

# Συνοπτική Παρουσίαση Τεχνικών Οδηγιών ΤΟ1-ΤΟ8 Επιτροπής Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΣΠΜΕ – Μέρος Ι Short Presentation of Technical Recommendations TR1-TR8 of ACEG Concrete Technology Committee – Part I

Αντώνιος ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ<sup>1</sup>, Χρήστος ΖΕΡΗΣ<sup>2</sup>,  
Νικόλαος ΜΑΡΣΕΛΛΟΣ<sup>3</sup>, Χρήστος ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ<sup>4</sup>, Νικόλαος ΖΥΓΟΥΡΗΣ<sup>5</sup>,  
Βασίλειος ΜΠΑΡΔΑΚΗΣ<sup>6</sup>, Αικατερίνη (Κορίνα) ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ<sup>7</sup>,  
Γεώργιος ΠΙΤΤΟΣ<sup>8</sup>, Ιωάννης Π. ΣΦΗΚΑΣ<sup>9</sup>, Νικόλαος ΚΑΡΥΣΤΙΝΟΣ<sup>10</sup>,  
Στυλιανή ΠΑΠΑΤΖΑΝΗ<sup>11</sup>

*Λέξεις κλειδιά: Θερμοκρασία Περιβάλλοντος, Τεχνολογία Υλικών, Ανθεκτικότητα,  
Ambient Temperature, Materials Technology, Durability*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Η παρούσα ανακοίνωση αφορά στη συνοπτική παρουσίαση του έργου και των μελλοντικών στόχων της Επιτροπής Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΕΤΣ) του Συλλόγου Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας (ΣΠΜΕ), ενώ εστιάζει στα σχετικά προβλήματα του Μηχανικού και στα βασικά συμπεράσματα, όπως αυτά αναπτύσσονται εκτενώς στις αντίστοιχες Τεχνικές Οδηγίες (ΤΟ) που διατίθενται ελεύθερα σε ηλεκτρονική μορφή από την ιστοσελίδα του ΣΠΜΕ. Παρά το γεγονός ότι οι ΤΟ δεν αποτελούν κανονιστικά κείμενα με υποχρεωτική εφαρμογή και δεν υποκαθιστούν ισχύοντες κανονισμούς και πρότυπα, θεωρείται ότι μπορούν να συμβάλουν θετικά στη διάχυση της γνώσης και τον επιστημονικό προβληματισμό και να προωθήσουν την Τεχνολογία Σκυροδέματος ως βασικό γνωστικό πεδίο της συνεχιζόμενης εκπαίδευσης μηχανικών. Η ανακοίνωση

<sup>1</sup> Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΚΔΕΠ/ΔΕΗ, email: [sakellariou.antonios@gmail.com](mailto:sakellariou.antonios@gmail.com)

<sup>2</sup> Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, email: [zeris@central.ntua.gr](mailto:zeris@central.ntua.gr)

<sup>3</sup> Πολιτικός Μηχανικός, email: [nikos.marsellos@gmail.com](mailto:nikos.marsellos@gmail.com)

<sup>4</sup> Quality Control Manager, Larsinos S.A. Group of Companies, email: [vogiatzis@larsinos.gr](mailto:vogiatzis@larsinos.gr)

<sup>5</sup> Πολιτικός Μηχανικός, Λίθος Σύμβουλοι Μηχανικοί, email: [nikos@lithos.com.gr](mailto:nikos@lithos.com.gr)

<sup>6</sup> Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΜΠΛΕΚΤΟΝ Σύμβουλοι Μηχανικοί, email: [vbardakis@eblecton.gr](mailto:vbardakis@eblecton.gr)

<sup>7</sup> Επίκουρος Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Παν/μιο Πατρών, [kpapanic@upatras.gr](mailto:kpapanic@upatras.gr)

<sup>8</sup> Ingénieur d'études - Design Engineer, Géodynamique et Structure, email: [gpittos@icloud.com](mailto:gpittos@icloud.com)

<sup>9</sup> Chartered Engineer, PhD, CEng MICE MICT, Mott MacDonald Ltd. email: [gsfikas@gmail.com](mailto:gsfikas@gmail.com)

<sup>10</sup> Corporate Materials Manager, Archirodon N.V., email: [nikokary@hotmail.com](mailto:nikokary@hotmail.com)

<sup>11</sup> Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού, Διεύθυνση Αναστήλωσης Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων, email: [spatzani@gmail.com](mailto:spatzani@gmail.com)

χωρίζεται σε τρεις κύριες θεματικές ενότητες που αφορούν στην εκτέλεση έργων από σκυρόδεμα υπό διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος (Ενότητα Ι), στις τεχνολογίες και τα υλικά δόμησης, με ειδική μνεία σε ειδικές σκυροδετήσεις (Ενότητα ΙΙ) και στην ανθεκτικότητα και τις σχετιζόμενες επισκευές (Ενότητα ΙΙΙ), και συνοψίζουν βασικές πληροφορίες από τις οκτώ εκδοθείσες (ή υπό έκδοση) ΤΟ.

