένη επιφάνεια (Σχ. 17 & 18)

Για ενιαία εμφάνιση του συνόλου των προκατασκευασμένων τεμαχίων απαιτούνται οι εξής τεχνικές προϋποθέσεις:

- Ενιαίο βάθος απογύμνωσης ανά τεμάχιο.
- Ίδιο βάθος απογύμνωσης σε όλα τα τεμάχια



Σχ.17. Απογυμνωμένο σκυρόδεμα με έγχρωμα αδρανή



Σχ.18. Έγχρωμο ασβεστολιθικό αδρανές με λευκό τσιμέντο

##### 5. Έγχρωμα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος με χρήση Ορυκτών χρωμάτων.

Ο χρωματισμός του σκυροδέματος με ορυκτά χρώματα είναι μία διαδικασία που απαιτεί ιδιαίτερη σχολαστικότητα και αυστηρό ποιοτικό έλεγχο κατά την παραγωγή στη προκατασκευή. Επίσης απαιτεί εγκαταστάσεις αξιόπιστες και πιστοποιημένες (Ζύγιση, δοσομετρία, ανάμειξη κλπ)

Μεγάλες εταιρείες παραγωγής χημικών προϊόντων παράγουν ποικιλία τυποποιημένων ανόργανων χρωμάτων (pigments) για τον χρωματισμό του σκυροδέματος. Τα χρώματα παράγονται σε ξηρά μορφή και αναμειγνύονται εν ξηρώ σε αναλογία 4% - 8% κατά βάρος του τσιμέντου. Τα χρώματα μπορούν όμως να αναμειχθούν και σε υγρή μορφή στο ανάμειγμα του σκυροδέματος. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται δοσομετρική αντλία ακριβείας για την δοσολογία τους. (Σχ. 15)

Κατάλληλα ορυκτά χρώματα για παρασκευή σκυροδέματος είναι τα εξής οξείδια των μετάλλων:

- Οξείδια του σιδήρου (Κίτρινο, πορτοκαλί, καφέ, μαύρο)
- Οξείδια του χρωμίου (Πράσινο)
- Κοβάλτιο αλουμινούχο (Μπλε)

Δεν είναι κατάλληλα:

- Τα κοινά ανθρακούχα
- Τα οργανικά χρώματα



Επί πλέον τα ορυκτά χρώματα πρέπει να είναι ανθεκτικά :

- Στην φθορά
- Στην υπέρυθρη ακτινοβολία
- Στα αλκαλικά
- Σε θερμοκρασία < 120 C<sup>o</sup>

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ορυκτών χρωμάτων είναι τα εξής:

- Απόκλιση χρώματος < 1,5
- Ισχύς χρωματισμού 100 ± 5%
- pH 7-9
- Υδροδιαλυτά στοιχεία 5 %
- Υγρασία 2%

Το χρώμα του τσιμέντου είναι καθοριστικό για την τελική απόχρωση του σκυροδέματος. Συνήθως χρησιμοποιείται τσιμέντο Portland άσπρο ή κοινό. (Σχ.19 & 20 ) Για μία συγκεκριμένη παρτίδα παραγωγής προκατασκευασμένων στοιχείων απαιτείται η χρήση τσιμέντου ενιαίας παραγωγής από το ίδιο πάντοτε εργοστάσιο. Αυτό προϋποθέτει αντίστοιχους αποθηκευτικούς χώρους τσιμέντου (Σιλό).



Σχ. 19. Χρωματολόγιο ορυκτών χρωμάτων



Σχ. 20. Εφαρμογή σε κυβόλιθους με ορυκτά χρώματα

Το χρωματισμένο με ορυκτά χρώματα σκυρόδεμα εφαρμόζεται σε προκατασκευασμένα πετάσματα προσόψεων κτιρίων μεγάλων διαστάσεων, καθώς και σε προϊόντα οδοποιίας (κυβόλιθους, τσιμεντόπλακες επίστρωσης κλπ)

Εννοείται πως όλοι οι παράγοντες που αναφέρονται στην παράγραφο 4, για τα έγχρωμα αδρανή ισχύουν και στη περίπτωση των ορυκτών χρωμάτων.

