

# Θερμική επεξεργασία προκατασκευασμένων προϊόντων από σκυρόδεμα

Thermal treatment of prefabricated products of concrete

**Αθανάσιος Ν. ΑΠΕΡΓΗΣ** Διπλ. Πολ. Μηχανικός ΕΜΠ  
email aperthan@gmail.com

*Λέξεις κλειδιά: Προκατασκευή, θερμική επεξεργασία, προϊόντα*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Στην παρούσα ανακοίνωση γίνεται κατ' αρχή μια σύντομη αναφορά στην συμβατική και πρόωρη αντοχή του σκυροδέματος και εξηγείται ο λόγος της εφαρμογής της πρόωρης ωρίμανσης, καθώς και η συμβολή της προκατασκευής στην αειφορία των προκατασκευασμένων στοιχείων και προϊόντων από σκυρόδεμα. Ακολούθως περιγράφονται οι μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας προκατασκευασμένων προϊόντων και στοιχείων από άοπλο και οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς και τα οικονομοτεχνικά πλεονεκτήματα των εν λόγω μεθόδων. Παρουσιάζονται αποτελέσματα, συμπεριφορές, και αστοχίες λόγω θερμικής επεξεργασίας σε συγκεκριμένα προκατασκευασμένα προϊόντα και στοιχεία σκυροδέματος που έχουν παραχθεί στα ελληνικά εργοστάσια προκατασκευής. Και τέλος αναφέρονται ελληνικές τεχνικές εγκύκλιοι και οδηγίες ευρωπαϊκών τεχνικών ενώσεων και παραγωγών προκατασκευασμένων στοιχείων.

**ABSTRACT :** In this announcement, a brief reference is made to the conventional and early strength of the concrete and the reason for the application of premature maturation as well as the contribution of the prefabrication to the sustainability of the precast and concrete products. The methods of heat treatment of prefabricated products and elements of unarmred and reinforced concrete, as well as the economical and technical advantages of these methods are described below. Results, behaviors, and thermal processing failures are presented in specific prefabricated concrete products and concrete elements produced in Greek prefabrication factories. Finally, Greek technical circulars and instructions from European technical associations and producers of pre-fabricated elements are mentioned

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση της παραγωγικότητας απαιτεί μεταξύ άλλων και αντίστοιχη εξοικονόμηση καλουπιών καθώς και σύντομο χρόνο παράδοσης των προκατασκευασμένων στοιχείων. Ένας από τους τρόπους εφαρμογής των πάρα-πάνω απαιτήσεων είναι και η πρόωρη ωρίμανση του σκυροδέματος. Με την τεχνολογία της πρόωρης ωρίμανσης επιτυγχάνεται πρόωρη αντοχή του προκατασκευασμένου στοιχείου ώστε να ξεκαλουπωθεί και να μετακινηθεί χωρίς απώλειες αλλά συγχρόνως εξασφαλίζεται και η τελική αντοχή χρήσης του. Η ελεγχόμενη πρόωρη αντοχή και η τελική αντοχή χρήσης του προκατασκευασμένου στοιχείου επιτυγχάνεται με την εφαρμογή διαφόρων τεχνικών μεθόδων όπως η παραμονή σε νερό, η επεξεργασία με ατμό, η θέρμανση με λάδι, καθώς και η χρήση χημικών προσθέτων στο σκυρόδεμα. Έτσι επιτυγχάνεται η απαιτούμενη πρόωρη ωρίμανση του σκυροδέματος άρα και η απαιτούμενη πρόωρη αντοχή του προκατασκευασμένου στοιχείου..

## **ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ**

Η προκατασκευή είναι βαριά βιομηχανία εντάσεως κεφαλαίου & τεχνολογίας και σαν τέτοια λειτουργεί και αποδίδει. Προϋπόθεση είναι να σχεδιασθεί έτσι ώστε να λειτουργήσει παραγωγικά. Ο σχεδιασμός μονάδας βιομηχανικής παραγωγής προκατασκευασμένων προϊόντων και στοιχείων προϋποθέτει πολύχρονη εμπειρία και βαθιά γνώση του αντικειμένου. Ο δε σχεδιασμός της αύξησης της παραγωγικότητας στη προκατασκευή απαιτεί ενδελεχή σχεδιασμό της βιομηχανικής ροής. Ο σχεδιασμός της παραγωγικής ροής εξαρτάται συνήθως από:

- Το είδος των προϊόντων που θα παραχθούν
- Την ταχύτητα που πρέπει να παραδοθούν
- Την οικονομοτεχνική μελέτη επένδυσης & απόσβεσης κεφαλαίου
- Την τεχνολογία παραγωγής
- Τον τρόπο παραγωγής
- Την απαιτούμενη πρόωρη & τελική αντοχή τους

Για να αυξηθεί η παραγωγικότητα της βιομηχανικής μονάδας προκατασκευασμένων προϊόντων πρέπει η γραμμή παραγωγής να σχεδιασθεί έτσι ώστε να πληρεί τις πιο κάτω προϋποθέσεις :

- Εξοικονόμηση αρχικού κεφαλαίου
- Εξοικονόμηση καλουπιών παραγωγής
- Σύντομος χρόνος παραγωγής προϊόντων
- Σύντομος χρόνος παράδοσης προϊόντων

Ιδιαίτερα τα προκατασκευασμένα στοιχεία, που θα παραχθούν και θα ενταχθούν σε κτιριακά έργα πρέπει να πληρούν τις 6 τελικές ιδιότητες των οδηγιών της Ε.Ε.