**ABSTRACT :** The present study is a short presentation of accomplished work and future aims of the Concrete Technology Committee (CTC) of the Association of Civil Engineers of Greece (ACEG), and focuses on the associated engineering problems and the major conclusions, as these are extensively discussed in the relevant Technical Recommendations (TRs), which are freely distributed in electronic format through the ACEG website. Despite the fact that the TRs do not form normative text with mandatory application and do not substitute current codes and standards, it is believed that they can positively contribute to the knowledge distribution and the scientific brainstorming and promote Concrete Technology as a key knowledge field of continuing education of engineers. The article is split into three key thematic fields, which relate to the execution of concrete structures under various environmental conditions (Field I), construction technologies and materials, with special reference to special concretes (Field II) and the durability and the associated repairs (Field III), and summarise key information from eight published (or under publication) TRs.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος (ΣΠΜΕ) αποτελεί το ανεξάρτητο, μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα, επιστημονικό σωματείο των Ελλήνων Διπλωματούχων Πολιτικών Μηχανικών, με έδρα την Αθήνα, και περιλαμβάνει 20 Τοπικά Τμήματα (ΤΤ) σε διάφορους Νομούς της χώρας. Ο ΣΠΜΕ ιδρύθηκε το 1961 και επεκτάθηκε σε Πανελλήνιο Σύλλογο, υπό τη σημερινή του ονομασία, το έτος 1973, αποτελεί δε ιδρυτικό μέλος του ECCE (European Council of Civil Engineers). Ένας εκ των κυρίων στόχων του Συλλόγου είναι η προαγωγή της επιστημονικής κατάρτισης των 25.000 μελών του, μέσω της υποστήριξης δράσεων συνεχιζόμενης εκπαίδευσης και δια βίου μάθησης. Στο πλαίσιο προώθησης των εν λόγω δράσεων, ο Σύλλογος έχει συγκροτήσει από το 2010 την Επιτροπή Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΕΤΣ) με αντικείμενο την ενημέρωση των μηχανικών επί επιστημονικών θεμάτων Τεχνολογίας Σκυροδέματος. Η ΕΤΣ αποτελείται από μια ανανεούμενη ομάδα καταρτισμένων και έμπειρων μηχανικών από διαφορετικούς χώρους: τον πανεπιστημιακό/ ερευνητικό, τη βιομηχανία δομικών υλικών, τους δημόσιους οργανισμούς, τις μελετητικές και κατασκευαστικές εταιρείες ιδιωτικού συμφέροντος και το ελεύθερο επάγγελμα. Με αυτό τον τρόπο η ΕΤΣ στοχεύει στο να καλύπτει μια ευρεία γκάμα θεμάτων εφαρμοσμένου ενδιαφέροντος στο σκυρόδεμα, διερευνώντας και παρουσιάζοντας αυτά μέσα από την ευρύτερη οπτική όλων των συμμετεχόντων.

Τα ιστορικά και τρέχοντα μέλη της ΕΤΣ έχουν συμβάλει ενεργά στην επίτευξη του στόχου του ΣΠΜΕ, μέσω της σύνταξης και δωρεάν διάθεσης Τεχνικών Οδηγιών (ΤΟ). Σκοπός των ΤΟ είναι η συλλογή και παράθεση πληροφοριών με αναφορές σε κείμενα εφαρμογής και συστάσεις οι οποίες ισχύουν στην Ελλάδα, αλλά και σε άλλες χώρες του εξωτερικού. Παρά το γεγονός ότι οι ΤΟ δεν αποτελούν κανονιστικά κείμενα με υποχρεωτική εφαρμογή και δεν υποκαθιστούν ισχύοντες κανονισμούς και πρότυπα αλλά παραπέμπουν σε αυτά, έχουν, κατά κοινή ομολογία, συμβάλει θετικά στη διάχυση της γνώσης και τον επιστημονικό προβληματισμό και χαίρουν αναγνώρισης ως μια εκ των θετικότερων προσπαθειών συνεχιζόμενης εκπαίδευσης μηχανικών. Οι ΤΟ διατίθενται ελεύθερα σε ηλεκτρονική μορφή από την ιστοσελίδα του ΣΠΜΕ και εντύπως (μέσω χορηγιών), ενώ παρουσιάζονται σε τακτά διαστήματα σε σχετικές ημερίδες που πραγματοποιούνται υπό την αιγίδα του Ινστιτούτου Εκπαίδευσης και Επιμόρφωσης του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας – ΙΕΚΕΜ ΤΕΕ.

Μέχρι σήμερα, η ΕΤΣ έχει εκδώσει επτά ΤΟ και ολοκληρώνει την ΤΟ8. Η παρούσα ανακοίνωση αφορά στη συνοπτική παρουσίαση του έργου και των μελλοντικών στόχων της ΕΤΣ, ενώ εστιάζει στα σχετικά προβλήματα του μηχανικού και στα βασικά συμπεράσματα, όπως αυτά αναπτύσσονται εκτενώς στις αντίστοιχες ΤΟ. Η ανακοίνωση χωρίζεται σε τρεις θεματικές ενότητες, εκ των οποίων, λόγω του εκτενούς της ανάπτυξης, η πρώτη ενότητα αναλύεται στο Μέρος Ι της παρούσης, ενώ οι άλλες δύο ενότητες στο Μέρος ΙΙ:

- ΕΝΟΤΗΤΑ Ι: Εκτέλεση έργων από σκυρόδεμα υπό διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος: χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος (ΤΟ1, 2011), υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος (ΤΟ2, 2011) και συνθήκες συνθήκες περιβάλλοντος (ΤΟ3, 2012) (Μέρος Ι).
- ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΙ: Τεχνολογίες και υλικά δόμησης – Ειδικές σκυροδετήσεις: Σκυροδέτηση με συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος (ΤΟ3, 2012), Δάπεδα από Σκυρόδεμα (Πλάκες επί εδάφους) (ΤΟ4, 2013) και Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΤΟ5, 2014) (Μέρος ΙΙ).
- ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΙΙ: Ανθεκτικότητα και σχετιζόμενες επισκευές: Ανθεκτικό σκυρόδεμα σε διάβρωση οπλισμού λόγω ενανθράκωσης ή/ και δράσης χλωριόντων (ΤΟ6, 2015), Διάβρωση οπλισμού (ΤΟ7, 2017) και Επισκευές ρωγμών (ΤΟ8, υπό έκδοση) (Μέρος ΙΙ).

## ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### **Το σκυρόδεμα: ένα παγκόσμιο υλικό**

Η ευελιξία και προσαρμοστικότητα του σκυροδέματος, η ανθεκτικότητά του στο χρόνο και το σχετικά χαμηλό κόστος του, το καθιστούν ένα ελκυστικό κατασκευαστικό υλικό παγκοσμίως. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Έτοιμου Σκυροδέματος (European Ready-Mix Concrete Organisation, ERMCO) που εκδόθηκαν πρόσφατα για το 2015 (ERMCO, 2016), η παραγωγή έτοιμου σκυροδέματος στα 20 κράτη μέλη του οργανισμού ξεπέρασε

τους 350 εκατομμύρια (εκ.) τόνους, με τις ΗΠΑ να ακολουθούν με 260 εκ. τόνους, την Ιαπωνία με 100 εκ. τόνους και τη Ρωσία με 40 εκ. τόνους.

Τα είδη έργων, όπου το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται ως κύριο δομικό υλικό, είναι απεριόριστα: αυτοκινητόδρομοι, γέφυρες, σήραγγες, φράγματα, λιμενικά έργα, πολυώροφα κτήρια, αλλά και κτήρια κατοικιών. Μερικές διάσημες κατασκευές από σκυρόδεμα είναι το Πάνθεον της Ρώμης (έργο ρωμαϊκής εποχής), το φράγμα Hoover (και η γέφυρα στο φράγμα Hoover) στις ΗΠΑ, ο πύργος Burj Khalifa στο Ντουμπάι (το υψηλότερο κτήριο από σκυρόδεμα), το κανάλι του Παναμά, η όπερα του Σίδνεϋ, και στη χώρα μας: η καλωδιωτή γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου, το Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος, το Μουσείο της Ακρόπολης κ.ά..

### **Έλεγχος Ποιότητας Σκυροδέματος**

Με εξαίρεση τις εφαρμογές προκατασκευής, όπου οι συνθήκες παραγωγής του υλικού και παρασκευής του τελικού προϊόντος είναι αρκετά ελεγχόμενες, η χρήση του σκυροδέματος ως δομικού υλικού ενέχει, από τη φύση του, πολλές αβεβαιότητες. Σε σύγκριση με το δομικό χάλυβα, αλλά και τον χάλυβα οπλισμού, όπου η βιομηχανοποιημένη παραγωγή παρέχει την απαραίτητη εγγύηση ποιότητας ως προς τις απαιτούμενες προδιαγραφές του υλικού, η κατασκευή έργων από σκυρόδεμα, από την παραγωγή έως το τελικό προϊόν, προϋποθέτει αυστηρότερο έλεγχο ποιότητας σε όλα τα στάδια.

Η ποιότητα του τελικού προϊόντος εξαρτάται κυρίως από τις εφαρμοζόμενες τεχνικές, τόσο για την παραγωγή του σκυροδέματος όσο και για τη χύτευσή του. Υπό την προϋπόθεση της παραγγελίας κατάλληλου σκυροδέματος, όσο αφορά τη συμπεριφορά του (ιδιότητες νωπού, αντοχή, ανθεκτικότητα) και τις αναμενόμενες συνθήκες σκυροδέτησης, ο απαιτούμενος Έλεγχος Ποιότητας κατά την παραγωγή (σύμφωνα με το EN 206 και τον ΚΤΣ-16) γενικώς διασφαλίζει την ποιότητα του παραδιδόμενου προϊόντος. Η ποιότητα, όμως, του τελικού προϊόντος είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ορθή εκτέλεση του Κατασκευαστή και την καλή επίβλεψη από τον Μηχανικό επιτόπου στο εργοτάξιο. Μια προσεκτική και περίπλοκη μελέτη μπορεί εύκολα να ακυρωθεί και να αχρηστευτεί, εάν οι επιτόπου ιδιότητες του σκυροδέματος διαφοροποιηθούν από αυτές που είχαν ληφθεί υπόψη στη μελέτη.

### **Τελικά ποιο είναι το «καλό» (κατάλληλο) σκυρόδεμα;**

Για να απαντηθεί το κρίσιμο αυτό ερώτημα, θα πρέπει κανείς πρώτα να σκεφτεί τα χαρακτηριστικά ενός «κακού» (ακατάλληλου) σκυροδέματος: μια νωπή μάζα, ακατάλληλης συνεκτικότητας, που έχει παρασκευαστεί αναμιγνύοντας τσιμέντο, αδρανή, νερό και -ενδεχομένως- κάποιο χημικό πρόσθετο, ίνες και ελεγχόμενο αέρα, και τα οποία μετατρέπονται σκληρυνόμενα σε ένα ανομοιόμορφο πορώδες σύνολο με σπηλαιώσεις και ρωγμές.