Γενικότερα απαιτείται σχολαστική διαδικασία παραγωγής που να ελέγχεται και να παρακολουθείται από εγκεκριμένο σύστημα ποιότητας. Εννοείται ότι είναι απαραίτητη μια αρχική δοκιμαστική παραγωγή, (Σχ. 22) καθώς και ένα στοιχείο αναφοράς, που βάσει αυτού θα παραχθούν όλα τα υπόλοιπα. (Σχ. 20) Απαιτείται επίσης κατάλληλος διαπιστευμένος και διακριβωμένος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός (Σχ.21) καθώς και διαπιστευμένο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου. Μόνον έτσι θα επιτευχθεί ποιοτική παραγωγή που θα εξασφαλίζει ενιαίο χρωματισμό σε όλη την επιφάνεια του προκατασκευασμένου στοιχείου, αλλά και πανομοιότυπο χρωματισμό σε όλα τα παραγόμενα προκατασκευασμένα τεμάχια που απαρτίζουν μια παραγγελία ή ένα συγκεκριμένο έργο. Τα δε προϊόντα παραγωγής πρέπει να φέρουν την σήμανση CE με ότι αυτό συνεπάγεται .



Σχ. 21. Δοσομετρική συσκευή ορυκτών χρωμάτων.



Σχ.22. Δοκιμές κάθισης σε έγχρωμα αυτοσυμπυκνούμενα σκυροδέματα

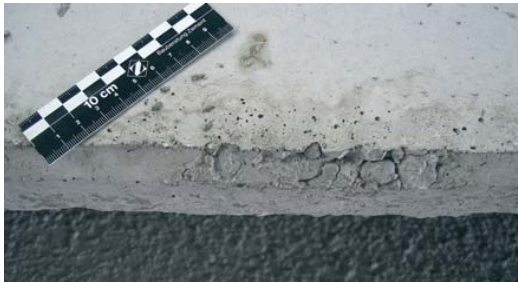
#### 6. Ποιοτική αξιολόγηση προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος.

Η αντικειμενική αξιολόγηση των προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος, προϋποθέτει μια σειρά ενεργειών που αναφέρονται στην παράγραφο 2.2. Η γραπτή συγγραφή υποχρεώσεων αξιολόγησης των προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος πρέπει να περιέχει τουλάχιστον τους πιο κάτω όρους. Οι όροι πρέπει να είναι σαφής:

- Κανονισμοί & Εγκύκλιοι
- Αντοχή σκυροδέματος
- Ανοχές γεωμετρικών μεγεθών των προκατασκευασμένων στοιχείων
- Μορφή και μοτίβα επιφάνειας (Δείγματα)
- Υφή επιφάνειας (Δείγματα)
- Αρμοί και τρόπος σφράγισης
- Χρώμα και επιτρεπτές αποκλίσεις
- Επεξεργασία επιφάνειας και επισκευές
- Τρόπος αποθήκευσης
- Τρόπος μεταφοράς και συσκευασίας
- Τρόπος συναρμολόγησης
- Εξαρτήματα στερέωσης

Οι συνήθεις αστοχίες, που παρατηρούνται στα προκατασκευασμένα στοιχεία και προϊόντα με αρχιτεκτονικό σκυροδέμα είναι οι εξής:

- Γεωμετρία των στοιχείων
- Η υφή της επιφάνειας τους (Σχ.23)
- Το μέγεθος και το πλήθος των φυσαλίδων ανά μέτρο ελεγχόμενης επιφάνειας (Σχ.5)
- Ανομοιομορφία χρώματος (Σχ.6)
- Εξανθήματα ασβέστου (Σχ.24)
- Εξανθήματα σκωρίας



