

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ – ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δρ. Κακαβας Παναγιώτης

Καθηγητής Α.Τ.Ε.Ι.

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΜΟΥΝΤΖΟΥΡΗΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣΑΜ:5127

ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ ΑΜ:5229

ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΑΜ: 5202

ΠΑΤΡΑ, 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ευχαριστούμε θερμά τον καθηγητή μας κο. Κακαβά Παναγιώτη για την άριστη συνεργασία μας μαζί του. Η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής δεν θα ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί δίχως την υποστήριξη, κατανόηση και τις άπειρες ώρες βοήθειας του ανθρώπου αυτού. Θέλουμε να τον ευχαριστήσουμε για την καθοδήγησή του σε σημαντικά κομμάτια της διπλωματικής, τις πολύτιμες γνώσεις που μας μετέδωσε αλλά και για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε .

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου συνολικά για την ξεχωριστή συμβολή του καθενός στην ολοκλήρωση των σπουδών μας.

Πάτρα, 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι η μελέτη και η παρουσίαση νέων υλικών – συνδυασμό αυτών στην κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος. Περιγράφουμε και παρουσιάζουμε υλικά νέας τεχνολογίας που προσδίδουν νέες ιδιότητες στο οπλισμένο σκυρόδεμα ή βελτιώνουν τις ήδη υπάρχουσες. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικές πληροφορίες για το σκυρόδεμα και τον χάλυβα, όπως η δομή, οι ιδιότητες, οι ισχύουσες προδιαγραφές και οι κατηγορίες σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή. Στη συνέχεια, το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στη παρουσίαση του Ευρωκώδικα 2. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται υλικά νέας τεχνολογίας και πως επηρεάζουν αυτά το οπλισμένο σκυρόδεμα στη κατασκευή. Στο τέταρτο και πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε το ηλεκτρονικό πρόγραμμα **betonexpress**, καθώς και σειρά παραδειγμάτων. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα συμπεράσματα της διπλωματικής μας εργασίας.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών:

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κείμενου, έχουμε δε αναφέρει στη Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

ΜΟΥΝΤΖΟΥΡΗΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ

ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ

ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ - ΠΙΝΑΚΩΝ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	11
ΧΑΛΥΒΑΣ.....	25
1.3 Η ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 2.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΝΙΣΧΥΣΗ Ο.Σ ΜΕ ΝΑΝΟ-ΥΛΙΚΑ.....	56
3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ	56
3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ	59
3.3 ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΝΕΑ ΥΛΙΚΑ.....	62
3.4 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	64
3.5 ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	75
3.6 ΑΥΤΟΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΒΕΤΟΝEXPRESS	89
4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	89

4.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕ ΑΠΛΟ Ο.Σ.....	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	127
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	140
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	142

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ - ΠΙΝΑΚΩΝ

Εικόνα 1. Αποψη από το εσωτερικό της καθολικής εκκλησίας του Ιωβηλαίου (JubileeChurch) στη Ρώμη, στην οποία πρωτοχρησιμοποιήθηκε το αυτοκαθαριζόμενο σκυρόδεμα (Αρχιτέκτων RichardMeier).[5]	38
Εικόνα 2. Χάρη στη νανοτεχνολογία, το σκυρόδεμα δεν απορροφάει τις σταγόνες του νερού, αυξάνοντας έτσι την αντοχή του και εμποδίζοντας την εμφάνιση υγρασίας. [5].....	38
Εικόνα 3. Εφαρμογές του χάλυβα MMFX2 σε προκατασκευασμένη δοκό και σε κατάστρωμα γέφυρας στις Η.Π.Α.[5]	39
Εικόνα 4. Η νανοτεχνολογία δημιούργησε προϊόντα που προστατεύουν την επιφάνεια του ανοξειδωτού χάλυβα από την υγρασία, αφήνοντάς την λαμπερή μέχρι και δύο χρόνια.[5]	39
Εικόνα 5. Με τη χρήση της νανοτεχνολογίας τα επιστρώματα προστατεύουν το ξύλο από την ηλιακή ακτινοβολία και το νερό, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής του και διατηρώντας την ομορφιά του.[5]	43
Εικόνα 6.Οαυτοκαθαριζόμενος υαλοπίνακας με επικάλυψη διοξειδίου του τιτανίου απομακρύνει το νερό της βροχής, σε αντίθεση με έναν συμβατικό.[5]	43
Εικόνα 7. Οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες μπορούν να αποκτήσουν λιγότερη διαφάνεια με την εφαρμογή μικρής τάσης σε στρώση οξειδίων του βολφραμίου.[5].....	43
Εικόνα 8. Οι σύγχρονες τάσεις για υψηλά κτίρια με μεγάλα υαλοστάσια δημιουργούν περισσότερες απαιτήσεις σχετικά με την καθαριότητα, την πυρασφάλεια και τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας, για τις οποίες η νανοτεχνολογία βρίσκει λύσεις.[5].....	44
Εικόνα 9. Σχήμα 40: Σχηματική αναπαράσταση διαφόρων δομών νανοσωλήνων άνθρακα.[7]	69
Εικόνα 10. Σχηματισμός singlewallednanotubes (SWNT) από το τύλιγμα του γραφενίου.[7]	72
Εικόνα 11.Είδητων single walled nanotubes (SWNT).[7].....	72
Εικόνα 12. Δομή φουλερένιου.[7]	73
Εικόνα 13. Ίνες για σκυρόδεμα.[8]	76
Εικόνα 14. Εφαρμογή ινοπλισμένου σκυροδέματος.[8]	78

Εικόνα 15. Διατομή ωπλισμένου σκυροδέματος.[8]	79
Εικόνα 16. Εφαρμογή ανθρακούφασματος.[8]	80
Εικόνα 17. Δοκίμια της σήραγγας της Μάγλης σε έλεγχο έναντι πυρκαγιάς(αριστερά σκυρόδεμα απλής συνθέσεως και δεξιά σκυρόδεμα ενισχυμένο με ίνες PP).[8]	83
Εικόνα 18. Δοκιμή πάνελ σκυροδέματος έναντι πυρκαγιάς.[8].....	85
Εικόνα19. Photograph courtesy Nicole Casal Moore/University of Michigan[8]	86
Εικόνα 21. Πλάκες συμπαγείς και πλάκες με νευρώσεις (Zollner). Πλάκες τετραέριστες, τριέριστες, διέριστες με οποιαδήποτε μορφή στήριξης (επίλυση κατά Marcus), συνεχείς πλάκες μέχρι και οκτώ ανοίγματα, πρόβολοι. Ενισχύσεις πλακών με (FRP) ανθρακονήματα και εποξειδικές. [9].....	90
Εικόνα 22. Δοκοί ενός ανοίγματος με σύνθετη φόρτιση, συνεχείς δοκοί μέχρι και οκτώ ανοίγματα, διατομή ορθογωνική ή πλακοδοκός, σύνθετη καταπόνηση κάμψη, διάτμηση και στρέψη. Ενίσχυση δοκών με (FRP) ανθρακονήματα και εποξειδικές. [9].....	91
Εικόνα 23. Υποστυλώματα σε διαξονική κάμψη. Έλεγχος σε λυγισμό φαινόμενα 2ας τάξης. Ενίσχυση υποστυλωμάτων με (FRP) ανθρακονήματα και εποξειδικές. [9].....	91
Εικόνα 24. Πέδιλα κεντρικά ή έκκεντρα με αξονικά φορτία και ροπές στην κεφαλή. Ακριβής υπολογισμός στερεού τάσεων εδάφους. Διαστασιολόγηση για φέρουσα ικανότητα εδάφους με επιτρεπόμενες τάσεις ή με Ευρωκώδικα 7. Έλεγχοι σε κάμψη, διάτμηση και διάτρηση. [9]	92
Εικόνα 25. Τοίχοι αντιστήριξης βαρύτητας ή από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Γεωτεχνικός σχεδιασμός με επιτρεπόμενες τάσεις και συντελεστή ασφαλείας, ή με Ευρωκώδικα 7 (EAK). Έλεγχος τοίχων βαρύτητας με επιτρεπόμενες τάσεις ή με Ευρωκώδικα 6. Μελέτη τοίχων ωπλισμένου σκυροδέματος με τον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος ή με Ευρωκώδικα 2. Πλήρης αντισεισμικός έλεγχος βάσει του EAK. [9]	92
Εικόνα 26. Πρόβολοι με $a_c < h_c$ όπου a_c ο μοχλοβραχίονας του κατακόρυφου φορτίου και h_c το ύψος του προβόλου. [9]	93
Εικόνα 27. Δοκοί (δίσκοι) με διαστάσεις $L_{eff}/h \geq 2$, όπου L_{eff} το μήκος και h το ύψος. [9].....	94
Εικόνα 28. Εξειδικευμένο σχεδιαστικό πακέτο (CAD), για εμφάνιση, εκτύπωση και επεξεργασία σχεδίων. [9]	94
Εικόνα 29. Αναλυτικοί κατάλογοι οπλισμών, καθώς και ξεχωριστοί πίνακες	

οπλισμών πλακών και δοκών. Ειδικός editor των πινάκων οπλισμών, με έτοιμα μενού ράβδων για κάθε περίπτωση, όπου δίνεται η δυνατότητα αλλαγών και προσθηκών ράβδων οπλισμών. [9].....	95
Εικόνα 30. Υψηλή ποιότητα εκτύπωσης τευχών σε όλους τους εκτυπωτές. [9]	96
Εικόνα 31. Δυνατότητα επιλογής κανονισμών. [9]	97
Εικόνα 32. Μετατροπή μονάδων. [9]	98
Εικόνα 33. Περιέχονται οι κανονισμοί. [9]	99
Εικόνα 34. Περιέχεται πλήρης βοήθεια για κάθε σημείο του προγράμματος με αντίστοιχες αναφορές στους κανονισμούς και στο θεωρητικό υπόβαθρο, το σχετικό με το αντικείμενο που επεξεργάζεστε. [9]	100
Εικόνα 38. Συντελεστής ερπυσμού.	106
Εικόνα 39. Συστολή ξήρανσης.	107
Εικόνα 40. Ελάχιστη επικάλυψη	107
Εικόνα 42. Διαστασιολόγηση σε κάμψη (2)	108
Εικόνα 43. Δεδομένα – σκαρίφημα.....	112
Εικόνα 44. Επιλογές – δεδομένα.....	113
Εικόνα 45. Σκαρίφημα πλάκας.....	119
Εικόνα 46. Δεδομένα υπολογισμού πλάκας.....	119
Εικόνα 47. Σκαρίφημα τετραέρειστης πλάκας.....	120
Εικόνα 48. Στοιχεία υπολογισμού πλάκας.....	121

Διάγραμμα 1. Ανάπτυξη της αντοχής του τσιμεντοπολτού με το χρόνο.[1]	18
Διάγραμμα 2. Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης, χάλυβα κατεργασμένος εν θερμώ. 35	
Διάγραμμα 3. Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης, χάλυβα κατεργασμένος εν ψυχρώ.[4]	36
Διάγραμμα 4. Τάση – παραμόρφωση.[6]	54
Διάγραμμα 5. Παραβολικό - ορθογωνικό διάγραμμα.[6]	54
Διάγραμμα 6. Διγραμμικό διάγραμμα.[6]	55
Διάγραμμα 7. Σύγκριση θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής από κάμψη ινοπλισμένου σκυροδέματος με ατσάλινες ίνες με λόγο μορφής 80 με άοπλο σκυρόδεμα, για δυο ποιότητες C16/20 και C25/30.[8]	77
Διάγραμμα 8. Πίνακας παράθεσης πιθανότητας θρυμματισμού σε βάθους	

χρόνου κάνοντας σαφές το χρονικό περιθώριο 1 ^{ης} -2 ^{ης} επέμβασης και αντικατάστασης. [8]	88
Διάγραμμα 9. Διάγραμμα τάσης – μηκύνσεων σκυροδέματος.....	105
Διάγραμμα 10. Διάγραμμα τάσεων – μηκύνσεων χάλυβα.....	106
Πίνακας 1. Κατηγορίες σκυροδέματος.[1].....	13
Πίνακας 2. Τύποι σκυροδέματος.[1]	14
Πίνακας 3. Ποσότητα σκυροδέματος ανά κατηγορία.[1]	17
Πίνακας 4. Μέγιστος λόγος βάρους τσιμέντου και νερού.[1].....	21
Πίνακας 5. Μέγεθος κόκκων.[1]	22
Πίνακας 6. Συντελεστής Ψ.[6]	50
Πίνακας 7. Συντελεστές ασφαλείας υλικών Y_c και Y_s . [6]	50
Πίνακας 8. Γενικά στοιχεία.[6]	52
Πίνακας 9. Διάγραμμα σκυροδέματος σε θλίψη.....	105
Πίνακας 10. Διαστασιολόγηση σε κάμψη (1)	108
Πίνακας 11. Οπλισμός.....	126

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το σκυρόδεμα¹ είναι τεχνητό υλικό που αποτελείται κατά βάση από αδρανή (χαλίκι και άμμο) ,συγκολλημένα μέσω του σκληρωμένου τσιμεντοπολτού σε μονολιθική μάζα.

Τα αδρανή είναι μεν το φθινό συστατικό , αλλά έχουν πολύ ικανοποιητικές βασικές ιδιότητες όπως η μηχανική αντοχή, ανθεκτικότητα σε διάρκεια και περιβαλλοντικές επιδράσεις (χημικές ουσίες, υγρασία, κύκλους ζέστης και παγωνιάς, υψηλές θερμοκρασίες), σταθερότητα όγκου και υδατοστεγανότητα.

Ο τσιμεντοπολτός αποτελείται από τσιμέντο, νερό και (χημικά) πρόσμεικτα ή πρόσθετα. Ενώ έχει σημαντικά υψηλότερο κόστος από τα αδρανή, στη σκληρυμένη του μορφή ο τσιμεντοπολτός δεν έχει εξίσου καλές βασικές ιδιότητες. Ο ρόλος του είναι να συνδέει τα κενά μεταξύ των αδρανών και να συνδέει τα αδρανή, μετατρέποντας τα, από σύνολο ισχυρών αλλά ασύνδετων κόκκων σε τεχνητόπέτρωμα. Επιπλέον λειτουργεί σαν λιπαντικό μεταξύ των κόκκων των αδρανών, έτσι ώστε το νωπό σκυρόδεμα να είναι μια ρευστή αλλά συνεκτική μάζα.(αποφυγήαπόμειξης).

Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος

Από τη φύση του το σκυρόδεμα είναι ανομοιογενές υλικό. Η ανομοιογένεια αυτή οφείλεται σε μικροδιαφορές στην ποιότητα των υλικών (κυρίως των αδρανών) και την αναλογία τους στο μίγμα (λόγω π.χ. απορρύθμισης των ζυγιστηρίων, του αναμικτήρα κλπ) και σε διαφορές στη διάστρωση, συμπύκνωση ή συντήρηση του σκυροδέματος από θέση σε θέση κατασκευής (π.χ. περιοχές μεγάλης ή μικρής πυκνότητας οπλισμού, επιφάνεια ή εσωτερικό ενός δομικού στοιχείου, κρυφή ή βάση ενός υποστυλώματος ή τοιχώματος κλπ). Λόγω της ανομοιομορφίας αυτής η ποιότητα, και

¹ «ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ», Παναγιώτης Α. Μιχάλης Σωτήρης Χ. Δημητρίου, Επιβλέπων Καθηγητής Γεώργιος Κονιόπουλος, Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2007

πιο συγκεκριμένα η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε ένα σημείο της κατασκευής, f_c , θεωρείται σαν τυχαία μεταβλητή, χαρακτηρίζεται δηλ από μία πιθανοτική κατανομή, με μέσο όρο, f_{cm} , τυπική απόκλιση $s_{κλπ}$.

Καθοριστικά για την ασφάλεια μιας κατασκευής είναι τα αδύνατα σημεία της. Γι' αυτό ο σχεδιασμός των δομικών στοιχείων βασίζεται όχι στη μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, f_{cm} , αλλά σε μία μικρότερη τιμή, τη χαρακτηριστική αντοχή, f_{ck} . Κατά γενικά αποδεκτή σήμερα σύμβαση, σαν χαρακτηριστική αντοχή ορίζεται η τιμή εκείνη κάτω από την οποία έχει πιθανότητα 5% να βρεθεί η αντοχή ενός τυχαίου δοκιμίου σκυροδέματος (δηλ. αν ολόκληρη η ποσότητα του σκυροδέματος μετατρεπόταν σε δοκίμια, μόνο το ποσοστό υποαντοχής $p=5\%$ των αντοχών αυτών των δοκιμίων θα ήταν κάτω από την χαρακτηριστική αντοχή και το υπόλοιπο 95 % θα ήταν πάνω απ' αυτήν). Έτσι αν η αντοχή του σκυροδέματος ακολουθεί την κανονική κατανομή πιθανοτήτων (κατανομή Gauss), με μέση τιμή f_{cm} και τυπική απόκλιση s , είναι : $f_{ck} = f_{cm} - 1,645 \cdot s$ όπου ο συντελεστής -1,645 αντιστοιχεί σε τιμή της σωρευτικής συνάρτησης κατανομής κατά Gaussίση με 5%. Έτσι δύο σκυροδέματα με διαφορετική διασπορά ή διαφορετικό έλεγχο ποιότητας και επομένως διαφορετικές τιμές της τυπικής απόκλισης, s , θεωρούνται ισοδύναμα από απόψεως ασφάλειας, αν έχουν την ίδια χαρακτηριστική αντοχή, f_{ck} . Αυτό σημαίνει πως αυτό που έχει τη μεγαλύτερη διασπορά ή το χειρότερο έλεγχο ποιότητας (δηλ. τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση), θα πρέπει να έχει μεγαλύτερη μέση τιμή f_{cm} και επομένως μεγαλύτερο κόστος.

Οι νεότεροι κανονισμοί ορίζουν κατηγορίες σκυροδέματος, με βάση την χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή, f_{ck} . Έτσι σύμφωνα με τον νέο Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος οι κατηγορίες σκυροδέματος είναι οι ακόλουθες:

Κατηγορία σκυροδέματος	κυλ. (MPa)	κύβου (MPa)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45

C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

Πίνακας 1. Κατηγορίες σκυροδέματος.[1]

όπου ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου (f_{ck}), ενώ ο δεύτερος την χαρακτηριστική αντοχή κύβου ($f_{ck,cube}$) σε Μρα, στις 28 ημέρες.

ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Το τσιμέντο που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος είναι βιομηχανικό κοκκώδες υλικό με υδραυλικές ιδιότητες. Δηλαδή σκληραίνει όταν αναμιγνύεται με το νερό σχηματίζοντας προϊόντα αδιάλυτα στο νερό. Είναι γνωστό ότι το τσιμέντο αποτελεί από αρχαιοτάτων χρόνων εξαιρετη υδραυλική κονία με εξαιρετικές ιδιότητες. Χρησιμοποιείται ευρύτατα και σήμερα σε πολλές πρακτικές εφαρμογές, εκτός από την βιομηχανοποιημένη διαδικασία παραγωγής σκυροδέματος, καθώς εκτός από υψηλή υδραυλικότητα συνδυάζει και υψηλές αντοχές.

Παραγωγή:

Το τσιμέντο, σε αντίθεση με άλλες κονίες, είναι βιομηχανικό προϊόν που παρασκευάζεται από τη σύγχρονη όπτηση **ασβεστόλιθου** και **αργίλου**.

Η σειρά των εργασιών από την εξόρυξη των πρώτων υλών ως το τελικό προϊόν είναι η ακόλουθη (σχήμα 2.1):

α) Εξόρυξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων και αργιλικών εδαφών χωριστά. Τα πετρώματα αυτά περνούν από σπαστήρες, ώστε να τεμαχιστούν και να αποκτήσουν διάμετρο μερικών εκατοστών.

β) Μετά την έξοδο τους από τους σπαστήρες γίνεται ανάμειξη των δύο υλικών. (**προομοιογενοποίηση**)

γ) Έπειτα αλέθονται σε τριβεία, ώστε να αποκτήσουν διάμετρο λίγων χιλιοστών. Το προϊόν της αλέσεως, λεπτόκοκκο μείγμα ασβεστολιθικής και αργλικής άμμου, αποθηκεύεται σε σιλό και ονομάζεται **φαρίνα**.

δ) Το μείγμα εισάγεται στο επάνω άκρο κυλινδρικής καμίνου, η οποία περιστρέφεται αργά γύρω από τον άξονα της. Η θερμότητα παράγεται από καυστήρα πετρελαίου, τοποθετούμενη στο κάτω άκρο της. Η θερμοκρασία μέσα στην κάμινο είναι περίπου 600 °C στο επάνω άκρο και φτάνει στους 1500 °C στο κάτω άκρο, που είναι και το σημείο εξόδου των προϊόντων. Τα προϊόντα της σπτήσεως ονομάζονται **εκβολάδες** ή διεθνώς **klinker**. Έχουν διάμετρο λίγων εκατοστών, χρώμα μαυροπράσινο και αποτελούν, κατά κάποιο τρόπο, τα πετρώματα του τσιμέντου.

ε) Τα προϊόντα αυτά της σπτήσεως, οι εκβολάδες, αλέθονται και αποκτούν τη γνωστή μορφή του τσιμέντου. Το υλικό αυτό, όπως προκύπτει από την άλεση των klinker, χωρίς καμιά προσθήκη ή τροποποίηση, ονομάζεται “**τσιμέντο Πόρτλαντ**”.

Τύποι τσιμέντου:

Κάθε χώρα παγκοσμίως παρασκευάζει τσιμέντο, χρησιμοποιώντας τις πηγές πρώτων υλών που διαθέτει. Έτσι ανάλογα με τις υπάρχουσες και χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες δημιουργήθηκαν οι διάφοροι τύποι τσιμέντων που παράγονται παγκοσμίως, όπως το καθαρό ή αμιγές τσιμέντο, το τσιμέντο με ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα πυριτική ή ασβεστολιθική, σκωρία υφικαμίνου, πυριτική παιπάλη, ασβεστόλιθο κλπ.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι τσιμέντου:

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II	Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο

Πίνακας 2. Τύποι σκυροδέματος.[1]

Βασικοί τύποι τσιμέντου.

Τσιμέντο Τύπου Ι(CEMI), Πόρτλαντ αμιγή: χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση Κλίνκερ και γύψου.

Τσιμέντο Τύπου ΙΙ(CEMII), Σύνθετα τσιμέντα Πόρτλαντ: χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την συνάλεση Κλίνκερ - Πόρτλαντ, γύψου και πουζολάνης, φυσικής ή τεχνητής προέλευσης σε ποσοστά από 6-35% κατά μέγιστο.

Τσιμέντο Τύπου ΙΙΙ(CEMIII), Σκωριακά τσιμέντα ή σκωριοτσιμέντα: χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την συνάλεση Κλίνκερ, γύψου και σκωρίας μόνο σε ποσοστά από 36-95% κατά μέγιστο.

Τσιμέντο Τύπου ΙV(CEMIV), Πουζολανικά τσιμέντα: χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από τη συνάλεση Κλίνκερ -Πόρτλαντ, γύψου και πουζολάνης που μπορεί να είναι φυσική ή ψημένη, ιπτάμενη τέφρα πυριτική ή ασβεστούχα και πυριτική παιπάλη. Δεν μπορεί να περιέχει σκωρία.

Τσιμέντο Τύπου V(CEMV), Σύνθετα τσιμέντα: χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την συνάλεση Κλίνκερ, γύψου, σκωρίας και σε ίσο ποσοστό πουζολάνη φυσική ή ψημένη ή πυριτική ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστά από 36-50% κατά μέγιστο. Δεν μπορεί να περιέχει πυριτική παιπάλη.

Κατηγορίες αντοχής τσιμέντων:

Από άποψη αντοχής τα τσιμέντα κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:35, 45 και 55

Οι αριθμοί παριστάνουν την αντοχή των τσιμέντων σε ΜΡαόπως προσδιορίζεται συμβατικά σύμφωνα με τον κανονισμό. Έτσι, ένα τσιμέντο: **I /35** σημαίνει ότι είναι τύπου I και συμβατικής αντοχής 35 Μρα. Ο ρυθμός αυξήσεως της αντοχής του τσιμέντου επιτυγχάνεται συνήθως με αύξηση της λεπτότητας (Blaine). Ένα λεπτόκοκκο τσιμέντο (Blaine=4000 cm²/g) έχει γρηγορότερο ρυθμό αυξήσεως της αντοχής από ένα χονδροαλεσμένο τσιμέντο (Blaine=2500-3000 cm²/g). Θεωρητικοί τύποι των τσιμέντων θα ήταν 9. Οι παραγόμενοι όμως τύποι είναι λιγότεροι γιατί είτε δεν είναι όλοι οι συνδυασμοί πρακτικά εφικτοί, είτε δεν είναι απαραίτητοι στην πράξη.

Χρήση τσιμέντων στην Ελλάδα:

Σήμερα στην Ελληνική αγορά, εκτός από μικρή μερίδα ειδικών τσιμέντων, χρησιμοποιούνται ευρέως τα γνωστά τσιμέντα Πόρτλαντ που συνοπτικά αναφέρονται παρακάτω:

1. Τσιμέντο Πόρτλαντ - I/45: Παρουσιάζει γρήγορη ανάπτυξη αντοχών και είναι κατάλληλο για την κατασκευή σκυροδεμάτων υψηλών κατηγοριών και δομικών στοιχείων που απαιτούν γρήγορο ξεκαλούπωμα (προκατασκευή και προεντεταμένο σκυρόδεμα).

2. Τσιμέντο Πόρτλαντ - I/55: Η χρήση του στο εσωτερικό είναι περιορισμένη. Οι ποιότητες και οι χρήσεις του είναι ανάλογες με το τσιμέντο I/45 με επιδόσεις καλύτερες, κυρίως στην ανάπτυξη αντοχών.

3. Τσιμέντο Πόρτλαντ με Πουζολάνη - II/35: Στην αγορά είναι γνωστό με την ονομασία "κοινό τσιμέντο" ή Π 35. Χρησιμοποιείται για τα σκυροδέματα των συνήθων κατασκευών. Η ανάπτυξη των αντοχών του είναι βραδύτερη συγκριτικά με τους τύπους I, αλλά λόγω της παρουσίας ποζολανικών υλικών στη σύνθεσή του, συνεχίζονται να αυξάνονται μακροχρόνια οι αντοχές του σκυροδέματος με αποτέλεσμα την αύξηση της ανθεκτικότητάς του. Το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται με το τσιμέντο αυτό, παρουσιάζει μειωμένη ανάπτυξη θερμοκρασιών (χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης), μειωμένη διαπερατότητα και αυξημένη ανθεκτικότητα στα θειικά άλατα, το θαλασσινό νερό και σε διάφορα διαβρωτικά περιβάλλοντα (χρήση σε λιμενικά έργα).

4. Τσιμέντο Πόρτλαντ με Πουζολάνη - II/45 (ΠΥΑ 2000): Χρησιμοποιείται κυρίως σε έργα της ΔΕΗ (φράγματα, σήραγγες). Είναι τσιμέντο ανάλογο του II/35 και έχει βελτιωμένα τα ειδικά χαρακτηριστικά και το ρυθμό ανάπτυξης των αντοχών έναντι του II/35. Είναι κατάλληλο για χρήση σε λιμενικά έργα.

5. Τσιμέντο Πόρτλαντ ανθεκτικό στα θειικά - JV/55: Το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται με το τσιμέντο αυτό, παρουσιάζει ισχυρή αντίσταση στις προσβολές από τα θειικά άλατα και το θαλασσινό νερό. Ειδικότερα, η χρήση του για σκυροδετήσεις με αυξημένο βαθμό χημικής προσβολής καθορίζεται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

6. Τσιμέντο Πόρτλαντ Λευκό - I/55: Κύριο χαρακτηριστικό του είναι η λευκότητα. Έχει ιδιότητες και επιδόσεις αντίστοιχες με αυτές του τσιμέντου I/55 και χρησιμοποιείται στην πλακοποιία, στην κατασκευή διακοσμητικών στοιχείων,

μωσαϊκών δαπέδων κλπ.

Η ποσότητα του τσιμέντου εξαρτάται:

- από την κατηγορία του παρασκευαζομένου σκυροδέματος
- από την ποιότητα του τσιμέντου
- από το μέγεθος των κόκκων του τσιμέντου (λεπτότητα αλέσεως)

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι ενδεικτικές ποσότητες ανά κατηγορία σκυροδέματος για ένα κυβικό μέτρο (m^3) σκυροδέματος.

α/α	Κατηγορία σκυροδέματος	Ποσότητα τσιμέντου σε Kg ανά m^3 σκυροδέματος
1	C8	240-250
2	C12	280-300
3	C16	300-350
4	C20	350-400

Ενδεικτικές ποσότητες για 1 m^3 σκυροδέματος.

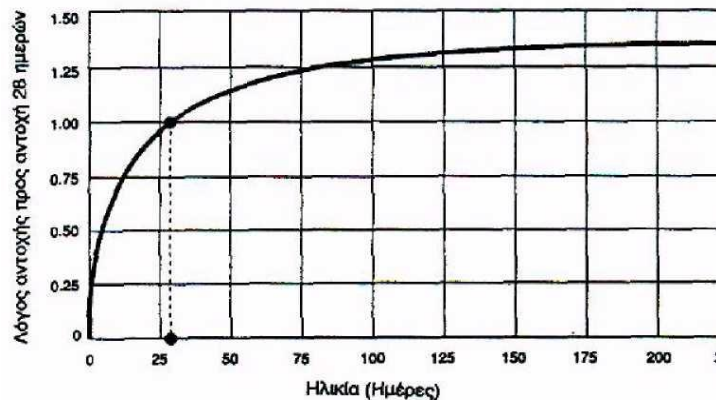
Πίνακας 3. Ποσότητα σκυροδέματος ανά κατηγορία.[1]

Το σκυροδέμα πρέπει να περιέχεται η απαιτούμενη και συγχρόνως η μικρότερη δυνατή ποσότητα τσιμέντου, ώστε να είναι δυνατόν να επιτευχθεί η απαιτούμενη θλιπτική αντοχή και να προστατεύονται οι οπλισμοί από την διάβρωση.

Ενυδάτωση του τσιμέντου:

Η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος οφείλονται αποκλειστικά στη χημική δράση μεταξύ τσιμέντου και νερού. Τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό ύστερα από μία σειρά περίπλοκων χημικών αντιδράσεων που διαρκούν επί χρόνια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ενυδάτωση** του τσιμέντου. Με την ανάμειξη του τσιμέντου με το νερό δημιουργείται μια γκριζοπράσινη πολτώδης μάζα, η τσιμεντοκονία. Για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, το μείγμα δεν φαίνεται να παρουσιάζει καμιά μεταβολή. Αργότερα όμως φαίνεται ότι αρχίζει να πήζει προοδευτικά έως ότου στερεοποιηθεί τελείως. Το φαινόμενο αυτό καλείται **πήξη της τσιμεντοκονίας** και οι χαρακτηριστικές στιγμές αλλαγής της φυσικής καταστάσεως

ονομάζονται αρχή και τέλος της πήξεως. Κατά το χρονικό διάστημα ως την αρχή της πήξεως, ο τσιμεντοπολιτός είναι ακόμη επιδεικτικός κατεργασίας και μεταφοράς. Γι αυτό και ο κανονισμός ορίζει ότι η αρχή της πήξεως για τα κοινά τσιμέντα δεν πρέπει να εμφανίζεται νωρίτερα από μία ώρα από τη στιγμή ανάμιξης των δύο υλικών και το τέλος της πήξεως αργότερα από 8 ώρες. Στην περίπτωση του σκυροδέματος, δηλαδή του μίγματος τσιμέντου, νερού και αδρανών υλικών, ο χρόνος ως την αρχή της πήξεως γίνεται δύο έως τέσσερις φορές μεγαλύτερος.



Διάγραμμα 1. Ανάπτυξη της αντοχής του τσιμεντοπολιτού με το χρόνο.[1]

Πρόσμικτα υλικά του τσιμέντου

Ποζολάνες

Η ονομασία ποζολάνη προήλθε από την περιοχή Pozzuoli της Ιταλίας, όπου οι Ρωμαίοι είχαν ανακαλύψει ότι το έδαφος της περιοχής παρουσίαζε υδραυλικές ιδιότητες. Γαίες της περιοχής χρησιμοποιούσαν οι Ρωμαίοι στα κονιάματα τους. Σήμερα ποζολάνες ονομάζουμε πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, που έχουν την δυνατότητα να ενώνονται με την υδράβεστο $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και να σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις, που με το χρόνο σκληρύνονται και αποκτούν μικρές ή μεγαλύτερες αντοχές. Η δράση αυτή οφείλεται κυρίως στο άμορφο πυριτικό υλικό των πολοζανών.

Για να χρησιμοποιηθεί μια ποζολάνη για την παρασκευή τσιμέντων τύπου II ή III πρέπει να ικανοποιεί την δοκιμή δραστικότητας που προβλέπει ο Κανονισμός, δηλαδή να παρουσιάζει συμβατική αντοχή τουλάχιστον 5 Μρα. Στην Ελλάδα υπάρχουν ηφαιστιογενείς γαίες με ποζολανικές ιδιότητες σε πολλές περιοχές, όπως ή

Θήρα (θηραϊκή γη), η νήσος Μήλος (Μηλαϊκή γή), τα νησιά Γιαλί και Νίσυρος των Δωδεκανήσων, στο νομό Πέλλης και αλλού. Αξίζει να αναφερθεί επίσης ότι η θηραϊκή γη χρησιμοποιείται από τις ελληνικές βιομηχανίες τσιμέντου ως πρόσμικτο ποζολανικό υλικό τσιμέντου από το 1930 περίπου.

Ιπτάμενη τέφρα

Ιπτάμενη τέφρα ονομάζουμε τα σε λεπτότατο καταμερισμό κατάλοιπα που προκύπτουν από την καύση γαιανθράκων ή λιγνιτών και που συλλέγονται κατά την έξοδο των αερίων καύσεως από τις καπνοδόχους των ατμοηλεκτρικών σταθμών με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Η δραστηριότητα των τεφρών οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε SiO_2 , Al_2O_3 και CaO . Οι δύο πρώτες ενώσεις προσδίδουν στην τέφρα ποζολανικές ιδιότητες ενώ το οξείδιο του Καυδραυλικές ιδιότητες. Στην Ελλάδα ιπτάμενη τέφρα παράγεται στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς της Δ.Ε.Η. στην Πτολεμαΐδα και στη Μεγαλόπολη.

Φίλλερ (Filler)

Φίλλερ ονομάζουμε υλικά, συνήθως αδρανή, σε **λεπτότατο** καταμερισμό. Τα φίλλερ σε μικρές ποσότητες επιδρούν ευνοϊκά στο εργάσιμο και την υδατοπερατότητα. Η δράση τους είναι κυρίως μηχανική, δηλαδή δρουν σαν λιπαντικό για το εργάσιμο και με τη διόγκωση των κόκκων παρουσία υγρασίας αυξάνουν την υδατοστεγανότητα. Σπανίως παρουσιάζουν και ποζολανικές ή υδραυλικές ιδιότητες. Αυτό όμως εξαρτάται από το αρχικό υλικό από το οποίο προέρχεται το φίλλερ.

ΤΟ ΝΕΡΟ

Γενικά:

Ένα από τα κυριότερα συστατικά του σκυροδέματος είναι το νερό. Το νερό που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι πόσιμο, καθαρό και απαλλαγμένο από βλαπτικές

ουσίες (οργανικά ή ανόργανα στερεά, θειικά άλατα, οξέα) σε μεγάλο ποσοστό γιατί μπορούν να βλάψουν την ποιότητα του σκυροδέματος και να προκαλέσουν διάβρωση του οπλισμού. Ο Ν.Κ.Τ.Σ. επιτρέπει την χρήση θαλασσινού νερού μίξης σε άοπλο φέρων σκυρόδεμα, αν η απαιτούμενη αντοχή αυξηθεί κατά 15%.

Λόγος τσιμέντου-νερού (υδατοτσιμεντοσυντελεστής):

Είναι γνωστό ότι στην αντοχή του σκυροδέματος παίζει σπουδαίο ρόλο ο λόγος κατά βάρους του νερού προς τσιμέντο w/z. Όσο μικρότερος είναι ο λόγος αυτός τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του σκυροδέματος.

Έχει παρατηρηθεί ότι η άριστη αναλογία w/z κυμαίνεται μεταξύ 0,4 για σκυροδέματα υψηλής αντοχής και 0,5 για σκυροδέματα χαμηλότερης αντοχής. Επίσης παρατηρείται ότι, ενώ μια απόκλιση προς τα επάνω από το άριστο ποσοστό κατά 10% συνεπάγεται μείωση της αντοχής του σκυροδέματος κατά 15% περίπου, μια ίση απόκλιση προς τα κάτω, συνεπάγεται μείωση της αντοχής του σκυροδέματος κατά 30% περίπου. Είναι επομένως φρόνιμο, κατά την επιδίωξη της βέλτιστης αναλογίας νερού να παραμένει κανείς πάντοτε για λόγους ασφαλείας προς τα επάνω, παρά να κινδυνεύει η ποσότητα νερού να είναι μικρότερη της βέλτιστης με συνέπεια να υποστεί αλματώδη πτώση η αντοχή του παραγόμενου σκυροδέματος.

Τέλος η ποσότητα του νερού δεν πρέπει να είναι τόσο λίγη ώστε να παραβλάπεται η καλή κατεργασία του όλου μίγματος.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται ο μέγιστος λόγος w/z κατά μέσο όρο για κάθε ποιότητα σκυροδέματος:

α/α	Ποιότητα σκυροδέματος	Μέγιστος λόγος βάρους w/zγια m ³ σκυροδέματος
1	C8	0,70
2	C12	0,575
3	C16	0,485
4	C20	0,42
Μέγιστος λόγος w/zγια κάθε ποιότητα σκυροδέματος.		

Πίνακας 4. Μέγιστος λόγος βάρους τσιμέντου και νερού.[1]

ΑΔΡΑΝΗ

Προέλευση αδρανών:

Γενικά τα αδρανή (που ονομάζονται έτσι γιατί είναι από χημική άποψη αδρανή προς το τσιμέντο) προέρχονται απευθείας από τη φύση ή με συλλογή από ρέματα κλπ (φυσικά ή συλλεκτά) ή από θραύση πετρωμάτων (θραυστά). Για τα κοινά σκυροδέματα και τις ελληνικές συνθήκες, τα καλύτερα αδρανή προέρχονται από ασβεστολιθικά ή πυριτικά πετρώματα.

Η μορφή των κόκκων:

Οι κόκκοι μπορεί να είναι στρογγυλοί, κυβόμορφοι, γωνιώδεις, πλακόμορφοι ή επιμήκεις. Από πλευράς εργασιμότητας καλύτεροι είναι οι στρογγυλοί ή κυβόμορφοι κόκκοι ενώ από πλευράς μηχανικής αντοχής του σκυροδέματος, οι κόκκοι με ανώμαλη επιφάνεια. Δηλαδή συνολικά καλύτερα είναι τα θραυστά αδρανή με κόκκους που δεν είναι επιμήκεις και πλακοειδείς.

Τα αδρανή υλικά ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

Κατηγορία αδρανών	Μέγεθος κόκκων
α) Άμμος	μέχρι 2,5 mm
β) Λεπτόκοκκα σκύρα	ριζάκι 2,5-7 mmγαρμπίλι 7-14 mmσκύρα 14-30 mm
γ) Χονδρόκοκκα σκύρα	30-70 mm
Κατάταξη αδρανών με βάση το μέγεθος του κόκκου.	

Πίνακας 5. Μέγεθος κόκκων.[1]

Αντοχή των αδρανών:

Για την ικανοποιητική αντοχή του σκυροδέματος, το υλικό των αδρανών (δηλ. το πέτρωμα) πρέπει να έχει μεγάλη μηχανική αντοχή, ανθεκτικότητα στο χρόνο, μικρή επιφανειακή φθορά σε κρούση, χημική αδράνεια σε σχέση με το τσιμέντο και το νερό (και με τις ουσίες που περιέχονται σε αυτό) και σταθερότητα όγκου (π.χ. να μην διογκώνεται λόγω απορρόφησης νερού) .

Ο Ν.Κ.Τ.Σ θεωρεί σαν ικανοποιητική τιμή της αντοχής σε θλίψη του πετρώματος τα 65 MPa, επειδή όμως για τις συνήθεις στην Ελλάδα κατηγορίες σκυροδέματος η αντοχή του τελευταίου ελάχιστα επηρεάζεται από την αντοχή του πετρώματος των αδρανών, ο κανονισμός επιτρέπει και την χρήση αδρανών με αντοχή πετρώματος μεταξύ 45 MPa και 65 MPa, εφόσον με τα αδρανή αυτά είναι δυνατή η επίτευξη της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος που έχει προδιαγραφεί.

Εφόσον πληρούν την προϋπόθεση αυτή, αδρανή από μητρικό πέτρωμα με αντοχή μικρότερη και από 45 MPa μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο για την παρασκευή σκυροδέματος που η επιφάνεια του πρόκειται να επιχριστεί, καθότι με τέτοια αδρανή η αντοχή της επιφάνειας του σκυροδέματος σε φθορά από τη χρήση και σε κρούση είναι αμφίβολη.

Γενικά για τα αδρανή υλικά:

Τα αδρανή υλικά πρέπει να είναι:

- σταθερά ώστε να μην θρυμματίζονται εύκολα

- ανθεκτικά από σκληρά πετρώματα (γρανίτες και ασβεστόλιθοι)
- καθαρά και απαλλαγμένα από φυτικές και άλλες επιβλαβείς προσμίξεις (πηλός, χημικά δραστικές ουσίες, άνθρακες).
- σταθερά στις καιρικές αλλαγές (μεταβολές θερμοκρασίας και υγρασίας)
- απαλλαγμένα από παιπάλη με διάμετρο μικρότερη από 0,075 mm
- καλά διαβαθμισμένα. Η κοκκομετρική καμπύλη της άμμου, των σκύρων και του μίγματος αυτών πρέπει να βρίσκεται μέσα στις περιοχές που περιλαμβάνονται στα διαγράμματα που προβλέπουν οι κανονισμοί. Κάθε υλικό που παρουσιάζει κοκκομετρική σύνθεση, τέτοια ώστε η κοκκομετρική του καμπύλη να βρίσκεται εκτός από τις επιτρεπόμενες υπό των προδιαγραφών καμπύλες, ή η κοκκομετρική του καμπύλη να είναι ασυνεχής, πρέπει να απορρίπτεται ή να βελτιώνεται προτού χρησιμοποιηθεί.

Επίσης ισχύουν τα παρακάτω:

1. Τα αδρανή μέχρι 7 mm- χωρίς τσιμέντο- πρέπει να καλύπτουν το 35-45% της συνολικής ποσότητας των αδρανών
2. Ανάλογα με την ποιότητα του σκυροδέματος τα αδρανή υλικά μπορούν να προσκομίζονται στο εργοτάξιο αναμεμιγμένα ή διαβαθμισμένα.
 - Προκειμένου για σκυρόδεμα C₈ τα αδρανή υλικά μπορούν να είναι αμμοχάλικα ποταμού ή θραυστά λατομείου αναμεμιγμένα αρκεί μακροσκοπικός να είναι προφανές ότι περιέχουν και αρκετό χονδρόκοκκο υλικό.
 - Προκειμένου όμως για σκυροδέματα ανώτερης ποιότητας πρέπει να προσκομίζονται σε ξεχωριστές ομάδες. Για μεν τα σκυροδέματα C₁₂ και C₁₆ να προσκομίζονται σε τρεις διαβαθμίσεις (άμμος, γαρμπίλι, σκύρα).
 - Για δε τα σκυροδέματα C₂₀ και άνω σε τέσσερις διαβαθμίσεις (άμμος, ριζάκι, γαρμπίλι, σκύρα).
3. Όταν χρησιμοποιούνται θραυστά αδρανή και προπαντός θραύστη άμμος καλό είναι να προστίθενται σε αυτά και άμμος ποταμών.

Αποθήκευση των αδρανών:

Τέλος η αποθήκευση των αδρανών πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε:

- α) Να μην διαχωρίζονται οι κόκκοι των αδρανών, όπως π.χ. συμβαίνει όταν ένα χονδρόκοκκο αδρανές αδειάζετε από μεγάλο ύψος ή όταν αναμοχλεύεται.
- β) Να αποφεύγεται η ανάμιξη διαφορετικών αδρανών, όπως π.χ. συμβαίνει όταν δύο σωροί εφάπτονται χωρίς ενδιάμεσο χώρισμα.
- γ) Να αποφεύγεται η ρύπανση τους από επιβλαβείς προσμίξεις (χώμα, λύματα κ.λ.π.)

Φυσικές ιδιότητες των μετάλλων²

Τα μέταλλα παρουσιάζουν χαρακτηριστικές φυσικές ιδιότητες. Αυτές είναι:

- Η μεταλλική λάμψη
- Η στερεά κατάσταση στις συνθήκες περιβάλλοντος πλην του υδραργύρου
- Το μεγάλο ειδικό βάρος
- Η υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα
- Η καλή μηχανική αντοχή Επίσης:
- Μπορούν να πάρουν τη μορφή σύρματος ή ράβδου, δηλαδή είναι **όλκιμα** υλικά.
- Μπορούν να πάρουν τη μορφή ελασμάτων, δηλαδή είναι **ελατά** υλικά.
- Επηρεάζουν το μαγνητικό πεδίο. Η επιρροή στο μαγνητικό πεδίο είναι πολύ έντονη στο **σίδηρο**, στο **νικέλιο** και στο **κοβάλτιο**.

Οι παραπάνω ιδιότητες, μεμονωμένες, δεν αρκούν για να χαρακτηρίσουμε κάποιο υλικό ότι είναι μέταλλο. Π.χ.:

- Μεταλλική λάμψη παρουσιάζουν και αρκετά αμέταλλα (π.χ. αντιμόνιο).
- Καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορούμε να συναντήσουμε και σε πολλά ακόμη υλικά (π.χ. άνθρακας).
- Κατά συνέπεια, για να χαρακτηρίσουμε κάποιο υλικό ως μέταλλο, θα πρέπει να δούμε αν έχει **όλες μαζί** τις ιδιότητες που προαναφέραμε.
- Ο βαθμός που παρουσιάζει ένα μέταλλο την κάθε ιδιότητά του ποικίλλει. Π.χ.:
- Το αλουμίνιο μπορεί να λάβει μορφή λεπτών αλλά ανθεκτικών ελασμάτων, όπως είναι το γνωστό σε όλους αλουμινόχαρτο. Τα περισσότερα από τα άλλα μέταλλα δε διαμορφώνονται σε ελάσματα πάχους μικρότερου από 0,1 mm.
- Ο χαλκός παρουσιάζει 6,5 φορές μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα και 6 φορές μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα από το σίδηρο.
- Το τιτάνιο παρουσιάζει τριπλάσια μηχανική αντοχή από το σίδηρο.

²http://www.pi-schools.gr/download/lessons/tee/mechanical/1b/Book_Weldings/kef_1.pdf

Σύσταση

Χάλυβες καλούνται τα κράματα σιδήρου (Fe) και άνθρακα (C), με περιεκτικότητα σε άνθρακα κάτω του 1,8%. Στη σύνθεση των χαλύβων συνδυάζονται με το σίδηρο διάφορα στοιχεία σε ποσοστιαίες αναλογίες που δεν ξεπερνούν κατά κανόνα το 5%. Συστατικά στοιχεία κάθε χάλυβα αποτελούν ο άνθρακας, σε ποσοστά που κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 0,2% και 0,7%, και το πυρίτιο (Si), σε ποσοστό μεταξύ 0,1% και 0,7% και ενίοτε έως και 4% σε ειδικούς χάλυβες. Η αναλογία σε άνθρακα καθορίζει ουσιαστικώς τις ιδιότητες των διαφόρων χαλύβων. Όσο αυξάνεται το ποσοστό του άνθρακα στο κράμα αυξάνονται αναλόγως η σκληρότητα και η αντοχή του σε τάσεις εφελκυσμού, ενώ παραλλήλως μειώνονται η συνεκτικότητα και η πλαστιμότητα.