Προς έκπληξη, τα συστατικά ενός «καλού» (κατάλληλου) σκυροδέματος είναι όπως παραπάνω, όλα δε (πλην του νερού) φέρουν (με βάση και τον ΚΤΣ-16) σήμανση συμμόρφωσης CE (Conformité Européene). Η διαφορά έγκειται στην

καλή γνώση της Τεχνολογίας του Σκυροδέματος, το “know-how” των μεθόδων σχεδιασμού, παραγωγής, διάστρωσης και συντήρησης, άμεσα και σε βάθος χρόνου. Συνήθως, η ορθή μελέτη και επίβλεψη συνοδεύεται με ένα πρόσθετο κόστος εξειδικευμένης εργασίας, το οποίο είναι όμως σημαντικά μικρότερο, αν αναλογιστεί κανείς το κόστος επισκευών που μπορεί να ανακύψει από ένα «κακό» σκυρόδεμα. Δύο είναι, λοιπόν, τα βασικά κριτήρια για ένα «καλό» σκυρόδεμα:

- Για το δεδομένο πρόγραμμα και τεχνική σκυροδέτησης που θα χρησιμοποιηθεί, το νωπό σκυρόδεμα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις εργασιμότητας και συνεκτικότητας μέχρι την ολοκλήρωση της χύτευσης του στους τύπους και να διατηρεί την επιθυμητή συμπεριφορά μέχρι τη σκλήρυνσή του (π.χ. θερμότητα ενυδάτωσης).
- Το σκληρυμένο σκυρόδεμα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της μελέτης, όσο αφορά την αντοχή και την ανθεκτικότητά του, για τον χρόνο ζωής του έργου (50 έως 100 χρόνια, ή και περισσότερο για μεγάλα έργα).

Πιο συγκεκριμένα, στη νωπή φάση, η εργασιμότητα του αναμίγματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε το σκυρόδεμα να πληρώσει τους τύπους και να συμπυκνωθεί με τα προβλεπόμενα μέσα, χωρίς υπερβολικές προσπάθειες. Παράλληλα, ο σχεδιασμός της σύνθεσης και η επιλογή της μεθόδου διάστρωσης πρέπει να γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε το ανάμιγμα να παραμένει συνεκτικό, δηλαδή να μην παρουσιάσει διαχωρισμό και απώλεια της ομοιογένειάς του. Τέλος, η ανάπτυξη των ιδιοτήτων του κατά τη σκλήρυνση πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μην επηρεάσει τη ποιότητα του τελικού προϊόντος (π.χ. υψηλή θερμότητα ενυδάτωσης που πιθανόν θα επιφέρει ρηγμάτωση είτε μελλοντική εσωτερική διόγκωση λόγω του φαινομένου καθυστερημένου σχηματισμού ετρινγκίτη).

Μετά τη σκλήρυνση, η πρωταρχική απαίτηση είναι να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για τη θλιπτική αντοχή και την παραμόρφωση. Αυτή η απαίτηση στοχεύει όχι μόνο στο να εξασφαλιστεί ότι το σκυρόδεμα αντέχει σε προδιαγεγραμμένες δράσεις, αλλά και στο γεγονός ότι μια κατάλληλη θλιπτική αντοχή σχετίζεται άμεσα ή έμμεσα με πλείστες άλλες επιθυμητές ιδιότητες του σκυροδέματος όπως: πυκνότητα, εφελκυστική και καμπτική αντοχή μέτρο ελαστικότητας, άμεσες και χρόνιες παραμορφώσεις και ανθεκτικότητα (πορώδες, αδιαπερατότητα, αντοχή σε φθορά, αντοχή στα θειικά, κ.λπ.).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, κατά τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον για όλες τις παραπάνω ιδιότητες νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος διαρκώς ενισχύεται. Οι νέοι κανονισμοί και οι σύγχρονες προδιαγραφές τείνουν να καθιερώσουν πιο συγκεκριμένες απαιτήσεις για καθεμιά από αυτές τις ιδιότητες, παρά να περιορίζονται μόνο στην ποιότητα και την ποσότητα των συστατικών υλικών, περνώντας από τη γενιά των συνταγογραφικών (prescriptive) Κανονισμών που ίσχυαν παλαιότερα σε Κανονισμούς προδιαγραφόμενης επιτελεσματικότητας (performance-based). Γίνεται, λοιπόν, εύκολα αντιληπτό ότι η επιλογή των πιο κατάλληλων και πλέον οικονομικών αναμιγμάτων και των ιδιοτήτων τους προϋποθέτει καλή γνώση της Τεχνολογίας Σκυροδέματος, των

ιδιοτήτων του και των παραγόντων που τις επηρεάζουν, δημιουργώντας, κατ' επέκταση, ένα νέο πεδίο γνώσης και εξειδίκευσης του Πολιτικού Μηχανικού.

### **Τεχνολογία Σκυροδέματος**

Η απαιτούμενη γνώση περί Τεχνολογίας Σκυροδέματος που είναι απαραίτητη για τον Πολιτικό Μηχανικό συνοψίζεται στους παρακάτω βασικούς άξονες:

- Τύποι και κατηγορίες σκυροδέματος, και ιδιότητές τους στις δύο φάσεις:
  - Νωπό: εργασιμότητα, ρεολογία, ιδιότητες κατά τη σκλήρυνση (π.χ. ρυθμός αύξησης αντοχής, θερμότητα ενυδάτωσης, συστολή, κ.λπ.).
  - Σκληρυμένο: μηχανικές αντοχές, τάσεις-παραμορφώσεις, συστολή ξήρανσης, ερπυσμός, ανθεκτικότητα/ διαπερατότητα σε νερό και αέρα, αντίσταση σε περιβαλλοντικές δράσεις και σε φωτιά, τελική υφή και εμφάνιση κ.λπ.
- Συστατικά σκυροδέματος: τσιμέντο, νερό, αδρανή, πρόσμικτα, χημικά πρόσθετα, ίνες (μεταλλικές, πλαστικές, κ.λπ.), χρωστικές, ελεγχόμενα προστιθέμενος αέρας και αναλογίες μιγμάτων για την επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων – Μελέτη σύνθεσης.
- Μέθοδοι παραγωγής (βιομηχανική παραγωγή εργοστασιακού σκυροδέματος, βιομηχανία προκατασκευασμένων προϊόντων) και μεταφοράς – αρχικός και διαρκής έλεγχος ποιότητας, πιστοποίηση παραγωγής.
- Σκυροδετήσεις: προγραμματισμός χρόνων, μέσων και προσωπικού, εξοπλισμός άντλησης και έγχυσης σκυροδέματος, τύποι, ικριώματα, προετοιμασία επιφανειών – αρμοί, διάστρωση, συμπύκνωση, συντήρηση, ξεκαλούπωμα, συντήρηση/ προστασία νεαρού σκυροδέματος.
- Σκυροδέτηση σε ασυνήθεις θερμοκρασίες και/ή ειδικές συνθήκες: με χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, μέσα στο νερό ή τη θάλασσα.
- Επίβλεψη και δοκιμές: δοκιμές αποδοχής νωπού σκυροδέματος, δοκιμές κατά τη φάση σκλήρυνσης, δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος, έλεγχοι στο έργο μετά την ωρίμανση.
- Σκυροδέματα με εξειδικευμένες ιδιότητες και για ειδικές σκυροδετήσεις: μάζης, εκτοξευόμενο, αυτοσυμπυκνούμενο, ελαφροσκυρόδεμα, αυτόκλειστο, ύφυγρο κυλινδρούμενο, ινοπλισμένο (και ferrocement), υδατοπερατό, αυτοϊώμενο, κ.ά.
- Ανθεκτικότητα σκυροδέματος: περιβαλλοντικές δράσεις, διάβρωση οπλισμού λόγω ενανθράκωσης και/ή χλωριόντων, μηχανική, φυσική και χημική φθορά, καθυστερημένος σχηματισμός ετρινγκίτη, αλκαλοπυριτική αντίδραση κ.λπ.

- Τεχνολογία διάγνωσης: επί τόπου και εργαστηριακές μετρήσεις και δοκιμές, παρακολούθηση του έργου στο χρόνο (monitoring).
- Τεχνολογία επισκευών δομικών μελών από σκυρόδεμα: διάγνωση και κατηγοριοποίηση βλαβών, ρωγμές, διαδικασίες και προϊόντα επισκευών.

### **Απαιτήσεις Τεχνολογίας Σκυροδέματος ανά Εφαρμογή**

Τα συστατικά υλικά, η μελέτη σύνθεσης, οι στοχευόμενες ιδιότητες και η μεθοδολογία σκυροδέτησης καθορίζονται με βάση τα ειδικά χαρακτηριστικά του έργου. Για παράδειγμα, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται σε:

- Σκυροδετήσεις μεγάλης μάζας (π.χ. θεμελιώσεις με κοιτόστρωση), όπου απαιτείται έλεγχος της θερμότητας ενυδάτωσης και ιδιαίτερη προσοχή στο φαινόμενο της ρηγμάτωσης. Πιθανή απαίτηση για τοποθέτηση ελαφρού οπλισμού για την αποφυγή ρηγματώσεων (έλεγχος πρόωρης ρηγμάτωσης).
- Κατασκευές καθ' ύψος ή/ και σε μεγάλες αποστάσεις από το σημείο παράδοσης, με πιθανά προβλήματα διαχωρισμού/ απόμιξης λόγω της άντλησης σκυροδέματος ή/ και του μεγάλου ύψους στοιχείων (π.χ. τοιχία).
- Κατασκευές με υψηλή πυκνότητα οπλισμού, με πιθανά προβλήματα που σχετίζονται με την κοκκομετρία των αδρανών (μέγιστο μέγεθος κόκκου μη συμβατό με την πυκνότητα των οπλισμών ή/ και την επικάλυψή τους), την εργασιμότητα, αλλά και με την εφαρμογή της συμπύκνωσης.
- Κατασκευές με ολισθαίνοντες τύπους, όπου απαιτείται προσεκτική οργάνωση των ενεργειών πριν τη χύτευση και κατάλληλη επιλογή των χρόνων πήξης και πρώιμων αντοχών, ούτως ώστε να είναι εφικτή και χωρίς προβλήματα η ολίσθηση του καλουπιού.
- Προκατασκευή, όπου οι τεχνικές που ακολουθούνται πρέπει να ελέγχονται συστηματικά (π.χ. για χρήση ατμού, για την επιτάχυνση της σκλήρυνσης του σκυροδέματος, πρέπει να γίνεται σωστός σχεδιασμός και έλεγχος των θερμικών βαθμίδων της διαδικασίας).
- Μονολιθικές σκυροδετήσεις μεγάλων διαστάσεων, όπου πρέπει να εξασφαλισθούν οι κατάλληλοι χρόνοι επικάλυψης των διαδοχικών στρώσεων (αποφυγή ψυχρών αρμών).
- Προένταση, όπου απαιτείται πρώιμη αντοχή και περιορισμός παραμορφώσεων.

## **ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, ο σκοπός των ΤΟ είναι η συλλογή και παράθεση πληροφοριών, με πηγές από κείμενα εφαρμογής και συστάσεις που ισχύουν τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς, κυρίως στην Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και τις ΗΠΑ. Είναι ήδη γνωστό, αλλά διαφαίνεται και από τα προηγούμενα κανονιστικά κείμενα της χώρας (π.χ. Κανονισμός 1954, ΚΤΣ 1985, ΚΤΣ 97), πόσο ιδιαίτερη επίδραση είχαν στην ανάπτυξη της Τεχνολογίας Σκυροδέματος

στην Ελλάδα κείμενα όπως, για παράδειγμα, το γερμανικό DIN 1045, το αμερικάνικο ACI 318, αλλά και πολλά αμερικάνικα πρότυπα ASTM.