Σχ.23. Αστοχία υφής λόγω διαρροής τσιμεντοπολτού



Σχ. 24. Εξανθήματα ασβέστου

Τα εξανθήματα της ασβέστου είναι κατάλοιπα λευκών αλάτων (Ανθρακικό ασβέστιο  $\text{CaCO}_3$ ) που αλλοιώνουν την εμφάνιση, ιδιαίτερα σε προϊόντα με σκούρο χρώμα. Οι προϋποθέσεις για τον σχηματισμό εξανθημάτων αλάτων ασβέστου στην επιφάνεια του προκατασκευασμένου στοιχείου ή προϊόντος είναι οι εξής:

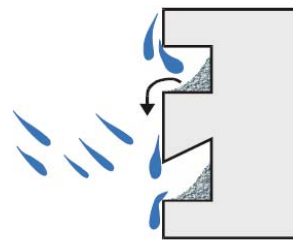
- Ελεύθερο υδροξείδιο του ασβεστίου  $\text{Ca(OH)}$
- Τριχοειδής πόροι γεμάτοι νερό
- Νερό στην επιφάνεια του σκυροδέματος
- Χαμηλοί ρυθμοί εξάτμισης
- Ατελής ενυδάτωση

Η διαχρονικότητα των προκατασκευασμένων στοιχείων δεν εξαρτάται μόνο από την ποσότητα του τσιμέντου στο σκυρόδεμα ή την σταθερότητα των χρωμάτων, αλλά και από την συμπεριφορά των επί μέρους τους χαρακτηριστικών στις καιρικές συνθήκες:

- Κλίση του στοιχείου (Κατακόρυφο ή με κλίση)
- Υφή της επιφάνειας ( Αδρή, λεία κλπ)
- Προσανατολισμός του στοιχείου ως προς τις συνήθως επικρατούσες διευθύνσεις βροχής και αέρα.
- Διεύθυνση σχηματισμών αρμών, ραβδώσεων κλπ για ομοιόμορφη απορροή ομβρίων υδάτων (Σχ.24 & 25)



Σχ. 24. Σχηματισμός οριζοντίων αρμών



Σχ. 25. Απορροή ομβρίων και σχηματισμός ρύπων.

**7. Εφαρμογές προκατασκευασμένων στοιχείων με χρήση καινοτόμων σκυροδεμάτων & οπλισμών:** Καινοτόμα σκυροδέματα χρησιμοποιούνται πρόσφατα για την παραγωγή

αρχιτεκτονικού σκυροδέματος σε προκατασκευασμένα στοιχεία. Περιληπτικά αναφέρονται τα εξής:

7.1. Πολυεστερικό σκυρόδεμα, Υλικό, που αποτελείται από κόκκους χαλαζία (με μέγιστο μέγεθος σωματιδίων 16 mm) συνδεδεμένο με πολυεστερική ρητίνη. Εφαρμογή: Πλακίδια στέγης και επένδυσης τοιχοποιίας

7.2. Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα (ΑΣΣ), Σκυρόδεμα που συμπυκνώνεται μόνο του, λόγω της βαρύτητας και της ρεολογικής του συμπεριφοράς. Δηλαδή της αυξημένης ρευστότητας και της διατήρησης της σταθερότητας του. Εφαρμογές: Για σκυροδέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων με πυκνό οπλισμό. (Χωρίς δόνηση)

7.3. Σκυρόδεμα με μεταλλικά πλέγματα (Ferrocement): Προκατασκευασμένα λεπτότοιχα στοιχεία με αλληπάλληλα ανοξειδωτά πλέγματα λεπτού διαμετρήματος και πυκνής διάταξης. Εύκαμπτο τελικό υλικό Εφαρμογές: Κατασκευή καμπύλων επιφανειών (Κελύφη, Σκάφη κλπ)