Στην αντίθετη περίπτωση, μειώνοντας δηλαδή το ποσοστό του άνθρακα, αυξάνεται η καταλληλότητα προς συγκόλληση (Schweisseignung). Το μαγγάνιο (Mn) συμμετέχει σε ποσοστό 0,3% έως 0,8% αλλά και 12% και 15% σε χάλυβες πολύ μεγάλης σκληρότητας και αντοχής στη φθορά. Η παρουσία του ενισχύει την συγκολλησιμότητα του σιδήρου, η οποία δεν υφίσταται σε κράματα με περιεκτικότητα άνθρακα άνω του 0,15%. Στην σύσταση πολλών ειδικών χαλύβων συμμετέχουν το χρώμιο (Cr), το νικέλιο (Ni), το μολυβδαίνιο (Mo) και άλλα στοιχεία, ώστε να αποκτήσει το τελικό προϊόν τις ιδιαίτερες ιδιότητες που απαιτούνται σε κάθε περίπτωση.

Ο φωσφόρος (P), το θείο (S) και το οξυγόνο (O) αποτελούν επιβλαβή στοιχεία στη σύνθεση, τα οποία προσδίδουν αρνητικές ιδιότητες στον χάλυβα όπως ψαθυρότητα (φωσφόρος), μαλακτότητα (θείο), δημιουργία ανεπιθύμητων ασυνεχειών – φυσαλίδων – κατά την χύτευση (οξυγόνο). Για τον λόγο αυτό η περιεκτικότητα των στοιχείων αυτών στο χάλυβα πρέπει να κυμαίνεται σε ποσοστά κατά πολύ μικρότερα του 0,1%.

Με τις κατάλληλες αναλογίες των συστατικών στοιχείων στην χημική του σύσταση και σε συνδυασμό με μία ακριβή θερμική επεξεργασία, οι ιδιότητες του χάλυβα είναι δυνατόν να ρυθμιστούν με μεγάλη ακρίβεια, ώστε να εξυπηρετείται ο σκοπός της εκάστοτε χρήσης του.

Με βάση τη χρήση του χάλυβα μπορούμε να ξεχωρίσουμε ορισμένες γενικές κατηγορίες:

- Δομικός Χάλυβας

- Χάλυβας Οπλισμού
- Ανοξειδωτος Χάλυβας
- Χάλυβας εργαλείων
- Πυρίμαχος Χάλυβας
- Χάλυβας κοπής
- Χάλυβας απότμησης
- Απαραμόρφωτος Χάλυβας
- κ.α. ειδικοί χάλυβες

Για την Οικοδομική χρήση έχουν ιδιαίτερη σημασία οι χάλυβες οι οποίοι περιγράφονται στο ΕΛΟΤ EN 10025 «Προϊόντα μη κεκραμένων κατασκευαστικών χαλύβων θερμής έλασης – Τεχνικοί όροι παράδοσης», καθώς και οι ανοξειδωτοι χάλυβες και ορισμένοι χάλυβες για ήλους.

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες παράγονται από κράματα με περιεκτικότητα χρωμίου τουλάχιστον 12%. Πρόσθετα νικελίου ή μολυβδαινίου βελτιώνουν την ικανότητα αντίστασης στην διάβρωση. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι δεν υφίστανται χάλυβες οι οποίοι δεν διαβρώνονται. Υπάρχουν μόνον χάλυβες που υπό συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος δεν οξειδώνονται. Είναι λοιπόν απαραίτητο κατά την χρήση των ανοξειδωτων χαλύβων να επιλέγεται ο κατάλληλος για την εκάστοτε εφαρμογή. Οι λεπτόκοκκοι χάλυβες παράγονται από χάλυβες χαμηλού κράματος και υψηλής αντοχής. Αυτοί οι χάλυβες είναι μικρής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Εκ του λόγου αυτού προκύπτει υψηλή καταλληλόλητά συγκόλλησης.

Παρασκευή

Ο Χάλυβας παρασκευάζεται με εξανθράκωση του χυτοσιδήρου. Ταυτοχρόνως απομακρύνονται κατά το δυνατόν το θείο και ο φωσφόρος, στοιχεία τα οποία όπως προαναφέρθηκε είναι επιβλαβή, και ρυθμίζεται η περιεκτικότητα σε μαγγάνιο και πυρίτιο, στοιχεία τα οποία εμπεριέχονται στον ακατέργαστο σίδηρο. Οι παραπάνω ρύποι απομακρύνονται δια της καύσης με την πρόσδοση οξυγόνου. Η επιθυμητή χημική σύσταση του χάλυβα επιτυγχάνεται με την αποξείδωση και την προσθήκη ασβέστου για την δέσμευση του φωσφόρου.

Για την αποφυγή δημιουργίας φουσαλίδων, οι οποίες μπορούν να δημιουργηθούν κατά την χύτευση του ρευστού χάλυβα εξαιτίας υπολειμμάτων οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα, προστίθενται στο κράμα συμπληρωματικώς

πυρίτιο, μαγγάνιο, ασβέστιο ή αλουμίνιο. Οι κατ' αυτόν τον τρόπο επεξεργασμένοι χάλυβες ονομάζονται ησυχασμένοι. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι δεν επηρεάζονται από την γήρανση και συγκολλούνται ιδιαιτέρως καλά.

Βάσει του τρόπου παρασκευής οι χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως:

- Ησυχασμένος χάλυβας
- Αφρίζων χάλυβας
- Χάλυβας τήξης
- Χάλυβας Χωνευτηρίου
- Κονιομεταλλουργικός Χάλυβας

Μέθοδοι μορφοποίησης των μετάλλων

Με τον όρο μορφοποίηση νοείται η πρόσδωση μορφής γενικά. Ο όρος διαμόρφωση σημαίνει την πρόσδωση μορφής με πλαστική παραμόρφωση. Η διαμόρφωση συχνά αναφέρεται με τον όρο «πλαστική διαμόρφωση».

Οι μέθοδοι μορφοποίησης των μετάλλων είναι βασικά τρεις:

- Η Χύτευση.
- Η διαμόρφωση με πλαστική παραμόρφωση.
- Η διαμόρφωση με αφαίρεση υλικού ή μηχανουργική κατεργασία.

Η χύτευση στηρίζεται στο χαμηλό σημείο τήξεως ορισμένων μετάλλων και στην ευχυτότητα δηλαδή την ιδιότητα που έχουν ορισμένα ρευστά μέταλλα να γεμίζουν με ακρίβεια όλες τις κοιλότητες ενός καλουπιού. Η χύτευση δεν εξασφαλίζει συχνά το επιθυμητό τελείωμα ενός αντικειμένου και απαιτεί πρόσθετη μηχανουργική επεξεργασία.

Η μηχανουργική κατεργασία επιτυγχάνει την μορφή ενός αντικειμένου με την αφαίρεση υλικού. Αν και από τεχνολογική άποψη έχει αυτοματοποιηθεί πλήρως για παραγωγή ακριβείας και εν σειρά όμως οδηγεί σε μεγάλες απώλειες μετάλλου και χάνει έδαφος. Διατηρεί όμως την σημασία της ως συμπληρωματική μέθοδος.

Η διαμόρφωση με πλαστική παραμόρφωση είναι ο πιο εκτεταμένος κλάδος της μορφοποίησης των μετάλλων. Η πλατιά εφαρμογή της οφείλεται στην

μεγάλη έκταση της πλαστικής περιοχής των μετάλλων. Όταν εφαρμοσθούν τάσεις πέρα από το όριο ελαστικότητας, τα μέταλλα δεν θραύονται αλλά παραμορφώνονται πλαστικά. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που εκμεταλλεύονται αυτή την ιδιότητα. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να γίνουν εν θερμώ ή εν ψυχρώ, πράγμα που σημαίνει την κατεργασία πάνω ή κάτω από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του μετάλλου. Οι εν ψυχρώ τεχνικές δίδουν προϊόντα μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής αλλά και πιο εύθραυστα. Επίσης είναι πιο ευπρόσβλητα στην διάβρωση και στην προσβολή από φωτιά.

Επομένως απαιτούν αποτελεσματικότερα μέτρα για την προστασία από διάβρωση και πυροπροστασία. Οι τεχνικές αυτές είναι:

- **Η έλαση**, όπου η διατομή ενός μεταλλικού τεμαχίου μειώνεται με πέρασμα ανάμεσα από δύο κυλίνδρους που στρέφονται κατ' αντίθετη φορά. Η έλαση είναι μια διεργασία εν ψυχρώ.
- **Η διέλαση**, όπου εκμεταλλευόμαστε τις ρεολογικές ιδιότητες του μετάλλου, δηλαδή την ικανότητα του να συμπεριφέρεται σε ορισμένη θερμοκρασιακή περιοχή σαν πλαστική μάζα. Το μέταλλο με την βοήθεια ενός εμβόλου αναγκάζεται να περάσει μέσα από σπή ορισμένου σχήματος, αποχτώντας την ανάλογη διατομή. Η διέλαση είναι μία κατεργασία εν θερμώ.
- **Η ολκή**, όπου εν θερμώ ή εν ψυχρώ επιτυγχάνονται μεγάλες μειώσεις διατομής με τράβηγμα μέσω μίας σπής (φιλιέρας). Είναι η μέθοδος της συρματοουργίας.
- **Η σφυρηλασία**, όπου η αποτύπωση επιτυγχάνεται με κρούση ή συμπίεση. Γενικά οι εφαρμοζόμενες δυνάμεις για την μορφοποίηση της μάζας του μετάλλου είναι διακοπτόμενες και όχι συνεχείς. Η σφυρηλασία μπορεί να γίνει εν ψυχρώ ή εν θερμώ.

Η πρώτη διαμόρφωση γίνεται αποκλειστικά με έλαση σε μεγάλες μεταλλουργικές μονάδες και οδηγεί σε ημιπροϊόντα τα οποία μπορεί και διοχετευθούν κατευθείαν στην κατανάλωση. Το μεγαλύτερο όμως μέρος των ημιπροϊόντων υφίσταται και δεύτερη κατεργασία διαμόρφωσης σε επιχειρήσεις κάθε είδους που ασχολούνται με τεχνικές διαμόρφωσης με πλαστική παραμόρφωση καθώς και με θερμικές ή επιφανειακές διαδικασίες.

Η μορφοποίηση χαλύβδινων διατομών για μεταλλικές κατασκευές

Η μορφοποίηση του χάλυβα πραγματοποιείται με όλες τις προαναφερθείσες μεθόδους αλλά την κύρια θέση έχουν οι τεχνικές πλαστικής διαμόρφωσης. Αυτό οφείλεται σε μια σειρά πλεονεκτημάτων όπως:

- Οικονομία του υλικού. Οι τεχνικές πλαστικής διαμόρφωσης έχουν γενικά υψηλή απόδοση σε υλικό. Ιδιαίτερα η σφυρηλασία εν θερμώ λειτουργεί πρακτικά χωρίς τη δημιουργία αποκομμάτων (scraps).
- Υψηλή παραγωγικότητα. Τα μηχανήματα έχουν σχεδιασθεί για συνεχή παραγωγή.
- Απαιτούν σε ελάχιστες περιπτώσεις την επέμβαση μηχανουργικής επεξεργασίας.
- Εγγυώνται υψηλότερο βαθμό ασφαλείας, γιατί εξασφαλίζουν εσωτερική δομή του μετάλλου χωρίς εσωτερικά σφάλματα ή σε κάθε περίπτωση τα σφάλματα είναι ομοιομορφότερα και λεπτομερέστερα κατανεμημένα σε σύγκριση με τα χυτά.

Όσον αφορά τα προϊόντα χάλυβα που χρησιμοποιούνται στις μεταλλικές κατασκευές αυτά παλαιότερα κατασκευαζόταν με διέλαση. Ακόμη και σήμερα το μεγαλύτερο μέρος των μεταλλικών στοιχείων για την φέρουσα κατασκευή παράγεται με διέλαση. Οι πρόοδος της κατασκευαστικής τεχνολογίας η βελτίωση των μεθόδων προστασίας από διάβρωση και πυροπροστασίας οδήγησαν στη μόρφωση και χρήση λεπτότοιχων διατομών ψυχράς ελάσεως. Το βασικότερο πλεονέκτημα της χρήσεως των λεπτότοιχων διατομών ψυχράς ελάσεως είναι η αυξημένη αντοχή με συνέπεια την μείωση του βάρους. Οι λεπτότοιχες διατομές ψυχράς ελάσεως χρησιμοποιούνται πλέον και ως φέροντα δομικά στοιχεία δευτερευούσης σημασίας αλλά και ως καλύψεις.

Η τυποποίηση των σιδηρούχων υλικών³

Οι χάλυβες και τα λοιπά σιδηρούχα υλικά έχουν εκτενή χρήση και σημαντική συμμετοχή στον τεχνικό πολιτισμό μας.

³Κωσταντίνος Γ. Πασπαλάς, Σινεδόρ, 2009, «Η Ευρωπαϊκή τυποποίηση των χαλύβων και των χυτοσιδήρων».

Στη σύγχρονη εποχή, μετά τη βιομηχανική επανάσταση, υπήρχε ανάγκη τα υλικά αυτά να έχουν κάποια ταυτότητα, από την οποία θα ήταν αναγνωρίσιμες οι ιδιότητες του συγκεκριμένου υλικού, δηλαδή η σύστασή του, η αντοχή του και οι λοιπές τεχνολογικές του ιδιότητες. Η ταυτότητα των υλικών συνήθως οριζόταν με κάποιο αλφαριθμητικό τρόπο.

Έτσι οι οργανισμοί τυποποίησης των διαφόρων κρατών προχώρησαν από νωρίς στην τυποποίηση των χαλύβων. Οι χάλυβες τυποποιήθηκαν με βάση εθνικά πρότυπα, στα οποία ο κάθε χάλυβας (ή άλλο υλικό) ταυτοποιείτο με συνήθως με ένα συνδυασμό γραμμάτων και αριθμών, π.χ. St37.2, GG-30, X 5 CrNi18 12 .

Αργότερα αναπτύχθηκε και σύστημα ταυτοποίησης των χαλύβων μέσω αριθμών, π.χ. χάλυβας 1.0037, χυτοσίδηρος 0.6030, χάλυβας 1.4303.

Κάθε οργανισμός τυποποίησης, ουσιαστικά κάθε χώρα, χρησιμοποιούσε τα δικά της σύμβολα. Έτσι δημιουργούσε εν μέρει και ένα είδος συστήματος προστατευτισμού έναντι των εισαγωγών από άλλες χώρες.

Η χώρα μας, τεχνολογικά μη προχωρημένη, και με περιορισμένη παραγωγή και χρήση χαλύβων, δεν ανέπτυξε δικό της σύστημα τυποποίησης των χαλύβων. Στη χώρα μας οι χάλυβες, ανάλογα με την εφαρμογή (στην οποία θα είχε μεγαλύτερη επίδραση μια συγκεκριμένη ξένη χώρα) χρησιμοποιούσαμε τυποποίηση και σύμβολα κυρίως είτε κατά DIN, είτε κατά κάποιο αμερικανικό σύστημα (π.χ. API, ASME, ATM) ,είτε αργότερα κατά ISO(όταν πλέον ιδρύθηκε ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης).

Με τη δημιουργία της πρώτης μορφής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα (European Coal and Steel Community))τέθηκαν τα θεμέλια για την άρση των μέτρων προστατευτισμού στη διακίνηση των προϊόντων χάλυβα και αναγνωρίστηκε η ανάγκη για κοινή ευρωπαϊκή τυποποίηση.

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα, πρόδρομος της Ευρωπαϊκής Ένωσης ήταν μια Οικονομική Ένωση μεταξύ 6 κρατών, του Βελγίου, της Γαλλίας, της Γερμανίας, της Ιταλίας , του Λουξεμβούργου και της Ολλανδίας. Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα ιδρύθηκε με τη συμφωνία του Παρισιού στις 18 Απριλίου 1951, η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 23 Ιουλίου 1952.

Οι Ευρωνόρμες (EURONORMS, το όνομα γραφόταν επισήμως με κεφαλαία γράμματα,) άρχισαν να εκδίδονται από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα τη δεκαετία του 1950 για να ρυθμίσουν τη διακίνηση των προϊόντων μεταξύ των δκρατών- μελών. Οι Ευρωνόρμες περιείχαν προ παντός τεχνικούς όρους παράδοσης και μεθόδους δοκιμής για τους χάλυβες και τα ημιέτοιμα προϊόντα χάλυβα.

Η ευρωπαϊκή τυποποίηση

Η ευρωπαϊκή τυποποίηση ήλθε να αντικαταστήσει τις εθνικές τυποποιήσεις, ώστε τελικά να υπάρχουν μόνον κοινά ευρωπαϊκά πρότυπα. Τα ευρωπαϊκά πρότυπα συντάσσονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN (Comite Europeende Normalisation, European Committee for Standardisation, Europaisches Komiteefur Normung) .

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός με αποστολή να υποστηρίξει την ευρωπαϊκή οικονομία στο διεθνές εμπόριο, την ευημερία των ευρωπαίων πολιτών και την προστασία του περιβάλλοντος με την ανάπτυξη, διατήρηση και διανομή συναφών προτύπων και προδιαγραφών. Έχει έδρα τις Βρυξέλλες.

Η CEN ιδρύθηκε το 1961. Στη CEN συμμετέχουν όλοι οι εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Γαλλία, Γερμανία, Δανία, Ελλάδα, Εσθονία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ιρλανδία, Ισπανία, Ιταλία, Κύπρος, Λετονία, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Μάλτα, Ολλανδία, Ουγγαρία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Σουηδία, Τσεχία και Φιλανδία), καθώς και των 3 άλλων κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης Ελεύθερο υ Εμπορίου (European Free Trade Association, EFTA, Ελβετία, Ισλανδία, Νορβηγία).

Η Ελλάδα εκπροσωπείται από τον ΕΛΟΤ, τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης.

Συνδεδεμένα μέλη με τη CEN είναι οι Οργανισμοί Τυποποίησης ορισμένων άλλων κρατών, μη μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Αλβανία, Αρμενία, Βοσνία-Ερζεγοβίνη, Κροατία, FYROM, Γεωργία, Ισραήλ, Ιορδανία, Λίβανος, Μολδαβία, Μαυροβούνιο, Σερβία, Τυνησία, Τουρκία, Ουκρανία), οι οποίοι συμμετέχουν ως παρατηρητές.

Ο Οργανισμός Τυποποίησης της Αυστραλίας είναι Συνεργαζόμενος Οργανισμός. Η CEN είναι επίσημα αναγνωρισμένη ως ένας Οργανισμός Τυποποίησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι άλλοι επίσημα αναγνωρισμένοι Οργανισμοί Τυποποίησης είναι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization), η οποία ιδρύθηκε συγχρόνως με τη CEN, και το Ευρωπαϊκό Ίδρυμα Τυποποίησης στις Τηλεπικοινωνίες ETSI (European Telecommunications Standards Institute) με έτος ίδρυσης το 1988.

Το 1982 οι CEN και CENELEC ανακηρύχθηκαν ως "Κοινό Ευρωπαϊκό Ίδρυμα

Τυποποίησης”. Όμως το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο αποφάσισε το 1999 ότι οι τρεις Οργανισμοί Τυποποίησης συνεργάζονται αρμονικά και ότι η συγχώνευση τους δεν θα έχει καθαρά αποτελέσματα.

Η CENέχει 1 συστήσει ειδικές Τεχνικές Επιτροπές (Technical Committees, TC's), κάθε μια υπεύθυνη για την τυποποίηση σε ένα συγκεκριμένο τομέα (π.χ. για τους λέβητες, για τις εγκαταστάσεις αερίου κλπ). Κάθε Τεχνική Επιτροπή μπορεί να έχει μία ή περισσότερες ομάδες εργασίας για επί μέρους αντικείμενα του γενικού πεδίου, για την τυποποίηση εντός του οποίου είναι υπεύθυνη.

Η CENέχει ακόμη κάποιους Συνδεδεμένους Φορείς Τυποποίησης (Associated Standards Bodies), όπως η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση του Σιδήρου και του Χάλυβα ECISS (European Committee for Iron and Steel Standardization) και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση στις Βιομηχανίες Αεροδιαστημικής και Άμυνας ASD-STAN (Aero Space and Defence Industries of Europe - Standardization).

Οι εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης εργάζονται από κοινού για τη σύνταξη των προτύπων.

Τα ευρωπαϊκά πρότυπα συνεπάγονται την υποχρέωση της υιοθέτησης ως πανομοιότυπου εθνικού προτύπου και την απόσυρση αντιτιθεμένων εθνικών προτύπων.

Τα ευρωπαϊκά πρότυπα στις περισσότερες περιπτώσεις συντάσσονται για να βοηθηθεί η βιομηχανία στην εφαρμογή Ευρωπαϊκών Οδηγιών. Πρόκειται για τα εναρμονισμένα πρότυπα, η εφαρμογή των οποίων αποτελεί απόδειξη εφαρμογής της αντίστοιχης Ευρωπαϊκής Οδηγίας. Γενικά η απόδειξη εφαρμογής της Οδηγίας δεν απαιτεί εφαρμογή εναρμονισμένων προτύπων, με λίγες εξαιρέσεις, για τις οποίες η απόδειξη εφαρμογής της Οδηγίας απαιτεί εφαρμογή εναρμονισμένων προτύπων. Έτσι π.χ. για την Οδηγία 97/23/EK για το εξοπλισμό υπό πίεση (π.χ. δοχεία υπό πίεση, λέβητες), αν και υπάρχουν εναρμονισμένα πρότυπα, η εφαρμογή της Οδηγίας μπορεί να γίνει με άμεση εφαρμογή της ίδιας της Οδηγίας. Αντιθέτως η Οδηγία 89/106/EOK για τα προϊόντα δομικών κατασκευών (π.χ. σωλήνες για αέριο εντός κτιρίου, καπνοδόχοι κλπ) απαιτεί εφαρμογή εναρμονισμένων προτύπων (ή, αν δεν υπάρχουν ευρωπαϊκά εναρμονισμένα πρότυπα, εφαρμογή εθνικών προτύπων, τα οποία καταργούνται μόλις τεθούν σε ισχύ τα εναρμονισμένα πρότυπα) και δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της χωρίς πρότυπο.

Όταν τα ευρωπαϊκά πρότυπα τεθούν σε ισχύ, τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να αντικαταστήσουν εντός καθορισμένου χρονικού διαστήματος τα αντίστοιχα εθνικά τους πρότυπα, τα οποία στη συνέχεια καταργούνται. Έτσι, τέθηκε

σε ισχύ το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 10255 για χαλυβδοσωλήνες και καταργήθηκαν τα αντίστοιχα πρότυπα ΕΛΟΤ 268 και ΕΛΟΤ 269.

Κατά την πορεία του χρόνου τα ευρωπαϊκά πρότυπα κατά τακτά χρονικά διαστήματα (5 έτη) επανεξετάζονται και βελτιώνονται αν κριθεί ότι επιβάλλεται, π.χ. λόγω μεταβολών στην ευρωπαϊκή νομοθεσία (π.χ. εναρμόνιση με νέα σχετική Οδηγία) ή λόγω τεχνολογικών εξελίξεων στον σχετικό τομέα.

Τα ευρωπαϊκά πρότυπα διακρίνονται από τα δύο γράμματα EN ακολουθούμενα από ένα αριθμό, π.χ. το πρότυπο EN 10020 για τους ορισμούς και την ταξινόμηση των χαλύβων. Κάθε οργανισμός μέλος της CEN θέτει μπροστά από το EN το δικό της σύμβολο, π.χ. ΕΛΟΤ EN 10020 για την Ελλάδα, DIN EN 10020 για τη Γερμανία, BSEN 10020 για το Ηνωμένο Βασίλειο κλπ.

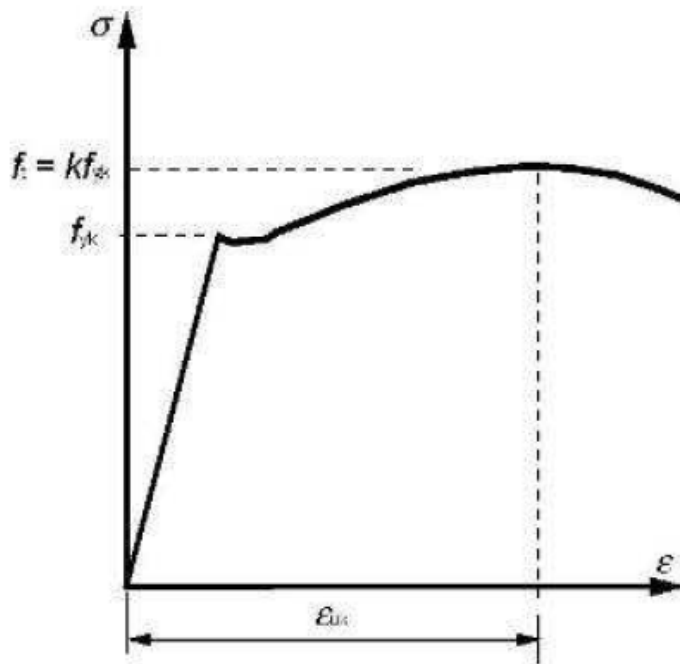
Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN συνεργάζεται σε ορισμένες περιπτώσεις με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης ISO (International Standardization Organization) για τη σύνταξη κοινά αποδεκτών προτύπων (και την αποφυγή συγκρούσεων και διπλής δουλειάς). Τα κοινά πρότυπα διακρίνονται με το συμβολισμό EN ISO, π.χ. EN ISO9000 και αντίστοιχα για την Ελλάδα ΕΛΟΤ EN ISO9000.

Κατά την πορεία του χρόνου τα ευρωπαϊκά πρότυπα κατά τακτά χρονικά διαστήματα (5 έτη) επανεξετάζονται με βάση την εμπειρία από την εφαρμογή τους και την εξέλιξη της τεχνικής και αναθεωρούνται/βελτιώνονται, αν χρειάζεται.

Η CEN εκτός από πρότυπα συντάσσει: Τεχνικές Προδιαγραφές (Technical Specifications, CEN/TS) Τεχνικές Εκθέσεις (Technical Reports, CEN/TR) και οι Τεχνικές Προδιαγραφές (TS) είναι έγγραφα υιοθετημένα από τη CEN, για τα οποία υπάρχει η μελλοντική δυνατότητα συμφωνίας να γίνουν ευρωπαϊκά πρότυπα, αλλά για τα οποία προς το παρόν δεν μπορεί να ληφθεί η απαιτούμενη υποστήριξη για έγκριση ως ευρωπαϊκό πρότυπο, υπάρχει αμφιβολία ότι μπορεί να επιτευχθεί γενική συναίνεση, το αντικείμενο είναι ακόμη υπό τεχνική εξέλιξη ή υπάρχει κάποιος λόγος ο οποίος εμποδίζει άμεση δημοσίευση ως ευρωπαϊκό πρότυπο.

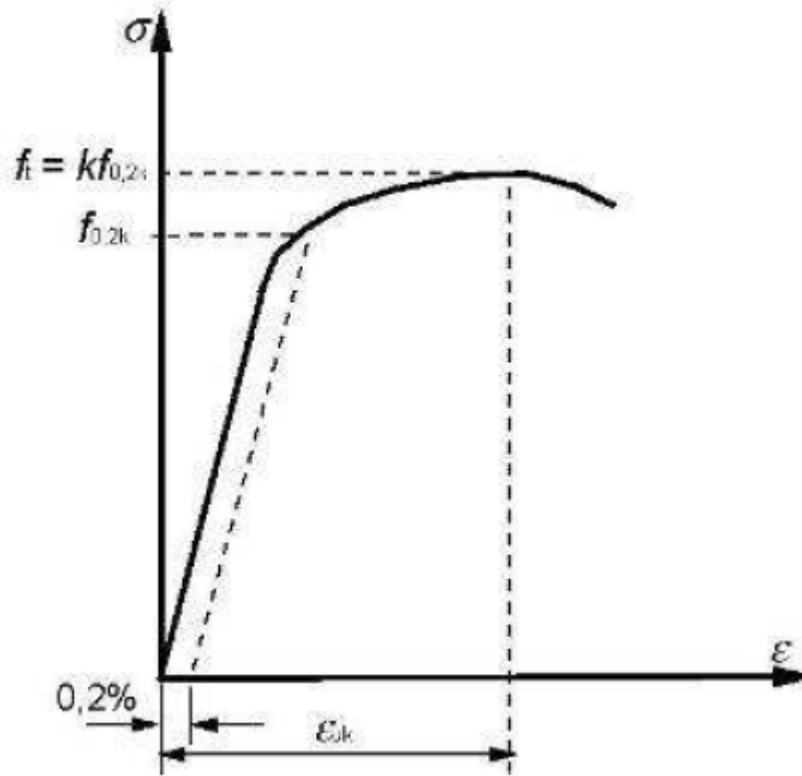
Μια Τεχνική Προδιαγραφή δεν επιτρέπεται να έρχεται σε αντίθεση με ισχύον ευρωπαϊκό πρότυπο.

Οι τεχνικές εκθέσεις (TR) είναι έγγραφα υιοθετημένα από τη CEN, τα οποία περιέχουν πληροφοριακό υλικό μη κατάλληλο να δημοσιευθεί ως ευρωπαϊκό πρότυπο ή τεχνική προδιαγραφή. Μια Τεχνική Έκθεση μπορεί για παράδειγμα να περιέχει στοιχεία ληφθέντα από έρευνα.



Διάγραμμα 2. Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης, χάλυβα κατεργασμένος εν θερμώ.⁴

⁴Ημερίδα «Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος και σκυρόδεμα», Γιαννόπουλος Πλούταρχος, 2008.



Διάγραμμα 3. Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης, χάλυβα κατεργασμένος εν ψυχρώ. [4]

1.3 Η ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η νανοτεχνολογία⁵ θεωρείται η επιστήμη του 21ου αιώνα. Ουσιαστικά είναι η πρόοδος των επιστημών και των τεχνολογιών, οι οποίες εξέταζαν τη φύση ολοένα και σε μικρότερη κλίμακα. Μπορεί να αντιγράψει τη φύση και να αναπαραγάγει τα υλικά με χρήσιμες μακροσκοπικές ιδιότητες, προσαρμοσμένες στις σημερινές απαιτήσεις και με τρόπο ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.

Πιο συγκεκριμένα, τροποποιεί και διαμορφώνει την ύλη σε διάσταση από 1 - 100 δισεκατομμυριοστά του μέτρου, χρησιμοποιώντας τη μοριακή επιστήμη.

Μία από τις εφαρμογές της είναι η εισαγωγή νανοσωματιδίων σε μικρές ποσότητες ως πρόσθετων σε πολυμερή. Η βελτίωση των ιδιοτήτων των υλικών (όπως η ανθεκτικότητα, η πλαστικότητα και η υδατοστεγανότητα) επιτυγχάνεται με τη χημική σύνδεση των νανοσωματιδίων και του πλαστικού, η οποία αυξάνει τη συμβατότητά τους. Σ' αυτή την εφαρμογή τα νανοσωματίδια δεν βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους, αλλά λειτουργούν ανεξάρτητα. Για να αναπτυχθούν καινούριες ιδιότητες θα πρέπει τα νανοσωματίδια να βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους, σχηματίζοντας τρισδιάστατες δομές.

Οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας έχουν επιπτώσεις σχεδόν σε κάθε πτυχή της ζωής του ανθρώπου, ακόμη και στα κτίρια μέσα στα οποία ζει. Οι δυνατότητες που προσφέρει έχουν ήδη αρχίσει να αξιοποιούνται στο σκυρόδεμα, στο χάλυβα, στο ξύλο, στο γυαλί και στις βαφές.

⁵"2nd International Symposium on Nanotechnology in Construction", 13 -16 November 2005, Bilbao, Spain. ΣΟΦΙΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΟΥ, πολιτικός μηχαν. T.E., M.Sc



Εικόνα 1.Αποψη από το εσωτερικό της καθολικής εκκλησίας του Ιωβηλαίου (JubileeChurch) στη Ρώμη, στην οποία πρωτοχρησιμοποιήθηκε το αυτοκαθαριζόμενο σκυρόδεμα (Αρχιτέκτων RichardMeier).[5]



Εικόνα 2.Χάρη στη νανοτεχνολογία, το σκυρόδεμα δεν απορροφάει τις σταγόνες του νερού, αυξάνοντας έτσι την αντοχή του και εμποδίζοντας την εμφάνιση υγρασίας. [5]



Εικόνα 3.Εφαρμογές του χάλυβα MMFX2 σε προκατασκευασμένη δοκό και σε κατάστρωμα γέφυρας στις Η.Π.Α.[5]



Εικόνα 4.Η νανοτεχνολογία δημιούργησε προϊόντα που προστατεύουν την επιφάνεια του ανοξείδωτου χάλυβα από την υγρασία, αφήνοντάς την λαμπερή μέχρι και δύο χρόνια.[5]

Νανοτεχνολογία και σκυρόδεμα

Μέσα από έρευνες που γίνονται στα πανεπιστήμια και στα ερευνητικά ιδρύματα, διαπιστώθηκε ότι η νανοτεχνολογία μπορεί να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής των κατασκευών. Αρκετές εφαρμογές βρίσκονται στο στάδιο της έρευνας, ενώ κάποιες είναι ήδη διαθέσιμες.

Μηχανικές ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη νανοσωματιδίων. Οι μελέτες που έγιναν στην κλίμακα της

νανοτεχνολογίας, έδειξαν ότι η διάταξη των μορίων του σκυροδέματος μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση του νανο-πυριτίου, το οποίο οδηγεί στη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του μείγματος. Ηπροσθήκη του νανο-πυριτίου στο τσιμέντο μπορεί επίσης να εμποδίσει τη διείσδυση του νερού. Άμεσο αποτέλεσμα είναι η αύξηση της αντοχής, της σταθερότητας (ιδιαίτερα στα αρχικά στάδια), καθώς και της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος.

Αποστειρωτικές και αυτοκαθαριστικές ιδιότητες

Ένας τύπος νανοσωματιδίου που προστίθεται στο σκυρόδεμα για να βελτιώσει τις ιδιότητες του είναι το διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2). Το TiO_2 είναι μια λευκή χρωστική ουσία, που προστίθεται στο τσιμέντο και ενσωματώνεται ως νανοσωματίδιο. Κατά την έκθεσή του στην υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου διασπά τους οργανικούς ρύπους, τις πτητικές οργανικές και τις βακτηριακές ενώσεις μέσω των ισχυρών καταλυτικών αντιδράσεων. Λόγω του γεγονότος ότι είναι υδρόφιλο, το νερό της βροχής προσελκύεται στην επιφάνεια και αποπλένει τους αποδομημένους ρύπους, απομακρύνοντάς τους οριστικά.

Το σκυρόδεμα, το οποίο περιέχει διοξείδιο του τιτανίου, έχει λευκό χρώμα και διατηρεί τη λευκότητά του. Έτσι, ελαχιστοποιείται το κόστος συντήρησης μιας κατασκευής. Επιπλέον, με την αποδόμηση των ρύπων που επικαθονται στην επιφάνειά του μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Αυτοσυμπύκνωση

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (self compacting concrete) έχει την ικανότητα να εγχύεται σε οποιοδήποτε καλούπι και να ρέει χωρίς δυσκολία ανάμεσα στους οπλισμούς, μέσω αποκλειστικά της βαρύτητας και της ρεολογικής του συμπεριφοράς. Μπορεί να αποκτήσει ικανή συμπύκνωση χωρίς τη χρήση δονητών μάζας ή άλλης εξωτερικής ενέργειας, διατηρώντας την ομοιογένειά του. Ηιδιαιτερότητα του μείγματος αυτού συνίσταται στις διαφορετικές αναλογίες ανάμειξης των πρώτων υλών, στον περιορισμό του μέγιστου κόκκου χονδρόκοκκων αδρανών και στην προσθήκη χημικών πρόσθετων. Μία κύρια κατηγορία που ανήκει στα χημικό

πρόσθετα αποτελούν οι υπερπλαστικοποιητές (superplasticizers, SP). Ένας από τους πιο διαδεδομένους τύπους SP έχει βάση το πολυκαρβοξύλιο, το οποίο αναπτύχθηκε χάρη στη χρήση της νανοτεχνολογίας.

Τα κυριότερα οφέλη που παρέχει το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι η αυξημένη παραγωγικότητα (λόγω της μείωσης του χρόνου σκυροδέτησης), η αυξημένη ανθεκτικότητα (λόγω της ομοιόμορφης συμπύκνωσης), η δυνατότητα σκυροδέτησης περίπλοκων κατασκευών και το αναβαθμισμένο περιβάλλον εργασίας (μείωση της ηχορύπανσης από τη δόνηση).

Έλεγχος από αισθητήρες

Μία μελλοντική εφαρμογή της νανοτεχνολογίας αφορά σε αισθητήρες και προβλέπεται ότι θα έχει μεγάλη απήχηση στον ποιοτικό έλεγχο του σκυροδέματος.

Μέσω μιας σκόνης, η οποία θα μπορεί να ψεκαστεί στην επιφάνεια ή να ενσωματωθεί στο μείγμα του σκυροδέματος, θα παρέχεται έλεγχος σε ένα συντονισμένο ασύρματο δίκτυο.

Νανοτεχνολογία και χάλυβας

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κλάδος των δομικών και των τεχνικών έργων είναι η διάβρωση του χάλυβα και οι αστοχίες που προκαλούνται στα έργα, όπως στα κτίρια, στις γέφυρες και στους δρόμους. Η εφαρμογή της νανοτεχνολογίας μπορεί να προσφέρει περισσότερη ασφάλεια, αυξάνοντας την αντίσταση του χάλυβα σε διάβρωση. Το γεγονός αυτό έχει μεγάλο οικονομικό όφελος, αφού το κόστος της αποκατάστασης και της ανοικοδόμησης των χαλύβδινων κατασκευών είναι τεράστιο.

Νέοι τύποι χάλυβα

Σήμερα είναι διαθέσιμα δύο νέα προϊόντα από δύο διαφορετικές εφαρμογές της νανοτεχνολογίας: ο χάλυβας Sandvik Nanoflex και ο χάλυβας MMFX2. Αμφότεροι εμφανίζουν υψηλή αντοχή στη διάβρωση, άλλο έχουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες.

Ο Sandvik Nanoflex συνδυάζει υψηλή αντοχή και πλαστιμότητα. Επιπλέον, είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός στη διάβρωση, χάρη στην παρουσία νανοταξινομημένων μορίων χάλυβα. Η χρήση του όμως για ενίσχυση στις κατασκευές από σκυρόδεμα έχει περιοριστεί λόγω του υψηλού κόστους. Εντούτοις, ο χάλυβαςMMFX2 έχει όλες τις μηχανικές ιδιότητες ενός συμβατικού χάλυβα, με μια τροποποιημένη νανοδομή που τον καθιστά ανθεκτικό στη διάβρωση. Χάρη στην κατάλληλη δομή του περιορίζει τη δημιουργία των μικρογαλβανικών στοιχείων, τα οποία συμβάλλουν στην ανάπτυξη της διάβρωσης. Έτσι, σε έντονο διαβρωτικό περιβάλλον μπορεί να αντικαταστήσει τον ανοξείδωτο χάλυβα, έναντι του οποίου μάλιστα έχει χαμηλότερο κόστος παραγωγής.

Προστασία έναντι του λεκιάσματος και της διάβρωσης του ανοξείδωτου χάλυβα

Η προστασία της επιφάνειας του ανοξείδωτου χάλυβα είναι ένας άλλος τομέας, στον οποίο η νανοτεχνολογία έχει βρει λύσεις.

Σήμερα διατίθενται προϊόντα, τα οποία αφαιρούν τους λεκέδες ή τους αποχρωματισμούς που εμφανίζουν συχνά οι ανοξείδωτοι χάλυβες λόγω της υγρασίας στις παραθαλάσσιες περιοχές. Αυτοί οι λεκέδες δεν επηρεάζουν την αντοχή του χάλυβα, άλλο είναι αντιαισθητικοί και μπορούν να καταστρέψουν την εικόνα μιας όμορφης μεταλλικής κατασκευής.

Τα προϊόντα αυτά δεν περιέχουν πετρέλαιο. Αφαιρούν εύκολα όλους τους λεκέδες, αφήνοντας μια λαμπερή, καθαρή επιφάνεια που απωθεί το νερό και τους ρύπους. Η επιφάνεια παραμένει προστατευμένη μέχρι και δύο έτη.



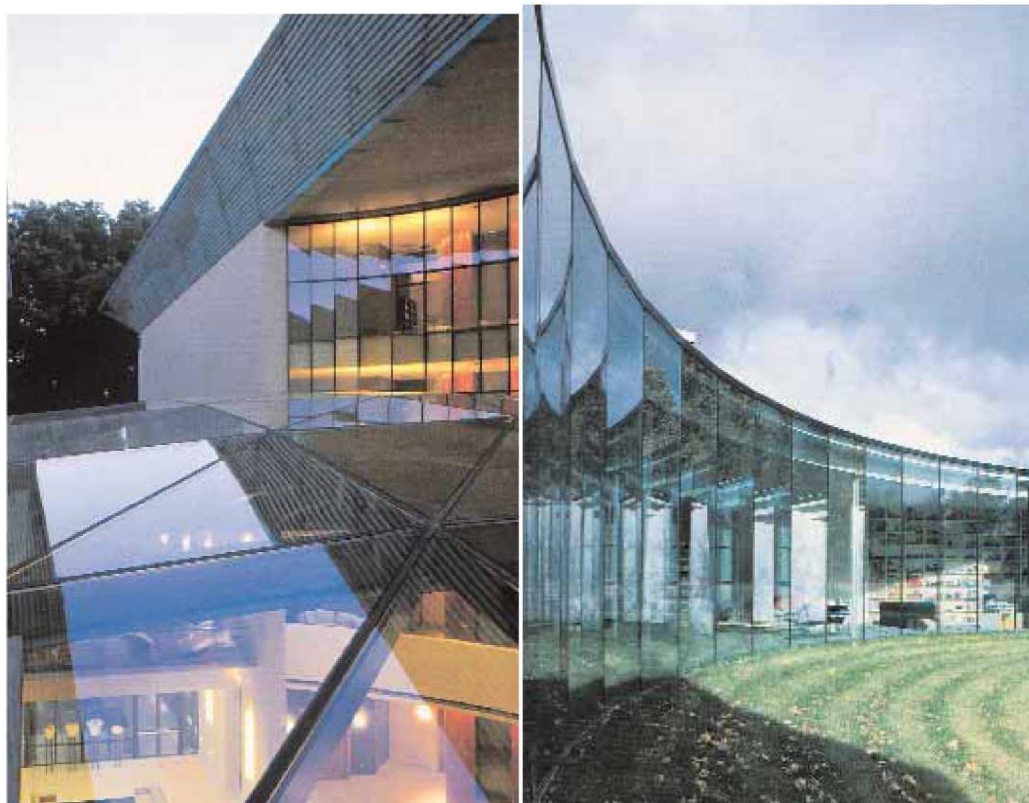
Εικόνα 5. Με τη χρήση της νανοτεχνολογίας τα επιστρώματα προστατεύουν το ξύλο από την ηλιακή ακτινοβολία και το νερό, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής του και διατηρώντας την ομορφιά του.[5]



Εικόνα 6.Οαυτοκαθαριζόμενος υαλοπίνακας με επικάλυψη διοξειδίου του τιτανίου απομακρύνει το νερό της βροχής, σε αντίθεση με έναν συμβατικό.[5]



Εικόνα 7.Οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες μπορούν να αποκτήσουν λιγότερη διαφάνεια με την εφαρμογή μικρής τάσης σε στρώση οξειδίων του βολφραμίου.[5]



Εικόνα 8.Οι σύγχρονες τάσεις για υψηλά κτίρια με μεγάλα υαλοστάσια δημιουργούν περισσότερες απαιτήσεις σχετικά με την καθαριότητα, την πυρασφάλεια και τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας, για τις οποίες η νανοτεχνολογία βρίσκει λύσεις.[5]

Νανοτεχνολογία και γυαλί

Οι σύγχρονες τάσεις για υψηλά κτίρια με μεγάλα υαλοστάσια δημιουργούν περισσότερες απαιτήσεις σχετικά με την καθαριότητα, την πυρασφάλεια και τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας.

Λυτοκαθαριζόμενοι υαλοπίνακες

Το πρόβλημα του καθαρισμού των γυάλινων επιφανειών αντιμετωπίζεται με την εφαρμογή της νανοτεχνολογίας. Οι αυτοκαθαριζόμενοι υαλοπίνακες οφείλουν την ιδιότητά τους στην επικάλυψη διοξειδίου του τιτανίου, που φέρουν στην εξωτερική

τους επιφάνεια. Λόγω του γεγονότος ότι το διοξείδιο του τιτανίου έχει τη μορφή λευκής σκόνης, χρησιμοποιούνται νανοσωματίδια (πάχους 15 δισεκατομμυριοστών του μέτρου) έτσι, ώστε να παραμένει διαφανής η επιφάνεια του γυαλιού. Τα νανοσωματίδια αυτά απορροφούν την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία, προκαλώντας διέγερση των ηλεκτρονίων τους. Έτσι, μέσω καταλυτικών αντιδράσεων μπορούν να διασπούν τα μικροσωματίδια των ρύπων. Λόγω των υδροφιλικών ιδιοτήτων του διοξειδίου του τιτανίου το νερό της βροχής απλώνεται σε όλη την επιφάνεια, απομακρύνοντας γρήγορα και εύκολα τους ρύπους.

Πυροπροστατευτικοί υαλοπίνακες

Οι εξελίξεις στις αρχιτεκτονικές τάσεις και στις λειτουργικές ανάγκες των κτιρίων αυξάνουν τις απαιτήσεις πυροπροστασίας και πυρασφάλειας στους υαλοπίνακες. Οι κοινοί υαλοπίνακες θρυμματίζονται μετά από μερικά λεπτά επίδρασης της φωτιάς, επιτρέποντας την εξάπλωσή της σε όλο το ύψος του κτιρίου. Η νανοτεχνολογία επιτυγχάνει πυροπροστασία παρεμβάλλοντας μία στρώση νανοσωματιδίων του πυριτίου ανάμεσα στους δύο υαλοπίνακες. Τα νανοσωματίδια του πυριτίου έχουν την ικανότητα να μετατρέπονται σε άκαμπτη και αδιαφανή ασπίδα πυρκαγιάς, όταν θερμαίνονται.

Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες

Η νανοτεχνολογία αναπτύσσει τέσσερις στρατηγικές για να εμποδίσει το φως και τη θερμότητα και να ελέγξει το ηλιακό φως και την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου. Πρώτον, εφαρμόζει επιστρώματα λεπτών ταινιών στην επιφάνεια του υαλοπίνακα, τα οποία λειτουργούν ως φίλτρα και δεν αφήνουν την υπέρυθρη ακτινοβολία να τον διαπεράσει. Δεύτερον, μελετώνται οι θερμοχρωμικές τεχνολογίες που μεταβάλλουν τις οπτικές ιδιότητες του υαλοπίνακα ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος έτσι, ώστε να παρέχουν θερμική μόνωση στις υψηλές θερμοκρασίες. Η τρίτη στρατηγική περιλαμβάνει φωτοχρωμικές τεχνολογίες που μεταβάλλουν τις οπτικές ιδιότητες του υαλοπίνακα ανάλογα με το ποσό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοδιαπερατότητά τους μειώνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας. Τέλος, αναπτύσσονται ηλεκτροχρωμικά επιστρώματα που με την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος μικρής

τάσης σε στρώση οξειδίων του βολφραμίου γίνονται πιο αδιαφανή με το πάτημα ενός κουμπιού.