Η παραπάνω εμπειρία εμπλουτίστηκε τα τελευταία χρόνια από την ενσωμάτωση των ευρωπαϊκών προτύπων (π.χ. ΕΛΟΤ EN 197-1, EN 206, ΕΛΟΤ EN 13670, ΕΛΟΤ EN 12620, κ.λπ.) στα τεχνικά κανονιστικά κείμενα. Όλες οι βασικές τους αρχές υιοθετήθηκαν τόσο κατά την 1<sup>η</sup> αναθεώρηση του ΚΤΣ-97, το 2002, με τη προσαρμογή του αρχικού κανονισμού στο ΕΛΟΤ EN 197-1 (περί τσιμέντων), όσο και πρόσφατα, με την έκδοση του νέου Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-16), ο οποίος εναρμονίζεται με τις απαιτήσεις τους.

Οι ΤΟ του ΣΠΜΕ βασίζονται τόσο στα σύγχρονα ελληνικά κανονιστικά κείμενα, όσο και στα διεθνή, με ειδική έμφαση στα αντίστοιχα τεχνικά κείμενα του Αμερικάνικου Ινστιτούτου Σκυροδέματος (American Concrete Institute, ACI). Επί πλέον, οι τεχνικές οδηγίες του ACI περί της τεχνολογίας σκυροδέματος θεωρήθηκαν από την ΕΤΣ ιδιαίτερα εύστοχες ως βάση ανάπτυξης των ΤΟ, λόγω της πληρότητάς τους και τη συνεχούς τους επικαιροποίησης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ΤΟ του ΣΠΜΕ, χωρίς να υποκαθιστούν τους ισχύοντες κανονισμούς και πρότυπα, φιλοδοξούν να συμβάλλουν στη βελτίωση της τεχνολογίας στη χώρα μας, την αύξηση της τεχνικής μας ανταγωνιστικότητας και την κατάρτιση των επιστημόνων μηχανικών που μελετούν και εκτελούν τα τεχνικά μας έργα. Είναι εξάλλου αποδεκτό ότι, η τελική ποιότητα μίας κατασκευής από σκυρόδεμα εξαρτάται καθοριστικά από το αν τα πρόσωπα που την κατασκευάζουν έχουν τις γνώσεις και τα τεχνικά προσόντα που απαιτούνται.

## **ΕΝΟΤΗΤΑ Ι: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΡΓΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

### **Δομή Σχετικών Τεχνικών Οδηγιών**

Η τελική ποιότητα του σκυροδέματος εξαρτάται σημαντικά από τις συνθήκες περιβάλλοντος κατά τη σκυροδέτηση και τις αμέσως επόμενες ημέρες (κατά τη φάση συντήρησης) και τα μέτρα που λαμβάνονται κατά την εκτέλεση των έργων. Οι τρεις πρώτες ΤΟ αφορούν σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος που μπορεί να επικρατούν κατά τη σκυροδέτηση: χαμηλή (ΤΟ1), υψηλή (ΤΟ2) και κανονική (συνήθης) θερμοκρασία (ΤΟ3).

### **Ορισμοί Χαμηλής-Υψηλής-Κανονικής Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος**

- Χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος: όταν η θερμοκρασία του αέρα έχει πέσει ή αναμένεται να πέσει κάτω από 4°C κατά την περίοδο προστασίας.
- Υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος: όταν η θερμοκρασία του αέρα έχει ανέλθει ή αναμένεται να υπερβεί τους 27°C κατά την περίοδο προστασίας (απαιτείται η λήψη μέτρων), με διακοπή της σκυροδέτησης όταν η θερμοκρασία του αέρα ξεπερνά του 35°C ή/ και η θερμοκρασία σκυροδέματος στην παράδοση ξεπεράσει τους 32°C.

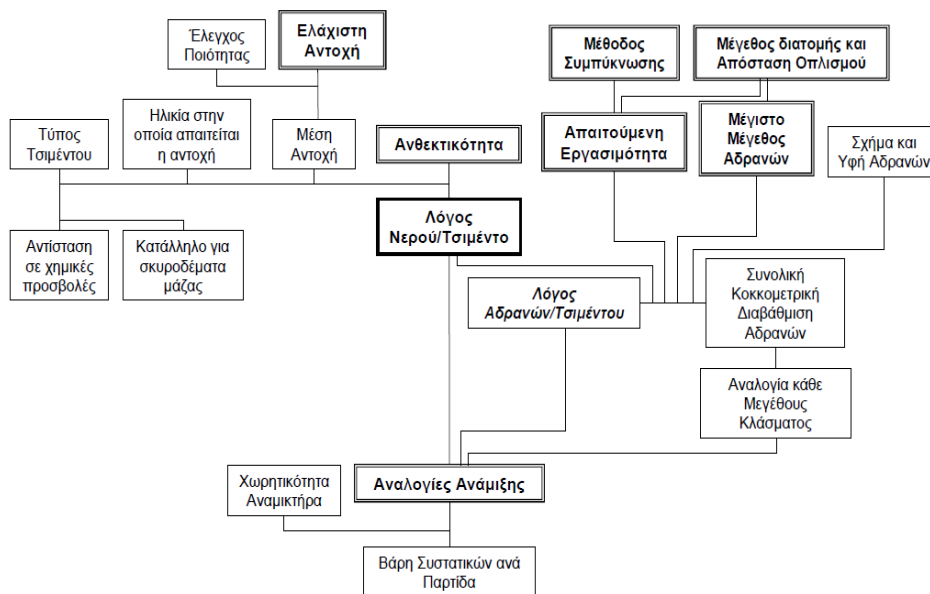


- Συνήθεις (κανονικές) συνθήκες περιβάλλοντος: όταν η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται μέσα στη ζώνη από 5°C έως 35°C.