7.4. Διαφανές σκυρόδεμα. Η μάζα του σκυροδέματος περιέχει τουλάχιστον 5% οπτικές ίνες, διατεταγμένες έτσι ώστε να επιτρέπουν την διέλευση του φωτός. Εφαρμογές: Διαφανή διαχωριστικά τοιχία κλπ (Σχ. 26)

7.5. Λεπτότοιχα δομικά στοιχεία από Ινοπλέγματα σε Ανόργανη Μήτρα (IAM). Εφαρμογές: Παραμένον εμφανής τσιμεντότυπος για κατασκευή δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος (Σχ.27)

7.6. Ψυχρά Υλικά: Προκατασκευασμένα προϊόντα με υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και με υψηλό συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το σκυρόδεμα περιέχει ειδικά αδρανή και πρόσθετα που καθορίζουν την ανακλαστικότητα του. Το προκατασκευασμένο προϊόν (πλάκες επίστρωσης, πετάσματα κλπ) μένει κυριολεκτικά «ψυχρό» μειώνοντας τη θερμότητα κάτω από αυτό, διατηρώντας το περιβάλλον ψυχρότερο και τη θερμοκρασία πιο σταθερή.

7.8. Αυτοκαθαριζόμενο σκυρόδεμα: Ιδανικό για εξωτερικά προκατασκευασμένα πετάσματα κτιρίων. Για την απόκτηση αυτο-καθαρισμού επιφανειών, υπάρχουν δύο προσεγγίσεις:

Η επιφάνεια πρέπει να είναι (α) ισχυρά υδατοαπωθητική (υπερυδρόφοβη). ή να είναι (β) εξαιρετικά υγροσκοπική (υπερυδρόφιλη).

α. Για την επίτευξη ενός εξαιρετικά υδατοαπωθητικού αποτελέσματος, το υλικό είναι τροποποιημένο ή επιχρισμένο με ρητίνες σιλικόνης ή τετραφθοροαιθυλένιο. Τα σταγονίδια του νερού μπορούν στη συνέχεια να αφαιρεθούν εύκολα. Το πρόβλημα είναι ότι οι πολύ μικρές σταγόνες εγκλωβίζονται και δεν μπορούν πλέον να γλιστρήσουν και να ξεκολλήσουν μαζί με τους τοπικούς ρύπους.

β. Αντίθετα οι πολύ υδρόφιλες επιφάνειες έχουν μια τραχεία, και λεπτή δομή, έτσι ώστε τα σωματίδια των ρύπων να είναι μεγαλύτερα από τη δομή της επιφάνειας για να εγκατασταθούν στις «κορυφές» της. Τα σωματίδια ρύπων έχουν χαμηλή πρόσφυση και είναι εύκολα να ξεπλυθούν από σταγονίδια νερού κατά την απορροή.



Σχ.26. Διαφανές σκυρόδεμα



Σχ. 27. Ερευνητικό πρόγραμμα λεπτότοιχων στοιχείων με ινοπλέγματα (TRC)

#### 7.9. Οπλισμοί σκυροδέματος:

- Χαλύβδινος χαλαρός ολισμός
- Μεταλλικές & μη μεταλλικές ίνες
- Μεταλλικά πλέγματα
- Μη μεταλλικά πλέγματα
- Fiberglas

#### Μεταλλικές & μη μεταλλικές ίνες

Οι ίνες έχουν διάσταση λίγων εκατοστών και διαμέτρου που είναι συνήθως κλάσμα χιλιοστού, διασκορπίζονται στη μάζα του υλικού κατά την ανάμιξη των συστατικών του σε ποσοστό της τάξης του 1-3% του συνολικού όγκου. Κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα, πολυπροπυλένιο ή γυαλί..