Νανοτεχνολογία και ξύλο

Η χρήση της νανοτεχνολογίας αποτελεί μία πραγματική ευκαιρία για την ανάπτυξη νέων προϊόντων στη βιομηχανία ξύλου, τα οποία θα μειώσουν ουσιαστικά τις δαπάνες επεξεργασίας. Αν και το ξύλο είναι ανθεκτικό και ισχυρό από τη φύση του, η υπαίθρια έκθεση μπορεί να υποβιβάσει τις φυσικές του ιδιότητες, καθώς και την αισθητική του ομορφιά. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης έχουν αναπτυχθεί νέα επιστρώματα για τις ξύλινες επιφάνειες. Με τη χρήση της νανοτεχνολογίας τα επιστρώματα προστατεύουν το ξύλο από την ηλιακή ακτινοβολία, χωρίς να το αποχρωματίζουν, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής του και διατηρώντας την ομορφιά του. Επιπλέον, του προσδίδουν άριστη αντίσταση στο νερό και συγχρόνως απωθούν τους λεκέδες. Έτσι, το ξύλο μπορεί να διατηρείται καθαρό.

Νανοτεχνολογία και βαφές

Η εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στις βαφές των τοίχων δημιούργησε προϊόντα με ιδιότητες και χαρακτηριστικά που προηγουμένως δεν ήταν δυνατά. Αυτά τα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας μπορούν να αντικαταστήσουν τις συμβατικές βαφές τοίχων, επιτυγχάνοντας καλύτερη ποιότητα του εσωτερικού αέρα, δίχως να προκαλούν αλλεργίες. Η πιο πρόσφατη επιστημονική ανακάλυψη στον τομέα της νανοτεχνολογίας είναι η δημιουργία ενός μη τοξικού επιστρώματος, που είναι σε θέση όχι μόνο να σταματήσει την εμφάνιση των μυκήτων, αλλά να καταστρέψει ακόμη και τα αντιβιοτικά ανθεκτικά βακτηρίδια που βρίσκονται στα νοσοκομεία και στους ιατρικούς χώρους. Ο συνδυασμός των ενεργών συστατικών που χρησιμοποιείται στις βαφές των τοίχων δεν είναι προσωρινός, αλλά ασκεί μια μόνιμη επίδραση και διαρκεί για πολλά έτη. Συγχρόνως, το νέο σύστημα επιστρώματος δεν επιβαρύνει την εσωτερική ατμόσφαιρα, ενώ προστατεύει την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Η νανοτεχνολογία εισάγει την πρώτη αντιβακτηριακή και αντιμικροβιακή βαφή για τους τοίχους, προσθέτοντας μη τοξικά νανομόρια, χωρίς να περιέχει κανένα ,ιοκτόνο, διαλύτη και συντηρητικό επιστρώματος. Δεδομένου ότι τα νανομόρια που χρησιμοποιούνται είναι στερεοί οργανισμοί, η αποδοτικότητα του συστήματος

διατηρείται μόνιμα. Σε αντίθεση με τις συμβατικές βαφές, τα συστατικά δεν εξατμίζονται και η προστατευτική τους λειτουργία δεν υποβαθμίζεται, όπως συμβαίνει συνήθως με τα βιοκτόνα. Ακόμη, η απουσία ,ιοκτόνων, διαλυτών, υπερπλαστικοποιητών και συντηρητικών εξασφαλίζει ότι καμία εσωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση δεν θα προκληθεί από τη βαφή. Επιπλέον, το επίστρωμα είναι άφλεκτο, παρέχοντας έτσι και ασφάλεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 2

Έλεγχος στατικής ισορροπίας και αντιστάσεις⁶

(Υπόμνηση από EN 1990)

- Εκτελούνται ξεχωριστοί έλεγχοι για τις παρακάτω δυο καταστάσεις
- Οριακές καταστάσεις (στατικής) ισορροπίας (EQU)

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

- Οριακές καταστάσεις αντίστασης (STR/GEO)

$$E_d \leq R_d$$

Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας STR/GEO (υπόμνηση από EN 1990)

Θεμελιώδης συνδυασμοί για μόνιμες και παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$0,85 \leq \xi \leq 1,00$$

⁶«Ευρωκώδικας 2», 2011, Γεώργιος Πενέλης, ομότιμος καθηγητής Α.Π.Θ., Ανδρέας Κάππος, καθηγητής Α.Π.Θ., Χρήστος Ιγνατάκης, καθηγητής Α.Π.Θ., Αναστάσιος Σέξτος, επίκουρος καθηγητής Α.Π.Θ.

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Θεμελιώδεις συνδυασμοί για τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\Psi_{1,1} \text{ or } \Psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Θεμελιώδεις συνδυασμοί για σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (ΟΚΛ)(υπόμνηση από EN 1990)

- Χαρακτηριστικός συνδυασμός (μη αναστρέψιμη ΟΚΛ)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Συχνός συνδυασμός (αναστρέψιμη ΟΚΛ)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} Q_{k,i} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Οιονεί-μόνιμος συνδυασμός (αναστρέψιμη ΟΚΛ)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Συντελεστές Ψ_i (υπόμνηση από EN 1990)

Δράσεις	Ψ_1	Ψ_2
Επιβ. Φορτ. Κατ. Α,Β	0,5	0,3
Επιβ. Φορτ. Κατ. C,D	0,7	0,6
Επιβ. Φορτ. Κατ. Ε	0,9	0,8

Χιόνι	0,5-0,7	0,0-0,2
Άνεμος	0,6	0,0
Θερμοκρασία	0,6	0,0

Πίνακας 6. Συντελεστής Ψ . [6]

Έλεγχος βάσει της μεθόδου των επί μέρους συντελεστών. Τιμές σχεδιασμού

- Επιμέρους συντελεστής για τη δράση της συρρίκνωσης : $Y_{SH}=1.0$
- Επιμέρους συντελεστής για την προένταση : $Y_{P,fa\omega}=1.0$
- Επιμέρους συντελεστής για τα φορτία κόπωσης : $Y_{P,unfa\omega}=1.3$ ή 1.2
- Επιμέρους συντελεστής για τα υλικά : $Y_{F,fa\tau}=1.0$

Για την οριακή κατάσταση αστοχίας πρέπει να χρησιμοποιούνται οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας υλικών Y_C και Y_S

Καταστάσεις Σχεδιασμού	Y_C για σκυρόδεμα	Y_S για χάλυβα όπλισης	Y_S για χάλυβα προέντασης
Μόνιμες & Παροδικές	1,5	1,15	1,15
Τυχωματικές	1,2	1,0	1,0

Πίνακας 7. Συντελεστές ασφαλείας υλικών Y_C και Y_S . [6]

- Επιμέρους συντελεστής για τα υλικά θεμελίωσης
 - ✓ Οι τιμές σχεδιασμού των μηχανικών παραμέτρων αντοχής του εδάφους πρέπει να υπολογίζονται σύμφωνα με το **EN 1997**
 - ✓ Ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα Y_C πρέπει να πολλαπλασιάζεται επί έναν συντελεστή , **k=1.1**

Κατηγορίες σκυροδέματος

- Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος υποδηλώνεται με τις Κατηγορίες Σκυροδέματος οι οποίες αντιστοιχίζονται στην χαρακτηριστική (5%) κυλινδρική αντοχή f_{ck} ή την κυβική αντοχή $f_{ck,cubes}$

	Κατηγορία σκυροδέματος													
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cubes}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm} (MPa)	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.5
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2.0	2.5	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	4.9	5.3	5.5	5.7	6.0	6.3	6.6
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ε_{c1} ‰	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.25	2.3	2.4	2.45	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8
ε_{cu1} ‰	3.5									3.2	3.0	2.8	2.8	2.8
ε_{c2} ‰	2.0									2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
ε_{cu2} ‰	3.5									3.1	2.9	2.7	2.6	2.6
n	2.0									1.7 5	1.6	1.4 5	1.4	1.4
ε_{c3} ‰	1.75									1.8	1.9	2.0	2.2	2.3

ε_{cu3} ‰	3.5	3.1	2.9	2.7	2.6	2.6
--------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Πίνακας 8. Γενικά στοιχεία.[6]

Θλιπτική & εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού

Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού f_{cd} :

$$f_{cd} = a_{ce} f_{ck} / \gamma_c$$

- γ_c = ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα
- a_{ce} = συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην θλιπτική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο, ίσος προς 1.0.

εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού f_{ctd} :

$$f_{ctd} = a_{ct} f_{ctk'0,05} / \gamma_c$$

- γ_c = ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα
- a_{ce} = συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην εφελκυστική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο, ίσος προς 1.0.

Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος σε ηλικία t

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε ηλικία t, $f_{cm}(t)$ εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου, τη θερμοκρασία και τις συνθήκες συντήρησης. Για μέση θερμοκρασία 20°C και συντήρηση, είναι :

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$$

Όπου :

- $f_{cm}(t)$ = η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε ηλικία t ημερών

- f_{cm} = η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε ηλικία 28 ημερών
- $\beta_{cc}(t)$ = συντελεστής που εξαρτάται από την ηλικία t του σκυροδέματος:

$$\beta_{cc}(t) = e^{\left\{s \left[1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right]\right\}}$$

- t = η ηλικία του σκυροδέματος σε ημέρες
- s = συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου:
 - = 0,20 για τσιμέντο αντοχής κατηγορίας CEM 42,5 R, CEM 53,3 N και CEM53,3 R (κατηγορία R)
 - = 0,35 για τσιμέντο αντοχής Κατηγορίας CEM 32,5 R, CEM 42,5 N (κατηγορία N)
 - = 0,38 για τσιμέντο αντοχής Κατηγορίας CEM 32,5 N (κατηγορία S)

Ελαστική παραμόρφωση

Μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας με το χρόνο :

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t) / f_{cm})^{0.3} E_{cm}$$

Όπου:

- $E_{cm}(t)$ και $f_{cm}(t)$ είναι οι τιμές που αντιστοιχούν σε ηλικία t ημερών
- E_{cm} και f_{cm} είναι οι τιμές που προσδιορίζονται σε ηλικία 28 ημερών.
- $f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$ όπως προηγουμένως

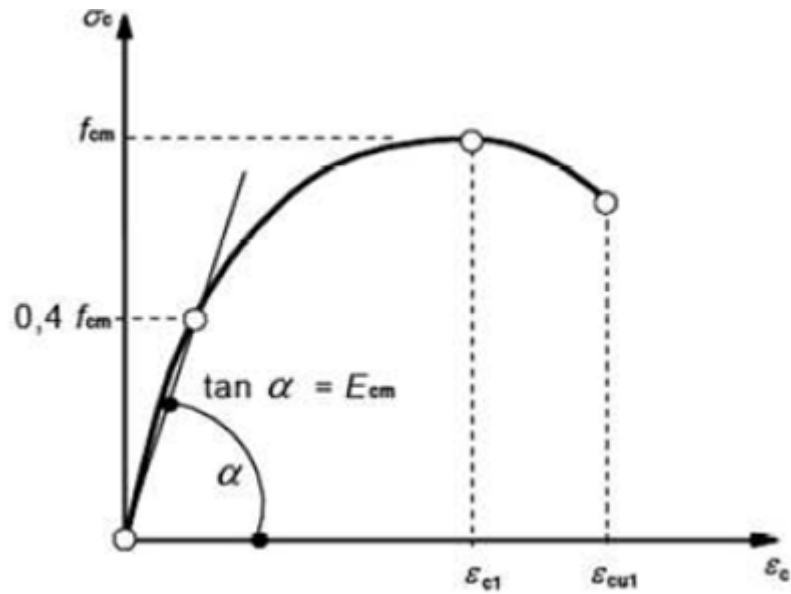
Επίσης:

- Λόγος του *Poisson* = 0,2 για μη ρηγματωμένο

$\nu = 0$ για ρηγματωμένο σκυρόδεμα

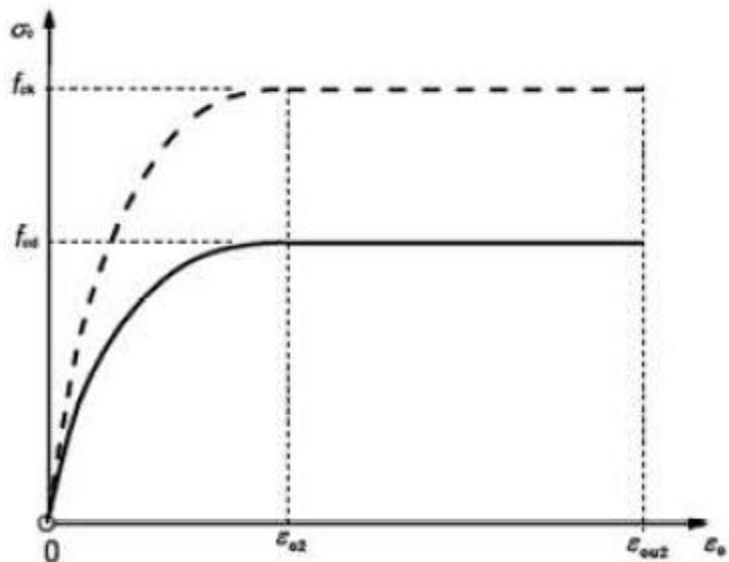
- Ο γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής $\alpha_k = 10 \cdot 10^{-6} K^{-1}$
- εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας $E = 1,05 E_{cm}$

Σχέσεις τάσεων – παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα (1/2)



Διάγραμμα 4. Τάση – παραμόρφωση.[6]

$$\begin{aligned} \varepsilon_{c1} (\%) &= 0,7 f_{cm}^{0,31} \\ \varepsilon_{cu1} (\%) &= 2,8 + 27 \left[\frac{98 - f_{cm}}{100} \right]^4 \\ &\text{οταν } f_{ck} \geq 50 \text{MPa αλλιώς } 3,5 \end{aligned}$$



Διάγραμμα 5. Παραβολικό - ορθογωνικό διάγραμμα.[6]

=for $0 \leq$

$$n = 1,4 + 23,4 \left[\frac{90 - f_{ck}}{100} \right]^4$$

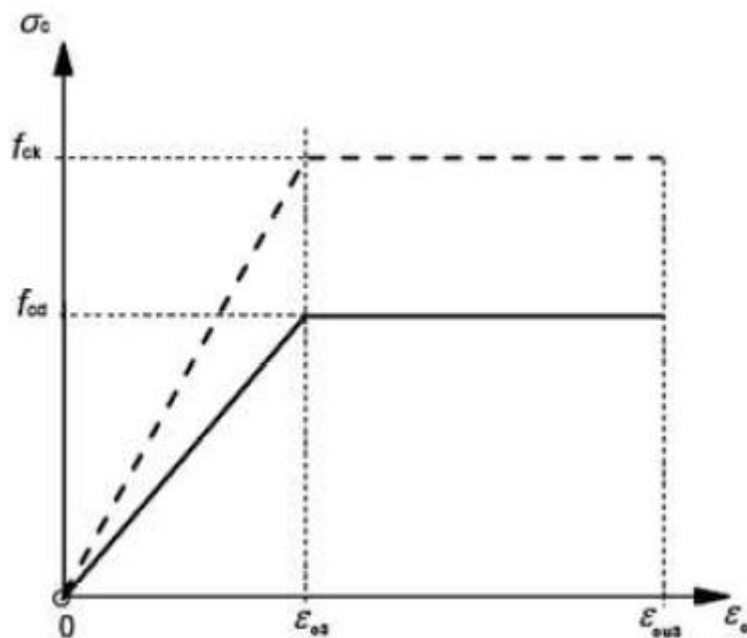
Όταν $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$ αλλιώς 2,0

$$\varepsilon_{c2}(\%) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}$$

Όταν $f_{ck} < 50 \text{ MPa}$ αλλιώς 2,0

$$\varepsilon_{c2}(\%) = 2,6 + 35 \left[\frac{90 - f_{ck}}{100} \right]^4$$

Όταν $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$ αλλιώς 3,5



Διάγραμμα 6. Διγραμμικό διάγραμμα.[6]

$$\varepsilon_{c3}(\%) = 1,75 + 0,55 \left[\frac{f_{ck} - 50}{40} \right]$$

Όταν $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$ αλλιώς 1,75ν

$$\varepsilon_{c3}(\%) = 2,6 + 35 \left[\frac{90 - f_{ck}}{100} \right]^4$$

Όταν $f_{ck} < 50 \text{ MPa}$ αλλιώς 3,5ν

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΝΙΣΧΥΣΗ Ο.Σ ΜΕ ΝΑΝΟ-ΥΛΙΚΑ

3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Τα υλικά⁷ διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: μεταλλικά, πολυμερή και κεραμικά - γυαλιά. Επιπρόσθετα, μπορούν να θεωρηθούν δύο άλλες κατηγορίες: τα σύνθετα υλικά και τα ηλεκτρονικά υλικά λόγω της μεγάλης σπουδαιότητάς τους.

Μεταλλικά υλικά

Αποτελούνται από μίγματα δύο ή περισσότερων μετάλλων και μπορούν επίσης να περιέχουν μερικά μη μεταλλικά στοιχεία, όπως άνθρακα, άζωτο, οξυγόνο κ.ά. Τα μέταλλα έχουν κρυσταλλική δομή, δηλαδή τα άτομα που τα αποτελούν διατάσσονται με κανονικό, επαναλαμβανόμενο και συμμετρικό τρόπο. Γενικά τα μέταλλα είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρικού ρεύματος, έχουν σχετικά μεγάλη αντοχή, ολκιμότητα, μεγάλη συνεκτικότητα, πλαστιμότητα και δυνατότητα μορφοποίησης. Οι ιδιότητες αυτές εξηγούν την εκτεταμένη χρήση τους ως μηχανολογικά υλικά.

Πολυμερή

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα εκτενώς χρησιμοποιούμενα πλαστικά και ελαστικά. Αποτελούνται από οργανικά μόρια μεγάλου μεγέθους (μακρομόρια), στη χημική δομή των οποίων συμμετέχουν κυρίως ο άνθρακας και το υδρογόνο και σε μικρότερο βαθμό άλλα στοιχεία, όπως άζωτο, οξυγόνο, θείο, πυρίτιο κ.ά..

Από δομικής άποψης τα πολυμερή στη στερεή κατάσταση μπορεί να είναι άμορφα, μερικώς κρυσταλλικά (ημικρυσταλλικά) ή σχεδόν κρυσταλλικά. Τα πολυμερή υλικά παρουσιάζουν μια μεγάλη ποικιλία ιδιοτήτων που εξαρτώνται από τη δομή τους. Η αντοχή και η πλαστιμότητα των πολυμερών ποικίλλει ευρέως.

⁷

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ «ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΥΛΙΚΑ Ι», Δρ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΚΟΛΟΒΟΣ, ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π., ΔΙΔΑΚΤΩΡ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π., ΛΕΚΤΟΡΑΣ Π.Δ. 407/80 Σ.Σ.Ε., ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ ΤΟΥ Ε.Κ.Ε.Ο, ΒΑΡΗ 2012

Τα περισσότερα από αυτά τα υλικά είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος και χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές μονώσεις πέραν των ποικίλων άλλων εφαρμογών. Γενικά τα πολυμερή έχουν χαμηλές πυκνότητες και σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες τήξης και αποσύνθεσης.

Κεραμικά

Τα κεραμικά, όπως οι πλίνθοι, η πορσελάνη, τα τσιμέντα, το γυαλί, τα πυρίμαχα και τα λειαντικά, είναι ανόργανα υλικά που αποτελούνται από μεταλλικά και μη μεταλλικά στοιχεία. Τα κεραμικά υλικά μπορεί να είναι άμορφα, μερικώς κρυσταλλικά ή κρυσταλλικά. Έχουν χαμηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη σκληρότητα, μικρή δυσθραυστότητα και συχνά χρησιμοποιούνται ως μονωτές.

Τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν κεραμικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε μηχανολογικές κατασκευές. Τα πλεονεκτήματα σ' αυτό το πεδίο εφαρμογής είναι το μικρό βάρος, η υψηλή αντοχή και σκληρότητα, η θερμική αντοχή, αντοχή στη φθορά και την τριβή και οι θερμομονωτικές ιδιότητες. Τα πλεονεκτήματα αυτά τα καθιστούν επίσης χρήσιμα για επιστρώσεις κλιβάνων υψηλών θερμοκρασιών.

Σύνθετα υλικά

Είναι μίγματα δύο ή περισσότερων υλικών. Τα περισσότερα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ένα επιλεγμένο πληρωτικό ή ενισχυτικό υλικό που είναι διεσπαρμένο σε ένα άλλο υλικό (μήτρα), συνήθως πολυμερές, για την επίτευξη των ειδικών επιθυμητών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων. Συνήθως τα ανωτέρω υλικά είναι μη αναμίξιμα και διαχωρίζονται από μια ενδιάμεση φάση. Τα σύνθετα υλικά είναι διάφορων τύπων. Οι επικρατέστεροι τύποι είναι αυτοί στους οποίους το πληρωτικό υλικό αποτελείται από ίνες και εκείνοι στους οποίους το πληρωτικό υλικό αποτελείται από σωματίδια (εγκλείσματα), τα οποία μπορούν να ενταχθούν και τα αναπτυσσόμενα τελευταία νανοσύνθετα πολυμερικά υλικά με χαρακτηριστικές διαστάσεις των εγκλεισμάτων 1-100 nm, τα οποία παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση των ιδιοτήτων τους σε σύγκριση με τα αντίστοιχα παραδοσιακά σύνθετα υλικά.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα σύνθετων υλικών, που χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, είναι τα πολυμερικά υλικά (όπως πολυεστέρας ή εποξειδικές ρητίνες) ενισχυμένα με ίνες γυαλιού και ίνες άνθρακα. Η βιομηχανική σπουδαιότητα

ενός σύνθετου υλικού έγκειται στο ότι αυτό συνδυάζει τις ελκυστικές ιδιότητες των επί μέρους συστατικών. Τα σύνθετα υλικά με ίνες γυαλιού συνδυάζουν την αντοχή του γυαλιού και την ελαστικότητα του πολυμερούς. Σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως σύνθετα υλικά σε πληθώρα εφαρμογών.

Ηλεκτρονικά υλικά

Αποτελούν ένα σπουδαίο τύπο υλικών για την προχωρημένη τεχνολογία. Τα υλικά αυτής της κατηγορίας, όπως το πυρίτιο, το γερμάνιο και διάφορες χημικές ενώσεις (π.χ. GaAs), είναι σημαντικά στην βιομηχανία των υπολογιστών και για εφαρμογές στον τομέα της ηλεκτρονικής και τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες αυτών των υλικών μπορούν να ελεγχθούν με ακρίβεια έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα, όπως transistors, δίοδοι και ολοκληρωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Κατά τη διαδικασία επιλογής κατάλληλου υλικού[7] για δεδομένη εφαρμογή πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ούτως ώστε να επιλεγεί ένα υλικό που

(α) να έχει τις επιθυμητές ιδιότητες, οι οποίες συχνά εξαρτώνται από την κατεργασία του υλικού

(β) να μπορεί να μορφοποιηθεί ή να παραχθεί στο επιθυμητό σχήμα και

(γ) αυτό και η διαδικασία κατεργασίας του να έχουν αποδεκτό κόστος.

Η επιλογή των υλικών αποτελεί την τελική, πρακτική απόφαση στη διαδικασία του μηχανικού σχεδιασμού και καθοριστικό παράγοντα της επιτυχίας ή αποτυχίας αυτού του σχεδιασμού. Ουσιαστικά πρέπει να ληφθούν δυο ξεχωριστές αποφάσεις:

1^ο, πρέπει να αποφασισθεί ποιος γενικός τύπος (κατηγορία) υλικών είναι κατάλληλος.

2^ο, πρέπει να βρεθεί το καλύτερο ειδικό υλικό αυτής της κατηγορίας για τη συγκεκριμένη εφαρμογή (π.χ. να προτιμηθεί ένα κράμα μαγνησίου από κράμα αλουμινίου ή χάλυβα;).

Μερικές φορές η επιλογή του καταλληλότερου υλικού είναι απλή και προφανής. Για μια ηλεκτρονική συσκευή που απαιτεί έναν ημιαγωγό, οι αγωγοί και οι μονωτές είναι εντελώς ακατάλληλοι για το σκοπό αυτό. Όμως οι περισσότερες επιλογές έχουν ένα βαθμό δυσκολίας, καθόσον οι απαιτήσεις του σχεδιασμού είναι δυνατό σε γενικές γραμμές να καλύπτονται από διάφορα διαθέσιμα υλικά. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρεται η αναζήτηση για την τελική επιλογή μεταλλικού κράματος ως του καταλληλότερου υλικού για την κατασκευή κυλινδρικών δοχείων αποθήκευσης αερίων υπό πίεση μέχρι και 140 atμ για απεριόριστες χρονικές περιόδους. Κατ' αρχήν από τις τρεις κύριες κατηγορίες υλικών (μεταλλικά υλικά, κεραμικά και πολυμερή) τα πολυμερή πρέπει να αποκλεισθούν λόγω των χαμηλών τους αντοχών. Αν και μερικά κατασκευαστικά κεραμικά υλικά μπορούν να αντέξουν το προβλεπόμενο φορτίο, γενικά δεν διαθέτουν την πλαστιμότητα που απαιτείται. Η χρήση τέτοιων εύθραυστων υλικών για κατασκευή δοχείων αποθήκευσης υπό πίεση μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνη. Διάφορα συνήθη μεταλλικά υλικά διαθέτουν ικανοποιητική αντοχή και πλαστιμότητα για τη συγκεκριμένη χρήση. Επίσης πολλά σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες ικανοποιούν τις σχεδιαστικές απαιτήσεις. Ωστόσο,

τα υλικά αυτά αποκλείονται λόγω του υψηλού τους κόστους. Το επί πλέον κόστος κατασκευής με τέτοιου είδους υλικά δικαιολογείται μόνο εάν προκύπτει κάποιο ειδικό πλεονέκτημα, όπως το μειωμένο βάρος. Περιορίζοντας την επιλογή στα μεταλλικά υλικά υπάρχει ακόμα ένας μεγάλος αριθμός υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Λαμβάνοντας υπόψη τα εμπορικά διαθέσιμα κράματα μετρίου κόστους με τις απαιτούμενες μηχανικές ιδιότητες προκύπτει μια λίστα υποψηφίων υλικών. Για την τελική επιλογή του κράματος πρέπει να γίνεται λεπτομερής σύγκριση των ιδιοτήτων σε κάθε βήμα της πορείας επιλογής. Σε ορισμένες περιπτώσεις εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες μπορεί να βαρύνουν στην απόφαση εκλογής, αλλά συχνότερα το καθοριστικότερο είναι το κόστος.

Σε ορισμένες περιπτώσεις και ειδικότερα στις αεροδιαστημικές εφαρμογές το βάρος έχει κρίσιμη σημασία, λόγω του ότι το επί πλέον βάρος του διαστημόπλοιου αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου και μειώνει την μέγιστη δυνατή απόσταση που μπορεί να διανύσει. Για την κατασκευή πολλών μοντέρνων διαστημόπλοιων χρησιμοποιούνται ακριβότερα σύνθετα υλικά, όπως εποξειδικές ρητίνες ενισχυμένες με ίνες άνθρακα, αντί των παραδοσιακών κραμάτων αλουμινίου. Ωστόσο, η οικονομική ωφέλεια από την εξοικονόμηση καυσίμων λόγω του υψηλότερου λόγου αντοχής προς βάρος του σύνθετου υλικού υπερκαλύπτει την υψηλότερη αρχική επένδυση για το αεροσκάφος.

Σε κάθε περίπτωση κατά την επιλογή των υλικών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η προστασία του περιβάλλοντος και η εξασφάλιση της ασφαλούς χρήσης τους.

Υποκατάσταση μετάλλων με πολυμερή

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η αντικατάσταση αλουμινίου ή χάλυβα με Nylon, που έχει υποστεί σκλήρυνση, σε εξαρτήματα αγωνιστικών μηχανών (αλυσοκινούμενοι τροχοί). Το nylon διαδόθηκε ευρέως λόγω των αντιτριβικών του ιδιοτήτων και των λιγότερων αστοχιών (φθοράς και θραύσεων) αλυσίδων μοτοσυκλετών. Η καλύτερη απόδοση του nylon σε σχέση με τα συμβατικά μεταλλικά υλικά έγκειται στο συνδυασμό καλής αντοχής και δυσθραυστότητας. Επίσης, η κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων από πολυμερή επιφέρει μείωση του συνολικού βάρους της κατασκευής.

Υποκατάσταση μετάλλων με σύνθετα υλικά

Η μείωση του βάρους που προκύπτει με την αντικατάσταση μετάλλων από πολυμερή ή σύνθετα υλικά οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας. Η οικονομία στα καύσιμα και η επακόλουθη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος τίθενται ως επιτακτικές ανάγκες της κοινωνίας του 2000. Για κάθε kg βάρους ένα αεριωθούμενο αεροπλάνο (jet) ξοδεύει 830 λίτρα καυσίμου το χρόνο. Η αεροναυπηγική βιομηχανία έχει προχωρήσει στην αντικατάσταση πολλών συμβατικών μεταλλικών υλικών με προηγμένα σύνθετα υλικά, όπως είναι τα πολυμερή με ίνες Kevlar ή ίνες γραφίτη, μειώνοντας το βάρος πολλών αεροσκαφών (όπως Lockheed-L-1011 και Boeing 767) μέχρι και 600 κιλά.

Μέταλλα και πολυμερή ως υλικά για τον ανθρώπινο οργανισμό (βιοϋλικά)

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό ως εμφυτεύματα (π.χ. ορθοπεδικοί σύνδεσμοι, οδοντιατρικά πρόσθετα) πρέπει, εκτός της μηχανικής αντοχής τους και του μικρού βάρους, να χαρακτηρίζονται από **βιοσυμβατότητα**. Δηλαδή θα πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή στην οξειδωση και διάβρωση και να μην υποβαθμίζονται οι μηχανικές τους ιδιότητες μέσα στα υγρά του ανθρώπινου σώματος (π.χ. αίμα). Από μεταλλικά υλικά χρησιμοποιούνται ευρέως κράματα του τιτανίου και συγκεκριμένα το Ti-4% Al-6% V, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη μηχανική αντοχή, αντοχή σε διάβρωση και μικρή πυκνότητα.

Το πολυμεθακρυλικό μεθύλιο (PMMA) είναι ένα πολυμερές, το οποίο χρησιμοποιείται και αυτό σε ορθοπεδικά εμφυτεύματα, σε συνδυασμό με μεταλλικά υλικά, λόγω της μεγάλης αντοχής στην οξειδωση, της μικρής του πυκνότητας και της μεγάλης του αντίστασης σε φθορά-τριβή.

3.3 ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΝΕΑ ΥΛΙΚΑ

Η σημερινή τεχνολογική επανάσταση γίνεται στο «πολύ μικρό». Η έρευνα αιχμής ασχολείται με τις μοριακές ιδιότητες των υλικών[7]. Οι τομείς που περιλαμβάνει εκτείνονται από την διάγνωση της σεισμικής συμπεριφοράς, την αναχαίτιση υλικών καταστροφών, την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων παραδοσιακών υλικών έως την διάδραση με τον χρήστη για την δημιουργία μεταβαλλόμενων-ευφυών περιβαλλόντων διαβίωσης με την χρήση έξυπνων υλικών.

Στόχος η δημιουργία κτηρίων-περιβαλλόντων με λειτουργίες και ιδιότητες που πλησιάζουν αυτές ενός ζωντανού οργανισμού ίσως ακόμα και εμπλουτισμένες με ανθρώπινη νοημοσύνη. Περιβάλλοντα που λειτουργούν με πολλαπλούς τρόπους και ταυτόχρονα διαντιδρούν με τις μεταβαλλόμενες συμπεριφορές και επιθυμίες των ανθρώπων. Η ευφυΐα τους είναι ροϊκή και ελεύθερη για αυτό και δεν αποτελούν ένα ιδανικό σύστημα αλλά «μια ρευστή διάδραση ανάμεσα στον άνθρωπο και στο περιβάλλον».

Τα έξυπνα υλικά

Τα έξυπνα υλικά έχουν μεταβλητές ιδιότητες και ανταποκρίνονται σε εφήμερες ανάγκες. Έχουν την ικανότητα να αποκρίνονται σε πολλαπλές καταστάσεις αντί να βελτιστοποιούνται για μία μοναδική κατάσταση. Σε αντίθεση με τα καθιερωμένα στατικά υλικά που αντέχουν στις δυνάμεις, τα έξυπνα υλικά είναι δυναμικά δηλαδή συμπεριφέρονται σε απόκριση των ενεργειακών πεδίων.

Δεν είναι εύκολο να συλλάβει κανείς ένα τελικό αποτέλεσμα, καθώς αυτά τα υλικά υπόκεινται σε συνεχείς μετασχηματισμούς δράσης και αλληλεπίδρασης. Θα μπορούσε ενδεχομένως να πει κανείς πως μιλάμε περισσότερο για σειρές ενεργειών, για ένα σύνολο ή συναρμογή ιδιοτήτων παρά για υλικά αναγνωρίσιμα και ποσοτικοποιήσιμα από την μοριακή δομή τους.

Είναι αρκετά δύσκολο να ορίσει κανείς τι είναι αυτό που κάνει ένα υλικό έξυπνο τη στιγμή που ότι μπορεί να κάνει ένα έξυπνο υλικό μπορεί να το κάνει και ένα συμβατικό. Πολλές φορές η εξυπνάδα ταυτίζεται με την αυτοματοποίηση και τα καθολικά έμμεσα κατασκευαστικά συστήματα που είχαμε έως τώρα για τη διαχείριση

των μεταβολών θερμοκρασίας, φωτός κλπ. Συστήματα που κάθε άλλο από ξεχωριστά και άμεσα δεν είναι.

Τα έξυπνα υλικά μας αναγκάζουν να σκεφτούμε σε μικρή κλίμακα: τι χρειάζεται το σώμα και όχι τι χρειάζεται το κτήριο. Δίνουν τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε άμεσα και ξεχωριστά περιβάλλοντα για το σώμα, αλλά δεν έχουμε οδηγό για την εφαρμογή τους σε αυτή την σημαντική αρένα. Οι πιο σπουδαίες σκέψεις για τα έξυπνα υλικά είναι αυτές που σταχυολογούνται από την συμπεριφορά τους. Είτε πρόκειται για μόριο, για υλικό, για συνδυασμό ή για ένα σύστημα, τα έξυπνα υλικά θα παρουσιάσουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Αμεσότητα (immediacy) - αποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο
- Παροδικότητα (transiency) - αποκρίνονται σε περισσότερες από μία περιβαλλοντικές καταστάσεις
- Αυτο - ενεργοποίηση (self-actuation) - η ευφυΐα τους είναι εγγενής
- Επιλεκτικότητα (selectivity) - η απόκρισή τους είναι ξεχωριστή και προβλεπόμενη
- Ευθύτητα (directness) - η απόκρισή τους είναι τοπική σε ένα ενεργοποιημένο γεγονός.

Είναι μάλλον αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό, η ευθύτητα, που θέτει την μεγαλύτερη πρόκληση στους μηχανικούς και οδηγεί στην σκέψη της χρήσης των έξυπνων υλικών, επιλεκτικά και στρατηγικά. Έτσι αντί να επιλέγονται αφού έχει ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός, τα υλικά και οι ιδιότητές τους αποτελούν το σημείο εκκίνησης.

Τα έξυπνα υλικά δεν φαίνονται και δεν σχεδιάζονται σαν να ήταν γνωστά αντικείμενα εγκαταστημένα σε ένα τόπο. Και αυτό επηρεάζει και τον ίδιο τον σχεδιασμό που πρέπει να εστιάζει περισσότερο στο τι θέλουμε να κάνουν αυτά τα υλικά και όχι στο πως φαίνονται τελικά. Έχοντας πια τη δυνατότητα να σχεδιάζουμε αρχίζοντας από το πολύ μικρό, από μια μόνη κίνηση και να δημιουργούμε τοπικά και διασυνδεδεμένα γεγονότα, το πρόβλημα της εμπειρίας, του τι αισθάνονται οι χρήστες και πώς θα μπορούσαν να αντιδρούν με το περιβάλλον τους, επιστρέφει στο προσκήνιο της Μηχανικής.

3.4 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Σύνθετα[7] καλούνται τα υλικά που κατασκευάζονται από δύο διαφορετικά υλικά προκειμένου να αποκτήσουν βελτιωμένες ιδιότητες (μηχανικές, ηλεκτρικές). Μία απλή περίπτωση παραδοσιακού σύνθετου υλικού είναι οι κολόνες οπλισμένου σκυροδέματος (μπετόν αρμέ), οι οποίες αποτελούνται από σκυρόδεμα (το οποίο από μόνο του αποτελεί σύνθετο υλικό από τσιμέντο και χαλίκια) και εσωτερικά από ράβδους μαλακού χάλυβα. Το οπλισμένο σκυρόδεμα παρουσιάζει αυξημένη αντοχή και δυσθραυστότητα.

Κάθε σύνθετο υλικό αποτελείται από το υλικό της μήτρας και από το ενισχυτικό υλικό. Ανάλογα με τη μορφή του ενισχυτικού υλικού, υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες σύνθετου υλικού:

- **Σύνθετα υλικά με διασπορά σωματιδίων.** Ένα παράδειγμα τέτοιου υλικού είναι το σύνθετο πολυστυρενίου-ελαστομερούς. Το σύνθετο αυτό υλικό περιέχει σε διασπορά σωματίδια λάστιχου μέσα σε μήτρα πολυστυρενίου και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πλαστικότητας του αρχικά ψαθυρού πολυστυρενίου. Ένα άλλο παράδειγμα είναι το αλουμίνιο με διεσπαρμένους κόκκους καρβιδίου του πυριτίου (SiC). Λόγω των κεραμικών κόκκων (SiC), το υλικό συνδυάζει υψηλή σκληρότητα και ολκιμότητα λόγω της μήτρας αλουμινίου.

- **Σύνθετα υλικά με ίνες.** Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου σύνθετου υλικού είναι πολυμερές (φαινολικά, πολυεστέρες, εποξικές ρητίνες) ενισχυμένο με ίνες γυαλιού (fiberglass). Ένα τέτοιο σύνθετο υλικό παρουσιάζει μεγάλη μηχανική, χημική αντοχή και δυσθραυστότητα σε συνδυασμό με τη μικρή πυκνότητα. Χρησιμοποιείται σε αεροναυπηγικές-ναυπηγικές εφαρμογές και στη χημική βιομηχανία για την κατασκευή δοχείων που περιέχουν διαβρωτικά υγρά. **Πολυμερή με ίνες Kevlar**(είναι η εμπορική ονομασία κάποιου πολυαμιδίου που παρασκεύασε η εταιρεία DuPont) ή άνθρακα είναι σύνθετα υλικά με μεγάλη αντοχή στην κρούση. Βρίσκουν εφαρμογές στην κατασκευή αμαξωμάτων αγωνιστικών αυτοκινήτων, τριβέων και εδράνων και γενικά στοιχείων μηχανών, που καταπονούνται κάτω από έντονες συνθήκες (μηχανικές-θερμικές).

Στα **παραδοσιακά σύνθετα** ανήκουν υλικά όπως το fiberglass, το ξύλο και το σκυρόδεμα. Τα υπόλοιπα σύνθετα που χρησιμοποιούνται σε τεχνικές εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων συνιστούν τα λεγόμενα **προηγμένα σύνθετα υλικά**.

Ανάλογα με το υλικό της μήτρας υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες σύνθετων υλικών:

- Σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας
- Σύνθετα υλικά κεραμικής μήτρας
- Σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας.

Τα προηγμένα σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας χρησιμοποιούνται ως υλικά υψηλών προδιαγραφών στη ναυπηγική, αεροναυπηγική και αυτοκινητοβιομηχανία, αλλά και στην κατασκευή εδράνων, τριβέων, οδοντωτών τροχών και άλλων στοιχείων μηχανών, που εκτός της μηχανικής αντοχής παίζει σπουδαίο ρόλο και η ελαχιστοποίηση του βάρους της κατασκευής. Τα προηγμένα σύνθετα κεραμικής ή μεταλλικής μήτρας χρησιμοποιούνται για την κατασκευή στοιχείων μηχανών εσωτερικής καύσης, αεριοστροβίλων αλλά και εργαλείων (cermet WC/Co) και γενικά εξαρτημάτων, που απαιτείται να αντέχουν σε έντονες μηχανικές καταπονήσεις και σε διαβρωτικό περιβάλλον.

Νανοτεχνολογία

Η Νανοτεχνολογία σχετίζεται με την κατανόηση και τον έλεγχο της ύλης σε διαστάσεις 1 έως 100 nm, όπου φυσικά φαινόμενα επιτρέπουν πρωτότυπες εφαρμογές. Αν και ακούγεται περισσότερο ως τεχνικός όρος, εντούτοις έχει επικρατήσει να περιλαμβάνει την Επιστήμη, τη Μηχανική και την Τεχνολογία της Νανοκλίμακας και εμπλέκει τη φαντασία, τη μέτρηση, την προσομοίωση και τον χειρισμό της ύλης σε αυτές τις διαστάσεις. Στη νανοκλίμακα, οι φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες των υλικών διαφέρουν εκπληκτικά με τη συμπεριφορά της ύλης στον μακρόκοσμο, όπως δηλαδή έχουμε μάθει να την αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις μας. Η Νανοτεχνολογία στοχεύει ακριβώς στην κατανόηση αυτών των ιδιοτήτων και στη δημιουργία νέων, βελτιωμένων υλικών, συσκευών και συστημάτων έχοντας ως γνώμονα αυτές.

Ένας από τους σημαντικότερους λόγους για τους οποίους η Νανοτεχνολογία έχει βρεθεί στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος είναι ότι μας βοηθά να καλύψουμε ένα μεγάλο κενό που έχουμε στην κατανόηση της ύλης. Μέχρι τώρα, γνωρίζουμε αρκετά πράγματα για τα υποατομικά σωματίδια αλλά και τη συμπεριφορά μεμονωμένων ατόμων και μορίων με τη συμβολή της Φυσικής και της Χημείας. Επίσης έχουμε μάθει πολλά για τη συμπεριφορά της ύλης στον μακρόκοσμο. Ωστόσο η γνώση μας ήταν

μικρή για τη συμπεριφορά συστημάτων ατόμων ή/και μορίων. Η Νανοτεχνολογία μας επέτρεψε να εμβαθύνουμε σε αυτές τις διαστάσεις.

Ένας άλλος λόγος, εξίσου σημαντικός, είναι ότι τα φαινόμενα της νανοκλίμακας γεννούν μεγάλες προσδοκίες για εκπληκτικές εφαρμογές. Για παράδειγμα είναι δυνατή η αρχιτεκτονική εξειδικευμένων μορίων άτομο-προς άτομο. Για αυτούς τους λόγους και για πολλούς ακόμα δεν είναι τυχαίο που δαπανούνται μεγάλα ποσά από τις κυβερνήσεις των προηγμένων κρατών για την χρηματοδότηση προγραμμάτων που αφορούν την Νανοτεχνολογία.

Όσον αφορά την ιστορική εξέλιξη της Νανοτεχνολογίας, η απαρχή της μπορεί να τοποθετηθεί σε μια ιστορική ομιλία του μεγάλου και διορατικού νομπελίστα φυσικού Richard P. Feynman, την οποία έδωσε στις 29 Δεκεμβρίου 1959 στο ετήσιο συνέδριο της Αμερικανικής Ένωσης Φυσικών που διεξήχθη στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Καλιφόρνια, με τίτλο *Υπάρχει πολύς χώρος στον πυθμένα (There's Plenty of Room at the Bottom)*. Στην ομιλία αυτή ο Feynman εξετάζει τις επιπτώσεις που θα είχε ο ενδεχόμενος έλεγχος της ύλης στην ατομική κλίμακα, προσβλέπει σε καλύτερα ηλεκτρονικά μικροσκόπια, και πραγματεύεται μερικές πολύ πρωτότυπες ιδέες που προκάλεσαν αίσθηση εκείνη την εποχή.

Μεγάλοι σταθμοί στην ανάπτυξη της Νανοτεχνολογίας ήταν το 1981 η ανακάλυψη του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (STM) αλλά και η πρώτη δημοσίευση που έκανε λόγο για μοριακή μηχανική με ακρίβεια ατόμου από τον K. Eric Drexler. Το 1985 η ανακάλυψη των φουλερενίων και το 1986 η ανακάλυψη του Μικροσκοπίου Ατομικής Δύναμης (AFM) έδωσαν μεγάλη δυναμική, που επιβεβαιώνεται με την δημοσίευση πολλών ερευνητικών προσπαθειών για την νανοκλίμακα και την έκδοση πολλών νέων επιστημονικών περιοδικών που αφορούν αποκλειστικά τις νανοδιαστάσεις.

Σταδιακά η Νανοτεχνολογία άρχισε να εμπλέκεται με πολλά επιστημονικά πεδία, όπως η Ιατρική, η Βιολογία, η Επιστήμη Υλικών, η Χημική Μηχανική και άλλα. Ως φυσικό επακόλουθο δημιουργήθηκαν και Νανο-υλικά.

Νανοςύνθετα υλικά

Αν και οι όροι *νανοϋλικό* και *νανοσύνθετο* αντιπροσωπεύουν νέα πεδία στην Επιστήμη των Υλικών, στην πραγματικότητα τέτοια υλικά χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες και υπάρχουν γύρω μας στη φύση. Ωστόσο δεν είναι παρά τα τελευταία

χρόνια που ο χαρακτηρισμός και ο έλεγχος της ύλης στις νανοδιαστάσεις, διερευνήθηκαν διεξοδικά. Ένα νανοσύνθετο ορίζεται ως ένα σύνθετο υλικό του οποίου κάποιο από τα συστατικά του έχει τουλάχιστον μία διάστασή του στην νανοκλίμακα. Η πρόκληση και το ενδιαφέρον στην ανάπτυξη νανοσυνθέτων υλικών είναι να βρούμε τρόπους να δημιουργήσουμε μακροδομές που θα ωφελούνται από τις μοναδικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των νανοδομών που θα υπάρχουν μέσα τους.

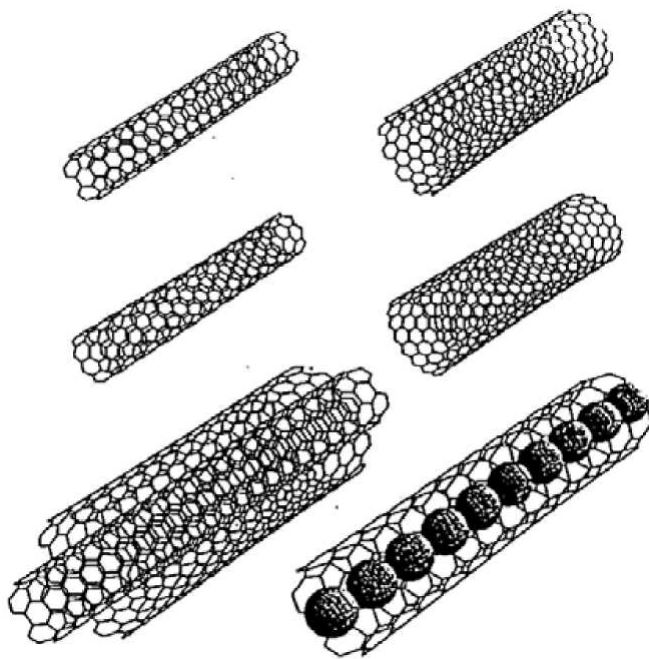
Φυσικά υλικά όπως τα κόκκαλα, τα δόντια, είναι πολύ καλά παραδείγματα της πετυχημένης εφαρμογής αυτής της ιδέας, προσφέροντας άριστες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με αυτές των συστατικών τους. Τέτοια σύνθετα υλικά παρουσιάζουν πολύ καλά οργανωμένες δομές τόσο σε μακροσκοπικό επίπεδο, όσο και στις νανοδιαστάσεις. Οι επιστήμονες αγωνίζονται να κατανοήσουν αυτά τα υλικά, που είναι η φυσική εκδοχή των νανοσυνθέτων. Συνήθως τα υλικά αυτά αποτελούνται από δύο συστατικά: το υλικό της ενίσχυσης, οι διαστάσεις του οποίου είναι στην νανοκλίμακα και τη μήτρα που φιλοξενεί την ενίσχυση, και η οποία είναι ένα μαλακό υλικό, συνήθως πρωτεϊνικής φύσης. Γιατί όμως η νανοκλίμακα παίζει τόσο σημαντικό ρόλο;

Από μηχανική άποψη, ο μηχανισμός για αυτά τα βιοσύνθετα είναι απλός: η μήτρα μεταφέρει τη φόρτιση μέσω διάτμησης στην ενίσχυση. Ένας μεγάλος λόγος μήκους προς τη διάμετρο (*aspectratio*) της ενίσχυσης αντισταθμίζει το χαμηλό μέτρο ελαστικότητας της μαλακής πρωτεϊνικής μήτρας, οδηγώντας σε βελτιωμένη δυσκαμψία του συνθέτου. Επίσης η αντοχή στη θραύση των βιοσυνθέτων εξαρτάται από τη μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό της ενίσχυσης. Έτσι, η χρήση νανοδομών επιτρέπει την προσέγγιση της μέγιστης θεωρητικής αντοχής του υλικού, καθώς οι μηχανικές ιδιότητες δεν επηρεάζονται από ατέλειες στη νανοκλίμακα. Αυτή η παρατήρηση είναι μια επέκταση της κλασσικής προσέγγισης για ανθεκτικά υλικά, σύμφωνα με την οποία πρέπει να μειώνονται οι διαστάσεις τόσο ώστε να αποκλείονται κρίσιμες ατέλειες. Γι' αυτό, χρησιμοποιούνται ως ενίσχυση υλικά με υψηλή κρυσταλλικότητα και με διαστάσεις σε νανόμετρα, οπότε όλες οι ατέλειες εκτός από τις ατομικές μπορούν να εξαλειφθούν. Αυτή η εξερεύνηση των ιδιοτήτων σαν συνάρτηση των ατελειών δεν περιορίζεται μόνο στις μηχανικές, καθώς ένα μεγάλο εύρος από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών επίσης εξαρτώνται από τη συγκέντρωση των ατελειών. Ακόμη, η μικρή κλίμακα μεγέθους μπορεί να δημιουργήσει διάφορα

εγγενή φαινόμενα, για παράδειγμα μέσω του κβαντικού περιορισμού ή της δραματικής αύξησης της διεπιφανειακής περιοχής.

Η ιδέα της ανάπτυξης δομικών και λειτουργικών νανοσυνθέτων υλικών με βελτιωμένη συμπεριφορά βρίσκεται αυτή τη στιγμή στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος για μια ευρεία ποικιλία μεταλλικών, κεραμικών και πολυμερικών μητρών, αν και έμφαση έχει δοθεί κυρίως στα πολυμερή υλικά. Τα υλικά ενίσχυσης μπορούν να είναι είτε οργανικά είτε ανόργανα, με πολύ μεγάλη ποικιλία συνδυασμών και δομών. Το σύνθετο που προκύπτει γενικά παρουσιάζει πλήθος βελτιωμένων ιδιοτήτων, τόσο ώστε να είναι δύσκολο να το διακρίνουμε σε δομικό ή λειτουργικό. Τέλος πρέπει να σημειώσουμε ότι στη βιβλιογραφία αντί του όρου *υλικό ενίσχυσης*(reinforcement) πολλές φορές χρησιμοποιείται ο όρος *υλικό πλήρωσης*(filler) χωρίς διακριτή διαφορά.

Ένα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως ως υλικό ενίσχυσης είναι οι *νανοσωλήνες άνθρακα (carbonnanotubes)*. Οι νανοσωλήνες άνθρακα έχουν προσελκύσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί προβλέφθηκε αρχικά και στη συνέχεια επαληθεύτηκε πειραματικά ότι έχουν αξιόλογες μηχανικές και φυσικές ιδιότητες. Ο συνδυασμός αυτών των ιδιοτήτων με τη χαμηλή τους πυκνότητα τους καθιστά ιδανικούς για πολυμερικά σύνθετα υλικά υψηλής απόδοσης. Κατά μία έννοια μάλιστα, ίσως να αποτελούν την επόμενη γενιά ινών άνθρακα. Παρόλο που δεκάδες ή και εκατοντάδες κιλά νανοσωλήνων άνθρακα παράγονται αυτή τη στιγμή κάθε μέρα, η ανάπτυξη υψηλής αντοχής και δυσκαμψίας πολυμερικών συνθέτων που να βασίζονται στους νανοσωλήνες καθυστερεί από την έλλειψη διαθεσιμότητας νανοσωλήνων υψηλής καθαρότητας και ποιότητας σε μεγάλες ποσότητες.



Εικόνα 9.Σχήμα 40: Σχηματική αναπαράσταση διαφόρων δομών νανοσωλήνων άνθρακα.[7]

Το μικρό μέγεθος αυτών των ενισχυτικών υλικών γεννά ένα πλήθος προκλήσεων που πρέπει να ξεπεραστούν. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει μεγάλα βήματα για να ξεπεραστούν οι δυσκολίες στην παραγωγή πολυμερών νανοσυνθέτων, η διαδικασία παραγωγής αποτελεί κλειδί για την πλήρη εκμετάλλευση των ιδιοτήτων των νανοϋλικών της ενίσχυσης. Μια πρωταρχική δυσκολία είναι η επίτευξη καλής διασποράς της ενίσχυσης στη μήτρα. Αν δεν επιτευχθεί, τότε τα συσσωματώματα δρουν ως ατέλειες, γεγονός που περιορίζει τη μηχανική συμπεριφορά του συνθέτου. Τα συσσωματώματα αυτά επηρεάζουν τις φυσικές ιδιότητες του συνθέτου, όπως για παράδειγμα την οπτική διαπερατότητα.

Όταν διασπείρονται μικρά σωματίδια σε ένα χαμηλού ιξώδους μέσο, μηχανισμοί διάχυσης, αλλά και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματίων μεταξύ τους και με τη μήτρα παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο καθώς η διάμετρός τους μειώνεται κάτω από 1 μm . Δεν είναι τόσο το μέγεθος που έχει μεγάλη σημασία, όσο ο διεπιφανειακός όγκος που επηρεάζει σημαντικά τις τελικές ιδιότητες. Οι διεπιφανειακές περιοχές μπορούν να έχουν διαφορετικές ιδιότητες από αυτές του καθαρού πολυμερούς και να αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό ποσοστό του όγκου του συνθέτου για νανοσωματίδια με επιφάνεια της τάξης εκατοντάδων m^2/g . Ο διεπιφανειακός όγκος

εξαρτάται τόσο από τη διασπορά και την κατανομή των νανοσωματιδίων, όσο και από την επιφάνειά τους.

Στα παραδοσιακά ινώδη σύνθετα, η διεπιφανειακή περιοχή ορίζεται σαν την περιοχή της οποίας οι ιδιότητες διαφέρουν και από την μήτρα και από την ενίσχυση. Με άλλα λόγια, οι ιδιότητες της πολυμερικής μήτρας του νανοσυνθέτου διαφέρουν από αυτές του καθαρού πολυμερούς, σε όρους όπως ο βαθμός πολυμερισμού, η μορφολογία των πολυμερικών αλυσίδων, ο βαθμός κρυσταλλικότητας και άλλες. Αυτά τα φαινόμενα μπορούν να επηρεάσουν την παραγωγή και τις τελικές ιδιότητες του νανοσυνθέτου. Μια απλή αλλά σημαντική συνέπεια αυτών είναι το γεγονός ότι γίνεται εξαιρετικά δύσκολη η διαβροχή ολόκληρης της επιφάνειας των νανοσωματιδίων από το πολυμερές, οπότε γίνεται και δύσκολη η ομοιόμορφη διασπορά των σωματιδίων. Επίσης, η ισχυρή επίδραση των διεπιφανειακών αλληλεπιδράσεων κατά τη διαδικασία παραγωγής μπορεί να μεταβάλλει τη μικροδομή της μήτρας, πράγμα που επηρεάζει σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες του νανοσυνθέτου ανεξάρτητα από το αν η ενίσχυση φέρει το βάρος της φόρτισης. Επομένως, η μικροδομή του νανοσυνθέτου πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη όταν αξιολογείται η συμπεριφορά συνθέτων πολυμερικής μήτρας-νανοσωλήνων άνθρακα. Πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι λόγω της ποικιλομορφίας στη δομή των νανοσωλήνων, ποικίλουν και τα συστήματα πολυμερών-νανοσωλήνων που ερευνώνται, και η σχέση δομής-ιδιοτήτων αναδύεται μέσα από την έρευνα αυτή.

Νανοσωλήνες άνθρακα

Από την ανακάλυψή τους το 1991 από τον Iijima, οι νανοσωλήνες άνθρακα έχουν προκαλέσει τεράστια δραστηριότητα στις περισσότερες περιοχές της επιστήμης και της τεχνολογίας λόγω των ανεπανάληπτων φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους. Κανένα άλλο υλικό στο παρελθόν δεν έχει επιδείξει το συνδυασμό μηχανικών, θερμικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων που τους αποδίδεται. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν τους νανοσωλήνες ιδανικούς όχι μόνο για μια πληθώρα εφαρμογών, αλλά και για έρευνα πάνω σε θεμελιώδη ζητήματα της επιστήμης.

Πιο συγκεκριμένα, αυτός ο συνδυασμός ιδιοτήτων κάνει τους νανοσωλήνες ιδανικούς υποψηφίους για υλικά πλήρωσης στα σύνθετα. Οι ερευνητές προσπαθούν να εκμεταλλευτούν την αγωγιμότητα και τον υψηλό λόγο διαστάσεων τους για να παράγουν αγώγιμα πλαστικά με υπερβολικά χαμηλό «κατώφλι διήθησης» (ή αλλιώς κρίσιμη περιεκτικότητα). Επίσης ερευνάται η δυνατότητα κατασκευής θερμικά

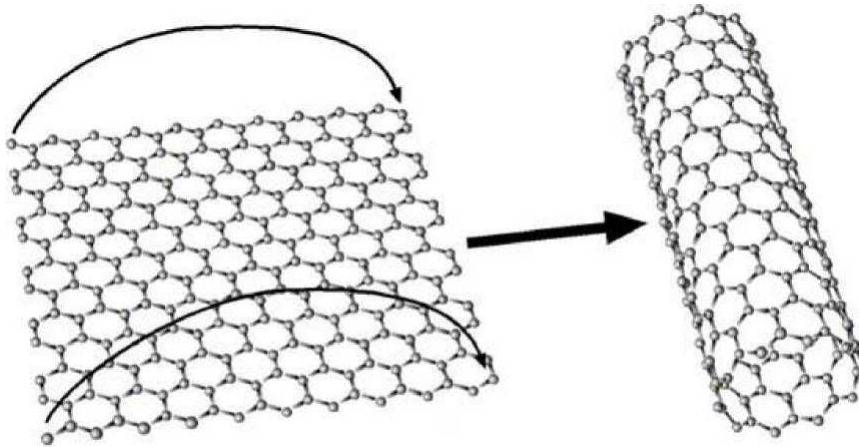
αγώγιμων συνθέτων υλικών, λόγω της μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας των νανοσωλήνων. Ωστόσο το πιο πολλά υποσχόμενο πεδίο έρευνας έχει να κάνει με τη μηχανική βελτίωση των πλαστικών χρησιμοποιώντας νανοσωλήνες άνθρακα ως ενισχυτικά υλικά.

Η ιδέα της χρήσης ψευδο-μονοδιάστατων πληρωτικών υλικών σαν ενισχυτικά μέσα δεν είναι καθόλου καινούργια. Το άχυρο για παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε σαν ενίσχυση στον πηλό για την παραγωγή τούβλων από το 4000 π.Χ.. Τις τελευταίες δεκαετίες ίνες φτιαγμένες από υλικά όπως η αλουμίνα, το γυαλί, το βόριο, το καρβίδιο του πυριτίου (SiC) και κυρίως οι ίνες άνθρακα χρησιμοποιούνται σαν ενίσχυση στα σύνθετα υλικά. Ωστόσο, οι συμβατικές αυτές ίνες έχουν διαστάσεις στη μεσοκλίμακα με διαμέτρους δεκάδων μικρομέτρων και μήκος της τάξης των χιλιοστών.

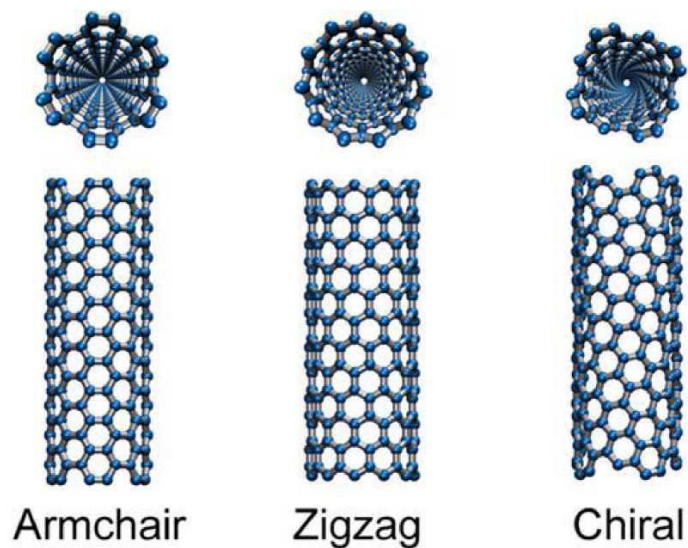
Οι μηχανικές τους ιδιότητες είναι εντυπωσιακές, με τις ίνες άνθρακα να επιδεικνύουν μέτρο ελαστικότητας και αντοχή με τιμές 230-725 GPa και 1.5-4.8 GPa αντίστοιχα. Τα τελευταία χρόνια νανοϊνες άνθρακα αναπτύσσονται από την αέρια φάση με διαμέτρους της τάξης των 100 nm και μήκη μεταξύ 20 και 100 μm. Αυτές οι μικρές διαστάσεις σημαίνουν ότι οι νανοϊνες αυτές έχουν πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια ανά μονάδα μάζας από τις συμβατικές ίνες άνθρακα επιτρέποντας μεγαλύτερη αλληλεπίδραση με τη μήτρα του συνθέτου. Επίσης έχουν εκπληκτικές μηχανικές ιδιότητες με το μέτρο του Young να κυμαίνεται στο εύρος 100-1000 GPa και την αντοχή μεταξύ 2.5 και 3.5 GPa.

Ωστόσο το υπέρτατο υλικό ενίσχυσης είναι οι νανοσωλήνες άνθρακα. Οι νανοσωλήνες μπορούν να έχουν διαμέτρους από 1 nm έως και 100 nm και μήκη που φτάνουν ακόμα και τα χιλιοστά. Η πυκνότητά τους μπορεί να είναι ιδιαίτερα χαμηλή (περίπου 1.3 g/cm³).

Απαιτείται όμως πολύ δουλειά ακόμα για να εκμεταλλευτούμε πλήρως τις ιδιότητες τους. Γι' αυτό το λόγο πάρα πολλά εργαστήρια σε όλο τον κόσμο έχουν επιδοθεί σε έναν μαραθώνιο έρευνας με αντικείμενο αυτά τα υλικά της νανοκλίμακας, πράγμα που επιβεβαιώνεται από το πλήθος των δημοσιεύσεων στα επιστημονικά περιοδικά.



Εικόνα 10. Σχηματισμός singlewallednanotubes (SWNT) από το τύλιγμα του γραφενίου.[7]



Εικόνα11. Είδη των single walled nanotubes (SWNT).[7]

Φουλερένια

Τα φουλερένια (fullerenes) ανακαλύφθηκαν το 1985 από τους Harold Kroto, James R. Heath, Sean O'Brien, Robert Curl και Richard Smalley. Οι Kroto, Curl και Smalley βραβεύτηκαν με βραβείο Νόμπελ Χημείας το 1996 για την ανακάλυψη αυτής της οικογένειας ενώσεων. Το πιο σταθερό φουλερένιο είναι αυτό το οποίο αποτελείται

από 60 άτομα άνθρακα (60 C) κι έχει σχεδόν σφαιρική δομή. Ωστόσο, φουλερένια με 70, 76 ή 84 άτομα άνθρακα είναι εξίσου κοινά. Το όνομα τους προέρχεται από τον αρχιτέκτονα Richard Buckminster Fuller, ο οποίος κατέστησε δημοφιλή το γεωδαιτικό θόλο, καθώς ο δεύτερος έχει παρόμοιο σχήμα με αυτό του μορίου.

Τα φουλερένια είναι γενικά σταθερά μόρια και απαιτούν θερμοκρασίες της τάξεως των 1000°C και άνω για να διασπαστούν οι δεσμοί μεταξύ των ανθράκων οι οποίοι το αποτελούν. Ανάλυση με ακτίνες X ή σκέδαση νετρονίων ενός μοριακού κρυστάλλου 60 C μπορεί να φανερώσει τη σφαιρική δομή του μορίου καθώς και τη διάμετρο του. Επιπλέον υπό φασματοσκοπία NMR δίνει ένα φάσμα μίας μόνο κορυφής, υποδεικνύοντας πως όλα τα άτομα άνθρακα του μορίου είναι ισοδύναμα γεγονός το οποίο επίσης παραπέμπει σε σφαιρική δομή.



Εικόνα 12. Δομή φουλερένιου.[7]

Τρία ηλεκτρόνια από κάθε άνθρακα συμμετέχοντας σε sp^2 υβριδικά ενώνουν τους άνθρακες μεταξύ τους με σ δεσμούς. Υπάρχουν δύο είδη δεσμών στο μόριον, ένας μεταξύ ανθράκων στην κοινή ακμή μιας πενταγωνικής και μιας εξαγωνικής έδρας καθώς και ένας στην κοινή ακμή δύο εξαγωνικών εδρών. Η σκέδαση με νετρόνια μας δίνει μήκη δεσμών 0,1455 nm και 0,1391 nm αντίστοιχα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα άτομα άνθρακα σε ένα φύλλο γραφίτη χαρακτηρίζονται επίσης από ίδιου τύπου υβριδικά (sp^2) όπως το φουλερένιο. Αυτού του είδους υβριδικά δίνουν τρεις ισχυρούς σ δεσμούς πάνω στο ίδιο επίπεδο και έναν ασθενή π σε κάθετη διεύθυνση. Καθώς οι σ δεσμοί είναι κορεσμένοι ο γραφίτης θεωρείται χημικά αδρανής. Στην περίπτωση του φουλερενίου ωστόσο, λόγω της κυρτότητας του μορίου, οι σ δεσμοί παύουν να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο ενώ επίσης το νέφος των ηλεκτρονίων παραμορφώνεται κάνοντας το φουλερένιο περισσότερο ενεργό χημικά.

Η διάμετρος του μορίου του 60 C βρίσκεται από διάφορες φασματοσκοπικές μεθόδους ίση με 0,710 nm. Προκειμένου να βρεθεί η ενεργός διάμετρος του μορίου θα πρέπει να συνυπολογιστεί το εύρος του ηλεκτρονικού νέφους των π-ηλεκτρονίων το οποίο είναι ίσο με 0,335nm και τελικά η διάμετρος του μορίου βρίσκεται 1,380nm. Το φουλερένιο 60 C εμφανίζει 3 είδη αξόνων συμμετρίας, 2ης, 3ης και 5ης τάξεως, συνολικά σε αριθμό 21. Εμφανίζει επίσης 15 διαφορετικά επίπεδα συμμετρίας. Τέλος παραμένει αναλλοίωτο σε αντιστροφή των αξόνων του συστήματος αναφοράς. Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω βρίσκεται πως είναι πιθανές 120 διαφορετικές διαδικασίες συμμετρίας σημείου. Αυτό καθιστά το μόριο του 60 C το περισσότερο συμμετρικό.

Η συμμετρία αυτή πηγάζει από την σχεδόν τέλεια σφαιρικότητα του μορίου. Αυτή επιτυγχάνεται με την ύπαρξη πενταγωνικών εδρών καθώς είναι αυτά τα οποία εισάγουν κυρτότητα στο μόριο. Η ύπαρξη δύο γειτονικών πενταγώνων σε ένα φουλερένιο, επιβαρύνει τη σταθερότητα του μορίου καθώς έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένη κυρτότητα και κατ' επέκταση μεγαλύτερη παραμόρφωση. Είναι επομένως ενεργειακά συμφέρον κάθε πεντάγωνο να βρίσκεται απομονωμένο και αυτό υποδεικνύει ο κανόνας του απομονωμένου πενταγώνου (isolated pentagon rule). Λόγω των παραπάνω κάθε φουλερένιο αποτελείται από ούτε περισσότερα ούτε λιγότερα 12 πεντάγωνα ενώ το μικρότερο δυνατό φουλερένιο είναι το 20 C, το οποίο αποτελείται από 12 πεντάγωνα μόνο.

Τέλος, το μοριακό υλικό που προκύπτει με βάση του φουλερένιο ονομάζεται φουλερίτης (fullerite) και έχει εδροκεντρωμένη δομή. Επιπλέον, με προσθήκη ατόμων, ιόντων, μορίων ή ριζών στα διαμοριακά κενά του κρυστάλλου του φουλερίτη προκύπτει το λεγόμενο φουλερίδιο (fulleride).

3.5 ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Η τελευταία λέξη της ‘μόδας’ είναι οι ράβδοι ενισχυμένοι με πολυμερείς ίνες που χρησιμοποιούνται σε χώρους όπου επικρατούν συνθήκες υψηλής διάβρωσης. Τα ινοπλισμένα⁸ πολυμερή είναι σύνθετα υλικά που αποτελούνται από συνεχείς ίνες (συνήθως άνθρακα, γυαλιού και αραμιδίου-kenlar-) με υψηλή εφελκυστική αντοχή εμποτισμένες με εποξειδική ρητίνη. Η ρητίνη διατίθεται σε μορφή δύσκαμπτων “λωρίδων” (πάχους της τάξης του 1mm) ή εύκαμπτων “υφασμάτων”(πάχους 0.1-0.4mm). Τα χαρακτηριστικά των ινοπλισμένων πολυμερών εξαρτώνται από την περιεκτικότητά τους σε ίνες. Οι ίνες σε ένα F.R.P. (Fibre Reinforced Plastic) σύνθετο υλικό είναι το κύριο στοιχείο μεταφοράς φορτίου και παρουσιάζουν υψηλή αντοχή και ακαμψία όταν υπόκεινται σε καταπόνηση. Οι ίνες επιλέγονται βάση της αντοχής, ακαμψίας και ανθεκτικότητας που απαιτείται για την εκάστοτε περίπτωση, ενώ οι ρητίνες επιλέγονται βάση του περιβάλλοντος που το σύνθετο υλικό θα εκτεθεί. Βασικά χαρακτηριστικά που εντάσσονται στα πλεονεκτήματά τους είναι η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή, το χαμηλό βάρος και η ανθεκτικότητα σε διάρκεια. Η εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του κοινού χάλυβα B500σ και για βραχυχρόνια φόρτιση κυμαίνεται σε 1500-2500 MPa. Επιπλέον έχουν αποτελέσματα μονολιθικής συμπεριφοράς σε όλα τα μέλη της κατασκευής. Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί, τα σύνθετα υλικά συμπεριφέρονται πλήρως ελαστικά, μέχρι την αστοχία τους.

Τα σύνθετα υλικά με ίνες γυαλιού (G.F.R.P- Glass Fiber Reinforced Polymer) είναι ιδανικά για ενισχύσεις έναντι σεισμικών φορτίων, καθώς η καταπόνηση είναι προσωρινή. Πρέπει όμως να αποφεύγονται σε περιπτώσεις διαρκούς καταπόνησης, καθώς υπάρχει κίνδυνος αστοχίας λόγω φαινομένων ερπυσμού. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ίνες άνθρακα, οι οποίες είναι ιδανικές και για εξωτερική χρήση. Στα μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών αναφέρεται η χαμηλή ανθεκτικότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες, καθώς η ρητίνη καίγεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 250°C. Επίσης παρατηρείται έλλειψη γνώσεων ως προς τον τρόπο εφαρμογής τους από τον κόσμο της χώρας, καθώς είναι μια σχετικά νέα μέθοδος ενίσχυσης που έχει αναπτυχθεί με ραγδαίους ρυθμούς. Τέλος

⁸ΤΣΙΡΚΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ, ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΤΕΙΘ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2013

ανασταλτικό παράγοντα χρήσης τους αποτελεί το υψηλό τους κόστος, το οποίο όμως σταδιακά μειώνεται με το χρόνο.

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση των κατασκευών είναι δύο τύπων:

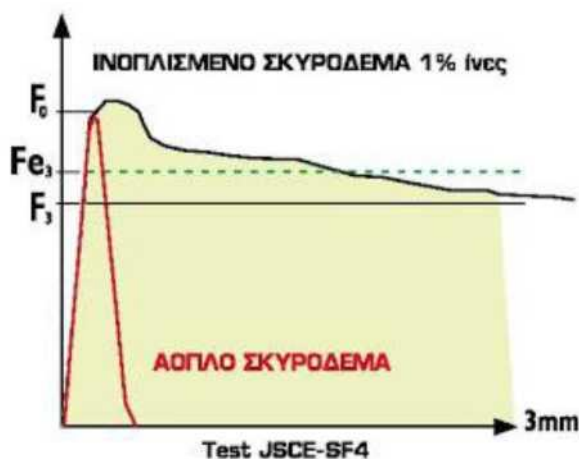
(α) “υγρής εφαρμογής” (ή επί τόπου σκλήρυνση της μήτρας) και (β) προκατασκευασμένα.

Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται τα φύλλα ή υφάσματα με ίνες μιας ή δύο διευθύνσεων με το υλικό της μήτρας να εμποτίζεται επί τόπου. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει επίσης ίνες χωρίς μήτρα, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος, το οποίο εμποτίζεται με ρητίνη ενώ τυλίγεται στο υπό ένταση δομικό στοιχείο. Τα προκατασκευασμένα συστήματα περιλαμβάνουν προκατασκευασμένα ευθύγραμμα ελάσματα, κελύφη, μανδύες και γωνίες τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης, Η τεχνική εφαρμογής τους είναι απλή και βασίζεται στην εξωτερική επικόλληση των σύνθετων υλικών, ενώ χαρακτηρίζεται από ευελιξία και ταχύτητα εκτέλεσης. Έχει δε ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραμορφωσιμότητας των στοιχείων χωρίς να μεταβάλλεται η γεωμετρία τους ή να αυξάνεται η δυσκαμψία. Τα σύνθετα υλικά με τα οποία θα ασχοληθούμε στην εργασία αυτή, χρησιμοποιούν ως οπλισμό ανθρακονήματα και προσδιορίζονται από τον όρο C.F.R.P. - CarbonFibersReinforcedPolymers. Τα C.F.R.P. συνδυάζουν υψηλές αντοχές και ακαμψία σε συνδυασμό με εξαιρετικά χαμηλό βάρος και μεγάλη αντοχή σε γήρανση καθώς ουσιαστικά δεν διαβρώνονται. Η συγκεκριμένη διαδικασία ενίσχυσης είναι αναστρέψιμη, αφού οι ίνες μπορούν να αφαιρεθούν με μια διαδικασία θερμού αέρα. [8]



Εικόνα 13. Ίνες για σκυρόδεμα.[8]

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. Γραφικά αντιπροσωπεύεται από το εμβαδόν κατά την καμπύλη φορτίου παραμόρφωσης. Το εμβαδόν αυτό είναι συχνά 10-40 φορές μεγαλύτερο για το ινοπλισμένο σκυρόδεμα απ' ό τι στο άοπλο.



Διάγραμμα 7. Σύγκριση θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής από κάμψη ινοπλισμένου σκυροδέματος με ασάλινες ίνες με λόγο μορφής 80 με άοπλο σκυρόδεμα, για δυο ποιότητες C16/20 και C25/30.[8]

Η χρήση των ινών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εφαρμόζεται ευρέως στην κατασκευή υπογείων έργων, όταν τοποθετείται ως πρώτο κέλυφος στήριξης κατά τη διάνοιξη σηράγγων καθώς και σε εργασίες στήριξης πρανών. Αποφεύγει επίσης πτώση κομματιών σε περίπτωση ρηγματομένου κελύφους αφού οι ίνες ελέγχουν τη ρηγμάτωση και σπλίζουν όλη τη μάζα σκυροδέματος. Πρόσφατα στην Ελλάδα, τα λιμάνια του Αστακού και της Θίσβης κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας ινοπλισμένο σκυρόδεμα. Τα λιμενικά δάπεδα που κατασκευάζονται με ινοπλισμένο σκυρόδεμα είναι πλέον ανταγωνιστικά λόγω του χαμηλού συνολικού κόστους κατασκευής καθώς και της αυξημένης αποδοτικότητας. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα ως σύνθετο υλικό με αντοχή σε εφελκυσμό λόγω των ινών αντισταθμίζει την αντίστοιχη χαμηλή αντοχή και ελαστικότητα του σκυροδέματος κάνοντας έτσι τα λιμενικά δάπεδα ανθεκτικότερα κάτω από διαβρωτικές συνθήκες.

Η κατασκευή βιομηχανικών δαπέδων με ινοπλισμένο σκυρόδεμα προσδίδει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έναντι εκείνων με τον συμβατικό οπλισμό. Η χρήση ινών χάλυβα κάνει την ρηγμάτωση στα βιομηχανικά δάπεδα ελεγχόμενη έως αμελητέα. Σε αντίθεση δάπεδα με συμβατικό οπλισμό παρουσιάζουν μεγαλύτερες και σε βάθος ρωγμές με αποτέλεσμα τη μειωμένη πλαστιμότητα, σημαντικό παράγοντα για πλάκες και δάπεδα. [8]



Εικόνα 14. Εφαρμογή ινοπλισμένου σκυροδέματος.[8]

Τα πλεονεκτήματα των F.R.P. είναι ότι :

1. Έχουν πολύ υψηλή αναλογία αντοχής-βάρους
2. Έχουν πολύ υψηλή αντίσταση σε διάβρωση
3. Εξασφαλίζουν διαρκή απόδοση
4. Έχουν πολύ καλή εργασιμότητα
5. Μειώνουν το εργατικό κόστος
6. Μειώνουν την ενόχληση σε υφιστάμενες υπηρεσίες

Σε σύγκριση με τους κοινούς οπλισμούς από χάλυβα έχουν από 2 έως 10 φορές περισσότερη αντοχή ενώ το βάρος τους είναι περίπου το 20% από αυτό του χάλυβα

- Το βασικό τους μειονέκτημα είναι το υψηλό τους κόστος αν και τα τελευταία χρόνια οι τιμές τους έχουν σταθερά πτωτική τάση γιατί γίνονται όλο και πιο πολύ διαδεδομένα. Άμα κάνουμε όμως μια συνολική

ανάλυση, σε έργα επεμβάσεων σε υφιστάμενες κατασκευές το κόστος των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν είναι μικρό άμα αναλογιστούμε το εργατικό κόστος και το κόστος το οποίο θα επιβαρυνθεί πχ μια εταιρία για ένα κτίριο εγκαταστάσεων της που χρήζει μιας επέμβασης και θα πρέπει να σταματήσει εν μέρει κάποιες λειτουργίες της για όλη την διάρκεια των εργασιών. Γι' αυτό σε τελική ανάλυση τα F.R.P. προσφέρουν την πιο αποδοτική λύση.

- Ένα ακόμα μειονέκτημα είναι ότι τα F.R.P. δεν έχουν την πλαστιμότητα την οποία έχει ο χάλυβας και η ευθραυστότητα τους μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα κατά την εφαρμογή τους

Επίσης τα C.F.R.P.έχουν πολύ καλύτερες ιδιότητες από αυτά των G.F.R.Ραλλά τα δεύτερα είναι οικονομικότερα. [8]



Εικόνα 15. Διατομή ινοπλισμένου σκυροδέματος.[8]

Επίσης, τα σύνθετα αυτά υλικά τοποθετούνται επίσης και στις επιφάνειες των δομικών στοιχείων σαν μορφή επένδυσης και αποτελούν ένα είδος μόνιμου εξωτερικού τους οπλισμού



Εικόνα 16. Εφαρμογή ανθρακοϋφάσματος.[8]

Χρήσεις σύνθετων υλικών

- Ενίσχυση υποστυλωμάτων με επιβολή εξωτερικής περίσφιγξης και αύξηση πλαστιμότητας

Η αύξηση της πλαστιμότητας επιτυγχάνεται μέσω της τριαξονικής θλίψης που αναπτύσσεται στο στοιχείο προς ενίσχυση με περίσφιγξη από μανδύα ινοπλισμένου πολυμερούς. Ως αποτέλεσμα έχουμε και αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος.

- Αύξηση αντοχής σε τέμνουσα

Σε αντιστοιχία με το συμβατικό οπλισμό διάτμησης, τοποθετούνται επικολλητά φύλλα ινοπλισμένων πολυμερών στο στοιχείο προς ενίσχυση τα οποία μπορούν να παραλάβουν τέμνουσα δύναμη. Η μορφή των σύνθετων υλικών μπορεί να έχουν μορφή είτε ολόσωμου μανδύα είτε μορφή μανδύων περιορισμένου ύψους (κολάρα).

- Αύξηση αντοχής σε κάμψη

Για την ενίσχυση κυρίως πλακών και δοκών οπλισμένου σκυροδέματος σε κάμψη, χρησιμοποιούμε επικολλητά φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δωθεί κατά τη κατασκευή στην αγκύρωση του σύνθετου υλικού και στην ευθυγράμμιση των ινών του.

- Ενίσχυση σε κρούση

Στην επίδραση της κρούσης, καλύτερη συμπεριφορά παρουσιάζει το σύνθετο υλικό με ίνες πολυαραμίδης και εφαρμόζονται σε υποστυλώματα και βάρη γεφυρών. [8]

Εφαρμογή ινών προπυλενίου ως μέσο αντιπυρικής προστασίας του σκυροδέματος

Όταν η φωτιά έρχεται σε επαφή με το σκυρόδεμα, προκαλεί μείωση της αντοχής του. Το σκυρόδεμα είναι πολύ γνωστό για την ικανότητά του να αντέχει στις υψηλές θερμοκρασίες και στις πυρκαγιές λόγω χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας και υψηλής ειδικής θερμότητας. Ως εκ τούτου, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως ένα εξαιρετικά πυρίμαχο υλικό, όμως δεν έχει εξεταστεί ο θρυμματισμός του κατά τη διάρκεια της έκθεσης του σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ο θρυμματισμός πραγματοποιείται μεταξύ 15 και 30 λεπτών μετά την έναρξη της πυρκαγιάς, μια κρίσιμη περίοδος για τον έλεγχο της φωτιάς και τη διαφυγή από αυτή. Οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν μείωση του δεσμού μεταξύ της πάστας τσιμέντου και των αδρανών και προοδευτική κατάρρευση της δομής της γέλης στο τσιμέντο και την επακόλουθη απώλεια αντοχών και αυξημένη τάση συρρίκνωσης λόγω ξήρανσης και διαρθρωτικών ρωγμών. Η επιδείνωση του σκυροδέματος που εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να επηρεαστεί και από διάφορους μηχανικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες: υγρασία, ρυθμό θέρμανσης, επίπεδο θερμοκρασίας, χρόνο θέρμανσης, ψύξης, μέθοδο μετά από θέρμανση, εφαρμοζόμενο φορτίο, τον τύπο του τσιμέντου και τον τύπο του ορυκτού πρόσθετου. Εξάλλου, για την εξήγηση του θρυμματισμού εξετάζονται οι θερμομηχανικές ιδιότητες, η θερμική ασυμβατότητα μεταξύ της πάστας τσιμέντου και αδρανών υλικών, οι φυσικοχημικές αλλαγές των αδρανών υλικών (π.χ. πολυμορφική αναστροφή του χαλαζία) και η επίδραση του μεγέθους αδρανών υλικών.

Οι ερευνητές σε αυτόν τον τομέα δεν έχουν ακόμη επιτύχει την πλήρη συσχέτιση της συμβολής του καθενός από αυτούς τους παράγοντες στον θρυμματισμό του σκυροδέματος με την πυρκαγιά. Συνεπώς, έχουν γίνει αρκετές μελέτες που αφορούν στην κατανόηση και την πρόληψη αυτής της ψαθυρής συμπεριφοράς του σκυροδέματος και την αναστολή της δημιουργίας και ανάπτυξης των ρωγμών με σκοπό την πρόληψη της απώλειας ικανότητάς του. Στο τομέα των σηράγγων που είναι έργα μεγάλης κλίμακας και η σπουδαιότητάς τους είναι τεράστια

τόσο για το κοινωνικό του όφελος όσο και για το οικονομικό τους, μια πυρκαγιά μέσα στο εσωτερικό αυτής μπορεί να σημαίνει και αυτομάτως και την καταστροφή της με ότι συνεπάγεται αυτή. Για παράδειγμα στη σήραγγα της Μάγχης υπήρξαν 2 πυρκαγιές (μια το 1996 και μια το 2008). Το κόστος της ζημιάς της πυρκαγιάς του 2008 ήταν τεράστιο.200εκ.€ λιγότερα μπήκαν στα ταμεία του Eurotunnel λόγω της μείωσης της μεταφορικής του ικανότητας και περίπου 60εκ.€ κόστισαν οι εργασίες αποκατάστασης οι οποίες εμπειρεύσαν την αποξήλωση του κατεστραμμένου σκυροδέματος και επανατοποθέτηση 4000 τόνων σκυροδέματος ειδικής σύστασης. Καταλαβαίνουμε όποτε την ανάγκη που δημιουργείται για σκυρόδεμα ανθεκτικό σε τέτοιες καταστάσεις.

Έτσι για την αποκατάσταση αυτή και όταν αποφασίστηκε η επέκταση της σήραγγας της Μάγχης μέχρι το Λονδίνο δοκίμασαν πολλούς τύπους ινών προπυλενίου (PP) για την ενίσχυση του σκυροδέματος και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι με εφαρμογή ινών 32 μικρόν μπορούμε να έχουμε ανεπτυγμένη αντοχή έναντι πυρκαγιάς και προστασία από υλικά εκρήξεων. Θα θέλαμε να κάνουμε ξεκάθαρο πως αυτές τις αντοχές δεν τις δίνουν όλων των ειδών οι ίνες PP γιατί αν βάλουμε οποιοδήποτε είδους τότε θα έχουμε μεν ενίσχυση αλλά όχι την μέγιστη δυνατή. Ο θρυμματισμός του σκυροδέματος είναι στην ουσία το σπάσιμο των στρώσεων ή κομματιών του από την επιφάνεια του δομικού στοιχείου όταν αυτό εκτίθεται στην πολύ απότομη θερμοκρασιακή μεταβολή που συμβαίνει κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τον θρυμματισμό είναι ένα μίγμα χημικών, φυσικών και θερμοδυναμικών. Επίσης παίζουν ρόλο ακόμα η περιεκτικότητα σε υγρασία, το είδος και το μέγεθος των αδρανών, η διαπερατότητα του σκυροδέματος, ο ρυθμός θέρμανσης, η παρουσία του οπλισμού και ενδεχόμενα εξωτερικά φορτία. Οι ειδικοί συμφωνούν ότι υπάρχει πολύ περισσότερος κίνδυνος για θρυμματισμό όταν έχουμε σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, λόγω των μεγαλύτερων πιέσεις που συσσωρεύονται στους πόρους κατά τη διάρκεια της θέρμανσης.



Εικόνα 17. Δοκίμια της σήραγγας της Μάγνης σε έλεγχο έναντι πυρκαγιάς(αριστερά σκυρόδεμα απλής συνθέσεως και δεξιά σκυρόδεμα ενισχυμένο με ίνες PP).[8]

Οι θεωρίες για το πώς και γιατί ο θρυμματισμός συμβαίνει είναι κατά κύριο λόγο με βάση την κίνηση της υγρασίας. Καθώς η θερμοκρασία του σκυροδέματος αυξάνει, η υγρασία στο σκυρόδεμα αλλάζει σε εξατμίζοντα ατμό. Εάν δεν είναι σε θέση να ξεφύγει, ο ατμός δημιουργεί μια δραματική αύξηση στην πίεση στο εσωτερικό του σκυροδέματος. Καθώς αυτή η διαδικασία συνεχίζεται, η τάση ατμών αυξάνεται στο σημείο όπου υπερβαίνει την εφελκυστική ικανότητα του σκυροδέματος, προκαλώντας τα κομμάτια του σκυροδέματος να αποσπώνται με την μορφή έκρηξης. Όπως και στη θεωρία «διακίνηση υγρασίας», υπάρχει επίσης κοινή ομολογία ότι η συνολική διαστολή που προκαλείται από θερμικές καταπονήσεις έχει επίσης άμεση επίδραση στον θρυμματισμό. Τώρα θα πρέπει να δούμε πως οι ίνες PPμπορούν να βοηθήσουν στην διοχέτευση του ατμού ή της υγρασίας από το σκυρόδεμα στο περιβάλλον χωρίς να έχουμε ζημιές. Διοχετεύεται την στιγμή της πυρκαγιάς καθώς λιώνουν οι ίνες με ένα μηχανισμό μικρορωγμών που βασίζεται στο συντελεστή θερμικής διαστολής των PPο οποίος είναι μεγαλύτερος από αυτόν του σκυροδέματος και με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα δίκτυο μικρορωγμών που βοηθά να εκτονωθούν οι τάσεις οι οποίες δημιουργούνται από τον ατμό. Οι δοκιμές έγιναν σύμφωνα με τα απαιτητικά πρότυπα Rijkswaterstatt (RWS) σε φωτιά διάρκειας 2 ωρών και με μέγιστη θερμοκρασία 1.350° σε σχέση με τα πρότυπα του EC1 σε φωτιά διάρκειας 2 ωρών και με μέγιστη θερμοκρασία τους 1.100° και με μέγεθος δοκιμίων στην πρώτη 1200mm*1700mm*300mm ενώ στη δεύτερη 500mm*600mm*300mm. Όσον

αφορά το μέγεθος των αδρανών που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη ήταν μεγαλύτερα ενώ στην δεύτερη μικρότερα συνολικά και τα πάνελ δοκιμής με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία υπό θλιπτικό φορτίο και με μικρότερη ποσότητα σε ίνες. Προηγουμένως είχαμε αναφέρει ότι εφαρμόζουμε στο μίγμα μας ίνες προπυλενίου 32μm.

Rijkswaterstatt

Για να είμαστε σίγουροι για τα αποτελέσματα μας θα πρέπει να χρησιμοποιούμε υλικά που να έχουν κάποιες συγκεκριμένες ιδιότητες. Έτσι οι ίνες προπυλενίου θα πρέπει να είναι 100% ατόφιος χωρίς άλλα πρόσμικτα αλκάνια (ολεφίνες κλπ). Πρέπει να είναι παρασκευασμένες σύμφωνα με τα πρότυπα EN14889-2:2006 Class 1 και να υπακούουν στις προδιαγραφές ISO9001 καθώς και να υπακούουν στις προδιαγραφές της ΕΕ για να φέρουν το λογότυπο CE, ως δευτερεύων μέσο ενίσχυσης σκυροδέματος. Όσον αφορά στην δοσολογία ινών που θα χρησιμοποιήσουμε έχει να κάνει κατ' αρχάς με την σύνθεση σκυροδέματος που θέλουμε να εφαρμόσουμε αλλά και από εκτίμηση του ενδεχόμενου κινδύνου. Πχ ατυχήματα σε οδικές σήραγγες είναι πιο πιθανό να συμβούν σε σχέση με σιδηροδρομικές σήραγγες αφενός μεν λόγω της μη-προβλεψιμότητας της κίνησης των αυτοκινήτων μέσα σ' αυτές αφετέρου της φύσης των αγαθών που μεταφέροντα μέσω αυτών. Η παράγραφος 6.1 του EC2 αναφέρει ότι η χρήση 2.0 kg/m³ ινών μας δίνει ένα πολύ καλό αποτέλεσμα αλλά στην πραγματικότητα οι δοσολογίες κυμαίνονται από 1.0 - 1.5 kg/m³ και τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά και παράλληλα συμφέρουσα τεχνικοοικονομικά. Στην εφαρμογή όμως στο εργοτάξιο είναι πιθανό να βιώσουμε κάποια προβλήματα. Ένα από αυτά ίσως είναι η επιρροή των ινών στην εργασιμότητα του σκυροδέματος ιδίως όταν βάζουμε ίνες μικρότερης διαμέτρου και αυτό συμβαίνει γιατί οι λεπτότερες ίνες έχουν πιο μεγάλη επιφάνεια συνδυαστικά. Αναφορικά οι ίνες 18μm έχουν 77% μεγαλύτερη επιφάνεια από αυτές των 32μm. Όταν υπερβαίνουμε την ποσότητα του 1.0 kg/m³ στα μηχανήματα εκτόξευσης του σκυροδέματος ενδεχομένως να έχουμε προβλήματα (πχ βούλωμα κάνης) όπως συνέβη στην Νορβηγία το 2008. Ένας ακόμα λόγος που χρησιμοποιούμε ίνες 32 και όχι 18μm είναι ότι καθώς χρησιμοποιούμε ίνες μικρότερης διαμέτρου, αυξάνουμε την ποσότητα του αέρα μέσα στο μίγμα μας, καθώς σε ίνες 18μm είχαμε αύξηση του ποσοστού του αέρα της τάξης του 5-8% ενώ στις ίνες 32μm το ίδιο ποσοστό ήταν μόνο στο 1%. Αύξηση του αέρα όμως

αυτομάτως επηρεάζει την θλιπτική αντοχή. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι για κάθε 1% αύξηση του αέρα έχουμε 6% μείωση της θλιπτικής αντοχής της κατασκευής μας. Οπότε καταλαβαίνετε πόσο σημαντικό είναι ο συνυπολογισμός όλων των παραγόντων πριν αποφασίσουμε την οποιαδήποτε ενίσχυση στην κατασκευή μας.



Εικόνα 18. Δοκιμή πάνελ σκυροδέματος έναντι πυρκαγιάς.[8]

Τα τελευταία χρόνια πολλές σήραγγες ανά τον κόσμο υψίστης σημασίας κυρίως λόγω του μεγάλου εύρους τους χρησιμοποιούν την παραπάνω ενίσχυση πράγμα που αποδεικνύει την χρησιμότητάς της καθώς και την αποτελεσματικότητά της. Μερικές από αυτές τις σήραγγες είναι :το Gotthard Base Tunnel (Switzerland), το Brenner EisenbahnTunnels (Austria), το Channel Tunnel RailLink (UK) (Court, 2003), το Weehawken Tunnel (USA) (Ozdemir, 2006), το Epping Chatswood RailLine (Sydney, Australia) (Schmidt, 2005), τα East Link Tunnels (Melbourne, Australia) (Highway Engineering, 2007) και το Lane Cove Tunnel (Sydney, Australia).[8]

3.6 ΑΥΤΟΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Η ανάπτυξη και η εφαρμογή των νέων υλικών στην κατασκευή προσθέτει συνεχώς νέες επιλογές στους πελάτες, στους σχεδιαστές και όλους τους υπεύθυνους για την οικοδόμηση και την κατασκευή. Ζητούν συνεχώς καλύτερες και πιο αξιόπιστες οικονομικοτεχνικά λύσεις σχετικά με τις δυνατότητες συντήρησης, ώστε να αντιμετωπίσει τα διαρκώς αυξανόμενα πρότυπα σχεδιασμού, ασφάλειας και των οικονομικών κριτηρίων.

Από τότε που ο Thomas Edison κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το τσιμέντο τύπου Portlandto 1907, έχει χρησιμοποιηθεί για μια ποικιλία από διαφορετικές χρήσεις. Πεζοδρόμια, κτίρια, νεροχύτες, και έπιπλα είναι μόνο μερικά από τα προϊόντα που παρασκευάζονται από τσιμέντο, με τη μορφή του σκυροδέματος. Τσιμέντο είναι η ξηρή σκόνη η οποία όταν αναμειγνύεται με άλλα πρόσθετα και νερό μας κάνει το γνωστό σε όλους σκυρόδεμα. Κατά την τελευταία δεκαετία, νέοι τύποι σκυροδέματος και τσιμέντου έχουν δημιουργηθεί που κάνουν τα πάντα, από το να λυγίζουν, να καλλιεργούν φυτά, και αφήνουν το φως να περνά από μέσα τους.

Το 2005, ερευνητές στο Πανεπιστήμιο του Michigan δημιούργησαν μια

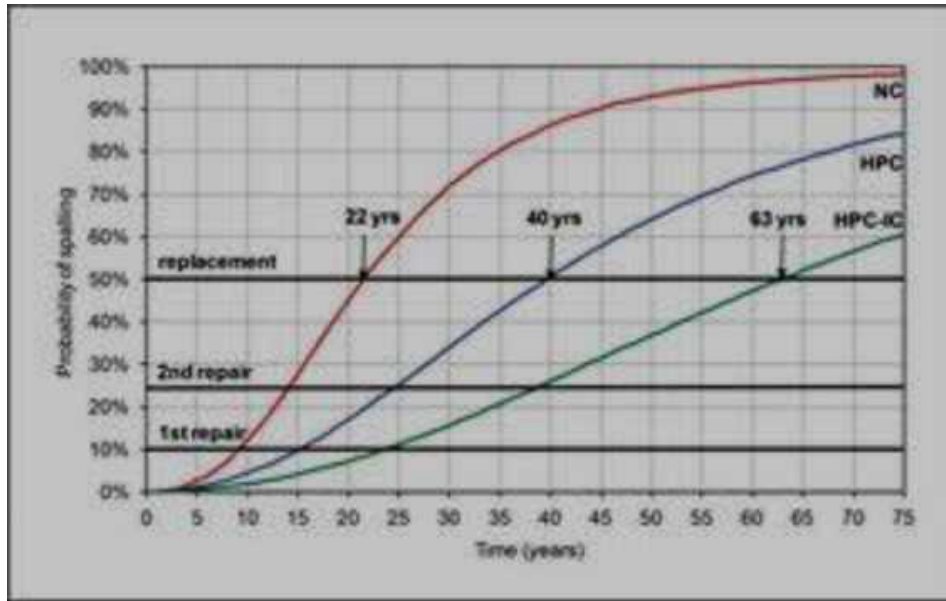


Εικόνα19. Photograph courtesy Nicole Casal Moore/University of Michigan[8]

εύκαμπτη μορφή σκυροδέματος που είναι "500 φορές πιο ανθεκτικό στις ρωγμές και 40% ελαφρύτερο". Έργα στην Ιαπωνία, την Κορέα, την Ελβετία και την Αυστραλία έχουν ήδη χρησιμοποιήσει αυτό το νέο εύκαμπτο σκυρόδεμα.

Αυτό ο νέος σκυροδέματος είναι πολλά υποσχόμενος. Μια πλάκα από 'selfhealing concrete' [8] όπως βλέπουμε και στην παραπάνω φωτογραφία λυγίζει από υπέρογκο φορτίο και δημιουργεί μικρό ρωγμές ενώ το απλό σκυρόδεμα θα είχε σπάσει προ-πολλού. Αλλά το αξιοσημείωτο με αυτή την νέα μορφή σκυροδέματος είναι ότι αυτές οι μικρορωγμές αυτό-επουλώνονται όταν έρθουν σε επαφή με βρόχινο νερό και CO₂ισχυρίζονται ερευνητές του πανεπιστημίου του Michigan τον Μάρτιο του 2009. Το βρόχινο νερό και το CO₂αντιδρούν με την χημική σύσταση του σκυροδέματος και οι ρωγμές πληρώνονται με ανθρακικό ασβέστιο μια ισχυρή χημική ένωση που την συναντάμε στην φύση στα κελύφη των γνωστών μας σε όλους οστρακοειδών εύκαμπτο αυτό υλικό παρουσιάζει τις ίδιες αντοχές με αυτές που είχε και πριν την εμφάνιση των μικρο- ρωγμών.

Παρόμοιο 'selfhealing concrete' έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στο ψηλότερο κτίριο κατοικιών της Ιαπωνίας στην Οσάκα, ένα κτίριο 60 ορόφων. Αν και κοστίζει τρεις φορές όσο το παραδοσιακό σκυρόδεμα, το υλικό είναι ολιστικά οικονομικότερο σε μακροπρόθεσμη βάση, λόγω της μείωσης των αναγκών συντήρησης και τις απαιτήσεις της ενέργειας, είπε ο Li. Οι οικοδόμοι χρησιμοποιώντας το εύκαμπτο αυτό σκυροδέματα, για παράδειγμα, δεν χρειάζεται να αγοράσουν και να εγκαταστήσουν συσκευές που μετρούν τη σεισμική δραστηριότητα. Επίσης αυτό το νέο υλικό υπόσχεται στις κατασκευές γεφυρών την αύξηση του προσδόκιμου ζωής τους κατά 20 χρόνια τουλάχιστον σε γέφυρες από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής και κατά 40 χρόνια σε γέφυρες από συμβατικό σκυρόδεμα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός του κοστολόγιού αυτού του προϊόντος, όπου είναι μόνο 5% ακριβότερο απ' ότι το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής. Έτσι σε ότι έχει να κάνει σε κατασκευές γεφυρών περιμένουμε να κρατάνε περισσότερο, εξοικονομώντας σε ετήσια βάση από τους φορολογούμενους σε ότι έχει να κάνει σε κόστη συντήρησης, επέμβασης ζημιών, καθώς και αντικατάσταση κομματιών[8].



Διάγραμμα 8. Πίνακας παράθεσης πιθανότητας θρυμματισμού σε βάθους χρόνου κάνοντας σαφές το χρονικό περιθώριο 1^{ης}-2^{ης} επέμβασης και αντικατάστασης. [8]

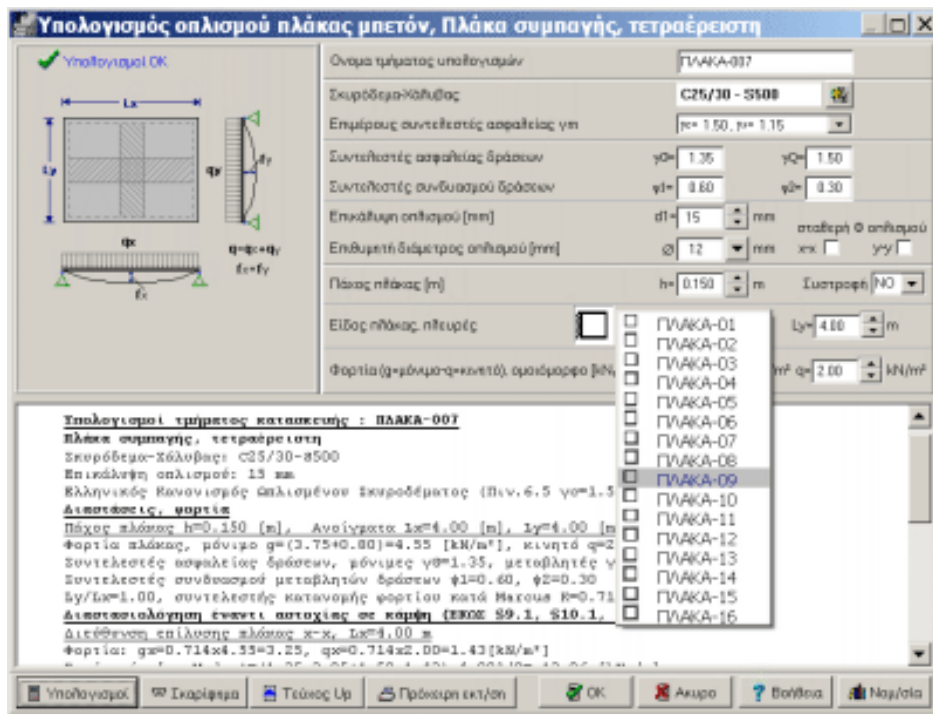
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΒΕΤΟΝEXPRESS

4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

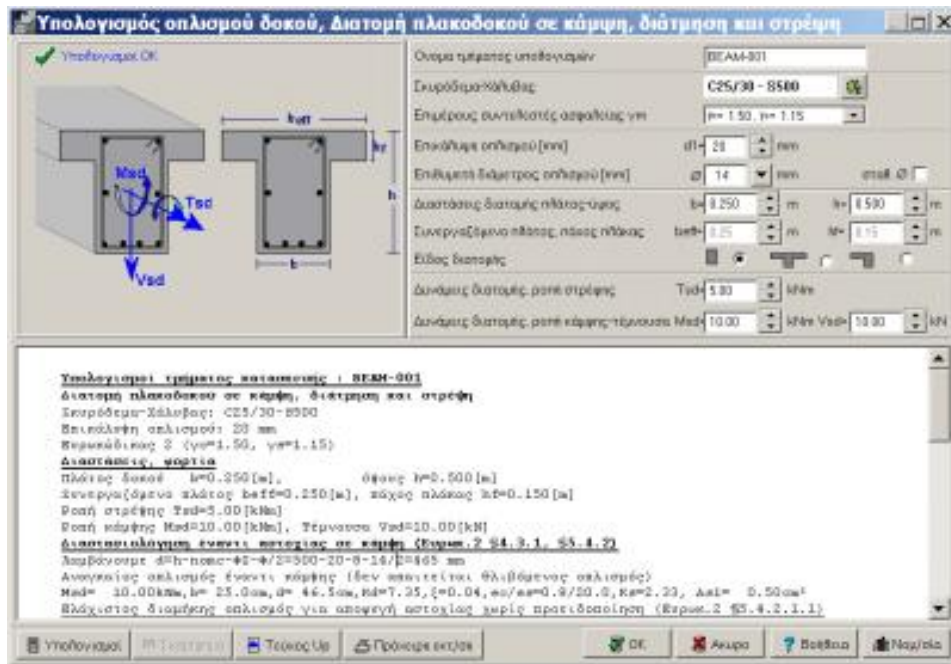
Το πρόγραμμα⁹ έχει τις παρακάτω ιδιότητες :

- Υπολογισμός και διαστασιολόγηση τμημάτων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, πλάκες, δοκοί, υποστυλώματα, πέδιλα, τοίχοι αντιστήριξης, βραχείς πρόβολοι, υψίκορμοι δοκοί.
- Διαστασιολόγηση σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ULS) και σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS), έλεγχοι ρηγμάτωσης και παραμόρφωσης. Αναλυτικοί υπολογισμοί 2ας τάξεως για υποστυλώματα.
- Αντοχές διατομών πλακών, δοκών και υποστυλωμάτων με ενίσχυση με (FRP) ανθρακονήματα και εποξειδικές.
- Τα τμήματα υπολογισμού είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Για κάθε τμήμα, δίνετε διαστάσεις και φορτίσεις και προκύπτει η διαστασιολόγηση, ένα αναλυτικότερο τεύχος υπολογισμών και πίνακες οπλισμών.
- Εξειδικευμένο σχεδιαστικό πακέτο (CAD) για **αυτόματη** παραγωγή των σχεδίων της κατασκευής και των οπλισμών.
- Διαγράμματα και πίνακες διαστασιολόγησης βάσει του Ευρωκώδικα 2. Πίνακες Kd, med ω, μονοαξονικής και διαξονικής κάμψης. Διαγράμματα ελέγχου παραμορφώσεων.
- Διαστασιολόγηση πλακών και δοκών από ελαφροσκυρόδεμα.
- Δυνατότητα επιλογής μεταξύ των Ευρωκωδίκων και Ελληνικών Κανονισμών.
- Από τα τμήματα κατασκευών που υπολογίζετε, συνθέτετε το τεύχος καθώς και πίνακες οπλισμών.
- Πλήρης βοήθεια με αναφορές στους κανονισμούς και Ευρωκώδικες.
- Κείμενα κανονισμών.

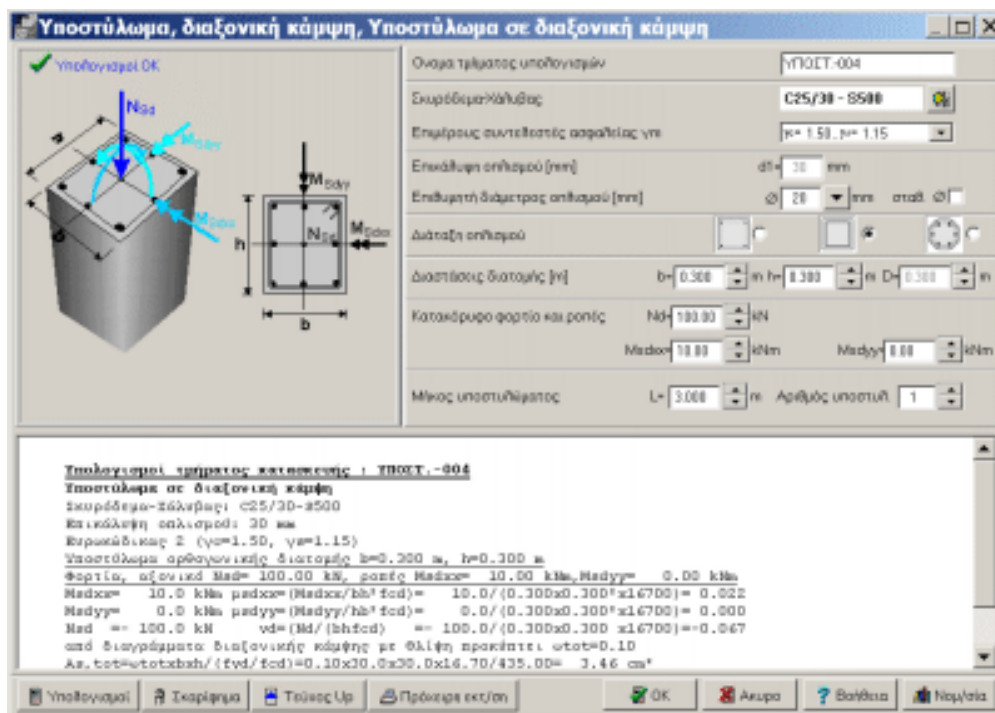
⁹<http://www.runet.gr/Betonexpress.htm>



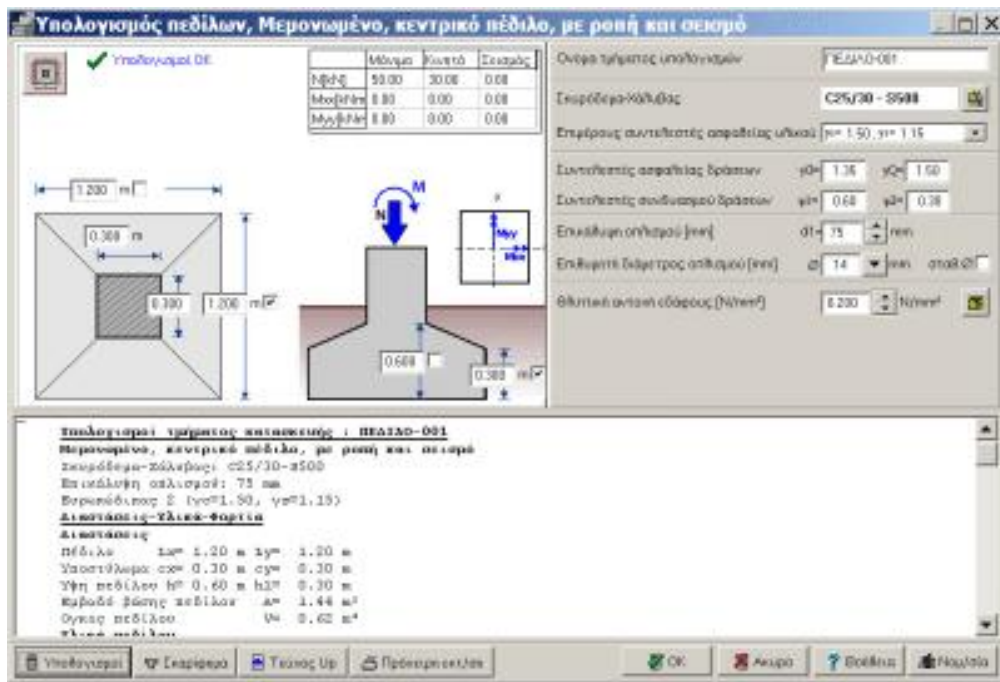
Εικόνα 20. Πλάκες συμπαγείς και πλάκες με νευρώσεις (Zollner). Πλάκες τετραέριστες, τριέριστες, διέριστες με οποιαδήποτε μορφή στήριξης (επίλυση κατά Marcus), συνεχείς πλάκες μέχρι και οκτώ ανοίγματα, πρόβολοι. Ενισχύσεις πλακών με (FRP) ανθρακονήματα και εποξειδικές. [9]



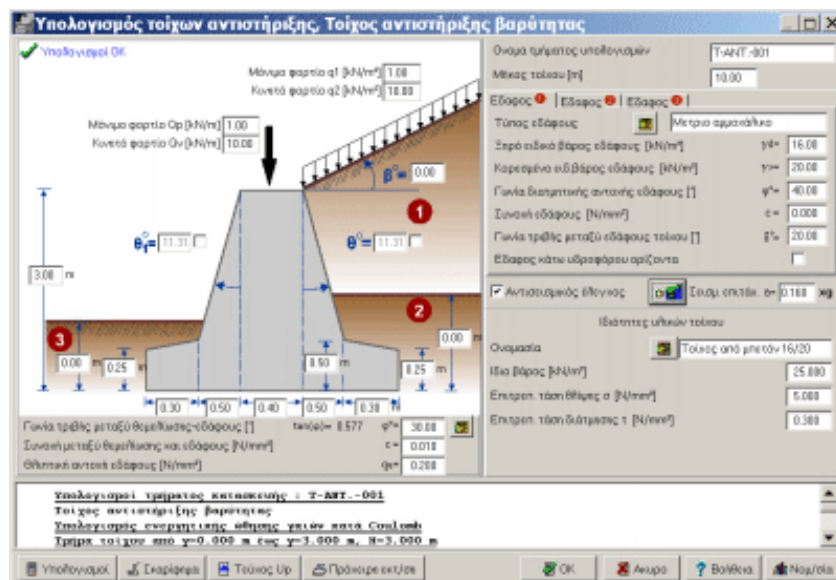
Εικόνα 21. Δοκοί ενός ανοίγματος με σύνθετη φόρτιση, συνεχείς δοκοί μέχρι και οκτώ ανοίγματα, διατομή ορθογωνική ή πλακοδοκός, σύνθετη καταπόνηση κάμψη, διάτμηση και στρέψη. Ενίσχυση δοκών με (FRP)ανθρακονήματα και εποξειδικές. [9]



Εικόνα 22. Υποστυλώματα σε διαξονική κάμψη. Έλεγχος σε λυγισμό φαινόμενα 2ας τάξης. Ενίσχυση υποστυλωμάτων με (FRP) ανθρακονήματα και εποξειδικές. [9]

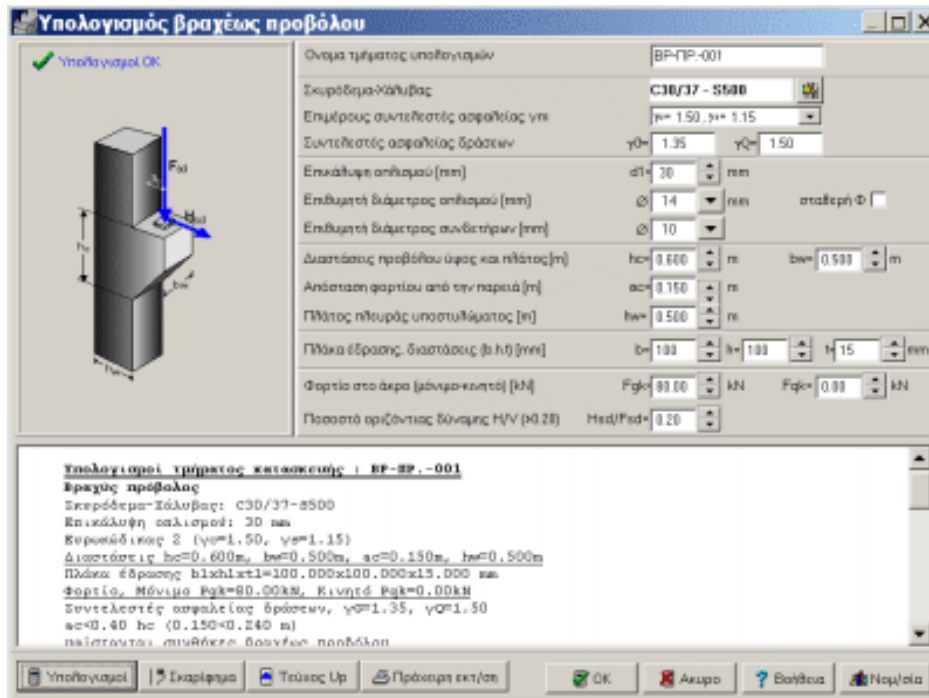


Εικόνα 23. Πέδιλα κεντρικά ή έκκεντρα με αξονικά φορτία και ροπές στην κεφαλή. Ακριβής υπολογισμός στερεού τάσεων εδάφους. Διαστασιολόγηση για φέρουσα ικανότητα εδάφους με επιτρεπόμενες τάσεις ή με Ευρωκώδικα 7. Έλεγχος σε κάμψη, διάτμηση και διάτρηση. [9]

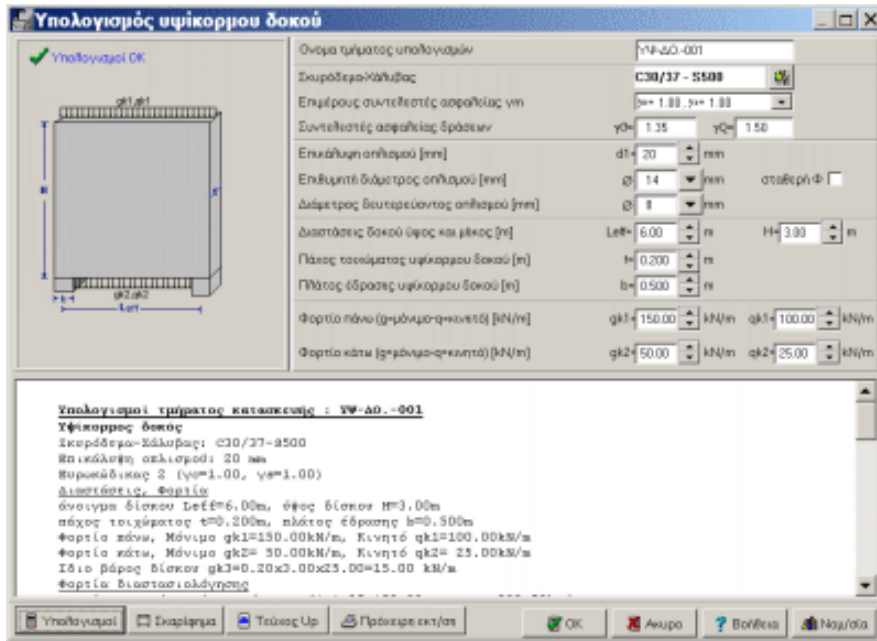


Εικόνα 24. Τοίχοι αντιστήριξης βαρύτητας ή από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Γεωτεχνικός σχεδιασμός με επιτρεπόμενες τάσεις και συντελεστή ασφαλείας, ή με Ευρωκώδικα 7 (EAK). Έλεγχος τοίχων βαρύτητας με επιτρεπόμενες τάσεις ή με Ευρωκώδικα

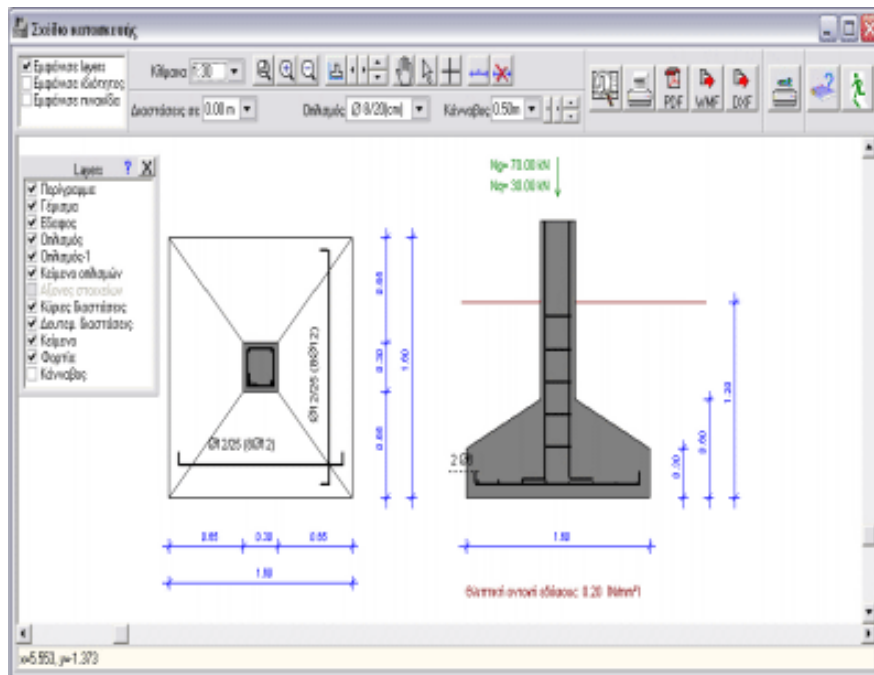
6. Μελέτη τοίχων ωπλισμένου σκυροδέματος με τον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος ή με Ευρωκώδικα 2. Πλήρης αντισεισμικός έλεγχος βάσει του ΕΑΚ. [9]



Εικόνα 25. Πρόβολοι με $a_c < h_c$ όπου a_c ο μοχλοβραχίονας του κατακόρυφου φορτίου και h_c το ύψος του προβόλου. [9]



Εικόνα 26. Δοκοί (δίσκοι) με διαστάσεις $Leff/h \geq 2$, όπου $Leff$ το μήκος και h το ύψος. [9]



Εικόνα 27. Εξειδικευμένο σχεδιαστικό πακέτο (CAD), για εμφάνιση, εκτύπωση και επεξεργασία σχεδίων. [9]

Αυτόματη παραγωγή των σχεδίων της κατασκευής και των οπλισμών. Σχέδια σε οποιαδήποτε κλίμακα, zoom, επιλογές είδους γραμμών και χρώματος, επιλογή εμφάνισης αντικειμένων, ρύθμιση κειμένου. Ακριβής σχεδίαση υπό κλίμακα των αντικειμένων στο τεύχος. Υψηλής ποιότητας εκτυπώσεις σχεδίων σε A4, A3, A2 χαρτί.

α/α	Δοκικό Στοιχ.	C	είδ.	σκαρίφημα	L1 cm	L2 cm	L3 cm	L4 cm	L5 cm	L6 cm	L7 cm	τεμα.	Φ (mm)	g/m (kg/m)	μήκος (m)	βόλος	kg
22	ΔΟΚΟΣ-001(EY-1)	B	2		528							4	20	2.470	5.28	52.17	
23	ΔΟΚΟΣ-001(EY-1)	B	2		573							1	24	3.990	5.73	20.34	
24	ΔΟΚΟΣ-001(EY-2)	B	5		426							3	14	1.210	4.26	15.46	
25	ΔΟΚΟΣ-001(EY-2)	B	2		494							6	20	2.470	4.94	73.21	
26	ΔΟΚΟΣ-001(EY-3)	B	5		412							1	14	1.210	4.12	4.99	
27	ΔΟΚΟΣ-001(EY-3)	B	2		457							5	18	2.000	4.57	45.70	
28	ΔΟΚΟΣ-001(EY-3)	B	2		412							1	14	1.210	4.12	4.99	
29	ΔΟΚΟΣ-001(EY-4)	B	2		390							5	14	1.210	3.90	20.45	
30	ΔΟΚΟΣ-001(AV-1)	B	9		8	19	44	19	44	8		26	8	0.395	1.42	19.63	
31	ΔΟΚΟΣ-001(AV-2)	B	9		8	19	44	19	44	8		71	8	0.395	1.42	39.62	
32	ΔΟΚΟΣ-001(AV-3)	B	9		8	19	44	19	44	8		75	8	0.395	1.42	42.07	
33	ΔΟΚΟΣ-001(AV-4)	B	9		8	19	44	19	44	8		31	8	0.395	1.42	17.39	
34	ΔΟΚΟΣ-001(AV-5)	B	9		8	19	44	19	44	8		26	8	0.395	1.42	14.58	
35	ΠΕΔΑΚΟ-001	F	1		17	215	17					14	12	0.888	2.49	30.96	
36	ΠΕΔΑΚΟ-001	F	2		17	165	17					16	12	0.888	2.19	31.12	
37	BP-PP-001	Q	1		51	63	28	63	51			3	14	1.210	2.56	9.29	
38	BP-PP-001	Q	2		8	63	28	63	28	8		5	8	0.395	1.98	3.91	
39	BP-PP-001	Q	3		65	63	42	53				2	10	0.617	2.23	2.75	
40	ΥΨΑΔΟ-001	D	1		94	646	94					7	24	3.990	8.34	207.25	
41	ΥΨΑΔΟ-001	D	2		94	646	94					2	24	3.990	8.34	59.21	
42	ΥΨΑΔΟ-001	D	3		646							30	14	1.210	6.46	234.50	
43	ΥΨΑΔΟ-001	D	4		296							60	14	1.210	2.96	214.90	
44	ΥΨΑΔΟ-001	D	5		79	18	79					90	14	1.210	1.76	191.66	

Εικόνα 28. Αναλυτικοί κατάλογοι οπλισμών, καθώς και ξεχωριστοί πίνακες οπλισμών πλακών και δοκών. Ειδικός editor των πινάκων οπλισμών, με έτοιμα μενού ράβδων για κάθε περίπτωση, όπου δίνεται η δυνατότητα αλλαγών και προσθηκών ράβδων οπλισμών. [9]

Print Preview

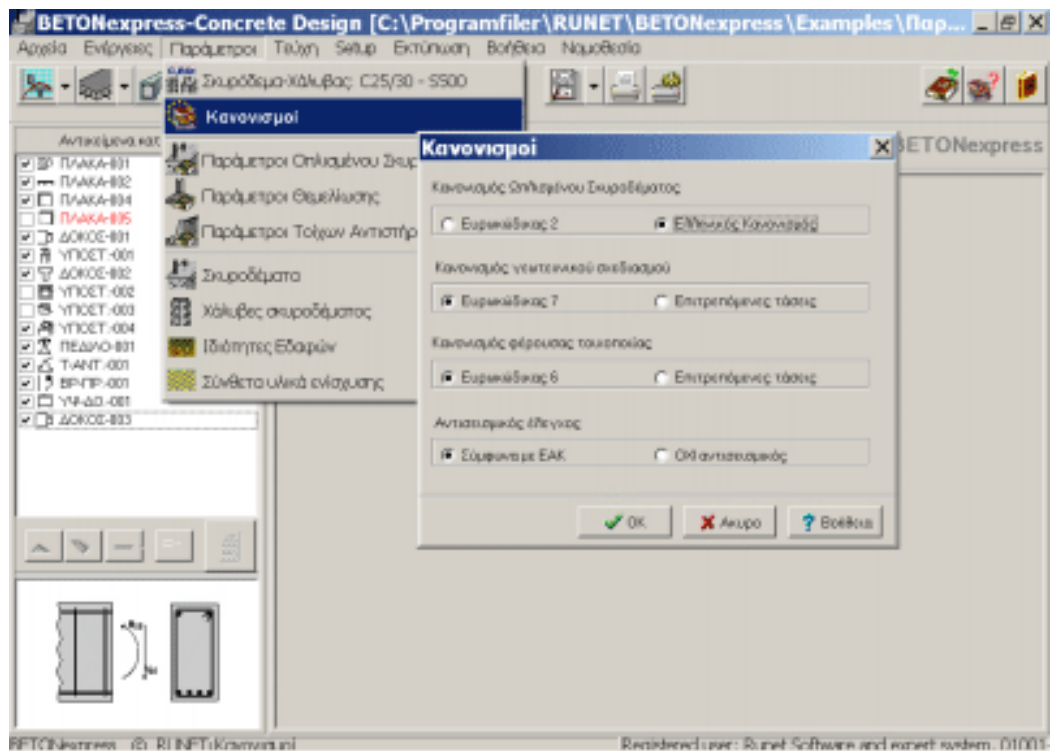
12	ΠΑΡΑ-004	(P7)		12	8	0.395	4.29	20.33
13	ΥΠΟΣΤ.-001	(C1)		4	16	1.580	3.00	18.96
14	ΥΠΟΣΤ.-001	(C2)		21	10	0.617	1.20	15.55
15	ΥΠΟΣΤ.-004	(C1)		4	16	1.580	3.00	18.96
16	ΥΠΟΣΤ.-004	(C2)		21	10	0.617	1.20	15.55
17	ΠΕΔΙΛΟ-001	(F1)		9	12	0.888	1.39	11.11
18	ΠΕΔΙΛΟ-001	(F2)		9	12	0.888	1.39	11.11
19	ΒΡ-ΠΡ.-001	(Q1)		1	14	1.210	2.24	2.71
20	ΒΡ-ΠΡ.-001	(Q2)		2	10	0.617	2.10	2.59
21	ΒΡ-ΠΡ.-001	(Q3)		2	10	0.617	2.51	3.10
22	ΥΨ-ΔΟ.-001	(D1)		5	20	2.470	7.66	94.60
23	ΥΨ-ΔΟ.-001	(D1)		1	22	2.980	7.66	22.83
24	ΥΨ-ΔΟ.-001	(D2)		6	14	1.210	7.66	55.61
25	ΥΨ-ΔΟ.-001	(D3)		30	10	0.617	6.46	119.57
26	ΥΨ-ΔΟ.-001	(D4)		60	10	0.617	2.96	189.58
27	ΥΨ-ΔΟ.-001	(D5)		90	10	0.617	0.98	54.42
Σύνολικό βάρος [kg]								1 055.93

Αρίθμηση σελίδων πλάκων

Page 1 of 2

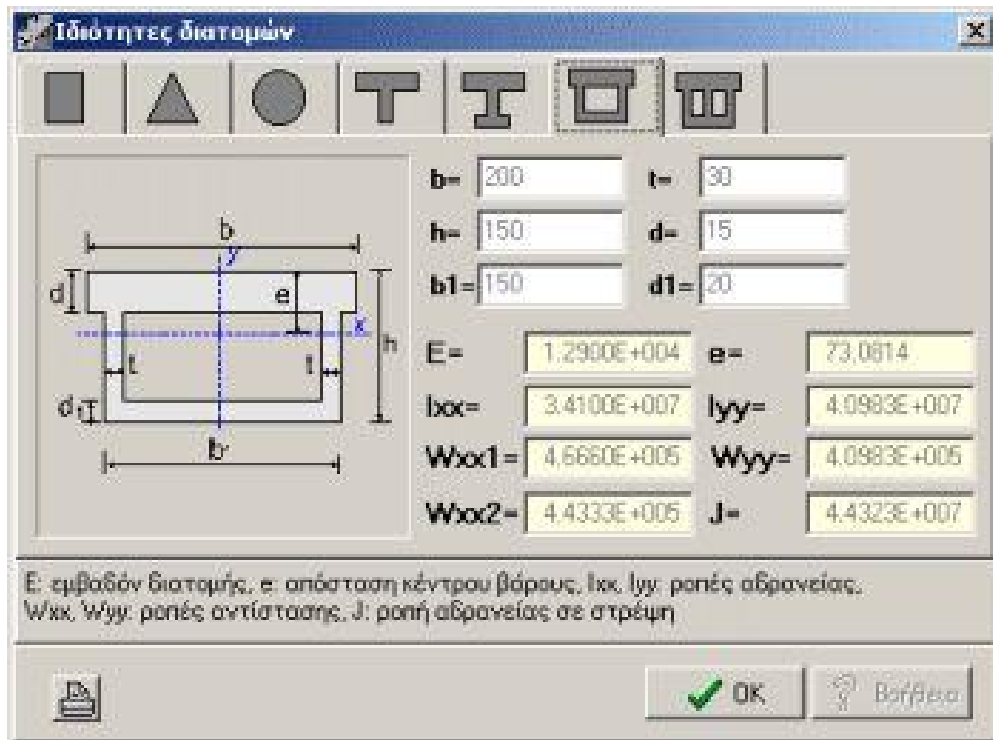
Εικόνα 29. Υψηλή ποιότητα εκτύπωσης τευχών σε όλους τους εκτυπωτές. [9]

Υπάρχει δυνατότητα προεπισκόπησης του τεύχους μαζί με τα σκαριφήματα, πριν την εκτύπωση. Το τεύχος μπορεί να μεταφερθεί στο Word για επεξεργασία.



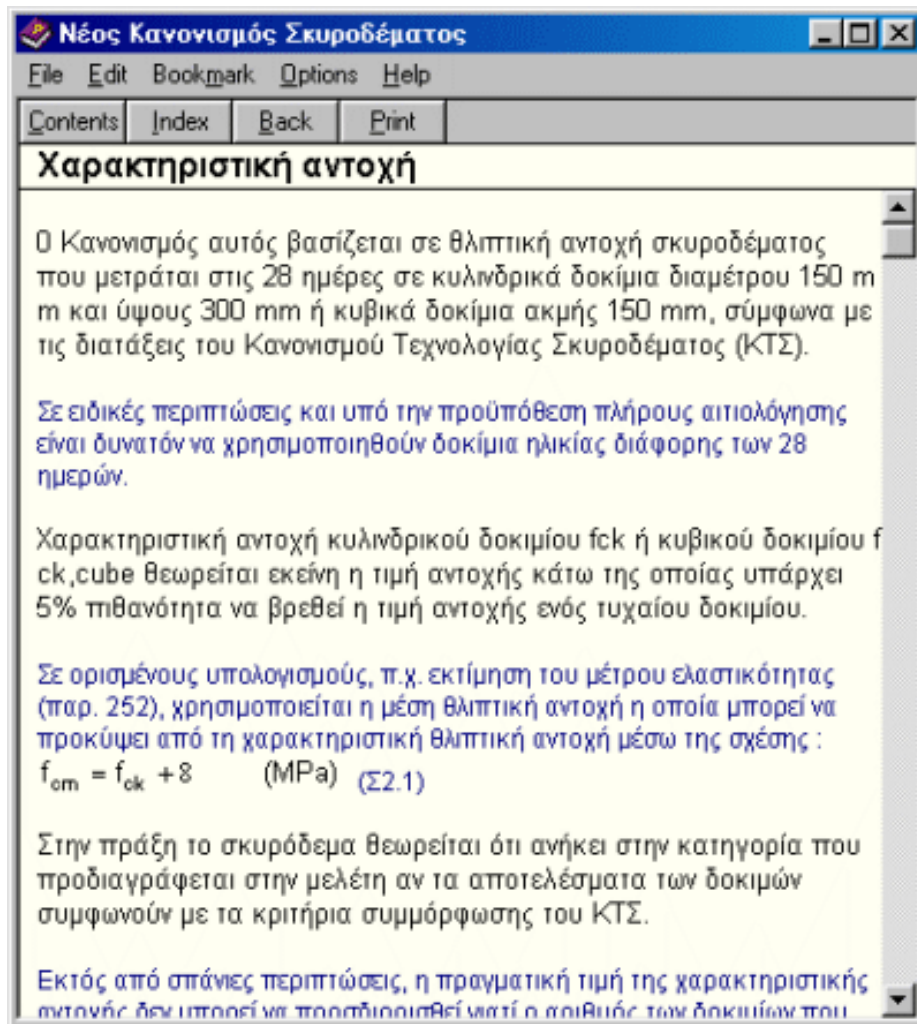
Εικόνα 30. Δυνατότητα επιλογής κανονισμών. [9]

- για ωπλισμένο σκυρόδεμα: Ευρωκώδικας 2 ή Ελληνικός Κανονισμός,
- για γεωτεχνικό σχεδιασμό: Ευρωκώδικας 7 ή Επιτρεπόμενες τάσεις, για ελέγχους τοιχοποιίας: Ευρωκώδικας 6



Εικόνα 31. Μετατροπή μονάδων. [9]

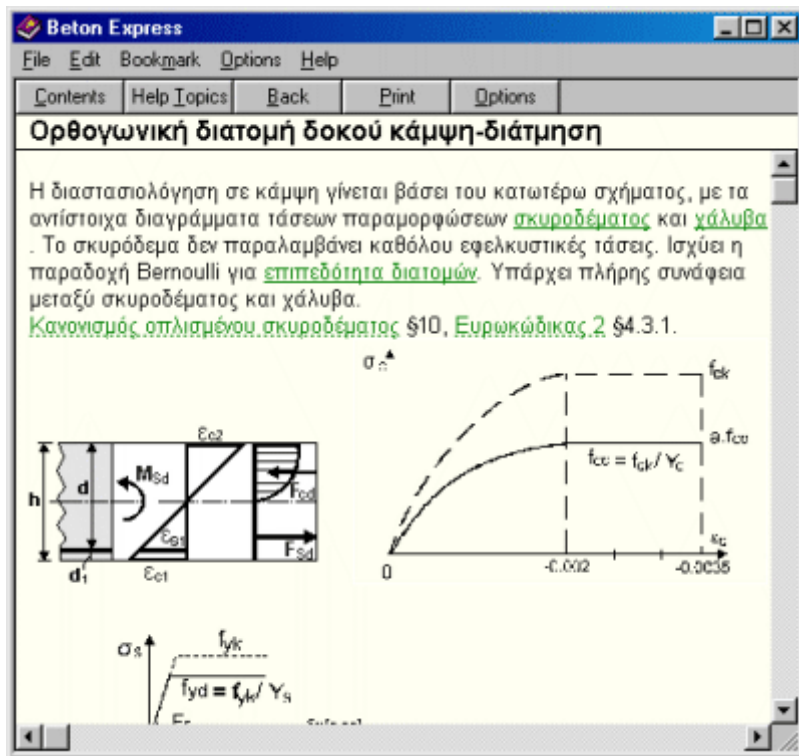
- Εμβαδόν χώρου
- Ιδιότητες διατομών
- Οπλισμοί
- Ωθήσεις γαιών



Εικόνα 32. Περιέχονται οι κανονισμοί. [9]

- Ελληνικός κανονισμός σκυροδέματος
- Κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος
- Κανονισμός φορτίσεων
- Αντισεισμικός κανονισμός

Καθώς και ορισμένα σημεία από τους Ευρωκώδικες. Από κάθε σημείο του προγράμματος, πηγαίνετε αυτόματα στο αντίστοιχο σημείο των κανονισμών.



Εικόνα 33. Περιέχεται πλήρης βοήθεια για κάθε σημείο του προγράμματος με αντίστοιχες αναφορές στους κανονισμούς και στο θεωρητικό υπόβαθρο, το σχετικό με το αντικείμενο που επεξεργάζεστε. [9]

4.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕ ΑΠΛΟ Ο.Σ

ΔΟΚΟΣ-001

Διατομή δοκού σε κάμψη, διάτμηση και αξονική δύναμη

(EC2 EN1992-1-1:2004, EC0 EN1990:2002, +NA-ELOT:2010)

$b \times h = 0.250 \times 0.500$ m, $M_{ed} = 100.00$ kNm,

$V_{ed} = 10.00$ kN, $N_{ed} = 10.00$ kN

Υπολογισμοί οπλισμένου σκυροδέματος

Σκυρόδεμα-Χάλυβας : C25/30-B500C (EC2 §3)

Κατηγορία περιβάλλοντος : XC1 (EC2 §4.4.1)

Επικάλυψη οπλισμού : $c_{nom} = 20$ mm (EC2 §4.4.1)

$\gamma_c = 1.50$, $\gamma_s = 1.15$ (EC2 Πίνακας 2.1N)

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 25 / 1.50 = 14.17$ MPa (EC2 §3.1.6)

$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk} \cdot 0.05 / \gamma_c = 0.85 \times 1.8 / 1.50 = 1.02$ MPa (EC2 §3.1.6)

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 435$ MPa (EC2 §3.2.7)

Διαστάσεις, φορτία

Πλάτος δοκού $b = 0.250$ m, ύψους $h = 0.500$ m

Οφέλιμο ύψος διατομής $d_1 = c_{nom} + \psi_s + 0.5\psi = 20 + 8 + 0.5 \times 14 = 35$ mm, $d_2 = 35$ mm, $d = 500 - 35 = 465$ mm

Οριακή κατάσταση φέρουσας ικανότητας (ULS)

Ροπή κάμψης $M_{ed} = 100.00$ kNm, τέμνουσα $V_{ed} = 10.00$ kN, αξονική δύναμη $N_{ed} = 10.00$ kN (εφελκυσμός)

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

Ροπή κάμψης $M_{ed} = 70.00$ kNm, τέμνουσα $V_{ed} = 7.00$ kN, αξονική δύναμη $N_{ed} = 7.00$ kN (εφελκυσμός)

Διαστασιολόγηση για κάμψη με αξονική δύναμη (ULS) (EC2 §6.1, §9.2.1)

Διαστασιολόγηση έναντι αστοχίας σε κάμψη: Allgower, G.-Avak, R. Bemessungstabeln nach Eurocode 2

fur Rechteck und Plattenbalkenquerschnitte, In: Beton - und Stahlbetonbau 87 (1992)

Οπλισμός έναντι κάμψης με αξονική δύναμη (δεν απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός)

Med=100kNm Nsd= 10kN bw=250mm d=465mm Kd= 2.35 x/d=0.17 $\epsilon_c/\epsilon_{s1}=-3.5/17.1$
ks=2.47, As1= 5.43cm²

Ελάχιστος διαμήκης οπλισμός, $A_s \geq 0.26bd \cdot f_{ctm}/f_{yk}$, ($A_{s,min}= 1.57\text{cm}^2$) (EC2 §9.2.1.1.1)

Μέγιστος διαμήκης οπλισμός, $A_s \leq 0.04A_c$, ($A_{s,max}=50.00\text{cm}^2$) (EC2 §9.2.1.1.3)

Διαμήκης οπλισμός: 3Φ14+1Φ12 (5.75cm²) (κάτω πέλμα)

Φέρουσα ικανότητα διατομής σε κάμψη (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1)

b=250mm, h=500mm, d=465mm, As1=575mm², As2=0mm²

$\epsilon_c = -3.50\text{‰}$, $\epsilon_{s1} = 15.14\text{‰}$, $A_{s1}/b \cdot d = 0.00495 (0.495\%)$

$x/d = \epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{s1}) = 3.50 / (3.50 + 15.14) = 0.188$, x=87.3mm

$\alpha_r = 0.810$, $k_a = 0.416$, $F_c = \alpha_r \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = F_{s1} = 250.39\text{kN}$, $A_{s1} = F_{s1}/f_{yd} = 576\text{mm}^2$

$z = d - k_a \cdot x = [(1 - k_a \cdot \epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{s1}))d]$, $z/d = 1.0 - 0.416 \times 0.188 = 0.922$, z=428.7mm,

$K_d^2 = 1 / (0.810 - 0.188 \cdot 0.922 \cdot 14.17) = 0.504 \text{ mm}^2/\text{N}$, $K_d = 0.710$

Καμπτική αντοχή $M_r = b \cdot d^2 / K_d^2 = [10^{-6}] \times 250 \times 465^2 / 0.504 = 108.00\text{kNm}$

Διαστασιολόγηση για τέμνουσα (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.2, §9.2.2)

Αντοχή τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης V_{rdc} (EC2 §6.2.2)

$V_{rdc} = [C_{rdc} \cdot k \cdot (100\rho_1 \cdot f_{ck})^{0.33} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Εξ.6.2.a)

$V_{rdc} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Εξ.6.2.b)

$C_{rdc} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.50 = 0.120$, $f_{ck} = 25\text{MPa}$, $b_w = 250\text{mm}$, $d = 465\text{mm}$

$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$, $k = 1.66$, $k_1 = 0.15$

$\rho_1 = A_{s1}/(b_w \cdot d) = 575/(250 \times 465) = 0.0049$

$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c = -1000 \times 10.00/125000 = -0.08\text{N/mm}^2$

$v_{min} = 0.0350 \cdot k^{1.50} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.37\text{N/mm}^2$, (EC2 Εξ.6.3N)

$V_{rd,c(min)} = 0.001 \times (0.37 - 0.15 \times 0.08) \times 250 \times 465 = 41.62\text{kN}$

$V_{rdc} = 0.001 \times [0.120 \times 1.66 \times (0.49 \times 25)^{0.33} - 0.15 \times 0.08] \times 250 \times 465 = 51.99\text{kN}$

$V_{ed} = 10.00 \text{ kN} \leq V_{rdc} = 51.99 \text{ kN}$, $V_{ed} \leq V_{rdc}$ δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης

Αντοχή λοξής θλίψης σκυροδέματος V_{rdmax} (EC2 §6.2.3 Εξ.6.9)

$V_{rdmax} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$, $V_{ed}/\max(V_{rdmax}) = 0.02$, $\theta = 21.8^\circ$ $\cot\theta = 2.50$

$\tan\theta = 0.40$

$\alpha_{cw} = 1.00$ $z = 0.9d$, $f_{ck} = 25.0 \leq 60\text{MPa}$ $v_1 = 0.6[1 - f_{ck}/250] = 0.6[1 - 25/250] = 0.540$, $f_{cd} = 14.17\text{MPa}$

$V_{rdmax} = 0.001 \times 1.00 \times 250 \times 0.9 \times 465 \times 0.540 \times 14.17 / 2.90 = 276.1 \text{ kN}$

Ελάχιστος οπλισμός συνδετήρων (EC2 §9.2.2)

Ποσοστό ελάχιστου οπλισμού διάτμησης $\rho_{w,min}$ (EC2 Εξ.9.5N)

$\rho_{w,min} = (0.08 \times (f_{ck})^{0.5}) / f_{yk}$, $f_{ck} = 25\text{N/mm}^2$, $f_{yk} = 500\text{N/mm}^2$, $\rho_{w,min} = 0.0008$

$\min A_{sw}/s = 10 \times 0.0008 \times 250 \times \sin(90^\circ) = 2.00\text{cm}^2/\text{m}$

Μέγιστη απόσταση συνδετήρων $s_{lmax} = 0.75d (\leq 600\text{mm}) = 345\text{mm}$ (EC2 §9.2.2.6, Εξ.9.6N)

Μέγιστη απόσταση σκελών συνδετήρων $st_{max}=0.75d$ ($\leq 600\text{mm}$)= 345mm (§9.2.2.8, Εξ.9.8N)

Ελάχιστος οπλισμός διάτμησης Φ 8/34.5 ($A_{sw}/s=2.92\text{cm}^2/\text{m}$)

Οπλισμός διάτμησης: Φ 8/34.5 ($A_{sw}/s=2.92\text{cm}^2/\text{m}$)

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7)

$Med(SLS)=70.00\text{ kNm}$, $Ved(SLS)=7.00\text{ kN}$, $Ned(SLS)=7.00\text{ kN}$

Τελικός συντελεστής ερπυσμού φ (∞, t_0)= 2.50 (EC2 §3.1.4, Παράρτημα Β)

Ολική συστολή ξήρανσης $\epsilon_{cs}=-0.30\text{‰}$

$\gamma_c=1.00$, $\gamma_s=1.00$ (EC2 §2.4.2.4.2)

Μέτρο Ελαστικότητας σκυροδέματος $E_{cm}=31\text{GPa}$, $E_{c,eff}=31/(1+2.50)=8.86\text{GPa}=8860\text{MPa}$ (EC2 Εξ.7.20)

Μέτρο Ελαστικότητας χάλυβα $E_s=200\text{GPa}=200000\text{MPa}$

Λόγος μέτρων Ελαστικότητας $E_s/E_c=200/31=6.45$, ενεργό $E_s/E_{c,eff}=200/8.86=22.57$

Εφεκνόμενος οπλισμός: $3\psi 14+1\psi 12$ (5.75cm^2)

Λόγος οπλισμών $\rho=A_{s1}/(b \cdot d)=575/(250 \times 465)=0.005$

Κατάσταση I (αρηγμάτωτη διατομή) (SLS)

Δυσκαμψία αρηγμάτωτης διατομής, $EI=(200/22.57) \times (0.001 \times 3.126)=27698\text{ kNm}^2$

$A_i=A_c+(n-1)(A_{s1}+A_{s2})$, $e=(n-1)(A_{s1} \cdot y_{1s}-A_{s2} \cdot y_{2s})/A_i$, $I=I_c+b \cdot h \cdot e^2+(A_{s1} \cdot y_{1s}^2+A_{s2} \cdot y_{2s}^2)(n-1)$

$S=A_s \cdot y_{2s}=(0.001)^2 \times 575 \times 0.196=(0.001) \times 0.112\text{ m}^3$, $y_2=231\text{mm}$, $y_{2s}=y_2-d_2=231-35=196\text{mm}$

(EC2 Εξ.7.21)

καμπυλότητα λόγω ροπής $1/r_M=70.00/27698=(0.001) \times 2.527$ (1/m)

καμπυλότητα λόγω ξήρανσης $1/r_{cs}=(0.001 \times 0.30) \times 22.57 \times (0.112/3.126)=(0.001) \times 0.244$ (1/m)

Ολική καμπυλότητα $1/r=(0.001) \times 2.527+(0.001) \times 0.244=(0.001) \times 2.771$ (1/m)

Ροπή ρηγμάτωσης $M_{cr}=f_{ctm} \cdot (I/y_2)=2.6 \times (3.126/0.231)=35.24\text{ kNm}$

Κατάσταση II (πλήρως ρηγματωμένη διατομή) (SLS)

$\rho=A_s/(b \cdot d)=0.005$, $n=\alpha_e=22.57$, $n \cdot \rho=0.113$, $\xi=0.546$, $\alpha=0.375$, $x=\alpha \cdot d=0.175\text{m}$

Δυσκαμψία πλήρως ρηγματωμένης διατομής, $EI=\xi \cdot E_s \cdot A_s \cdot d^2=0.546 \times 200 \times 575 \times 0.465^2=13586\text{ kNm}^2$

$y_2=(1-\alpha)d=290\text{mm}$, $\epsilon_s=y_2 \cdot M/EI=(0.001) \times 290 \times 70.00/13586=1.50$

$S=A_s \cdot y_2=(0.001)^2 \times 575 \times 0.290=(0.001) \times 0.167\text{ m}^3$ (EC2 Εξ.7.21)

καμπυλότητα λόγω ροπής $1/r_M=70.00/13586=(0.001) \times 5.152$ (1/m)

καμπυλότητα λόγω ξήρανσης $1/r_{cs}=(0.001 \times 0.30) \times 22.57 \times (0.167/1.533)=(0.001) \times 0.362$ (1/m)

Ολική καμπυλότητα $1/r=(0.001) \times 5.152+(0.001) \times 0.362=(0.001) \times 5.514$ (1/m)

$Med=70.00\text{ kNm}$, $Ned=7.00\text{ kN}$, $\epsilon_c/\epsilon_s=0.89/1.50$, $x=173\text{mm}$, $\sigma_s=301\text{ N/mm}^2$

Έλεγχος παραμορφώσεων με άμεσο υπολογισμό (SLS) (EN1992-1-1, §7.4.3)

$\zeta=1-0.50 \cdot (M_{cr}/Med)^2=1-0.50 \times (35.24/70.00)^2=0.87$ (Εξ.7.19)

Τελική καμπυλότητα $(1/r)=0.87 \times (0.001 \times 5.514) + (1-0.87) \times (0.001 \times 2.771) = (0.001) \times 5.166 (1/m)$
(Εξ.7.18)

Ελάχιστα εμβαδα οπλισμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.2)

Ελάχιστα εμβαδά οπλισμού $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$ (EC2 Εξ.7.1)

$b=0.250m$, $b_{eff}=0.250m$, $h=0.500m$, $d=0.465m$, $x=0.173m$, $\Psi=14mm$

$N_{ed}=7.00kN$, $\sigma_c = (N_{ed}/bh) = -0.1N/mm^2$, $\sigma_s = 435N/mm^2$

$A_{ct} = (h-x) \cdot b = (500-173) \times 250 = 81661 \text{ mm}^2$

$\max(h,b_1) = 1m$, $f_{ctm} = 2.60N/mm^2$, $A_{ct} = 81661mm^2$, $k = 0.86$, $k_c = 0.41$, $k_1 = 1.50$

Ελάχιστος οπλισμός, $A_{s,min} = 0.41 \times 0.86 \times 2.60 \times 81661 / 435 = 172mm^2$

Υπολογισμός εύρους ρωγμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.3)

$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ (EC2 Εξ.7.8)

$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t \cdot (f_{ct,eff} / \rho_{eff}) (1 + a_e \cdot \rho_{eff})] / E_s \geq 0.6 \sigma_s / E_s$ (EC2 Eq.7.9)

$\sigma_s = 301N/mm^2$, μικρής διάρκειας φόρτιση: $E_s/E_c = 6.45$, $k_t = 0.6$, μικράς διάρκειας

φόρτιση: $E_s/E_c = 22.57$, $k_t = 0.4$

$A_{c,eff} = 2.5(h-d)b = 2.5 \times (500-465) \times 250 = 21875 \text{ mm}^2$ (§7.3.2.3)

$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 575 / 21875 = 0.026$

$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = [301 - 0.4 \times (2.6 / 0.026) (1 + 22.57 \times 0.026)] / 200 = 1.19\text{‰} \geq 0.6 \times 301 / 200 = 0.90\text{‰}$

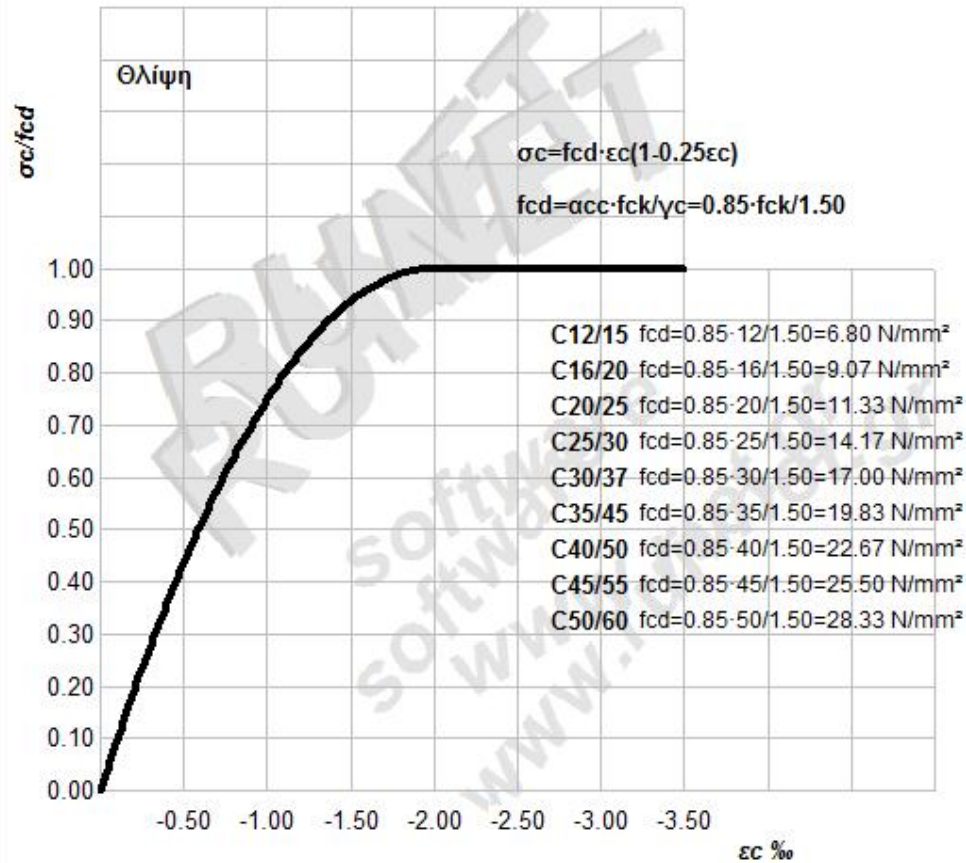
$s_{r,max} = k_3 \cdot (C_{nom} + \{Z_s\}) + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \{Z\} / \rho_{eff}$ (EC2 Εξ.7.11)

$\Psi = 14mm$, $k_1 = 0.8$, $k_2 = (e_1 + e_2) / 2e_1 = 0.5$, $k_3 = 3.4$, $k_4 = 0.425$

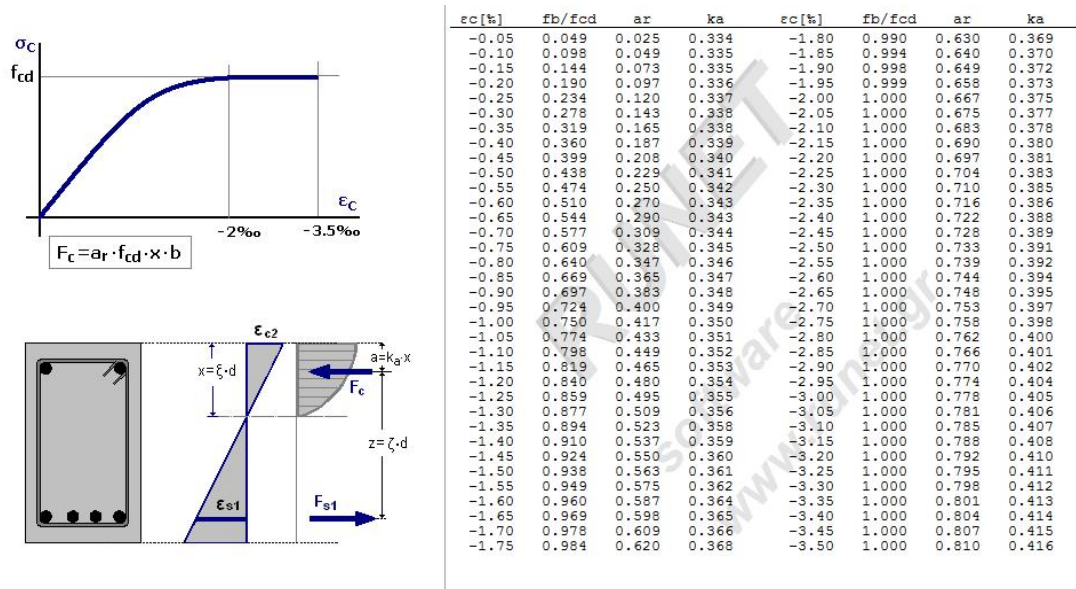
$s_{r,max} = 3.4 \times 28.00 + 0.8 \times 0.5 \times 0.425 \times 14 / 0.026 = 185.74 \text{ mm}$

$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 185.74 \times 0.001 \times 1.19 = 0.22 \text{ mm}$

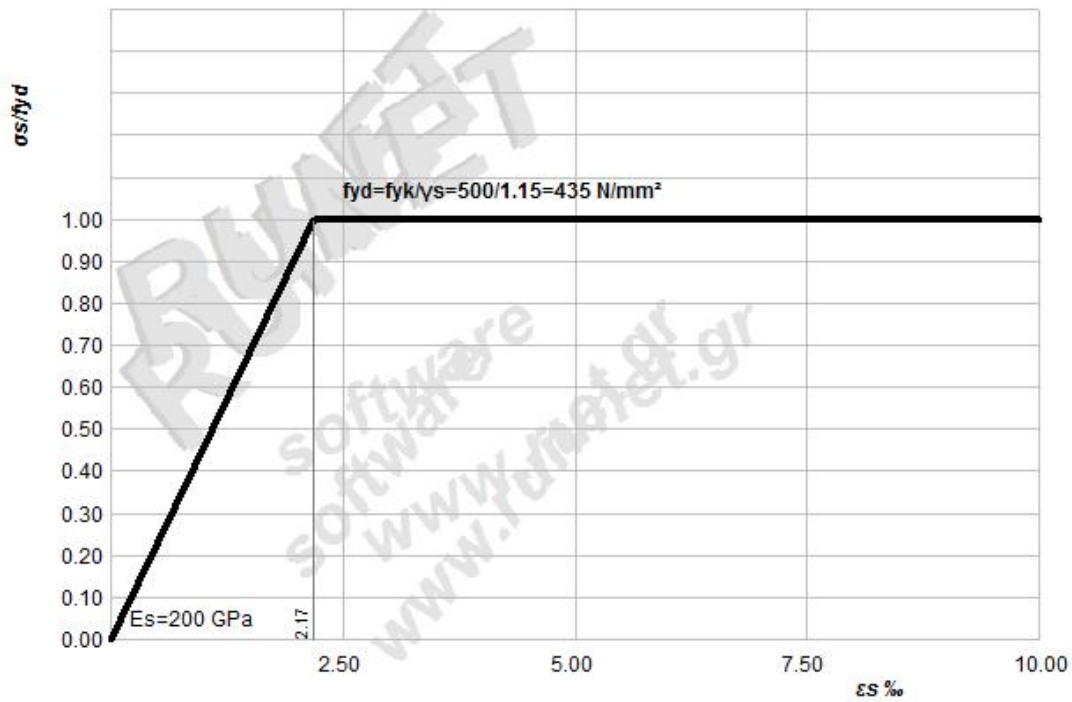
$w_k = 0.22mm \leq 0.40mm = w_{max}$, Κατηγορία περιβάλλοντος: XC1, Πλάτος ρωγμής κάτω ορίου



Διάγραμμα 9. Διάγραμμα τάσης – μηκύνσεων σκυροδέματος



Πίνακας 9. Διάγραμμα σκυροδέματος σε θλίψη.



Διάγραμμα 10. Διάγραμμα τάσεων – μηκύνσεων χάλυβα.

Σκυρόδεμα

εσωτερικές συνθήκες 0% 50% εξωτερικές συνθήκες 100%

Σχετική υγρασία RH (%) %

Μέγεθος διατομής h_0 ($h_0=2A_c/u$) (mm) mm

Ηλικία σκυροδέματος όταν φορτίζεται σε μέρες μέρες

Τελικός συντελεστής ερπυσμού (EC2 EN1992-1-1:2004, §3.1.4, Παράρτημα Β) $\varphi(\infty, t_0) =$

Εικόνα 34. Συντελεστής ερπυσμού.

Σκυρόδεμα

εσωτερικές συνθήκες 0% 50% εξωτερικές συνθήκες 100%

Σχετική υγρασία RH (%) %

Μέγεθος διατομής h_0 ($h_0=2\Delta c/u$) (mm) mm

Κατηγορία ταμέντου S N R

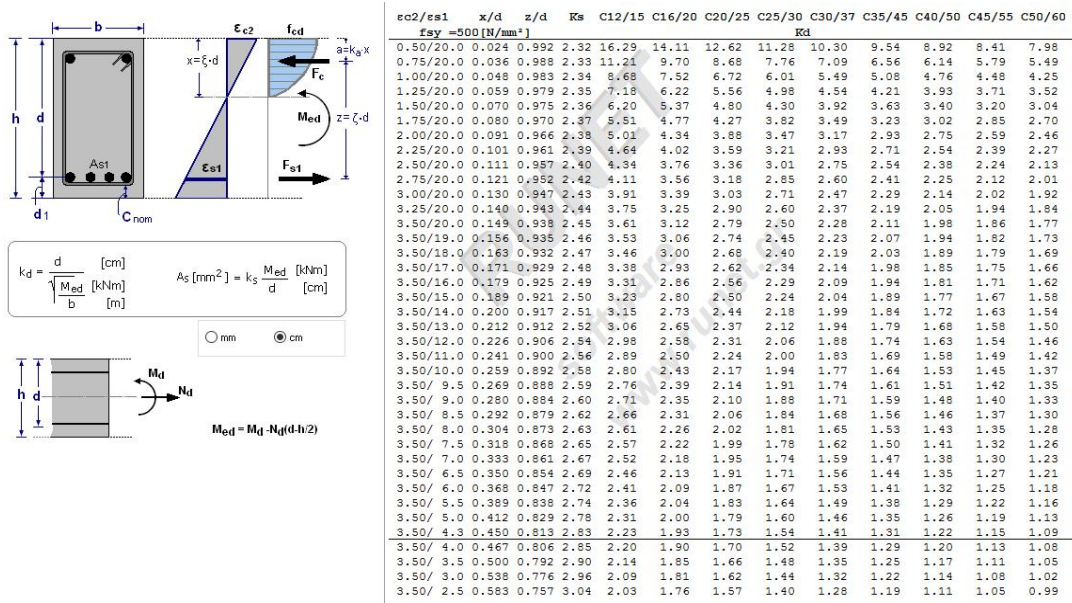
Ολική συστολή ξήρανσης (EC2 EN1992-1-1:2004, §3.1.4, Παράρτημα Β) $\epsilon_{CS} = \epsilon_{Cd} + \epsilon_{Ca} = -$ ‰

Εικόνα 35. Συστολή ξήρανσης.

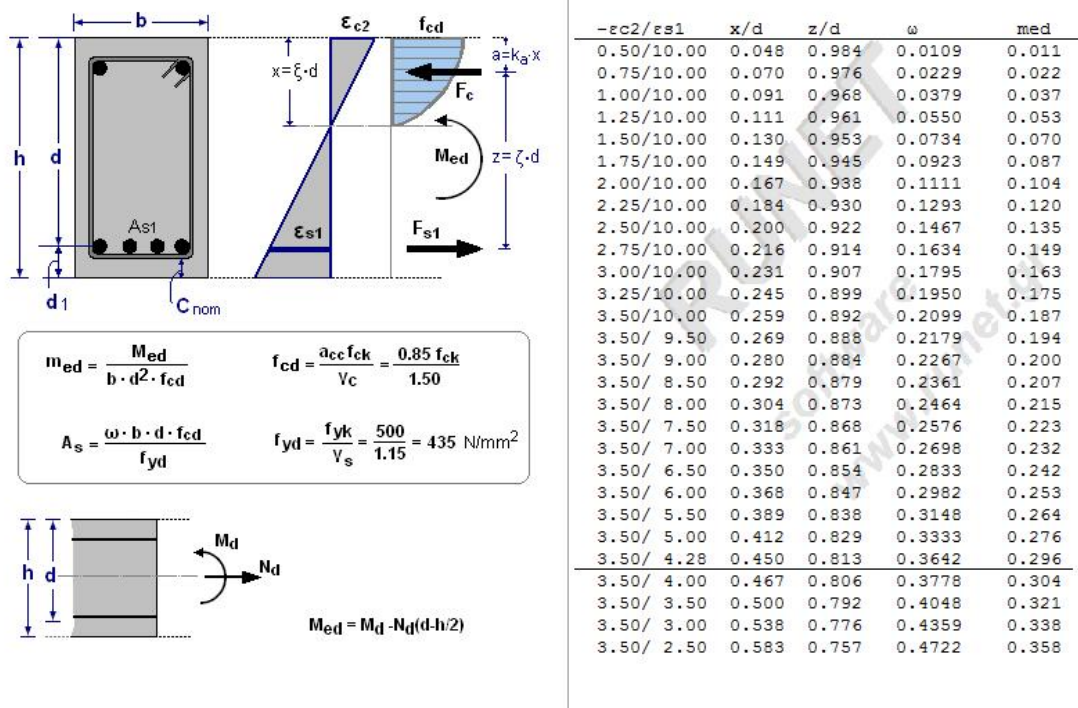
Κατηγορία περιβάλλοντος	50 χρόνια ζωής της κατασκευής	100 χρόνια ζωής της κατασκευής
XC0: Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης. Πολύ ξηρό περιβάλλον	$C_{min} = 10 \text{ mm}$	$C_{min} = 10 \text{ mm}$
XC1: Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης. Ξηρό ή σταθερά υγρό περιβάλλον	$C_{min} = 15 \text{ mm}$	$C_{min} = 25 \text{ mm}$
XC2: Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης. Υγρό, σπάνια ξηρό περιβάλλον	$C_{min} = 25 \text{ mm}$	$C_{min} = 35 \text{ mm}$
XC3: Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης. Υγρό περιβάλλον	$C_{min} = 25 \text{ mm}$	$C_{min} = 35 \text{ mm}$
XC4: Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης. Κυκλικά υγρό ή ξηρό περιβάλλον	$C_{min} = 25 \text{ mm}$	$C_{min} = 35 \text{ mm}$
XD1: Διάβρωση λόγω χημικής προσβολής. Υγρό περιβάλλον	$C_{min} = 40 \text{ mm}$	$C_{min} = 50 \text{ mm}$
XD2: Διάβρωση λόγω χημικής προσβολής. Υγρό, σπάνια ξηρό περιβάλλον	$C_{min} = 40 \text{ mm}$	$C_{min} = 50 \text{ mm}$
XD3: Διάβρωση λόγω χημικής προσβολής. Κυκλικά υγρό ή ξηρό περιβάλλον	$C_{min} = 40 \text{ mm}$	$C_{min} = 50 \text{ mm}$
XS1: Διάβρωση λόγω χημικής προσβολής από θαλασσινό νερό. Υγρό περιβάλλον	$C_{min} = 40 \text{ mm}$	$C_{min} = 50 \text{ mm}$
XS2: Διάβρωση λόγω χημικής προσβολής από θαλασσινό νερό. Μόνιμα ρυθισμένο	$C_{min} = 40 \text{ mm}$	$C_{min} = 50 \text{ mm}$
XS3: Διάβρωση λόγω χημικής προσβολής από θαλασσινό νερό. Θαλάσσιες περιοχές	$C_{min} = 50 \text{ mm}$	$C_{min} = 60 \text{ mm}$

$C_{min} = \max\{C_{min,b}, C_{min,dur}, 10\text{mm}\}$ $C_{min,b} = \emptyset$ $C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$ $\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$ EC2 §4.4.1

Εικόνα 36. Ελάχιστη επικάλυψη



Πίνακας 10. Διαστασιολόγηση σε κάμψη (1)



Εικόνα 37. Διαστασιολόγηση σε κάμψη (2)

ΥΠΟΣΤ.-001

Υποστύλωμα σε διαξονική κάμψη

(EC2 EN1992-1-1:2004, EC0 EN1990:2002, +NA-ELOT:2010)

b =0.300 m, h =0.300 m, Ned =150.00 kN

Med yy = 37.50 kNm, Med zz = 37.50 kNm

Υπολογισμοί οπλισμένου σκυροδέματος

Σκυρόδεμα-Χάλυβας : C25/30-S500 (EC2 §3)

Κατηγορία περιβάλλοντος : XC0 (EC2 §4.4.1)

Επικάλυψη οπλισμού : C_{nom}=30 mm (EC2 §4.4.1)

γ_c=1.50, γ_s=1.15 (EC2 Πίνακας 2.1N)

f_{cd}=α_{cc}·f_{ck}/γ_c=0.85×25/1.50=14.17 MPa (EC2 §3.1.6)

f_{ctd}=α_{ct}·f_{ctk0.05}/γ_c=0.85×1.8/1.50=1.02 MPa (EC2 §3.1.6)

f_{yd}=f_{yk}/γ_s=500/1.15=435 MPa (EC2 §3.2.7)

Διαστάσεις, φορτία

Υποστύλωμα ορθογωνικής διατομής b=0.300 m, h=0.300 m

Φορτία , Φορτία, αξονικό Ned=150.00kN (θλίψη), ροπές Med_{xx}=37.50kNm,
Med_{yy}=37.50kNm

διάτμηση Ved=100.00 kN

Ωφέλιμο ύψος διατομής d=h-d₁, d₁=d₂=C_{nom}+Ψ_s+Ψ/2=30+8+20/2=48mm,
dx=252mm, dy=252mm

Διαστασιολόγηση για θλίψη με μικρή εκκεντρότητα (ULS) (EC2 §6.1, §9.2.1)

Ned=150.00kN, Med,yy=37.50kNm, Med,zz=37.50kNm

Προσεγγιστική διαστασιολόγηση με Πίνακες (d₁/h=0.10)

Kordina K, Bemessungshilfsmittel zu EC 2 Teil 1

Planung von Stahlbeton ..., Berlin, Beuth, 1992

M_y/(b·h²·f_{cd})=0.08, M_z/(h·b²·f_{cd})=0.08, N/(b·h·f_{cd})=-0.10

As·f_{yk}/(b·h·f_{ck})=0.28, As= 966mm², As/A_c=1.07%

Διαστασιολόγηση με αριθμητική ολοκλήρωση

Διαγράμματα μονοαξονικής κάμψης

προερχόμενο από αριθμητική ολοκλήρωση με
χωρισμό σε $10 \times 10 = 100$ τμήματα διατομής
 $N_{ed} = 150.00 \text{ kN}$ (θλίψη),
 $M_{edyy} = 37.50 \text{ kNm}$, $M_{edzz} = 37.50 \text{ kNm}$
C25/30-S500
 $b = 300 \text{ mm}$, $h = 300 \text{ mm}$
 $d_y = 252 \text{ mm}$, $d_z = 252 \text{ mm}$, $d_1 = d_2 = 48 \text{ mm}$
 $d_1/h = 0.160$, $d_2/b = 0.160$
 $e_z = M_{edyy}/N_{ed} = 37.50/150.00 = 0.250 \text{ m} = 250 \text{ mm}$
 $e_y = M_{edzz}/N_{ed} = 37.50/150.00 = 0.250 \text{ m} = 250 \text{ mm}$
 $z_{sz} = h/2 - d_1 = 300/2 - 48 = 102 \text{ mm}$, $e_z = 250 \text{ mm} > z_{sz} = 102 \text{ mm}$
 $z_{sy} = b/2 - d_1 = 300/2 - 48 = 102 \text{ mm}$, $e_y = 250 \text{ mm} > z_{sy} = 102 \text{ mm}$
 $A_{s,tot} = 1125 \text{ mm}^2$, $A_{s,tot}/A_c = 1.25\%$

$A_{s,tot} = 11.25 \text{ cm}^2$

$N_{ed} = 150.00 \leq 0.65 A_c F_{cd} = 1000 \times 0.65 \times 0.300 \times 0.300 \times 16.67 = 975.20 \text{ kN}$ (EC8
§5.4.3.2.1, ΕΚΩΣ, §18.4.2)

Ελάχιστος διαμήκης οπλισμός, $A_s \geq 0.0020 A_c$, $\{Z_s \geq 8$, $A_{s,min} = \{4Z_8$ (2.01 cm^2)
(EC2 §9.5.2.2)

Μέγιστος διαμήκης οπλισμός, $A_s \leq 0.04 A_c$, ($A_{s,max} = 36.00 \text{ cm}^2$) (EC2 §9.5.2.3)

Εγκάρσιος οπλισμός, συνδετήρες με ελάχιστη $\{Z_s$ σε αποστάσεις $S_{cl,t}$ (EC2 §9.5.3)

στις μη κρίσιμες περιοχές από 0.30 m μέχρι $H - 0.30 \text{ m}$: συνδετήρες $\Psi_s \geq 6$,

$S_{cl,t} \leq 300 \text{ mm}$

στις κρίσιμες περιοχές $[0 - 0.30 \text{ m}]$ και $[H - 0.30 \text{ m}, H]$: συνδετήρες $\Psi_s \geq 6$,

$S_{cl,t} \leq 180 \text{ mm}$

Βασικό μήκος αγκύρωσης $L_{bd} = 570 \text{ mm} = 0.570 \text{ m}$ (EC2 Εξ.8.3)

Διαμήκης οπλισμός: 4Ψ20 (12.56 cm²)

Οπλισμός συνδετήρων: Συνδετήρες Ψ 8/30.0 [h:0.30m~H-0.30m], Ψ 8/18.0 [h:0~0.30m, H-0.30m~H]

Διαστασιολόγηση για τέμνουσα (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.2, §9.2.2)

Αντοχή τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης V_{rdc} (EC2 §6.2.2)

$$V_{rdc} = [C_{rdc} \cdot k \cdot (100 \rho_1 \cdot f_{ck})^{0.33} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad (\text{EC2 Εξ.6.2.a})$$

$$V_{rdc} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (\text{EC2 Εξ.6.2.b})$$

$$C_{rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.50 = 0.120, \quad f_{ck} = 25 \text{MPa}, \quad b_w = 300 \text{mm}, \quad d = 252 \text{mm}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2, \quad k = 1.89, \quad k_1 = 0.15$$

$$\rho_1 = A_s / (b_w \cdot d) = 650 / (300 \times 252) = 0.0086$$

$$\sigma_{cp} = N_{ed} / A_c = 1000 \times 150.00 / 90000 = 1.67 \text{N/mm}^2$$

$$v_{min} = 0.0350 \cdot k^{1.50} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.45 \text{N/mm}^2, \quad (\text{EC2 Εξ.6.3N})$$

$$V_{rd,c(min)} = 0.001 \times (0.45 + 0.15 \times 1.67) \times 300 \times 252 = 52.96 \text{kN}$$

$$V_{rdc} = 0.001 \times [0.120 \times 1.89 \times (0.86 \times 25)^{0.33} + 0.15 \times 1.67] \times 300 \times 252 = 66.62 \text{kN}$$

$$V_{ed} = 100.00 \text{ kN} > V_{rdc} = 66.62 \text{ kN}, \quad V_{ed} > V_{rdc} \text{ απαιτείται οπλισμός διάτμησης}$$

$$\underline{\text{Αντοχή λοξής θλίψης σκυροδέματος } V_{rdmax}} \quad (\text{EC2 §6.2.3 Εξ.6.9})$$

$$V_{rdmax} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta), \quad V_{ed} / \max(V_{rdmax}) = 0.38, \quad \theta = 45.0^\circ \quad \cot \theta = 1.00$$

$$\tan \theta = 1.00$$

$$\alpha_{cw} = 1.00 \quad z = 0.9d, \quad f_{ck} = 25.0 \leq 60 \text{MPa} \quad v_1 = 0.6 [1 - f_{ck}/250] = 0.6 [1 - 25/250] = 0.540,$$

$$f_{cd} = 14.17 \text{MPa}$$

$$V_{rdmax} = 0.001 \times 1.00 \times 300 \times 0.9 \times 252 \times 0.540 \times 14.17 / 2.00 = 260.3 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 100.0 \text{ kN} < 260.3 \text{ kN} = V_{rdmax}, \quad \text{ο έλεγχος επαληθεύεται}$$

$$\underline{\text{Οπλισμός διάτμησης κάθετοι συνδετήρες}} \quad (\text{EC2 §6.2.3 Εξ.6.8})$$

$$V_{rds} = (A_{sw}/s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta, \quad V_{rds} = 100.00 \text{kN}, \quad z = 0.9d, \quad f_{ywd} = 0.8 f_{yk} = 400.00 \text{N/mm}^2,$$

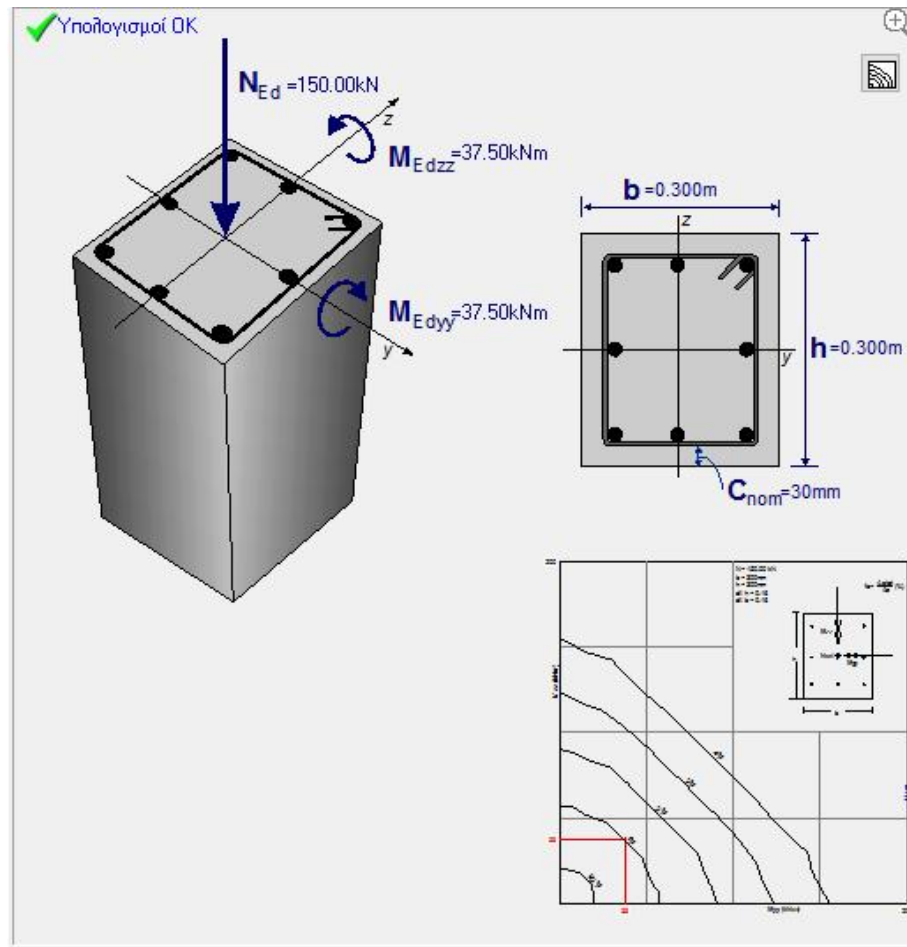
$$\cot \theta = 1.00$$

$$A_{sw}/s = V_{rds} / (z \cdot f_{ywd} \cdot \cot 45.00^\circ) = (1.0 \text{E} + 006) \times 100.00 / (0.9 \times 252 \times 400 \times 1.00) = 1102 \text{mm}^2 /$$

$$\text{m} \quad (A_{sw}/s = 11.02 \text{cm}^2/\text{m})$$

$$\text{Απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης: } (A_{sw}/s = 11.02 \text{cm}^2/\text{m})$$

$$\text{Οπλισμός διάτμησης: } \Psi 8/9.0 \quad (A_{sw}/s = 11.18 \text{cm}^2/\text{m})$$



Εικόνα 38. Δεδομένα – σκαρίφημα

Όνομα τμήματος υπολογισμών	ΥΠΟΣΤ.-001		
Σκυρόδεμα-Χάλυβας	C25/30 - S500		
Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_m (EC2 §2.4.2.4)	$\gamma_c = 1.50, \gamma_s = 1.15$		
Κατηγορία περιβάλλοντος	XC0		
Επικάλυψη οπλισμού (EC2 §4.4.1) [mm]	C _{nom} = 30	mm	
Επιθυμητή διάμετρος οπλισμού [mm]	∅ 20	mm σταθ. ∅ <input type="checkbox"/> ∅	
Πίνακας οπλισμού στο τεύχος	<input type="checkbox"/>		
Διάταξη οπλισμού			
Διαστάσεις διατομής [m]	b= 0.300	m h= 0.300	m D= 0.300 m
Κατακόρυφο φορτίο και ροπές	(αξονική δύναμη) Ned= 150.00	kN (διάτμηση) Ved= 100.00	kN
	(κάμψη) Med _{yy} = 37.50	kNm (όρια demo)	Med _{zz} = 37.50 kNm (όρια der)
Μήκος υποστυλώματος	όρια demo L= 3.000	m	Αριθμός υποστυλ. 1
Αριθμός υποδιαίρεσεων ανά πλευρά υποστυλώματος για αριθμητική ολοκλήρωση			n _y =n _z = 10

Εικόνα 39. Επιλογές – δεδομένα

ΥΠΟΣΤ.-002

Αντοχή υποστυλώματος (απλή εκκεντρότητα)

(EC2 EN1992-1-1:2004, EC0 EN1990:2002, +NA-ELOT:2010)

b =0.300 m, h =0.300 m

As=4Ψ20 (12.56cm²)

Υπολογισμοί οπλισμένου σκυροδέματος

Σκυρόδεμα-Χάλυβας : C25/30-B500C (EC2 §3)

Κατηγορία περιβάλλοντος : XC1 (EC2 §4.4.1)

Επικάλυψη οπλισμού : C_{nom}=20 mm (EC2 §4.4.1)

$\gamma_c=1.50, \gamma_s=1.15$ (EC2 Πίνακας 2.1N)

$f_{cd}=acc \cdot f_{ck}/\gamma_c=0.85 \times 25/1.50=14.17$ MPa (EC2 §3.1.6)

$f_{ctd}=act \cdot f_{ctk}0.05/\gamma_c=0.85 \times 1.8/1.50=1.02$ MPa (EC2 §3.1.6)

$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s=500/1.15=435$ MPa (EC2 §3.2.7)

Διαστάσεις, φορτία

Υποστυλωμα ορθογωνικής διατομής b=0.300 m, h=0.300 m

Οπλισμός 4Ψ20 (12.56cm²) Astot/Ac=1.40%

Ωφέλιμο ύψος διατομής $d=h-d_1$, $d_1=d_2=C_{nom}+\Psi_s+\Psi/2=20+8+20/2=38\text{mm}$,
 $dx=262\text{mm}$, $dy=262\text{mm}$

Αντοχή διατομής υποστυλώματος (απλή εκκεντρότητα)

(EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1)

Διάγραμμα αντοχής υποστυλώματος από αριθμητική ολοκλήρωση των τάσεων της διατομής

$b=0.300\text{m}$, $h=0.300\text{m}$, $b/h=1.00$, $d_1/h=0.13$, $d_1/b=0.13$, 4Ψ20 Astot=(12.56cm²),
Astot/Ac=1.40%

Μέγιστο φορτίο Ned, και μέγιστη ροπή Medyy

N= 1822kN, Myy= 0kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.50$)
N= 1579kN, Myy= 26kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.43$)
N= 1579kN, Myy= 26kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.36$)
N= 1579kN, Myy= 26kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.15$)
N= 1579kN, Myy= 26kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-2.80$)
N= 1579kN, Myy= 26kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-2.33$)
N= 1175kN, Myy= 68kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.00$)
N= 1107kN, Myy= 73kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.18$)
N= 1036kN, Myy= 78kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.39$)
N= 962kN, Myy= 83kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.62$)
N= 885kN, Myy= 88kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.88$)
N= 803kN, Myy= 93kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 1.17$)
N= 716kN, Myy= 98kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 1.50$)
N= 541kN, Myy= 107kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 2.33$)
N= 451kN, Myy= 104kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 3.50$)
N= 361kN, Myy= 100kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 5.25$)
N= 224kN, Myy= 88kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 8.17$)
N= 136kN, Myy= 79kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/10.50$)

Μέγιστο φορτίο N_{ed} , και μέγιστη ροπή M_{edz}

N= 1822kN, Mzz= 0kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.50$)
N= 1579kN, Mzz= 26kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.43$)
N= 1579kN, Mzz= 26kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.36$)
N= 1579kN, Mzz= 26kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.15$)
N= 1579kN, Mzz= 26kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-2.80$)
N= 1579kN, Mzz= 26kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-2.33$)
N= 1175kN, Mzz= 68kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.00$)
N= 1107kN, Mzz= 73kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.18$)
N= 1036kN, Mzz= 78kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.39$)
N= 962kN, Mzz= 83kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.62$)
N= 885kN, Mzz= 88kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.88$)
N= 803kN, Mzz= 93kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 1.17$)
N= 716kN, Mzz= 98kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 1.50$)
N= 541kN, Mzz= 107kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 2.33$)
N= 451kN, Mzz= 104kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 3.50$)
N= 361kN, Mzz= 100kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 5.25$)
N= 224kN, Mzz= 88kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 8.17$)
N= 136kN, Mzz= 79kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/10.50$)

ΠΛΑΚΑ-001

Διατομή συμπαγούς πλάκας σε κάμψη

(EC2 EN1992-1-1:2004, EC0 EN1990:2002, +NA-ELOT:2010)

h=0.180 m, Med=20.00 kNm

Υπολογισμοί οπλισμένου σκυροδέματος

Σκυρόδεμα-Χάλυβας : C25/30-B500C (EC2 §3)

Κατηγορία περιβάλλοντος : XC1 (EC2 §4.4.1)

Επικάλυψη οπλισμού : $C_{nom}=15$ mm (EC2 §4.4.1)

$\gamma_c=1.50$, $\gamma_s=1.15$ (EC2 Πίνακας 2.1N)

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 25 / 1.50 = 14.17 \text{ MPa} \quad (\text{EC2 } \S 3.1.6)$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk0.05} / \gamma_c = 0.85 \times 1.8 / 1.50 = 1.02 \text{ MPa} \quad (\text{EC2 } \S 3.1.6)$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 435 \text{ MPa} \quad (\text{EC2 } \S 3.2.7)$$

Διαστάσεις, φορτία

Πάχος πλάκας $h = 0.180 \text{ m}$, Ροπή κάμψης $M_{ed} = 20.00 \text{ kNm}$ (ULS), $M_{sd} = 14.00 \text{ kNm}$ (SLS)

Οφέλιμο ύψος διατομής $d = h - d_1$, $d_1 = C_{nom} + \Psi / 2 = 15 + 10 / 2 = 20 \text{ mm}$, $d = 180 - 20 = 160 \text{ mm}$

Διαστασιολόγηση έναντι αστοχίας σε κάμψη (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1, §9.3.1)

$$M_{ed}(\text{ULS}) = 20.00 \text{ kNm/m}$$

Διαστασιολόγηση έναντι αστοχίας σε κάμψη: Allgower, G.-Avak, R. Bemessungstabeln nach Eurocode 2

fur Rechteck und Plattenbalkenquerschnitte, In: Beton - und Stahlbetonbau 87 (1992)
($\sigma_c = f_{cd} [1 - (1 - \epsilon_c / \epsilon_{c2})^2]$, $f_{cd} = 14.17 \text{ MPa}$, $\epsilon_{c2} = 0.0020$, $\epsilon_{cu2} = 0.0035$, $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$)

$M_{ed} = 20.00 \text{ kNm/m}$, $d = 160 \text{ mm}$, $K_d = 3.58 \cdot x/d = 0.09$, $\epsilon_c / \epsilon_{s1} = -1.9 / 20.0$, $k_s = 2.38$, $A_s = 2.97 \text{ cm}^2/\text{m}$

Ελάχιστος οπλισμός πλάκας, $A_s \geq 0.26 b d \cdot f_{ctm} / f_{yk} = 2.16 \text{ cm}^2/\text{m}$, $s \leq 400 \text{ mm}$, $s' \leq 450 \text{ mm}$ (EC2 §9.3.1)

ελάχιστος οπλισμός κύριος οπλισμός $\Psi 10/36.0$ ($2.18 \text{ cm}^2/\text{m}$), δευτερεύων $\Psi 8/30.0$ ($1.68 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Οπλισμός πλάκας κύριος οπλισμός $\Psi 10/26.0$ ($3.02 \text{ cm}^2/\text{m}$), δευτερεύων $\Psi 8/30.0$ ($1.68 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Φέρουσα ικανότητα διατομής σε κάμψη (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1)

$$b = 1000 \text{ mm}, h = 180 \text{ mm}, d = 160 \text{ mm}, A_{s1} = 302 \text{ mm}^2$$

$$\epsilon_{c2} = -1.93\text{‰}, \epsilon_{s1} = 19.85\text{‰}, A_{s1} / b \cdot d = 0.00189 (0.189\%)$$

$$x/d = \epsilon_{c2} / (\epsilon_{c2} + \epsilon_{s1}) = 1.93 / (1.93 + 19.85) = 0.089, x = 14.2 \text{ mm}$$

$$\alpha_r = 0.655, k_a = 0.373, F_c = \alpha_r \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = F_{s1} = 131.51 \text{ kN}, A_{s1} = F_{s1} / f_{yd} = 302 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$z = d - k_a \cdot x = ([1 - k_a \cdot \epsilon_{c2} / (\epsilon_{c2} + \epsilon_{s1})] d), z/d = 1.0 - 0.373 \times 0.089 = 0.967, z = 154.7 \text{ mm},$$

$$K_d^2 = 1 / (0.655 \cdot 0.089 \cdot 0.967 \cdot 14.17) = 1.258 \text{ mm}^2/\text{N}, K_d = 1.122$$

$$\text{Καμπτική αντοχή } M_r = b \cdot d^2 / K_d^2 = [10^{-6}] \times 1000 \times 160^2 / 1.258 = 21.00 \text{ kNm}$$

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7)

Med(SLS)=14.00 kNm/m

Τελικός συντελεστής ερπυσμού $\varphi(\infty, t_0)=2.50$ (EC2 §3.1.4, Παράρτημα Β)

Ολική συστολή ξήρανσης $\epsilon_{cs}=-0.30\%$

$\gamma_c=1.00$, $\gamma_s=1.00$ (EC2 §2.4.2.4.2)

Μέτρο Ελαστικότητας σκυροδέματος $E_{cm}=31\text{GPa}$,
 $E_{c,eff}=31/(1+2.50)=8.86\text{GPa}=8860\text{MPa}$ (EC2 Εξ.7.20)

Μέτρο Ελαστικότητας χάλυβα $E_s=200\text{GPa}=200000\text{MPa}$

Λόγος μέτρων Ελαστικότητας $E_s/E_c=200/31=6.45$, ενεργό $E_s/E_{c,eff}=200/8.86=22.57$

Εφελκούμενος οπλισμός: $\Psi_{10}/260$ ($3.02\text{cm}^2/\text{m}$)

Λόγος οπλισμών $\rho=As_1/(b \cdot d)=302/(1000 \times 160)=0.002$

Κατάσταση I (αρηγμάτωτη διατομή) (SLS)

Δυσκαμψία αρηγμάτωτης διατομής, $EI=(200/22.57) \times (0.001 \times 0.517)=4580 \text{ kNm}^2$

$A_i=A_c+(n-1)(As_1+As_2)$, $e=(n-1)(As_1 \cdot y_1s-As_2 \cdot y_2s)/A_i$,

$I=I_c+b \cdot h \cdot e^2+(As_1 \cdot y_1s^2+As_2 \cdot y_2s^2)(n-1)$

$S=As \cdot y_2s=(0.001)^2 \times 302 \times 0.068=(0.001) \times 0.020 \text{ m}^3$, $y_2=88\text{mm}$, $y_2s=y_2-d_2=88-20=68\text{mm}$ (EC2 Εξ.7.21)

καμπυλότητα λόγω ροπής $1/rM=14.00/4580=(0.001) \times 3.057$ (1/m)

καμπυλότητα λόγω ξήρανσης

$1/r_{cs}=(0.001 \times 0.30) \times 22.57 \times (0.020/0.517)=(0.001) \times 0.267$ (1/m)

Ολική καμπυλότητα $1/r=(0.001) \times 3.057+(0.001) \times 0.267=(0.001) \times 3.324$ (1/m)

Ροπή ρηγμάτωσης, $M_{cr}=f_{ctm} \cdot (I/y_2)=2.6 \times (0.517/0.088)=15.35 \text{ kNm}$

Κατάσταση II (πλήρως ρηγματωμένη διατομή) (SLS)

$\rho=As/(b \cdot d)=0.002$, $n=ae=22.57$, $n \cdot \rho=0.045$, $\xi=0.677$, $\alpha=0.259$, $x=\alpha \cdot d=0.041\text{m}$

Δυσκαμψία πλήρως ρηγματωμένης διατομής,

$EI=\xi \cdot E_s \cdot As \cdot d^2=0.677 \times 200 \times 302 \times 0.160^2=1047 \text{ kNm}^2$

$y_2=(1-\alpha)d=119\text{mm}$, $\epsilon_s=y_2 \cdot M/EI=(0.001) \times 119 \times 14.00/1047=1.59$

$S=As \cdot y_2=(0.001)^2 \times 302 \times 0.119=(0.001) \times 0.036 \text{ m}^3$ (EC2 Εξ.7.21)

καμπυλότητα λόγω ροπής $1/rM=14.00/1047=(0.001) \times 13.367$ (1/m)

καμπυλότητα λόγω ξήρανσης

$1/r_{cs}=(0.001 \times 0.30) \times 22.57 \times (0.036/0.118)=(0.001) \times 0.469$ (1/m)

Ολική καμπυλότητα $1/r=(0.001) \times 13.367+(0.001) \times 0.469=(0.001) \times 13.836$ (1/m)

Med=14.00 kNm, $\epsilon_c/\epsilon_s=0.55/1.59$, $x=41\text{mm}$, $\sigma_s=317 \text{ N/mm}^2$

Έλεγχος παραμορφώσεων με άμεσο υπολογισμό (SLS) (EN1992-1-1, §7.4.3)

$\zeta=1-0.50 \cdot (M_{cr}/Med)^2=1-0.50 \times (15.35/14.00)^2=0.40$ (Εξ.7.19)

Τελική καμπυλότητα $(1/r)=0.40 \times (0.001 \times 13.836) + (1 - 0.40) \times (0.001 \times 3.324) = (0.001) \times 7.520 (1/m)$ (Εξ.7.18)

Ελάχιστα εμβαδα οπλισμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.2)

Ελάχιστα εμβαδά οπλισμού $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$ (EC2 Εξ.7.1)

$b = 1.000m$, $b_{eff} = 1.000m$, $h = 0.180m$, $d = 0.160m$, $x = 0.041m$, $\Psi = 10mm$

$N_{ed} = 0.00kN$, $\sigma_c = (N_{ed}/bh) = 0.0N/mm^2$, $\sigma_s = 435N/mm^2$

$A_{ct} = (h-x) \cdot b = (180-41) \times 1000 = 138608 mm^2$

$\max(h, b_1) = 0mm$, $f_{ctm} = 2.60N/mm^2$, $A_{ct} = 138608mm^2$, $k = 1.00$, $k_c = 0.40$, $k_1 = 1.50$

Ελάχιστος οπλισμός, $A_{s,min} = 0.40 \times 1.00 \times 2.60 \times 138608 / 435 = 331mm^2/m$

Υπολογισμός εύρους ρωγμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.3)

$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ (EC2 Εξ.7.8)

$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t \cdot (f_{ct,eff} / \rho_{eff}) (1 + a_e \cdot \rho_{eff})] / E_s \geq 0.6 \sigma_s / E_s$ (EC2 Eq.7.9)

$\sigma_s = 317N/mm^2$, μικρής διάρκειας φόρτιση: $E_s/E_c = 6.45$, $k_t = 0.6$, μικράς διάρκειας φόρτιση: $E_s/E_c = 22.57$, $k_t = 0.4$

$A_{c,eff} = 0.333(h-x)b = 0.333 \times (180-41) \times 1000 = 46157 mm^2$ (§7.3.2.3)

$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 302 / 46157 = 0.007$

$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = [317 - 0.4 \times (2.6 / 0.007) (1 + 22.57 \times 0.007)] / 200 = 0.67\text{‰} \geq 0.6 \times 317 / 200 = 0.95\text{‰}$

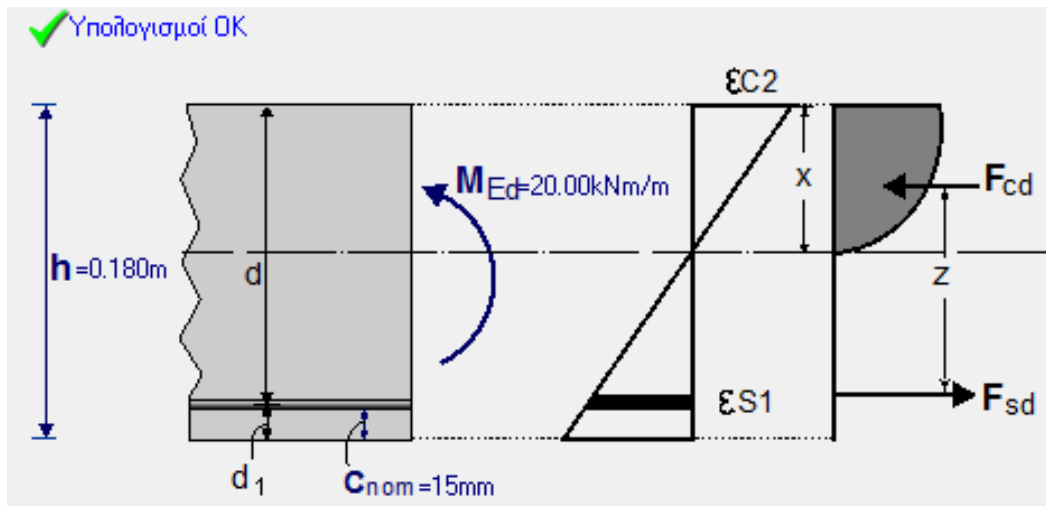
$s_{r,max} = k_3 \cdot C_{nom} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \{Z / \rho_{eff}$ (EC2 Εξ.7.11)

$\Psi = 10mm$, $k_1 = 0.8$, $k_2 = (e_1 + e_2) / 2e_1 = 0.5$, $k_3 = 3.4$, $k_4 = 0.425$

$s_{r,max} = 3.4 \times 15.00 + 0.8 \times 0.5 \times 0.425 \times 10 / 0.007 = 310.82 mm$

$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 310.82 \times 0.001 \times 0.95 = 0.30 mm$

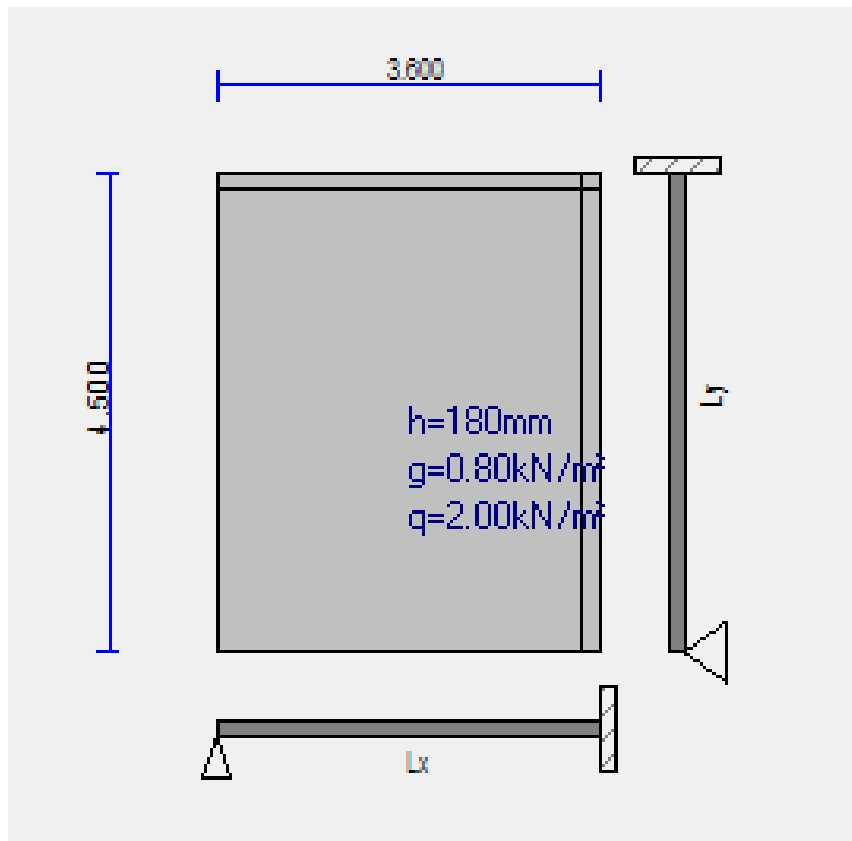
$w_k = 0.30mm \leq 0.40mm = w_{max}$, Κατηγορία περιβάλλοντος: XC1, Πλάτος ρωγμής κάτω ορίου



Εικόνα 40. Σκαρίφημα πλάκας.

Όνομα τμήματος υπολογισμών	ΠΛΑΚΑ-002	
Σκυρόδεμα-Χάλυβας	C25/30 - B500C	
Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γm (EC2 §2.4.2.4)	γc= 1.50 , γs= 1.15	
Τελικός συντελεστής ερπισμού (EC2 §3.1.4, Παράρτημα Β)	$\varphi(\infty, t_0) =$	2.500
Ολική συστολή ξήρανσης	$\epsilon_{CS} =$	0.300 ‰
Μέγιστο εύρος ρωγμής	wk [mm]=	0.40
Πάχος πλάκας [m]	h= 0.180	m h=180 mm
Κατηγορία περιβάλλοντος	XC1	
Επικάλυψη οπλισμού (EC2 §4.4.1) [mm]	Cnom=	15 mm
Επιθυμητή διάμετρος οπλισμού [mm]	∅	10 mm σταθ. ∅ <input type="checkbox"/> ∅ <input checked="" type="checkbox"/>
Ροπή κάμψης (1.35g+1.50q) (Οριακή κατάσταση φέρουσας ικανότητας (ULS))	Med (ULS)=	20.00 kNm/m
Ροπή κάμψης (1.00g+0.30q) (Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS))	Med (SLS)=	14.00 kNm/m

Εικόνα 41. Δεδομένα υπολογισμού πλάκας.



Εικόνα 42. Σκαρίφημα τετραέρειστης πλάκας.

Όνομα τμήματος υπολογισμών	ΠΛΑΚΑ-002	
Σκυρόδεμα-Χάλυβας	C25/30 - B500C	
Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_m (EC2 §2.4.2.4)	$\gamma_c = 1.50$, $\gamma_s = 1.15$	
Συντελεστές ασφαλείας δράσεων : (EN1990, A1)	$\gamma_G = 1.35$	$\gamma_Q = 1.50$
Συντελεστές συνδυασμού δράσεων	$\psi_0 = 0.70$	$\psi_1 = 0.60$
		$\psi_2 = 0.30$
Τελικός συντελεστής ερυσμού (EC2 §3.1.4, Παράρτημα Β)	$\varphi(\infty, t_0) = 2.500$	
Ολική συστολή ξήρανσης	$\epsilon_{CS} = -0.300$ ‰	
Μέγιστο εύρος ρωγμής	w_k [mm]= 0.40	
Κατηγορία περιβάλλοντος	XC1	
Επικάλυψη οπλισμού (EC2 §4.4.1) [mm]	$C_{nom} = 15$ mm	σταθερή Φ
Επιθυμητή διάμετρος οπλισμού [mm]	$\varnothing 10$ mm	x-x <input type="checkbox"/> y-y <input type="checkbox"/>
Πίνακας οπλισμού στο τεύχος	<input checked="" type="checkbox"/>	
Πάχος πλάκας [m]	$h = 0.180$ m	$h = 180$ mm
Είδος πλάκας, πλευρές L_x, L_y [m]	$L_x = 3.600$ m	$L_y = 4.500$ m
Μέθοδος ανάλυσης	Czerny	Συστροφή NAI
Φορτία (g =μόνιμο- q =κινητό), ομοιόμορφο [kN/m ²]	$g_1 = 0.80$ kN/m ²	$q = 2.00$ kN/m ²

Εικόνα 43. Στοιχεία υπολογισμού πλάκας.

ΠΛΑΚΑ-002

Πλάκα συμπαγής, τετραέρειστη

(EC2 EN1992-1-1:2004, EC0 EN1990:2002, +NA-ELOT:2010)

Υπολογισμοί οπλισμένου σκυροδέματος

Σκυρόδεμα-Χάλυβας : C25/30-B500C (EC2 §3)

Κατηγορία περιβάλλοντος : XC1 (EC2 §4.4.1)

Επικάλυψη οπλισμού : $C_{nom} = 15$ mm (EC2 §4.4.1)

Βάρος σκυροδέματος : 25.0 kN/m³

$\gamma_c = 1.50$, $\gamma_s = 1.15$ (EC2 Πίνακας 2.1N)

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 25 / 1.50 = 14.17$ MPa (EC2 §3.1.6)

$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk} \cdot 0.05 / \gamma_c = 0.85 \times 1.8 / 1.50 = 1.02$ MPa (EC2 §3.1.6)

$$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s=500/1.15=435 \text{ MPa} \quad (\text{EC2 } \S 3.2.7)$$

Διαστάσεις, φορτία

Πάχος πλάκας $h=0.180 \text{ m}$, Ανοίγματα $L_x=3.600 \text{ m}$, $L_y=4.500 \text{ m}$

Ίδιο βάρος πλάκας: $g_0=25.00 \times 0.180=4.50 \text{ kN/m}^2$

Φορτία πλάκας: μόνιμο $g=(4.50+0.80)=5.30 \text{ kN/m}^2$, κινητό $q=2.00 \text{ kN/m}^2$

Συντελεστές ασφαλείας δράσεων : $\gamma_G=1.35$, $\gamma_Q=1.50$ (EC0 Παράρτημα A1)

Συνδυασμός μεταβλητών δράσεων : $\psi_0=0.70$, $\psi_1=0.60$, $\psi_2=0.30$

Ωφέλιμο ύψος διατομής $d=h-d_1$, $d_1=C_{nom}+\Psi/2=15+10/2=20\text{mm}$, $d=180-20=160\text{mm}$

Μέθοδος ανάλυσης: Czerny F., Tafeln fur vierseitig und dreiseitig gelagerte

Rechteckplatten , Beton Kalender 1983, Berlin, Ernst Sohn, 1983

$L_y/L_x=4.500/3.600=1.25$, Πινακας 2.2.4

Διαστασιολόγηση έναντι αστοχίας σε κάμψη (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1, §9.3.1)

Φορτίο (STR) $q_{ed}=\gamma_G \cdot g+\gamma_Q \cdot q=1.35g+1.50q=1.35 \times 5.30+1.50 \times 2.00=10.16 \text{ kN/m}$

Διεύθυνση επίλυσης πλάκας x-x, $L_x=3.600 \text{ m}$

Ροπή στήριξης $M_{ed\text{sup}A}=0 \text{ kNm/m}$

Ροπή στήριξης $M_{ed\text{sup}B}=(1.35 \times 5.30+1.50 \times 2.00) \times 3.600^2/11.10=-11.86 \text{ kNm/m}$

Ροπή ανοίγματος $M_{ed\text{span}}=(1.35 \times 5.30+1.50 \times 2.00) \times 3.600^2/28.00=4.70 \text{ kNm/m}$

Αντιδράσεις μόνιμα, $V_{gA}=5.30 \times 3.600/2.53=7.54$ $V_{gB}=5.30 \times 3.600/1.72=11.09 \text{ kN/m}$

Αντιδράσεις κινητά, $V_{qA}=2.00 \times 3.600/2.53=2.85$ $V_{qB}=2.00 \times 3.600/1.72=4.19 \text{ kN/m}$

Διεύθυνση επίλυσης πλάκας y-y, $L_y=4.500 \text{ m}$

Ροπή στήριξης $M_{ed\text{sup}A}=0 \text{ kNm/m}$

Ροπή στήριξης $M_{ed\text{sup}B}=(1.35 \times 5.30+1.50 \times 2.00) \times 3.600^2/12.90=-10.20 \text{ kNm/m}$

Ροπή ανοίγματος $M_{ed\text{span}}=(1.35 \times 5.30+1.50 \times 2.00) \times 3.600^2/45.60=2.89 \text{ kNm/m}$

Αντιδράσεις μόνιμα, $V_{gA}=5.30 \times 3.600/2.56=7.45$ $V_{gB}=5.30 \times 3.600/1.86=10.26 \text{ kN/m}$

Αντιδράσεις κινητά, $V_{qA}=2.00 \times 3.600/2.56=2.81$ $V_{qB}=2.00 \times 3.600/1.86=3.87 \text{ kN/m}$

Διαστασιολόγηση έναντι αστοχίας σε κάμψη (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1, §9.3.1)

$M_{ed}=4.70 \text{ kNm/m}$, $d=160\text{mm}$, $K_d=7.38$ $x/d=0.04$ $\epsilon_c/\epsilon_{s1}=-0.8/20.0$ $k_s=2.33$, $A_s=0.68 \text{ cm}^2/\text{m}$

Med= 2.89kNm/m, d=150mm, Kd= 8.83 x/d=0.03 $\epsilon_c^2/\epsilon_s^1=-0.7/20.0$ ks=2.32, As= 0.45cm²/m

Med=-11.86kNm/m, d=160mm, Kd= 4.65 x/d=0.06 $\epsilon_c^2/\epsilon_s^1=-1.4/20.0$ ks=2.35, As= 1.74cm²/m

Med=-10.20kNm/m, d=160mm, Kd= 5.01 x/d=0.06 $\epsilon_c^2/\epsilon_s^1=-1.2/20.0$ ks=2.35, As= 1.50cm²/m

Ελάχιστος οπλισμός πλάκας, As>=0.26bd·fctm/fyk =2.16cm²/m, s<=400mm, s'<=450mm (EC2 §9.3.1)

ελάχιστος οπλισμός κύριος οπλισμός Ψ10/36.0 (2.18cm²/m), δευτερεύων Ψ10/30.0 (2.18cm²/m)

Οπλισμοί ανοιγμάτων: x-x Ψ10/36.0 (2.18cm²/m) (κάτω στρώση)

y-y Ψ10/36.0 (2.18cm²/m)

Οπλισμοί στηρίξεων: Αριστ Ψ 8/45.0 (1.12cm²/m)

Δεξιά Ψ10/36.0 (2.18cm²/m)

Κάτω Ψ 8/45.0 (1.12cm²/m)

Πάνω Ψ10/36.0 (2.18cm²/m)

Διαστασιολόγηση για τέμνουσα (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.2, §9.2.2)

Μέγιστες τέμνουσες σε απόσταση d από παρειά στήριξης maxV=20.44 kN/m

Αντοχή τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης Vrdc (EC2 §6.2.2)

$V_{rdc}=[C_{rdc} \cdot k \cdot (100\rho_1 \cdot f_{ck})^{0.33} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Εξ.6.2.a)

$V_{rdc} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Εξ.6.2.b)

$C_{rdc} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.50 = 0.120$, $f_{ck} = 25\text{MPa}$, $b_w = 1000\text{mm}$, $d = 160\text{mm}$

$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$, $k = 2.00$, $k_1 = 0.15$

$\rho_1 = A_{s1}/(b_w \cdot d) = 218/(1000 \times 160) = 0.0014$

$v_{min} = 0.0350 \cdot k \cdot 1.50 \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.49\text{N/mm}^2$, (EC2 Εξ.6.3N)

$V_{rd,c(min)} = 0.001 \times (0.49) \times 1000 \times 160 = 78.40\text{kN/m}$

$V_{rdc} = 0.001 \times [0.120 \times 2.00 \times (0.14 \times 25)^{0.33}] \times 1000 \times 160 = 58.30$, $V_{rdc} = 78.40\text{kN/m}$

$V_{ed} = 20.44\text{ kN/m} \leq V_{rdc} = 78.40\text{ kN/m}$, $V_{ed} \leq V_{rdc}$ δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7)

L=3.600m, b=1.000m, h=0.180m, d=0.160m

Φορτίο (ημι-μόνιμος συνδυασμός) $q_{ed} = g + \psi_2 \cdot q = 5.30 + 0.30 \times 2.00 = 5.90\text{ kN/m}$

$L_x < L_y$, $L_{eff} = 3.600\text{m}$, $M_{ed} = (5.90/10.16) \times 4.70 = 2.73 \text{ kNm/m}$, $M_{ed}(SLS) = 2.73 \text{ kNm/m}$

Τελικός συντελεστής ερπυσμού $\varphi(\infty, t_0) = 2.50$ (EC2 §3.1.4, Παράρτημα Β)

Ολική συστολή ξήρανσης $\epsilon_{cs} = -0.30\text{‰}$

$\gamma_c = 1.00$, $\gamma_s = 1.00$ (EC2 §2.4.2.4.2)

Μέτρο Ελαστικότητας σκυροδέματος $E_{cm} = 31\text{GPa}$,

$E_{c,eff} = 31 / (1 + 2.50) = 8.86\text{GPa} = 8860\text{MPa}$ (EC2 Εξ.7.20)

Μέτρο Ελαστικότητας χάλυβα $E_s = 200\text{GPa} = 200000\text{MPa}$

Λόγος μέτρων Ελαστικότητας $E_s/E_c = 200/31 = 6.45$, ενεργό $E_s/E_{c,eff} = 200/8.86 = 22.57$

Εφελκόμενος οπλισμός: $\Psi 10/360$ ($2.18\text{cm}^2/\text{m}$)

Λόγος οπλισμών $\rho = A_s / (b \cdot d) = 218 / (1000 \times 160) = 0.001$

Κατάσταση I (αρηγμάτωτη διατομή) (SLS)

Δυσκαμψία αρηγμάτωτης διατομής, $EI = (200/22.57) \times (0.001 \times 0.508) = 4506 \text{ kNm}^2$

$A_i = A_c + (n-1)(A_{s1} + A_{s2})$, $e = (n-1)(A_{s1} \cdot y_{1s} - A_{s2} \cdot y_{2s}) / A_i$,

$I = I_c + b \cdot h \cdot e^2 + (A_{s1} \cdot y_{1s}^2 + A_{s2} \cdot y_{2s}^2)(n-1)$

$S = A_s \cdot y_{2s} = (0.001)^2 \times 218 \times 0.068 = (0.001) \times 0.015 \text{ m}^3$, $y_2 = 88\text{mm}$, $y_{2s} = y_2 - d = 88 - 20 = 68\text{mm}$ (EC2 Εξ.7.21)

καμπυλότητα λόγω ροπή $1/r_M = 2.73/4506 = (0.001) \times 0.606$ (1/m)

καμπυλότητα λόγω ξήρανσης

$1/r_{cs} = (0.001 \times 0.30) \times 22.57 \times (0.015/0.508) = (0.001) \times 0.198$ (1/m)

Ολική καμπυλότητα $1/r = (0.001) \times 0.606 + (0.001) \times 0.198 = (0.001) \times 0.804$ (1/m)

Ροπή ρηγμάτωσης t , $M_{cr} = f_{ctm} \cdot (I/y_2) = 2.6 \times (0.508/0.088) = 14.99 \text{ kNm}$

Κατάσταση II (πλήρως ρηγματωμένη διατομή) (SLS)

$\rho = A_s / (b \cdot d) = 0.001$, $n = \alpha_e = 22.57$, $n \cdot \rho = 0.023$, $\xi = 0.757$, $\alpha = 0.191$, $x = \alpha \cdot d = 0.031\text{m}$

Δυσκαμψία πλήρως ρηγματωμένης διατομής,

$EI = \xi \cdot E_s \cdot A_s \cdot d^2 = 0.757 \times 200 \times 218 \times 0.160^2 = 845 \text{ kNm}^2$

$y_2 = (1 - \alpha)d = 129\text{mm}$, $\epsilon_s = y_2 \cdot M / EI = (0.001) \times 129 \times 2.73 / 845 = 0.42$

$S = A_s \cdot y_2 = (0.001)^2 \times 218 \times 0.129 = (0.001) \times 0.028 \text{ m}^3$ (EC2 Εξ.7.21)

καμπυλότητα λόγω ροπή $1/r_M = 2.73/845 = (0.001) \times 3.230$ (1/m)

καμπυλότητα λόγω ξήρανσης

$1/r_{cs} = (0.001 \times 0.30) \times 22.57 \times (0.028/0.095) = (0.001) \times 0.376$ (1/m)

Ολική καμπυλότητα $1/r = (0.001) \times 3.230 + (0.001) \times 0.376 = (0.001) \times 3.606$ (1/m)

$M_{ed} = 2.73 \text{ kNm}$, $\epsilon_c / \epsilon_s = 0.10/0.42$, $x = 31\text{mm}$, $\sigma_s = 84 \text{ N/mm}^2$

Έλεγχος παραμορφώσεων χωρίς άμεσο υπολογισμό (SLS) (EC2 §7.4.2)

$l/d = K[11 + 1.5f_{ck}^{1/2}(\rho_0/\rho) + 3.2 f_{ck}^{1/2}(\rho_0/\rho - 1)^{3/2}] = 229.45$ (EC2 Εξ.7.16a)

$f_{ck}=25.00\text{N/mm}^2$, $\rho_o=0.001 \times 25.00^{1/2}=0.005$, $\rho=0.001$, $\rho'=0.000$, $\rho \leq \rho_o$, $K=1.3$

$l/d=(310/\sigma_s) \times (l/d)$, $\sigma_s=84\text{ N/mm}^2$, $l/d=(310/84) \times 229.45=850.64$ (EC2 Εξ.7.17)

$l_{eff}/d=3.600/0.160=22.50 \leq 850.64$, Ανοιγμα/ύψος κάτω ορίου

Έλεγχος παραμορφώσεων με άμεσο υπολογισμό (SLS) (EN1992-1-1, §7.4.3)

$M_{ed}=2.73 < 0.70 \times M_{cr}=0.70 \times 14.99=10.49\text{ kNm}$, $\zeta=0.00$ (Εξ.7.19)

Τελική καμπυλότητα $(1/r)=0.00 \times (0.001 \times 3.606) + (1-$

$0.00) \times (0.001 \times 0.804) = (0.001) \times 0.804 (1/m)$ (Εξ.7.18)

$\beta=(M_a+M_b)/M_c=(0.00+11.86)/4.70=2.52$, $k=0.104(1-2.52/10)=0.0778$

$f=k \cdot l_{eff}^2 \cdot (1/r)=0.0778 \times 3.600^2 \times 0.804=0.81\text{ mm}$

$f=0.81\text{mm} \leq 1000 \times 3.600/250=14.40\text{mm}$, Παραμόρφωση κάτω ορίου

Ελάχιστα εμβαδα οπλισμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.2)

Ελάχιστα εμβαδά οπλισμού $A_{s,min}=k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}/\sigma_s$ (EC2 Εξ.7.1)

$b=1.000\text{m}$, $b_{eff}=1.000\text{m}$, $h=0.180\text{m}$, $d=0.160\text{m}$, $x=0.031\text{m}$, $\Psi=10\text{mm}$

$N_{ed}=0.00\text{kN}$, $\sigma_c=(N_{ed}/bh)=0.0\text{N/mm}^2$, $\sigma_s=435\text{N/mm}^2$

$A_{ct}=(h-x) \cdot b=(180-31) \times 1000=149426\text{ mm}^2$

$\max(h,b_1)=0\text{mm}$, $f_{ctm}=2.60\text{N/mm}^2$, $A_{ct}=149426\text{mm}^2$, $k=1.00$, $k_c=0.40$, $k_1=1.50$

Ελάχιστος οπλισμός, $A_{s,min}=0.40 \times 1.00 \times 2.60 \times 149426/435=357\text{mm}^2/\text{m}$

Υπολογισμός εύρους ρωγμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.3)

$w_k=s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm})$ (EC2 Εξ.7.8)

$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}=[\sigma_s-k_t \cdot (f_{ct,eff}/\rho_{eff})(1+a_e \cdot \rho_{eff})]/E_s \geq 0.6 \sigma_s/E_s$ (EC2 Eq.7.9)

$\sigma_s=84\text{N/mm}^2$, μικρής διάρκειας φόρτιση: $E_s/E_c=6.45$, $k_t=0.6$, μικράς διάρκειας φόρτιση: $E_s/E_c=22.57$, $k_t=0.4$

$A_{c,eff}=0.333(h-x)b=0.333 \times (180-31) \times 1000=49759\text{ mm}^2$ (§7.3.2.3)

$\rho_{eff}=A_s/A_{c,eff}=218/49759=0.004$

$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}=[84-0.4 \times (2.6/0.004)(1+22.57 \times 0.004)]/200=-0.89\text{‰} \geq 0.6 \times 84/200=0.25\text{‰}$

$s_{r,max}=k_3 \cdot C_{nom}+k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \{Z/\rho_{eff}$ (EC2 Εξ.7.11)

$\Psi=10\text{mm}$, $k_1=0.8$, $k_2=(e_1+e_2)/2e_1=0.5$, $k_3=3.4$, $k_4=0.425$

$s_{r,max}=3.4 \times 15.00+0.8 \times 0.5 \times 0.425 \times 10/0.004=439.03\text{ mm}$

$w_k=s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm})=439.03 \times 0.001 \times 0.25=0.11\text{ mm}$

$w_k=0.11\text{mm} \leq 0.40\text{mm}=w_{max}$, Κατηγορία περιβάλλοντος: XC1, Πλάτος ρωγμής κάτω ορίου

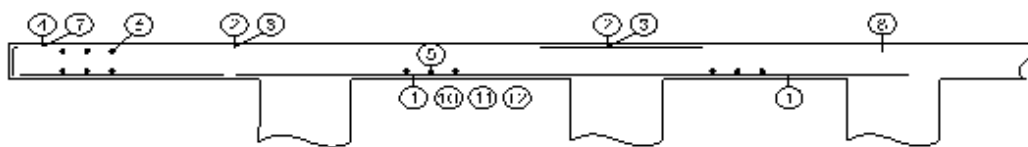
ΠΛΑΚΑ-002

Κατάλογος οπλισμού

α/α	είδ.	οπλισμός [mm]	τεμν.	∅	g/m [kg/m]	μήκος [m]	βάρος [kg]
1	①	4080	12	10	0.617	4.080	30.21
2	①	4880	10	10	0.617	4.980	30.73
3	②	2340	10	8	0.395	2.340	9.24
4	②	2480	12	10	0.617	2.480	18.36
5	②	2790	8	8	0.395	2.790	8.82
6	②	2930	10	10	0.617	2.930	18.08

Ολικό βάρος [kg]

115.44



Πίνακας 11. Οπλισμός

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

ΔΟΚΟΣ-001

Διατομή δοκού σε κάμψη, διάτμηση και αξονική δύναμη
(EC2 EN1992-1-1:2004, EC0 EN1990:2002, +NA-ELOT:2010)

**$b \times h = 0.250 \times 0.500$ m, $M_{ed} = 100.00$ kNm,
 $V_{ed} = 10.00$ kN, $N_{ed} = 10.00$ kN**

Υπολογισμοί οπλισμένου σκυροδέματος

Σκυρόδεμα-Χάλυβας : **C40/50-B500C** (EC2 §3)
Κατηγορία περιβάλλοντος : XC1 (EC2 §4.4.1)
Επικάλυψη οπλισμού : $C_{nom} = 20$ mm (EC2 §4.4.1)
 $\gamma_c = 1.50$, $\gamma_s = 1.15$ (EC2 Πίνακας 2.1N)
 $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 40 / 1.50 = 22.67$ MPa (EC2 §3.1.6)
 $f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk} \cdot 0.05 / \gamma_c = 0.85 \times 2.5 / 1.50 = 1.42$ MPa (EC2 §3.1.6)
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 435$ MPa (EC2 §3.2.7)

Διαστάσεις, φορτία

Πλάτος δοκού $b = 0.250$ m, ύψους $h = 0.500$ m
Ωφέλιμο ύψος διατομής $d_1 = C_{nom} + \varnothing_s + 0.5\varnothing_s = 20 + 8 + 0.5 \times 14 = 35$ mm, $d_2 = 35$ mm,
 $d = 500 - 35 = 465$ mm

Οριακή κατάσταση φέρουσας ικανότητας (ULS)

Ροπή κάμψης $M_{ed} = 100.00$ kNm, τέμνουσα $V_{ed} = 10.00$ kN, αξονική δύναμη
 $N_{ed} = 10.00$ kN (εφελκυσμός)

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS)

Ροπή κάμψης $M_{ed} = 70.00$ kNm, τέμνουσα $V_{ed} = 7.00$ kN, αξονική δύναμη $N_{ed} = 7.00$ kN
(εφελκυσμός)

Διαστασιολόγηση για κάμψη με αξονική δύναμη (ULS) (EC2 §6.1, §9.2.1)

Διαστασιολόγηση έναντι αστοχίας σε κάμψη: Allgower, G.-Avak, R. Bemessungstabeln nach Eurocode 2

fur Rechteck und Plattenbalkenquerschnitte, In: Beton - und Stahlbetonbau 87 (1992)

Οπλισμός έναντι κάμψης με αξονική δύναμη (δεν απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός)

$M_{ed} = 100$ kNm $N_{sd} = 10$ kN $b_w = 250$ mm $d = 465$ mm $K_d = 2.35$ $x/d = 0.11$ $\epsilon_{c2} / \epsilon_{s1} = 2.6 / 20.0$ $k_s = 2.41$, $A_{s1} = 5.29$ cm²

Ελάχιστος διαμήκης οπλισμός, $A_s \geq 0.26 b d \cdot f_{ctm} / f_{yk}$, ($A_{s, \min} = 2.12$ cm²) (EC2 §9.2.1.1.1)

Μέγιστος διαμήκης οπλισμός, $A_s \leq 0.04 A_c$, ($A_{s, \max} = 50.00$ cm²) (EC2 §9.2.1.1.3)

Διαμήκης οπλισμός: 2Ø14+2Ø12 (5.34cm²) (κάτω πέλμα)

Φέρουσα ικανότητα διατομής σε κάμψη (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1)

$b = 250$ mm, $h = 500$ mm, $d = 465$ mm, $A_{s1} = 534$ mm², $A_{s2} = 0$ mm²
 $\epsilon_{c2} = -2.66\%$, $\epsilon_{s1} = 19.93\%$, $A_{s1} / b \cdot d = 0.00460$ (0.460%)

$x/d = \epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_s) = 2.66 / (2.66 + 19.93) = 0.118$, $x = 54.8 \text{ mm}$
 $a_r = 0.749$, $k_a = 0.396$, $F_c = a_r \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = F_{s1} = 232.55 \text{ kN}$, $A_{s1} = F_{s1} / f_{yd} = 535 \text{ mm}^2$
 $z = d - k_a \cdot x = ([1 - k_a \cdot \epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_s)])d$, $z/d = 1.0 - 0.396 \cdot 0.118 = 0.953$, $z = 443.3 \text{ mm}$,
 $K_d^2 = 1 / (0.749 \cdot 0.118 \cdot 0.953 \cdot 22.67) = 0.524 \text{ mm}^2/\text{N}$, $K_d = 0.724$

Καμπτική αντοχή $M_r = b \cdot d^2 / K_d^2 = [10^{-6}] \cdot 250 \cdot 465^2 / 0.524 = 104.00 \text{ kNm}$

Διαστασιολόγηση για τέμνουσα (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.2, §9.2.2)

Αντοχή τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης V_{rdc} (EC2 §6.2.2)

$V_{rdc} = [C_{rdc} \cdot k \cdot (100 \rho_1 \cdot f_{ck})^{0.33} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Εξ.6.2.a)

$V_{rdc} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Εξ.6.2.b)

$C_{rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.50 = 0.120$, $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$, $b_w = 250 \text{ mm}$, $d = 465 \text{ mm}$

$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$, $k = 1.66$, $k_1 = 0.15$

$\rho_1 = A_{s1} / (b_w \cdot d) = 534 / (250 \cdot 465) = 0.0046$

$\sigma_{cp} = N_{ed} / A_c = -1000 \cdot 10.00 / 125000 = -0.08 \text{ N/mm}^2$

$v_{min} = 0.0350 \cdot k^{1.50} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.47 \text{ N/mm}^2$, (EC2 Εξ.6.3N)

$V_{rd,c(min)} = 0.001 \cdot x \cdot (0.47 - 0.15 \cdot 0.08) \cdot 250 \cdot 465 = 53.24 \text{ kN}$

$V_{rdc} = 0.001 \cdot x \cdot [0.120 \cdot 1.66 \cdot (0.46 \cdot 40)^{0.33} - 0.15 \cdot 0.08] \cdot 250 \cdot 465 = 59.74 \text{ kN}$

$V_{ed} = 10.00 \text{ kN} \leq V_{rdc} = 59.74 \text{ kN}$, $V_{ed} \leq V_{rdc}$ δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης

Αντοχή λοξής θλίψης σκυροδέματος V_{rdmax} (EC2 §6.2.3 Εξ.6.9)

$V_{rdmax} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$, $V_{ed} / \max(V_{rdmax}) = 0.02$, $\theta = 21.8^\circ$ $\cot \theta = 2.50$
 $\tan \theta = 0.40$

$\alpha_{cw} = 1.00$ $z = 0.9d$, $f_{ck} = 40.0 \leq 60 \text{ MPa}$ $v_1 = 0.6 [1 - f_{ck} / 250] = 0.6 [1 - 40 / 250] = 0.504$,

$f_{cd} = 22.67 \text{ MPa}$

$V_{rdmax} = 0.001 \cdot 1.00 \cdot 250 \cdot 0.9 \cdot 465 \cdot 0.504 \cdot 22.67 / 2.90 = 412.2 \text{ kN}$

Ελάχιστος οπλισμός συνδετήρων (EC2 §9.2.2)

Ποσοστό ελάχιστου οπλισμού διάτμησης $\rho_{w,min}$ (EC2 Εξ.9.5N)

$\rho_{w,min} = (0.08 \cdot x \cdot f_{ck})^{0.5} / f_{yk}$, $f_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$, $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$, $\rho_{w,min} = 0.0010$

$\min A_{sw}/s = 10 \cdot 0.0010 \cdot 250 \cdot \sin(90^\circ) = 2.50 \text{ cm}^2/\text{m}$

Μέγιστη απόσταση συνδετήρων $s_{lmax} = 0.75d$ ($\leq 600 \text{ mm}$) = 345mm (EC2 §9.2.2.6, Εξ.9.6N)

Μέγιστη απόσταση σκελών συνδετήρων $s_{tmax} = 0.75d$ ($\leq 600 \text{ mm}$) = 345mm (§9.2.2.8, Εξ.9.8N)

Ελάχιστος οπλισμός διάτμησης $\emptyset 8/34.5$ ($A_{sw}/s = 2.92 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Οπλισμός διάτμησης: $\emptyset 8/34.5$ ($A_{sw}/s = 2.92 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7)

$M_{ed}(SLS) = 70.00 \text{ kNm}$, $V_{ed}(SLS) = 7.00 \text{ kN}$, $N_{ed}(SLS) = 7.00 \text{ kN}$

Τελικός συντελεστής ερπυσμού $\varphi(\infty, t_0) = 2.50$ (EC2 §3.1.4, Παράρτημα Β)

Ολική συστολή ξήρανσης $\epsilon_{cs} = -0.30\%$

$\gamma_c = 1.00$, $\gamma_s = 1.00$ (EC2 §2.4.2.4.2)

Μέτρο Ελαστικότητας σκυροδέματος $E_{cm} = 35 \text{ GPa}$,

$E_{c,eff} = 35 / (1 + 2.50) = 10.00 \text{ GPa} = 10000 \text{ MPa}$ (EC2 Εξ.7.20)

Μέτρο Ελαστικότητας χάλυβα $E_s = 200 \text{ GPa} = 200000 \text{ MPa}$

Λόγος μέτρων Ελαστικότητας $E_s/E_{c,eff} = 200/35 = 5.71$, ενεργό

$E_s/E_{c,eff} = 200/10.00 = 20.00$

Εφελκόμενος οπλισμός: $2\emptyset 14 + 2\emptyset 12$ (5.34 cm^2)

Λόγος οπλισμών $\rho = A_{s1} / (b \cdot d) = 534 / (250 \cdot 465) = 0.005$

Κατάσταση I (αρηγμάτωση διατομή) (SLS)

Δυσκαμψία αρηγμάτωσης διατομής, $EI = (200/20.00) \cdot x \cdot (0.001 \cdot 3.038) = 30380 \text{ kNm}^2$

$A_i = A_c + (n-1)(A_{s1} + A_{s2})$, $e = (n-1)(A_{s1} \cdot y_{1s} - A_{s2} \cdot y_{2s}) / A_i$,

$I = I_c + b \cdot h \cdot e^2 + (A_{s1} \cdot y_{1s}^2 + A_{s2} \cdot y_{2s}^2)(n-1)$

$S=As \cdot y_2^2=(0.001)^2 \times 534 \times 0.199=(0.001) \times 0.106 \text{ m}^3$, $y_2=234\text{mm}$, $y_2s=y_2-d_2=234-35=199\text{mm}$ (EC2 Εξ.7.21)

καμπυλότητα λόγω ροπής $1/r_M=70.00/30380=(0.001) \times 2.304$ (1/m)

καμπυλότητα λόγω ξήρανσης

$1/r_{cs}=(0.001 \times 0.30) \times 20.00 \times (0.106/3.038)=(0.001) \times 0.210$ (1/m)

Ολική καμπυλότητα $1/r=(0.001) \times 2.304+(0.001) \times 0.210=(0.001) \times 2.514$ (1/m)

Ροπή ρηγμάτωσης $M_{cr}=f_{ctm} \cdot (I/y_2)=3.5 \times (3.038/0.234)=45.47 \text{ kNm}$

Κατάσταση II (πλήρως ρηγματωμένη διατομή) (SLS)

$\rho=As/(b \cdot d)=0.005$, $n=ae=20.00$, $n \cdot \rho=0.100$, $\xi=0.565$, $\alpha=0.358$, $x=\alpha \cdot d=0.167\text{m}$

Δυσκαμψία πλήρως ρηγματωμένης διατομής,

$EI=\xi \cdot E_s \cdot As \cdot d^2=0.565 \times 200 \times 534 \times 0.465^2=13050 \text{ kNm}^2$

$y_2=(1-\alpha)d=298\text{mm}$, $\epsilon_s=y_2 \cdot M/EI=(0.001) \times 298 \times 70.00/13050=1.60$

$S=As \cdot y_2^2=(0.001)^2 \times 534 \times 0.298=(0.001) \times 0.159 \text{ m}^3$ (EC2 Εξ.7.21)

καμπυλότητα λόγω ροπής $1/r_M=70.00/13050=(0.001) \times 5.364$ (1/m)

καμπυλότητα λόγω ξήρανσης

$1/r_{cs}=(0.001 \times 0.30) \times 20.00 \times (0.159/1.305)=(0.001) \times 0.315$ (1/m)

Ολική καμπυλότητα $1/r=(0.001) \times 5.364+(0.001) \times 0.315=(0.001) \times 5.679$ (1/m)

$M_{ed}=70.00 \text{ kNm}$, $N_{ed}=7.00 \text{ kN}$, $\epsilon_c/\epsilon_s=0.89/1.61$, $x=166\text{mm}$, $\sigma_s=321 \text{ N/mm}^2$

Έλεγχος παραμορφώσεων με άμεσο υπολογισμό (SLS) (EN1992-1-1, §7.4.3)

$\zeta=1-0.50 \cdot (M_{cr}/M_{ed})^2=1-0.50 \times (45.47/70.00)^2=0.79$ (Εξ.7.19)

Τελική καμπυλότητα $(1/r)=0.79 \times (0.001 \times 5.679)+(1-$

$0.79) \times (0.001 \times 2.514)=(0.001) \times 5.011$ (1/m) (Εξ.7.18)

Ελάχιστα εμβαδα οπλισμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.2)

Ελάχιστα εμβαδά οπλισμού $As_{min}=k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot Act/\sigma_s$ (EC2 Εξ.7.1)

$b=0.250\text{m}$, $b_{eff}=0.250\text{m}$, $h=0.500\text{m}$, $d=0.465\text{m}$, $x=0.166\text{m}$, $\emptyset=14\text{mm}$

$N_{ed}=7.00\text{kN}$, $\sigma_c=(N_{ed}/bh)=-0.1\text{N/mm}^2$, $\sigma_s=435\text{N/mm}^2$

$Act=(h-x) \cdot b=(500-166) \times 250=83614 \text{ mm}^2$

$\max(h,b_1)=1\text{m}$, $f_{ctm}=3.50\text{N/mm}^2$, $Act=83614\text{mm}^2$, $k=0.86$, $k_c=0.41$, $k_1=1.50$

Ελάχιστος οπλισμός, $As_{min}=0.41 \times 0.86 \times 3.50 \times 83614/435=237\text{mm}^2$

Υπολογισμός εύρους ρωγμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.3)

$w_k=s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm})$ (EC2 Εξ.7.8)

$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}=[\sigma_s-kt \cdot (f_{ct,eff}/\rho_{eff})(1+ae \cdot \rho_{eff})]/E_s \geq 0.6 \sigma_s/E_s$ (EC2 Eq.7.9)

$\sigma_s=321\text{N/mm}^2$, μικρής διάρκειας φόρτιση: $E_s/E_c=5.71$, $kt=0.6$, μικράς διάρκειας φόρτιση: $E_s/E_c=20.00$, $kt=0.4$

$A_{ceff}=2.5(h-d)b=2.5 \times (500-465) \times 250=21875 \text{ mm}^2$ (§7.3.2.3)

$\rho_{eff}=As/A_{ceff}=534/21875=0.024$

$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}=[321-0.4 \times (3.5/0.024)(1+20.00 \times 0.024)]/200=1.18\text{‰} \geq 0.6 \times 321/200=0.96\text{‰}$

$s_{r,max}=k_3 \cdot (C_{nom}+\{Z_s\}+k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \{Z\}/\rho_{eff}$ (EC2 Εξ.7.11)

$\emptyset=13\text{mm}$, $k_1=0.8$, $k_2=(e_1+e_2)/2e_1=0.5$, $k_3=3.4$, $k_4=0.425$

$s_{r,max}=3.4 \times 28.00+0.8 \times 0.5 \times 0.425 \times 13/0.024=185.73 \text{ mm}$

$w_k=s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm})=185.73 \times 0.001 \times 1.18=0.22 \text{ mm}$

$w_k=0.22\text{mm} \leq 0.40\text{mm}=w_{max}$, Κατηγορία περιβάλλοντος: XC1, Πλάτος ρωγμής κάτω ορίου

ΥΠΟΣΤ.-001

Υποστύλωμα σε διαξονική κάμψη

(EC2 EN1992-1-1:2004, EC0 EN1990:2002, +NA-ELOT:2010)

b =0.300 m, h =0.300 m, Ned =150.00 kN
Med yy = 37.50 kNm, Med zz = 37.50 kNm

Υπολογισμοί οπλισμένου σκυροδέματος

Σκυρόδεμα-Χάλυβας : C40/50-S500 (EC2 §3)
Κατηγορία περιβάλλοντος : XC0 (EC2 §4.4.1)
Επικάλυψη οπλισμού : Cnom=30 mm (EC2 §4.4.1)
 $\gamma_c=1.50, \gamma_s=1.15$ (EC2 Πίνακας 2.1N)
 $f_{cd}=acc \cdot f_{ck}/\gamma_c=0.85 \times 40/1.50=22.67 \text{ MPa}$ (EC2 §3.1.6)
 $f_{ctd}=act \cdot f_{ctk} \cdot 0.05/\gamma_c=0.85 \times 2.5/1.50=1.42 \text{ MPa}$ (EC2 §3.1.6)
 $f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s=500/1.15=435 \text{ MPa}$ (EC2 §3.2.7)

Διαστάσεις, φορτία

Υποστύλωμα ορθογωνικής διατομής b=0.300 m, h=0.300 m
Φορτία , Φορτία, αξονικό Ned=150.00kN (θλίψη), ροπές Medxx=37.50kNm,
Medyy=37.50kNm

διάτμηση Ved=100.00 kN

Οφέλιμο ύψος διατομής d=h-d1, d1=d2=Cnom+Øs+Ø/2=30+8+20/2=48mm,
dx=252mm, dy=252mm

Διαστασιολόγηση για θλίψη με μικρή εκκεντρότητα (ULS) (EC2 §6.1, §9.2.1)

Ned=150.00kN, Med,yy=37.50kNm, Med,zz=37.50kNm

Προσεγγιστική διαστασιολόγηση με Πίνακες (d1/h=0.10)

Kordina K, Bemessungshilfsmittel zu EC 2 Teil 1

Planung von Stahlbeton ..., Berlin, Beuth, 1992

$M_y/(bh^2f_{cd})=0.05, M_z/(hb^2f_{cd})=0.05, N/(bh \cdot f_{cd})=-0.06$

$As \cdot f_{yk}/(bh \cdot f_{ck})=0.16, As= 883\text{mm}^2, As/Ac=0.98\%$

Διαστασιολόγηση με αριθμητική ολοκλήρωση

Διαγράμματα μονοαξονικής κάμψης

προερχόμενο από αριθμητική ολοκλήρωση με

χωρισμό σε $10 \times 10=100$ τμήματα διατομής

Ned=150.00kN (θλίψη),

Medyy=37.50kNm, Medzz=37.50kNm

C40/50-S500

b=300mm, h=300mm

dy=252mm, dz=252mm, d1=d2=48mm

d1/h=0.160, d2/b=0.160

ez=Medyy/Ned= 37.50/150.00=0.250m=250mm

ey=Medzz/Ned= 37.50/150.00=0.250m=250mm

zsz=h/2-d1=300/2-48=102mm, ez=250mm>zsz=102mm

zsy=b/2-d1=300/2-48=102mm, ey=250mm>zsy=102mm

As,tot=900mm², As,tot/Ac=1.00%

As,tot= 9.00cm²

Ned=150.00 <= 0.65AcFcd=1000x0.65x0.300x0.300x26.67=1560.20 kN (EC8 §5.4.3.2.1, ΕΚΩΣ, §18.4.2)

Ελάχιστος διαμήκης οπλισμός, $A_s \geq 0.0020A_c$, $\{Z_s \geq 8, A_{s,min} = \{4Z_8 (2.01\text{cm}^2)$
(EC2 §9.5.2.2)

Μέγιστος διαμήκης οπλισμός, $A_s \leq 0.04A_c$, ($A_{s,max} = 36.00\text{cm}^2$) (EC2 §9.5.2.3)

Εγκάρσιος οπλισμός, συνδετήρες με ελάχιστη $\{Z_s$ σε αποστάσεις $S_{cl,t}$ (EC2 §9.5.3)
στις μη κρίσιμες περιοχές από 0.30m μέχρι H-0.30m : συνδετήρες $\emptyset_s \geq 6$,
 $S_{cl,t} \leq 300\text{mm}$

στις κρίσιμες περιοχές [0-0.30m] και [H-0.30m, H]: συνδετήρες $\emptyset_s \geq 6$,
 $S_{cl,t} \leq 180\text{mm}$

Βασικό μήκος αγκύρωσης $L_{bd} = 380\text{mm} = 0.380\text{m}$ (EC2 Εξ.8.3)

Διαμήκης οπλισμός: 4Ø18 (10.16cm²)

Οπλισμός συνδετήρων: Συνδετήρες Ø 8/30.0 [h:0.30m~H-0.30m], Ø 8/18.0 [h:0~0.30m, H-0.30m~H]

Διαστασιολόγηση για τέμνουσα (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.2, §9.2.2)

Αντοχή τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης V_{rdc} (EC2 §6.2.2)

$V_{rdc} = [C_{rdc} \cdot k \cdot (100\rho_1 \cdot f_{ck})^{0.33+k_1 \cdot \sigma_{cp}}] \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Εξ.6.2.a)

$V_{rdc} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Εξ.6.2.b)

$C_{rdc} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.50 = 0.120$, $f_{ck} = 40\text{MPa}$, $b_w = 300\text{mm}$, $d = 252\text{mm}$

$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$, $k = 1.89$, $k_1 = 0.15$

$\rho_1 = A_{s1}/(b_w \cdot d) = 500/(300 \times 252) = 0.0066$

$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c = 1000 \times 150.00/90000 = 1.67\text{N/mm}^2$

$v_{min} = 0.0350 \cdot k \cdot 1.50 \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.58\text{N/mm}^2$, (EC2 Εξ.6.3N)

$V_{rd,c(min)} = 0.001 \times (0.58 + 0.15 \times 1.67) \times 300 \times 252 = 62.79\text{kN}$

$V_{rdc} = 0.001 \times [0.120 \times 1.89 \times (0.66 \times 40)^{0.33+0.15 \times 1.67}] \times 300 \times 252 = 69.99\text{kN}$

$V_{ed} = 100.00\text{ kN} > V_{rdc} = 69.99\text{ kN}$, $V_{ed} > V_{rdc}$ απαιτείται οπλισμός διάτμησης

Αντοχή λοξής θλίψης σκυροδέματος V_{rdmax} (EC2 §6.2.3 Εξ.6.9)

$V_{rdmax} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$, $V_{ed}/\max(V_{rdmax}) = 0.26$, $\theta = 45.0^\circ$ $\cot\theta = 1.00$
 $\tan\theta = 1.00$

$\alpha_{cw} = 1.00$ $z = 0.9d$, $f_{ck} = 40.0 \leq 60\text{MPa}$ $v_1 = 0.6[1 - f_{ck}/250] = 0.6[1 - 40/250] = 0.504$,

$f_{cd} = 22.67\text{MPa}$

$V_{rdmax} = 0.001 \times 1.00 \times 300 \times 0.9 \times 252 \times 0.504 \times 22.67 / 2.00 = 388.7\text{ kN}$

$V_{ed} = 100.0\text{ kN} < 388.7\text{ kN} = V_{rdmax}$, ο έλεγχος επαληθεύεται

Οπλισμός διάτμησης κάθετοι συνδετήρες (EC2 §6.2.3 Εξ.6.8)

$V_{rds} = (A_{sw}/s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$, $V_{rds} = 100.00\text{kN}$, $z = 0.9d$, $f_{ywd} = 0.8f_{yk} = 400.00\text{N/mm}^2$,
 $\cot\theta = 1.00$

$A_{sw}/s = V_{rds} / (z \cdot f_{ywd} \cdot \cot 45.00^\circ) = (1.0E+006) \times 100.00 / (0.9 \times 252 \times 400 \times 1.00) = 1102\text{mm}^2/\text{m}$
($A_{sw}/s = 11.02\text{cm}^2/\text{m}$)

Απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης: ($A_{sw}/s = 11.02\text{cm}^2/\text{m}$)

Οπλισμός διάτμησης: Ø 8/9.0 ($A_{sw}/s = 11.18\text{cm}^2/\text{m}$)

N= 865kN, Myy= 134kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 2.33$)
N= 721kN, Myy= 130kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 3.50$)
N= 577kN, Myy= 123kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 5.25$)
N= 386kN, Myy= 107kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 8.17$)
N= 272kN, Myy= 95kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/10.50$)
N= 54kN, Myy= 72kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/16.50$)

Μέγιστο φορτίο Ned, και μέγιστη ροπή Medzz

N= 2587kN, Mzz= 0kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.50$)
N= 2198kN, Mzz= 42kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.43$)
N= 2198kN, Mzz= 42kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.36$)
N= 2198kN, Mzz= 42kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-3.15$)
N= 2198kN, Mzz= 42kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-2.80$)
N= 2198kN, Mzz= 42kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/-2.33$)
N= 1716kN, Mzz= 90kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.00$)
N= 1620kN, Mzz= 97kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.18$)
N= 1523kN, Mzz= 103kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.39$)
N= 1422kN, Mzz= 110kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.62$)
N= 1318kN, Mzz= 115kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 0.88$)
N= 1209kN, Mzz= 121kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 1.17$)
N= 1095kN, Mzz= 126kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 1.50$)
N= 865kN, Mzz= 134kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 2.33$)
N= 721kN, Mzz= 130kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 3.50$)
N= 577kN, Mzz= 123kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 5.25$)
N= 386kN, Mzz= 107kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/ 8.17$)
N= 272kN, Mzz= 95kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/10.50$)
N= 54kN, Mzz= 72kNm, ($\epsilon_c2/\epsilon_s1=-3.50/16.50$)

ΠΛΑΚΑ-003

Διατομή συμπαγούς πλάκας σε κάμψη

(EC2 EN1992-1-1:2004, EC0 EN1990:2002, +NA-ELOT:2010)

h=0.180 m, Med=20.00 kNm

Υπολογισμοί οπλισμένου σκυροδέματος

Σκυρόδεμα-Χάλυβας : **C40/50-B500C** (EC2 §3)

Κατηγορία περιβάλλοντος : XC1 (EC2 §4.4.1)

Επικάλυψη οπλισμού : $C_{nom}=15 \text{ mm}$ (EC2 §4.4.1)

$\gamma_c=1.50, \gamma_s=1.15$ (EC2 Πίνακας 2.1N)

$f_{cd}=\alpha_{cc}\cdot f_{ck}/\gamma_c=0.85 \times 40/1.50=22.67 \text{ MPa}$ (EC2 §3.1.6)

$f_{ctd}=\alpha_{ct}\cdot f_{ctk0.05}/\gamma_c=0.85 \times 2.5/1.50=1.42 \text{ MPa}$ (EC2 §3.1.6)

$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s=500/1.15=435 \text{ MPa}$ (EC2 §3.2.7)

Διαστάσεις, φορτία

Πάχοςπλάκας h=0.180 m, Ροπήκάμψης Med=20.00kNm (ULS), Med=14.00kNm (SLS)

Ωφέλιμο ύψος διατομής $d=h-d_1$, $d_1=C_{nom}+\varnothing/2=15+10/2=20\text{mm}$, $d=180-20=160\text{mm}$
Διαστασιολόγηση έναντι αστοχίας σε κάμψη (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1, §9.3.1)

$Med(ULS)=20.00\text{ kNm/m}$

Διαστασιολόγηση έναντι αστοχίας σε κάμψη: Allgower, G.-Avak, R. Bemessungstabeln nach Eurocode 2

fur Rechteck und Plattenbalkenquerschnitte, In: Beton - und Stahlbetonbau 87 (1992) ($\sigma_c=f_{cd}[1-(1-\epsilon_c/\epsilon_{c2})^2]$, $f_{cd}=22.67\text{MPa}$, $\epsilon_{c2}=0.0020$, $\epsilon_{cu2}=0.0035$, $f_{yd}=435\text{MPa}$)
 $Med=20.00\text{kNm/m}$, $d=160\text{mm}$, $K_d=3.58$ $x/d=0.07$ $\epsilon_c/\epsilon_{s1}=-1.4/20.0$ $k_s=2.35$, $A_s=2.94\text{cm}^2/\text{m}$

Ελάχιστος οπλισμός πλάκας, $A_s \geq 0.26bd \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 2.91\text{cm}^2/\text{m}$, $s \leq 400\text{mm}$, $s' \leq 450\text{mm}$ (EC2 §9.3.1)

ελάχιστος οπλισμός κύριος οπλισμός $\varnothing 10/27.0$ ($2.91\text{cm}^2/\text{m}$), δευτερεύων $\varnothing 8/30.0$ ($1.68\text{cm}^2/\text{m}$)

Οπλισμός πλάκας κύριος οπλισμός $\varnothing 10/26.5$ ($2.96\text{cm}^2/\text{m}$), δευτερεύων $\varnothing 8/30.0$ ($1.68\text{cm}^2/\text{m}$)

Φέρουσα ικανότητα διατομής σε κάμψη (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1)

$b=1000\text{mm}$, $h=180\text{mm}$, $d=160\text{mm}$, $A_{s1}=296\text{mm}^2$
 $\epsilon_{c2}=-1.41\text{‰}$, $\epsilon_{s1}=19.99\text{‰}$, $A_{s1}/b \cdot d=0.00185(0.185\%)$
 $x/d=\epsilon_{c2}/(\epsilon_{c2}+\epsilon_{s1})=1.41/(1.41+19.99)=0.066$, $x=10.5\text{mm}$
 $\alpha_r=0.539$, $k_a=0.359$, $F_c=\alpha_r \cdot b \cdot x \cdot f_{cd}=F_{s1}=128.89\text{kN}$, $A_{s1}=F_{s1}/f_{yd}=296\text{mm}^2/\text{m}$
 $z=d-k_a \cdot x=(1-k_a \cdot \epsilon_{c2}/(\epsilon_{c2}+\epsilon_{s1}))d$, $z/d=1.0-0.359 \cdot 0.066=0.976$, $z=156.2\text{mm}$,
 $K_d^2=1/(0.539 \cdot 0.066 \cdot 0.976 \cdot 22.67)=1.271\text{ mm}^2/\text{N}$, $K_d=1.128$
Καμπτική άντοχή $M_r=b \cdot d^2/K_d^2=[10^{-6}] \times 1000 \times 160^2/1.271=21.00\text{kNm}$

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7)

$Med(SLS)=14.00\text{ kNm/m}$

Τελικός συντελεστής ερπυσμού $\varphi(\infty, t_0)=2.50$ (EC2 §3.1.4, Παράρτημα Β)

Ολική συστολή ξήρανσης $\epsilon_{cs}=-0.30\text{‰}$

$\gamma_c=1.00$, $\gamma_s=1.00$ (EC2 §2.4.2.4.2)

Μέτρο Ελαστικότητας σκυροδέματος $E_{cm}=35\text{GPa}$,

$E_{c,eff}=35/(1+2.50)=10.00\text{GPa}=10000\text{MPa}$ (EC2 Εξ.7.20)

Μέτρο Ελαστικότητας χάλυβα $E_s=200\text{GPa}=200000\text{MPa}$

Λόγος μέτρων Ελαστικότητας $E_s/E_c=200/35=5.71$, ενεργό

$E_s/E_{c,eff}=200/10.00=20.00$

Εφελκόμενος οπλισμός: $\varnothing 10/265$ ($2.96\text{cm}^2/\text{m}$)

Λόγος οπλισμών $\rho=A_{s1}/(b \cdot d)=296/(1000 \times 160)=0.002$

Κατάσταση I (αρηγμάτωση διατομή) (SLS)

Δυσκαμψία αρηγμάτωσης διατομής, $EI=(200/20.00) \times (0.001 \times 0.513)=5127\text{ kNm}^2$

$A_i=A_c+(n-1)(A_{s1}+A_{s2})$, $e=(n-1)(A_{s1} \cdot y_{1s}-A_{s2} \cdot y_{2s})/A_i$,

$I=I_c+b \cdot h \cdot e^2+(A_{s1} \cdot y_{1s}^2+A_{s2} \cdot y_{2s}^2)(n-1)$

$S=A_s \cdot y_{2s}=(0.001)^2 \times 296 \times 0.068=(0.001) \times 0.020\text{ m}^3$, $y_2=88\text{mm}$, $y_{2s}=y_2-d=88-20=68\text{mm}$ (EC2 Εξ.7.21)

καμπυλότητα λόγω ροπής $1/r_M=14.00/5127=(0.001) \times 2.731$ (1/m)

καμπυλότητα λόγω ξήρανσης

$1/r_{cs}=(0.001 \times 0.30) \times 20.00 \times (0.020/0.513)=(0.001) \times 0.235$ (1/m)

Ολική καμπυλότητα $1/r=(0.001) \times 2.731+(0.001) \times 0.235=(0.001) \times 2.966$ (1/m)

Ροπή ρηγμάτωσης t , $M_{cr}=f_{ctm} \cdot (I/y_2)=3.5 \times (0.513/0.088)=20.42\text{ kNm}$

Κατάσταση II (πλήρως ρηγματωμένη διατομή) (SLS)

$\rho=A_s/(b \cdot d)=0.002$, $n=ae=20.00$, $n \cdot \rho=0.040$, $\xi=0.693$, $\alpha=0.246$, $x=\alpha \cdot d=0.039\text{m}$

Δυσκαμψία πλήρως ρηγματωμένης διατομής,
 $EI = \xi \cdot E_s \cdot A_s \cdot d^2 = 0.693 \times 200 \times 296 \times 0.160^2 = 1050 \text{ kNm}^2$
 $y_2 = (1 - \alpha)d = 121 \text{ mm}$, $\epsilon_s = y_2 \cdot M / EI = (0.001) \times 121 \times 14.00 / 1050 = 1.61$
 $S = A_s \cdot y_2 = (0.001)^2 \times 296 \times 0.121 = (0.001) \times 0.036 \text{ m}^3$ (EC2 Εξ.7.21)
καμπυλότητα λόγω ροπής $1/r_M = 14.00 / 1050 = (0.001) \times 13.338 \text{ (1/m)}$
καμπυλότητα λόγω ξήρανσης
 $1/r_{cs} = (0.001 \times 0.30) \times 20.00 \times (0.036 / 0.105) = (0.001) \times 0.418 \text{ (1/m)}$
Ολική καμπυλότητα $1/r = (0.001) \times 13.338 + (0.001) \times 0.418 = (0.001) \times 13.756 \text{ (1/m)}$
 $M_{ed} = 14.00 \text{ kNm}$, $\epsilon_c / \epsilon_s = 0.52 / 1.61$, $x = 39 \text{ mm}$, $\sigma_s = 322 \text{ N/mm}^2$
Έλεγχος παραμορφώσεων με άμεσο υπολογισμό (SLS) (EN1992-1-1, §7.4.3)
 $M_{ed} = 14.00 < 0.70 \times M_{cr} = 0.70 \times 20.42 = 14.29 \text{ kNm}$, $\zeta = 0.00$ (Εξ.7.19)
Τελική καμπυλότητα $(1/r) = 0.00 \times (0.001 \times 13.756) + (1 - 0.00) \times (0.001 \times 2.966) = (0.001) \times 2.966 \text{ (1/m)}$ (Εξ.7.18)
Ελάχιστα εμβαδα οπλισμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.2)

Ελάχιστα εμβαδά οπλισμού $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$ (EC2 Εξ.7.1)
 $b = 1.000 \text{ m}$, $b_{eff} = 1.000 \text{ m}$, $h = 0.180 \text{ m}$, $d = 0.160 \text{ m}$, $x = 0.039 \text{ m}$, $\emptyset = 10 \text{ mm}$
 $N_{ed} = 0.00 \text{ kN}$, $\sigma_c = (N_{ed} / bh) = 0.0 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_s = 435 \text{ N/mm}^2$
 $A_{ct} = (h - x) \cdot b = (180 - 39) \times 1000 = 140695 \text{ mm}^2$
 $\max(h, b_1) = 0 \text{ mm}$, $f_{ctm} = 3.50 \text{ N/mm}^2$, $A_{ct} = 140695 \text{ mm}^2$, $k = 1.00$, $k_c = 0.40$, $k_1 = 1.50$
Ελάχιστος οπλισμός, $A_{s,min} = 0.40 \times 1.00 \times 3.50 \times 140695 / 435 = 453 \text{ mm}^2 / \text{m}$
Υπολογισμός εύρους ρωγμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.3)

$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ (EC2 Εξ.7.8)
 $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t \cdot (f_{ct,eff} / \rho_{eff}) (1 + a_e \cdot \rho_{eff})] / E_s \geq 0.6 \sigma_s / E_s$ (EC2 Eq.7.9)
 $\sigma_s = 322 \text{ N/mm}^2$, μικρής διάρκειας φόρτιση: $E_s / E_c = 5.71$, $k_t = 0.6$, μικράς διάρκειας φόρτιση: $E_s / E_c = 20.00$, $k_t = 0.4$
 $A_{c,eff} = 0.333(h - x)b = 0.333 \times (180 - 39) \times 1000 = 46851 \text{ mm}^2$ (§7.3.2.3)
 $\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 296 / 46851 = 0.006$
 $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = [322 - 0.4 \times (3.5 / 0.006) (1 + 20.00 \times 0.006)] / 200 = 0.36\% \geq 0.6 \times 322 / 200 = 0.97\%$
 $s_{r,max} = k_3 \cdot C_{nom} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \{Z / \rho_{eff}$ (EC2 Εξ.7.11)
 $\emptyset = 10 \text{ mm}$, $k_1 = 0.8$, $k_2 = (e_1 + e_2) / 2e_1 = 0.5$, $k_3 = 3.4$, $k_4 = 0.425$
 $s_{r,max} = 3.4 \times 15.00 + 0.8 \times 0.5 \times 0.425 \times 10 / 0.006 = 320.08 \text{ mm}$
 $w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 320.08 \times 0.001 \times 0.97 = 0.31 \text{ mm}$
 $w_k = 0.31 \text{ mm} \leq 0.40 \text{ mm} = w_{max}$, Κατηγορία περιβάλλοντος: XC1, Πλάτος ρωγμής κάτω ορίου

ΠΛΑΚΑ-004

Πλάκα συμπαγής, τετραέριστη
(EC2 EN1992-1-1:2004, EC0 EN1990:2002, +NA-ELOT:2010)

Υπολογισμοί οπλισμένου σκυροδέματος

Σκυρόδεμα-Χάλυβας : **C40/50-B500C** (EC2 §3)
Κατηγορία περιβάλλοντος : XC1 (EC2 §4.4.1)
Επικάλυψη οπλισμού : $C_{nom} = 15 \text{ mm}$ (EC2 §4.4.1)
Βάρος σκυροδέματος : 25.0 kN/m^3
 $\gamma_c = 1.50$, $\gamma_s = 1.15$ (EC2 Πίνακας 2.1N)
 $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 40 / 1.50 = 22.67 \text{ MPa}$ (EC2 §3.1.6)
 $f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk} \cdot 0.05 / \gamma_c = 0.85 \times 2.5 / 1.50 = 1.42 \text{ MPa}$ (EC2 §3.1.6)

$$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s=500/1.15=435 \text{ MPa} \quad (\text{EC2 } \S 3.2.7)$$

Διαστάσεις, φορτία

Πάχος πλάκας $h=0.180 \text{ m}$, Ανοίγματα $L_x=3.600 \text{ m}$, $L_y=4.500 \text{ m}$

Ίδιο βάρος πλάκας: $g_0=25.00 \times 0.180=4.50 \text{ kN/m}^2$

Φορτία πλάκας: μόνιμο $g=(4.50+0.80)=5.30 \text{ kN/m}^2$, κινητό $q=2.00 \text{ kN/m}^2$

Συντελεστές ασφαλείας δράσεων : $\gamma_G=1.35$, $\gamma_Q=1.50$ (EC0 Παράρτημα A1)

Συνδυασμός μεταβλητών δράσεων : $\psi_0=0.70$, $\psi_1=0.60$, $\psi_2=0.30$

Ωφέλιμο ύψος διατομής $d=h-d_1$, $d_1=C_{nom}+\varnothing/2=15+10/2=20\text{mm}$, $d=180-20=160\text{mm}$

Μέθοδος ανάλυσης: Czerny F., Tafeln fur vierseitig und dreiseitig gelagerte Rechteckplatten, Beton Kalender 1983, Berlin, Ernst Sohn, 1983

$L_y/L_x=4.500/3.600=1.25$, Πινακας 2.2.4

Διαστασιολόγηση έναντι αστοχίας σε κάμψη (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1, §9.3.1)

Φορτίο (STR) $q_{ed}=\gamma_G \cdot g+\gamma_Q \cdot q=1.35g+1.50q=1.35 \times 5.30+1.50 \times 2.00=10.16 \text{ kN/m}$

Διεύθυνση επίλυσης πλάκας x-x, $L_x=3.600 \text{ m}$

Ροπή στήριξης $M_{edsupA}=0 \text{ kNm/m}$

Ροπή στήριξης $M_{edsupB}=(1.35 \times 5.30+1.50 \times 2.00) \times 3.600^2/11.10=-11.86 \text{ kNm/m}$

Ροπή ανοίγματος $M_{edspan}=(1.35 \times 5.30+1.50 \times 2.00) \times 3.600^2/28.00=4.70 \text{ kNm/m}$

Αντιδράσεις μόνιμα, $V_{gA}=5.30 \times 3.600/2.53=7.54$ $V_{gB}=5.30 \times 3.600/1.72=11.09 \text{ kN/m}$

Αντιδράσεις κινητά, $V_{qA}=2.00 \times 3.600/2.53=2.85$ $V_{qB}=2.00 \times 3.600/1.72=4.19 \text{ kN/m}$

Διεύθυνση επίλυσης πλάκας y-y, $L_y=4.500 \text{ m}$

Ροπή στήριξης $M_{edsupA}=0 \text{ kNm/m}$

Ροπή στήριξης $M_{edsupB}=(1.35 \times 5.30+1.50 \times 2.00) \times 3.600^2/12.90=-10.20 \text{ kNm/m}$

Ροπή ανοίγματος $M_{edspan}=(1.35 \times 5.30+1.50 \times 2.00) \times 3.600^2/45.60=2.89 \text{ kNm/m}$

Αντιδράσεις μόνιμα, $V_{gA}=5.30 \times 3.600/2.56=7.45$ $V_{gB}=5.30 \times 3.600/1.86=10.26 \text{ kN/m}$

Αντιδράσεις κινητά, $V_{qA}=2.00 \times 3.600/2.56=2.81$ $V_{qB}=2.00 \times 3.600/1.86=3.87 \text{ kN/m}$

Διαστασιολόγηση έναντι αστοχίας σε κάμψη (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1, §9.3.1)

$M_{ed}=4.70 \text{ kNm/m}$, $d=160\text{mm}$, $K_d=7.38$ $x/d=0.03$ $\epsilon_c^2/\epsilon_s^1=-0.6/20.0$ $k_s=2.32$, $A_s=0.68 \text{ cm}^2/\text{m}$

$M_{ed}=2.89 \text{ kNm/m}$, $d=150\text{mm}$, $K_d=8.83$ $x/d=0.02$ $\epsilon_c^2/\epsilon_s^1=-0.5/20.0$ $k_s=2.32$, $A_s=0.45 \text{ cm}^2/\text{m}$

$M_{ed}=-11.86 \text{ kNm/m}$, $d=160\text{mm}$, $K_d=4.65$ $x/d=0.05$ $\epsilon_c^2/\epsilon_s^1=-1.0/20.0$ $k_s=2.34$, $A_s=1.73 \text{ cm}^2/\text{m}$

$M_{ed}=-10.20 \text{ kNm/m}$, $d=160\text{mm}$, $K_d=5.01$ $x/d=0.04$ $\epsilon_c^2/\epsilon_s^1=-0.9/20.0$ $k_s=2.34$, $A_s=1.49 \text{ cm}^2/\text{m}$

Ελάχιστος οπλισμός πλάκας, $A_s \geq 0.26bd \cdot f_{ctm}/f_{yk}=2.91 \text{ cm}^2/\text{m}$, $s \leq 400\text{mm}$,

$s' \leq 450\text{mm}$ (EC2 §9.3.1)

ελάχιστος οπλισμός κύριος οπλισμός $\varnothing 10/27.0$ ($2.91 \text{ cm}^2/\text{m}$), δευτερεύων $\varnothing 10/27.0$ ($2.91 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Οπλισμοί ανοιγμάτων: x-x $\varnothing 10/27.0$ ($2.91 \text{ cm}^2/\text{m}$) (κάτω στρώση)

y-y $\varnothing 10/27.0$ ($2.91 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Οπλισμοί στηρίξεων: Αριστερά $\varnothing 8/45.0$ ($1.12 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Δεξιά $\varnothing 10/27.0$ ($2.91 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Κάτω $\varnothing 8/45.0$ ($1.12 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Πάνω $\varnothing 10/27.0$ ($2.91 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Διαστασιολόγηση για τέμνουσα (ULS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §6.2, §9.2.2)

Μέγιστες τέμνουσες σε απόσταση d από παρειά στήριξης $\max V=20.44 \text{ kN/m}$
Αντοχή τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης V_{rdc} (EC2 §6.2.2)
 $V_{rdc}=[C_{rdc} \cdot k \cdot (100\rho_1 \cdot f_{ck})^{0.33+k_1 \cdot \sigma_{cp}}] \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Εξ.6.2.a)
 $V_{rdc} \geq (v_{min}+k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Εξ.6.2.b)
 $C_{rdc}=0.18/\gamma_c=0.18/1.50=0.120$, $f_{ck}=40\text{MPa}$, $b_w=1000\text{mm}$, $d=160\text{mm}$
 $k=1+(200/d)^{1/2} \leq 2$, $k=2.00$, $k_1=0.15$
 $\rho_1=As_1/(b_w \cdot d)=291/(1000 \times 160)=0.0018$
 $v_{min}=0.0350 \cdot k^{1.50} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.63\text{N/mm}^2$, (EC2 Εξ.6.3N)
 $V_{rd,c(min)}=0.001 \times (0.63) \times 1000 \times 160=100.80\text{kN/m}$
 $V_{rdc}=0.001 \times [0.120 \times 2.00 \times (0.18 \times 40)^{0.33}] \times 1000 \times 160=74.15$, $V_{rdc}=100.80\text{kN/m}$
 $V_{ed}=20.44 \text{ kN/m} \leq V_{rdc}=100.80 \text{ kN/m}$, $V_{ed} \leq V_{rdc}$ δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7)

$L=3.600\text{m}$, $b=1.000\text{m}$, $h=0.180\text{m}$, $d=0.160\text{m}$
 Φορτίο (ημι-μόνιμος συνδυασμός) $q_{ed}=g+\psi_2 \cdot q=5.30+0.30 \times 2.00=5.90 \text{ kN/m}$
 $L_x < L_y$, $L_{eff}=3.600\text{m}$, $M_{ed}=(5.90/10.16) \times 4.70=2.73 \text{ kNm/m}$, $M_{ed}(SLS)=2.73 \text{ kNm/m}$
 Τελικός συντελεστής ερπυσμού $\varphi(\infty, t_0)=2.50$ (EC2 §3.1.4, Παράρτημα Β)
 Ολική συστολή ξήρανσης $\epsilon_{cs}=-0.30\%$
 $\gamma_c=1.00$, $\gamma_s=1.00$ (EC2 §2.4.2.4.2)
 Μέτρο Ελαστικότητας σκυροδέματος $E_{cm}=35\text{GPa}$,
 $E_{c,eff}=35/(1+2.50)=10.00\text{GPa}=10000\text{MPa}$ (EC2 Εξ.7.20)
 Μέτρο Ελαστικότητας χάλυβα $E_s=200\text{GPa}=200000\text{MPa}$
 Λόγος μέτρων Ελαστικότητας $E_s/E_c=200/35=5.71$, ενεργό
 $E_s/E_{c,eff}=200/10.00=20.00$
 Εφελκόμενος οπλισμός: $\emptyset 10/270$ ($2.91\text{cm}^2/\text{m}$)
 Λόγος οπλισμών $\rho=As_1/(b \cdot d)=291/(1000 \times 160)=0.002$

Κατάσταση I (αρηγμάτωση διατομή) (SLS)

Δυσκαμψία αρηγμάτωσης διατομής, $EI=(200/20.00) \times (0.001 \times 0.512)=5123 \text{ kNm}^2$
 $A_i=Ac+(n-1)(As_1+As_2)$, $e=(n-1)(As_1 \cdot y_{1s}-As_2 \cdot y_{2s})/A_i$,
 $I=I_c+b \cdot h \cdot e^2+(As_1 \cdot y_{1s}^2+As_2 \cdot y_{2s}^2)(n-1)$
 $S=As_2 \cdot y_{2s}=(0.001)^2 \times 291 \times 0.068=(0.001) \times 0.020 \text{ m}^3$, $y_2=88\text{mm}$, $y_{2s}=y_2-d_2=88-20=68\text{mm}$ (EC2 Εξ.7.21)
 καμπυλότητα λόγω ροπής $1/r_M=2.73/5123=(0.001) \times 0.533$ (1/m)
 καμπυλότητα λόγω ξήρανσης
 $1/r_{cs}=(0.001 \times 0.30) \times 20.00 \times (0.020/0.512)=(0.001) \times 0.231$ (1/m)
 Ολική καμπυλότητα $1/r=(0.001) \times 0.533+(0.001) \times 0.231=(0.001) \times 0.765$ (1/m)
 Ροπή ρηγμάτωσης t , $M_{cr}=f_{ctm} \cdot (I/y_2)=3.5 \times (0.512/0.088)=20.39 \text{ kNm}$

Κατάσταση II (πλήρως ρηγματωμένη διατομή) (SLS)

$\rho=As/(b \cdot d)=0.002$, $n=ae=20.00$, $n \cdot \rho=0.040$, $\xi=0.693$, $\alpha=0.246$, $x=\alpha \cdot d=0.039\text{m}$
 Δυσκαμψία πλήρως ρηγματωμένης διατομής,
 $EI=\xi \cdot E_s \cdot As \cdot d^2=0.693 \times 200 \times 291 \times 0.160^2=1032 \text{ kNm}^2$
 $y_2=(1-\alpha)d=121\text{mm}$, $\epsilon_s=y_2 \cdot M/EI=(0.001) \times 121 \times 2.73/1032=0.32$
 $S=As \cdot y_2=(0.001)^2 \times 291 \times 0.121=(0.001) \times 0.035 \text{ m}^3$ (EC2 Εξ.7.21)
 καμπυλότητα λόγω ροπής $1/r_M=2.73/1032=(0.001) \times 2.646$ (1/m)
 καμπυλότητα λόγω ξήρανσης
 $1/r_{cs}=(0.001 \times 0.30) \times 20.00 \times (0.035/0.103)=(0.001) \times 0.411$ (1/m)
 Ολική καμπυλότητα $1/r=(0.001) \times 2.646+(0.001) \times 0.411=(0.001) \times 3.058$ (1/m)
 $M_{ed}=2.73 \text{ kNm}$, $\epsilon_c/\epsilon_s=0.10/0.32$, $x=39\text{mm}$, $\sigma_s=64 \text{ N/mm}^2$

Έλεγχος παραμορφώσεων χωρίς άμεσο υπολογισμό (SLS) (EC2 §7.4.2)

$l/d=K[11+1.5f_{ck}^{1/2}(\rho_0/\rho)+3.2 f_{ck}^{1/2}(\rho_0/\rho-1)^{3/2}]=136.95$ (EC2 Εξ.7.16a)
 $f_{ck}=40.00\text{N/mm}^2$, $\rho_0=0.001 \times 40.00^{1/2}=0.006$, $\rho=0.002$, $\rho'=0.000$, $\rho < \rho_0$, $K=1.3$

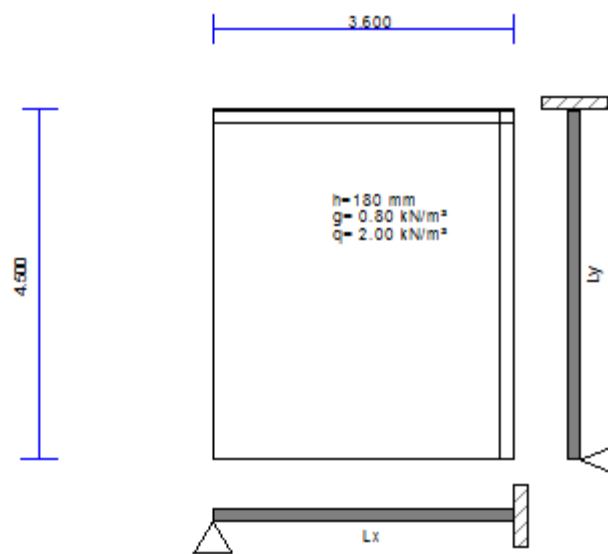
$l/d=(310/\sigma_s) \times (l/d)$, $\sigma_s=64 \text{ N/mm}^2$, $l/d=(310/64) \times 136.95=664.58$ (EC2 Εξ.7.17)
 $l_{eff}/d=3.600/0.160=22.50 \leq 664.58$, Ανοιγμα/ύψος κάτω ορίου
Έλεγχος παραμορφώσεων με άμεσο υπολογισμό (SLS) (EN1992-1-1, §7.4.3)
 $M_{ed}=2.73 < 0.70 \times M_{cr}=0.70 \times 20.39=14.28 \text{ kNm}$, $\zeta=0.00$ (Εξ.7.19)
 Τελική καμπυλότητα $(1/r)=0.00 \times (0.001 \times 3.058) + (1 - 0.00) \times (0.001 \times 0.765) = (0.001) \times 0.765 (1/m)$ (Εξ.7.18)
 $\beta=(M_a+M_b)/M_c=(0.00+11.86)/4.70=2.52$, $k=0.104(1-2.52/10)=0.0778$
 $f=k \cdot L_{eff}^2 \cdot (1/r)=0.0778 \times 3.600^2 \times 0.765=0.77 \text{ mm}$
 $f=0.77 \text{ mm} \leq 1000 \times 3.600/250=14.40 \text{ mm}$, Παραμόρφωση κάτω ορίου
Ελάχιστα εμβαδά οπλισμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.2)

Ελάχιστα εμβαδά οπλισμού $A_{s,min}=k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}/\sigma_s$ (EC2 Εξ.7.1)
 $b=1.000 \text{ m}$, $b_{eff}=1.000 \text{ m}$, $h=0.180 \text{ m}$, $d=0.160 \text{ m}$, $x=0.039 \text{ m}$, $\emptyset=10 \text{ mm}$
 $N_{ed}=0.00 \text{ kN}$, $\sigma_c=(N_{ed}/bh)=0.0 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_s=435 \text{ N/mm}^2$
 $A_{ct}=(h-x) \cdot b=(180-39) \times 1000=140695 \text{ mm}^2$
 $\max(h,b1)=0 \text{ mm}$, $f_{ctm}=3.50 \text{ N/mm}^2$, $A_{ct}=140695 \text{ mm}^2$, $k=1.00$, $k_c=0.40$, $k1=1.50$
 Ελάχιστος οπλισμός, $A_{s,min}=0.40 \times 1.00 \times 3.50 \times 140695/435=453 \text{ mm}^2/\text{m}$
Υπολογισμός εύρους ρωγμών (SLS) (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.3)

$w_k=s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm})$ (EC2 Εξ.7.8)
 $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}=[\sigma_s-k_t \cdot (f_{ct,eff}/\rho_{eff})(1+a_e \cdot \rho_{eff})]/E_s \geq 0.6 \sigma_s/E_s$ (EC2 Eq.7.9)
 $\sigma_s=64 \text{ N/mm}^2$, μικρής διάρκειας φόρτιση: $E_s/E_c=5.71$, $k_t=0.6$, μικράς διάρκειας φόρτιση: $E_s/E_c=20.00$, $k_t=0.4$
 $A_{c,eff}=0.333(h-x)b=0.333 \times (180-39) \times 1000=46851 \text{ mm}^2$ (§7.3.2.3)
 $\rho_{eff}=A_s/A_{c,eff}=291/46851=0.006$
 $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}=[64-0.4 \times (3.5/0.006)(1+20.00 \times 0.006)]/200=-0.95\text{‰} \geq 0.6 \times 64/200=0.19\text{‰}$
 $s_{r,max}=k_3 \cdot C_{nom}+k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \{Z/\rho_{eff}$ (EC2 Εξ.7.11)
 $\emptyset=10 \text{ mm}$, $k_1=0.8$, $k_2=(e_1+e_2)/2e_1=0.5$, $k_3=3.4$, $k_4=0.425$
 $s_{r,max}=3.4 \times 15.00+0.8 \times 0.5 \times 0.425 \times 10/0.006=324.70 \text{ mm}$
 $w_k=s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm})=324.70 \times 0.001 \times 0.19=0.06 \text{ mm}$
 $w_k=0.06 \text{ mm} \leq 0.40 \text{ mm}=w_{max}$, Κατηγορία περιβάλλοντος: XC1, Πλάτος ρωγμής κάτω ορίου
 ΠΛΑΚΑ-004

Κατάλογος οπλισμού

C40/50 - B500C



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΔΟΚΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ – ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	
Σκυρόδεμα	
C25/30	
Fcd	14.17
Fctd	1.02
Mr	108
Vrdc	51.99
Vrdmax	276.1
C40/50	
Fcd	22.67
Fctd	1.42
Mr	104
Vrdc	59.74
Vrdmax	260.3

ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ ΣΕ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΚΑΜΨΗ	
Σκυρόδεμα	
C25/30	
Fcd	14.17
Fctd	1.02
As,tot	11.25
Vrdc	66.62
Vrdmax	276.1
C40/50	
Fcd	22.67
Fctd	1.42
As,tot	6.75
Vrdc	69.99
Vrdmax	388.7

ΠΛΑΚΑΣΕ ΚΑΜΨΗ	
Σκυρόδεμα	
C25/30	
Fcd	14.17
Fctd	1.02
Mr	21
As	10/26
Mcr	15.35
Vrdc	66.62
Vrdmax	276.1
C40/50	
Fcd	22.67
Fctd	1.42
Mr	21
As	10/26.5
Mcr	20.42
Vrdc	69.99
Vrdmax	388.7

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ», Παναγιώτης Α. Μιχάλης Σωτήρης Χ. Δημητρίου, Επιβλέπων Καθηγητής Γεώργιος Κονιτόπουλος, Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2007
2. http://www.pischools.gr/download/lessons/tee/mechanical/1b/Book_Weldings/kef_1.pdf
3. Κωσταντίνος Γ. Πασπαλάς, Σινεδόρ, 2009, «Η Ευρωπαϊκή τυποποίηση των χαλύβων και των χυτοσιδήρων».
4. Ημερίδα «Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος και σκυρόδεμα», Γιαννόπουλος Πλούταρχος, 2008.
5. "2nd International Symposium on Nanotechnology in Construction", 13 -16 November 2005, Bilbao, Spain. ΣΟΦΙΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΟΥ, πολιτικόςμηχ. Τ.Ε., Μ. Sc
6. «Ευρωκώδικας 2», 2011, Γεώργιος Πενέλης, ομότιμος καθηγητής Α.Π.Θ., Ανδρέας Κάππος, καθηγητής Α.Π.Θ., Χρήστος Ιγνατάκης, καθηγητής Α.Π.Θ., Αναστάσιος Σέξτος, επίκουρος καθηγητής Α.Π.Θ.
7. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ «ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΥΛΙΚΑ Ι», Δρ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΚΟΛΟΒΟΣ, ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π., ΔΙΔΑΚΤΩΡ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π., ΛΕΚΤΟΡΑΣ Π.Δ. 407/80 Σ.Σ.Ε., ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ ΤΟΥ Ε.Κ.Ε.Ο, ΒΑΡΗ 2012
8. ΤΣΙΡΚΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ, ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΤΕΙΘ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2013
9. <http://www.runet.gr/Betonexpress.htm>