### Συνοπτική Διαδικασία Σχεδιασμού-Μελέτης και Εκτέλεσης

Για την ορθή εκτέλεση των έργων από σκυρόδεμα υπό διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος, πρέπει να ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Σχεδιασμός σκυροδέματος: επιλογή συστατικών ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις που αφορούν: α) στα προδιαγραφόμενα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος (ιδιότητες του υλικού), τόσο στη νωπή όσο και στη σκληρυμένη φάση, και β) στην ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντικές δράσεις που καθορίζονται από τη μελέτη, για τη διάρκεια ζωής του έργου.
- Μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος: προσδιορισμός των σχετικών αναλογιών των συστατικών υλικών, οι οποίες είναι ικανές να προσδώσουν στο υλικό προκαθορισμένες επιθυμητές ιδιότητες (να ικανοποιήσουν δηλαδή συγκεκριμένες απαιτήσεις επιτελεστικότητας, τόσο κατά τη νωπή, όσο και κατά τη σκληρυμένη του φάση), με τον πλέον οικονομικό τρόπο. Οι βασικοί παράγοντες παρουσιάζονται στο **Σχήμα 1**.



**Σχήμα 1.** Βασικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος.

- Παραγγελία σκυροδέματος (εάν δεν πρόκειται για σκυρόδεμα προδιαγραφόμενης σύνθεσης): πλήρης προδιαγραφή σκυροδέματος (κατηγορίες αντοχής και κάθισης, ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου, μέγιστος λόγος N/T, κατηγορία έκθεσης, μέγιστος κόκκος αδρανούς, κατηγορία περιεκτικότητας χλωριόντων, άλλες ειδικές απαιτήσεις).

- Μεταφορά και παραλαβή σκυροδέματος στο έργο (Έλεγχος Ποιότητας): Η μεταφορά του σκυροδέματος στο έργο πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος απώλειας των ιδιοτήτων του, ενώ κατά την παραλαβή πρέπει να διεξάγονται όλοι οι προβλεπόμενοι έλεγχοι.
- Διάστρωση, συντήρηση και προστασία.: το σκυρόδεμα διαστρώνεται και συμπυκνώνεται με κατάλληλο τρόπο, σύμφωνα με το πρόγραμμα σκυροδέτησης, και προστατεύεται έναντι περιβαλλοντικών και (κατόπιν) μηχανικών δράσεων από την έναρξη της χύτευσης μέχρι να αποδώσει μια ελάχιστη θλιπτική αντοχή, σύμφωνα με την Κατηγορία Συντήρησης του έργου (ΚΤΣ-16, ΕΛΟΤ EN 13670).

### Στόχοι Διαδικασίας Σχεδιασμού-Μελέτης και Εκτέλεσης

- Έλεγχος της θερμοκρασίας του παραδιδόμενου νωπού σκυροδέματος και περιορισμός ταχέως αναπτυσσόμενων θερμοκρασιακών διαφορών στη μάζα του σκυροδέματος κατά την σκλήρυνση.
- Έλεγχος της απώλειας εργασιμότητας.
- Αποφυγή βλαβών στο σκυρόδεμα κατά τη νωπή του φάση, σε πρώιμες ηλικίες αλλά και μετά τη σκλήρυνση.
- Διατήρηση των συνθηκών συντήρησης που ευνοούν τον επιθυμητό ρυθμό ανάπτυξης αντοχής.
- Εξασφάλιση ανάπτυξης ικανής αντοχής για την ασφαλή απομάκρυνση των τύπων και την ανάληψη του βάρους του, των κατασκευαστικών και κατόπιν των απαιτούμενων φορτίων λειτουργίας.
- Προστασία και εμφάνιση του σκυροδέματος με τρόπο συμβατό με τις απαιτήσεις λειτουργικότητας του έργου.
- Εξασφάλιση της απαιτούμενης, για το έργο, ανθεκτικότητας.

### Συνήθεις Βλάβες

Οι συνήθεις βλάβες υπό συνθήκες χαμηλών ή υψηλών θερμοκρασιών σκυροδέτησης συνοψίζονται στον **Πίνακα 1**.

**Πίνακας 1.** Συνήθεις βλάβες υπό συνθήκες ακραίων θερμοκρασιών σκυροδέτησης.

Σκυροδέτηση υπό χαμηλή θερμοκρασία	Σκυροδέτηση υπό υψηλή θερμοκρασία
Παγοποίηση ή παγοπληξία	Έντονη απώλεια κάθισης και αυξημένος ρυθμός απώλειας υγρασίας
Καθυστέρηση πήξης και μείωση ρυθμού ανάπτυξης αντοχών	Αυξημένος ρυθμός τήξης (γρήγορη πήξη) & Μείωσης της τελικής αντοχής
Αυξημένος κίνδυνος ρηγμάτωσης	Αυξημένος κίνδυνος ρηγμάτωσης

## **Είδη μέτρων προστασίας**

Τα συνήθη μέτρα προστασίας αφορούν:

- στο σκυρόδεμα ως υλικό (επιλογή κατάλληλων συστατικών, ελάχιστη θερμοκρασία, εργασιμότητα σχεδιασμού, ρυθμός εξίδρωσης) και τη διαδικασία παράδοσής του στο έργο (χρόνοι μεταφοράς, αναμονής και εκφόρτωσης στο έργο).
- στο περιβάλλον της κατασκευής (μέσω κατάλληλης προετοιμασίας πριν τη σκυροδέτηση και της διατών μηχανικών μέσων ψύξης ή θέρμανσης αμέσως πριν, μετά τη διάστρωση και κατά τη διάρκεια της συντήρησης).
- στη διατήρηση της ισορροπίας υγρασίας στα όρια (μέσω τροφοδοσίας είτε περιορισμού της απώλειας υγρασίας, προστασίας από τον άνεμο)
- στη θερμική προστασία του δομικού μέλους (διάφορα υλικά, όπως χημικά πρόσθετα, θερμομονωτικά σκυροδετούμενης επιφάνειας, τύποι, κ.λπ.).