Ο βασικός ρόλος των ινών στο σκυρόδεμα είναι η αύξηση της παραμόρφωσης του υλικού κατά την αστοχία και γενικά ο περιορισμός της ρηγμάτωσης, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται και αύξηση της αντοχής. Αποτέλεσμα είναι κυρίως η αύξηση της δισθραυστότητας του υλικού δηλαδή την ικανότητά του να απορροφά ενέργεια κατά την παραμόρφωση.

#### Ιδιότητες των ινοπλισμένων σκυροδεμάτων

- Βελτίωση ανθεκτικότητας της κατασκευής (Σχ.28)
- Αύξηση της εφελκυστικής και καμπτικής αντοχής
- Αυξημένη αντίσταση σε ρωγμές σε βάθος χρόνου (Σχ.28)
- Βελτίωση της κατανομής των ρωγμών
- Μείωση της συρρίκνωσης του σκυροδέματος κατά το πρώιμο στάδιο
- Αύξηση της πυραντίστασης του σκυροδέματος
- Τροποποίηση της εργασιμότητας (Σχ.29)

ΥΛΙΚΟ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ
	g/cm <sup>3</sup>	N//mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25/30	2.40	30.0000	5
ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΙΝΕΣ	7,88	210.000	1.000
ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ	0,90	4.200	560
FIBERGLASS	2.40	73.000	3.400

Σχ. 28 Χαρακτηριστικά σκυροδέματος με μεταλλικές & μη μεταλλικές ίνες

ΥΛΙΚΟ	Min [kg/m <sup>3</sup> ]	Max [kg/m <sup>3</sup> ]
ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΙΝΕΣ	20	80
ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ	0,5	20
FIBERGLASS	0,5	2

Σχ. 29. Αναλογίες ανάμιξης

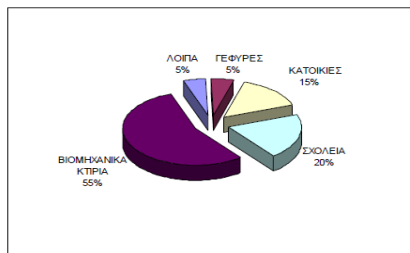
#### Σύνθετα Υλικά Ενίσχυσης Κατασκευών (FRP)

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ίνες οπλισμού με υψηλές μηχανικές ιδιότητες και από μια μήτρα ρητίνης που εξασφαλίζει πρόσφυση στην υπό ενίσχυση δομική επιφάνεια και μεταφέρει τα φορτία στις ίνες. Χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά για την ενίσχυση και την αποκατάσταση δομικών στοιχείων σε όλο τον τομέα των κατασκευών

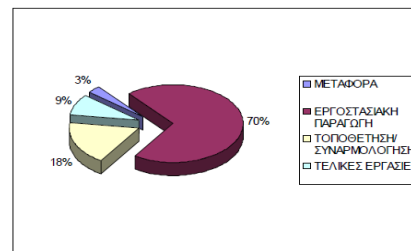
## 8. Συμπεράσματα.

Το «Αρχιτεκτονικό» σκυρόδεμα αποδεικνύει πόσες δυνατότητες έχει το συκοφαντημένο σκυρόδεμα όταν βρίσκεται σε κατάλληλα χέρια. Το «Αρχιτεκτονικό» σκυρόδεμα είναι ένα καινοτόμο προϊόν. Η χρήση του στη Προκατασκευή έχει αποδεδειγμένα άριστα τεχνικά και μορφολογικά αποτελέσματα, σε ανταγωνιστικές τιμές.

Ιδιαίτερα για την Ελλάδα όσον αφορά τα προκατασκευασμένα στοιχεία όψεων, ανοίγεται μία νέα και μεγάλη αγορά που αφορά κτίρια ειδικών απαιτήσεων, αλλά και εμπορικά κέντρα, βιομηχανικά κτίρια, σχολεία κλπ. Υπάρχει ήδη εμπειρία από παρόμοιες κατασκευές (Νέο Μουσείο Ακρόπολης, Κτιριακό Συγκρότημα του ιδρύματος Σ. Νιάρχος κλπ). Εφόσον ο αριθμός των προκατασκευασμένων τεμαχίων είναι ικανός, το κόστος τους είναι πολύ ανταγωνιστικό (Σχ.30 & 31)



Σχ. 30. Μελέτη του IOBE για την κατανομή της ελληνικής αγοράς στην Προκατασκευή



Σχ. 31 Εκτίμηση του IOBE των ποσοστών στο συνολικό κόστος της Προκατασκευής

## 9. Βιβλιογραφία, Κανονισμοί . Αναφορές

- 9.1. ΕΛΟΤ EN 13670: Εκτέλεση έργων από σκυρόδεμα
- 9.2. Τεχνικό Φυλλάδιο (Merkblatt) DBV/BDZ "Εμφανές Σκυρόδεμα"
- 9.3. Merkblatt Nr. 1. Über Sichtbetonflächen von Fertigteilen aus Beton und Stahlbeton. Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau 12.2012
- 9.4. Merkblatt Nr. 4 Über die Befestigung vorgefertigter Betonfassaden / Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau 11.2011
- 9.5. Merkblatt Nr. 8. Über Betonfertigteile aus Architekturbeton / Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau 01.2009
- 9.6. T. Freimann, Georg-Simon-Ohm / Sichtbetonbauwerke - Besonderheiten für Planung und Ausführung nach aktuellem Regelwerk / Hochschule Nürnberg 2009.
- 9.7. H. Heufers: Novel surface finish with coloured aggregates / BFT 09.1980
- 9.8. G.Buechner: Colour fluctuation in the production of coloured concrete / BFT 08.1982
- 9.9. W. Schulte: Coloured architectural concrete components / BFT / 09.1983
- 9.10. A.N.Apergis- Precast facades elements for the new Museum of Acropolis in Athens- International fib Symposium 2008 -Amsterdam
- 9.11. Αθ.Ν.Απέργης-Β.Παπαθεοδοσίου / Το εμφανές σκυρόδεμα στην προκατασκευή. Σκυρόδεμα-Οδηγός 2004-2005/Τε-εκδοτική / Αθήνα 2004
- 9.12. Ι.Χ. Παπαντωνίου , Κ.Γ. Παπανικολάου / Προκατασκευασμένοι λεπτότοιχοι παραμένοντες «τσιμεντότυποι» από ινοπλέγματα ανόργανης μήτρας / International fib Symposium 2008 -Amsterdam

**10. Ευχαριστίες:**

ΑΡΜΟΣ ΑΕ /ΑΣΠΡΟΚΑΤ ΑΒΕΕ /ΒΕΤΑΝΕΤ ΑΒΕΕ /ΒΕΡΥΚΟΚΟΣ ΑΕ /ΕΔΡΑΣΗ-Χ.ΨΑΛΛΙΔΑΣ ΑΤΕ / ΘΕΜΟΣ ΑΕ /KAISER OMNIA HELLAS Ltd / ΠΡΟΕΛΛΑΣ ΑΒΕΤΕ / ΠΡΟΕΤ ΑΕ /PRECONSTRUCTA ΑΕ /ΣΕΒΙΠΣ /ΣΤΡΩΤΗΡΕΣ ΑΕ /TRASTIK Ltd /TOP ELEMENT ΑΕ BASF AG /BEESER GmbH /BFS /CASAGRANDE /ΕΛΟΤ /FIREP/ HALFEN-DEHA/ IOBE/J & P - AVAX ΑΤΕ /LAFARGE HELLAS /LiTraCon /MARATHON STONES /PEIKO /RATEC/RECKLI /SICCI /SIKA /SOMMER/TITAN ΑΕ/TRAVASAROS ARCHITECTS/URBI & ORBI/ VOLLERT-WECKENMANN / WACKER/ WEILER /ΖΑΧΑ ΗΑΔΙΔ