1. Αντοχή
2. Ασφάλεια
3. Πυραντοχή
4. Θερμομόνωση
5. Ηχομόνωση
6. Υγιεινή - Άνεση διαμονής – Περιβάλλον

Οι ισχύοντες κανονισμοί και τα πρότυπα, ο εσωτερικός και ο εξωτερικός έλεγχος των παραγομένων προϊόντων, η εφαρμογή διαχείρισης ποιότητας (ISO 9001), καθώς και η συμμόρφωση (CE) προς όλες τις υποχρεώσεις που επιβάλλονται στους κατασκευαστές για το παραχθέν προϊόν, δυνάμει των κοινοτικών διατάξεων, συμβάλουν ώστε η προκατασκευή να εξασφαλίζει την αειφορία των προκατασκευασμένων στοιχείων και προϊόντων από σκυρόδεμα.

### **ΠΡΟΩΡΗ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ**

Μια από τις μεθόδους σύντομου χρόνου παραγωγής των προκατασκευασμένων προϊόντων είναι και η πρόωρη ωρίμανση του σκυροδέματος. Άρα και η σύντομη διαδικασία παραγωγής τους καθώς και η επανάχρηση των καλουπιών παραγωγής.

Ως αντοχή προκατασκευασμένου στοιχείου από σκυρόδεμα ορίζεται:

Η αντίσταση του, έναντι παραμόρφωσης ή διαχωρισμού, ή μηχανικής καταπόνησης του.

Αναλυτικά δε κατά τον ΚΤΣ 2016 ορίζονται οι επί μέρους αντοχές του σκυροδέματος ως εξής:

Συμβατική μέση αντοχή σε θλίψη ( $n$ ) δειγμάτων,:

Είναι ο μέσος όρος των αντοχών σε θλίψη ορισμένου αριθμού ( $n$ ) δειγμάτων, τα οποία ελέγχονται σε ηλικία 28 ημερών

Μέση αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη:

Είναι ο μέσος όρος θλιπτικής αντοχής όλων των συμβατικών δοκιμών που θα μπορούσαν να παρασκευασθούν από έναν πληθυσμό σκυροδέματος.

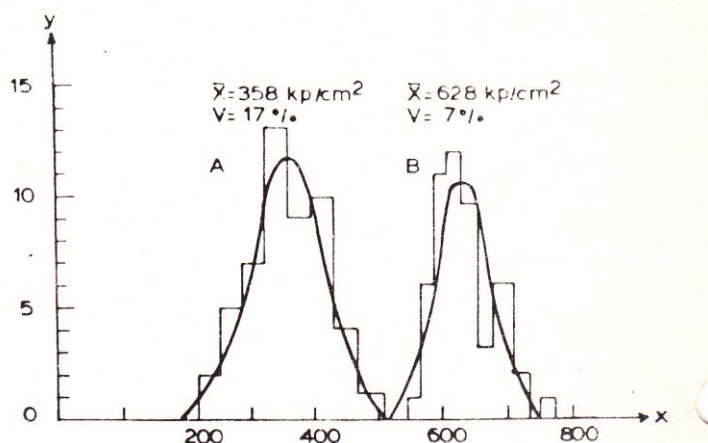
Πρόωρη αντοχή σε θλίψη:

Είναι ο μέσος όρος των αντοχών σε θλίψη ορισμένου αριθμού  $n$  δειγμάτων, τα οποία ελέγχονται σε ηλικία καθορισμένων ωρών από την στιγμή της παραγωγής.

Ο σχεδιασμός σκυροδέματος προκατασκευής πρέπει να καθορίζεται από τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου προκατασκευασμένου στοιχείου. Αναλυτικά πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη οι εξής παράγοντες:

- Απαιτήσεις πρόωρης και τελικής αντοχής
- Απαιτήσεις ανθεκτικότητας
- Αισθητικές απαιτήσεις
- Διαστάσεις αδρανών
- Μέθοδος σκυροδέτησης
- Ταχύτητα σκυροδέτησης
- Συνεκτικότητα σκυροδέματος
- Μέθοδος ωρίμανσης
- Προδιαγραφές και μελέτη σύνθεσης
- Αρχικές δοκιμές

Αποδεδειγμένα και εφ' όσον τηρούνται οι προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν, οι συμβατικές αντοχές του σκυροδέματος στο εργοστάσιο προκατασκευής υπερτερούν μακροπρόθεσμα των αντιστοίχων αντοχών του εργοταξίου. **Σχήμα 1.**



**Σχήμα 1.** Κατανομή συχνότητας αντοχών σκυροδεμάτων παραγομένων, σε εργοτάξιο και σε εργοστάσιο προκατασκευής.

A= Μεταβολή της αντοχής 28 ημερών σκυροδεμάτων εργοταξίου

B= Μεταβολή της αντοχής 28 ημερών σκυροδεμάτων εργοστασίου προκατασκευής

$x = W_{28}$  (Kp/cm<sup>2</sup>)

$y =$  Συχνότητα (%)

(Α.Ν. Απέργης «Προκατασκευή.» Σεμινάριο Σκυροδέματος ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, 2016)

## ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΩΡΗΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ

Οι μέθοδοι πρόωρης ωρίμανσης του σκυροδέματος εφαρμόζονται ως προς το είδος του σκυροδέματος, και τον τρόπο παραγωγής του προκατασκευασμένου προϊόντος. Συνήθως εφαρμόζονται οι εξής μέθοδοι:

- Πρόωρη φυσική ωρίμανση
- Επεξεργασία με ατμό
- Θέρμανση του καλουπιού με θερμό αέρα
- Θέρμανση του καλουπιού με θερμό λάδι
- Υπέρυθρη ακτινοβολία
- Θέρμανση με μικροκύματα

**Πίνακας 1.** Τρόπος θερμικής επεξεργασίας ως προς τα είδη σκυροδεμάτων και καλουπιών

ΩΡΙΜΑΝΣΗ ΕΝΤΟΣ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ	ΑΜΕΣΗ ΑΠΟΚΑΛΟΥΠΙΩΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
X		Κοινό σκυρόδεμα & Ελαφροσκυρόδεμα
	X	Ύφυγρο σκυρόδεμα
X		Φυγοκεντρισμένο σκυρόδεμα
X		Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής (Δόνηση κλπ)

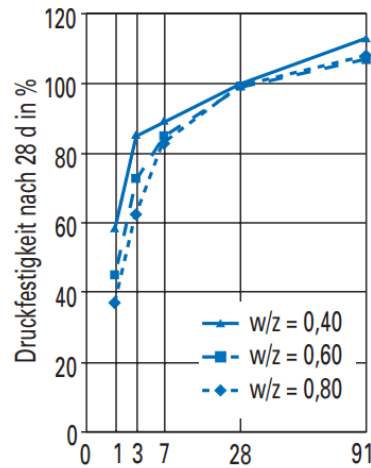
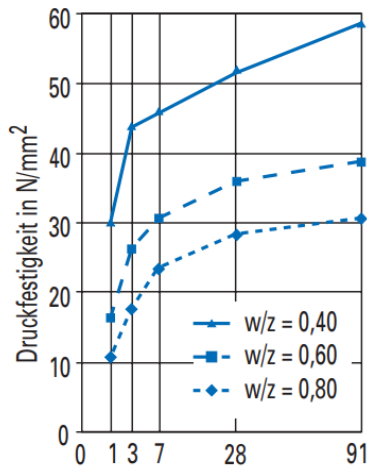
Η πρόωρη αντοχή μπορεί να επιτευχθεί είτε από την εξώθερμη αντίδραση κατά την σκλήρυνση του σκυροδέματος είτε προσάγοντας θερμότητα μετά την συμπύκνωση (δόνηση κλπ) του σκυροδέματος.

Για εξοικονόμηση ενέργειας υπάρχει η μέθοδος υπό προϋποθέσεις της εκμετάλλευσης της εξώθερμης αντίδρασης κατά την ενυδάτωση, εγκλωβίζοντας με διάφορους τρόπους την θερμότητα στο προκατασκευασμένο στοιχείο.

### Πρόωρη φυσική ωρίμανση για παραγωγή προϊόντων σκυροδέματος

Για μεγάλη παραγωγή πανόμοιων προϊόντων σκυροδέματος (συνήθως άοπλων) όπως π.χ. τσιμεντολίθοι, πλάκες πεζοδρομίου, κυβόλιθοι, φρεάτια κ.α. απαιτείται η χρήση κατάλληλων αυτομάτων μηχανημάτων παραγωγής. Τα προϊόντα ξεκαλουπώνονται ακαριαία από το ένα και μοναδικό καλούπι της αυτόματης μηχανής παραγωγής μετά την σκυροδέτηση και μετά την κατάλληλη συμπύκνωση τους. Για την αποφυγή παραμορφώσεων, διαχωρισμών κλπ και για να αποκτήσει αμέσως το σκυρόδεμα συνεκτικότητα, πρέπει οπωσδήποτε να είναι ύφυγρης σύστασης με κάθιση S1 (< 10mm) και με λόγο N/TΣ < 0,4. Συνήθως ο λόγος N/TΣ κυμαίνεται μεταξύ 0,36 – 0,38. **Σχήμα 2, & 3**

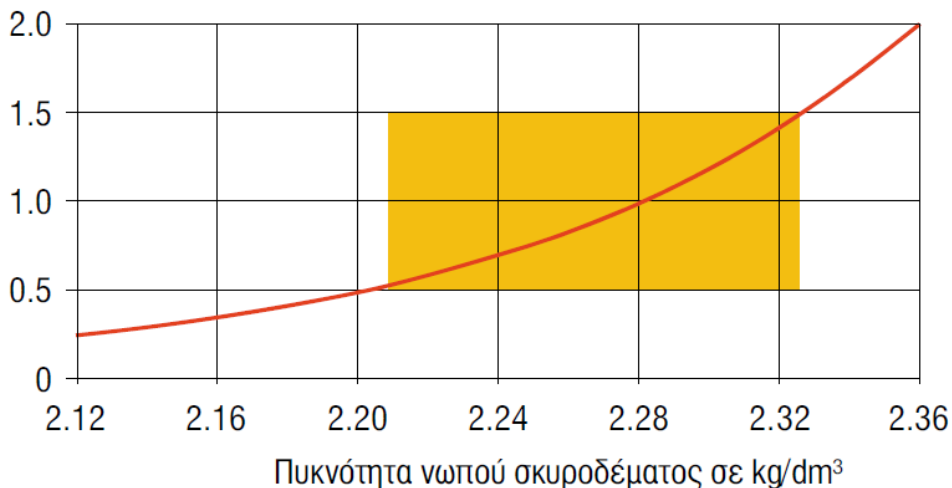
Η «Πράσινη δύναμη» χαρακτηρίζει τα ύφυγρα σκυροδέματα που μπορούν να αποκαλουπωθούν αμέσως μετά τη συμπύκνωση. Τα προϊόντα μόλις παραχθούν έχουν καλή «πράσινη δύναμη» και για αυτό το λόγο διατηρούν το σχήμα τους. Σε αυτή τη φάση το τσιμέντο δεν έχει περάσει σε κατάσταση ευρείας ενυδάτωσης (ανάπτυξη αντοχής). **Σχήμα 4**



**Σχήμα 2** Αντοχές σε N/mm<sup>2</sup>

**Σχήμα 3** Αντοχές σε ποσοστιαία κατανομή

Θλιπτικές αντοχές σκυροδεμάτων ανά ημέρα, για διαφορετικές αναλογίες N/Σ (Βάσει εγκυκλίου B8 της Zement-Merkblatt Betontechnik B 8 4.2014 Nachbehandlung und Schutz des jungen Betons)



**Σχήμα 4** Πράσινη θλιπτική δύναμη σε N/mm<sup>2</sup> (Εγχειρίδιο Τεχνολογίας Σκυροδέματος Sika , Ιανουάριος 2007)

Με τη χρήση ύφυγρου σκυροδέματος διακρίνονται γενικά δύο μορφές παραγωγής: Η μία μορφή παραγωγής αφορά την παραγωγή προϊόντων με κινητές μηχανές παραγωγής, όπου μετά την αποκαλούπωση τα αναφερόμενα προϊόντα σκυροδέματος παραμένουν στη πίστα παραγωγής, δηλ. επί του εδάφους τουλάχιστον 24 ώρες για απόκτηση τελικής αντοχής.

Η δεύτερη μορφή αφορά ακίνητες μηχανές παραγωγής όπου τα αναφερόμενα προϊόντα μετά την αποκαλούπωση παραμένουν επάνω σε κινητά μεταλλικά ή ξύλινα υπόβαθρα (Παλέτες, ειδικές βάσεις κ.α.) και οδηγούνται ακολούθως με αυτόματες διατάξεις σε ράφια **Σχήμα 5**. Εκεί παραμένουν συνήθως 24 ώρες προς απόκτηση αντοχής τέτοιας, που να μπορούν να συσκευασθούν και να αποθηκευτούν χωρίς φθορές. **Σχήμα 6**.



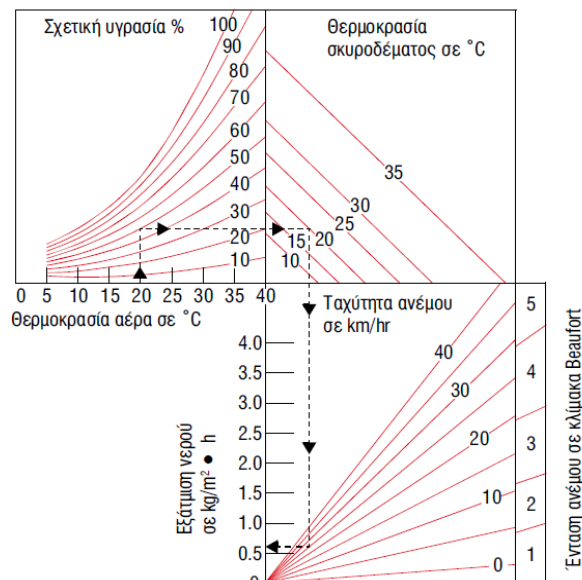
**Σχήμα 5.** Αποθήκευση προϊόντων σκυροδέματος και πρόωρη ωρίμανση σε μεταλλικά ράφια



**Σχήμα 6.** Συσκευασία

Η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία του σκυροδέματος, καθώς και η ταχύτητα του αέρα ή ο αερισμός του χώρου αποθήκευσης, συμβάλουν στην πρόωρη ωρίμανση των αποθηκευμένων προϊόντων.

Σχετικά νομογραφήματα βοηθούν στην εφαρμογή της πρόωρης φυσικής ωρίμανσης στην παραγωγή προϊόντων σκυροδέματος : **Σχήμα 6.**



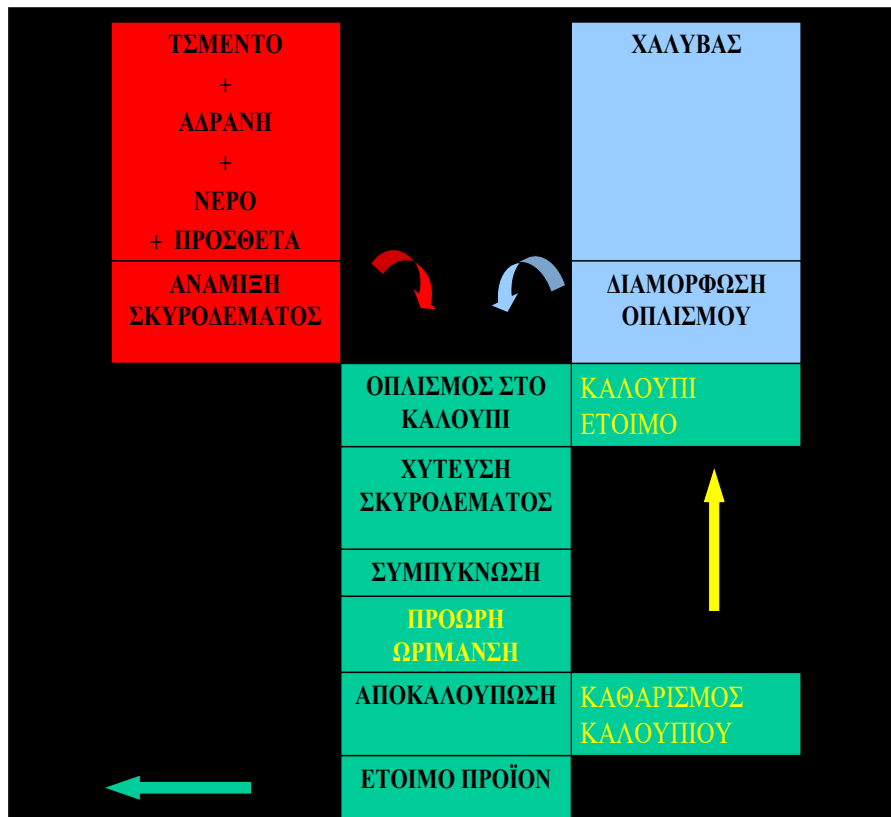
**Σχήμα 6.** Επίδραση της σχετικής υγρασίας αέρα, των θερμοκρασιών αέρα και σκυροδέματος, όπως επίσης και της ταχύτητας του ανέμου στην εξάτμιση νερού σύμφωνα με την εγκύκλιο της VDZ. (Γερμανικός Οργανισμός Παραγωγών Τσιμέντου)

## ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΡΟΗΣ (CAROUSEL) & ΠΡΟΩΡΗ ΩΡΙΜΑΝΣΗ

Ο συνήθης τρόπος παραγωγής μεγάλων οικοδομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα όπως υποστυλώματα, δοκοί κ.α. καθώς και βιομηχανικών προϊόντων, όπως στρωτήρες σιδηροδρομικών γραμμών, στύλων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, στοιχεία επένδυσης σηράγγων κ.α. με σκοπό την εξοικονόμηση καλουπιών, που η αξία τους είναι μεγάλη, αλλά και για συντόμωση στο χρόνο παραγωγής, εφαρμόζεται η μέθοδος της κυκλικής παραγωγής (Carousel).

Μετά το στάδιο της συμπύκνωσης του σκυροδέματος, (δόνηση, συμπίεση, φυγοκέντριση κλπ) το καλούπι (σιδηρότυπος) αποσύρεται από την κύρια γραμμή παραγωγής και τοποθετείται σε θέση πρόωρης ωρίμανσης. Η πρόωρη ωρίμανση του

σκυροδέματος επιτυγχάνεται με την εφαρμογή διαφόρων τεχνικών μεθόδων όπως, η επεξεργασία με ατμό, η θέρμανση με λάδι, η επεξεργασία σε θερμικό τούνελ κλπ. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ο σύντομος χρόνος αποκαλούπωσης και η επανάχρηση του καλουπιού. **Σχήμα 7**



**Σχήμα 7.** Σχηματική παράσταση βιομηχανικής παραγωγής κυκλικής ροής (Carousel) προκατασκευασμένων στοιχείων .

Η συμπεριφορά του νωπού σκυροδέματος σε θερμική επεξεργασία εξαρτάται από :

- Τον τύπο του τσιμέντου
- Τον λόγο Νερού/Τσιμέντου στο σκυρόδεμα
- Την επιβαλλόμενη θερμότητα
- Τον χρόνο παραμονής σε ορισμένη θερμοκρασία
- Την σχετική υγρασία του περιβάλλοντος

**Πίνακας 2** Μέγιστες θερμοκρασίες σε ° C ανά είδος σκυροδέματος

Ιδιότητες σκυροδέματος	Μέγιστες θερμοκρασίες σε ° C
Συμπυκνωμένο σκυρόδεμα	30
Κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης	80

Ο σχεδιασμός της χρονικής ακολουθίας μιας θερμικής επεξεργασίας, εξαρτάται από το είδος και τον όγκο του σκυροδέματος, τις διαστάσεις του καλουπιού και του προκατασκευασμένου προϊόντος.

Θερμοκρασία και χρόνος εκκίνησης:

Αναλυτικά ο συνδυασμός του χρόνου παραμονής στις επί μέρους φάσεις, προθέρμανσης, κυρίας θέρμανσης και αποθέρμανσης, καθώς και οι αντίστοιχες θερμοκρασίες σε σχέση με το ύψος της μέγιστης θερμοκρασίας πρέπει να μελετηθούν και να εφαρμοσθούν είτε βάσει τεχνικών οδηγιών, είτε πιλοτικά όταν δεν υπάρχουν αντίστοιχες τεχνικές οδηγίες..

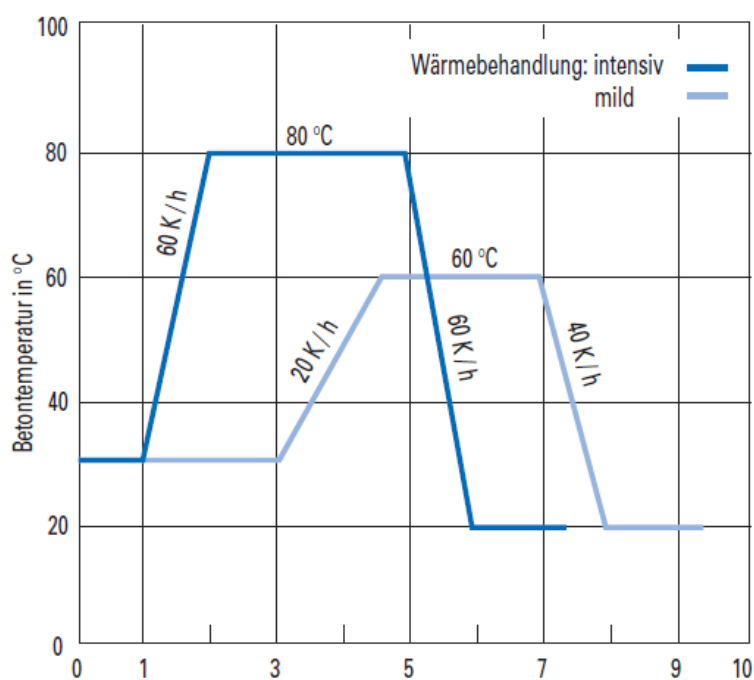
Γενικά ο σχεδιασμός της θερμικής επεξεργασίας απαιτεί 5 φάσεις; **Σχήμα 8** (Βάσει εγκυκλίου της Deutsche Betonverein e.V. 11.2 Wärmebehandlung von Beton, Berlin 2014)

- 1<sup>η</sup> Χρόνος αναμονής
- 2<sup>η</sup> Χρόνος προθέρμανσης (Άνοδος θερμοκρασίας)
- 3<sup>η</sup> Χρόνος ωρίμανσης στη μέγιστη θερμοκρασία
- 4<sup>η</sup> Χρόνος αποθέρμανσης (Πτώση θερμοκρασίας)
- 5<sup>η</sup> Χρόνος αναμονής

Οι θλιπτικές αντοχές εξελίσσονται λόγω θερμικής επεξεργασίας ανάλογα με την επιβαλλόμενη θερμοότητα Βλέπε παραδείγματα των 60° C **Σχήμα 9**, και των 80° C **Σχήμα 10**, πάντα σε συνάρτηση με την σχετική υγρασία του, σκυροδέματος

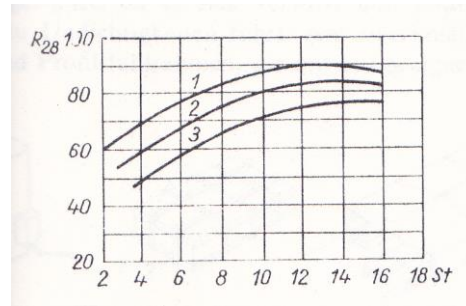
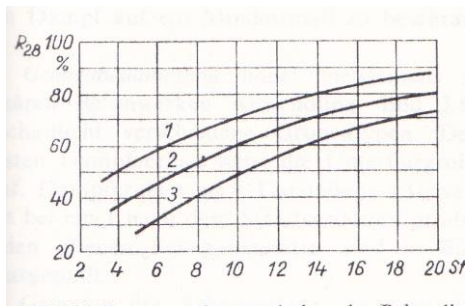
Όταν το σκυρόδεμα ωριμάζει σε υψηλές θερμοκρασίες, η θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου αναπτύσσεται γρήγορα έτσι ώστε η αύξηση της θερμοκρασίας να μεγαλώνει ακόμα και σε μικρής διατομής σκυροδέματα.

Βασική προϋπόθεση της θερμικής επεξεργασίας είναι η συνεχής διατήρηση της απαιτούμενης υγρασίας στο περιβάλλον του σκυροδέματος. Δεδομένου δε ότι η πρόωρη αντοχή κυμαίνεται από το 50% μέχρι και το 80% της τελικής, πρέπει το σκυρόδεμα να υποστεί μια επί πλέον επεξεργασία. Συνήθως επιβάλλεται ο ψεκασμός του σκυροδέματος με υγρή αντιεξατμιστική μεμβράνη, προς αποφυγή της εξάτμισης της υγρασίας του.





**Σχήμα 8** Προτεινόμενοι χρόνοι παραμονής για θερμική επεξεργασία προκατασκευασμένων στοιχείων (Βάσει εγκυκλίου της Deutsche Betonverein e.V. 11.2 Wärmebehandlung von Beton, Berlin 2014)



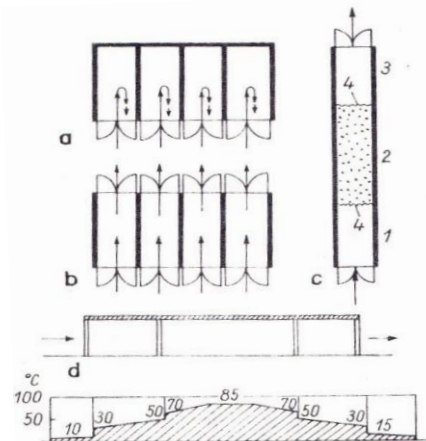
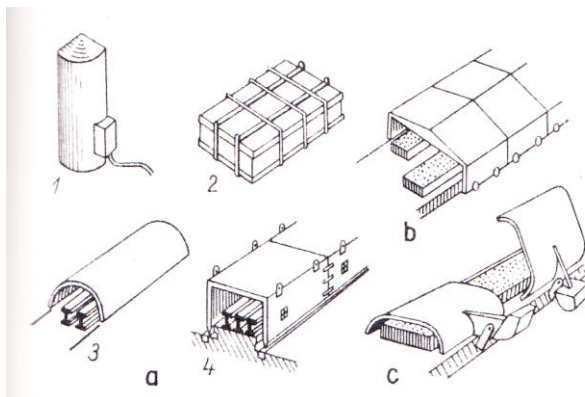
**Σχήμα 9** Εξέλιξη θλιπτικών αντοχών βάση θερμικής επεξεργασίας σε 60° σε συνάρτηση με την σχετική υγρασία του. Σκυροδέματος

**Σχήμα 10** Εξέλιξη θλιπτικών αντοχών βάση θερμικής επεξεργασίας σε 80° σε συνάρτηση με την σχετική υγρασία του. σκυροδέματος

1. Ύφυγρο σκυροδέμα, (S1)    2. Λίγο εργάσιμο (S2)    3. Πολύ εργάσιμο (S3)  
(Mokk Lászó, Löke Endre, “Montagebau in Stahlbeton” VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1974 )

### ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η συνηθισμένη εφαρμογή θερμικής επεξεργασίας για προκατασκευασμένα στοιχεία είναι ο ατμός. Ο ατμός παράγεται είτε σε λέβητα είτε σε ατμογεννήτρια, και είναι κορεσμένος. Αυτό σημαίνει ότι ο ίδιος ο ατμός προσδίδει υγρασία στο προκατασκευασμένο στοιχείο. Η θερμική επεξεργασία των προκατασκευασμένων στοιχείων, ανάλογα με το μέγεθος τους και τις διαστάσεις τους πραγματοποιείται σε αντίστοιχους θερμικούς θαλάμους. Οι θάλαμοι τοποθετούνται σε θέσεις προκαθορισμένες από την μελέτη των γραμμών παραγωγής, όπου υπάρχουν και αντίστοιχες παροχές ατμού. Οι θάλαμοι πρέπει να είναι θερμομονωμένοι και να υπάρχουν διατάξεις τέτοιες για την παρακολούθηση της θερμικής και χρονικής διαδικασίας της επεξεργασίας. **Σχήμα 11 & 12.** Ιδιαίτερα για προεντεταμένα προϊόντα όπου λόγω της ευαισθησίας των τενόντων στις μεγάλες θερμοκρασίες, ο κίνδυνος απώλειας της συνάφειας τους είναι μεγάλος, τότε οι διατάξεις ελέγχου πρέπει να είναι αυτόματες και πλήρως ελεγχόμενες.



**Σχήμα 11.** Θάλαμοι θερμικής επεξεργασίας προκατασκευασμένων στοιχείων κατάλληλοι για αντίστοιχα προκατασκευασμένα προϊόντα:

1. Σωλήνες
  2. Καλούπια τύπου «μπαταρίας»
  3. Πίστες προέντασης
- a. Σταθερός θάλαμος b. Κινητός σε σιδηροτροχιές  
c. Εναλλακτικά ανοιγόμενος.

**Σχήμα 12** Τύποι θαλάμων θερμικής επεξεργασίας προκατασκευασμένων προϊόντων:

- a. Μεμονωμένοι θάλαμοι
- b. Διαμπερείς θάλαμοι
- c. Θάλαμος τύπος τούνελ
- d. Τομή με θερμοκρασιακή μεταβολή μέσα στο τούνελ

(Mokk Lászó, Löke Endre, “Montagebau in Stahlbeton” VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1974 )

Οι θάλαμοι θερμικής επεξεργασίας όσο αφορά την λειτουργικότητάς τους διακρίνονται::

- Απλά επίπεδα καλύμματα **Σχήμα 13**
- Ειδικά διαμορφωμένα καλύμματα
- Υπόγειοι θάλαμοι
- Επίγειοι κλειστοί θάλαμοι **Σχήμα 14**
- Θερμικά τούνελ

**Πίνακας 3.** Η μέση παροχή ατμού ανά 1 m<sup>2</sup> σκυροδέματος εξαρτάται από το είδος των θερμικών θαλάμων.

ΕΙΔΟΣ ΘΑΛΑΜΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΤΜΟΥ (KG) ΑΝΑ 1 m <sup>2</sup> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
Απλά επίπεδα καλύμματα	660
Ειδικά διαμορφωμένα καλύμματα	555
Υπόγειοι θάλαμοι	380
Επίγειοι κλειστοί θάλαμοι	250
Θερμικά τούνελ	225



**Σχήμα 13** Απλά επίπεδα καλύμματα



**Σχήμα 14** Επίγειοι κλειστοί θάλαμοι

## ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Θέρμανση του καλουπιού με θερμό αέρα ή ατμό: Στα καλούπια προβλέπονται διπλά τοιχώματα ώστε να παροχετεύεται θερμός αέρας ή ατμός. Ενδείκνυται για επίπεδα καλούπια.
- Θέρμανση του καλουπιού με θερμό λάδι: Η ίδια μεθοδολογία αλλά με θερμαντικό υλικό το λάδι σε κλειστό ανακυκλωμένο σύστημα. Υπερέχει του προηγούμενου γιατί δεν οξειδώνονται οι σιδηρότυποι.
- Υπέρυθρη ακτινοβολία: Σε κλειστούς θαλάμους επεξεργασία με υπέρυθρη ακτινοβολία. Απαραίτητα παράλληλος καταιονισμός νερού για διατήρηση σχετικής υγρασίας.
- Θέρμανση με μικροκύματα: Παρεμφερής μεθοδολογία ως άνω.

## ΑΣΤΟΧΙΕΣ

Το σκυρόδεμα δεν καίγεται, γιατί έχει μικρή θερμική αγωγιμότητα, και παρουσιάζει ενδόθερμες αντιδράσεις στον τσιμεντοπολτό. Κατά την έκθεση του όμως σε υψηλές θερμοκρασίες και με έλλειψη υγρασίας περιβάλλοντος, παρουσιάζεται το φαινόμενο της αποφλοίωσης της επιφανείας του λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής του. **Σχήμα 15**

Αυτό συμβαίνει λόγω της αυξημένης πίεσης των πόρων που προκαλείται από τους υδρατμούς και της θερμικής διαστολής των αδρανών.

Η έκταση της αποφλοίωσης εξαρτάται από :

- Το ποσοστό της περιεχομένης υγρασίας,
- Την ταχύτητα της θέρμανσης στο πορώδες
- Την περατότητα του επιφανειακού τμήματος του σκυροδέματος.

Η επόμενη φάση είναι η ασβεστοποίηση του σκυροδέματος και η διάλυση του ιστού του. **Σχήμα 16.** Γενικότερα βάση κανονισμών πυρασφάλειας το σκυρόδεμα δεν επιτρέπεται να παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 250°C.



**Σχήμα 15**

Αστοχία σε στυλούς από οπλισμένο σκυρόδεμα λόγω θερμικής επεξεργασίας με ατμό σε υψηλές θερμοκρασίες και παράλληλη έλλειψη υγρασίας περιβάλλοντος..



**Σχήμα 16**

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η εφαρμογή θερμικής επεξεργασίας για προκατασκευασμένα στοιχεία με ατμό είναι η συνηθέστερη και η ευκολότερη μέθοδος, και παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Εύκολη χρήση
- Οικονομική τεχνική υποδομή
- Αυτοματοποιημένη διαδικασία
- Ευκολία ελέγχου

Μειονέκτημα είναι η τιμή του καυσίμου, που εάν είναι πετρέλαιο, αυξομειώνεται βάση διεθνών συγκυριών και φόρων.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η θερμική επεξεργασία των προκατασκευασμένων προϊόντων από σκυρόδεμα είναι απαραίτητη κατά τη φάση τη παραγωγής τους. Με την τεχνολογία της πρόωρης ωρίμανσης επιτυγχάνεται πρόωρη αντοχή του προκατασκευασμένου στοιχείου ώστε να ξεκαλουπωθεί και να μετακινηθεί χωρίς απώλειες αλλά συγχρόνως εξασφαλίζεται και η τελική αντοχή χρήσης του. Η τεχνολογία είναι απλή, μπορεί να εφαρμόζεται και με αυτοματισμό και τυποποιημένο τρόπο, ώστε να είναι ελεγχόμενη. Το επί πλέον κόστος της ενέργειας, για την θερμική επεξεργασία των προκατασκευασμένων στοιχείων αποσβένεται από την εξοικονόμηση της χρήσης των επί πλέον απαιτητών καλουπιών και του σύντομου χρόνου παράγωγής τους.

Η θερμική επεξεργασία είναι μία παράμετρος της προκατασκευής που συμβάλει και εξασφαλίζει την αειφορία των προκατασκευασμένων στοιχείων και προϊόντων από σκυρόδεμα

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

ΕΔΡΑΣΗ –Χ.Ψαλλίδας ΑΤΕ, ΘΕ.ΜΟ.Σ. ΑΕ, SIKΑ Hellas ΑΒΕΕ, ΔΕΗ (ΚΔΕΠ)

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### *Βιβλία*

Gehlen Ch. Schiessl P. “Mustervorschrift Lebensdauerbemessung von Beton“ Beton + Fertigteiljahrbuch Bauverlag GmbH, Güttersloh 2008

Οικονόμου Χρίστος. Δημοκρίτιο Πανεπιστήμιο Θράκης «Η Τεχνολογία του Σκυροδέματος» 2<sup>η</sup> έκδοση. Art of Text, Θεσσαλονίκη 1994.

Mokk Lászó, Löke Endre, “Montagebau in Stahlbeton” VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1974

### *Τεχνικές εκθέσεις*

Μελέτη βελτίωσης της ποιότητας και της οικονομικότητας των τσιμεντοστύλων διανομής ΔΕΗ Δ/ση Μελετών Κατασκευών & Λειτουργίας Εγκαταστάσεων Διανομής . ΔΕΗ 1994

Προκατασκευή . Γιατί σε χρόνους κρίσης συμφέρει η Προκατασκευή. Α.Ν. Απέργης Σεμινάριο Σκυροδέματος ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, 2016

Deutsche Betonverein e.V. 11.2 Wärmebehandlung von Beton, Berlin 2014

Zement-Merkblatt Betontechnik B 8 4.2014 Nachbehandlung und Schutz des jungen Betons

Fib, Model Code for Service Life Design (fib bulletin 34)

***Άρθρα σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια (δημοσιευμένα σε πρακτικά)***

Σακελλαρίου Α. «Μέθοδος επιταχυνόμενης ωρίμανσης με ατμό προκατασκευασμένων στύλων οπλισμένου σκυροδέματος» 11<sup>ο</sup> Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος Κέρκυρα 1994

***Πρότυπα (standards)***

Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2016 , ΦΕΚ Β 1561 02.06.2016

Ταξινόμηση δομικών προϊόντων (υλικών και στοιχείων) με βάση την συμπεριφορά των υλικών σχετικά με την αντίδρασή τους στη φωτιά : EN 13501