## **Επιρροή στο κόστος κατασκευής**

Το κόστος μιας σκυροδέτησης σε κρύο ή ζεστό καιρό είναι σαφώς μεγαλύτερο συγκρινόμενο με αυτό της σκυροδέτησης σε συνήθεις συνθήκες. Το πρόσθετο κόστος οφείλεται στον επιπλέον εξοπλισμό, τα εργατικά, στην κατασκευή προστατευτικών μέτρων, στον κορεσμό της επιφάνειας με νερό (για ζεστό καιρό και/ή έντονο αέρα), στην ψύξη ή θέρμανση του διαστρωμένου σκυροδέματος, τη χρήση αερακτικών ή αντι-παγετικών προσμίτων (για κρύο καιρό) ή μεθόδων ψύξης, π.χ. χρήση πάγου, υγρού αζώτου ή δικτύων ψύξης (για ζεστό καιρό), τη χρήση επιταχυντών ή επιβραδυντών, κ.λπ.

*Οι ενότητες II και III αναλύονται στο Μέρος II της παρούσας ανακοίνωσης, όπου επιπλέον περιλαμβάνεται η σύνοψη και τα συμπεράσματα του συνολικού έργου, αλλά και οι μελλοντικοί στόχοι της ΕΤΣ του ΣΠΜΕ.*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστίες οφείλονται στα μέλη του ΔΣ του ΣΠΜΕ που από το 2010 έχουν στηρίξει αδιάκοπα το έργο της ΕΤΣ, στο παλαιότερο μέλος της ΕΤΣ Θ. Παναγιωτίδη για τη σημαντική συνεισφορά του στη συγγραφή των τριών πρώτων ΤΟ, στο Επιστημονικό Τεχνικό Επιμελητήριο Κύπρου (ΕΤΕΚ) Κύπρου για την διάχυση των ΤΟ στους Κύπριους συναδέλφους και σε όλους τους συναδέλφους που έχουν ήδη αποστείλει σχόλια επί των ΤΟ.

## **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

ΣΠΜΕ. Τεχνική Οδηγία 1 (ΤΟ1). Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Απρίλιος 2011.

ΣΠΜΕ. Τεχνική Οδηγία 2 (ΤΟ2). Σκυροδέτηση με υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σεπτέμβριος 2011.

ΣΠΜΕ. Τεχνική Οδηγία 3 (ΤΟ3). Σκυροδέτηση σε συνήθεις καιρικές συνθήκες. Απρίλιος 2012.

ΣΠΜΕ. Τεχνική Οδηγία 4 (ΤΟ4). Δάπεδα από σκυρόδεμα (Πλάκες επί Εδάφους). Ιούνιος 2013.

ΣΠΜΕ. Τεχνική Οδηγία 5 (ΤΟ5). Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα. Μάρτιος 2014.

ΣΠΜΕ. Τεχνική Οδηγία 6 (ΤΟ6). Ανθεκτικό Σκυρόδεμα (σε διάβρωση οπλισμού λόγω ενανθράκωσης ή/και δράσης χλωριόντων). Σεπτέμβριος 2015

ΣΠΜΕ. Τεχνική Οδηγία 7 (ΤΟ7). Διάβρωση χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος (και δοκιμες πρακτικές για να μην επέλθει διάβρωση). Νοέμβριος 2016

ΣΠΜΕ. Τεχνική Οδηγία 8 (ΤΟ8). Επισκευές ρωγμών λόγω διάβρωσης οπλισμού από περιβαλλοντικές δράσεις.

ERMCO (2016). Ready-Mix Concrete Industry Statistics – Year 2015.

EN 206 (2013) Σκυρόδεμα - Προδιαγραφή, επιτελεστικότητα, παραγωγή και συμμόρφωση.

ΚΤΣ Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος Παλαιός (1954) ΚΤΣ (1985) ΚΤΣ-97 (1997, 2002), ΚΤΣ-16 (2016).

ΕΛΟΤ EN 197-1. Τσιμέντο - Μέρος 1 : Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα.

ΕΛΟΤ EN 1991-1-6. Ευρωκώδικας 1: Δράσεις σε δομήματα - Μέρος 1-6: Γενικές δράσεις - Δράσεις κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

ΕΛΟΤ EN 13670. Εκτέλεση έργων από σκυρόδεμα.

ΕΛΟΤ EN 12620. Αδρανή για σκυρόδεμα.

ΕΛΟΤ EN 12811-1. Εξοπλισμός προσωρινών εργασιών - Μέρος 1: Σκαλωσιές - Απαιτήσεις απόδοσης και γενικός σχεδιασμός

ΕΛΟΤ EN 12812. Κινητά ικρίωματα - Απαιτήσεις απόδοσης και γενικός σχεδιασμός.

DIN 1045 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton.

ACI 318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete.