



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**



**ΠΑΣΙΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ (Α.Μ. 01103146)**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

**ΤΡΕΖΟΣ Γ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

**Αθήνα, Νοέμβριος 2011**



---

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. **Τρέζο Κωνσταντίνο**, Επίκουρο Καθηγητή του Τομέα Δομοστατικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, τόσο για την πολύτιμη καθοδήγηση του στην διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας όσο και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε.

Για την καθοριστική συμβολή του στις πειραματικές διαδικασίες, τις οργανωτικές του ικανότητες, αλλά και την απεριόριστη υπομονή που επέδειξε απέναντι μου, οφείλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. **Σφήκα Ιωάννη**, Πολιτικό Μηχανικό και υποψήφιο διδάκτορα του Τομέα Δομοστατικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την **οικογένεια** μου, για την στήριξη και την ενθάρρυνση καθ' όλη την διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας.

**Πάσιος Χρήστος Γεράσιμος**  
**Κιν. 6948360347**  
**e-mail: pasios85@hotmail.com**

---

---

---

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ) είναι ένα καινοτόμο κατασκευαστικό υλικό, του οποίου η χύτευση μπορεί να πραγματοποιηθεί από οποιοδήποτε σημείο του ξυλοτύπου και υπό την επίδραση μόνο του ιδίου βάρους. Η ικανότητα ροής μέσω του οπλισμού καθιστά το ΑΣΣ ικανό προς πλήρωση του ξυλοτύπου χωρίς τη χρήση δονητών μάζας. Η χρήση του ΑΣΣ επιφέρει την αύξηση της παραγωγικότητας, τη μείωση του απαιτούμενου εργατικού δυναμικού καθώς και τη βελτίωση της συνολικής ποιότητας του αποτελέσματος στην κατασκευή.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η συνάφεια του σκυροδέματος με το χάλυβα οπλισμού σε υποστυλώματα ΑΣΣ χαμηλού ύψους οπλισμένα με τρεις ράβδους τοποθετημένες σε διαφορετικά ύψη και σε δοκούς ΑΣΣ οπλισμένες με εννιά ράβδους. Πέραν της αντοχής σε συνάφεια μελετάται το φαινόμενο των άνω ράβδων, όπως επίσης και η μεταβολή της τάσης συνάφειας κατά μήκος δοκιμίου δοκού. Στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας παρήχθησαν 5 συνθέσεις ΑΣΣ και 2 συνθέσεις συμβατικού σκυροδέματος (ΣΣ). Στη συνέχεια μέσω δοκιμών εξόλκευσης καταρτιστήκαν τα διαγράμματα τάσεως συνάφειας-ολίσθησης. Εξετάζονται οι περιπτώσεις επιλογής της μέσης τάσης συνάφειας ( $\tau_m$ ), της τάσης συνάφειας που αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο εξόλκευσης ( $\tau_{max}$ ) και ο αριθμητικός μέσος των τάσεων συνάφειας που αντιστοιχούν σε ολισθήσεις 0.01, 0.10, 1.00mm, ως αντοχή συνάφειας. Πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα δοκίμια κάθε σύνθεσης αλλά και μεταξύ των δύο τύπων σκυροδέματος.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, συνάφεια, πρόβλημα των άνω οπλισμών, μεταβολή της τάσης συνάφειας κατά μήκος δοκιμίου δοκού

---

---

## ABSTRACT

Self-compacting concrete (SCC) is an innovative construction material that can be cast in any place of the formwork, just through the accommodation due to its own weight. SCC is capable to flow inside the formwork, passing through the reinforcement and filling it out without the use of compacting equipments. The use of SCC increases the productivity, reduces the labor and improves the final quality of the structure.

In the present thesis, steel-to-concrete bond in low-height columns of SCC with 3 reinforcement bars embedded in different height positions and beams with 9 reinforcement bars is examined. In addition to steel-to-concrete bond, top-bar effect and variation in bond strength across the length of a beam specimen are also examined. Within this experimental process, 5 mixture compositions of SCC and 2 mixture compositions of conventional concrete (NC) were produced. The bond stress curves as a function of slip were constructed by conducting pull-out tests. Selection of the mean bond stress ( $\tau_m$ ), the bond stress corresponding to the maximum pull-out load ( $\tau_{max}$ ) and the arithmetic mean of the bond stresses recorded at slips of 0.01, 0.10, and 1.00 mm as bond strength are being examined. A comparison between the results of the specimens per composition and type of concrete is being made.

**KEY WORDS:** self-compacting concrete, steel-to-concrete bond, top-bar effect, variation in bond strength across the length of a beam specimen

---

---

---

---

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ  
ΠΕΡΙΛΗΨΗ  
ABSTRACT

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	I
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	III
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	V
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	X
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ .....	XII

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Θεωρητικό μέρος ..... 1

1.1. Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα .....	1
1.1.1. Γενικά Στοιχεία .....	1
1.1.2. Πλεονεκτήματα ΑΣΣ .....	4
1.1.3. Ειδικές απαιτήσεις ΑΣΣ .....	5
1.1.4. Δοκιμές ελέγχου .....	5
1.2. Συνάφεια σκυροδέματος με το χάλυβα οπλισμού .....	16
1.2.1. Γενικά .....	16
1.2.2. Πρόβλημα των άνω οπλισμών .....	19
1.2.3. Δοκιμές συνάφειας .....	19
1.3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....	21
1.3.1. Διεθνής βιβλιογραφία .....	21
1.3.2. Προηγούμενες εργασίες του εργαστηρίου .....	35

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Πειραματικό μέρος ..... 44

2.1. Εισαγωγή – Πειραματικό πρόγραμμα .....	44
2.2. Συνθέσεις και Έλεγχοι σκυροδέματος .....	46
2.2.1. Κοκκομετρικές καμπύλες αδρανών .....	46
2.2.2. Συλλογή αδρανών – Υπολογισμός υγρασίας .....	49
2.2.3. Παρασκευή μιγμάτων .....	49
2.2.4. Βάρος νεπού σκυροδέματος.....	50
2.2.5. Υπολογισμός ωφέλιμου νερού.....	56
2.2.6. Προετοιμασία και Παρασκευή δοκιμίων .....	59



---

2.2.7. Έλεγχοι νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος .....	62
<b>2.3. Πειραματικές διατάξεις και αποτελέσματα .....</b>	<b>66</b>
2.3.1. Δοκιμή εξόλκευσης .....	66
2.3.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	67
2.3.3. Σχολιασμός και αξιολόγηση αποτελεσμάτων .....	101
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Συμπεράσματα .....</b>	<b>113</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>118</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α (Τεχνικά Φυλλάδια Υλικών) .....</b>	<b>120</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β (Βαθμονόμηση Δυναμοκυψέλης CCG-300).....</b>	<b>126</b>

---

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.1</b> Κατηγορίες κάθισης (πηγή: Προσαρμογή ΚΤΣ 97/ΦΕΚ 537/1-5-2002) .....	7
<b>Πίνακας 1.2</b> Βασικές τιμές του $f_{bd}$ (MPa) .....	18
<b>Πίνακας 1.3</b> Ομάδες δοκιμίων (πηγή: Almeida Filho et al. 2007) .....	26
<b>Πίνακας 1.4</b> Κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια $\tau/f_{cc}^{0.5}$ , για όλα τα μίγματα χρησιμοποιώντας διαφορετικά κριτήρια ( $\tau_{max}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_m$ ) (Τρέζος κ.α. 2010) .....	30
<b>Πίνακας 1.5</b> Χαρακτηριστικές τιμές ανηγμένης τάσης συνάφειας στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος κάτω (col-row), μεσαίας (col-mid), άνω (col-upp) ράβδου υποστρώματος και μέση τάση των 3 κύβων (Στύλος 2011). .....	42
<b>Πίνακας 2.1</b> Συνθέσεις που παρήχθησαν και δοκίμια που σκυροδετήθηκαν στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας .....	44
<b>Πίνακας 2.2</b> Υπόδειγμα υπολογισμού διορθωτικού συντελεστή για τη σύνθεση Σ124..50	
<b>Πίνακας 2.3</b> Διορθωτικοί συντελεστές που προκύπτουν από τη σύγκριση του εκτιμώμενου ειδικού βάρους του σκυροδέματος και του ειδικού βάρους του νεπού σκυροδέματος .....	51
<b>Πίνακας 2.4</b> Σχεδιασμός Συνθέσεων (στόχος για $1m^3$ ): Συστατικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΑΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (SCC-26 έως SCC-29 και SCC-31) .....	52
<b>Πίνακας 2.5</b> Σχεδιασμός Συνθέσεων (στόχος για $1m^3$ ): Συστατικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (NC-11, NC-12) ..	53
<b>Πίνακας 2.6</b> Διόρθωση Συνθέσεων (αναγωγή ποσοτήτων σε $1m^3$ ): Συστατικά ( $kg/m^3$ ), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΑΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (SCC-26 έως SCC-29 και SCC-31) .....	54
<b>Πίνακας 2.7</b> Διόρθωση Συνθέσεων (αναγωγή ποσοτήτων σε $1m^3$ ): Συστατικά ( $kg/m^3$ ), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (NC-11, NC-12).....	55
<b>Πίνακας 2.8</b> Παράδειγμα υπολογισμού ωφέλιμου νερού για τη σύνθεση Σ124 (SCC-26) .....	56
<b>Πίνακας 2.9</b> Συστατικά ( $kg/m^3$ ), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΑΣΣ (SSD κατάσταση αδρανών) (SCC-26 έως SCC-29 και SCC-31) .....	57
<b>Πίνακας 2.10</b> Συστατικά ( $kg/m^3$ ), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΣΣ (SSD κατάσταση αδρανών) (NC-11, NC-12) .....	58
<b>Πίνακας 2.11</b> Τυπικά εύρη τιμών των δοκιμών αξιολόγησης χαρακτηριστικών εργασιμότητας & αυτοσυμπύκνωσης ΑΣΣ (I.O.K., ΠΕΤΕΠ 01-01-06-00) .....	62
<b>Πίνακας 2.12</b> Αποτελέσματα Ειδικών Ρεολογικών Ελέγχων ΑΣΣ (SCC-26 έως SCC-29 και SCC-31) και κατάταξη σύμφωνα με τις οδηγίες της EFNARC (2005) .....	63
<b>Πίνακας 2.13</b> Αποτελέσματα Κάθισης ΣΣ (NC-11, NC-12) και κατάταξη σύμφωνα με ΚΤΣ-97/EN206-1 .....	63
<b>Πίνακας 2.14</b> Ηλικία (ημέρες), βάρος (gr) και φορτίο θραύσης (kN) κυβικών δοκιμίων για όλες τις συνθέσεις. Θλιπτική αντοχή κυβικών δοκιμίων και μέση θλιπτική αντοχή συνθέσεων (MPa) .....	65

<b>Πίνακας 2.15</b> Τάσεις συνάφειας που θα χρησιμοποιηθούν ως βασικά κριτήρια ελέγχου στη παρούσα διπλωματική εργασία .....	67
<b>Πίνακας 2.16</b> Ανηγγμένες στην θλιπτική αντοχή τάσεις συνάφειας για τους κύβους Km .....	75
<b>Πίνακας 2.17</b> Τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) κάτω (col-low), μεσαίας (col-mid) και άνω (col-upp) ράβδου υποστυλώματος, μέση τάση 3 κύβων (Km) και ολισθήσεις που αντιστοιχούν στις $\tau_{max}$ ( $s_{\tau_{max}}$ ) (πραγματικές τιμές).....	88
<b>Πίνακας 2.18</b> Τιμές ανηγμένης τάσης συνάφειας στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος ( $\tau_{0.01}/f_{cc}$ , $\tau_{0.10}/f_{cc}$ , $\tau_{0.25}/f_{cc}$ , $\tau_{1.00}/f_{cc}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}/f_{cc}$ , $\tau_{max}/f_{cc}$ ) κάτω (col-low), μεσαίας (col-mid) και άνω (col-upp) ράβδου υποστυλώματος, μέση τάση 3 κύβων (Km) (πραγματικές τιμές).....	89
<b>Πίνακας 2.19</b> Λόγοι χαρακτηριστικών τιμών τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) άνω/κάτω ράβδου υποστυλώματος (πραγματικές τιμές).....	90
<b>Πίνακας 2.20</b> Λόγοι χαρακτηριστικών τιμών τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) άνω/κάτω ράβδου υποστυλώματος (εκτιμώμενες τιμές).....	90
<b>Πίνακας 2.21</b> Μειωτικοί συντελεστές $\alpha$ , των χαρακτηριστικών τάσεων συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ), για κάθε σύνθεση .....	91
<b>Πίνακας 2.22</b> Κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια ( $\tau_0/f_{cc}^{0.5}$ ), μειωτικός συντελεστής ( $\alpha$ ) και λόγος τάσεων άνω/κάτω ράβδου ( $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$ ) για όλες τις συνθέσεις και για 3 διαφορετικά κριτήρια( $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ).....	92
<b>Πίνακας 2.23</b> Σύγκριση των μιγμάτων ΑΣΣ όσον αφορά τη κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια $\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$ .....	101
<b>Πίνακας 2.24</b> Σύγκριση των μιγμάτων ΑΣΣ όσον αφορά το λόγο $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$ .....	102
<b>Πίνακας 2.25</b> Σύγκριση των μιγμάτων NC-11, NC-12 και SCC-28 όσον αφορά τη κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια $\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$ και το λόγο $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$ .....	103
<b>Πίνακας 2.26</b> Επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος ( $\tau_{col-low}/\tau_{Km}$ (%)) στην τάση της κάτω ράβδου του υποστυλώματος .....	104
<b>Πίνακας 2.27</b> Κανονικοποιημένες τάσεις ( $\tau_m/f_{cc}$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}/f_{cc}$ , $\tau_{max}/f_{cc}$ ) συνάφειας για την πρώτη ράβδο ( $\Delta 1$ ) της δοκού και για τη μέση τιμή των ράβδων ( $\Delta m$ ), λόγος $\Delta m/\Delta 1$ (%), τυπική απόκλιση και συντελεστής μεταβλητότητας COV (%) όλων των ράβδων της δοκού, κλίσεις $\alpha$ των ευθειών ελαχίστων τετραγώνων και συντελεστές προσαρμογής $R^2$ (επισημαίνεται ότι ο πίνακας αφορά τα ΑΣΣ μίγματα) .....	108
<b>Πίνακας 2.28</b> Συντελεστές μεταβλητότητας των κανονικοποιημένων τάσεων των ράβδων των δοκών για τις συνθέσεις SCC-26 και SCC-27, έπειτα από την απόρριψη των μετρήσεων για τις πρώτες ράβδους .....	109
<b>Πίνακας 2.29</b> Συντελεστές μεταβλητότητας των κανονικοποιημένων τάσεων των ράβδων των δοκών για τις συνθέσεις NC-11 και NC-12 .....	110

---

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΑΤΩΝ

<b>Διάγραμμα 1.1</b> Μεταβολή της αντοχής συνάφειας συναρτήσει της θλιπτικής αντοχής $f_c$ του σκυροδέματος (Yerlici and Özturan 2000) .....	22
<b>Διάγραμμα 1.2</b> Μεταβολή της αντοχής συνάφειας συναρτήσει του πάχους επικάλυψης $c$ του οπλισμού (Yerlici and Özturan 2000) .....	22
<b>Διάγραμμα 1.3</b> Μεταβολή της αντοχής συνάφειας συναρτήσει της διαμέτρου της ράβδου $d_b$ οπλισμού (Yerlici and Özturan 2000) .....	23
<b>Διάγραμμα 1.4</b> Μεταβολή της αντοχής συνάφειας συναρτήσει του δείκτη εγκάρσιου οπλισμού $K_{tr}$ (Yerlici and Özturan 2000) .....	23
<b>Διάγραμμα 1.5</b> Τάση εξόλκευσης-ολίσθηση (Yerlici and Özturan 2000) .....	24
<b>Διάγραμμα 1.6</b> Κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας για όλα τα μίγματα (Zhu, Sonebi and Bartos 2004) .....	25
<b>Διάγραμμα 1.7</b> Κανονικοποιημένη χαρακτηριστική/μέγιστη τάση συνάφειας σε συνάρτηση με τη διάμετρο των ράβδων οπλισμού (Boel, et al. 2010) .....	27
<b>Διάγραμμα 1.8</b> Διακύμανση της τάσης συνάφειας καθ' ύψος των πρισματικών δοκιμίων (Khayat, Manai, Trudel 1997) .....	28
<b>Διάγραμμα 1.9</b> Διακύμανση της τάσης συνάφειας καθ' ύψος των υποστυλωμάτων (Soylev, Francois 2003) .....	28
<b>Διάγραμμα 1.10</b> (Αριστερά) μεταβολή του μειωτικού συντελεστή $\alpha$ , για τις χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας και (δεξιά) μειωτικός συντελεστής $\alpha$ , που αντιστοιχεί στη μέση τάση συνάφειας $\tau_m$ (Τρέζος κ.α. 2010) .....	31
<b>Διάγραμμα 1.11</b> Κανονικοποιημένη τάση συνάφειας συναρτήσει της ηλικίας των δοκιμίων για τα μίγματα ΑΣΣ και ΣΣ (Hassan, Hossain and Lachemi 2009) .....	32
<b>Διάγραμμα 1.12</b> Μέση κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας άνω και κάτω ράβδων και για όλα τα μίγματα (Thrane et al. 2010) .....	33
<b>Διάγραμμα 1.13</b> Μέση κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας για τα μίγματα ΑΣΣ ως συνάρτηση του πλαστικού ιξώδους. Τα αποτελέσματα αντιστοιχούν στις ράβδους της κάτω σειράς (Thrane, et al. 2010) .....	33
<b>Διάγραμμα 1.14</b> Μέση κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας για τα μίγματα ΑΣΣ ως συνάρτηση της τάσης διαρροής. Τα αποτελέσματα αντιστοιχούν στις ράβδους της κάτω σειράς (Thrane et al. 2010) .	34
<b>Διάγραμμα 1.15</b> Κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας για κάθε ράβδο της κάτω σειράς και για κάθε μίγμα. Η διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο ΣΣ. Το ΑΣΣ αφέθηκε να ρέει ώστε να πληρώσει το καλούπι από τα αριστερά προς τα δεξιά (Thrane et al. 2010) .....	34
<b>Διάγραμμα 1.16</b> Δοκιμή εξόλκευσης ράβδων (Σφήκας 2007) .....	39
<b>Διάγραμμα 1.17</b> Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ( $\tau_{max}$ , $\tau_{s=1}$ , $\tau_{s=0.1}$ , $\tau_{s=0.01}$ ) ως συνάρτηση της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010) .....	40
<b>Διάγραμμα 1.18</b> Μεταβολή τάσεων χαρακτηριστικών ολισθήσεων ( $\tau_{max}$ , $\tau_{s=1}$ , $\tau_{s=0.1}$ , $\tau_{s=0.01}$ ) και μέγιστης τάσης συνάφειας ( $\tau_{max}$ ) συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο και σύγκριση με τις προβλεπόμενες τιμές του ΕΚΩΣ 2000 (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010) .....	40
<b>Διάγραμμα 1.19</b> Θλιπτική αντοχή $f_c$ ως συνάρτηση της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010) .....	41
<b>Διάγραμμα 1.20</b> Συγκριτικό διάγραμμα κανονικοποιημένων αντοχών συνάφειας για μίγματα ΑΣΣ και ΣΣ (Στύλος 2011) .....	41

<b>Διάγραμμα 1.21</b> Μειωτικοί συντελεστές συνάφειας (Στύλος 2011) .....	42
<b>Διάγραμμα 2.1</b> Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών .....	48
<b>Διάγραμμα 2.2</b> Κοκκομετρική διαβάθμιση συνθέσεων .....	48
<b>Διάγραμμα 2.3</b> Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, SCC-26 (Σ124, Σ125) .....	68
<b>Διάγραμμα 2.4</b> Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, SCC-27 (Σ126, Σ127) .....	68
<b>Διάγραμμα 2.5</b> Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, SCC-28 (Σ128, Σ129) .....	69
<b>Διάγραμμα 2.6</b> Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, SCC-29 (Σ134, Σ135) .....	69
<b>Διάγραμμα 2.7</b> Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, SCC-31 (Σ137, Σ138) .....	70
<b>Διάγραμμα 2.8</b> Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, NC-11 (Σ130, Σ131) .....	70
<b>Διάγραμμα 2.9</b> Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, NC-12 (Σ132, Σ133) .....	71
<b>Διάγραμμα 2.10</b> Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμών(K1, K2,K3), μέση τάση 3 κύβων (Km) για τη σύνθεση SCC-26.....	72
<b>Διάγραμμα 2.11</b> Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμών(K1, K2,K3), μέση τάση 3 κύβων (Km) για τη σύνθεση SCC-27.....	72
<b>Διάγραμμα 2.12</b> Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμών(K1, K2,K3), μέση τάση 3 κύβων (Km) για τη σύνθεση SCC-28.....	73
<b>Διάγραμμα 2.13</b> Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμών(K1, K2,K3), μέση τάση 3 κύβων (Km) για τη σύνθεση SCC-29.....	73
<b>Διάγραμμα 2.14</b> Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμών(K1, K2,K3), μέση τάση 3 κύβων (Km) για τη σύνθεση SCC-31.....	74
<b>Διάγραμμα 2.15</b> Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμών(K1, K2,K3), μέση τάση 3 κύβων (Km) για τη σύνθεση NC-11.....	74
<b>Διάγραμμα 2.16</b> Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμών(K1, K2,K3), μέση τάση 3 κύβων (Km) για τη σύνθεση NC-12.....	75
<b>Διάγραμμα 2.17</b> Τάσεις συνάφειας ανηγμένες στη θλιπτική αντοχή ( $\tau/f_{cc}$ ), για τη μέση τιμή των κύβων (Km) .....	76
<b>Διάγραμμα 2.18</b> Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (SCC-26) .....	77
<b>Διάγραμμα 2.19</b> Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (SCC-27) .....	77
<b>Διάγραμμα 2.20</b> Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (SCC-28) .....	78
<b>Διάγραμμα 2.21</b> Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (SCC-29) .....	78
<b>Διάγραμμα 2.22</b> Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (SCC-31) .....	79

<b>Διάγραμμα 2.23</b> Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (NC-11) .....	79
<b>Διάγραμμα 2.24</b> Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (NC-12) .....	80
<b>Διάγραμμα 2.25</b> Τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.01$ συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	81
<b>Διάγραμμα 2.26</b> Τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.10$ συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	81
<b>Διάγραμμα 2.27</b> Τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.25$ συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	82
<b>Διάγραμμα 2.28</b> Τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=1.00$ συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	82
<b>Διάγραμμα 2.29</b> Μέση τάση συνάφειας (με ολοκλήρωση) συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	83
<b>Διάγραμμα 2.30</b> Μέση τιμή της τάσης συνάφειας για ολισθήσεις $s=0.01, 0.10, 1.00$ συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	83
<b>Διάγραμμα 2.31</b> Μέγιστη τάση συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	84
<b>Διάγραμμα 2.32</b> Τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.01\text{mm}$ ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	84
<b>Διάγραμμα 2.33</b> Τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.10\text{mm}$ ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	85
<b>Διάγραμμα 2.34</b> Τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.25\text{mm}$ ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	85
<b>Διάγραμμα 2.35</b> Τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=1.00\text{mm}$ ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	86
<b>Διάγραμμα 2.36</b> Μέση τάση συνάφειας (με ολοκλήρωση) ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	86
<b>Διάγραμμα 2.37</b> Μέση τιμή των τάσεων συνάφειας για ολισθήσεις $0.01, 0.10, 1.00\text{mm}$ , ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	87
<b>Διάγραμμα 2.38</b> Μέγιστη τάση συνάφειας ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος .....	87
<b>Διάγραμμα 2.39</b> Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (SCC-26).....	93
<b>Διάγραμμα 2.40</b> Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (SCC-27).....	93
<b>Διάγραμμα 2.41</b> Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (SCC-28).....	94
<b>Διάγραμμα 2.42</b> Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (NC-11).....	94
<b>Διάγραμμα 2.43</b> Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (NC-12).....	95
<b>Διάγραμμα 2.44</b> Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (SCC-29).....	95

<b>Διάγραμμα 2.45</b> Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (SCC-31).....	96
<b>Διάγραμμα 2.46</b> Τάση συνάφειας για $s = 0.01$ ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης .....	96
<b>Διάγραμμα 2.47</b> Τάση συνάφειας για $s = 0.10$ ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης .....	97
<b>Διάγραμμα 2.48</b> Τάση συνάφειας για $s = 0.25$ ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης .....	97
<b>Διάγραμμα 2.49</b> Τάση συνάφειας για $s = 1.00$ ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης .....	98
<b>Διάγραμμα 2.50</b> Μέση τάση συνάφειας (με ολοκλήρωση) ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης .....	98
<b>Διάγραμμα 2.51</b> Μέση τιμή τάσεων συνάφειας (για ολισθήσεις $s=0.01, 0.10, 1.00$ ) ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης .....	99
<b>Διάγραμμα 2.52</b> Μέγιστη τάση συνάφειας ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης .....	99
<b>Διάγραμμα 2.53</b> Μεταβολή της κανονικοποιημένης αντοχής σε συνάφεια ( $\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$ ) συναρτήσει του λόγου του ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο για τα μίγματα ΑΣΣ .....	101
<b>Διάγραμμα 2.54</b> Μεταβολή του λόγου $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$ συναρτήσει του λόγου του ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο για τα μίγματα ΑΣΣ .....	102
<b>Διάγραμμα 2.55</b> Μεταβολή του λόγου $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$ συναρτήσει του λόγου του ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο για τα μίγματα SCC-29, SCC-28 και SCC-31 .....	103
<b>Διάγραμμα 2.56</b> Σύγκριση κανονικοποιημένων ( $\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$ ) αντοχών σε συνάφεια για τα μίγματα NC-11, NC-12 και SCC-28 .....	104
<b>Διάγραμμα 2.57</b> Μεταβολή του λόγου $\tau_{col-low}/\tau_{Km}$ (%) συναρτήσει του λόγου του ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο για τα μίγματα ΑΣΣ .....	105
<b>Διάγραμμα 2.58</b> Κανονικοποιημένη μέση τάση συνάφειας (με ολοκλήρωση) των ράβδων της δοκού συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής .....	106
<b>Διάγραμμα 2.59</b> Μέση τιμή των κανονικοποιημένων τάσεων συνάφειας (για ολισθήσεις $s=0.01, 0.10, 1.00$ ) των ράβδων της δοκού συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής .....	107
<b>Διάγραμμα 2.60</b> Κανονικοποιημένη μέγιστη τάση συνάφειας ( $\tau_{max}/\sqrt{f_{cc}}$ ) των ράβδων της δοκού συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής .....	107
<b>Διάγραμμα 2.61</b> Μεταβολή του συντελεστή μεταβλητότητας των τάσεων συνάφειας των ράβδων για κάθε δοκό, συναρτήσει του λόγου ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο .....	110
<b>Διάγραμμα 2.62</b> Λόγος της μέσης τιμής της τάσης συνάφειας $\tau_m$ των ράβδων της δοκού ( $\Delta m$ ) προς τη μέση τιμή της αντίστοιχης τάσης συνάφειας των τριών κύβων ( $Km$ ).....	111
<b>Διάγραμμα 2.63</b> Λόγος της μέσης τιμής της τάσης συνάφειας $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ των ράβδων της δοκού ( $\Delta m$ ) προς τη μέση τιμή της αντίστοιχης τάσης συνάφειας των τριών κύβων ( $Km$ ).....	111
<b>Διάγραμμα 2.64</b> Λόγος της μέσης τιμής της μέγιστης τάσης συνάφειας των ράβδων της δοκού ( $\Delta m$ ) προς τη μέση τιμή της αντίστοιχης τάσης συνάφειας των τριών κύβων ( $Km$ ).....	112
<b>Διάγραμμα 3.1</b> Τάσεις συνάφειας ανηγμένες στη θλιπτική αντοχή (μέσος όρος των 3 κύβων) για τις χαρακτηριστικές τιμές ολίσθησης 0.01, 0.10, 0.25, 1.00, ανηγμένη μέση τάση (με ολοκλήρωση), μέση τιμή των ανηγμένων τάσεων για ολισθήσεις 0.01, 0.10 και 1.00 αλλά και μέγιστη ανηγμένη τάση συνάφειας (μέσος όρος μιγμάτων ΑΣΣ και ΣΣ).....	114

---

<b>Διάγραμμα 3.2</b> Τάσεις συνάφειας κανονικοποιημένες στη ρίζα της θλιπτικής αντοχής (εκτιμώμενες τιμές στη βάση του υποστυλώματος) για τις χαρακτηριστικές τιμές ολίσθησης 0.01, 0.10, 0.25, 1.00, κανονικοποιημένη μέση τάση (με ολοκλήρωση), κανονικοποιημένη μέση τιμή των τάσεων για ολισθήσεις 0.01, 0.10 και 1.00 αλλά και μεγίστη κανονικοποιημένη τάση συνάφειας ( <b>μέσος όρος μυχμάτων ΑΣΣ και ΣΣ</b> ) .....	114
<b>Διάγραμμα 3.3</b> Λόγος άνω/κάτω ράβδου (εκτιμώμενες τιμές) για όλες τις εξεταζόμενες τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ , $\tau_{0.10}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_{1.00}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) ( <b>μέσος όρος μυχμάτων ΑΣΣ και ΣΣ</b> ).....	115
<b>Διάγραμμα 3.4</b> Συντελεστής μεταβλητότητας για τις τάσεις συνάφειας $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ (που έχουμε επιλέξει ως κριτήρια ελέγχου) των ράβδων δοκιμίου δοκού ( <b>μέσος όρος μυχμάτων ΑΣΣ και ΣΣ</b> ) .....	115
<b>Διάγραμμα Β.1</b> Συγκριτικό διάγραμμα ενδείξεων μηχανής θλίψης (WF-3000) και δυναμοκυψέλης DSCC-1000 .....	126
<b>Διάγραμμα Β.2</b> Συγκριτικό διάγραμμα ενδείξεων δυναμοκυψέλης CCG-300 και δυναμοκυψέλης DSCC-1000 .....	127



---

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.1</b>	(Α) Συμβατικό σκυρόδεμα (απαίτηση δονητικής συμπίκνωσης), (Β) Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (πλήρωση καλουπιών χωρίς δόνηση) .....	1
<b>Εικόνα 1.2</b>	Βάσεις αγκύρωσης της γέφυρας Akashi-Kaikyo (Ιαπωνία, Απρίλιος 1998). Στη συγκεκριμένη γέφυρα χρησιμοποιήθηκαν 290.000m <sup>3</sup> ΑΣΣ, με το χρόνο κατασκευής να μειώνεται κατά 20% από 2,5 σε 2 χρόνια .....	3
<b>Εικόνα 1.3</b>	Κέντρο σύγχρονης τέχνης Rosenthal, Cinsinnati (Z. Hadid, 2003) .....	3
<b>Εικόνα 1.4</b>	Επιστημονικό κέντρο Phaeno, Wolfsburg (Z. Hadid, 2005).....	3
<b>Εικόνα 1.5</b>	Ραβδισμός σκυροδέματος κατά τη δοκιμή κάθισης .....	7
<b>Εικόνα 1.6</b>	Εξοπλισμός δοκιμής εξάπλωσης .....	8
<b>Εικόνα 1.7</b>	Μέτρηση εξάπλωσης .....	9
<b>Εικόνα 1.8</b>	Εξοπλισμός δοκιμής χοάνης V .....	10
<b>Εικόνα 1.9</b>	Χοάνη V Εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π. (πρόσθια όψη) .....	11
<b>Εικόνα 1.10</b>	Εξοπλισμός δοκιμής δοχείου L .....	12
<b>Εικόνα 1.11</b>	Άνοιγμα θύρας δοχείου L .....	13
<b>Εικόνα 1.12</b>	Μέτρηση των υψών H <sub>1,L</sub> και H <sub>2,L</sub> .....	13
<b>Εικόνα 1.13</b>	Εξοπλισμός δοκιμής δοχείου U .....	14
<b>Εικόνα 1.14</b>	Εξοπλισμός δοκιμής δακτυλίου J .....	14
<b>Εικόνα 1.15</b>	Μηχανισμοί ανάπτυξης τάσης συνάφειας .....	17
<b>Εικόνα 1.16</b>	Τυπικές συνθήκες συνάφειας κατά ΕΚΩΣ2000 .....	18
<b>Εικόνα 1.17</b>	Το πρόβλημα των άνω οπλισμών (top-bar effect) .....	19
<b>Εικόνα 1.18</b>	Τυποποιημένη δοκιμή δοκού της RILEM (1979) για τον προσδιορισμό της τοπικής συνάφειας – ολίσθησης (γεωμετρία δοκιμίου) .....	20
<b>Εικόνα 1.19</b>	Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης RILEM/CEB/FIP (1970) .....	20
<b>Εικόνα 1.20</b>	Δοκίμια προς έλεγχο, οπλισμένα με μία ή δύο ράβδους (Yerlici and Özturan 2000) .....	21
<b>Εικόνα 1.21</b>	Διατάξεις δοκιμών εξόλκευσης (Yerlici and Özturan 2000) .....	21
<b>Εικόνα 1.22</b>	Πειραματική διάταξη δοκιμής εξόλκευσης (Zhu, Sonebi and Bartos 2004) .....	24
<b>Εικόνα 1.23</b>	(Αριστερά) διατάξεις δοκιμής εξόλκευσης και (δεξιά) δοκιμής δοκού (Almeida Filho et al. 2007) .....	26
<b>Εικόνα 1.24</b>	Δοκίμια ύψους 1.50m (Valcuende and Parra, 2009) .....	29
<b>Εικόνα 1.25</b>	Δοκίμια δοκιμής εξόλκευσης (α) εμπρός και (β) πίσω όψη (Hassan, Hossain and Lachemi 2009) .....	31
<b>Εικόνα 1.26</b>	Δοκιμή δοκού τύπου Β (d≥16mm), διαστάσεις σε cm, (1. Βελόμετρα καταγραφής ολίσθησης, 2. Πλαστικοί σωλήνες, 3. Κινητές στηρίξεις) (Πάττα και Περβολαράκης 2005) .....	35
<b>Εικόνα 1.27</b>	Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης, διαστάσεις σε mm, (Πάττα και Περβολαράκης 2005) .....	36

---

<b>Εικόνα 1.28</b>	Νευρώσεις τύπου 1 (αριστερά) και νευρώσεις τύπου 2 (δεξιά) (Βαγγελή και Χρηστάκης, 2008).....	36
<b>Εικόνα 1.29</b>	Διάταξη δοκιμής δοκού (Βαγγελή και Χρηστάκης, 2008).....	37
<b>Εικόνα 1.30</b>	Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης (Βαγγελή και Χρηστάκης, 2008).....	38
<b>Εικόνα 1.31</b>	Συναρμολόγηση ξυλοτύπου, τοποθέτηση οπλισμών (αριστερά), (B) Υποστύλωμα σε κατάκλιση (δεξιά) (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).....	39
<b>Εικόνα 2.1</b>	Σκαρίφημα δοκιμίου δοκού .....	45
<b>Εικόνα 2.2</b>	Σκαρίφημα κυβικού δοκιμίου και δοκιμίου υποστυλώματος .....	46
<b>Εικόνα 2.3</b>	Μηχανή κοσκινίσματος και κόσκινα Εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π.....	47
<b>Εικόνα 2.4</b>	Πλήρεις μήτρες διαστάσεων 15×15×15cm .....	50
<b>Εικόνα 2.5</b>	Ξυλότυπος δοκιμίου δοκού έτοιμος προς πλήρωση .....	60
<b>Εικόνα 2.6</b>	Δοκίμια υποστυλώματος και κυβικά δοκίμια λίγο μετά το ξεκαλούπωμα .....	60
<b>Εικόνα 2.7</b>	Δοκίμιο δοκού λίγο μετά τη σκυροδέτηση .....	61
<b>Εικόνα 2.8</b>	Μηχανή θραύσης Wykeham Farrance του Εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος του Ε.Μ.Π.....	64
<b>Εικόνα 2.9</b>	Απεικόνιση πειραματικής διάταξης δοκιμής εξόλκευσης (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010) .....	66
<b>Εικόνα 2.10</b>	Τμήμα δοκιμίου δοκού έπειτα από την αστοχία (για τη σύνθεση NC-11).....	100

---

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

<b>ΣΧΧΧ</b>	σύνθεση με αύξοντα αριθμό ΧΧΧ,
<b>ΑΣΣ / SCC</b>	αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα,
<b>ΣΣ / NC / NVC</b>	συμβατικό σκυρόδεμα,
<b>HPC</b>	σκυρόδεμα υψηλής επιτελεστικότητας,
<b>HSC</b>	σκυρόδεμα υψηλής αντοχής,
<b>c</b>	τσιμέντο CEM II A/L 42.5N ή 32.5N ή 22.5,
<b>sf</b>	πυριτική παιπάλη,
<b>Ip</b>	ασβεστολιθικό φίλλερ,
<b>s</b>	άμμος 0/4,
<b>g<sub>1</sub></b>	ριζάκι 4/8,
<b>g<sub>2</sub></b>	γαρμπίλι 8/16,
<b>g<sub>3</sub></b>	σκύρα 16/32,
<b>w</b>	νερό,
<b>w'</b>	ωφέλιμο νερό,
<b>SP</b>	υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα,
<b>f</b>	λεπτόκοκκα (c+sf+Ip+παιπάλη αδρανών),
<b>w<sub>tot</sub></b>	βάρος μίγματος (ανά m <sup>3</sup> ),
<b>g</b>	χονδρόκοκκα (ανά m <sup>3</sup> ),
<b>b</b>	συνδετικό υλικό (c+sf),
<b>p</b>	πάστα (f+πρόσμικτα+νερό) (ανά m <sup>3</sup> ),
<b>m</b>	κονίαμα (πάστα+άμμος) (ανά m <sup>3</sup> ),
<b>S</b>	κατηγορία ικανότητας ροής με βάση την κάθιση (S1: 0≤S≤40mm, S2: 50≤S≤90mm, S3: 100≤S≤150mm, S4: 160≤S≤200mm, S5: S>200mm),

---

<b>SF</b>	SF: ανεμπόδιστη εξάπλωση / κατηγορία ικανότητας ροής με βάση την εξάπλωση (SF1: $550 \leq SF \leq 650\text{mm}$ , SF2: $650 < SF \leq 750\text{mm}$ , SF3: $750 < SF \leq 850\text{mm}$ ),
<b>VS</b>	κατηγορία ιξώδους με βάση τον χρόνο ροής $T_{50}$ (VS1: $T_{50} \leq 2s$ , VS2: $T_{50} > 2s$ ),
<b>VF</b>	κατηγορία ιξώδους με βάση τον χρόνο εκροής, από τη χαράνη V (VF1: $T_{V,A} \leq 8s$ , VF2: $8 < T_{V,A} \leq 25s$ ),
<b>PA</b>	κατηγορία διελυσιμότητας με βάση την ικανότητα διέλευσης από το δοχείο L (PA1: $\lambda_{\Delta H,L} \leq 0,80$ , PA2: $\lambda_{\Delta H,L} > 0,80$ ),
<b>FVSI</b>	δείκτης οπτικής σταθερότητας νωπού σκυροδέματος (με βάση τον έλεγχο ανεμπόδιστης εξάπλωσης),
<b><math>f_{cc}</math></b>	θλιπτική αντοχή σκυροδέματος,
<b><math>f_{bd}</math></b>	τιμή σχεδιασμού της τάσης συνάφειας,
<b><math>f_{bk}</math></b>	ονομαστική τιμή της τάσης συνάφειας,
<b>F</b>	δύναμη εξόλκευσης ράβδου οπλισμού,
<b>L</b>	μήκος συνάφειας,
<b><math>\emptyset</math></b>	διάμετρος ράβδου (mm),
<b><math>\tau_{0,01}</math></b>	τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.01\text{mm}$ ,
<b><math>\tau_{0,10}</math></b>	τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.10\text{mm}$ ,
<b><math>\tau_{0,25}</math></b>	τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.25\text{mm}$ ,
<b><math>\tau_{1,00}</math></b>	τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=1.00\text{mm}$ ,
<b><math>\tau_m</math></b>	μέση τάση συνάφειας (με ολοκλήρωση),
<b><math>\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}</math></b>	Μέση τιμή των τάσεων συνάφειας για ολισθήσεις $s=0.01, 0.10, 1.00\text{mm}$ ,
<b><math>\tau_{max}</math></b>	μέγιστη τάση συνάφειας,
<b><math>s_{\tau max}</math></b>	ολίσθηση που αντιστοιχεί στη μέγιστη τάση συνάφειας,
<b>Ki</b>	κυβικά δοκίμια προς έλεγχο συνάφειας ( $i=1, 2, 3$ ),
<b>Km</b>	μέση τιμή των τριών κυβικών δοκιμίων,
<b>col-i, real</b>	πραγματική τιμή τάσης συνάφειας ράβδου υποστυλώματος ( $i= \text{upr/άνω, mid/μεσαία, low/κάτω}$ ),

---

---

<b>col-i, est</b>	εκτιμώμενη τιμή τάσης συνάφειας ράβδου υποστυλώματος (i= upp/άνω, mid/μεσαία, low/κάτω),
<b><math>\Delta m</math></b>	μέση τιμή των ράβδων μιας δοκού,
<b><math>\Delta i</math></b>	ράβδος δοκιμίου δοκού (i=1, 2...,9),
<b><math>\tau_0</math></b>	εκτιμώμενη τιμή της τάσης συνάφειας στη βάση του υποστυλώματος,
<b><math>\tau/f_{cc}</math></b>	τάση συνάφειας ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος,
<b><math>\tau/\sqrt{f_{cc}}</math></b>	κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια
<b>COV (%)</b>	συντελεστής μεταβλητότητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Θεωρητικό μέρος

### 1.1. Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα

#### 1.1.1. Γενικά Στοιχεία

Σε όλα σχεδόν τα τεχνικά έργα, στα οποία γίνεται η χρήση σκυροδέματος, η διαδικασία της σκυροδέτησης επηρεάζει καθοριστικά τη συνολική ποιότητα του αποτελέσματος και κατέχει δεσπόζοντα ρόλο κατά την κατασκευή. Ιδιαίτερη μέριμνα αφιερώνεται σε αυτήν, όχι μόνο επειδή στη φάση αυτή διακυβεύεται η ασφάλεια της κατασκευής, αλλά και επειδή το κόστος των εργασιών και των υλικών της σκυροδέτησης αντιπροσωπεύει σημαντικό μέρος της συνολικής δαπάνης του έργου. Εξάλλου η ιδιότητα του σκυροδέματος ως υλικού χυτού επί τόπου του έργου επιτείνει την ανάγκη για επιμελημένη εφαρμογή, ώστε να περιοριστεί ο κίνδυνος αστοχιών ή κακοτεχνιών.



**Εικόνα 1.1** (Α) Συμβατικό σκυρόδεμα (απαιτήση δονητικής συμπίκνωσης), (Β) Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (πλήρωση καλουπιών χωρίς δόνηση).

Στις παραμέτρους εκείνες, οι οποίες επηρεάζουν δραστικά την ποιότητα μιας κατασκευής σκυροδέματος, περιλαμβάνεται ο βαθμός συμπίκνωσης του νωπού υλικού. Με τη συμπίκνωση (**Εικόνα 1.1**) επιδιώκεται η απομάκρυνση του εγκλωβισμένου αέρα από τη μάζα του μίγματος και ως εκ τούτου ο περιορισμός του πορώδους, που έχει ως συνέπεια την αύξηση της αντοχής και της ανθεκτικότητας του υλικού. Η διαδικασία της συμπίκνωσης παρά το γεγονός ότι είναι ευρύτατα διαδεδομένη, δεν είναι λίγες οι φορές που αποδεικνύεται αρκετά περίπλοκη ανάλογα με τη γεωμετρία του ξυλοτύπου που καλούμαστε να πληρώσουμε. Από την άλλη μεριά, το όλο και αυξανόμενο ποσοστό οπλισμού που υπαγορεύει ο ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός δυσκολεύει τη διαδικασία της δόνησης και συχνά οδηγεί στο φαινόμενο δημιουργίας κενών (φωλιές) τόσο στην επιφάνεια αλλά και κυρίως, στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων.

Η απαίτηση για βελτιστοποίηση της διαδικασίας της συμπύκνωσης οδήγησε στη δημιουργία του **Αυτοσυμπκνούμενου Σκυροδέματος** (ΑΣΣ / Self-Compacting ή Self-Consolidating Concrete - SCC). Το ΑΣΣ αποτελεί ένα υψηλής ρευστότητας σκυρόδεμα που έχει την ικανότητα διέλευσης υπό την επίδραση της βαρύτητας και απουσία δονητών μάζας, μέσω πυκνά οπλισμένων ή σύνθετων γεωμετρικά τύπων (ξυλότυπων, μεταλλότυπων κτλ), χωρίς εμφράξεις και χωρίς να υφίσταται ο κίνδυνος της απόμιξης.

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή του ΑΣΣ είναι ταυτόσημες με εκείνες που συμμετέχουν στην παραγωγή του ΣΣ (νερό, τσιμέντο, αδρανή), ενώ χρησιμοποιούνται επιπλέον πρόσμικτα (φίλλερ) όπως η πυριτική παιπάλη αλλά και χημικά πρόσθετα (υπερρευστοποιητές, ρυθμιστές ιξώδους) που προσδίδουν στο ΑΣΣ αυξημένη ρευστότητα και αντίσταση σε απόμιξη.

Στην ανάπτυξη της τεχνολογίας του ΑΣΣ, που αρχικά ερευνήθηκε και παρήχθη στη Ιαπωνία στα τέλη της δεκαετίας του 1980, οδήγησε ακριβώς η παρατήρηση ότι η δονητική συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος ήταν πολλές φορές ατελής ή ανεπαρκής και το κατάλληλα καταρτισμένο τεχνικό προσωπικό ήταν δυσεύρετο. Ο καθηγητής **Hajime Okamura** (Πανεπιστήμιο του Τόκιο, σήμερα Ινστιτούτο Τεχνολογίας Kochi) πρότεινε τη χρήση ΑΣΣ το 1986 και κατάφερε να επιτύχει την πρώτη εφαρμογή του υλικού το 1988 (κατάρτιση πρώτου πρότυπου σύνθεσης, διεξαγωγή real-scale tests). Το νέο υλικό αρχικά ονομάστηκε "**Σκυρόδεμα Υψηλής Επιτελεστικότητας**" (High Performance Concrete, HPC) εξαιτίας της υψηλής αντοχής του, σε σχέση με τη χαμηλή αναλογία νερού-τσιμέντου. Ακολούθησαν έρευνες για τις θεμελιώδεις αρχές και τους κανονισμούς που διέπουν το υλικό με κυριότερη αυτήν που κατατέθηκε από τους **Ozawa κ.ά.** (Ozawa, et al. 1989). Από τότε, ο όρος HPC χρησιμοποιήθηκε διεθνώς για υψηλής αντοχής σκυροδέματα. Ως εκ τούτου ο Okamura το 1997 πρότεινε την αλλαγή της ονομασίας σε "**Αυτοσυμπκνούμενο Σκυρόδεμα Υψηλής Επιτελεστικότητας**" (Self-Compacting High Performance Concrete).

Στην Ευρώπη, η πρώτη επαφή με το συγκεκριμένο τύπο σκυροδέματος γίνεται στις αρχές της δεκαετίας του 1990, όταν στις Σκανδιναβικές χώρες χρησιμοποιείται σε έργα οδοποιίας αλλά και στην παραγωγή προκατασκευασμένων στοιχείων.

Παρά την όλο και αυξανόμενη διάδοση του αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, η χρήση του στην Ελλάδα παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Δοκιμαστικά αναμίγματα και σκυροδετήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργοτάξιο της ζεύξης Ρίου-Αντιρρίου προκειμένου να διερευνηθεί η πιθανότητα χρήσης του σε ένα τεχνικό έργο μεγάλης κλίμακας. Τελικά μόνο ένα στοιχείο (36m<sup>3</sup>) των μόνιμων τμημάτων του έργου κατασκευάστηκε από ΑΣΣ. Συνήθεις εφαρμογές αφορούν τη κατασκευή βιομηχανικών δαπέδων, δωματίων, θεμελίων, κοιτοστρώσεων, και ενισχύσεων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος.

Οι πρώτοι κανονισμοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο παρουσιάστηκαν στη Γαλλία το 2000 και στις Σκανδιναβικές χώρες, ενώ ακολούθησε η Γερμανία, το Βέλγιο και η Ιταλία. Η αυξανόμενη όμως ζήτηση και το ενδιαφέρον για χρήση του νέου τύπου σκυροδέματος κατέστησε επιτακτική τη σύσταση οδηγιών σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Έτσι η EFNARC κυκλοφόρησε το 2002 τις πρώτες συστάσεις για το ΑΣΣ (EFNARC, 2002), οι οποίες λίγα χρόνια αργότερα εξελίχθηκαν στις πρώτες Ευρωπαϊκές Οδηγίες για ΑΣΣ (European Guidelines for SCC, 2005). Στην Ελλάδα υπάρχουν διαθέσιμες οι Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΕΤΕΠ) για το Αυτοσυμπκνούμενο Σκυρόδεμα που κυκλοφόρησαν από το ΥΠΕΧΩΔΕ (2004), ενώ σε ευρωπαϊκό επίπεδο βρίσκεται σε ισχύ το πρότυπο EN 206-9 που αφορά αποκλειστικά σε συμπληρωματικές οδηγίες για το ΑΣΣ.

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται κάποια σημαντικά τεχνικά έργα στα οποία έγινε χρήση ΑΣΣ.



**Εικόνα 1.2** Βάσεις αγκύρωσης της γέφυρας Akashi-Kaikyo (Ιαπωνία, Απρίλιος 1998). Στη συγκεκριμένη γέφυρα χρησιμοποιήθηκαν 290.000m<sup>3</sup> ΑΣΣ, με το χρόνο κατασκευής να μειώνεται κατά 20% από 2,5 σε 2 χρόνια.



**Εικόνα 1.3** Κέντρο σύγχρονης τέχνης Rosenthal, Cincinnati (Z. Hadid, 2003).



**Εικόνα 1.4** Επιστημονικό κέντρο Phaeno, Wolfsburg (Z. Hadid, 2005).



### 1.1.2. Πλεονεκτήματα ΑΣΣ

Τα οφέλη από τη χρήση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι πολλαπλά:

- **Αύξηση ταχύτητας σκυροδέτησης.** Η χρονική επιβάρυνση που επιβάλλει στην κατασκευή η διαδικασία της δόνησης με μηχανικά μέσα είναι σημαντική, ιδίως στην περίπτωση μεγάλων τεχνικών έργων οπότε και η ανάγκη για συμπύκνωση περιορίζει το ρυθμό διάστρωσης του σκυροδέματος.
- **Ευκολότερη διάστρωση και μειωμένη εργατική και εξοπλιστική δαπάνη.** Η εφαρμογή του ΑΣΣ καθιστά περιττή την ανάγκη για μηχανική δόνηση κατά τη διάστρωση με αποτέλεσμα τον περιορισμό του τεχνικού προσωπικού, όπως επίσης και του απαραίτητου εξοπλισμού για τις εργασίες τη σκυροδέτησης.
- **Διευκόλυνση και επίσπευση πλήρωσης πυκνά οπλισμένων διατομών και γεωμετρικά σύνθετων καλουπιών.** Η ικανότητα του ΑΣΣ να ρέει χωρίς να υφίσταται απόμειξη, επιτρέπει τη διείσδυση του μέσα από τις στενές διόδους που δημιουργεί η πυκνή παράθεση οπλισμού. Ακόμα η αυξημένη ρευστότητα του ΑΣΣ έχει ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα χύτευσης σε ξυλότυπους σύνθετης μορφολογίας.
- **Μείωση θορύβου στο έργο.** Η απουσία χρήσης δονητών έχει ως αποτέλεσμα τη δραστική μείωση του εργοταξιακού θορύβου και συνεπώς την αναβάθμιση των συνθηκών εργασίας και τη μείωση της όχλησης των κατοίκων αστικών περιοχών.
- **Βελτιωμένες τελικές επιφάνειες σκυροδέματος.** Η αντίσταση σε απόμειξη στα μίγματα ΑΣΣ εξασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή των συστατικών του στις τελικές επιφάνειες που δημιουργούνται. Αποφυγή δαπανηρών επισκευών για την αντιμετώπιση ατελειών μετά το ξεκαλούπωμα.
- **Μεγαλύτερος χρόνος ζωής ξυλότυπων και μεταλλότυπων λόγω της απουσίας της δόνησης.**
- **Ευκολότερη άντληση.**
- **Αυξημένες αντοχές και ανθεκτικότητα στο χρόνο.** Οι «επιφανειακές» ιδιότητες του σκυροδέματος είναι ίδιες με αυτές του «πυρήνα» του στοιχείου, που συνήθως είναι πιο καλά συμπυκνωμένος και λιγότερο διαπερατός σε χημικές επιδράσεις.
- **Καλύτερη συνάφεια με χαλύβδινο οπλισμό.**

### 1.1.3. Ειδικές απαιτήσεις ΑΣΣ

Γενικά η διαδικασία παραγωγής του ΑΣΣ απαιτεί μεγαλύτερη επιμέλεια σε σύγκριση με εκείνη του ΣΣ. Ειδικές απαιτήσεις που προκύπτουν από τη χρήση του ΑΣΣ είναι οι εξής:

- Ακριβής προσδιορισμός του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας των αδρανών, καθώς αυτή επηρεάζει άμεσα τις ρεολογικές ιδιότητες του νωπού ΑΣΣ.
- Τα πρόσθετα υλικά του ΑΣΣ επηρεάζουν διαφορετικά τις ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου σκυροδέματος, οπότε και θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη:
  - Τα χαρακτηριστικά των αδρανών (κοκκομετρία, μέγεθος και σχήμα κόκκων, ποσοστό παιπάλης).
  - Οι απαιτούμενες ποσότητες και τα χαρακτηριστικά των χημικών προσθέτων.
  - Η περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα υλικά-φίλλερ.
- Ανάγκη υψηλού επιπέδου ποιοτικού ελέγχου καθώς οι συνθέσεις του ΑΣΣ είναι περισσότερο ευαίσθητες στις διακυμάνσεις της παραγωγής του.
- Απαιτήση για μεγαλύτερη εξειδίκευση του προσωπικού που συμμετέχει στη μελέτη της σύνθεσης, στην παραγωγή, στη μεταφορά, στην άντληση και τη διάστρωση του ΑΣΣ.

### 1.1.4. Δοκιμές ελέγχου

Τα μίγματα τύπου ΑΣΣ διαφοροποιούνται σε σύγκριση με εκείνα του τύπου ΣΣ ως προς το ότι οφείλουν να ικανοποιούν ορισμένες επιπρόσθετες απαιτήσεις:

- **Σε νωπή φάση:** συμπύκνωση χωρίς μηχανικά μέσα, υπό την επίδραση μόνο του ιδίου βάρους του.
- **Σε πρόωμη ηλικία:** αποτροπή εμφάνισης φαινομένων που σχετίζονται με τη δημιουργία φωλεών ή το διαχωρισμό των συστατικών του μίγματος.
- **Μετά τη σκλήρυνση:** επαρκή και ομοιόμορφη συμπύκνωση που θα παρέχει αυξημένη προστασία έναντι εξωτερικών παραγόντων.

Τα χαρακτηριστικά εκείνα που καθορίζουν τη συμπεριφορά του υλικού και εκφράζουν το βαθμό ανταπόκρισης του στις παραπάνω απαιτήσεις είναι τα εξής:

- **ικανότητα πλήρωσης** (ρευστότητα, filling ability, unconfined flowability) Πρόκειται για την ικανότητα του μίγματος να ρέει και να γεμίζει πλήρως όλα τα σημεία του ξυλοτύπου.
- **ικανότητα διέλευσης** (διελευσιμότητα, αποφυγή έμφραξης αδρανών στα διάκενα του οπλισμού, confined flowability, passing ability). Δυνατότητα ροής του μίγματος δια μέσου στενών ανοιγμάτων, χωρίς συμπύκνωση και χωρίς να παρουσιάζει διαχωρισμό ή εμπλοκές.
- **αντίσταση σε απόμιξη** (σταθερότητα, ομοιογένεια) δηλαδή η ικανότητα του αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος να διατηρείται ομοιογενές κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και της διάστρωσης του.

Κατά την παρασκευή των μιγμάτων ΑΣΣ απαραίτητη είναι η διενέργεια μιας σειράς εξειδικευμένων δοκιμών ώστε να αξιολογηθούν οι ρεολογικές ιδιότητες κάθε μίγματος. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει σαφής σχέση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δοκιμών και της απόδοσης του ΑΣΣ στο έργο, παρά μόνο όρια ανοχής ή συμμόρφωσης, τα οποία δεν είναι σαφώς καθορισμένα λόγω έλλειψης ακριβών δεδομένων. Προς αποφυγή τυχαίων σφαλμάτων, συνιστάται η διπλή εκτέλεση της κάθε δοκιμής. Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή (αρχές λειτουργίας, αξιολόγηση, διαδικασία, ερμηνεία αποτελεσμάτων) των δοκιμών-ελέγχων που διενεργούνται συνήθως. Τα αποτελέσματα των ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, μπορούν να αναζητηθούν στην παράγραφο §2.2.6. («*Ελεγχοι Νωπού & Σκληρυμένου Σκυροδέματος*»).

Αρχικά θα γίνει αναφορά στη δοκιμή κάθισης η οποία κυρίως αφορά μίγματα ΣΣ, ενώ στα μίγματα ΑΣΣ πραγματοποιείται συνήθως παράλληλα με τη δοκιμή εξάπλωσης. Με τη δοκιμή κάθισης επιτρέπεται η εύκολη και γρήγορη επιτόπου κατάταξη του σκυροδέματος σε κατηγορίες σύμφωνα με τον *Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος 97 (Πίνακας 1.1.)*.

- **Δοκιμή κάθισης (Slump Test)**

*Αρχές λειτουργίας*

Πρότυπος μεταλλικός κόλουρος κώνος (κώνος του *Abrams*), ανοιχτός επάνω και κάτω γεμίζεται με νωπό σκυρόδεμα και συμπυκνώνεται (στην περίπτωση του ΑΣΣ το υλικό δεν υπόκειται σε συμπύκνωση). Όταν ο κώνος σηκωθεί, η κάθιση δίνει ένα μέτρο της συνεκτικότητας του σκυροδέματος. Η κάθιση είναι η διαφορά σε mm μεταξύ του ύψους του μεταλλικού κώνου και του ύψους του νωπού σκυροδέματος μετά την πτώση του.

*Αξιολόγηση*

Πρόκειται για μέθοδο σύμφωνα με την οποία μετράμε την εργασιμότητα του σκυροδέματος. Στη περίπτωση του ΑΣΣ οι καθίσεις που παρουσιάζονται είναι πολύ μεγάλες (>260mm) με αποτέλεσμα η δοκιμή αυτή να μην είναι ιδιαίτερος χρηστική. Για το λόγο αυτό έχουν δημιουργηθεί άλλα εξειδικευμένα εργαλεία και μέθοδοι, όπως αναφέρεται και στη συνέχεια.

*Διαδικασία διεξαγωγής ελέγχου*

- Ο κώνος κάθισης διαβρέχεται εσωτερικά με νερό και τοποθετείται πάνω σε άκαμπτη μεταλλική πλάκα.
- Αμέσως μετά τη λήψη του δείγματος του σκυροδέματος, γεμίζεται ο κώνος σε τρεις στρώσεις (στην περίπτωση ΣΣ) έτσι ώστε, μετά τη συμπύκνωση, κάθε στρώση να είναι ίση με το 1/3 περίπου του ύψους του κώνου. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25 ραβδισμούς (**Εικόνα 1.5**) ομοιόμορφα σ' ολόκληρη την επιφάνεια του σκυροδέματος. Εάν το μίγμα είναι ΑΣΣ ο κώνος απλώς πληρούται χωρίς κανενός είδους συμπύκνωση
- Στη συνέχεια, καθαρίζεται η περιοχή γύρω από τη βάση του κώνου ο οποίος προσεκτικά ανασύρεται κατακόρυφα.
- Αμέσως μετά την αφαίρεση του κώνου μετريέται η κάθιση ως η διαφορά ανάμεσα στο ύψος του κώνου και του υψηλότερου σημείου του σκυροδέματος, με προσέγγιση 5mm.



Εικόνα 1.5 Ραβδισμός σκυροδέματος κατά τη δοκιμή κάθισης.

#### Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Η δοκιμή είναι έγκυρη μόνο όταν δίνει κάθιση κατά την οποία το σκυρόδεμα παραμένει σε μεγάλο βαθμό ακέραιο και συμμετρικό μετά την αφαίρεση του κώνου (το σκυρόδεμα διατηρεί εν μέρει την κολουροκωνική μορφή του). Εάν το σκυρόδεμα καταρρεύσει, πρέπει να ληφθεί άλλο δείγμα. Εάν το δείγμα καταρρεύσει σε δύο διαδοχικούς ελέγχους, το σκυρόδεμα δε διαθέτει την πλαστικότητα και τη συνοχή που απαιτούνται για τη δοκιμή κάθισης. Ο δείκτης κάθισης αποτελεί μια ικανοποιητική και αξιόπιστη ένδειξη του εργασίμου και της ρευστότητας ενός συμβατικού σκυροδέματος.

Πίνακας 1.1 Κατηγορίες κάθισης (πηγή: Προσαρμογή ΚΤΣ 97/ΦΕΚ 537/1-5-2002).

Κατηγορία κάθισης	Κάθιση (mm)
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 210
S5	> 220
<b>Η μετρούμενη κάθιση πρέπει να στρογγυλεύεται στα πλησιέστερα 10mm</b>	

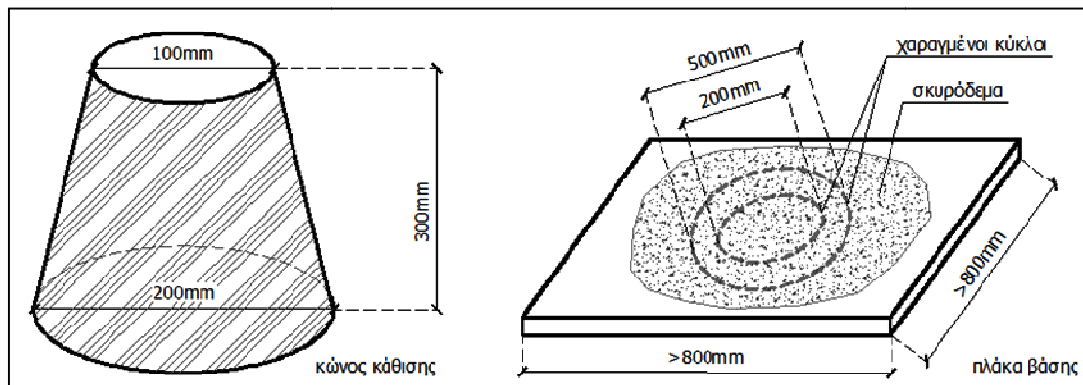
- Δοκιμή εξάπλωσης (Slump Flow), Δείκτης οπτικής σταθερότητας (Visual Stability Index - VSI), Χρόνος εξάπλωσης  $T_{50}$

#### Αρχές λειτουργίας

Η δοκιμή εξάπλωσης (Εικόνα 1.6) αποτελεί μια διαδικασία προσδιορισμού των χαρακτηριστικών της ανεμπόδιστης οριζόντιας ροής του ΑΣΣ. Συνίσταται στη μέτρηση της μέσης διαμέτρου **SF** του εξαπλωμένου σκυροδέματος, συναρτήσει του συνολικού χρόνου **TF**. Η χρονική διάρκεια  $T_{50}$  αποτελεί δευτερεύουσα ένδειξη της ταχύτητας ροής και ως εκ τούτου του ιξώδους του μίγματος.

#### Αξιολόγηση

Αποτελεί τον πλέον διαδεδομένο έλεγχο ιδιοτήτων του ΑΣΣ. Πρόκειται για μία απλή και γρήγορη διαδικασία που παρέχει μια καλή εκτίμηση της ικανότητας πλήρωσης του νωπού ΑΣΣ. Δεν δίνει ενδείξεις για την διεισσιμότητα μεταξύ των διακένων των οπλισμών αλλά μπορεί να ληφθεί μια ποιοτική ένδειξη για την οπτική σταθερότητα του μίγματος (**δείκτης οπτικής σταθερότητας VSI**) και για τυχόν ύπαρξη εμφανούς απόμιξης (η οποία όμως αξίζει να σημειωθεί ότι είναι χρονικά εξαρτώμενη, αφού ομοιογενής εικόνα του μίγματος δεν εξασφαλίζει και τη διατήρηση της συνοχής του).



Εικόνα 1.6 Εξοπλισμός δοκιμής εξάπλωσης.

#### Διαδικασία διεξαγωγής ελέγχου

- Απαιτούνται περίπου 6 lt σκυροδέματος με συνήθη δειγματοληψία.
- Η βάση και το εσωτερικό του κώνου (**κώνος του Abrams**) υγραίνονται.
- Τοποθετείται η μεταλλική πλάκα σε σταθερό, οριζόντιο, επίπεδο υπόβαθρο και συγκρατείται σταθερά ο κώνος κάθισης στο κέντρο της πλάκας.
- Γεμίζεται ο κώνος, χωρίς συμπύκνωση, ενώ απομακρύνεται με μυστρί το σκυρόδεμα που περισσεύει από την κορυφή του κώνου.
- Ανασηκώνεται ο κώνος κατακόρυφα και αφήνεται το σκυρόδεμα να απλωθεί ελεύθερα.
- Συγχρόνως χρονομετρείται και καταγράφεται ο χρόνος  $T_{50}$  (sec) που απαιτείται για να φθάσει το σκυρόδεμα τον κύκλο διαμέτρου 500 mm, όπως επίσης και ο συνολικός χρόνος **TF** (sec) έως ότου το σκυρόδεμα φθάσει στην τελική κατάσταση ηρεμίας.

- Μετράται η τελική διάμετρος (**Εικόνα 1.7**) του σκυροδέματος σε τέσσερις διευθύνσεις, ανά δύο κάθετες μεταξύ τους.
- Υπολογίζεται η μέση τιμή των τεσσάρων διαμέτρων που μετρήθηκαν σε mm, που είναι και η τιμή της εξάπλωσης **SF**(mm).
- Επισημαίνεται η πιθανή ύπαρξη κονιάματος ή τσιμεντόπαστας χωρίς χονδρόκοκκα αδρανή στα όρια του απλωμένου σκυροδέματος. Εκτίμηση του **Δείκτη Οπτικής Σταθερότητας**.



**Εικόνα 1.7** Μέτρηση εξάπλωσης.

#### *Ερμηνεία των αποτελεσμάτων*

Συνήθεις επιτρεπτές τιμές της μέσης διαμέτρου **SF**, είναι αυτές που αναφέρονται στις οδηγίες της **EFNARC** ως κατηγορίες εξάπλωσης **SF1(550-650)**, **SF2(650-750)**, και **SF3(750-850)**. Μεγαλύτερες τιμές εξάπλωσης δείχνουν ανώτερη ικανότητα πλήρωσης (μεγαλύτερη ρευστότητα). Επίσης, ως ένδειξη της συνοχής του μίγματος, συνιστάται η εξάπλωση να μη διαφέρει σημαντικά μεταξύ διαδοχικών μιγμάτων ίδιων αναλογιών (ενδεικτική τιμή ανοχής  $\pm 50\text{mm}$ ). Ο χρόνος **T<sub>50</sub>**, ο χρόνος δηλαδή που απαιτείται κατά τη δοκιμή εξάπλωσης έως ότου η μάζα του σκυροδέματος φθάσει τον δακτύλιο των 50cm, αποτελεί μια ποιοτική εκτίμηση του ιξώδους του μίγματος, καθώς ο ρυθμός ροής επηρεάζεται από αυτό (αντίστοιχες κατηγορίες **VS1(<2s)**, **VS2(>2s)**). Τιμές του δείκτη **VSI**, **0** ή **1** αποτελούν ένδειξη ότι το ΑΣΣ είναι σταθερό και αναμένεται να είναι κατάλληλο για την επιθυμητή χρήση. Πάντως αξίζει να σημειωθεί ότι ο προσδιορισμός του **VSI** θεωρείται υποκειμενικός και ενώ αποτελεί πολύ καλό εργαλείο εκτίμησης της ποιότητας κατά την παραγωγή ΑΣΣ, δεν πρέπει να είναι ασφαλές κριτήριο αποδοχής ή απόρριψης ενός δεδομένου μίγματος.

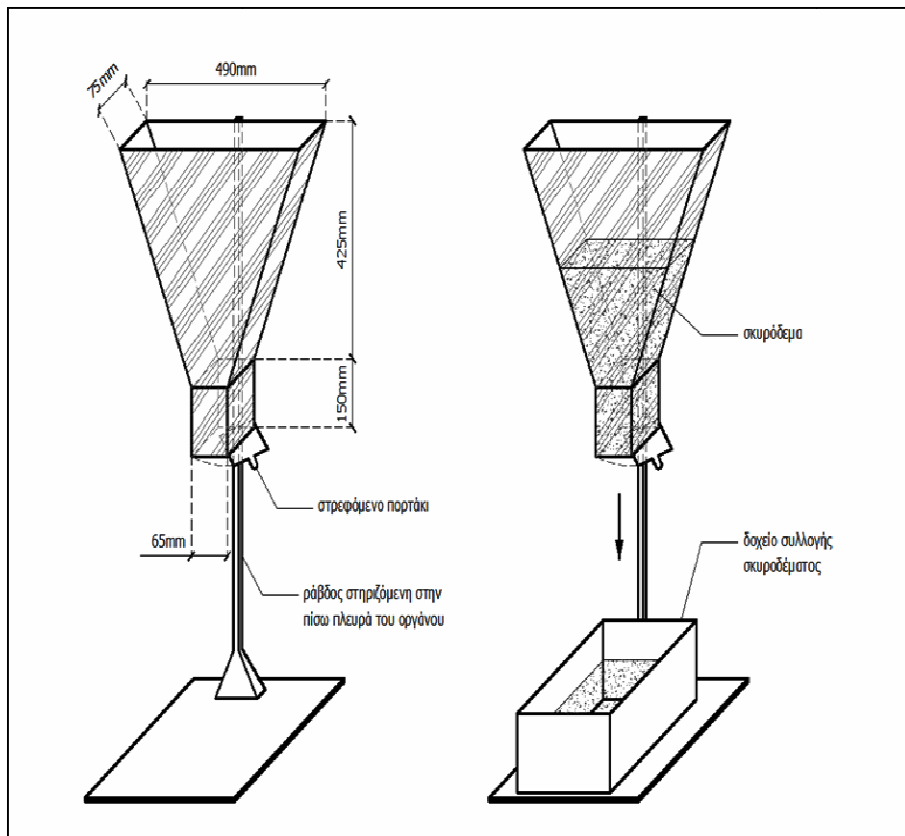
- **Δοκιμή χοάνης V (V-Funnel)**

*Αρχές λειτουργίας*

Η δοκιμή χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ικανότητας πλήρωσης του ΑΣΣ. Η χοάνη (**Εικόνα 1.8**) γεμίζεται με περίπου 12 lt μίγματος ΑΣΣ και μετράται ο χρόνος εκροής όλου του υλικού. Στην συνέχεια η χοάνη γεμίζεται πάλι με ΑΣΣ που παραμένει για 5 min σε ηρεμία. Εάν το ΑΣΣ παρουσιάζει απόμιξη τότε ο χρόνος εκροής αυξάνεται σημαντικά.

*Αξιολόγηση*

Η δοκιμή σχεδιάστηκε για την μέτρηση της ρευστότητας του ΑΣΣ. Το σχήμα της διάδοσης εκροής δημιουργεί συνθήκες έμφραξης (που επιδρούν στο αποτέλεσμα) εάν για παράδειγμα υπάρχουν πολλά χονδρόκοκκα αδρανή. Αν και η συσκευή είναι απλή, η επίδραση παραγόντων όπως η κλίση των τοιχωμάτων της χοάνης στην ροή του ΑΣΣ δεν είναι σαφής.



**Εικόνα 1.8** Εξοπλισμός δοκιμής χοάνης V.

*Διαδικασία διεξαγωγής ελέγχου*

- Απαιτούνται περίπου 12 lt σκυροδέματος με συνήθη δειγματοληψία.
- Ύγρανση των εσωτερικών τοιχωμάτων της χοάνης (**Εικόνα 1.9**).
- Η θυρίδα εκροής αφήνεται ανοικτή για να αποστραγγισθεί η περίσσεια νερού και στην συνέχεια κλείνεται και τοποθετείται το δοχείο από κάτω.

- Η χοάνη γεμίζεται πλήρως με ΑΣΣ χωρίς συμπύκνωση. Η τυχόν περίσσεια ΑΣΣ απομακρύνεται από την ελεύθερη επιφάνεια με μυστρί.
- Ανοίγεται η θυρίδα εκροής 10 sec μετά από το γέμισμα και αφήνεται να εκρεύσει το ΑΣΣ με την επενέργεια του βάρους του.
- Η χρονομέτρηση αρχίζει με το άνοιγμα της θυρίδας εκροής και σταματά όταν φανεί φως μέσα από την χοάνη κοιτάζοντάς την από επάνω. Αυτός είναι ο χρόνος εκροής  $T_{V,A}$ .
- Τα εσωτερικά τοιχώματα της χοάνης V δεν καθαρίζονται ούτε υγραίνονται.
- Αμέσως μετά την μέτρηση του χρόνου εκροής  $T_{V,A}$  η θυρίδα εκροής κλείνεται και ακολουθεί η επαναπλήρωση της χοάνης.
- Η θυρίδα εκροής ανοίγεται 5 min μετά από το γέμισμα. Η χρονομέτρηση αρχίζει με το άνοιγμα της θυρίδας εκροής και σταματά όταν φανεί φως μέσα από την χοάνη κοιτάζοντάς την από επάνω. Ο  $T_{V,B}$  είναι ο χρόνος εκροής στα 5 min.



**Εικόνα 1.9** Χοάνη V Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π. (πρόσθια όψη).

#### *Ερμηνεία των αποτελεσμάτων*

Οι μικροί χρόνοι εκροής σηματοδοτούν αυξημένη ικανότητα ροής (ρευστότητας). Για το ΑΣΣ χρόνοι εκροής  $T_{V,A}$  της τάξεως των 10s είναι ικανοποιητικοί. Αν οι χρόνοι εκροής είναι αυξημένοι, σημαίνει ότι εμφανίζονται τάσεις έμφραξης και άρα μειωμένη ικανότητα ροής.



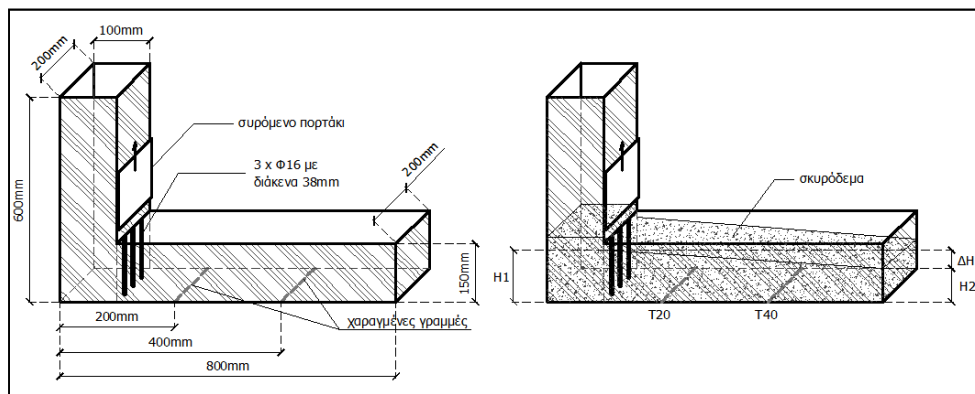
## • Δοκιμή L-Box

### Αρχές λειτουργίας

Η συσκευή αποτελείται από έναν αγωγό ορθογωνικής διατομής σχήματος “L”. Στη συμβολή του κατακόρυφου με το οριζόντιο τμήμα υπάρχει κατακόρυφη συρόμενη θυρίδα εκροής μπροστά από την οποία είναι τοποθετημένες κατακόρυφες ράβδοι οπλισμού (**Εικόνα 1.10**). Αφού το κατακόρυφο τμήμα πληρωθεί με το μίγμα ΑΣΣ, η θυρίδα ανασηκώνεται και το μίγμα αφήνεται να εκρεύσει στο οριζόντιο τμήμα. Όταν η ροή σταματήσει υπολογίζεται ο λόγος  $H_{2,L} / H_{1,L}$  της στάθμης του μίγματος στο πέρας του οριζοντίου και στο κατακόρυφο τμήμα, αντίστοιχα. Ο λόγος  $H_{2,L} / H_{1,L}$  είναι μια ένδειξη της ικανότητας διέλευσης του ΑΣΣ από τον οπλισμό, ήτοι της διειλευσιμότητας.

### Αξιολόγηση της δοκιμής

Πρόκειται για ευρέως διαδεδομένη δοκιμή, κατάλληλη τόσο για εργαστηριακούς ελέγχους όσο και για επιτόπου εφαρμογή στο τεχνικό έργο. Παρέχει δυνατότητα οπτικού ελέγχου πιθανής έμφραξης των χονδρόκοκκων αδρανών πίσω από της ράβδους οπλισμού, καθώς και πιθανής απόμειξης του μίγματος .



**Εικόνα 1.10** Εξοπλισμός δοκιμής δοχείου L.

### Διαδικασία διεξαγωγής ελέγχου

- Απαιτούνται περίπου 14 lt σκυροδέματος με συνήθη δειγματοληψία.
- Η θυρίδα κλείνεται αφού εξασφαλιστεί ότι μπορεί να ανοίξει ελεύθερα.
- Τα εσωτερικά τοιχώματα της συσκευής υγραίνονται και απομακρύνεται τυχόν περίσσεια νερού.
- Το κατακόρυφο τμήμα γεμίζεται τελείως με ΑΣΣ χωρίς συμπίκνωση και τυχόν περίσσεια ΑΣΣ στην επιφάνεια απομακρύνεται με ένα μυστρί.
- Το υλικό αφήνεται σε ηρεμία για 1 min.
- Η θυρίδα εκροής ανοίγεται (**Εικόνα 1.11**) και αφήνεται το ΑΣΣ να εκρεύσει στο οριζόντιο τμήμα.

- Όταν σταματήσει η ροή μετρώνται τα ύψη  $H_{1,L}$  και  $H_{2,L}$  (Εικόνα 1.12).
- Υπολογίζεται ο λόγος  $\lambda_{H,L}=H_{2,L} / H_{1,L}$ .
- Όλη η δοκιμή πρέπει να εκτελεσθεί μέσα σε 5 min, από την λήψη του δείγματος.
- Για την εκτέλεση των μετρήσεων απαιτούνται δύο χειριστές.



Εικόνα 1.11 Άνοιγμα θύρας δοχείου L.

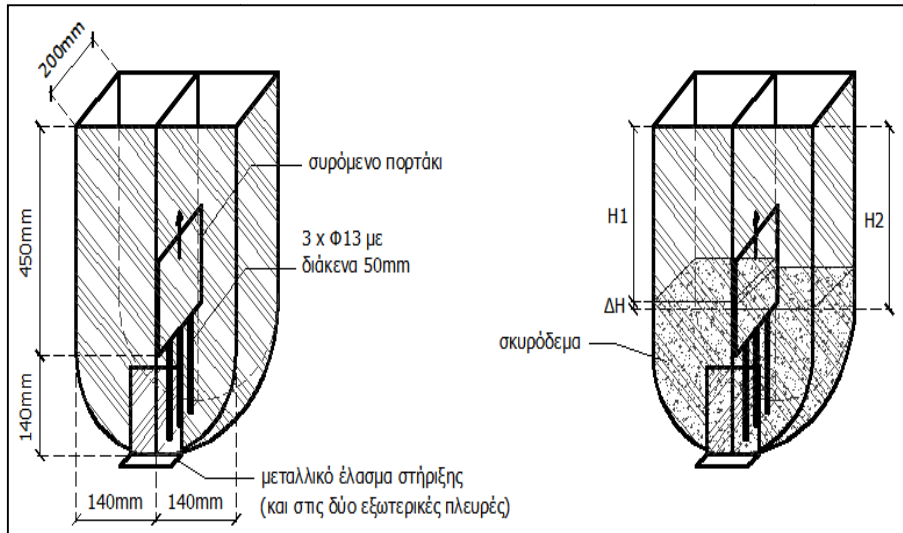


Εικόνα 1.12 Μέτρηση των υψών  $H_{1,L}$  και  $H_{2,L}$ .

#### Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Όσο πιο κοντά βρίσκεται λόγος  $\lambda_{H,L}=H_{2,L} / H_{1,L}$  στην τιμή **1**, τόσο καλύτερη είναι η ικανότητα ροής του σκυροδέματος. Προτείνεται ως ελάχιστη αποδεκτή, η τιμή  $\lambda_{H,L}=0,8$ . Ακόμα μικροί χρόνοι εκροής υποδηλώνουν μεγάλη ικανότητα ροής.

Παρόμοια είναι και η λογική της **δοκιμής δοχείου U (U-Box)**, η οποία βασίζεται επίσης στη σύγκριση των υψών του σκυροδέματος σε δύο τμήματα θαλάμου (Εικόνα 1.13), μετά τη ροή του μίγματος.

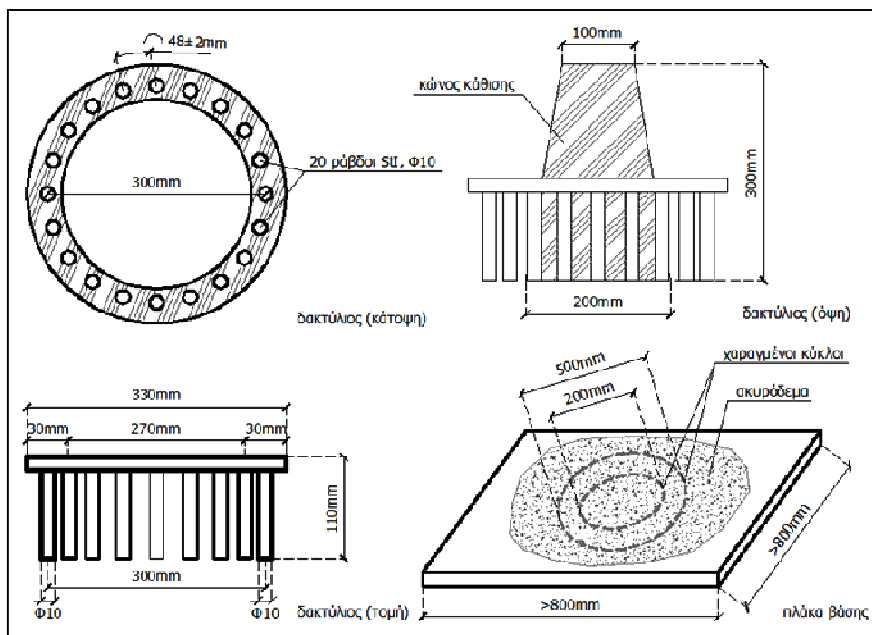


Εικόνα 1.13 Εξοπλισμός δοκιμής δοχείου U.

- Δοκιμή με δακτύλιο J (J-Ring)

*Αρχές λειτουργίας*

Η δοκιμή με **δακτύλιο J** (Εικόνα 1.14) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ικανότητας διέλευσης του ΑΣΣ διαμέσου του χαλύβδινου οπλισμού. Η συσκευή αποτελείται από ράβδους οπλισμού διαμέτρου  $\Phi 10$  και ύψους 10cm, κατακόρυφα τοποθετημένες σε μεταλλική πλάκα και σε διάταξη δακτυλίου. Η διάμετρος του δακτυλίου είναι 300 mm και το ύψος του 100 mm. Μετριέται η εξάπλωση σε 2 ή 4 κάθετες διευθύνσεις και η κάθιση εντός και εκτός του δακτυλίου στα 4 τεταρτημόρια.



Εικόνα 1.14 Εξοπλισμός δοκιμής δακτυλίου J.

### *Αξιολόγηση*

Με το συνδυασμό της δοκιμής δακτυλίου J με την δοκιμή εξάπλωσης ή/και την δοκιμή χοάνης V ελέγχεται η ικανότητα ροής και η διειλευσιμότητα του σκυροδέματος. Πάντως η δοκιμή με δακτύλιο J, όπως και η δοκιμή εξάπλωσης, εκτελείται χωρίς χωρικούς περιορισμούς και δεν προσομοιώνει τον τρόπο με τον οποίο το σκυρόδεμα διαστρώνεται και κινείται στους ξυλότυπους υπό πραγματικές συνθήκες.

### *Διαδικασία διεξαγωγής ελέγχου*

- Απαιτούνται περίπου 6 lt σκυροδέματος με συνήθη δειγματοληψία.
- Η βάση και το εσωτερικό του κώνου υγραίνονται.
- Ο δακτύλιος J τοποθετείται στο κέντρο της βάσης, ο κώνος κάθισης μέσα στον δακτύλιο και συγκρατείται σταθερά στο κέντρο.
- Ο κώνος γεμίζεται με την σέσουλα. Το σκυρόδεμα που περισσεύει από την κορυφή του κώνου απομακρύνεται με μυστρί χωρίς συμπίκνωση.
- Απομακρύνονται τα υπολείμματα σκυροδέματος γύρω από την βάση του κώνου.
- Ανασηκώνεται ο κώνος κατακόρυφα και αφήνεται το σκυρόδεμα να απλωθεί ελεύθερα.
- Μετράται η τελική διάμετρος του σκυροδέματος σε δύο κάθετες διευθύνσεις.
- Υπολογίζεται η μέση τιμή των δύο διαμέτρων που μετρήθηκαν σε mm.
- Μετράται η διαφορά ύψους μεταξύ του σκυροδέματος που βρίσκεται ακριβώς μέσα από τις ράβδους και αυτού που βρίσκεται ακριβώς έξω από τις ράβδους.
- Υπολογίζεται η μέση τιμή της διαφοράς ύψους σε τέσσερις θέσεις σε mm.
- Επισημαίνεται η ύπαρξη κονιάματος ή τσιμεντόπαστας χωρίς χονδρόκοκα αδρανή στα όρια του απλωμένου σκυροδέματος.

### *Ερμηνεία αποτελεσμάτων*

Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της εξάπλωσης διαμέσου του δακτυλίου J τόσο μεγαλύτερη είναι και η δυνατότητα διαδρομής του σκυροδέματος διαμέσου χαλύβδινων οπλισμών, κάτι που συνεπάγεται την ταχύτερη πλήρωση των οπλισμένων καλουπιών. Μεγάλες υψομετρικές διαφορές εντός και εκτός του δακτυλίου υποδηλώνουν δυσκολία διέλευσης ή και συγκράτηση των μεγαλύτερων αδρανών, με κίνδυνο την πιθανή απόφραξη.

## 1.2. Συνάφεια σκυροδέματος με το χάλυβα οπλισμού

### 1.2.1. Γενικά

Οι κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα βασίζονται στην συνεργασία του σκυροδέματος και του ενσωματωμένου σιδηρού οπλισμού. Η επιτυχής συνεργασία των δύο υλικών εξασφαλίζεται μέσω μιας συνδυασμένης δράσης μηχανισμών που παρεμποδίζουν την σχετική ολίσθηση μεταξύ των ράβδων οπλισμού και του περιβάλλοντος σκυροδέματος. Η δράση αυτή αποδίδεται με τον όρο **συνάφεια** και προσομοιάζεται με τη δημιουργία διατμητικών τάσεων στη διεπιφάνεια χάλυβα – σκυροδέματος, των τάσεων συνάφειας.

Συνάφεια καλείται το σύνολο των αιτιών που παρεμποδίζουν την σχετική ολίσθηση μεταξύ των ράβδων οπλισμού και της μάζας του σκυροδέματος που τις περιβάλλει.

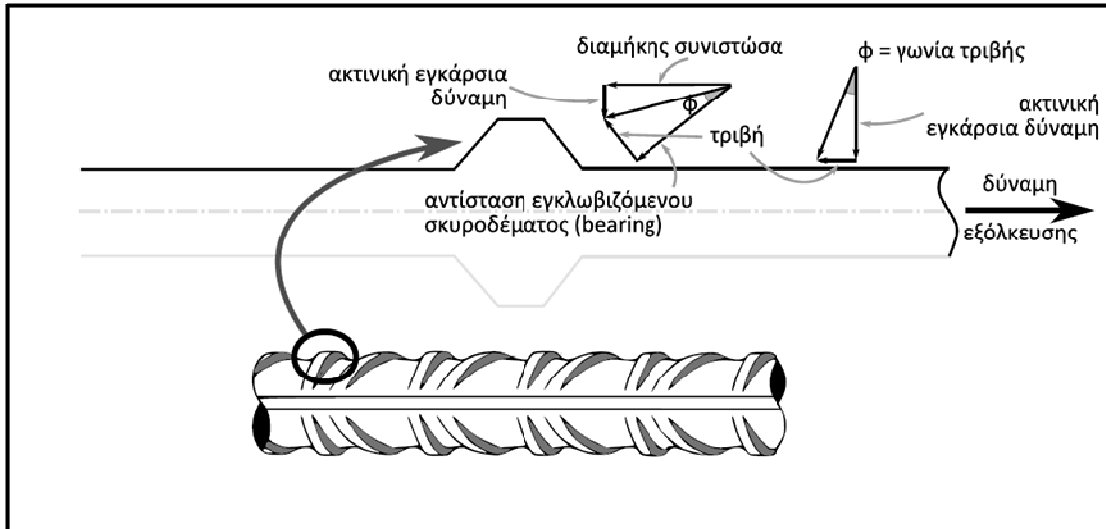
Η συνάφεια δεν είναι ένα απλό φαινόμενο, αλλά επηρεάζει μια σειρά από δομικές λειτουργίες στο ωπλισμένο σκυρόδεμα. Στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, η ανάπτυξη επαρκούς συνάφειας υπεισέρχεται στον περιορισμό του εύρους των ρωγμών και των βελών. Στην οριακή κατάσταση αστοχίας, η αντοχή αγκυρώσεων και παραθέσεων οπλισμών (ματίσματα) εξαρτάται από τη συνάφεια. Επίσης τα χαρακτηριστικά της συνάφειας των οπλισμών κάμψης επηρεάζουν την ικανότητα στροφής των πλαστικών αρθρώσεων. Επιπρόσθετα από τη συνάφεια εξαρτάται η συνεργασία μεταξύ του οπλισμού και του σκυροδέματος στη σύνθετη συμπεριφορά. Απότομες μειώσεις στην ακαμψία της συνάφειας οδηγούν σε απότομες μειώσεις τις ακαμψίας των μελών.

Η συνάφεια είναι μία συνάρτηση που εξαρτάται από ένα πλήθος παραμέτρων και κατασκευαστικών προϋποθέσεων. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται:

- Η ποιότητα του σκυροδέματος.
- Η διαμόρφωση της επιφάνειας των ράβδων οπλισμού (λείες ή με νευρώσεις).
- Η γεωμετρία των νευρώσεων (κυρίως το ύψος και η απόσταση των νευρώσεων).
- Η σχετική ολίσθηση της ράβδου οπλισμού με το περιβάλλον σκυρόδεμα.
- Το πάχος επικάλυψης των οπλισμών.
- Η διεύθυνση σκυροδέτησης σε σχέση με τον προσανατολισμό των ράβδων.
- Η θέση των ράβδων ως προς την ελεύθερη επιφάνεια του ρευστού σκυροδέματος.
- Οι εγκάρσιες τάσεις που αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια χάλυβα σκυροδέματος.
- Το είδος της φορτίσεως: μονοτονική ή ανακυκλιζόμενη (στην ανακυκλιζόμενη φόρτιση ανοίγουν δύο οικογένειες ρωγμών και αποδιοργανώνεται το σκυρόδεμα).

Οι μηχανισμοί ανάπτυξης της τάσης συνάφειας είναι η πρόσφυση των δύο υλικών (πολύ μικρό ποσοστό της συνάφειας, που καταστρέφεται για πολύ μικρές μετατοπίσεις), η τριβή και, στην περίπτωση νευροχάλυβων, η αντίσταση του σκυροδέματος που εγκλωβίζεται μεταξύ των νευρώσεων (**Εικόνα 1.15**).

Με την υπέρβαση της (μικρής) εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος και το άνοιγμα της ρωγμής, οι ράβδοι επιμηκνόμενες κατά το άνοιγμα της ρωγμής εφελκύνονται και αναλαμβάνουν τις εφελκυστικές τάσεις προσδίδοντας στο φορέα από σκυρόδεμα την εφελκυστική ικανότητα που στερείται.

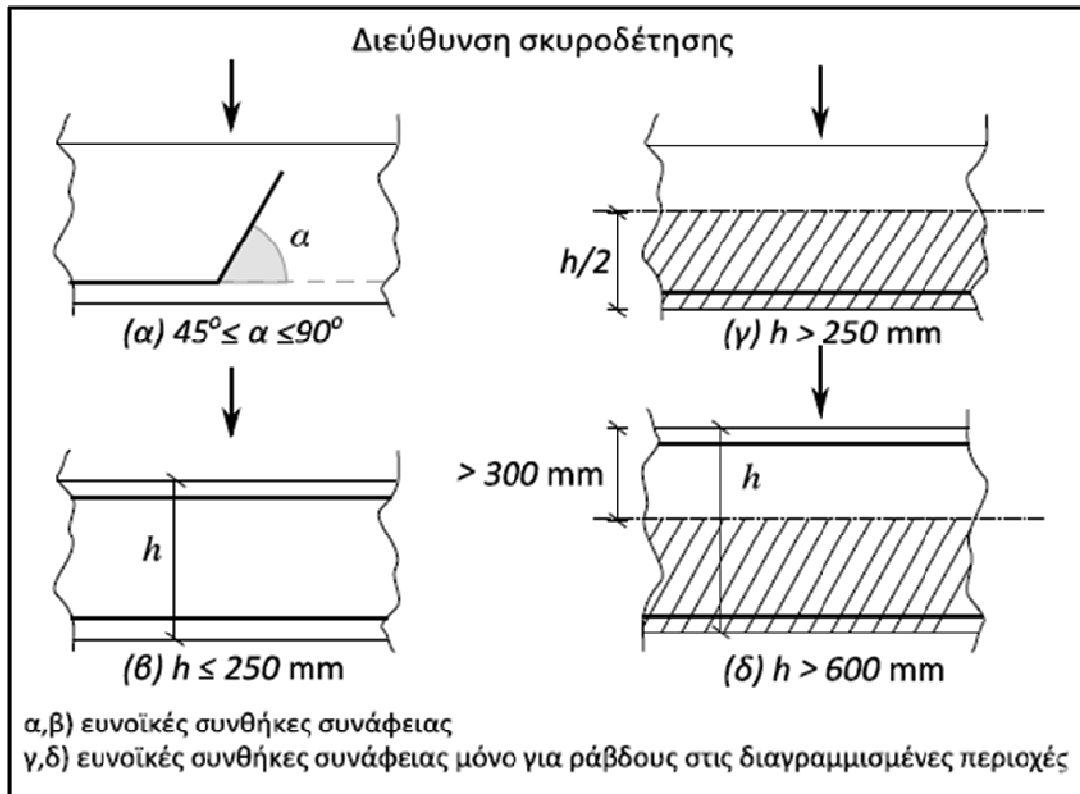


Εικόνα 1.15 Μηχανισμοί ανάπτυξης τάσης συνάφειας.

Σύμφωνα με την παράγραφο §17.5 του **ΕΚΩΣ2000** (Ο.Α.Σ.Π., Σ.Π.Μ.Ε. 2000) οι τάσεις συνάφειας είναι δυνατό να αναπτύσσονται σε ευνοϊκές συνθήκες (**Περιοχή Ι**), ή σε δυσμενείς συνθήκες (**Περιοχή ΙΙ**).

Τα κριτήρια εκείνα για την ανάπτυξη συνάφειας στην **Περιοχή Ι** είναι :

- Η κλίση των οπλισμών ως προς την οριζόντια να είναι  $45^\circ$ - $90^\circ$  για κατακόρυφη σκυροδέτηση (π.χ. διαμήκεις οπλισμοί υποστυλωμάτων) ή
- Αν οι οπλισμοί δεν έχουν κλίση ως προς την οριζόντια και είναι  $h$  το ύψος της διατομής κατά τη διεύθυνση σκυροδέτησης, τότε:
  - Όταν  $h \leq 250$  mm (π.χ. συνήθειες πλάκες), για όλους τους οπλισμούς του δομικού στοιχείου.
  - Όταν  $250$  mm  $< h \leq 600$  mm (π.χ. οπλισμοί κάτω πέλματος συνήθων δοκών), για τους οπλισμούς που απέχουν τουλάχιστον  $h/2$  από την πάνω ίνα.
  - Όταν  $h > 600$  mm, για τους οπλισμούς που απέχουν τουλάχιστον 300 mm από την πάνω ίνα.



Εικόνα 1.16 Τυπικές συνθήκες συνάφειας κατά ΕΚΩΣ2000.

Η τιμή σχεδιασμού της τάσης συνάφειας  $f_{bd}$  δίνεται ως συνάρτηση της εφελκυστικής αντοχής  $f_{ctk0.05}$ , λαμβάνοντας υπ' όψιν, μέσω ενός συντελεστή, το είδος των ράβδων. Συγκεκριμένα ο υπολογισμός της τάσης συνάφειας διαχωρίζεται για λείες ράβδους και ράβδους με νευρώσεις ως εξής:

- Λείες ράβδοι:  $f_{bd} = f_{ctk0.05} / \gamma_c$
- Ράβδοι με νευρώσεις:  $f_{bd} = 2.25 \times f_{ctk0.05} / \gamma_c$ , όπου  $\gamma_c = 1,5$ .

Πίνακας 1.2 Βασικές τιμές του  $f_{bd}$  (MPa).

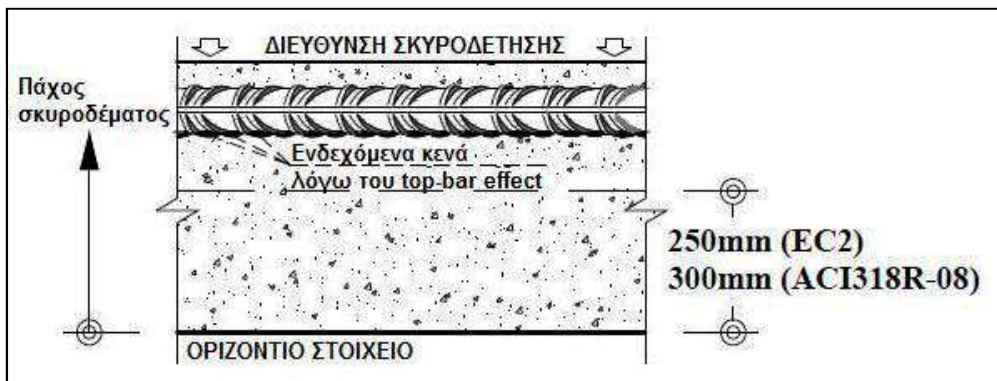
Περιοχή συνάφειας I	$f_{ck}$	12	16	20	25	30	35	40	45	50
	Λείες ράβδοι	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
	Ράβδοι $\varnothing \leq 32$ υψηλής συνάφειας	1.6	2.0	2.3	2.7	3.0	3.4	3.7	4.0	4.3
Περιοχή συνάφειας II	70% των τιμών της περιοχής συνάφειας I									

Στην περίπτωση ράβδων με  $\varnothing > 32 \text{ mm}$  οι τιμές του πίνακα μειώνονται πολλαπλασιαζόμενες με ένα συντελεστή  $n = (132 - \varnothing) / 100$  ( $\varnothing$  σε mm). Αντίθετα αυξάνονται οι τιμές της  $f_{bd}$  για εφαρμογή πίεσης κάθετα στο επίπεδο διάρρηξης:  $f_{bd,p} = n_p \cdot f_{bd}$ , όπου  $n_p = 1 / (1 - 0.04p) \geq 1.4$ . Για περιοχές με επαρκή εγκάρσια πίεση (κόμβοι όπου συντρέχουν τουλάχιστον 3 δοκοί, περισφιγμένες περιοχές δομικών στοιχείων) ισχύει:  $n_p = 1.4$ .

### 1.2.2. Πρόβλημα των άνω οπλισμών (Top-bar effect )

Όπως έχουμε αναφέρει, σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ 2000 οι ράβδοι που είναι τοποθετημένες στο άνω μέρος του στοιχείου ή/και έχουν κλίση μεγαλύτερη από 45° ως προς τη διεύθυνση σκυροδέτησης, ανήκουν στην περιοχή κακής συνάφειας (II). Αυτό συμβαίνει επειδή το νερό από το σκυρόδεμα παθαίνει «συνίζηση», δηλαδή τα στερεά του σκυροδέματος καθιζάνουν και το νερό λόγω τριχοειδών δυνάμεων κινείται προς τα επάνω (εξίδρωση), με αποτέλεσμα αμέσως κάτω από οριζόντιες ράβδους (τις κάθετες στη διεύθυνση σκυροδέτησης) να δημιουργείται σε διάφορα σημεία μηνίσκος νερού, το οποίο στη συνέχεια απορροφάται από το σκυρόδεμα αφήνοντας κενό, με συνέπεια ένα μέρος της περιμέτρου της ράβδου να μην συνεργάζεται άμεσα με το σκυρόδεμα και ως εκ τούτου να μειώνεται η αποδοτικότητα της συνάφειας.

Η ένταση του φαινομένου αυτού που αποκαλείται **πρόβλημα των άνω οπλισμών** (Top-bar effect) εξαρτάται όπως αναφέραμε από τη γωνία της ράβδου σε σχέση με τη διεύθυνση σκυροδέτησης αλλά και από την καθ' ύψος θέση της ράβδου μέσα στο στοιχείο.



Εικόνα 1.17 Το πρόβλημα των άνω οπλισμών (top-bar effect).

Ο ΕΚΩΣ 2000 (§17.5) λαμβάνει υπ' όψιν την ύπαρξη περιοχών κακής συνάφειας (II) λαμβάνοντας για αυτές ως τάση συνάφειας το 70% της αντίστοιχης τιμής για περιοχές καλής συνάφειας (I) ενώ και οι υπόλοιποι κανονισμοί παγκοσμίως λαμβάνουν υπ' όψιν τους το φαινόμενο με αντίστοιχους συντελεστές απομείωσης της συνάφειας.

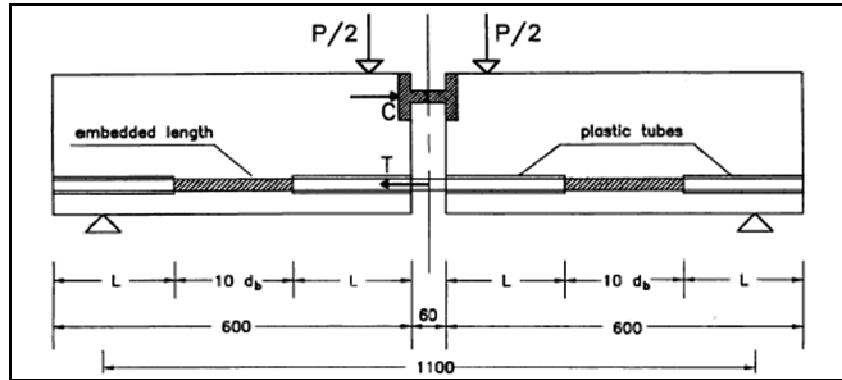
### 1.2.3. Δοκιμές συνάφειας

Οι δοκιμές συνάφειας για χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος που προτείνει ο **ΕΛΟΤ 1421-1** (Ελληνικός οργανισμός τυποποίησης 2004) είναι δύο: Η **δοκιμή δοκού** (beam test) και η **δοκιμή εξόλκευσης** (pull-out test). Από τις δοκιμές αυτές συντάσσεται το διάγραμμα της τάσεως συνάφειας σε συνάρτηση με τη σχετική ολίσθηση.

- **Δοκιμή δοκού** (beam test)

Η αμφίεριστη δοκός ενός ανοίγματος υποβάλλεται σε φόρτιση με δύο σημειακά φορτία και μετριοούνται οι ολισθήσεις των δύο αγκυρωμένων συμμετρικών τμημάτων της ράβδου οπλισμού, έως ότου συμβεί αστοχία συνάφειας του χάλυβα και στα δύο μισά της δοκού ή αστοχήσει ο ίδιος ο χάλυβας οπλισμού.

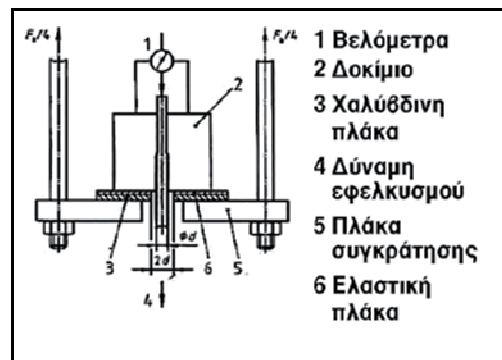




Εικόνα 1.18 Τυποποιημένη δοκιμή δοκού της RILEM (1979) για τον προσδιορισμό της τοπικής συνάφειας – ολίσθησης (γεωμετρία δοκιμίου).

- Δοκιμή εξόλκευσης (pull-out test)

Η δοκιμή εξόλκευσης εκτελείται με την επιβολή εφελκυστικής δύναμης στο ένα από τα εξέχοντα τμήματα της ράβδου, ενώ στο έτερο τμήμα, το αφόρτιστο, τοποθετούνται βελόμετρα για τον προσδιορισμό της ολίσθησης. Η δύναμη αυξάνεται έως ότου έχουμε αστοχία συνάφειας ή αστοχία του ίδιου του σπλισμού.



Εικόνα 1.19 Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης RILEM/CEB/FIP (1970).

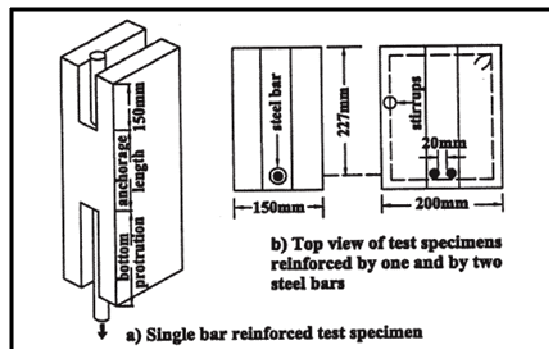
### 1.3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

#### 1.3.1. Διεθνής βιβλιογραφία

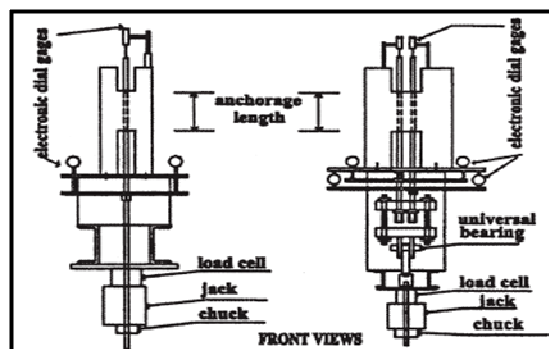
Η συνάφεια του αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος με το χάλυβα οπλισμού αποτέλεσε αντικείμενο αναφοράς αρκετών δημοσιεύσεων διεθνώς. Ακολούθως γίνεται μία συνοπτική περιγραφή του περιεχομένου και κυρίως η παρουσίαση των βασικών συμπερασμάτων που προέκυψαν κατά τη μελέτη των βιβλιογραφικών πηγών.

#### Συνάφεια ΑΣΣ (γενικά)

Αντικείμενο της έρευνας των **Yerlici and Özturan** (Yerlici and Özturan 2000) αποτέλεσε η επίδραση της θλιπτικής αντοχής, της διαμέτρου και του πάχους επικάλυψης της ράβδου οπλισμού, αλλά και του εγκάρσιου οπλισμού (διάτμησης) στη συνάφεια στοιχείων **HPC** (Υψηλής Επιτελεστικότητας Σκυροδέμα) και πιο συγκεκριμένα στοιχείων **HSC** (Υψηλής Αντοχής Σκυροδέμα). Σαράντα έξι **HSC** δοκίμια (**Εικόνα 1.20**), έγκεντρα οπλισμένα (με μία ή δύο ράβδους), υποβλήθηκαν σε δοκιμή εξόλκευσης (**Εικόνα 1.21**) έως την αστοχία συνάφειας ή την αστοχία του ίδιου του οπλισμού. Οι ράβδοι οπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν ήταν  $\varnothing 12$ ,  $\varnothing 16$ ,  $\varnothing 20$  και  $\varnothing 26$  ενώ το πάχος επικάλυψης ποικίλει από 15, 20, 25 και 30cm. Ακόμα ορισμένα από τα δοκίμια είχαν οπλιστεί εγκάρσια με συνδεδητες διαμέτρου 3 ή 4 ή 6mm.



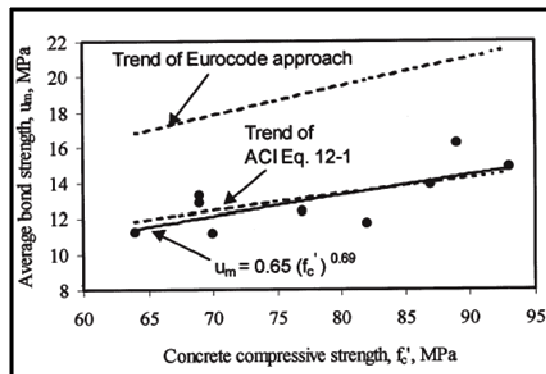
Εικόνα 1.20 Δοκίμια προς έλεγχο, οπλισμένα με μία ή δύο ράβδους (Yerlici and Özturan 2000).



Εικόνα 1.21 Διατάξεις δοκιμών εξόλκευσης (Yerlici and Özturan 2000).

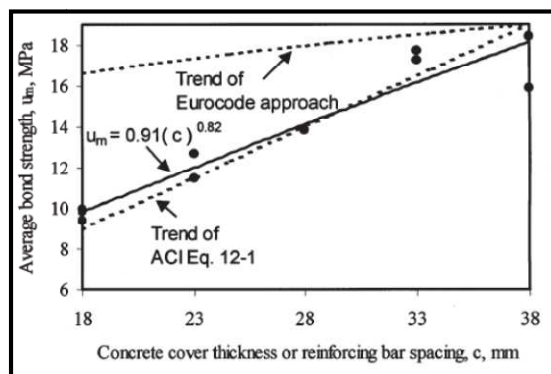
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την έρευνα αυτή οδήγησαν στα ακόλουθα συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των στοιχείων **HSC**:

Σύμφωνα με τα διαγράμματα που ακολουθούν, η μέση αντοχή σε συνάφεια της αγκύρωσης μεταβάλλεται ανάλογα με την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (**Διάγραμμα 1.1**) και το πάχος επικάλυψης του οπλισμού (**Διάγραμμα 1.2**). Κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει τα σημεία που προέκυψαν κατά την πειραματική διαδικασία, τη συνεχή γραμμή που τα προσεγγίζει σύμφωνα με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, καθώς επίσης και τις διακεκομμένες γραμμές που αντιστοιχούν στους **EC2** και **ACI Committee 408** (οι οποίες έχουν πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή κλίμακας προκειμένου να γίνουν εμφανείς οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των πειραματικών ευρημάτων και των κανονισμών).



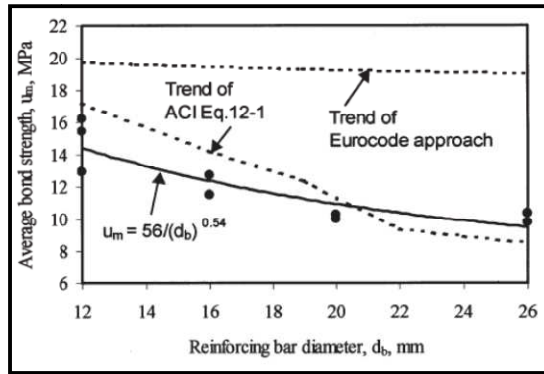
**Διάγραμμα 1.1** Μεταβολή της αντοχής συνάφειας συναρτήσει της θλιπτικής αντοχής  $f_c$  του σκυροδέματος (Yerlici and Özturan 2000).

Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 1.1** ο **ACI** ελαφρώς υποεκτιμά (υπέρ της ασφάλειας) την επίδραση της αντοχής του σκυροδέματος στην αντοχή σε συνάφεια αγκύρωσης, όταν επεκταθεί και σε στοιχεία **HSC**. Αντίθετα υπερεκτιμά τη θετική επιρροή στη συνάφεια του πάχους επικάλυψης για **HSC** (**Διάγραμμα 1.2**).

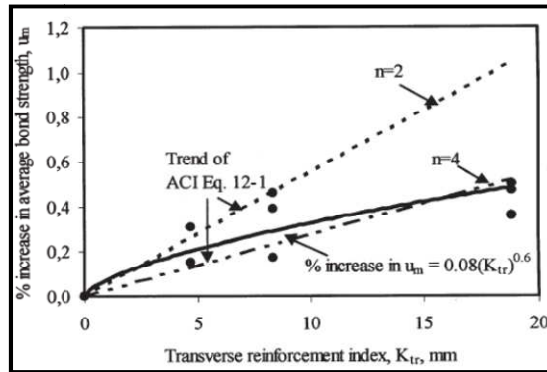


**Διάγραμμα 1.2** Μεταβολή της αντοχής συνάφειας συναρτήσει του πάχους επικάλυψης  $c$  του οπλισμού (Yerlici and Özturan 2000).

Ικανοποιητική κρίνεται και η προσέγγιση του **ACI** στα πειραματικά δεδομένα όσον αφορά την μείωση της αντοχής σε συνάφεια με την αύξηση της διαμέτρου της/των ράβδων οπλισμού (**Διάγραμμα 1.3**). Ακόμα η μέση αντοχή σε συνάφεια αυξάνεται παρουσία εγκάρσιου οπλισμού (**Διάγραμμα 1.4**), ο οποίος εκφράζεται μέσω του δείκτη εγκάρσιας ενίσχυσης  $K_{tr}$  (όρος που λαμβάνει υπόψη τη συνολική περίσφιξη του σκυροδέματος κατά ACI).



**Διάγραμμα 1.3** Μεταβολή της αντοχής συνάφειας συναρτήσει της διαμέτρου της ράβδου  $d_b$  οπλισμού (Yerlici and Özturan 2000).

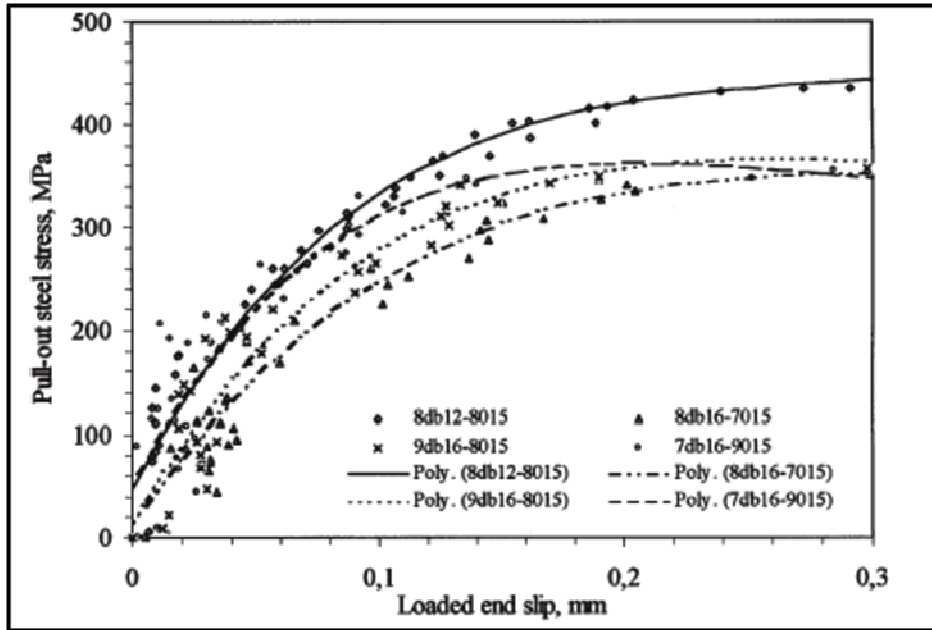


**Διάγραμμα 1.4** Μεταβολή της αντοχής συνάφειας συναρτήσει του δείκτη εγκάρσιου οπλισμού  $K_{tr}$  (Yerlici and Özturan 2000).

Από τα πειραματικά ευρήματα της έρευνας προέκυψε η εξίσωση για το μήκος αγκύρωσης που παρατίθεται παρακάτω (δεξιά). Από τη σύγκριση της εξίσωσης αυτής με την αντίστοιχη του **ACI** (αριστερά), παρατηρείται η απουσία συντελεστή ασφαλείας. Εάν χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου οι παράμετροι-μεταβλητές της έρευνας το κανονικοποιημένο τυπικό σφάλμα μεταξύ των αποτελεσμάτων των 2 εξισώσεων είναι 9.6%.

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9}{10} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\gamma}{[(c + K_{tr})/d_b]} \quad \frac{l_d}{d_b} = \frac{4}{3} \frac{f_y \sqrt{d_b}}{(f'_c)^{2/3} (c)^{0.8} [1 + 0.08(K_{tr})^{0.6}]}$$

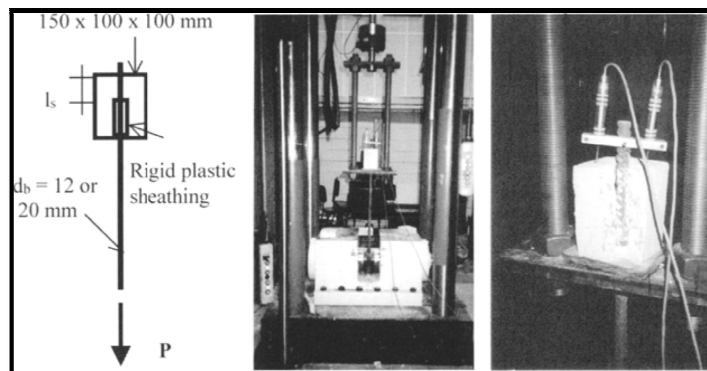
(Αριστερά) μήκος αγκύρωσης κατά **ACI Eq. (12-1)** και (δεξιά) μήκος αγκύρωσης βάσει πειραματικών ευρημάτων.



Διάγραμμα 1.5 Τάση εξόλκεσης – ολίσθηση (Yerlici and Özturan 2000).

Από το **Διάγραμμα 1.5** προκύπτει ότι μετά τη διαρροή, το εύρος ρωγμών στο επίπεδο του σπλισμού αυξάνεται γραμμικά με την τάση και λίγο πριν την αστοχία λαμβάνει τιμή κοντά στα 0.4mm.

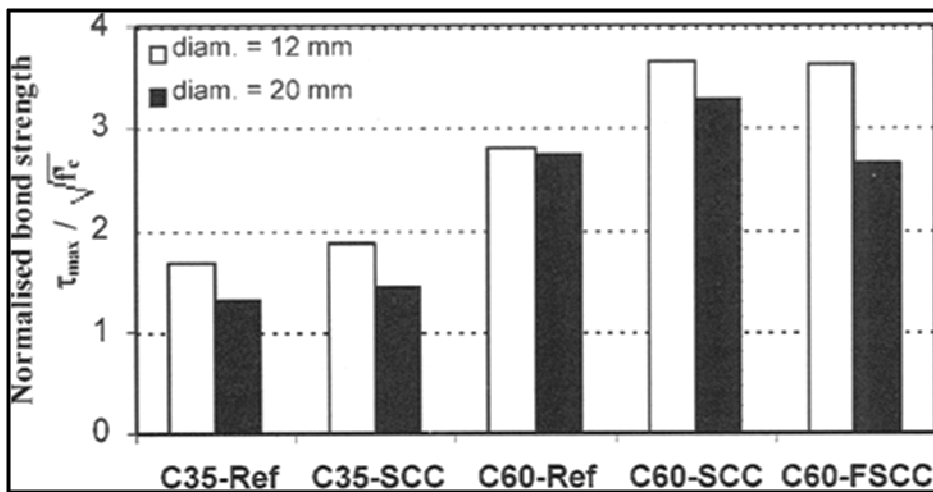
Οι **Zhu κ.α.** (Zhu, Sonebi and Bartos 2004) πραγματοποίησαν δοκιμές εξόλκεσης (**Εικόνα 1.22**) σε πρισματικά δοκίμια σπλισμένα με ράβδους με ενεργή διάμετρο 12 ή 20mm. Τα μίγματα που ελέγχθηκαν (3 δοκίμια ανά σύνθεση) ήταν: 1σύνθεση ΑΣΣ και 1 ΣΣ κατηγορίας C35, 1σύνθεση ΑΣΣ (SCC) και 1 ΣΣ (Ref.) κατηγορίας C60 καθώς και 1 σύνθεση ινοπλισμένου αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος (FSCC) κατηγορίας C60.



Εικόνα 1.22 Πειραματική διάταξη δοκιμής εξόλκεσης (Zhu, Sonebi and Bartos 2004).

Διαπιστώθηκε ότι η πραγματική αντοχή σε συνάφεια στα μίγματα ΑΣΣ ήταν μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των μιγμάτων ΣΣ και για τις δύο διαμέτρους των ράβδων οπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν.

Η κανονικοποιημένη τάση συνάφειας των μιγμάτων ΑΣΣ ήταν επίσης 10-40% μεγαλύτερη από αυτήν των μιγμάτων ΣΣ. Σύμφωνα με τους συγγραφείς αυτό μπορεί να οφείλεται στη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε νερό αλλά και στην υψηλότερη περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκο υλικό σε σχέση με τα μίγματα ΣΣ, κάτι που θεωρείται ότι μετριάζει τη συγκέντρωση ύδατος λόγω εξίδρωσης κάτω από τις οριζόντια τοποθετημένες ράβδους. Στην περίπτωση του συμβατικού σκυροδέματος, αυτό μπορεί να αυξήσει τον λόγο w/c (τοπικά) κάτω από τις ράβδους αποδυναμώνοντας έτσι την ισχύ της συνάφειας. Τα ινοπλισμένα δοκίμια επέδειξαν επίσης υψηλές τιμές κανονικοποιημένης τάσης συνάφειας (**Διάγραμμα 1.6**).



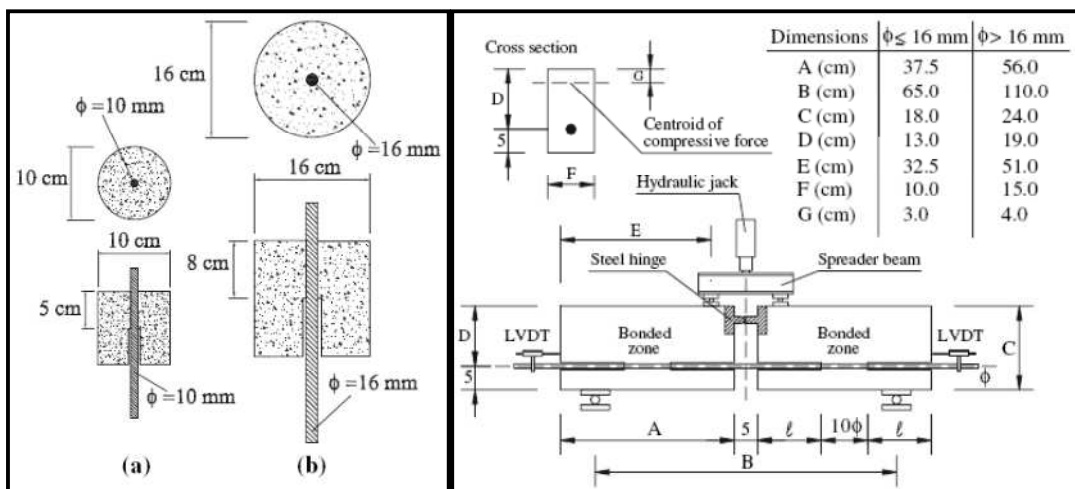
**Διάγραμμα 1.6** Κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας για όλα τα μίγματα (Zhu, Sonebi and Bartos 2004).

Οι **Almeida Filho κ.α.** (Almeida Filho et al. 2007) διεξήγαγαν δοκιμές δοκού και εξόλκευσης (**Εικόνα 1.23**) προκειμένου να συγκρίνουν την αντοχή συνάφειας και τις αντίστοιχες ολισθήσεις σε μίγματα ΑΣΣ και ΣΣ. Επίσης, συγκρίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών με διατάξεις του EC2 ώστε να ελεγχθεί η επάρκεια του κανονισμού όσον αφορά την αξιολόγηση μιγμάτων ΑΣΣ.

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στους ελέγχους (**Πίνακας 1.3**) ομαδοποιούνται βάσει του τύπου σκυροδέματος (ΑΣΣ ή ΣΣ), της αντοχής του σκυροδέματος (30 ή 60MPa) και βάσει της διαμέτρου της ράβδου οπλισμού (10 ή 16mm).

Πίνακας 1.3 Ομάδες δοκιμών (πηγή: Almeida Filho et al. 2007).

Ομάδα δοκιμών	Τύπος σκυροδέματος	Ποιότητα σκυροδέματος (MPa)	Διάμετρος οπλισμού (mm)
SCC1	ΑΣΣ	30	10
	ΑΣΣ	30	16
VC1	ΣΣ	30	10
	ΣΣ	30	16
SCC2	ΑΣΣ	60	10
	ΑΣΣ	60	16
VC2	ΣΣ	60	10
	ΣΣ	60	16



Εικόνα 1.23 (Αριστερά) διατάξεις δοκιμής εξόλκευσης και (δεξιά) δοκιμής δοκού (Almeida Filho et al. 2007).

Η συμπεριφορά των μιγμάτων ΑΣΣ κατά τις δοκιμές δοκού και εξόλκευσης ήταν ανάλογη με αυτή των μιγμάτων ΣΣ και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα καλύτερη.

Για κάθε μία από τις ομάδες μιγμάτων SCC1 και VC1 τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δοκιμές δοκού και εξόλκευσης ήταν παρόμοια μεταξύ τους. Αντίθετα, ενώ για τις ομάδες μιγμάτων SCC2 και VC2 οι δοκιμές δοκού και εξόλκευσης έδωσαν παρόμοιες τιμές αντοχής σε συνάφεια, αυτό συνέβη για διαφορετικές ολισθήσεις.

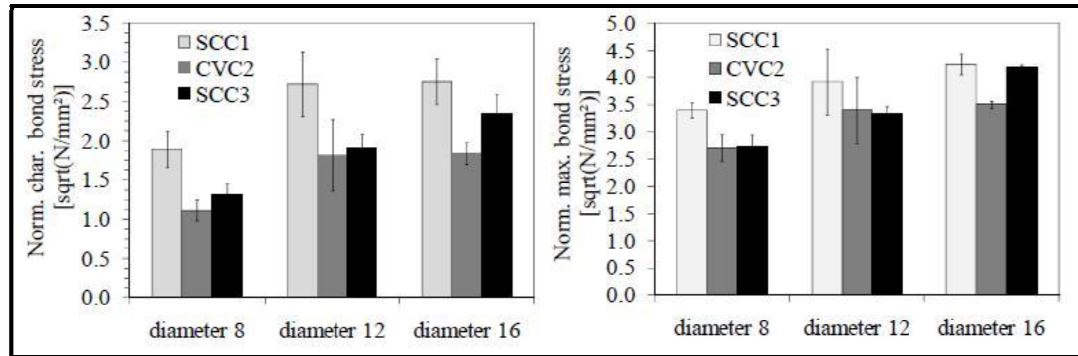
Η ομάδα SCC1 παρουσίασε καλύτερη συμπεριφορά στις δοκιμές συνάφειας συγκριτικά με την VC1 κάτι που εξηγείται από τη χρήση φίλλερ, το οποίο δημιουργεί συνθήκες καλύτερης πρόσφυσης μεταξύ χάλυβα οπλισμού-σκυροδέματος.

Η σύγκριση μεταξύ των διατάξεων του EC2 και των επιτευχθέντων αποτελεσμάτων των δοκιμών, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι ίδιες εξισώσεις και παράμετροι που έχουν υιοθετηθεί για το ΣΣ μπορούν να επεκταθούν και στο ΑΣΣ.

Αναφορικά με τη διαδικασία ελέγχων, τόσο η δοκιμή δοκού όσο και η δοκιμή εξόλκευσης κρίνονται αξιόπιστες (παρουσιάζουν μικρή μεταβλητότητα). Πάντως η δοκιμή εξόλκευσης είναι λιγότερο σύνθετη αλλά και αρκετά ακριβής, οπότε συνίσταται η εφαρμογή της στις συνήθεις περιπτώσεις.

Οι **Boel κ.ά.** (Boel, et al.2010) μελέτησαν τη συνάφεια 2 συνθέσεων ΑΣΣ και 1 ΣΣ, με τη χύτευση κύβων 200mm οπλισμένων με ράβδους διαμέτρου 8,12 και 16mm (3 δοκίμια για κάθε διάμετρο). Ο έλεγχος της συνάφειας των κύβων έγινε με δοκιμές εξόλκευσης (pull-out tests) και για μήκος συνάφειας  $l_b=3.5\phi$ .

Από τις καμπύλες τάσεως-ολίσθησης, προέκυψαν οι μέγιστες τάσεις συνάφειας ( $\tau_m$ ) και ολισθήσεις ( $s_m$ ). Η χαρακτηριστική τάση συνάφειας ορίστηκε ως ο αριθμητικός μέσος των τάσεων που αντιστοιχούν σε ολισθήσεις 0.01, 0.1 και 1mm. Προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα για τις τρεις συνθέσεις υπολογίστηκε η κανονικοποιημένη τάση συνάφειας μέσω της σχέσης ( $\tau/\sqrt{f_c}$ ).



**Διάγραμμα 1.7** Κανονικοποιημένη χαρακτηριστική/μέγιστη τάση συνάφειας σε συνάρτηση με τη διάμετρο των ράβδων οπλισμού (Boel, et al.2010).

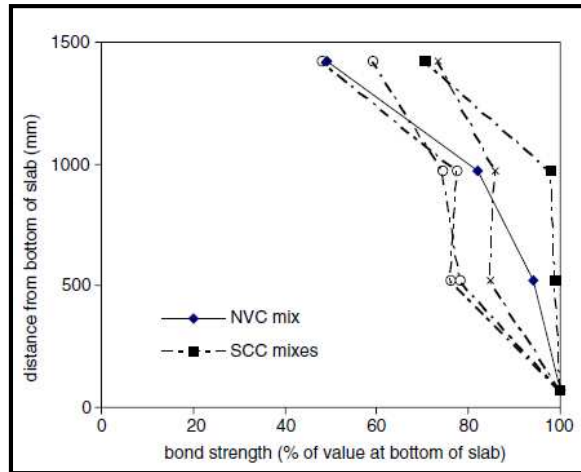
Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής αναφέρεται ότι η κανονικοποιημένη τάση συνάφειας είναι εξίσου υψηλή ή υψηλότερη στο ΑΣΣ σε σύγκριση με το ΣΣ όταν οι υπόλοιποι παράμετροι παραμένουν σταθερές. Ακόμα η χαρακτηριστική και η μέγιστη τάση συνάφειας αυξάνονται με την αύξηση της διαμέτρου των ράβδων (**Διάγραμμα 1.7**). Τέλος όταν η αντοχή συνάφειας του ΑΣΣ είναι ίδια ή μεγαλύτερη του ΣΣ οι εξισώσεις που ισχύουν για το ΣΣ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για το ΑΣΣ.

#### Πρόβλημα των άνω ράβδων

Ο **Domone** (Domone 2007) προκειμένου να καταλήξει σε συμπεράσματα αναφορικά με τη συνάφεια του ΑΣΣ συγκριτικά με το ΣΣ, προχωρεί στην παρουσίαση και στην ανάλυση δεδομένων όπως αυτά προκύπτουν σε επιλεγμένες βιβλιογραφικές πηγές (παρακάτω γίνεται αναφορά σε δύο από αυτές).

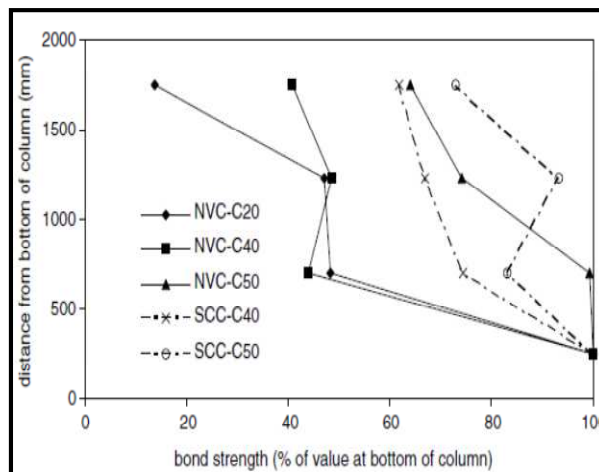
Μεταξύ άλλων, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών εξόλκευσης που πραγματοποιήθηκαν σε 5 πρισματικά δοκίμια ύψους 1.5m στα οποία είναι τοποθετημένες (οριζόντια) ράβδοι σε τέσσερις σειρές. Από τα 5 δοκίμια, τα 4 αντιστοιχούσαν σε μίγματα ΑΣΣ (SCC) και 1 ήταν μίγμα ΣΣ (NVC). Σε όλα τα δοκίμια παρατηρήθηκε μείωση της τάσης συνάφειας (**Διάγραμμα 1.8**) όσο ψηλότερα βρισκόταν η υπό έλεγχο σειρά ράβδων. Τα 3 από τα 4 δοκίμια ΑΣΣ επέδειξαν τάσεις συνάφειας ανάλογες με αυτές του δοκιμίου ΣΣ, ενώ 1 δοκίμιο ΑΣΣ επέδειξε ανώτερες τάσεις συνάφειας σε κάθε θέση. Αξίζει πάντως να αναφερθεί, ότι στο δοκίμιο ΣΣ και σε 2 από τα δοκίμια ΑΣΣ η μείωση των τάσεων συνάφειας καθ' ύψος συγκριτικά με την κατώτερη και την ανώτερη σειρά ράβδων, είναι μεγαλύτερη από αυτή που προβλέπει ο EC2.





**Διάγραμμα 1.8** Διακύμανση της τάσης συνάφειας καθ' ύψος των πρισματικών δοκιμίων (Khayat, Manai, Trudel 1997).

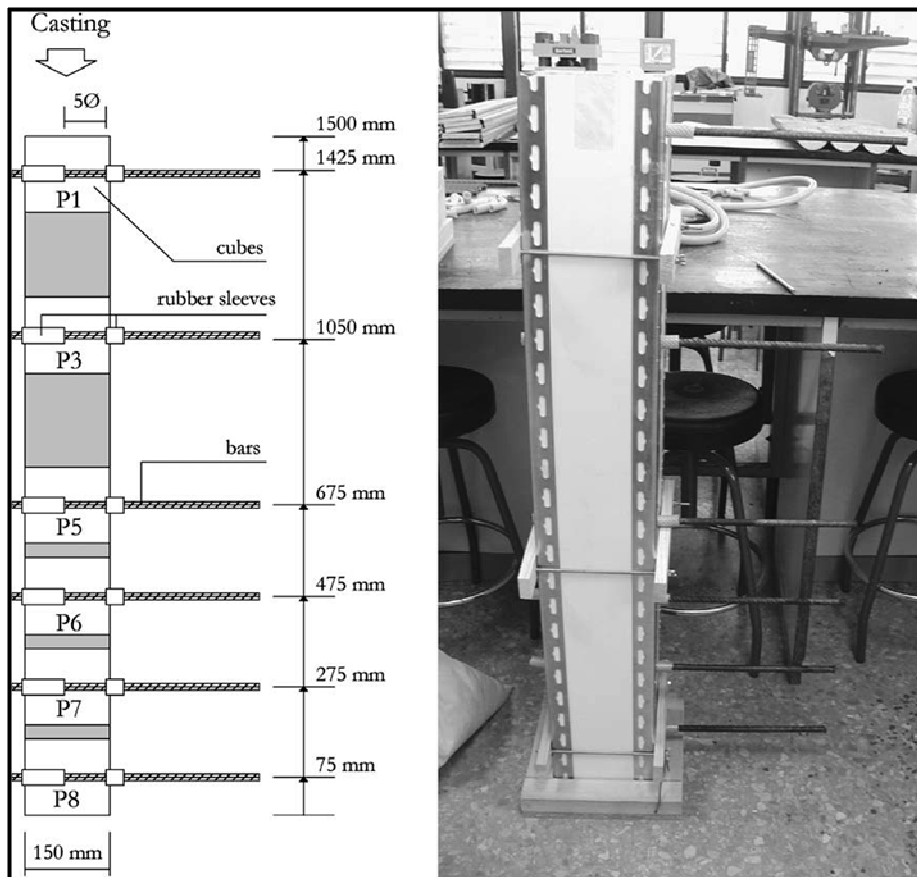
Πιο ακραία συμπεριφορά, προκύπτει από δοκιμές σε 5 υποστυλώματα (3 ΣΣ και 2 ΑΣΣ) ύψους 2.0m. Κάθε δεδομένο σημείο του **Διαγράμματος 1.9** είναι ο μέσος όρος των τάσεων συνάφειας των τοποθετημένων σε τρία επίπεδα ράβδων οπλισμού. Σημαντική μείωση της τάσης συνάφειας (μέχρι 80%) παρουσίασαν τα δύο δοκίμια ΣΣ με τη μικρότερη θλιπτική αντοχή. Τα 2 δοκίμια ΑΣΣ και το υψηλότερης αντοχής μίγμα ΣΣ επέδειξαν σε γενικές γραμμές ανάλογη συμπεριφορά, με μείωση της αντοχής συνάφειας αντίστοιχη με αυτή που προβλέπεται στον EC2.



**Διάγραμμα 1.9** Διακύμανση της τάσης συνάφειας καθ' ύψος των υποστυλωμάτων (Soylev, Francois 2003).

Συμπερασματικά, όσον αφορά είτε τη συνάφεια με το χάλυβα οπλισμού, είτε το φαινόμενο των άνω οπλισμών, η συμπεριφορά των μιγμάτων ΑΣΣ είναι (ουσιαστικά) παρόμοια με την αντίστοιχη των μιγμάτων ΣΣ.

Οι **Valcuende M. και Parra C.** (Valcuende and Parra, 2009) παρήγαγαν 4 μίγματα ΑΣΣ και 4 ΣΣ χρησιμοποιώντας 3 διαφορετικούς λόγους νερού προς τσιμέντο ( $w/c$ : 0.65,0.55,0.55,0.45) και διεξήγαγαν δοκιμές εξόλκευσης σε κυβικά δοκίμια 200mm και υποστρώματα ύψους 1500mm. Οι οπλισμοί που χρησιμοποιήθηκαν στα κυβικά δοκίμια ήταν ράβδοι διαμέτρου 16mm, ενώ το μήκος συνάφειας ορίστηκε ίσο με 80mm (5 $\phi$ ). Οι αντίστοιχες ράβδοι στα υποστρώματα είχαν διάμετρο 12mm.



Εικόνα 1.24 Δοκίμια ύψους 1.50m (Valcuende and Parra, 2009).

Παρατηρήθηκε ότι και στα 4 μίγματα η μέση αντοχή σε συνάφεια είναι μεγαλύτερη για ΑΣΣ σε σχέση με το ΣΣ. Ωστόσο, τείνουν να εξισωθούν όσο βελτιώνεται η ποιότητα του σκυροδέματος. Έτσι καταγράφηκαν διαφορές της τάξεως του 30 % για το μίγμα 1 ( $w/c = 0.65$ ), αλλά λιγότερο από 10 % για το μίγμα 4 ( $w/c = 0.45$ ).

Σε στοιχεία που γίνεται κατακόρυφη σκυροδέτηση, το ΑΣΣ παρουσιάζει συμπεριφορά ομογενούς υλικού σε μεγαλύτερο βαθμό συγκριτικά με το ΣΣ καθώς στο τελευταίο το πρόβλημα των άνω οπλισμών είναι εντονότερο. Ανάλογα με το μίγμα, η απώλεια της μέσης τάσης συνάφειας ανάμεσα στην ανώτερη και κατώτερη περιοχή των υποστρωμάτων ύψους 1500mm, ποικίλει μεταξύ του 40-61 % για το ΑΣΣ και μεταξύ του 70-86 % για το ΣΣ. Όσον αφορά τη μέγιστη τάση συνάφειας η απώλεια κυμαίνεται μεταξύ του 32-55 % στο ΑΣΣ και μεταξύ του 60-74 % για το ΣΣ.

Η μέγιστη τιμή της τάσης συνάφειας είναι μεγαλύτερη για το ΑΣΣ σε σχέση με το ΣΣ. Οι διαφορές μεταξύ των δύο τύπων ποικίλουν ανάλογα με τη θλιπτική αντοχή, αλλά δεν είναι τόσο έντονες όσο αυτές που καταγράφηκαν για τη μέση τάση (λιγότερο από 7%, 17%, 8% και 1% για τα μίγματα 1, 2, 3 και 4 αντίστοιχα). Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί από το γεγονός ότι το φαινόμενο της εξίδρωσης έχει μικρότερο αντίκτυπο στην αστοχία, καθώς και στο ότι το ΣΣ επιτυγχάνει μεγαλύτερη εφελκυστική αντοχή. Πάντως για σκυροδέματα αντοχής μεγαλύτερης των 50MPa οι διαφορές πρακτικά εκμηδενίζονται (μικρότερες του 2%).

Προτείνεται μείωση του μήκους αγκύρωσης για την ειδική περίπτωση τύπου ΑΣΣ με υψηλό ιξώδες σκόνης. Το ποσοστό της μείωσης εξαρτάται από τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.

Τέλος προτείνεται αλλαγή του συντελεστή που λαμβάνει υπόψη το φαινόμενο των άνω οπλισμών για τον υπολογισμό του μήκους αγκύρωσης. Οι ισχύοντες κανονισμοί (ACI 2008) συνιστούν την τιμή 1.3 για ΣΣ, αλλά προτείνεται η τιμή 1.25 για την περίπτωση τύπου ΑΣΣ με υψηλό ιξώδες σκόνης.

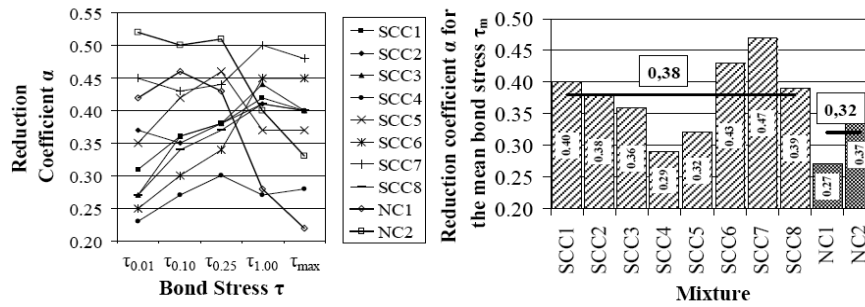
Κατά τη μελέτη του φαινομένου των άνω οπλισμών από τους Τρέζος κ.α. (Τρέζος, Σφήκας, Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010), παρατηρήθηκε η γραμμική μεταβολή της τάσης συνάφειας συναρτήσει του υποκείμενου πάχους σκυροδέματος για υποστυλώματα ΑΣΣ με εγκάρσιο οπλισμό. Η γραμμική αυτή μείωση της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση του ύψους μπορεί να περιγραφεί από το **μειωτικό συντελεστή για τη συνάφεια  $\alpha$** , ο οποίος είναι πιο αποτελεσματικός για την αξιολόγηση του φαινομένου των άνω οπλισμών σε σύγκριση με το **λόγο αντοχής σε συνάφεια άνω/κάτω ράβδου** που έχει χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία. Ο μειωτικός συντελεστής αυτός δείχνει να επηρεάζεται από την αντοχή του τσιμέντου και την προκύπτουσα αντοχή του σκυροδέματος, το λόγο νερού προς τσιμέντο, όπως επίσης και από το ιξώδες και την αντίσταση σε διαχωρισμό του μίγματος.

Εξετάστηκαν διαφορετικά κριτήρια αναφορικά με την επιλογή της τάσης συνάφειας που θα χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό του μήκους αγκύρωσης. Η αντοχή σε συνάφεια που αναπτύσσεται στα μίγματα ΑΣΣ είναι ίση ή μεγαλύτερη με αυτήν που αντιστοιχεί στα μίγματα ΣΣ ίδιας ποιότητας (**Πίνακας 1.4**). Το πρόβλημα των άνω ράβδων ήταν λιγότερο έντονο για τα μίγματα ΑΣΣ για μικρές τιμές των ολισθήσεων ( $s=0.01, 0.10$  και  $0.25\text{mm}$ ). Αντίθετα για μεγαλύτερες ολισθήσεις ( $s=1.00\text{mm}$ ) καθώς και για τη μέση και μέγιστη τάση συνάφειας οι μειωτικοί συντελεστές  $\alpha$  ήταν μεγαλύτεροι στα ΑΣΣ (**Διάγραμμα 1.10**).

**Πίνακας 1.4** Κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια  $\tau/f_{cc}^{0.5}$ , για όλα τα μίγματα χρησιμοποιώντας διαφορετικά κριτήρια ( $\tau_{max}, \tau_{0.25}, \tau_m$ ) (Τρέζος κ.α. 2010).

	Mixture	SCC1	SCC2	SCC3	SCC4	SCC5	SCC6	SCC7	SCC8	NC1	NC2
$\tau_{max}$	$\tau_0/f_{cc}^{0.5}$	5.1	7.0	6.7	4.1	4.2	4.0	3.8	4.3	3.9	3.5
	$\tau_{top}/\tau_{bot}$	0.33	0.34	0.34	0.53	0.39	0.24	0.19	0.33	0.64	0.46
	$\alpha$	0.40	0.40	0.40	0.28	0.37	0.45	0.48	0.40	0.22	0.33
$\tau_{0.25}$	$\tau_0/f_{cc}^{0.5}$	4.7	6.2	6.3	3.4	2.7	2.3	2.3	2.9	2.8	1.8
	$\tau_{top}/\tau_{bot}$	0.37	0.37	0.37	0.50	0.23	0.43	0.26	0.39	0.28	0.14
	$\alpha$	0.38	0.38	0.38	0.30	0.46	0.34	0.44	0.37	0.43	0.51
$\tau_m$	$\tau_0/f_{cc}^{0.5}$	4.8	6.4	5.9	3.8	3.6	3.6	3.4	3.9	3.5	3.0
	$\tau_{top}/\tau_{bot}$	0.34	0.37	0.40	0.52	0.47	0.28	0.22	0.35	0.56	0.39
	$\alpha$	0.40	0.38	0.36	0.29	0.32	0.43	0.47	0.39	0.27	0.37

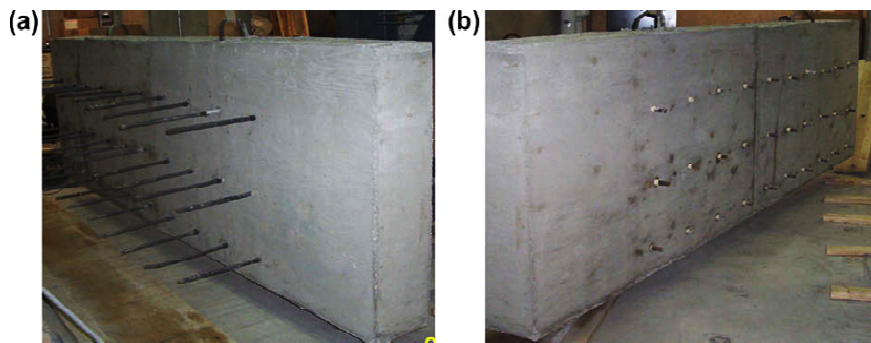
$\tau_0$ : bond stress at the bottom of the column (Eq.2),  $\tau_{bot}$ : bond stress at the bottom bar (B9),  $\tau_{top}$ : bond stress at the top bar (B1),  $\alpha$ : bond reduction coefficient



**Διάγραμμα 1.10** (Αριστερά) μεταβολή του μειωτικού συντελεστή  $\alpha$ , για τις χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας και (δεξιά) μειωτικός συντελεστής  $\alpha$ , που αντιστοιχεί στη μέση τάση συνάφειας  $\tau_m$  (Τρέζος κ.α. 2010).

#### Επιρροή ηλικίας δοκιμών στη συνάφεια τους με το χάλυβα οπλισμού

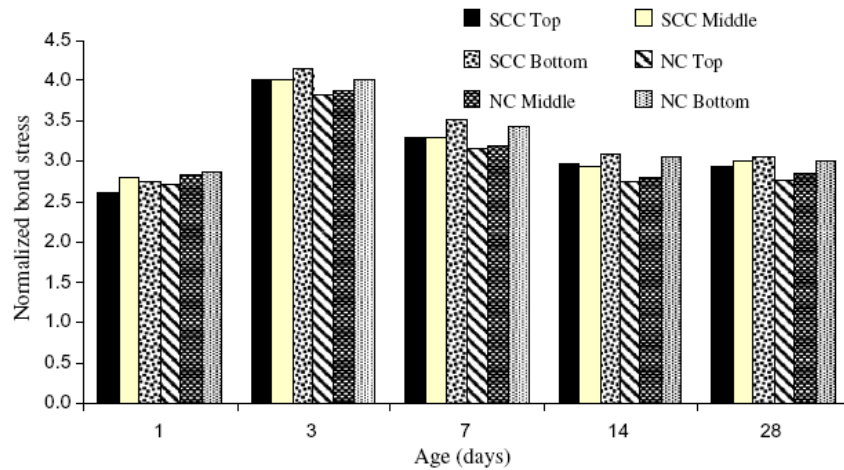
Κύριος στόχος των **Hassan κ.α.** (Hassan, Hossain and Lachemi 2009) ήταν η διερεύνηση της επιρροής της ηλικίας του σκυροδέματος στην ανάπτυξη της αντοχής συνάφειας μεταξύ χάλυβα-σκυροδέματος. Για το σκοπό αυτό διεξήγαγαν δοκιμές εξόλκευσης σε πρισματικά δοκίμια (ΑΣΣ και ΣΣ), οπλισμένα με τρεις σειρές ράβδων (άνω, μεσαία και κάτω σειρά) και σε διάφορες ηλικίες (1, 3, 7, 14 και 28 ημέρες) (**Εικόνα 1.25**).



**Εικόνα 1.25** Δοκίμια δοκιμής εξόλκευσης (a) εμπρός και (b) πίσω όψη (Hassan, Hossain and Lachemi 2009).

Κατά την πειραματική διαδικασία προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Σαν ποσοστό της αντοχής των 28 ημερών, η ανάπτυξη της τάσης συνάφειας με την ηλικία ήταν ταχύτερη από την ανάπτυξη της θλιπτικής αντοχής και για τους δύο τύπους μιγμάτων ΑΣΣ και ΣΣ (κυρίως για μικρότερες ηλικίες δοκιμών). Δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές στην ανάπτυξη τάσεων συνάφειας και θλιπτικών αντοχών με την ηλικία, μεταξύ των ΑΣΣ και ΣΣ.
- Η κανονικοποιημένη τάση συνάφειας (**Διάγραμμα 1.11**) ήταν ελαφρώς υψηλότερη στα μίγματα ΑΣΣ σε σχέση με τα μίγματα ΣΣ για τις ηλικίες των 3, 7, 14 και 28 ημερών, ενώ όταν ο έλεγχος συνάφειας πραγματοποιήθηκε 1 ημέρα μετά τη σκυροδέτηση η διαφορά μεταξύ των ΑΣΣ και ΣΣ ήταν δύσκολα αναγνωρίσιμη εξαιτίας της ατελούς ανάπτυξης συνάφειας. Ακόμα ο λόγος της κανονικοποιημένης τάσης συνάφειας των μιγμάτων ΑΣΣ προς αυτήν των ΣΣ, ήταν μεγαλύτερος για τις ράβδους της ανώτερης σειράς και τις μεγαλύτερες ηλικίες δοκιμών συγκριτικά με τις ράβδους της κατώτερης σειράς και για μικρότερες ηλικίες δοκιμών.



**Διάγραμμα 1.11** Κανονικοποιημένη τάση συνάφειας συναρτήσει της ηλικίας των δοκιμών για τα μίγματα ΑΣΣ και ΣΣ (Hassan, Hossain and Lachemi 2009).

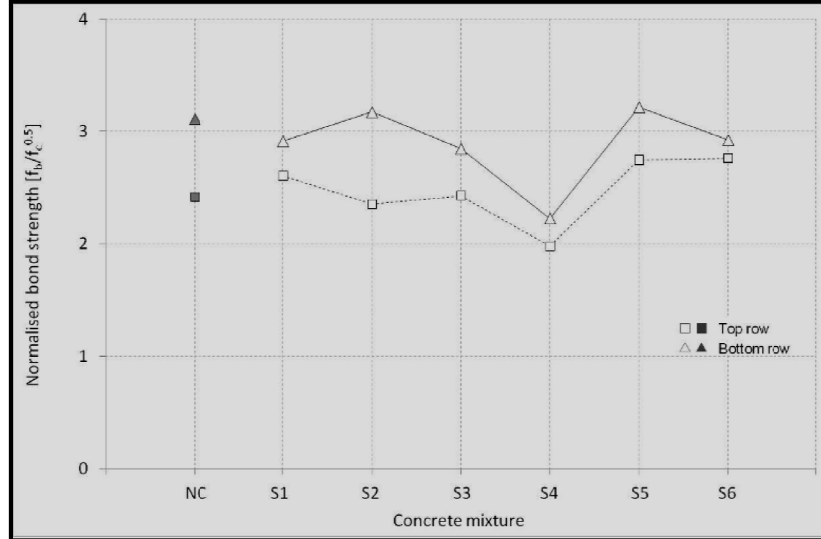
- Και για τους δύο τύπους σκυροδέματος, η τάση συνάφειας για τις κάτω ράβδους ήταν λίγο μεγαλύτερη απ’ ότι στις μεσαίες και στις άνω ράβδους για όλες τις ηλικίες. Η διαφορά αυτή ήταν πιο έντονη στις μεγαλύτερες ηλικίες. Δεν παρατηρήθηκε εμφανής διαφοροποίηση μεταξύ των άνω και μεσαίων ράβδων για όλες τις ηλικίες, γεγονός που επιβεβαιώνει τους κανονισμούς ACI (ACI 2008) και CSA (CSA 2004) που αντιμετωπίζουν όλες τις ράβδους με πάχος υποκείμενου σκυροδέματος μεγαλύτερο από 300mm σαν άνω ράβδους.

#### Μεταβολή συνάφειας κατά μήκος δοκιμών δοκού

Στόχος της έρευνας των **Thrane κ.α.** (Thrane, Pade, Idzerda and Kaasgaard 2010) ήταν η επίδραση των ρεολογικών ιδιοτήτων του ΑΣΣ στη συνάφεια του με τις ράβδους οπλισμού. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας παρασκευάστηκαν 7 μίγματα από σκυρόδεμα κατηγορίας C35. Για τα 5 από τα 7 μίγματα που εξετάστηκαν, η σύνθεση ήταν η ίδια με εξαίρεση την ποσότητα του υπερρρευστοποιητή (NC, S1, S2, S4, S6). Δύο μίγματα (S3 και S5) είχαν διαφορετική σύνθεση προκειμένου να αυξηθεί το πλαστικό ιξώδες. Τα δοκίμια που ελέγχθηκαν με δοκιμές εξόλκεσης, ήταν δοκίμια δοκού των οποίων ο ξυλότυπος είχε διαστάσεις 2.40m×0.40m×0.25m. Σε αυτά τοποθετήθηκαν 2 σειρές από 6 ράβδους (διαμέτρου 12mm) η κάθε σειρά και σε απόσταση 0.10m και 0.25m από τον πυθμένα του καλουπιού. Η χύτευση όλων των μιγμάτων ΑΣΣ (S1, S2, S3, S4, S5, S6) έγινε υπό την επίδραση μόνο του βάρους τους και από την άκρη του καλουπιού. Αντίθετα στο μίγμα ΣΣ (NC) η χύτευση έγινε σε διαφορετικές θέσεις και η ομογενοποίηση με τη χρήση μηχανικού δονητή.

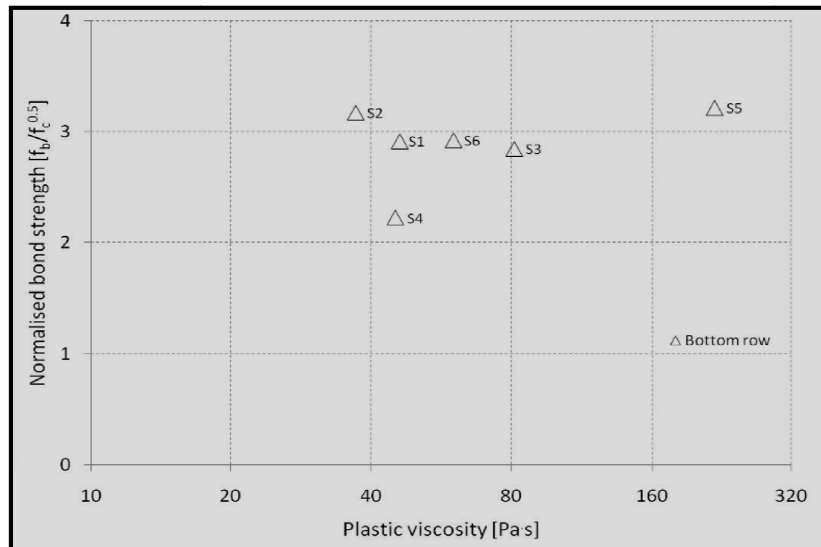
Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας παρατηρήθηκε ότι εξαιτίας της καθοδικής κλίσης της ελεύθερης επιφάνειας στα δοκίμια από ΑΣΣ, το πάχος επικάλυψης των ανώτερων ράβδων προοδευτικά μειωνόταν (από τη θέση χύτευσης προς το άλλο του καλουπιού), ενώ διαπιστώθηκαν περιπτώσεις ράβδων (προέκυψε ότι αυτές οι περιπτώσεις αντιστοιχούσαν στα μίγματα με τις χαμηλότερες τιμές SF κατά τις δοκιμές εξάπλωσης) που δεν ήταν εξολοκλήρου καλυμμένες από σκυρόδεμα. Γενικά στους ελέγχους συνάφειας συμμετείχαν οι ράβδοι με επικάλυψη τουλάχιστον 10cm.

Από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας, αρχικά παρατηρείται ότι η κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας των μιγμάτων ΑΣΣ είναι ανάλογη αυτής των μιγμάτων ΣΣ (εξάιρεση αποτελεί η σύνθεση S4 η οποία είχε τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αέρα 9%). Ακόμα από το διάγραμμα (Διάγραμμα 1.12) προκύπτει ότι η κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας είναι μεγαλύτερη στις ράβδους της κάτω σειράς για όλα τα μίγματα.

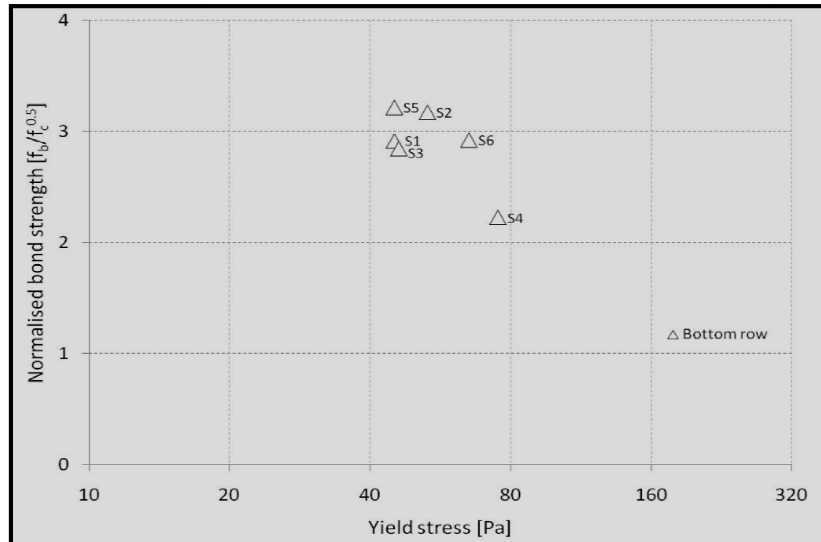


Διάγραμμα 1.12 Μέση κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας άνω και κάτω ράβδων και για όλα τα μίγματα (Thrane et al. 2010).

Όσον αφορά την επίδραση των ρεολογικών χαρακτηριστικών του κάθε μίγματος στη συνάφεια, η τιμή του πλαστικού ιξώδους φαίνεται ότι δεν επηρεάζει σημαντικά την αντοχή της συνάφειας, τουλάχιστον όταν αυτή η τιμή κυμαίνεται στο εξεταζόμενο διάστημα των 35-220 Pa·s (Διάγραμμα 1.12). Τα ίδια συμπεράσματα ισχύουν και για την επιρροή της τάσης διαρροής των μιγμάτων στη συνάφεια (Διάγραμμα 1.13).

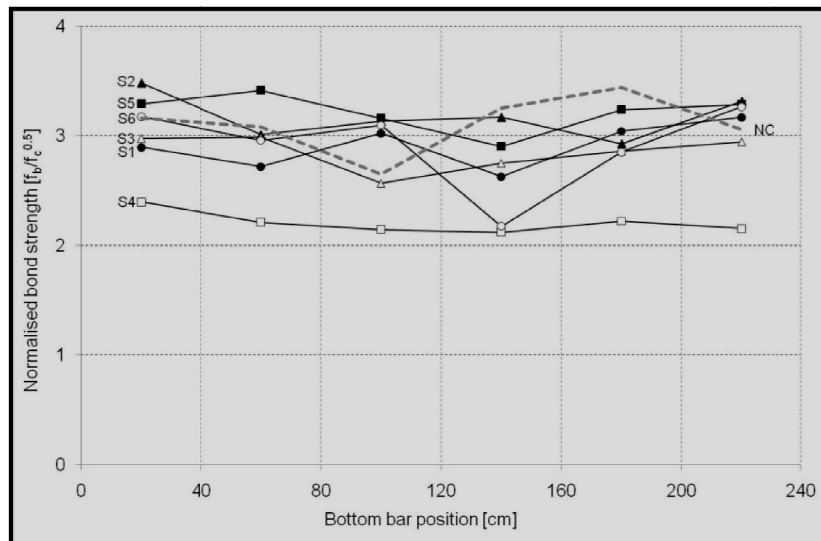


Διάγραμμα 1.13 Μέση κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας για τα μίγματα ΑΣΣ ως συνάρτηση του πλαστικού ιξώδους. Τα αποτελέσματα αντιστοιχούν στις ράβδους της κάτω σειράς (Thrane et al. 2010).



**Διάγραμμα 1.14** Μέση κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας για τα μίγματα ΑΣΣ ως συνάρτηση της τάσης διαρροής. Τα αποτελέσματα αντιστοιχούν στις ράβδους της κάτω σειράς (Thrane et al. 2010).

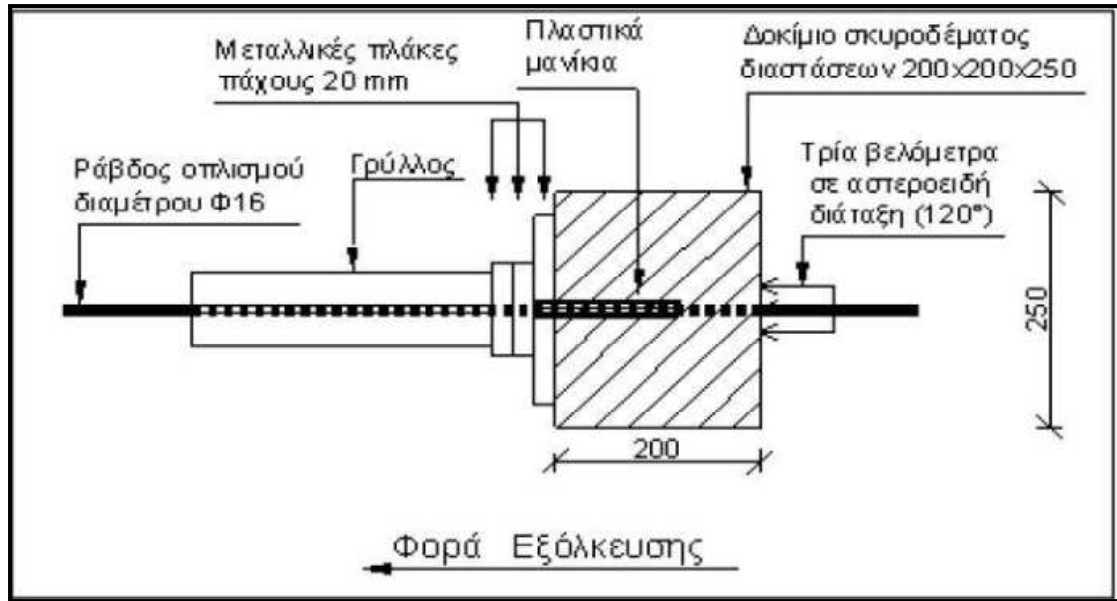
Τέλος από το **Διάγραμμα 1.15** προκύπτει ότι η διακύμανση της αντοχής συνάφειας κατά μήκος του δοκιμίου, είναι της ίδιας τάξης για τα μίγματα ΑΣΣ και το μίγμα ΣΣ κάτι που δείχνει ότι ελεύθερη ροή του ΑΣΣ κατά τη χύτευση δεν επηρέασε σημαντικά τα αποτελέσματα.



**Διάγραμμα 1.15** Κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας για κάθε ράβδο της κάτω σειράς και για κάθε μίγμα. Η διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο ΣΣ. Το ΑΣΣ αφέθηκε να ρέει ώστε να πληρώσει το καλούπι από τα αριστερά προς τα δεξιά (Thrane et al. 2010).







Εικόνα 1.27 Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης, διαστάσεις σε mm, (Πάττα και Περβολαράκης 2005).

Η δοκιμή εξόλκευσης είναι μια σχετικά εύκολη και απλή διαδικασία τόσο ως προς τον τρόπο παρασκευής των δοκιμίων, όσο και προς την εξέτασή τους. Επισημαίνεται πάντως, ότι κατά τη δοκιμή αυτή, δημιουργείται σύνθετη κατάσταση τάσεων στη διεπιφάνεια χάλυβα σκυροδέματος, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τον τρόπο αστοχίας των λάθος σκυροδετημένων δοκιμίων.

Η επίδραση της γεωμετρίας των νευρώσεων στη συνάφεια χάλυβα σκυροδέματος αποτέλεσε αντικείμενο διπλωματικής εργασίας και των **Βαγγελή Ι. και Χρηστάκη Α.** (Βαγγελή και Χρηστάκης, 2008). Για δύο μίγματα σκυροδέματος (ένα με ρευστοποιητή και ένα χωρίς), πραγματοποίησαν δοκιμές δοκού και εξόλκευσης σε δοκίμια οπλισμένα με ράβδους δύο διαφορετικών τύπων νευρώσεων: «Τύπου 1» ( $\alpha_R=0.054$ /αραιή διάταξη νευρώσεων) και «Τύπου 2» ( $\alpha_R=0.116$ /πυκνή διάταξη νευρώσεων) (Εικόνα 1.28).



Εικόνα 1.28 Νευρώσεις τύπου 1 (αριστερά) και νευρώσεις τύπου 2 (δεξιά) (Βαγγελή και Χρηστάκης, 2008).

Κατά τις δοκιμές δοκού (**Εικόνα 1.29**) προέκυψε ότι για δοκίμια με τύπο νεύρωσης 1 η χρήση ρευστοποιητή μειώνει την ανηγμένη τάση συνάφειας για ολισθήσεις μεγαλύτερες από 0,2mm, ενώ για δοκίμια με τύπο νεύρωσης 2 η χρήση ρευστοποιητή μειώνει κατακόρυφα την ανηγμένη τάση συνάφειας για ολισθήσεις μεγαλύτερες από 0,6mm.

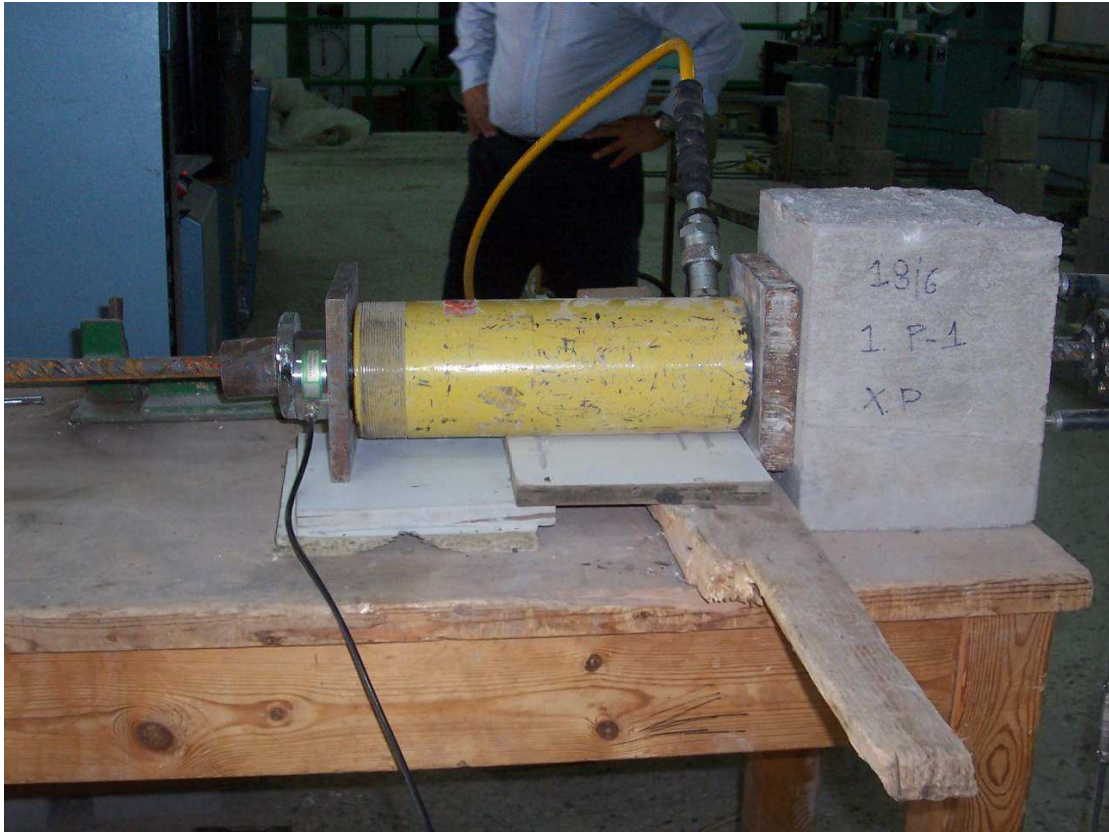
Κατά την επεξεργασία των ανηγμένων διαγραμμάτων τάσης για τα δοκίμια χωρίς ρευστοποιητή δεν προέκυψε σαφής διαχωρισμός των δύο τύπων νευρώσεων. Αντίθετα, στα διαγράμματα δοκιμίων με ρευστοποιητή τις υψηλότερες τιμές τις δίνει ο Τύπος Νεύρωσης 2, για ολίσθηση μικρότερη από 1mm.



**Εικόνα 1.29** Διάταξη δοκιμής δοκού (Βαγγελή και Χρηστάκης, 2008).

Όσον αφορά τις δοκιμές εξόλκευσης (**Εικόνα 1.30**) η εξέταση των δοκιμίων ξεχωριστά έδειξε ότι ο Τύπος Νεύρωσης 1 παρουσιάζει γενικά καλύτερη συμπεριφορά σε δοκίμια που δεν είχαν ρευστοποιητή. Για τον Τύπο Νεύρωσης 2, τα δοκίμια που είχαν ρευστοποιητή εμφάνισαν μεγαλύτερες τιμές τάσης συνάφειας σε μικρές ολισθήσεις στις δύο από τις τρεις σκυροδετήσεις, ενώ για μεγάλες ολισθήσεις λειτούργησε καλύτερα το σκυρόδεμα χωρίς ρευστοποιητή.

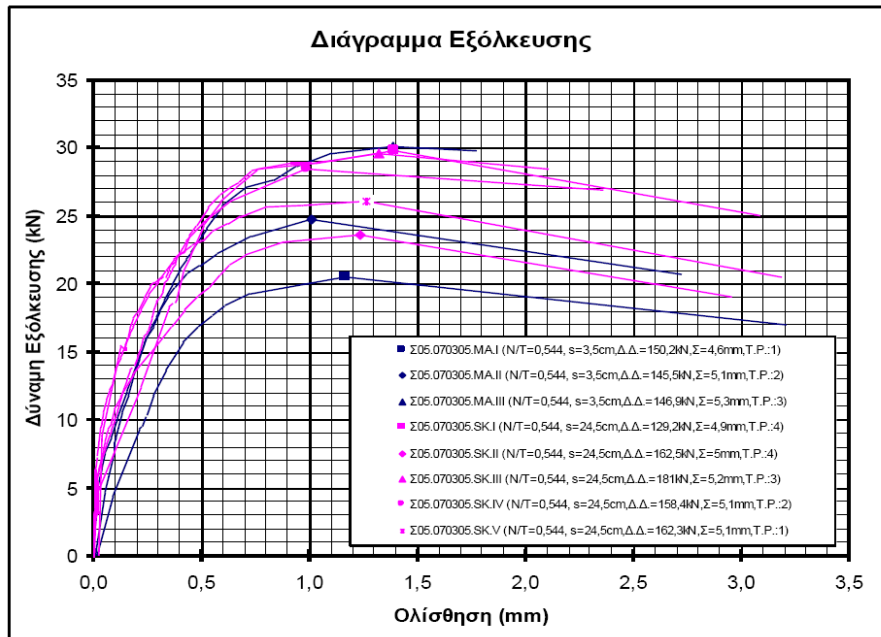
Οι μέσες καμπύλες των ομαδοποιημένων δεδομένων έδειξαν ότι τα δοκίμια από σκυρόδεμα χωρίς ρευστοποιητή είχαν καλύτερη συμπεριφορά (μεγαλύτερες τιμές της τάσης συνάφειας), ενώ τα αναφερόμενα διαγράμματα δεν έδειξαν κάποιο σαφή διαχωρισμό ανάμεσα στους δύο τύπους ράβδων.



Εικόνα 1.30 Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης (Βαγγελή και Χρηστάκης, 2008).

Ο Σφήκας Ι. (Σφήκας 2007) στη μεταπτυχιακή του εργασία με τίτλο «Τεχνολογία Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος» αναφέρεται εκτενώς στις μηχανικές ιδιότητες και τα σημαντικά χαρακτηριστικά του νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος, καθώς και στις μεθόδους και τα υλικά παρασκευής του νέου υλικού, ενώ περιγράφονται ενδελεχώς οι πλέον αποδεκτές παγκοσμίως μέθοδοι ελέγχου των νωπών ιδιοτήτων. Στο πειραματικό μέρος της εργασίας διεξήχθησαν συνολικά δεκαέξι σκυροδετήσεις και από τους ελέγχους της νωπής και σκληρυμένης κατάστασης του υλικού εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα και ενδείξεις για τη συμπεριφορά του, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμη βάση δεδομένων για μελλοντικούς ερευνητές.

Όσον αφορά τη συνάφεια του συγκεκριμένου τύπου σκυροδέματος, κατά τις δοκιμές εξόλκευσης που πραγματοποιήθηκαν, παρατηρήθηκε ότι τα μίγματα ΑΣΣ παρουσιάζουν βελτιωμένη συνάφεια με τον χάλυβα οπλισμού, καθώς η απαιτούμενη δύναμη εξόλκευσης αναπτύχθηκε σε τιμή ολίσθησης αυξημένη κατά 7,7% και είχε τιμή αυξημένη κατά 10% σε σχέση με την απαιτούμενη δύναμη εξόλκευσης σε δοκίμια ΣΣ.



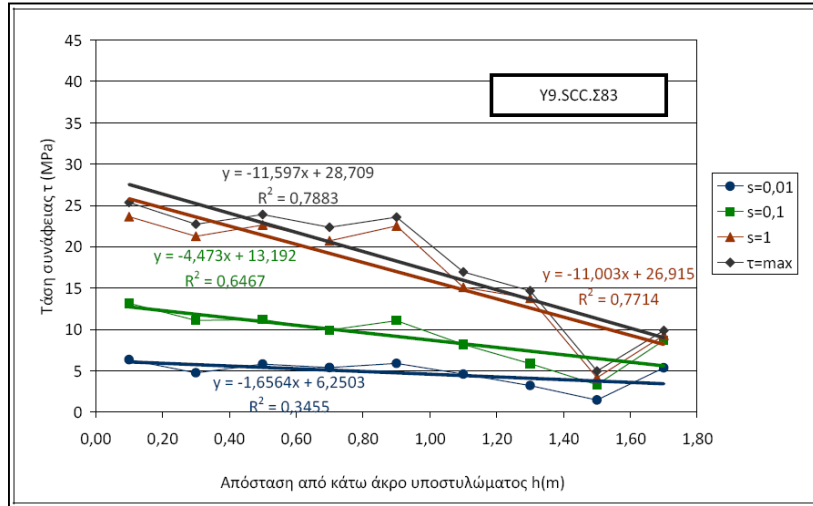
Διάγραμμα 1.16 Δοκιμή εξόλκευσης ράβδων (Σφήκας 2007).

Οι Πάλμος Μ. και Σωτηροπούλου Ε. (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010) μελέτησαν στη διπλωματική τους εργασία το φαινόμενο των άνω ράβδων για δοκιμία ΑΣΣ καθώς επίσης και την επιρροή του βάθους σκυροδέτησης στη θλιπτική αντοχή. Τα δοκίμια που ελέγχθηκαν με δοκιμές εξόλκευσης ήταν υποστυλώματα με διατομή 20x20cm και ύψος 180cm. Σε κάθε υποστύλωμα τοποθετήθηκαν εννέα εγκάρσιες ράβδοι  $\varnothing 16$ , ξεκινώντας 10cm από το άνω άκρο του υποστυλώματος. Επίσης τοποθετήθηκε διαμήκης οπλισμός  $\varnothing 8$  στις τέσσερις ακμές του υποστυλώματος και τρεις συνδετήρες  $\varnothing 8$  (Εικόνα 1.31).



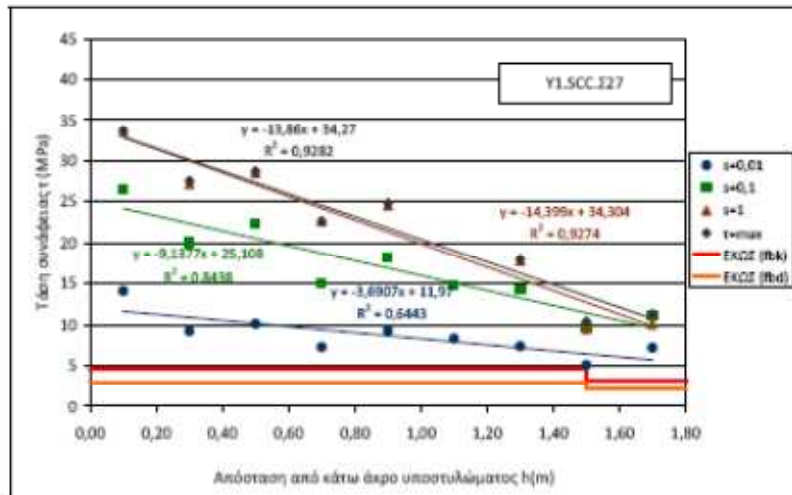
Εικόνα 1.31 Συναρμολόγηση ξυλοτύπου, τοποθέτηση οπλισμών (αριστερά), (Β) Υποστύλωμα σε κατάκλιση (δεξιά) (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).

Συμπερασματικά προέκυψε ότι το πρόβλημα των άνω οπλισμών φαίνεται να είναι περισσότερο δυσμενές για τα υποστυλώματα συμβατικού σκυροδέματος για μικρές ολισθήσεις, ενώ δείχνει να πλήττει περισσότερο τα υποστυλώματα συνθέσεων αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος στην περίπτωση της  $\tau_{max}$ . Η  $\tau_{max}$ , ως απόλυτο μέγεθος και ανεξαρτήτως της μεταβολής που παρουσιάζει με το ύψος, παρατηρείται αυξημένη στα αυτοσυμπκνούμενα μίγματα, συγκρινόμενα με τα συμβατικά.

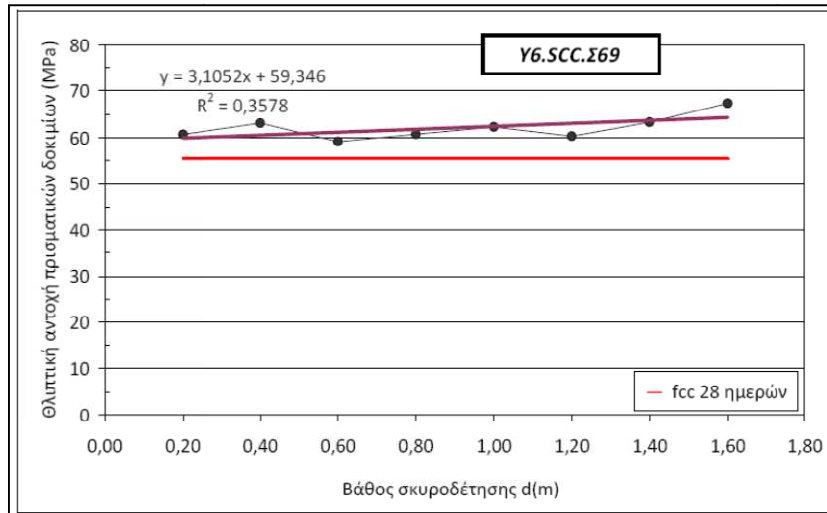


**Διάγραμμα 1.17** Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ( $\tau_{max}$ ,  $\tau_{s=1}$ ,  $\tau_{s=0.1}$ ,  $\tau_{s=0.01}$ ) ως συνάρτηση της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).

Βάσει του δείγματος που εξετάστηκε, η χρήση του ΕΚΩΣ 2000 για το σχεδιασμό στοιχείων αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος κρίνεται ασφαλής. Αναφορικά με τη μεταβολή της θλιπτικής αντοχής καθ' ύψος, όσον αφορά στις συνθέσεις αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος, παρατηρήθηκε αύξηση από 1% έως 14%. Όσον αφορά τις συνθέσεις συμβατικού σκυροδέματος, παρατηρήθηκε μείωση με το βάθος από 1% έως 7%, γεγονός που αποδίδεται σε ενδεχόμενη ατελή δόνηση.



**Διάγραμμα 1.18** Μεταβολή τάσεων χαρακτηριστικών ολισθήσεων ( $\tau_{max}$ ,  $\tau_{s=1}$ ,  $\tau_{s=0.1}$ ,  $\tau_{s=0.01}$ ) και μέγιστης τάσης συνάφειας ( $\tau_{max}$ ) συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο και σύγκριση με τις προβλεπόμενες τιμές του ΕΚΩΣ 2000 (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).



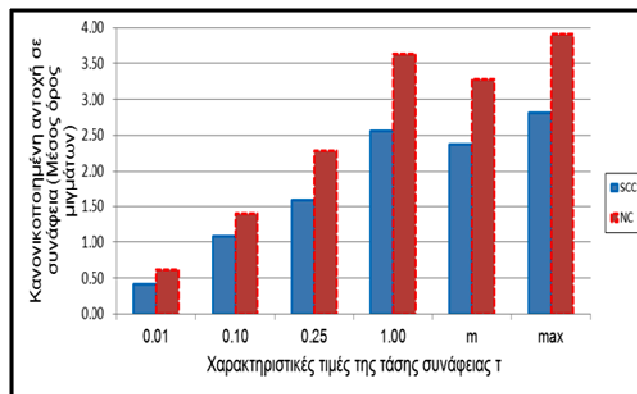
**Διάγραμμα 1.19** Θλιπτική αντοχή  $f_c$  ως συνάρτηση της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστύλωματος (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).

Η αυξημένη μεταβολή της τάσης συνάφειας που παρουσιάστηκε στα αυτοσυμπκνούμενα σκυροδέματα, ανάγεται σε κάποιο βαθμό και στη μεταβολή (αύξηση) της θλιπτικής αντοχής με το βάθος σκυροδέτησης. Επισημαίνεται στο τέλος, η ανάγκη επανάληψης των συνθέσεων προκειμένου να ελεγχθεί η συνέπεια των αποτελεσμάτων.

Ο **Στύλος Α.** (Στύλος 2011) στη διπλωματική του εργασία εξετάζει επίσης το φαινόμενο των άνω οπλισμών (βλ. Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010). Αρχικά διεξάγονται οι έλεγχοι νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος και στη συνέχεια πραγματοποιούνται δοκιμές εξόλκευσης για 7 μίγματα διαφορετικών συνθέσεων ΑΣΣ, καθώς επίσης και για 3 μίγματα ΣΣ. Για τις δοκιμές εξόλκευσης χρησιμοποιήθηκαν ανά σύνθεση τρία κυβικά δοκίμια  $20 \times 20 \times 20$ cm οπλισμένα με μία ράβδο  $\varnothing 16$  B500C, καθώς και ένα υποστύλωμα  $20 \times 20 \times 60$ cm, οπλισμένο με τρεις ράβδους  $\varnothing 16$  κάθετες στη διεύθυνση σκυροδέτησης.

Ορισμένα από τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής :

- Τα μίγματα ΑΣΣ ανέπτυξαν μειωμένη κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια συγκριτικά με τα μίγματα ΣΣ (**Διάγραμμα 1.20**).



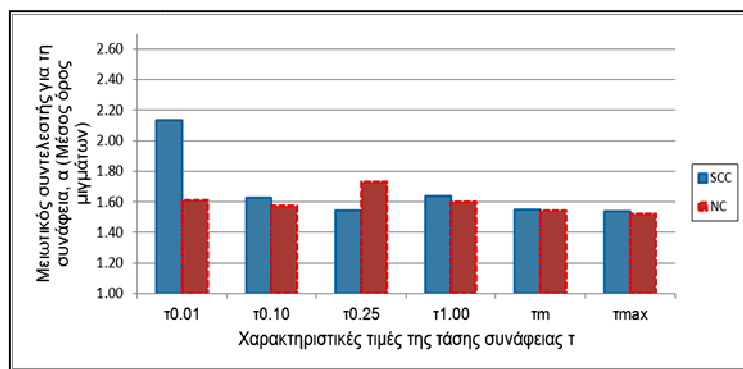
**Διάγραμμα 1.20** Συγκριτικό διάγραμμα κανονικοποιημένων αντοχών συνάφειας για μίγματα ΑΣΣ και ΣΣ (Στύλος 2011).

- Τα μίγματα ΑΣΣ έδωσαν χαμηλότερες ανηγμένες τάσεις συνάφειας στη θλιπτική αντοχή στις περιπτώσεις των  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{max}$  ενώ για μικρότερες ολισθήσεις οι τιμές ήταν παρόμοιες με τα μίγματα ΣΣ (Πίνακας 1.5).

**Πίνακας 1.5** Χαρακτηριστικές τιμές ανηγμένης τάσης συνάφειας στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος κάτω (col-low), μεσαίας (col-mid), άνω (col-upp) ράβδου υποστρώματος και μέση τάση των 3 κύβων (Στύλος 2011).

		SCC-06	SCC-10	SCC-11	SCC-16	SCC-17	SCC-18	SCC-19	NC-03	NC-04	NC-08
		Σ100	Σ102	Σ99	Σ111	Σ108	Σ109	Σ115	Σ101	Σ103	Σ110
$\tau_{0.01}/f_{cc}$	cub-avg	0.07	0.04	0.06	0.07	0.03	0.05	0.01	0.10	0.06	0.03
	col-low	0.12	0.03	0.01	0.02	0.07	0.04	0.06	0.11	0.08	0.05
	col-upp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.02	0.03
	col-mid	0.06	0.00	0.03	0.00	0.04	0.03	0.06	0.03	0.05	0.05
$\tau_{0.10}/f_{cc}$	cub-avg	0.18	0.07	0.14	0.14	0.11	0.11	0.10	0.20	0.11	0.11
	col-low	0.20	0.06	0.13	0.16	0.17	0.08	0.14	0.20	0.17	0.16
	col-upp	0.14	0.00	0.01	0.01	0.00	0.07	0.09	0.08	0.02	0.05
	col-mid	0.14	0.05	0.10	0.08	0.08	0.11	0.13	0.11	0.08	0.11
$\tau_{0.25}/f_{cc}$	cub-avg	0.22	0.09	0.21	0.20	0.18	0.17	0.15	0.33	0.15	0.20
	col-low	0.25	0.10	0.25	0.24	0.25	0.12	0.22	0.31	0.27	0.29
	col-upp	0.18	0.02	0.02	0.03	0.01	0.10	0.10	0.09	0.00	0.08
	col-mid	0.19	0.07	0.12	0.10	0.09	0.13	0.17	0.18	0.10	0.17
$\tau_{1.00}/f_{cc}$	cub-avg	0.26	0.19	0.34	0.29	0.30	0.28	0.26	0.50	0.25	0.46
	col-low	0.29	0.23	0.44	0.38	0.34	0.25	0.36	0.48	0.40	0.50
	col-upp	0.21	0.04	0.04	0.05	0.02	0.11	0.10	0.16	0.02	0.18
	col-mid	0.23	0.08	0.14	0.14	0.10	0.16	0.29	0.30	0.16	0.41
$\tau_m/f_{cc}$	cub-avg	0.21	0.19	0.31	0.27	0.28	0.25	0.25	0.47	0.24	0.42
	col-low	0.27	0.23	0.40	0.35	0.35	0.23	0.33	0.41	0.38	0.45
	col-upp	0.19	0.06	0.05	0.05	0.06	0.11	0.11	0.15	0.02	0.16
	col-mid	0.21	0.09	0.14	0.13	0.11	0.17	0.26	0.29	0.18	0.35
$\tau_{max}/f_{cc}$	cub-avg	0.27	0.24	0.37	0.32	0.33	0.30	0.29	0.54	0.29	0.51
	col-low	0.30	0.28	0.47	0.42	0.41	0.28	0.41	0.50	0.43	0.53
	col-upp	0.22	0.09	0.07	0.07	0.11	0.13	0.13	0.20	0.02	0.21
	col-mid	0.24	0.10	0.16	0.16	0.14	0.21	0.31	0.36	0.22	0.45

- Για μικρές ολισθήσεις, το φαινόμενο των άνω οπλισμών ήταν εντονότερο στα μίγματα ΑΣΣ ενώ στις περιπτώσεις των  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{max}$  η συμπεριφορά ΑΣΣ και ΣΣ ήταν παρόμοια (Διάγραμμα 1.21).



**Διάγραμμα 1.21** Μειωτικοί συντελεστές συνάφειας (Στύλος 2011).

- Η προσθήκη πυριτικής παιπάλης προσδίδει αυξημένη θλιπτική αντοχή και τάσεις συνάφειας, λιγότερο έντονο πρόβλημα άνω οπλισμών αλλά και μειωμένη κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας.
- Σε σύγκριση με τα υψηλότερα στοιχεία που αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας της διπλωματικής εργασίας των **Πάλμος και Σωτηροπούλου (2010)**, στα χαμηλότερα στοιχεία παρατηρήθηκαν χαμηλότερες αντοχές σε συνάφεια και υψηλότερες τιμές του μειωτικού συντελεστή ***a***.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Πειραματικό μέρος

### 2.1. Εισαγωγή – Πειραματικό πρόγραμμα

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε και διεξήχθη στο διάστημα **Απρίλιος 2011-Ιούνιος 2011**, εντάσσεται σ' ένα ευρύτερο πλαίσιο ερευνητικής δραστηριότητας σχετικά με το ΑΣΣ που αναπτύσσεται στο **Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π.**

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτέλεσε η διερεύνηση: **(α)** της αντοχής συνάφειας κυβικών δοκιμίων, **(β)** της καθ' ύψος μεταβολής της τάσης συνάφειας σε δοκίμια υποστρώματος (πρόβλημα άνω οπλισμών), και **(γ)** της μεταβολή της τάσης συνάφειας κατά μήκος δοκιμίων δοκού, από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης έως την απέναντι παρειά του ξυλοτύπου.

Τα μίγματα των οποίων η συμπεριφορά σε συνάφεια ελέγχθηκε, ήταν μίγματα ΑΣΣ και ΣΣ με διαφοροποιήσεις ως προς το λόγο νερού προς τσιμέντο (**w/c**), καθώς και ως προς την περιεκτικότητα σε υπερρευστοποιητή. Το πειραματικό μέρος αυτής της διπλωματικής εργασίας εξελίχθηκε παράλληλα με εκείνο άλλης σχετικής διπλωματικής του εργαστηρίου με θέμα την επίδραση στη συνάφεια μιας πρώιμης μετακίνησης των οπλισμών μέσα στη μάζα του νωπού σκυροδέματος (τα μίγματα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτά τα πειράματα ήταν μίγματα επίσης ΑΣΣ και ΣΣ με διαφορετικά ποσοστά πυριτικής παιπάλης (**sf**) για σταθερό λόγο **w/b**).

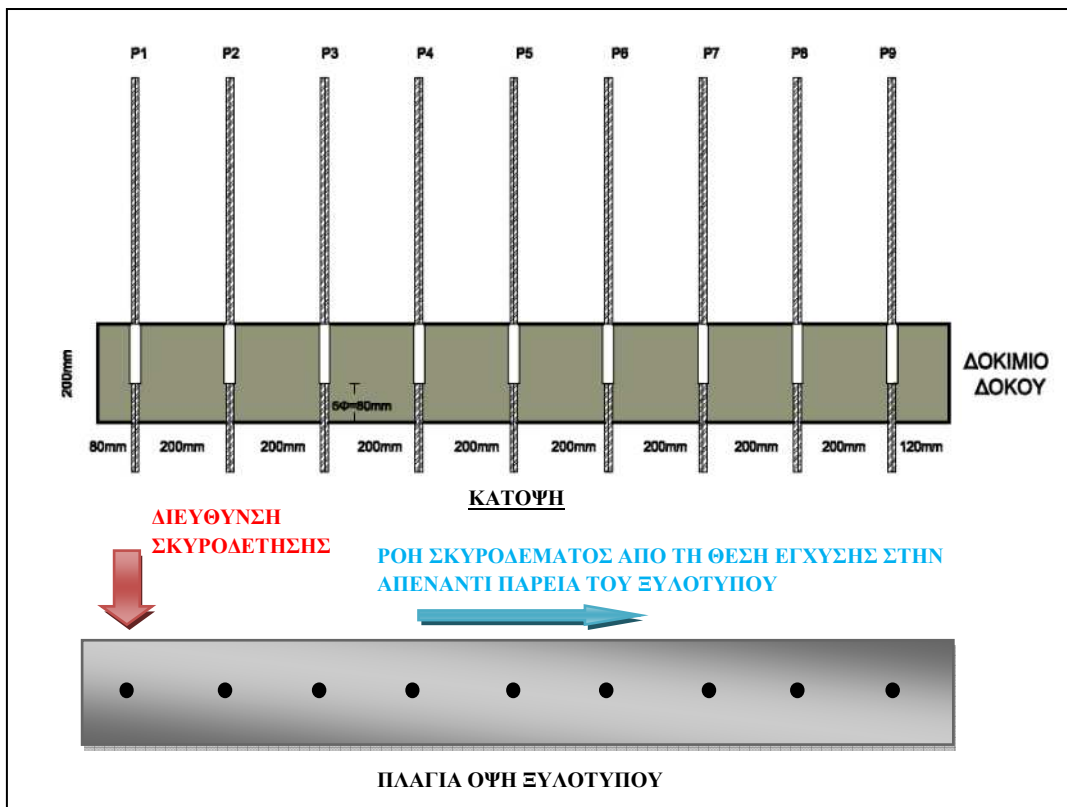
Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας παρήχθησαν **7** διαφορετικές συνθέσεις εκ των οποίων **5 ΑΣΣ** και **2 ΣΣ**. Κάθε σύνθεση επαναλήφθηκε **2** φορές (**14 αναμίγματα**) προκειμένου να καλυφτούν οι απαιτήσεις των προς πλήρωση ξυλοτύπων (**Πίνακας 2.1**).

**Πίνακας 2.1** Συνθέσεις που παρήχθησαν και δοκίμια που σκυροδετήθηκαν στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας.

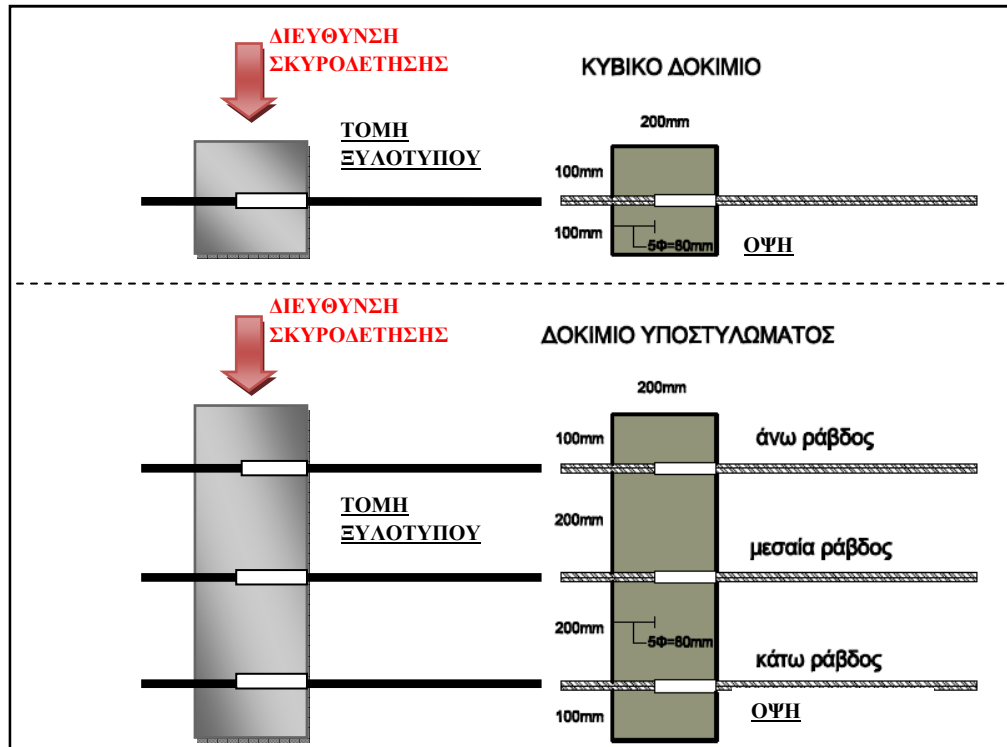
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ				ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΤΗΚΑΝ		
ΤΥΠΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΣΥΝΘΕΣΗ	ΑΝΑΜΙΓΜΑ	Α/Α ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ	ΔΟΚΟΣ	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	ΚΥΒΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ (x3)
ΑΣΣ	SCC-26	A	124	+		
		B	125		+	+
ΑΣΣ	SCC-27	A	126	+		
		B	127		+	+
ΑΣΣ	SCC-28	A	128	+		
		B	129		+	+
ΣΣ	NC-11	A	130	+		
		B	131		+	+
ΣΣ	NC-12	A	132	+		
		B	133		+	+
ΑΣΣ	SCC-29	A	134	+		
		B	135		+	+
ΑΣΣ	SCC-31	A	137	+		
		B	138		+	+

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν στο πειραματικό μέρος ήταν τα εξής:

- Κατάρτιση των κοκκομετρικών καμπύλων των αδρανών και των συνθέσεων (μέσω του κοσκινίσματος ξηρών ποσοτήτων).
- Συλλογή αδρανών, αποθήκευση τους σε πλαστικές σακούλες και μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας τους.
- Συλλογή και αποθήκευση των απαραίτητων για τη σκυροδέτηση ποσοτήτων σε λεπτόκοκκα υλικά (φίλλερ, τσιμέντο).
- Προετοιμασία (καθαρισμός, επάλειψη με ορυκτέλαιο) των απαραίτητων ξυλοτύπων προς σκυροδέτηση (3 κυβικά δοκίμια, 1 δοκίμιο υποστρώματος και 1 δοκίμιο δοκού για κάθε σύνθεση). Τοποθέτηση των απαραίτητων οπλισμών, οι οποίοι θα υποβληθούν στους ελέγχους συνάφειας.
- Κατά την ημέρα της σκυροδέτησης, ζυγίζεται και φυλάσσεται η απαραίτητη ποσότητα υπερρευστοποιητή. Ακολουθεί η ομογενοποίηση των υλικών στον αναμκτήρα του εργαστηρίου, η διενέργεια των ελέγχων νωπού σκυροδέματος και η πλήρωση των καλουπιών.
- Μετά από 28 ημέρες (συνήθως) από τη διαδικασία της σκυροδέτησης, πραγματοποιούνται οι έλεγχοι συνάφειας των δοκιμίων με δοκιμές εξόλκευσης και ο προσδιορισμός της αντοχής σε θλίψη κάθε σύνθεσης.
- Επεξεργασία των δεδομένων που προκύπτουν, αξιολόγηση της επιρροής της διαφοροποίησης των λόγων  $w/c$  και  $SP/c$  στη συνάφεια των δοκιμίων και σύγκριση των αποτελεσμάτων για τα μίγματα ΑΣΣ και ΣΣ.



Εικόνα 2.1 Σκαρίφημα δοκιμίου δοκού.



Εικόνα 2.2 Σκαρίφημα κυβικού δοκιμίου και δοκιμίου υποστυλώματος.

Συνολικά σκυροδετήθηκαν και υποβλήθηκαν σε ελέγχους συνάφειας (με δοκιμές εξόλκευσης) 7 δοκίμια δοκού, 7 δοκίμια υποστυλώματος και 21 κυβικά δοκίμια (Πίνακας 2.1).

## 2.2. Συνθέσεις και έλεγχοι σκυροδέματος

### 2.2.1. Κοκκομετρικές Καμπύλες Αδρανών

Το πρώτο βήμα για την παραγωγή των μιγμάτων είναι η διαδικασία του κόσκινισματος (Εικόνα 2.3) των αδρανών υλικών (σε ξηρές ποσότητες) και η κατάρτιση των κοκκομετρικών καμπύλων. Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών (η οποία πρέπει να καλύπτει όλη την περιοχή του υλικού) καθορίζει την ποιότητα του σκυροδέματος (αντοχή, ομοιογένεια), οπότε και η αξιολόγηση των τελικών συνθέσεων πρέπει να γίνεται βάσει των κοκκομετρικών καμπύλων που προτείνονται από τον **Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος 97** (στην παρούσα διπλωματική για μέγιστο κόκκο αδρανούς 16mm).

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες από τις προδιαγραφές για τα αδρανή που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή σκυροδέματος, σύμφωνα με τον **Κ.Τ.Σ. 97 (Άρθρο 4)**:

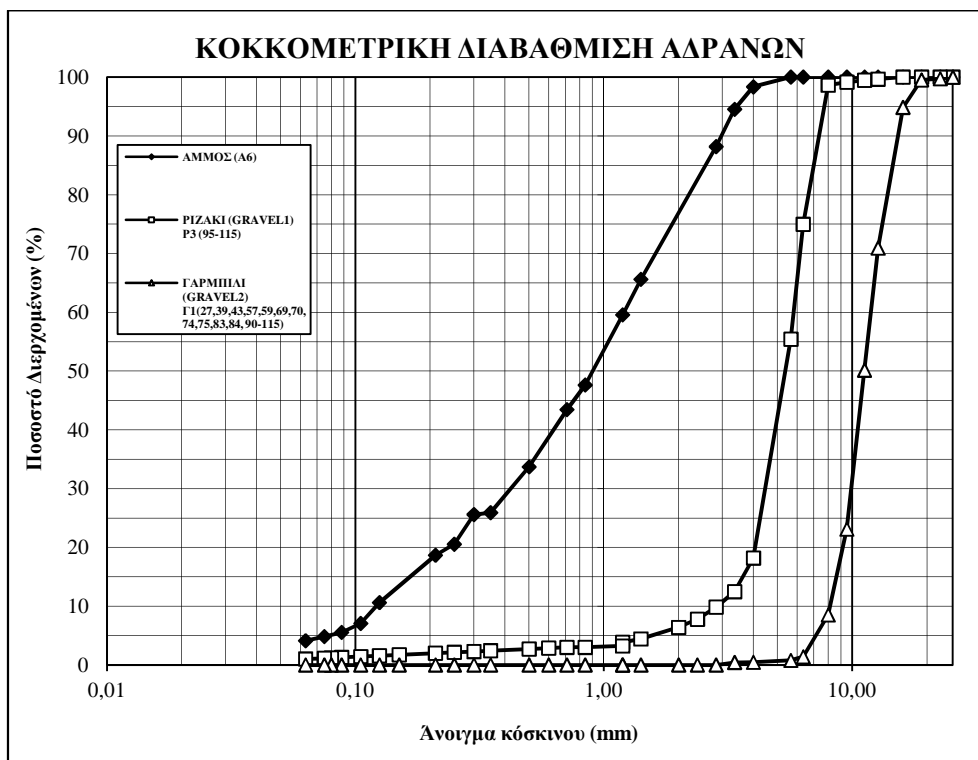
- **Άμμος:** ορίζεται το υλικό που διέρχεται σε ποσοστό 100% από το κόσκινο ο 8 ή το 3/8'' και σε ποσοστό τουλάχιστον 95% από το κόσκινο ο 4 ή Νο4 .

- Το ποσοστό της άμμου που διέρχεται από το κόσκινο ο 0.25 δεν πρέπει να υπερβαίνει το 24% του ξηρού βάρους της άμμου για σκυρόδεμα κατηγορίας μεγαλύτερης ή ίσης της C25/30, το 30% για μικρότερης κατηγορίας από C25/30 και το 37% για άοπλο σκυρόδεμα χωρίς ειδικές απαιτήσεις (στεγανό σκυρόδεμα, ανθεκτικό σκυρόδεμα, σκυρόδεμα δαπέδων κλπ.).
- Στο επόμενο κλάσμα μετά την άμμο δεν επιτρέπεται να υπάρχει υλικό διερχόμενο από το κόσκινο ο 2 ή Νο8 σε ποσοστό μεγαλύτερο από 25%, όπως επίσης και υλικό διερχόμενο από το κόσκινο ο 1 ή Νο16 σε ποσοστό μεγαλύτερο από 2%.
- **Παιπάλη:** ορίζεται το λεπτόκοκκο υλικό που διέρχεται από το Αμερικανικό πρότυπο Νο200 δηλαδή 75μm. Η παιπάλη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% του ξηρού βάρους της άμμου και το 1% των άλλων κλασμάτων (γαρμπιλιού, σκύρων, κλπ. ).
- Η καμπύλη της κοκκομετρικής διαβάθμισης του μίγματος των αδρανών που θα χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή οπλισμένου σκυροδέματος, πρέπει να βρίσκεται στην **υποζώνη Δ** του αντίστοιχου διαγράμματος ανάλογα με το μέγιστο κόκκο αδρανούς που χρησιμοποιείται.

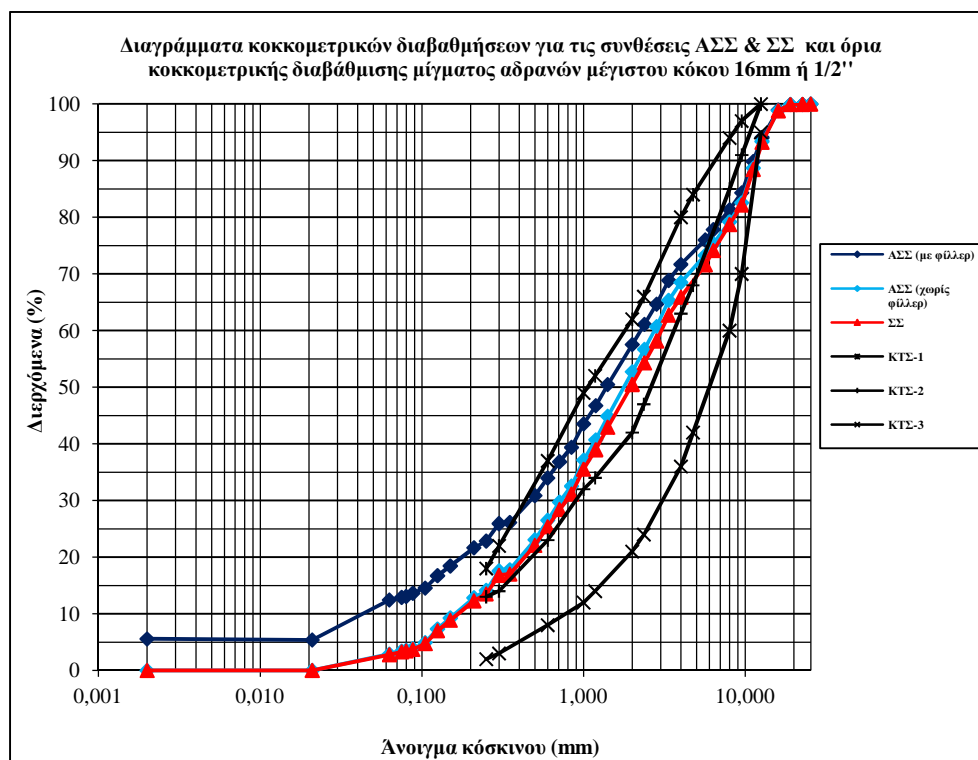


**Εικόνα 2.3** Μηχανή κοσκινίσματος και κόσκινα Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π.

Ακολουθούν τα διαγράμματα των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των αδρανών υλικών (**Διάγραμμα 2.1**) καθώς και των συνθέσεων (**Διάγραμμα 2.2**) ΑΣΣ και ΣΣ που παρήχθησαν στο εργαστήριο προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στη διεξαγωγή των πειραμάτων της παρούσας εργασίας.



Διάγραμμα 2.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών.



Διάγραμμα 2.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση συνθέσεων.

### 2.2.2. Συλλογή αδρανών – Υπολογισμός Υγρασίας

Ακολουθεί η συλλογή (της απαραίτητης για τη σκυροδέτηση ποσότητας) των αδρανών υλικών και στη συνέχεια η ομογενοποίηση τους σε αναμκτήρα, χωριστά για κάθε κλάσμα, με σκοπό την ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας στη μάζα του αδρανούς. Σε διάφορες φάσεις της ομογενοποίησης, συγκρατείται (με συνήθη δειγματοληψία) ικανή ποσότητα από το εκάστοτε κλάσμα, που θα χρησιμεύσει στη μέτρηση του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας του αδρανούς.

Ο προσδιορισμός της κατά βάρος περιεχόμενης υγρασίας υπολογίζεται με τη ξήρανση του δείγματος σε κλίβανο για 18-24 ώρες στους 150°C. Αν  $W_0$  είναι το καθαρό βάρος πριν τη ξήρανση και  $W$  το καθαρό βάρος μετά, τότε η περιεχόμενη υγρασία κατά βάρος είναι ίση με  $(W_0 - W)/W_0$  (%). Η ξήρανση του δείγματος αδρανών στον κλίβανο, έχει ως συνέπεια την ολική απώλεια της περιεχόμενης υγρασίας (που οφείλεται στο χώρο και τον τρόπο αποθήκευσής τους), είτε υπάρχει ως εξωτερική επιφανειακή υγρασία, είτε υπάρχει στο εσωτερικό των κόκκων. Το νερό που εμπεριέχεται στα αδρανή αφαιρείται από το νερό της αρχικής σύνθεσης και οι ποσότητες των αδρανών τροποποιούνται σύμφωνα με την υγρασία.

Μετά την ομογενοποίηση τα αδρανή ζυγίζονται σε ηλεκτρονική ζυγαριά μέγιστης ικανότητας 60kg και ακριβείας 2gr και αποθηκεύονται σε πλαστικές σακούλες, οι οποίες σφραγίζονται με σκοπό τη διατήρηση σταθερής υγρασίας.

Κατά την ημέρα της σκυροδέτησης ζυγίζεται το τσιμέντο και αποθηκεύεται προσωρινά σε πλαστικές σακούλες. Το ίδιο συμβαίνει και με τα φυσικά πρόσθετα (φίλλερ), ενώ τα χημικά πρόσθετα (υπερρευστοποιητής) ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας 0.01gr και τοποθετούνται σε πλαστικές φιάλες. Τελευταία, συλλέγεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού η οποία ζυγίζεται και φυλάσσεται έως τη στιγμή που θα χρησιμοποιηθεί στη σκυροδέτηση.

### 2.2.3. Παρασκευή μιγμάτων

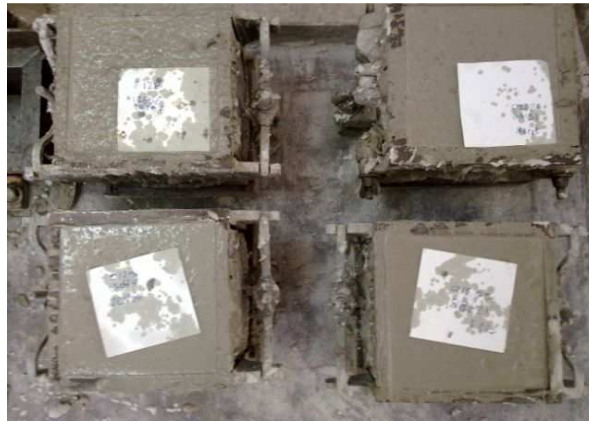
Η διαδικασία της σκυροδέτησης ξεκινά με την προσθήκη των αδρανών υλικών στον αναμκτήρα (ο αναμκτήρας πρέπει να είναι καθαρός και υγρός, όχι όμως να περιέχει ελεύθερο νερό) και με την ομογενοποίηση αυτών. Στη συνέχεια, με τον αναμκτήρα σταματημένο, τοποθετούνται τα λεπτόκοκκα υλικά (φίλλερ, τσιμέντο) και ξεκινά πάλι η ανάμιξη έως ότου ομογενοποιηθεί εκ νέου το μίγμα. Τέλος, και ενώ ο αναμκτήρας βρίσκεται σε λειτουργία, τοποθετείται η απαραίτητη ποσότητα νερού και υπερρευστοποιητή. Η ώρα προσθήκης νερού καταγράφεται ως χαρακτηριστικό της σκυροδέτησης. Μετά από ικανό χρόνο ανάμιξης, ώστε το μίγμα να ομογενοποιηθεί πλήρως, διεξάγονται οι έλεγχοι νωπού σκυροδέματος όπως έχει ήδη περιγραφεί. Παρακάτω συνοψίζουμε τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των μιγμάτων:

- **Αδρανή**  
Άμμος (s) (0-4mm), ριζάκι (g<sub>1</sub>) (4-8mm) και γαρμπίλι (g<sub>2</sub>) (8-16mm).
- **Τσιμέντο**  
Τσιμέντο (c) τύπου Πόρτλαντ CEMII/A-L 42,5 N κατηγορίας αντοχής 42,5MPa.
- **Φίλλερ**  
Μάρμαρα Διονύσου NOVOCARB 20: Ανθρακικό ασβέστιο (Ip20).
- **Υπερρευστοποιητής**  
BASF GLENIUM C347 (C347)

### 2.2.4. Βάρος νωπού σκυροδέματος

Για την εύρεση του βάρους του νωπού σκυροδέματος, χρησιμοποιούνται άδειες κυβικές μήτρες που έχουν αριθμηθεί και ζυγιστεί σε ζυγό ακριβείας 2gr (απόβαρο). Οι μήτρες πριν χρησιμοποιηθούν πρέπει να έχουν καθαρισθεί από υπολείμματα και να έχουν λαδωθεί ελαφρά με ορυκτέλαιο, έτσι ώστε να διευκολύνεται η αποκόλληση του σκληρυμένου κύβου σκυροδέματος. Στη συνέχεια, μετά την προσεκτική πλήρωσή τους με σκυρόδεμα (ώστε να μην έχουν υπολείμματα σκυροδέματος στην εξωτερική τους πλευρά), ζυγίζονται και πάλι (μικτό βάρος) και υπολογίζεται το βάρος του νωπού σκυροδέματος (καθαρό βάρος) για δεδομένο όγκο. Επισημαίνεται ότι ο όγκος κυβικής μήτρας πλευράς 15cm είναι ίσος με  $(0,15m)^3=0,003375m^3$ , και συνεπώς μπορούμε να ανάγουμε το μετρούμενο βάρος σε όγκο ενός κυβικού μέτρου ( $1m^3$ ). Όταν διαθέτουμε περισσότερες μήτρες, λαμβάνεται ο μέσος όρος των βαρών που υπολογίζονται.

Το πραγματικό ειδικό βάρος του νωπού σκυροδέματος διαφέρει από το θεωρητικώς υπολογιζόμενο, γεγονός που οφείλεται στο ότι οι αρχικές ποσότητες των συστατικών ( $kg/m^3$ ) που επιλέγονται για την παρασκευή του μίγματος δεν αποτελούν τις σωστές ποσότητες που απαιτούνται για την παρασκευή ακριβώς ενός κυβικού μέτρου σκυροδέματος. Για το λόγο αυτό, απαιτείται να γίνει διόρθωση των αρχικών ποσοτήτων με βάση τα νέα δεδομένα. Με βάση τους συντελεστές διόρθωσης που προκύπτουν από τις θεωρητικές τιμές διηρημένες με τους μέσους όρους των βαρών όπως εξηγήθηκαν παραπάνω, μπορούμε να καταλήξουμε σε έναν ενιαίο διορθωτικό συντελεστή για κάθε σύνθεση.



Εικόνα 2.4 Πλήρεις μήτρες διαστάσεων 15×15×15cm.

Πίνακας 2.2 Υπόδειγμα υπολογισμού διορθωτικού συντελεστή για τη σύνθεση Σ124.

ΜΗΤΡΕΣ	ΑΠΟΒΑΡΟ (gr)	ΜΕΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ (gr)	ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ (gr)	Μ.Ο. ΚΑΘΑΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ (gr)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ( $kg/m^3$ )	ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ( $kg/m^3$ )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΙΩΓΗΣ
Σ124	13236	20854	20854-13236 =7618	$(7618+7566)/2$ =7592	$7592/(0,15^3)$ =2249,48	Από Πίνακες 2.4 & 2.5 και τη γραμμή $w_{tal}$ : 2274,63	$2249,48 / 2274,63$ = 0,989
	13274	20840	20840-13274 =7566				

**Πίνακας 2.3** Διορθωτικοί συντελεστές που προκύπτουν από τη σύγκριση του εκτιμώμενου ειδικού βάρους του σκυροδέματος και του ειδικού βάρους του νεπού σκυροδέματος.

ΜΗΤΡΕΣ	ΑΠΟΒΑΡΟ (gr)	ΜΕΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ (gr)	ΝΩΠΟ ΜΕΙΓΜΑ			ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (kg/m <sup>3</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ
			ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ (gr)	Μ.Ο. ΚΑΘΑΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ (gr)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kg/m <sup>3</sup> )		
Σ124	13236	20854	7618	7592	2249,48	2274,63	<b>0,989</b>
	13274	20840	7566				
Σ125	13344	21234	7890	7845	2324,44	2274,63	<b>1,022</b>
	15514	23314	7800				
Σ126	13692	21476	7784	7788	2307,56	2258,93	<b>1,022</b>
	13278	21070	7792				
Σ127	13378	20394	7016	7100	2103,7	2258,92	<b>0,931</b>
	13290	20474	7184				
Σ128	12836	20282	7446	7211	2136,59	2288,82	<b>0,933</b>
	15144	22120	6976				
Σ129	12786	20310	7524	7487	2218,37	2288,82	<b>0,969</b>
	13044	20494	7450				
Σ130	13238	21060	7822	7820	2317,04	2244,97	<b>1,032</b>
	13524	21342	7818				
Σ131	13126	20892	7766	7758	2298,67	2245,00	<b>1,024</b>
	13178	20928	7750				
Σ132	13296	21096	7800	7812	2314,67	2.246,00	<b>1,03</b>
	13396	21220	7824				
Σ133	13298	21068	7770	7779	2304,89	2.246,00	<b>1,026</b>
	13716	21504	7788				
Σ134	13716	21792	8076	8055	2386,67	2244,18	<b>1,064</b>
	13396	21430	8034				
Σ135	13292	21238	7946	7805	2312,59	2244,18	<b>1,03</b>
	13294	20958	7664				
Σ137	13326	21196	7870	7966	2360,3	2305,67	<b>1,023</b>
	13632	21694	8062				
Σ138	13338	21342	8004	7991	2367,7	2305,67	<b>1,027</b>
	13746	21724	7978				



**Πίνακας 2.4** Σχεδιασμός Συνθέσεων (στόχος για 1m<sup>3</sup>): Συστατικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΑΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (**SCC-26** έως **SCC-29** και **SCC-31**).

<i>ΤΥΠΟΣ</i>	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC
<i>a/a</i>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>31</b>
<b>ΣΥΝΘΕΣΗ</b>	Σ124	Σ125	Σ126	Σ127	Σ128	Σ129	Σ134	Σ135	Σ137	Σ138
<b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ</b>	5/4/2011	5/4/2011	12/4/2011	12/4/2011	3/5/2011	3/5/2011	24/5/2011	24/5/2011	30/5/2011	30/5/2011
<b>ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	95 lt	70 lt	87 lt	70 lt	87 lt	87 lt	87 lt	87 lt	87 lt	87 lt
<i>c<sub>1</sub> 42,5</i>	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
<i>c<sub>2</sub> 32,5</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>c<sub>3</sub> 22,5</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>τύπος lp</i>	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20
<i>lp</i>	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
<i>s 0/4</i>	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
<i>g<sub>1</sub> 4/8</i>	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<i>g<sub>2</sub> 8/16</i>	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
<i>g<sub>3</sub> 16/32</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>w</i>	192,69	192,68	175,00	174,99	210,00	210,00	157,52	157,52	227,51	227,51
<b>ΤΥΠΟΣ SP</b>	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347
<b>SP</b>	6,94	6,95	8,93	8,93	3,82	3,82	11,66	11,66	3,16	3,16
<i>w<sub>tot</sub></i>	2274,63	2274,63	2258,93	2258,92	2288,82	2288,82	2244,18	2244,18	2305,67	2305,67
<i>w/c</i>	0,55	0,55	0,50	0,50	0,60	0,60	0,45	0,45	0,65	0,65
<i>w/b</i>	0,55	0,55	0,50	0,50	0,60	0,60	0,45	0,45	0,65	0,65
<i>w/f</i>	0,37	0,37	0,33	0,33	0,40	0,40	0,30	0,30	0,43	0,43
<i>SP/c</i>	1,98%	1,99%	2,55%	2,55%	1,09%	1,09%	3,33%	3,33%	0,90%	0,90%
<i>g/w<sub>tot</sub></i>	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
<i>p/w<sub>tot</sub></i>	0,32	0,32	0,31	0,31	0,32	0,32	0,31	0,31	0,33	0,33
<i>m/w<sub>tot</sub></i>	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
<i>f<sub>cc</sub></i>	63,16	58,67	66,09	54,11	49,27	49,67	60,09	51,73	43,2	42,82
<p><i>c</i>: τσιμέντο CEM II A/L 42.5N or 32.5N or 22.5, <i>lp</i>: ανθρακικό ασβέστιο (<i>lp</i>80: καθαρότητα 96,5% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 80μm, 5% &lt; 2μm, <i>lp</i>20: καθαρότητα 97,6% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 18μm, 15% &lt; 2μm), <i>s</i>: άμμος 0/4, <i>g</i>1: ριζάκι 4/8, <i>g</i>2: γαρμπίλι 8/16, <i>g</i>3: σκύρα 16/32, <i>w</i>: νερό, <i>SP</i>: υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα ( C347: BASF Glenium C347), <i>f</i>: λεπτόκοκκα (<i>c</i>+<i>sf</i>+<i>lp</i>+λεπτόκοκκα αδρανών), <i>b</i>: συνδετικό υλικό (<i>c</i>+<i>sf</i>), <i>w</i><sub>tot</sub>: συνολικό βάρος μίγματος, <i>g</i>: συνολικά χονδρόκοκκα αδρανή, <i>p</i>: πάστα (<i>f</i>+χημικά πρόσθετα+νερό), <i>m</i>: κονίαμα (πάστα+άμμος), <i>f</i><sub>cc</sub>: θλιπτική αντοχή.</p>										

**Πίνακας 2.5** Σχεδιασμός Συνθέσεων (στόχος για 1m<sup>3</sup>): Συστατικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (NC-11, NC-12).

ΤΥΠΟΣ	NC	NC	NC	NC
<i>α/α</i>	11	11	12	12
<b>ΣΥΝΘΕΣΗ</b>	Σ130	Σ131	Σ132	Σ133
<b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ</b>	10/5/2011	10/5/2100	17/5/2011	17/5/2011
<b>ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	87 lt	87 lt	87 lt	87 lt
<i>c<sub>1</sub> 42.5</i>	400	400	400	400
<i>c<sub>2</sub> 32.5</i>	—	—	—	—
<i>c<sub>3</sub> 22.5</i>	—	—	—	—
<i>τύπος lp</i>	—	—	—	—
<i>lp</i>	—	—	—	—
<i>s 0/4</i>	1050	1050	1050	1050
<i>g<sub>1</sub> 4/8</i>	200	200	200	200
<i>g<sub>2</sub> 8/16</i>	375	375	375	375
<i>g<sub>3</sub> 16/32</i>	—	—	—	—
<i>w</i>	219,97	220,00	220,00	220,00
<b>ΤΥΠΟΣ SP</b>	—	—	C347	C347
<b>SP</b>	—	—	1,00	1,00
<i>w<sub>tot</sub></i>	2244,97	2245,00	2.246,00	2.246,00
<i>w/c</i>	0,55	0,55	0,55	0,55
<i>w/b</i>	0,55	0,55	0,55	0,55
<i>w/f</i>	0,55	0,55	0,55	0,55
<i>SP/c</i>	—	—	0,25%	0,25%
<i>g/wtot</i>	0,26	0,26	0,26	0,26
<i>p/wtot</i>	0,28	0,28	0,28	0,28
<i>m/wtot</i>	0,74	0,74	0,74	0,74
<i>f<sub>cc</sub></i>	50,16	49,29	45,76	42,22
<p><i>c</i>: τσιμέντο CEM II A/L 42.5N or 32.5N or 22.5, <i>lp</i>: ανθρακικό ασβέστιο (<i>lp</i>80: καθαρότητα 96,5% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 80μm, 5% &lt; 2μm, <i>lp</i>20: καθαρότητα 97,6% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 18μm, 15% &lt; 2μm), <i>s</i>: άμμος 0/4, <i>g</i><sub>1</sub>: ριζάκι 4/8, <i>g</i><sub>2</sub>: γαρμπίλι 8/16, <i>g</i><sub>3</sub>: σκύρα 16/32, <i>w</i>: νερό, <i>SP</i>: υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα ( C347: BASF Glenium C347), <i>f</i>: λεπτόκοκκα (<i>c</i>+<i>sf</i>+<i>lp</i>+λεπτόκοκκα αδρανών), <i>b</i>: συνδετικό υλικό (<i>c</i>+<i>sf</i>), <i>w</i><sub>tot</sub>: συνολικό βάρος μίγματος, <i>g</i>: συνολικά χονδρόκοκκα αδρανή, <i>p</i>: πάστα (<i>f</i>+χημικά πρόσθετα+νερό), <i>m</i>: κονίαμα (πάστα+άμμος), <i>f</i><sub>cc</sub>: θλιπτική αντοχή.</p>				

**Πίνακας 2.6** Διόρθωση Συνθέσεων (αναγωγή ποσοτήτων σε 1m<sup>3</sup>): Συστατικά (kg/m<sup>3</sup>), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΑΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (**SCC-26** έως **SCC-29** και **SCC-31**).

ΤΥΠΟΣ	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC
<i>a/a</i>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>31</b>
<b>ΣΥΝΘΕΣΗ</b>	Σ124	Σ125	Σ126	Σ127	Σ128	Σ129	Σ134	Σ135	Σ137	Σ138
<b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ</b>	5/4/2011	5/4/2011	12/4/2011	12/4/2011	3/5/2011	3/5/2011	24/5/2011	24/5/2011	30/5/2011	30/5/2011
<b>ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	95 lt	70 lt	87 lt	70 lt	87 lt	87 lt	87 lt	87 lt	87 lt	87 lt
<i>c<sub>1</sub> 42,5</i>	346,13	357,67	357,53	325,95	326,72	339,23	372,22	360,67	358,29	359,42
<i>c<sub>2</sub> 32,5</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>c<sub>3</sub> 22,5</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>τύπος lp</i>	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20
<i>lp</i>	173,07	178,83	178,77	162,98	163,36	169,61	186,11	180,33	179,15	179,71
<i>s 0/4</i>	1038,39	1073,00	1072,6	977,85	980,17	1017,68	1116,67	1082,01	1074,88	1078,25
<i>g<sub>1</sub> 4/8</i>	148,34	153,29	153,23	139,69	140,02	145,38	159,52	154,57	153,55	154,04
<i>g<sub>2</sub> 8/16</i>	346,13	357,67	357,53	325,95	326,72	339,23	372,22	360,67	358,29	359,42
<i>g<sub>3</sub> 16/32</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>w</i>	190,56	196,90	178,77	162,97	196,03	203,54	167,52	162,32	232,90	233,63
<b>ΤΥΠΟΣ SP</b>	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347
<b>SP</b>	6,86	7,10	9,12	8,32	3,57	3,70	12,40	12,02	3,23	3,25
<i>w<sub>tot</sub></i>	2249,48	2324,44	2307,56	2103,70	2136,59	2218,37	2386,67	2312,59	2360,30	2367,70
<i>w/c</i>	0,55	0,55	0,50	0,50	0,60	0,60	0,45	0,45	0,65	0,65
<i>w/b</i>	0,55	0,55	0,50	0,50	0,60	0,60	0,45	0,45	0,65	0,65
<i>w/f</i>	0,37	0,37	0,33	0,33	0,40	0,40	0,30	0,30	0,43	0,43
<i>SP/c</i>	1,98%	1,99%	2,55%	2,55%	1,09%	1,09%	3,33%	3,33%	0,90%	0,90%
<i>g/wtot</i>	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
<i>p/wtot</i>	0,32	0,32	0,31	0,31	0,32	0,32	0,31	0,31	0,33	0,33
<i>m/wtot</i>	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
<i>f<sub>cc</sub></i>	63,16	58,67	66,09	54,11	49,27	49,67	60,09	51,73	43,20	42,82
<p><i>c</i>: τιμέντο CEM II A/L 42.5N or 32.5N or 22.5, <i>lp</i>: ανθρακικό ασβέστιο (lp80: καθαρότητα 96,5% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 80μm, 5% &lt; 2μm, lp20: καθαρότητα 97,6% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 18μm, 15% &lt; 2μm), <i>s</i>: άμμος 0/4, <i>g1</i>: ριζάκι 4/8, <i>g2</i>: γαρμπίλι 8/16, <i>g3</i>: σκύρα 16/32, <i>w</i>: νερό, <i>SP</i>: υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα (C347: BASF Glenium C347), <i>f</i>: λεπτόκοκκα (c+sf+lp+λεπτόκοκκα αδρανών), <i>b</i>: συνδετικό υλικό (c+sf), <i>wtot</i>: συνολικό βάρος μίγματος (ανά m3), <i>g</i>: συνολικά χονδρόκοκκα αδρανή (ανά m3), <i>p</i>: πάστα (f+χημικά πρόσθετα+νερό) (ανά m3), <i>m</i>: κονίαμα (πάστα+άμμος) (ανά m3), <i>f<sub>cc</sub></i>: θλιπτική αντοχή.</p>										

**Πίνακας 2.7** Διόρθωση Συνθέσεων (αναγωγή ποσοτήτων σε 1m<sup>3</sup>): Συστατικά (kg/m<sup>3</sup>), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (NC-11, NC-12).

ΤΥΠΟΣ	NC	NC	NC	NC
<i>a/a</i>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
<b>ΣΥΝΘΕΣΗ</b>	Σ130	Σ131	Σ132	Σ133
<b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ</b>	10/5/2011	10/5/2100	17/5/2011	17/5/2011
<b>ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	87 lt	87 lt	87 lt	87 lt
<i>c<sub>1</sub> 42,5</i>	412,84	409,56	412,23	410,49
<i>c<sub>2</sub> 32,5</i>	—	—	—	—
<i>c<sub>3</sub> 22,5</i>	—	—	—	—
<i>τύπος lp</i>	—	—	—	—
<i>lp</i>	—	—	—	—
<i>s 0/4</i>	1083,71	1075,10	1082,10	1077,53
<i>g<sub>1</sub> 4/8</i>	206,42	204,78	206,11	205,24
<i>g<sub>2</sub> 8/16</i>	387,04	383,96	386,46	384,83
<i>g<sub>3</sub> 16/32</i>	—	—	—	—
<i>w</i>	227,03	225,26	226,73	225,77
<b>ΤΥΠΟΣ SP</b>	—	—	C347	C347
<b>SP</b>	—	—	1,03	1,03
<i>w<sub>tot</sub></i>	2317,04	2298,67	2314,67	2304,89
<i>w/c</i>	0,55	0,55	0,55	0,55
<i>w/b</i>	0,55	0,55	0,55	0,55
<i>w/f</i>	0,55	0,55	0,55	0,55
<i>SP/c</i>	—	—	0,25%	0,25%
<i>g/wtot</i>	0,26	0,26	0,26	0,26
<i>p/wtot</i>	0,28	0,28	0,28	0,28
<i>m/wtot</i>	0,74	0,74	0,74	0,74
<i>f<sub>cc</sub></i>	50,16	49,29	45,76	42,22
<p><i>c</i>: τσιμέντο CEM II A/L 42.5N or 32.5N or 22.5, <i>lp</i>: ανθρακικό ασβέστιο (<i>lp</i>80: καθαρότητα 96,5% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 80μm, 5% &lt; 2μm, <i>lp</i>20: καθαρότητα 97,6% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 18μm, 15% &lt; 2μm), <i>s</i>: άμμος 0/4, <i>g</i>1: ριζάκι 4/8, <i>g</i>2: γαρμπίλι 8/16, <i>g</i>3: σκόρα 16/32, <i>w</i>: νερό, <i>SP</i>: υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα (C347: BASF Glenium C347), <i>f</i>: λεπτόκοκκα (<i>c</i>+<i>sf</i>+<i>lp</i>+λεπτόκοκκα αδρανών), <i>b</i>: συνδετικό υλικό (<i>c</i>+<i>sf</i>), <i>w</i>tot: συνολικό βάρος μίγματος (ανά m<sup>3</sup>), <i>g</i>: συνολικά χονδρόκοκκα αδρανή (ανά m<sup>3</sup>), <i>p</i>: πάστα (<i>f</i>+χημικά πρόσθετα+νερό) (ανά m<sup>3</sup>), <i>m</i>: κονίαμα (πάστα+άμμος) (ανά m<sup>3</sup>), <i>f</i>cc: θλιπτική αντοχή.</p>				

### 2.2.5. Υπολογισμός ωφέλιμου νερού

Σημειώνεται ότι οι συνθέσεις, όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω, αφορούν την παρτίδα αδρανών που ήταν διαθέσιμα στο Εργαστήριο και είχαν συγκεκριμένες απορροφητικότητες (Από την εταιρεία παραγωγής αδρανών διαθέτουμε την απορροφητικότητα των διαφόρων κλασμάτων των αδρανών (άμμος, ριζάκι, γαρμπίλι), βλ. **Παράρτημα Α**). Επίσης οι ποσότητες που αναφέρονται αφορούν ξηρά αδρανή (έχουν πραγματοποιηθεί κατάλληλες διορθώσεις, σύμφωνα με την παράγραφο §2.2.2. («Συλλογή αδρανών – Υπολογισμός υγρασίας»)).

Για να καταστεί δυνατή η επαναληψιμότητα των μιγμάτων με αδρανή διαφορετικής παρτίδας, οι ποσότητες των αδρανών θα πρέπει να αναφέρονται σε κατάσταση **SSD (Saturated Surface-Dry)**, κόκκοι κορεσμένοι με νερό). Επομένως, ένα μέρος του προστιθέμενου νερού θα καταναλωθεί αποκλειστικά από τα αδρανή για να περιέλθουν σε κατάσταση **SSD**. Η ποσότητα αυτή θα προστεθεί στις ξηρές ποσότητες των αδρανών, ενώ ταυτόχρονα θα αφαιρεθεί από την αναφερόμενη ποσότητα νερού. Η υπολειπόμενη ποσότητα νερού, η οποία ονομάζεται ωφέλιμο νερό, είναι η ποσότητα που θα χρησιμοποιηθεί προκειμένου να ενυδατωθεί το περιεχόμενο τσιμέντο. Ο ορθός λόγος νερού προς τσιμέντο (**w/c**) έχει υπολογιστεί με χρήση του ωφέλιμου νερού. Παρατίθεται ως υπόδειγμα ο υπολογισμός για τη σύνθεση Σ124 (SCC-26) των τελικών ποσοτήτων των αδρανών και του ωφέλιμου νερού.

**Πίνακας 2.8** Παράδειγμα υπολογισμού ωφέλιμου νερού για τη σύνθεση Σ124 (SCC-26).

Συστατικό	Ποσότητα (kg/m <sup>3</sup> ) (Πίνακες 2.6 - 2.7)	Απορροφητικότητα (%) (Παράρτημα Α)	Απαιτούμενο νερό (kg)	Τελική Ποσότητα (kg)
s 0/4	1038,39	1.0	1038,39x1.0%=10,38	1038,39+10,38=1048,78
g <sub>1</sub> 4/8	148,34	1.1	148,34x1.1%=1,63	148,34+1,63=149,97
g <sub>2</sub> 8/16	346,13	0.9	346,13x0.9%=3,12	346,13+3,12=349,25
lp20	173,07	10	173,07x10%=17,31	173,07+17,31=190,37
w	190,56		10,38+1,63+3,12+17,31=32,44	190,56-10,38-1,63-3,12-17,31=158,12
<b>Λόγος συνολικού νερού προς τσιμέντο: 190,56/346,13=0.55 →</b> <b>Λόγος ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο: 158,12/346,13=0.46</b>				

Ακολουθούν οι αναλυτικοί **Πίνακες 2.9** και **2.10** των συστατικών, των χαρακτηριστικών λόγων και των αντοχών των εργαστηριακών συνθέσεων ΑΣΣ και ΣΣ για την **SSD** κατάσταση αδρανών.

**Πίνακας 2.9** Συστατικά (kg/m<sup>3</sup>), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΑΣΣ (SSD κατάσταση αδρανών) (SCC-26 έως SCC-29 και SCC-31).

ΤΥΠΟΣ	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC
<i>a/a</i>	26	26	27	27	28	28	29	29	31	31
<b>ΣΥΝΘΕΣΗ</b>	Σ124	Σ125	Σ126	Σ127	Σ128	Σ129	Σ134	Σ135	Σ137	Σ138
<b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ</b>	5/4/2011	5/4/2011	12/4/2011	12/4/2011	3/5/2011	3/5/2011	24/5/2011	24/5/2011	30/5/2011	30/5/2011
<b>ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	95 lt	70 lt	87 lt	70 lt	87 lt	87 lt	87 lt	87 lt	87 lt	87 lt
<i>c<sub>2</sub> 42.5</i>	346,13	357,67	357,53	325,95	326,72	339,23	372,22	360,67	358,29	359,42
<i>c<sub>2</sub> 32.5</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>c<sub>3</sub> 22.5</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>τύπος lp</i>	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20	lp20
<i>lp</i>	190,37	196,72	196,64	179,27	179,70	186,57	204,72	198,37	197,06	197,68
<i>s 0/4</i>	1048,78	1083,72	1083,33	987,63	989,97	1027,86	1127,83	1092,83	1085,63	1089,03
<i>g<sub>1</sub> 4/8</i>	149,97	154,97	154,91	141,23	141,56	146,98	161,28	156,27	155,24	155,73
<i>g<sub>2</sub> 8/16</i>	349,25	360,88	360,75	328,88	329,66	342,28	375,57	363,92	361,52	362,65
<i>g<sub>3</sub> 16/32</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>w</i>	158,12	163,38	145,26	132,42	165,41	171,75	132,64	128,52	199,32	199,95
<b>ΤΥΠΟΣ SP</b>	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347
<b>SP</b>	6,86	7,10	9,12	8,32	3,57	3,70	12,40	12,02	3,23	3,25
<i>w<sub>tot</sub></i>	2249,48	2324,44	2307,56	2103,70	2136,59	2218,37	2386,67	2312,59	2360,30	2367,70
<i>w/c</i>	0,46	0,46	0,41	0,41	0,51	0,51	0,36	0,36	0,56	0,56
<i>w/b</i>	0,46	0,46	0,41	0,41	0,51	0,51	0,36	0,36	0,56	0,56
<i>w/f</i>	0,29	0,29	0,26	0,26	0,33	0,33	0,23	0,23	0,36	0,36
<i>SP/c</i>	1,98%	1,99%	2,55%	2,55%	1,09%	1,09%	3,33%	3,33%	0,90%	0,90%
<i>g/wtot</i>	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
<i>p/wtot</i>	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,30	0,30	0,32	0,32
<i>m/wtot</i>	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
<i>f<sub>cc</sub></i>	63,16	58,67	66,09	54,11	49,27	49,67	60,09	51,73	43,20	42,82
<p><i>c</i>: τσιμέντο CEM II A/L 42.5N or 32.5N or 22.5, <i>lp</i>: ανθρακικό ασβέστιο (<i>lp</i>80: καθαρότητα 96,5% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 80μm, 5% &lt; 2μm, <i>lp</i>20: καθαρότητα 97,6% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 18μm, 15% &lt; 2μm), <i>s</i>: άμμος 0/4, <i>g</i><sub>1</sub>: ριζάκι 4/8, <i>g</i><sub>2</sub>: γαρμπίλι 8/16, <i>g</i><sub>3</sub>: σκύρα 16/32, <i>w</i>: νερό, <i>SP</i>: υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα (C347: BASF Glenium C347), <i>f</i>: λεπτόκοκκα (c+sf+lp+λεπτόκοκκα αδρανών), <i>b</i>: συνδετικό υλικό (c+sf), <i>wtot</i>: συνολικό βάρος μίγματος (ανά m<sup>3</sup>), <i>g</i>: συνολικά χονδρόκοκκα αδρανή (ανά m<sup>3</sup>), <i>p</i>: πάστα (f+χημικά πρόσθετα+νερό) (ανά m<sup>3</sup>), <i>m</i>: κόνιαμα (πάστα+άμμος) (ανά m<sup>3</sup>), <i>f<sub>cc</sub></i>: θλιπτική αντοχή.</p>										

**Πίνακας 2.10** Συστατικά (kg/m<sup>3</sup>), χαρακτηριστικοί λόγοι (-) και αντοχές (MPa) εργαστηριακών συνθέσεων ΣΣ (SSD κατάσταση αδρανών) (NC-11, NC-12).

ΤΥΠΟΣ	NC	NC	NC	NC
<i>a/a</i>	11	11	12	12
ΣΥΝΘΕΣΗ	Σ130	Σ131	Σ132	Σ133
<b>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ</b>	10/5/2011	10/5/2100	17/5/2011	17/5/2011
<b>ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	87lt	87lt	87lt	87lt
<i>c</i> <sub>2</sub> 42.5	412,84	409,56	412,23	410,49
<i>c</i> <sub>2</sub> 32.5	—	—	—	—
<i>c</i> <sub>3</sub> 22.5	—	—	—	—
τύπος <i>lp</i>	—	—	—	—
<i>lp</i>	—	—	—	—
<i>s</i> 0/4	1094,54	1085,85	1092,92	1088,31
<i>g</i> <sub>1</sub> 4/8	208,69	207,03	208,38	207,46
<i>g</i> <sub>2</sub> 8/16	390,52	387,42	389,94	388,30
<i>g</i> <sub>3</sub> 16/32	—	—	—	—
<i>w</i>	210,44	208,78	210,16	209,27
ΤΥΠΟΣ <i>SP</i>	—	—	C347	C347
<i>SP</i>	—	—	1,03	1,03
<i>w</i> <sub>tot</sub>	2317,04	2298,67	2314,67	2304,89
<i>w/c</i>	0,51	0,51	0,51	0,51
<i>w/b</i>	0,51	0,51	0,51	0,51
<i>w/f</i>	0,51	0,51	0,51	0,51
<i>SP/c</i>	—	—	0,25%	0,25%
<i>g/wtot</i>	0,26	0,26	0,26	0,26
<i>p/wtot</i>	0,27	0,27	0,27	0,27
<i>m/wtot</i>	0,74	0,74	0,74	0,74
<i>f</i> <sub>cc</sub>	50,16	49,29	45,76	42,22
<p><i>c</i>: τσιμέντο CEM II A/L 42.5N or 32.5N or 22.5, <i>lp</i>: ανθρακικό ασβέστιο (<i>lp</i><sub>80</sub>: καθαρότητα 96,5% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 80μm, 5% &lt; 2μm, <i>lp</i><sub>20</sub>: καθαρότητα 97,6% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% &lt; 18μm, 15% &lt; 2μm), <i>s</i>: άμμος 0/4, <i>g</i><sub>1</sub>: ριζάκι 4/8, <i>g</i><sub>2</sub>: γαρμπίλι 8/16, <i>g</i><sub>3</sub>: σκόρα 16/32, <i>w</i>: νερό, <i>SP</i>: υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα (C347: BASF Glenium C347), <i>f</i>: λεπτόκοκκα (<i>c</i>+<i>sf</i>+<i>lp</i>+λεπτόκοκκα αδρανών), <i>b</i>: συνδετικό υλικό (<i>c</i>+<i>sf</i>), <i>w</i><sub>tot</sub>: συνολικό βάρος μίγματος (ανά m<sup>3</sup>), <i>g</i>: συνολικά χονδρόκοκκα αδρανή (ανά m<sup>3</sup>), <i>p</i>: πάστα (<i>f</i>+χημικά πρόσθετα+νερό) (ανά m<sup>3</sup>), <i>m</i>: κονίαμα (πάστα+άμμος) (ανά m<sup>3</sup>), <i>f</i><sub>cc</sub>: θλιπτική αντοχή.</p>				

### 2.2.6. Προετοιμασία και παρασκευή δοκιμίων

Τους ελέγχους του νωπού σκυροδέματος και την πλήρωση των μητρών ακολουθεί η σκυροδέτηση των δοκιμίων που θα χρησιμοποιηθούν στις δοκιμές εξόλκευσης. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας ελέγχθηκαν **3 κυβικά δοκίμια 20×20×20cm**, **ένα υποστύλωμα 20×20×60cm** και **μία δοκός 20×20×180cm** ανά σύνθεση.

Τα στάδια παρασκευής των δοκιμίων εξόλκευσης είναι τα εξής:

- **Προετοιμασία ξυλοτύπου:** Κάθε είδος ξυλοτύπου, αφού συναρμολογηθεί, καθαρίζεται και λαδώνεται επιμελώς στο εσωτερικό του.
- **Προετοιμασία οπλισμών:** Για κάθε κυβικό δοκίμιο απαιτείται 1, για κάθε υποστύλωμα 3 και για κάθε δοκό 9 εγκάρσιες ράβδοι διαμέτρου 16mm και μήκους περίπου 80cm. Σε όλα τα δοκίμια μόνο μικρό μήκος της ράβδου είναι σε επαφή με το σκυρόδεμα ( $l_b=5\cdot\varnothing$ ), ενώ το υπόλοιπο εμποδίζεται να αναπτύξει συνάφεια χρησιμοποιώντας πλαστικούς σωλήνες (συγκεκριμένα επιλέχθηκε κοινή πλαστική ηλεκτρολογική σωλήνα εξωτερικής διαμέτρου  $\varnothing 23$  και εσωτερικής  $\varnothing 21$ ). Το τμήμα σωλήνα πρέπει να έχει συγκεκριμένο μήκος (περίπου 16cm) και να είναι προσαρμοσμένο κατάλληλα στις οπές του ξυλοτύπου (12cm για τη μείωση του μήκους της συνάφειας, 2cm για το πάχος του ξυλοτύπου και 2cm από τον ξυλότυπο για να είναι δυνατή, εξωτερικά, η ακριβής τοποθέτηση τους σε αυτόν). Ακολουθεί η τοποθέτηση των εγκάρσιων ράβδων, έτσι ώστε να προεξέχουν 10cm από τη πλευρά του καλουπιού όπου είναι προσαρμοσμένοι οι σωλήνες και 50cm από την άλλη, ενώ στη συνέχεια σφραγίζεται το διάκενο μεταξύ σωλήνων-ράβδων οπλισμού, με πλαστελίνη, προκειμένου να μην εισχωρήσει κονίαμα εντός των σωλήνων (αυξάνοντας έτσι το μήκος συνάφειας).
- **Πλήρωση καλουπιών:** Η σκυροδέτηση των δοκιμίων δοκού από ΑΣΣ πραγματοποιείται απ' ευθείας από τη θυρίδα του αναμκτήρα, χωρίς οποιαδήποτε εξωτερική παρέμβαση που θα διευκόλυε τη ροή του μίγματος από το ένα άκρο του καλουπιού στο άλλο και χωρίς δόνηση. Τα κυβικά δοκίμια και τα υποστυλώματα πληρώνονται με τη βοήθεια σέσουλας (χωρίς επίσης δόνηση). Στα μίγματα ΣΣ η χύτευση των δοκών γίνεται σε διαφορετικές θέσεις και η συμπύκνωση με τη χρήση μηχανικού δονητή μάζας (με ιδιαίτερη όμως προσοχή προκειμένου να μην μετακινηθούν οι ράβδοι των οποίων η συνάφεια θα ελεγχθεί).
- **Ξεκαλούπωμα-Συντήρηση:** Τα δοκίμια ξεκαλουπώθηκαν 1 έως 2 ημέρες μετά τη σκυροδέτηση τους και συντηρήθηκαν σε συνθήκες περιβάλλοντος εργαστηρίου μέχρι τη διενέργεια των δοκιμών εξόλκευσης σε ηλικία 28 ή 29 ημερών.





**Εικόνα 2.5** Ευλότυπος δοκιμίου δοκού έτοιμος προς πλήρωση.



**Εικόνα 2.6** Δοκίμια υποστύλωσης και κυβικά δοκίμια λίγο μετά το ξεκαλούπωμα.



**Εικόνα 2.7** Δοκίμο δοκού λίγο μετά τη σκυροδέτηση.

### 2.2.7. Έλεγχος Νωπού & Σκληρυμένου Σκυροδέματος

Στην υποενότητα §1.1.4. έγινε η περιγραφή των ελέγχων του **νωπού** σκυροδέματος. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ελέγχων αυτών για κάθε σύνθεση που παράχθηκε στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας. Στις περισσότερες των περιπτώσεων ΑΣΣ, οι έλεγχοι νωπού σκυροδέματος έγιναν για το πρώτο ανάμιγμα της κάθε σύνθεσης. Για τη σύνθεση SCC-27 η δοκιμή εξάπλωσης πραγματοποιήθηκε και για τα δύο αναμίγματα (Σ126-Σ127), ενώ οι υπόλοιποι έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν για την Σ127. Στα συμβατικά μίγματα η δοκιμή κάθισης έγινε και στα δύο αναμίγματα.

Ο Πίνακας 2.11 περιλαμβάνει κάποια τυπικά εύρη τιμών των ελέγχων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος για καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων.

**Πίνακας 2.11** Τυπικά εύρη τιμών των δοκιμών αξιολόγησης χαρακτηριστικών εργασιμότητας & αυτοσυμπύκνωσης ΑΣΣ (Ι.Ο.Κ., ΠΕΤΕΠ 01-01-06-00).

ΔΟΚΙΜΗ	ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	Τυπικό εύρος τιμών	
			min	max
Εξάπλωση (SF)	Ικανότητα πλήρωσης	mm	<b>650</b>	<b>800</b>
Χρόνου εξάπλωσης (TF)	-	s	<b>8</b>	<b>15</b>
Χρόνου εξάπλωσης (T <sub>50</sub> )	Ικανότητα πλήρωσης	s	<b>2</b>	<b>5</b>
Χοάνης V (T <sub>V,A</sub> )	Ικανότητα πλήρωσης	s	<b>6</b>	<b>12</b>
Χοάνης V σε χρόνο 5 min (T <sub>V,B</sub> )	Αντίσταση σε απόμιξη	s	<b>0</b>	<b>3</b>
Δοχείο L (λ <sub>H,L</sub> )	Ικανότητα διέλευσης & πλήρωσης	-	<b>80%</b>	<b>100%</b>
Κάθιση (S)	-	mm	<b>260</b>	-

Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα των ελέγχων νωπού σκυροδέματος στους Πίνακες 2.12 και 2.13.

**Πίνακας 2.12** Αποτελέσματα Ειδικών Ρεολογικών Ελέγχων ΑΣΣ (SCC-26 έως SCC-029 και SCC-31) και κατάταξη σύμφωνα με τις οδηγίες της EFNARC (2005).

		<i>ΤΥΠΟΣ</i>	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC	SCC
		<i>a/a</i>	26	27	27	28	29	31
		<i>ΣΥΝΘΕΣΗ</i>	Σ124	Σ126	Σ127	Σ128	Σ134	Σ137
Slump-Flow	<i>S</i>	mm	270	265	270	270	290	280
	<i>SF</i>	mm	616	626	699	580	793	634
	<i>SFI</i>		SF1	SF1	SF2	SF1	SF3	SF1
	<i>T50</i>	s	1,98	2,80	2,54	0,55	0,75	0,83
	<i>TF</i>	s	17,35	22,97	26,18	11,49	11,51	4,54
	<i>VSI</i>		VS1	VS2	VS2	VS1	VS1	VS1
V-Funnel	<i>TV,A</i>	s	6,32	—	11,75	1,90	3,78	1,50
	<i>TV,B</i>	s	7,29	—	14,28	2,45	8,63	1,53
	<i>VFI</i>		VF1	—	VF2	VF1	VF1	VF1
L-Box	<i>H2</i>	mm	85	—	90	85	90	85
	<i>H1</i>	mm	95	—	95	95	90	95
	<i>λH,L</i>		0,895	—	0,947	0,895	1,000	0,895
	<i>PAI</i>		PA2	—	PA2	PA2	PA2	PA2
Stability	<i>FVSI</i>	0-4	0	0	0	0	1	0

**S:** κατηγορία ικανότητας ροής με βάση την κάθιση (S1: 0≤S≤40mm, S2: 50≤S≤90mm, S3: 100≤S≤150mm, S4: 160≤S≤200mm, S5: S>200mm), **SF:** ανεμπόδιστη εξάπλωση / κατηγορία ικανότητας ροής με βάση την εξάπλωση (SF1: 550≤SF≤650mm, SF2: 650<SF≤750mm, SF3: 750<SF≤850mm), **T50:** χρόνος ροής μέχρι τη διάμετρο 500mm, **TF:** χρόνος ροής μέχρι την αποκατάσταση ηρεμίας, **VS:** κατηγορία ιξώδους με βάση τον χρόνο ροής T50 (VS1: T50≤2s, VS2: T50>2s), **TV,A:** χρόνος εκροής από τη χοάνη, **TV,B:** χρόνος εκροής από τη χοάνη μετά από παραμονή υλικού σε κατάσταση ηρεμίας για 5min, **VF:** κατηγορία ιξώδους με βάση τον χρόνο εκροής από τη χοάνη V (VF1: TV,A≤8s, VF2: 8<TV,A≤25s), **λH,L:** λόγος υψών υλικού στα άκρα του οριζόντιου στελέχους του δοχείου L, **PA:** κατηγορία διειλευσιμότητας με βάση την ικανότητα διέλευσης από το δοχείο L (PA1: λH,L≤0,80, PA2: λH,L>0,80), **FVSI:** δείκτης οπτικής σταθερότητας νωπού σκυροδέματος (με βάση τον έλεγχο ανεμπόδιστης εξάπλωσης).

**Πίνακας 2.13** Αποτελέσματα Κάθισης ΣΣ (NC-11 και NC-12) και κατάταξη σύμφωνα με ΚΤΣ-97/ EN206-1.

		<i>ΤΥΠΟΣ</i>	NC	NC	NC	NC
		<i>a/a</i>	11	11	12	12
		<i>ΣΥΝΘΕΣΗ</i>	Σ130	Σ131	Σ132	Σ133
Slump	<i>S</i>	mm	30	30	185	185
	<i>S</i>		S1	S1	S4	S4

**S :** κατηγορία ικανότητας ροής με βάση την κάθιση (S1: 0≤S≤40mm, S2: 50≤S≤90mm, S3: 100≤S≤150mm, S4: 160≤S≤200mm, S5: S>200mm)

Στους ελέγχους **σκληρυμένου σκυροδέματος** περιλαμβάνεται ο προσδιορισμός της αντοχής σε θλίψη κάθε σύνθεσης. Τα δοκίμια ελέγχθηκαν με τη μηχανή θραύσης **Wykeham Farrance** του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος (**Εικόνα 2.8**), την ημέρα διενέργειας της Δοκιμής Εξόλκευσης και σε ηλικία 28 ημερών (εκτός των περιπτώσεων όπου αναφέρεται διαφορετικά). Η συσκευή αποτελείται από δύο επίπεδες χαλύβδινες άκαμπτες πλάκες φορτίσεως, εκ των οποίων η άνω πλάκα διαθέτει σφαιρική άρθρωση. Συγκεκριμένα για κάθε σύνθεση ελέγχθηκαν 2 κυβικά δοκίμια (150x150x150mm) σε θλίψη για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (αφού πρώτα τα δοκίμια είχαν ζυγιστεί σε ηλεκτρονικό ζυγό ακρίβειας 5gr). Σημειώνεται ότι απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την τοποθέτηση των δοκιμίων στη μηχανή θραύσης, έτσι ώστε να τοποθετούνται κεντρικά και συμμετρικά ως προς τις πλάκες φόρτισης. Απαγορεύεται από τον **Κ.Τ.Σ. 97** η τοποθέτηση του δοκιμίου με την κατασκευαστική του επιφάνεια (αυτή που ίσωσε το μυστρί) ανάμεσα στις πλάκες θλίψης. Το φορτίο θραύσης πρέπει να εφαρμόζεται χωρίς κρούση με τρόπο συνεχή και ομοιόμορφο, ενώ η ταχύτητα φορτίσεως σύμφωνα με τον κανονισμό, καθορίζεται στην τιμή 5kN/sec. Η θλιπτική αντοχή κάθε σύνθεσης προκύπτει ως ο μέσος όρος των αντίστοιχων αντοχών των 2 δοκιμίων. Οι τιμές αυτές αναγράφονται στον **Πίνακα 2.14** για τις συνθέσεις αυτοσυμπκνούμενου και τις συνθέσεις συμβατικού σκυροδέματος συνολικά.

Η αντοχή σε θλίψη δίνεται από τον τύπο:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad \text{σε MPa (N/mm}^2\text{), όπου:}$$

- $F$  : το μέγιστο καταγραφέν φορτίο κατά τη θραύση σε N (φορτίο θραύσης)
- $A_c$  : το εμβαδόν της επιφάνειας επί της οποίας δρα η δύναμη θλίψεως σε  $\text{mm}^2$



**Εικόνα 2.8** Μηχανή θραύσης Wykeham Farrance του Εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος του Ε.Μ.Π.

**Πίνακας 2.14** Ηλικία (ημέρες), βάρος (gr) και φορτίο θραύσης (kN) κυβικών δοκιμίων για όλες τις συνθέσεις. Θλιπτική αντοχή κυβικών δοκιμίων και μέση θλιπτική αντοχή συνθέσεων (MPa).

ΣΥΝΘΕΣΗ	Α/Α ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ	Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	ΗΛΙΚΙΑ	ΒΑΡΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	ΜΕΣΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ
SCC-26	Σ124	1	5/4/2011	4/5/2011	29	7500	1408	62,58	63,16
	Σ124	2	5/4/2011	4/5/2011	29	7542	1434	63,73	
	Σ125	1	5/4/2011	4/5/2011	29	7554	1316	58,49	58,67
	Σ125	2	5/4/2011	4/5/2011	29	7544	1324	58,84	
SCC-27	Σ126	1	12/4/2011	10/5/2011	28	7710	1504	66,84	66,09
	Σ126	2	12/4/2011	10/5/2011	28	7686	1470	65,33	
	Σ127	1	12/4/2011	10/5/2011	28	7482	1221	54,27	54,11
	Σ127	2	12/4/2011	10/5/2011	28	7474	1214	53,96	
SCC-28	Σ128	1	3/5/2011	31/5/2011	28	7544	1122	49,87	49,27
	Σ128	2	3/5/2011	31/5/2011	28	7606	1095	48,67	
	Σ129	1	3/5/2011	31/5/2011	28	7606	1125	50,00	49,67
	Σ129	2	3/5/2011	31/5/2011	28	7522	1110	49,33	
NC-11	Σ130	1	10/5/2011	7/6/2011	28	7716	1145	50,89	50,16
	Σ130	2	10/5/2011	7/6/2011	28	7776	1112	49,42	
	Σ131	1	10/5/2011	7/6/2011	28	7766	1105	49,11	49,29
	Σ131	2	10/5/2011	7/6/2011	28	7768	1113	49,47	
NC-12	Σ132	1	17/5/2011	14/6/2011	28	7584	1021	45,38	45,76
	Σ132	2	17/5/2011	14/6/2011	28	7610	1038	46,13	
	Σ133	1	17/5/2011	14/6/2011	28	7588	908	40,36	42,22
	Σ133	2	17/5/2011	14/6/2011	28	7590	992	44,09	
SCC-29	Σ134	1	24/5/2011	21/6/2011	28	7764	1518	67,47	60,09
	Σ134	2	24/5/2011	21/6/2011	28	7670	1186	52,71	
	Σ135	1	24/5/2011	21/6/2011	28	7704	1242	55,2	51,73
	Σ135	2	24/5/2011	21/6/2011	28	7308	1086	48,27	
SCC-31	Σ137	1	30/5/2011	30/6/2011	31	7536	959	42,62	43,2
	Σ137	2	30/5/2011	30/6/2011	31	7650	985	43,78	
	Σ138	1	30/5/2011	30/6/2011	31	7598	969	43,07	42,82
	Σ138	2	30/5/2011	30/6/2011	31	7578	958	42,58	

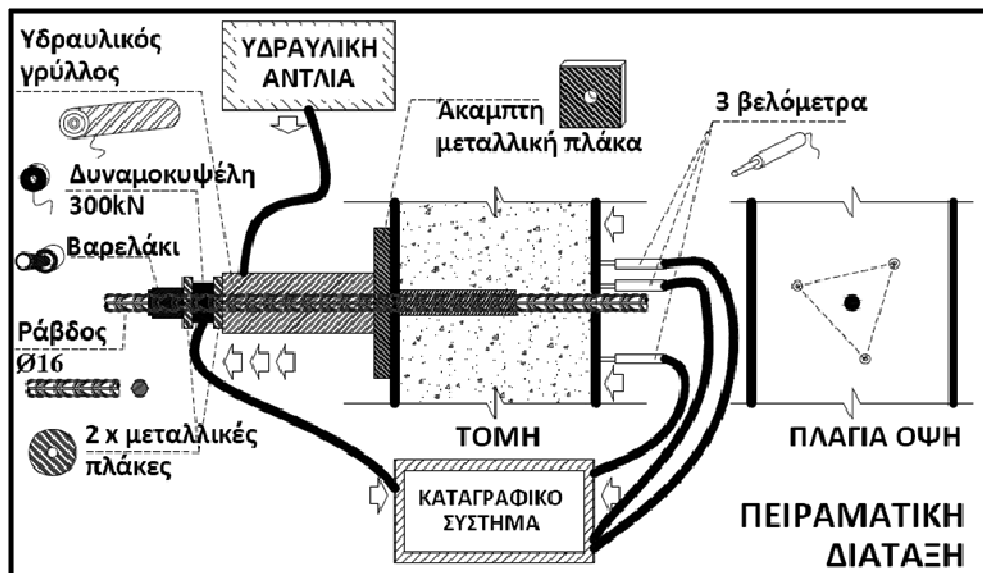
## 2.3. Πειραματικές διατάξεις και αποτελέσματα

### 2.3.1. Δοκιμή εξόλκευσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην παρούσα διπλωματική εργασία ελέγχθηκαν ανά σύνθεση τρία κυβικά δοκίμια 20×20×20cm οπλισμένα με μία ράβδο Ø16 (B500C), ένα υποστύλωμα 20×20×60cm οπλισμένο με τρεις ράβδους Ø16 και ένα δοκάρι 20×20×180cm οπλισμένο με εννιά ράβδους Ø16 κάθετες στη διεύθυνση σκυροδέτησης.

Σκοπός της διεξαγωγής των δοκιμών εξόλκευσης είναι ο προσδιορισμός της τάσης συνάφειας σκυροδέματος με το χάλυβα οπλισμού, και η μελέτη της επίδρασης της θέσης (τόσο καθ' ύψος όσο και κατά μήκος) των ράβδων στη συνάφεια.

Η πειραματική διάταξη της δοκιμής εξόλκευσης αποτελείται στη μία πλευρά του δοκιμίου από 3 ισαπέχοντα βελόμετρα μέγιστου βέλους 25mm, στερεωμένα σε αστερία, ώστε να καταγράφουν την σχετική ολίσθηση ράβδου-σκυροδέματος. Στην άλλη πλευρά της ράβδου, τοποθετήθηκε υδραυλικός γρύλλος εξόλκευσης, τροφοδοτούμενος από ηλεκτρική υδραυλική αντλία (ENERPACK). Επίσης, τοποθετήθηκε δυναμοκυψέλη (load cell) μέγιστης δύναμης 300kN. Τέλος, τοποθετήθηκαν μεταλλικές άκαμπτες πλάκες για την ομοιόμορφη κατανομή της πίεσης και τα απαραίτητα εξαρτήματα (βαρελάκι και σφήνες) για την εξόλκευση της ράβδου. Τα βελόμετρα και η δυναμοκυψέλη συνδέθηκαν με ηλεκτρονικό καταγραφικό (5 μετρήσεις/δευτερόλεπτο) που εξήγαγε τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε Η/Υ μέσω του λογισμικού StrainSmart. Κατά τη δοκιμή ασκήθηκε, μέσω του γρύλλου, προοδευτικά αυξανόμενη δύναμη, με ρυθμό αύξησης της τάξης του 1kN/sec έως ότου η συνάφεια αστοχήσει και η ράβδος απομακρυνθεί από το σκυροδέμα.



Εικόνα 2.9 Απεικόνιση πειραματικής διάταξης δοκιμής εξόλκευσης (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).

### 2.3.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα πρωτογενή δεδομένα που λήφθηκαν από τη δοκιμή της εξόλκευσης, συνίστανται σε τρεις ενδείξεις για την ολίσθηση και μία ένδειξη για το επιβαλλόμενο φορτίο για κάθε μέτρηση (πέντε μετρήσεις/δευτερόλεπτο).

Η τιμή ολίσθησης ( $s$ ) προέκυψε από το μέσο όρο των τριών βελομέτρων ενώ η τάση συνάφειας ( $\tau$ ), υπολογίστηκε μέσω της σχέσης:

$$\tau = F/\pi \cdot \Phi \cdot L$$

όπου:

- $F$  η επιβαλλόμενη δύναμη εξόλκευσης (προκύπτει ως το φορτίο της δυναμοκυψέλης, διορθωμένο κατά ένα συντελεστή ίσο με 0.896, βλ. **Παράρτημα Β**)
- $\Phi$  η ονομαστική διάμετρος της ράβδου (16mm) και
- $L$  το πραγματικό μήκος αγκύρωσης (ή αν αυτό δε μετρήθηκε, τότε λαμβάνεται η τιμή  $5 \cdot \Phi = 80\text{mm}$ )

Προκειμένου να μην υπεισέρχεται στην ανάλυσή μας η ποιότητα του σκυροδέματος υπολογίστηκαν οι ανηγμένες τάσεις συνάφειας στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος ( $\tau/f_{cc}$ ) και σχεδιάστηκαν οι αντίστοιχες καμπύλες συναρτήσεως της ολίσθησης. Για κάθε ράβδο καταγράφηκαν οι τάσεις συνάφειας που αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικές τιμές της ολίσθησης: 0.01mm, 0.10mm, 0.25mm και 1.00mm ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$  και  $\tau_{1.00}$  αντίστοιχα) καθώς και η μέγιστη τάση συνάφειας ( $\tau_{max}$ ) μαζί με την ολίσθηση που αντιστοιχεί σε αυτήν ( $s_{\tau_{max}}$ ). Για κάθε ράβδο υπολογίστηκε ακόμη η μέση τάση συνάφειας ( $\tau_m$ ) με ολοκλήρωση:

$$\tau_m = \int_0^{s_{\tau_{max}}} \tau ds / s_{\tau_{max}}$$

αλλά και η μέση τιμή τάσεων  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$  που χρησιμοποιείται ευρέως στην βιβλιογραφία.

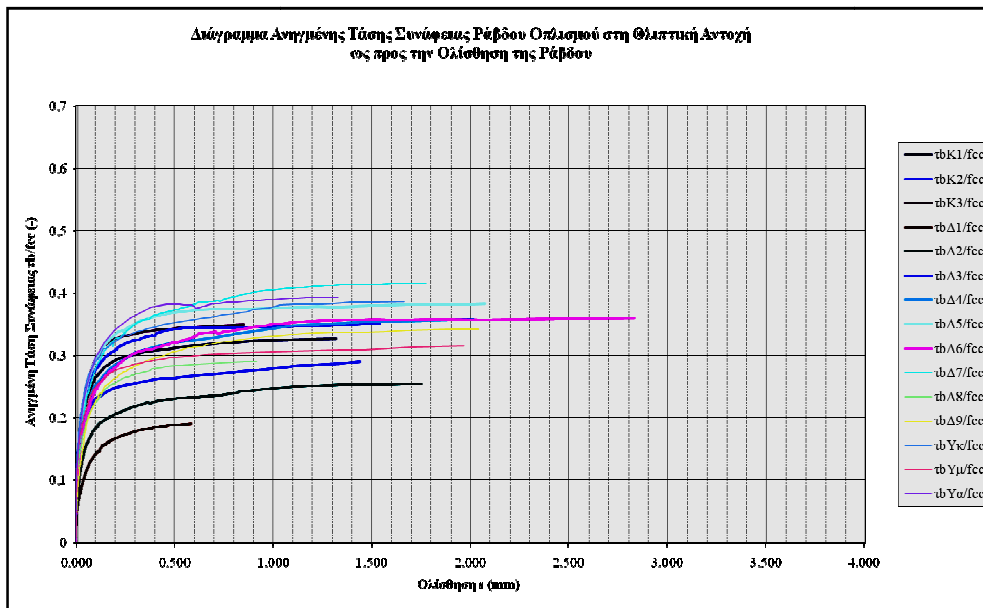
Στη παρούσα διπλωματική εργασία, προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, επιλέχτηκαν να χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια ελέγχου οι τάσεις  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$  και  $\tau_{max}$  που προέκυψαν από τη βιβλιογραφία (κανονισμοί, λοιπές αναφορές), σύμφωνα με τον **Πίνακα 2.15**.

**Πίνακας 2.15** Τάσεις συνάφειας που θα χρησιμοποιηθούν ως βασικά κριτήρια ελέγχου στη παρούσα διπλωματική εργασία.

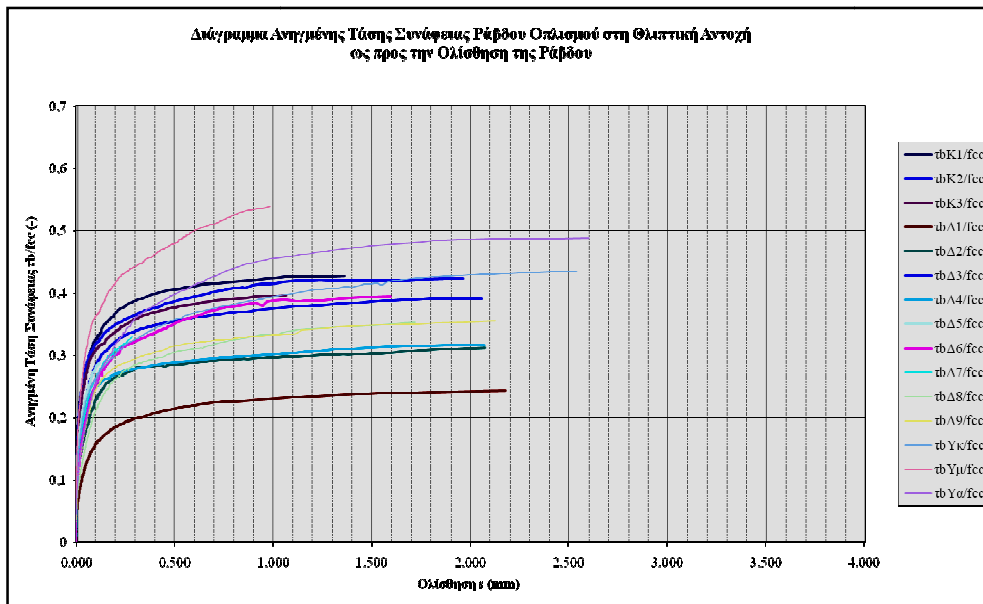
ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
$\tau_{max}$	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ	ACI 2008
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	Zhu et al. (2004)
		Valcuende & Parra (2009)
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ	Rilem-Fip-Ceb (1973)
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	Almeida Filho et al. (2007)
		Boel et al. (2010)
		Valcuende & Parra (2009)
$\tau_m$	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ	-
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	Trezos et al. (2010)



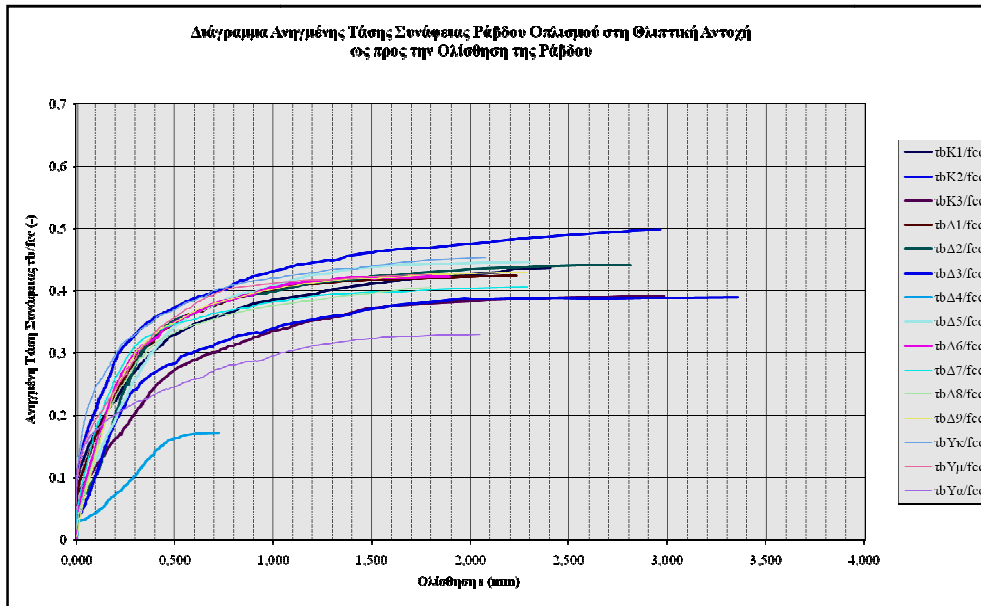
Ακολουθούν τα διαγράμματα (Διάγραμμα 2.3 έως 2.4) ανηγμένης τάσης συνάφειας στη θλιπτική αντοχή συναρτήσει της ολίσθησης για κάθε περίπτωση ράβδου και για όλες τις συνθέσεις.



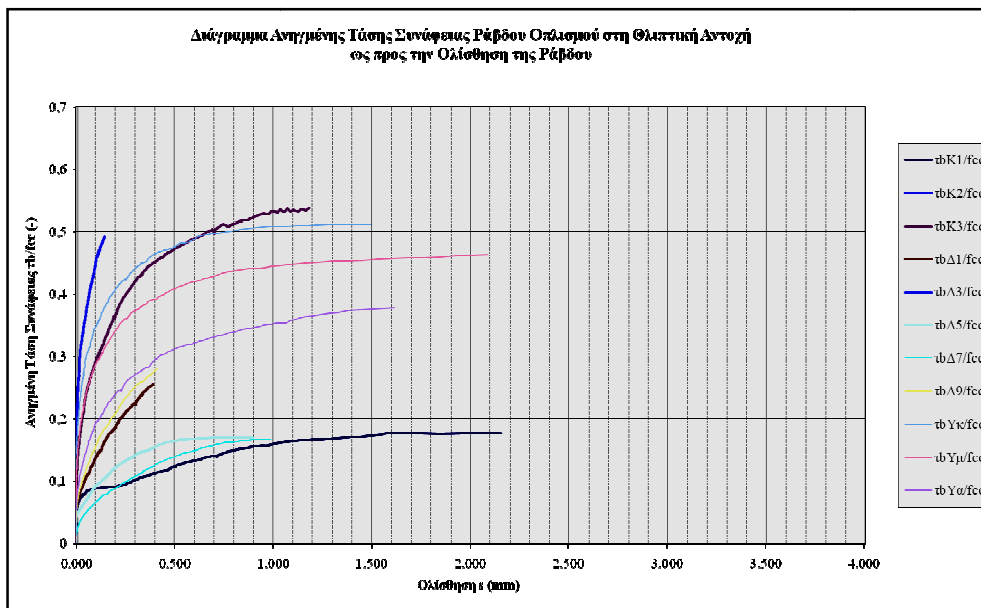
Διάγραμμα 2.3 Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, SCC-26 (Σ124, Σ125).



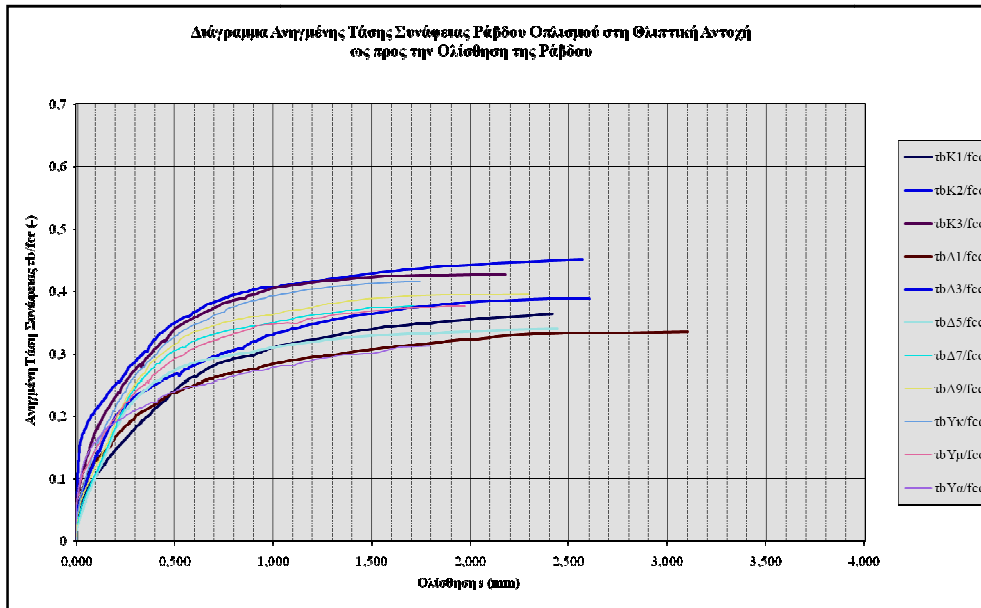
Διάγραμμα 2.4 Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, SCC-27 (Σ126, Σ127).



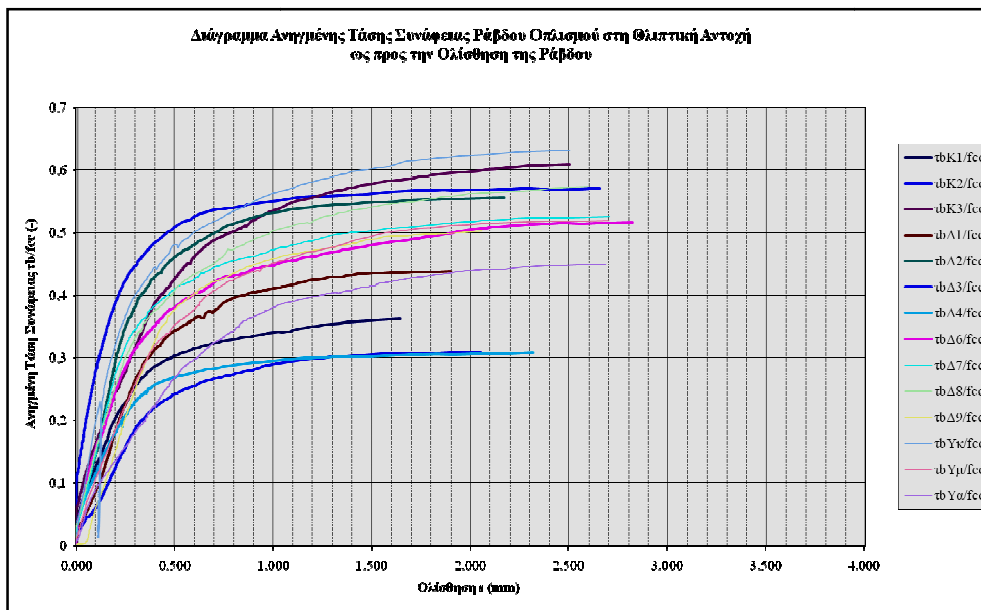
Διάγραμμα 2.5 Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, SCC-28 (Σ128, Σ129).



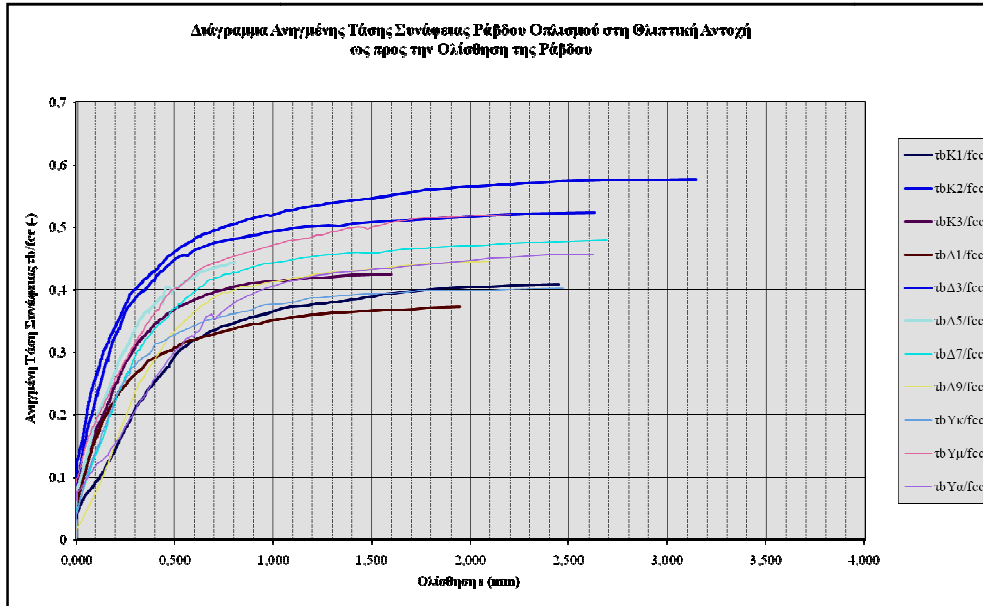
Διάγραμμα 2.6 Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, SCC-29 (Σ134, Σ135).



Διάγραμμα 2.7 Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, SCC-31 (Σ137, Σ138).



Διάγραμμα 2.8 Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, NC-11 (Σ130, Σ131).



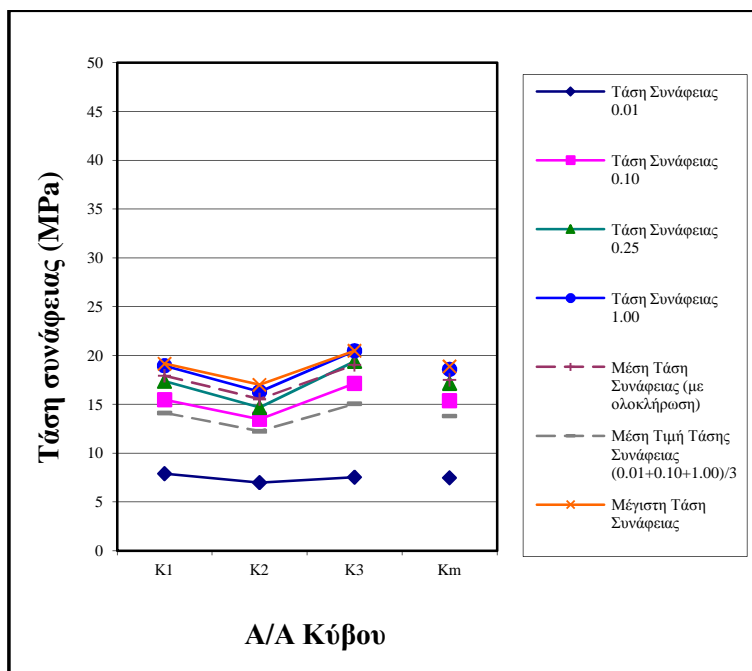
Διάγραμμα 2. 9 Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, NC-12 (Σ132, Σ133).

Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι για τις συνθέσεις **SCC-29**, **SCC-31** και **NC-12** απουσιάζουν οι καταχωρήσεις για τις **Δ2**, **Δ4**, **Δ6**, **Δ8** ράβδους των δοκών. Αυτό συνέβη επειδή οι συγκεκριμένες ράβδοι υπέστησαν πρόωμη μετακίνηση στη μάζα του νωπού σκυροδέματος προκειμένου να αποτελέσουν αντικείμενο διερεύνησης επόμενης διπλωματικής εργασίας του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π. με θέμα τις επιπτώσεις στη συνάφεια του ΑΣΣ, σεισμικής καταπόνησης στο νωπό σκυρόδεμα.

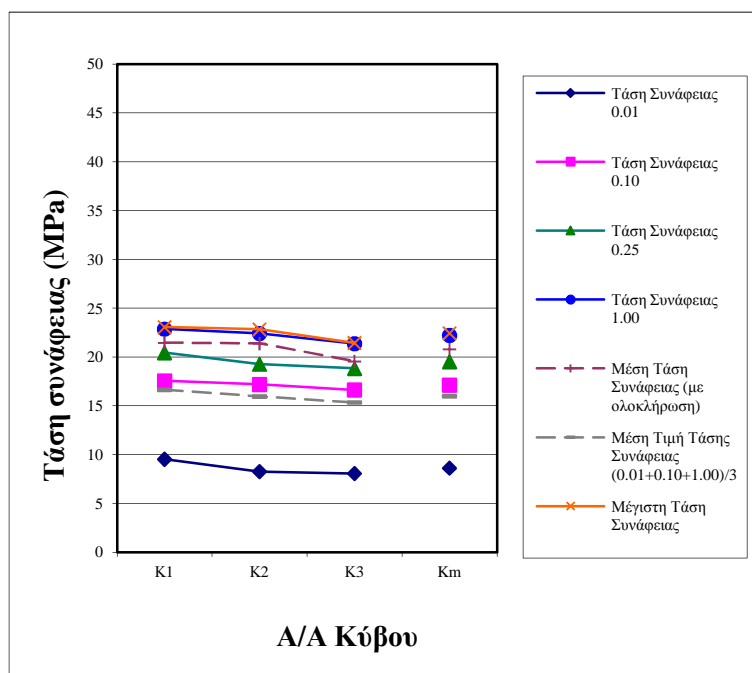
Ακόμα για τη σύνθεση **NC-11** απουσιάζει η καταχώρηση της **Δ5** ράβδου της δοκού, αφού στη συγκεκριμένη θέση είχαμε αστοχία του δοκιμίου.

Σε όλες τις περιπτώσεις προκειμένου να κατασκευάσουμε τα διαγράμματα μεταβολής της τάσης συνάφειας κατά μήκος της δοκού, πραγματοποιήσαμε γραμμική παρεμβολή των δεδομένων των υπολοίπων ράβδων (των οποίων οι καταχωρήσεις παρουσιάζονται).

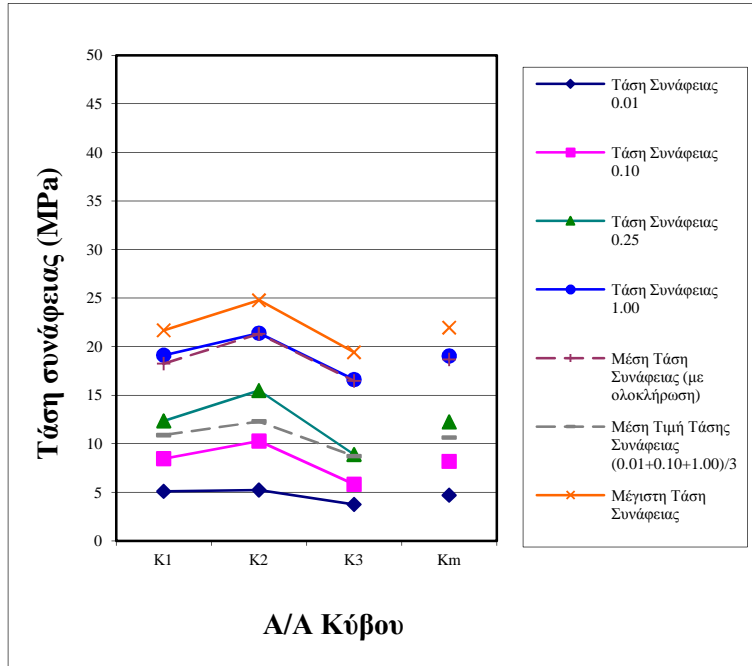
Αναφερόμενοι στη συνέχεια στα επιμέρους αντικείμενα διερεύνησης της πειραματικής διαδικασίας θα ξεκινήσουμε την ανάλυση μας από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δοκιμές εξόλκευσης των κυβικών δοκιμίων. Στα **Διαγράμματα 2.10** έως **2.16** παρατίθενται οι τάσεις συνάφειας των τριών δοκιμίων (**K1, K2, K3**) καθώς και η μέση τιμή τους (**Km**) για όλες τις χαρακτηριστικές τάσεις και για όλες τις συνθέσεις.



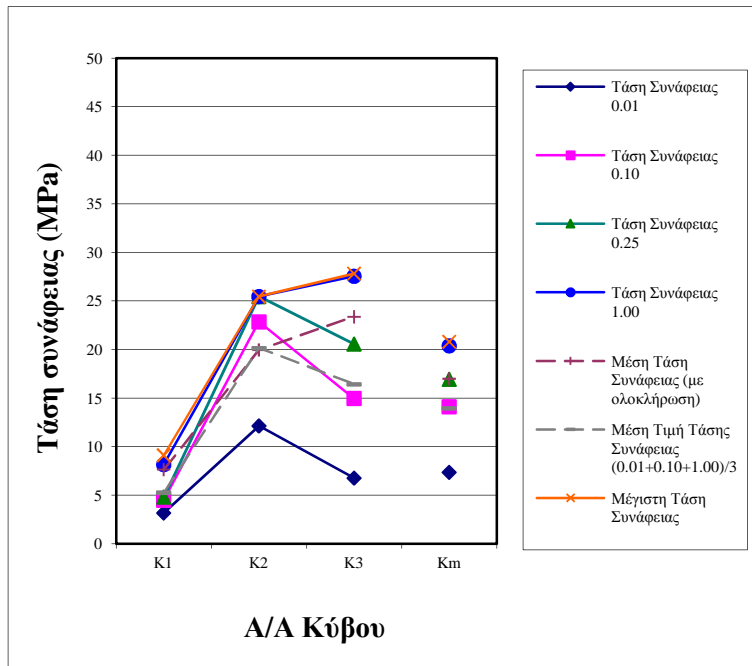
**Διάγραμμα 2.10** Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km) για τη σύνθεση SCC-26.



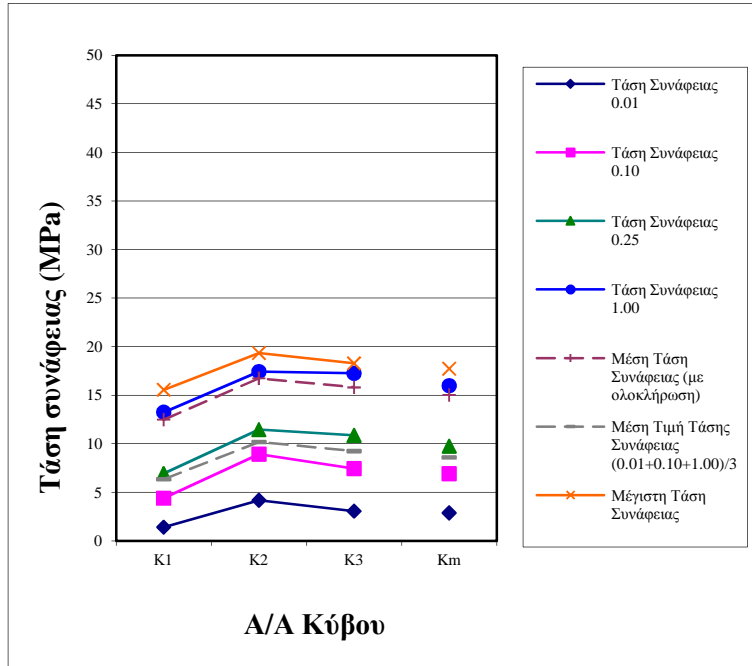
**Διάγραμμα 2.11** Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km) για τη σύνθεση SCC-27.



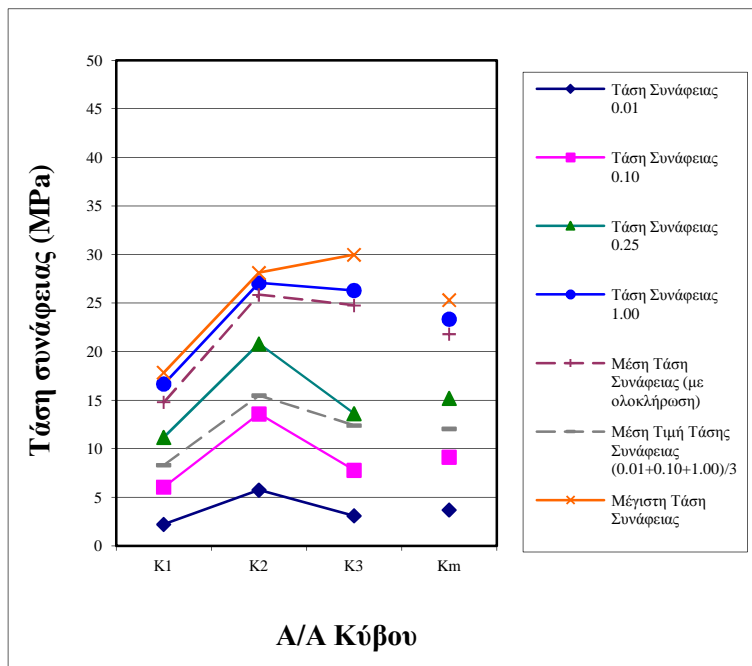
Διάγραμμα 2.12 Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμών (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κόβων (Km) για τη σύνθεση SCC-28.



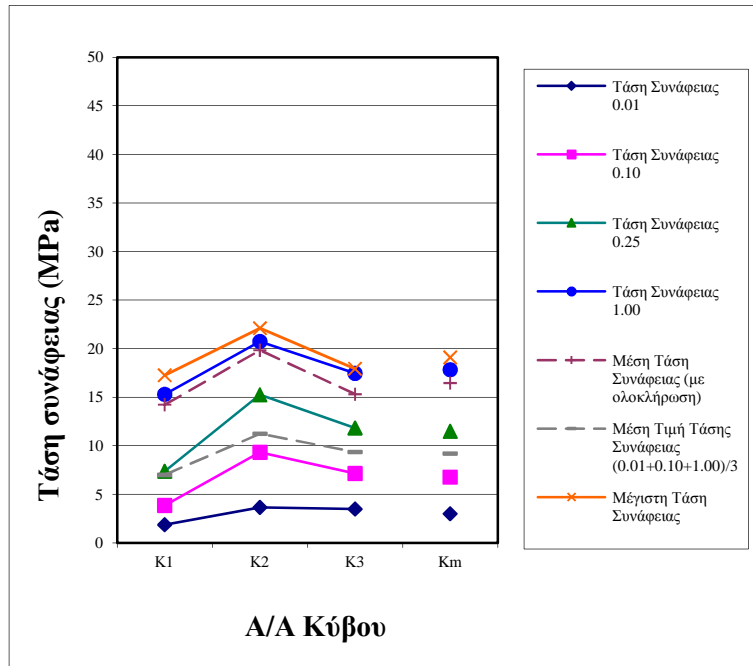
Διάγραμμα 2.13 Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμών (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κόβων (Km) για τη σύνθεση SCC-29.



**Διάγραμμα 2.14** Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων(K1, K2,K3), μέση τάση 3 κύβων (Km) για τη σύνθεση **SCC-31**.



**Διάγραμμα 2.15** Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων(K1, K2,K3), μέση τάση 3 κύβων (Km) για τη σύνθεση **NC-11**.



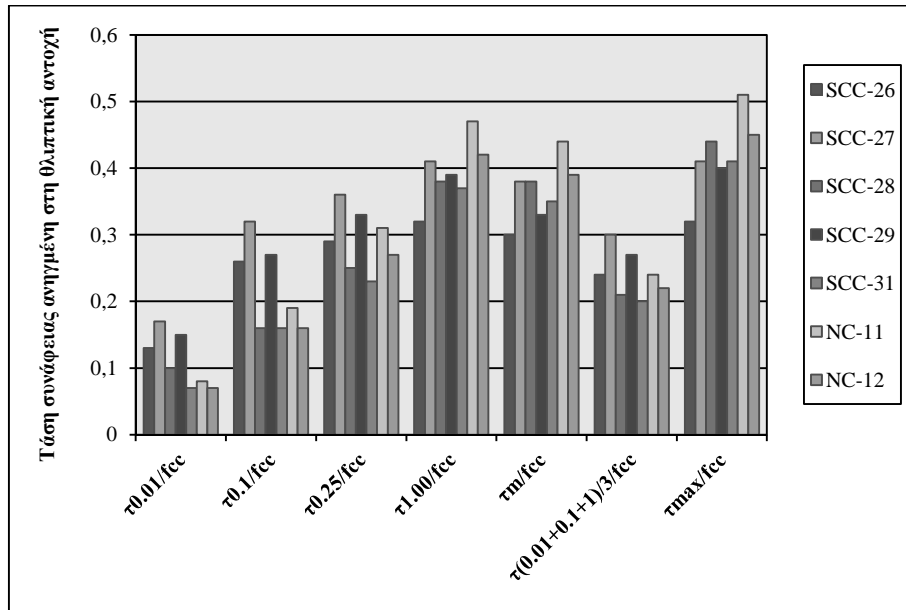
**Διάγραμμα 2.16** Χαρακτηριστικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κόβων (Km) για τη σύνθεση NC-12.

Παρακάτω παρουσιάζονται με μορφή πίνακα (**Πίνακας 2.16**) (συγκεντρωτικά για όλες τις συνθέσεις), οι ανηγμένες τιμές των τάσεων των **Km** (μέση τιμή κόβων), όπως επίσης και το αντίστοιχο στον πίνακα αυτόν διάγραμμα (**Διάγραμμα 2.17**) (προκειμένου να καταστούν οπτικά πιο διακριτές οι διαφοροποιήσεις).

**Πίνακας 2.16** Ανηγμένες στην θλιπτική αντοχή τάσεις συνάφειας ( $\tau/f_{cc}$ ) για τους κόβους **Km**.

	SCC-26	SCC-27	SCC-28	SCC-29	SCC-31	NC-11	NC-12
$\tau_{0.01}/f_{cc}$	0,13	0,17	0,10	0,15	0,07	0,08	0,07
$\tau_{0.1}/f_{cc}$	0,26	0,32	0,16	0,27	0,16	0,19	0,16
$\tau_{0.25}/f_{cc}$	0,29	0,36	0,25	0,33	0,23	0,31	0,27
$\tau_{1.00}/f_{cc}$	0,32	0,41	0,38	0,39	0,37	0,47	0,42
$\tau_m/f_{cc}$	0,30	0,38	0,38	0,33	0,35	0,44	0,39
$\tau_{(0.01+0.1+1)/3}/f_{cc}$	0,24	0,30	0,21	0,27	0,20	0,24	0,22
$\tau_{max}/f_{cc}$	0,32	0,41	0,44	0,40	0,41	0,51	0,45

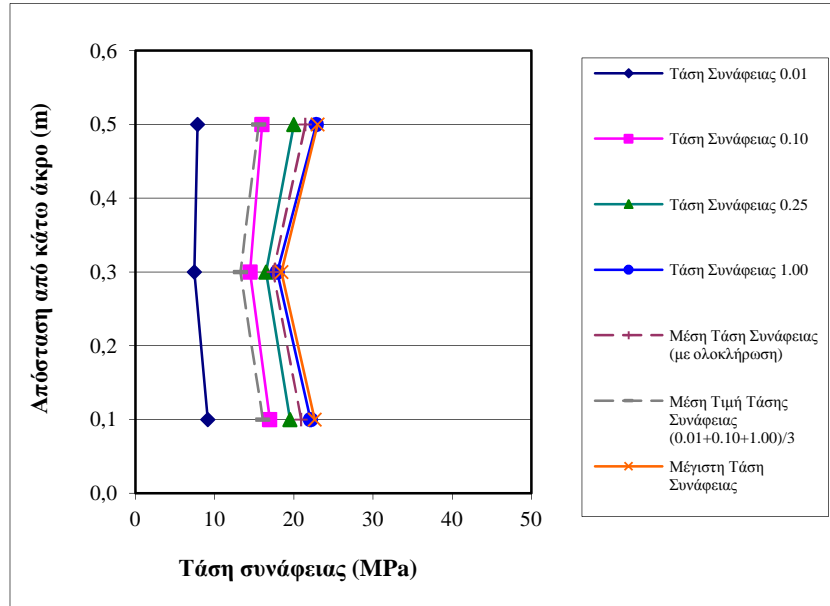




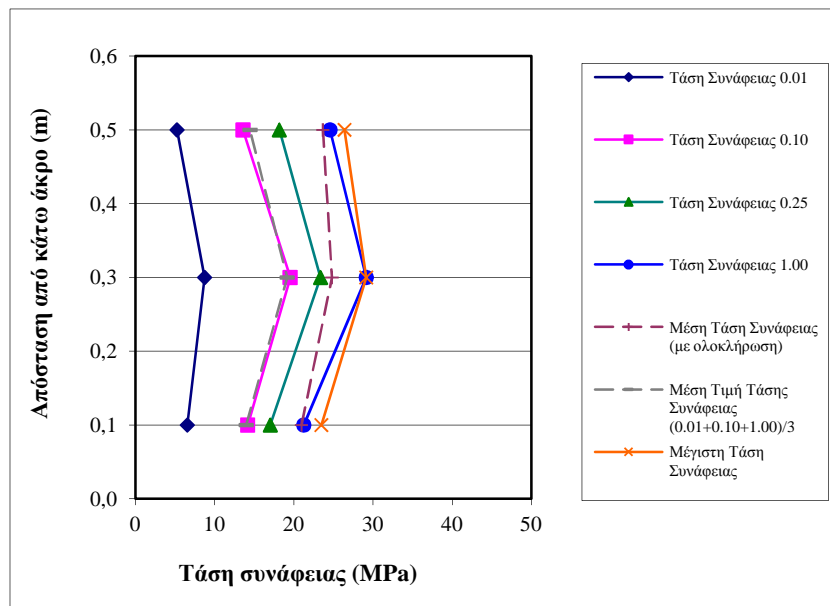
**Διάγραμμα 2.17** Τάσεις συνάφειας ανηγμένες στη θλιπτική αντοχή ( $\tau/f_{cc}$ ), για τη μέση τιμή των κύβων (**Km**).

Από τον **Πίνακα 2.16** προκύπτει ότι για μικρές τιμές της ολίσθησης (0.01, 0.10mm) οι ανηγμένες τάσεις συνάφειας των μίγμάτων ΑΣΣ είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των ΣΣ. Όταν η τιμή της ολίσθησης είναι ίση με 0.25mm, λαμβάνουν παρόμοιες τιμές, ενώ τα μίγματα ΑΣΣ αναπτύσσουν χαμηλότερες ανηγμένες τάσεις συνάφειας για τις περιπτώσεις των  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{max}$ . Αναφορικά με τα ανηγμένα μεγέθη των τάσεων που έχουμε επιλέξει ως κριτήρια ελέγχου της αντοχής συνάφειας η μεγαλύτερη  $\tau_{max}/f_{cc}$  αναπτύχθηκε για το μίγμα **NC-11 (0.51)**. Η δεύτερη μεγαλύτερη ήταν εκείνη του **NC-12 (0.45)**, ενώ η μικρότερη ήταν ίση με **0.32 (SCC-26)**. Η μεγαλύτερη τιμή για τη μέση τάση συνάφειας  $\tau_m/f_{cc}$  προέκυψε για την **NC-11 (0.44)**, ενώ για την  $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}/f_{cc}$  η μεγαλύτερη τιμή εντοπίστηκε για την **SCC-27** και είναι ίση με (**0.30**).

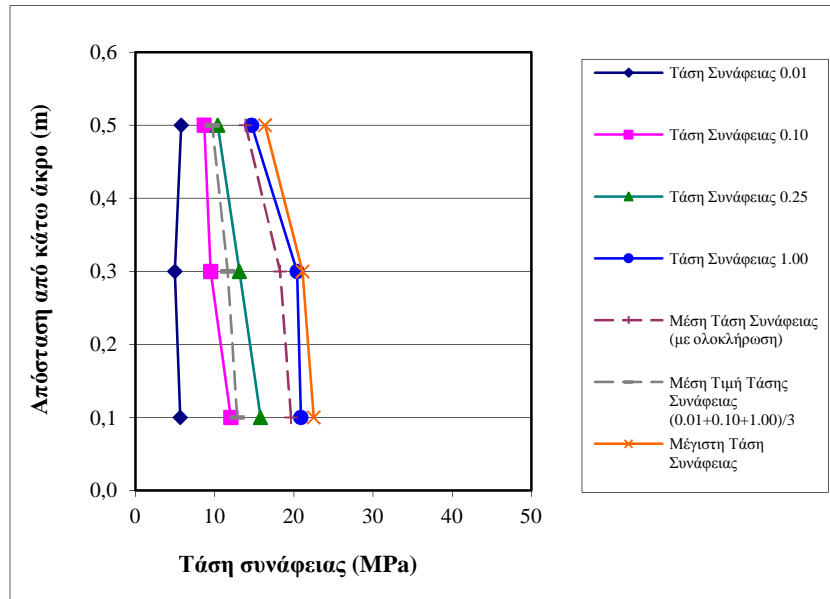
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πειραματικά ευρήματα που αφορούν τα υποστυλώματα, τα οποία όπως έχει ήδη αναφερθεί σκυροδετήθηκαν με σκοπό τον έλεγχο συμπεριφοράς τους έναντι του φαινομένου των άνω ράβδων. Παρατίθενται αρχικά τα διαγράμματα (**Διάγραμμα 2.18 έως 2.24**) μεταβολής της τάσης συνάφειας συναρτήσει του υποκείμενου πάχους σκυροδέματος για τις χαρακτηριστικές τιμές ολίσθησης 0.01, 0.10, 0.25, 1.00mm, όπως επίσης για τη μέγιστη τάση συνάφειας, τη μέση (με ολοκλήρωση) τάση συνάφειας και τη μέση τιμή της τάσης συνάφειας που αντιστοιχεί στις ολισθήσεις 0.01, 0.10, 1.00mm.



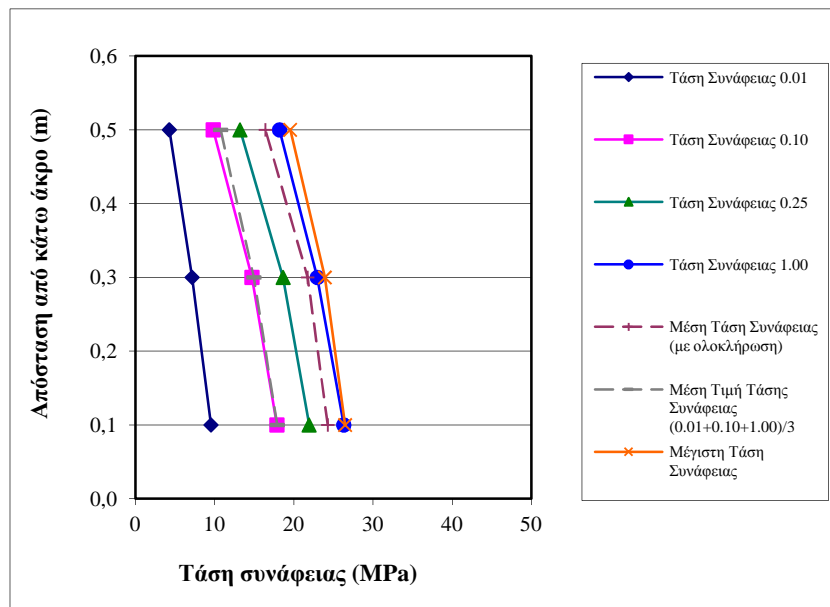
Διάγραμμα 2.18 Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσεως της απόστασης από το κάτω άκρο (SCC-26).



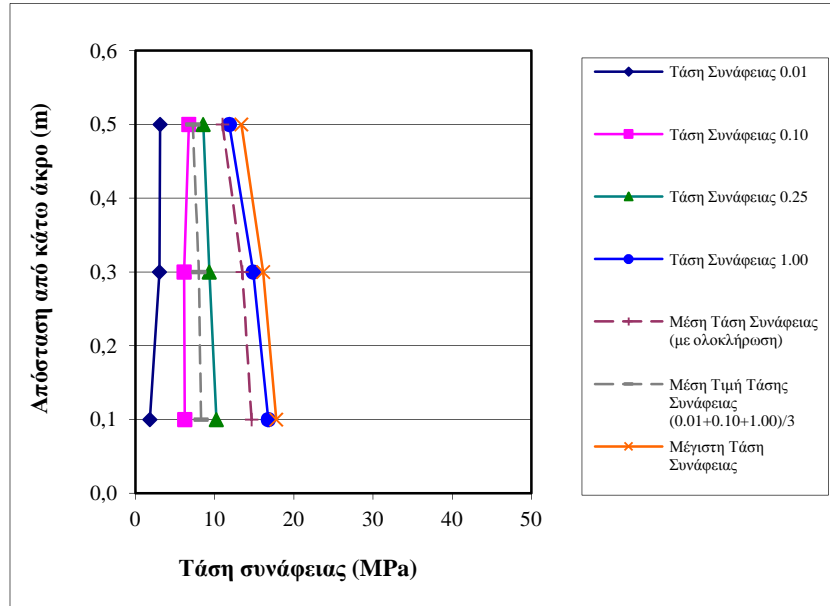
Διάγραμμα 2.19 Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσεως της απόστασης από το κάτω άκρο (SCC-27).



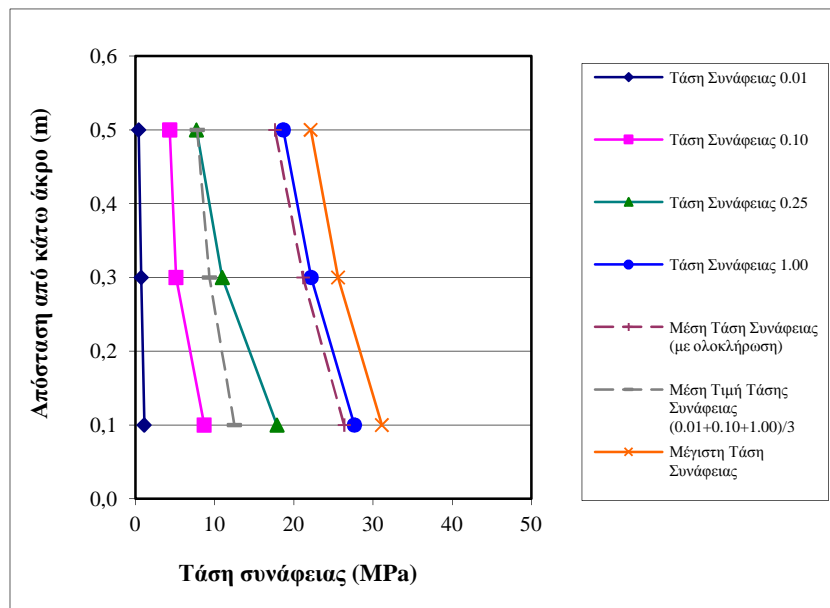
Διάγραμμα 2.20 Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (SCC-28).



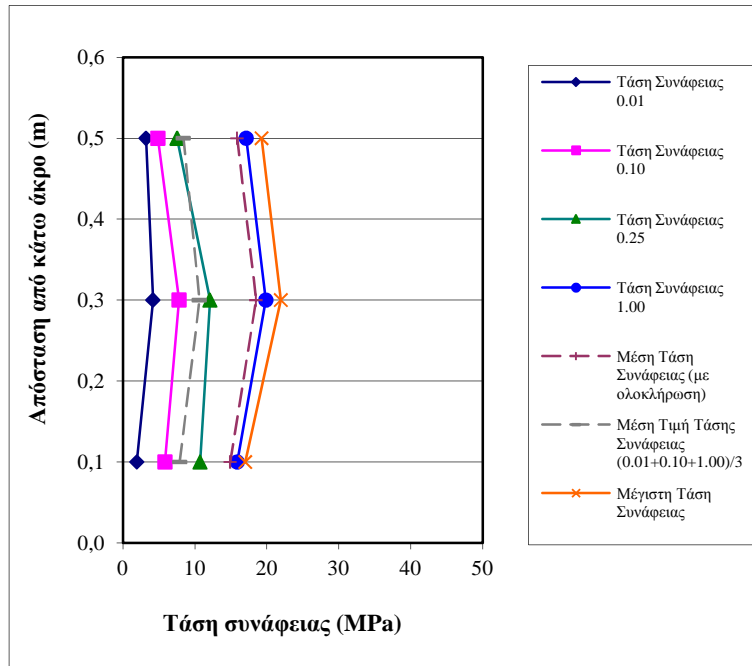
Διάγραμμα 2.21 Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (SCC-29).



Διάγραμμα 2.22 Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (SCC-31).



Διάγραμμα 2.23 Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (NC-11).



Διάγραμμα 2.24 Τάσεις συνάφειας υποστύλωματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο (NC-12).

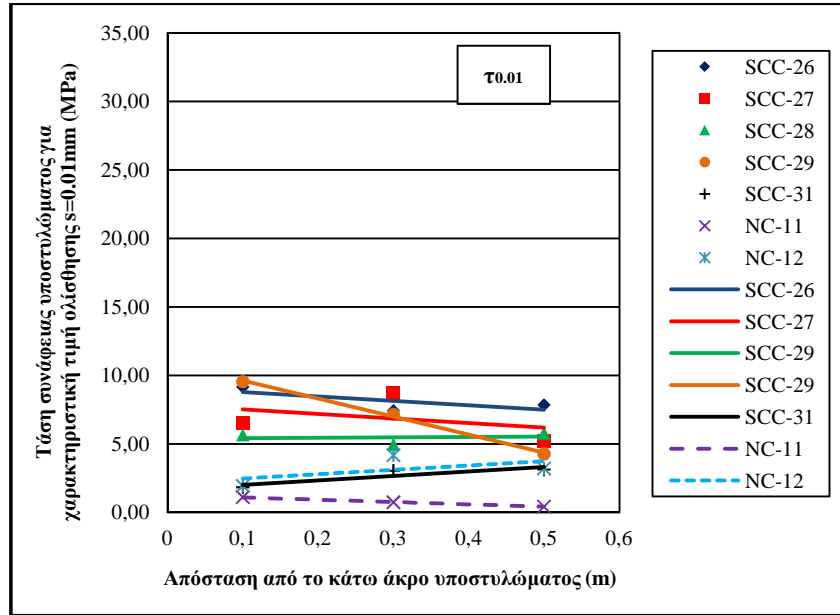
Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η γραμμική προσέγγιση της συσχέτισης της τάσης συνάφειας με το υποκείμενο πάχος σκυροδέματος περιγράφει ικανοποιητικά το φαινόμενο στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Από τις **πραγματικές τιμές** των τάσεων των τριών ράβδων  $\tau_{col-i,real}$  ( $i=upp, mid, low$ ), με γραμμική παλινδρόμηση υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες **εκτιμώμενες τιμές**  $\tau_{col-i,est}$ , καθώς επίσης και η  $\tau_0$  (δηλαδή η **εκτιμώμενη τιμή της τάσης συνάφειας που παρουσίασε το κάθε υποστύλωμα στη βάση του**) από την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων ως εξής:

$$y = a \cdot x + b \text{ (ευθεία ελαχίστων τετραγώνων)}$$

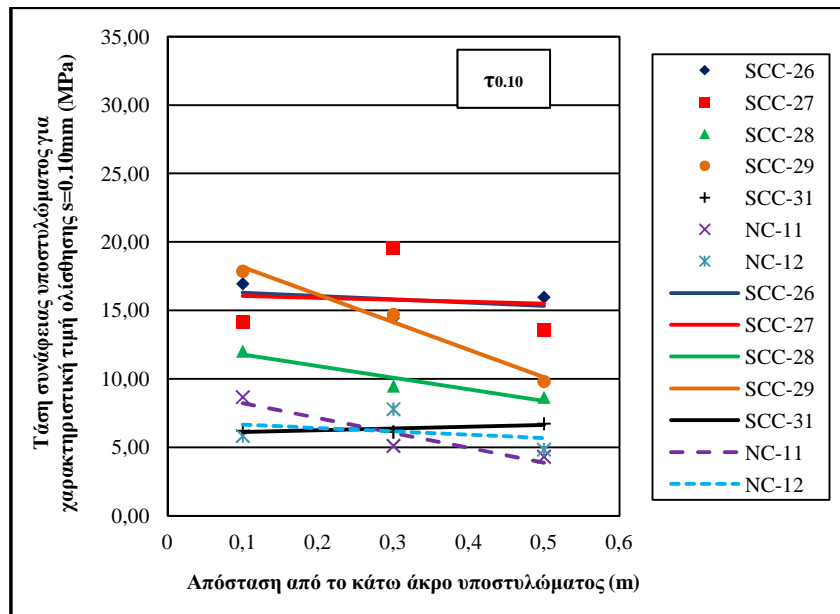
$$b = \tau_0$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \tau_{col-low,est} = a \cdot 0.1 + \tau_0 \\ \tau_{col-mid,est} = a \cdot 0.3 + \tau_0 \\ \tau_{col-upp,est} = a \cdot 0.5 + \tau_0 \end{array} \right.$$

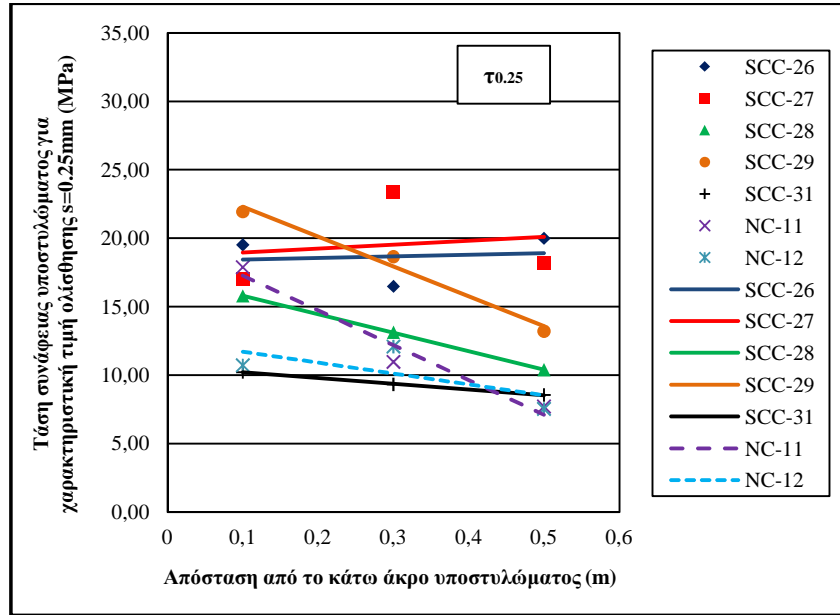
Στηριζόμενοι στην προηγούμενη μεθοδολογία κατασκευάσαμε για κάθε μία από τις εξεταζόμενες τάσεις συνάφειας τα διαγράμματα (Διάγραμμα 2.25 – 2.31) τους (συγκριτικά για όλες τις συνθέσεις) σαν συνάρτηση της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστύλωματος (στα διαγράμματα φαίνονται και οι ευθείες ελαχίστων τετραγώνων).



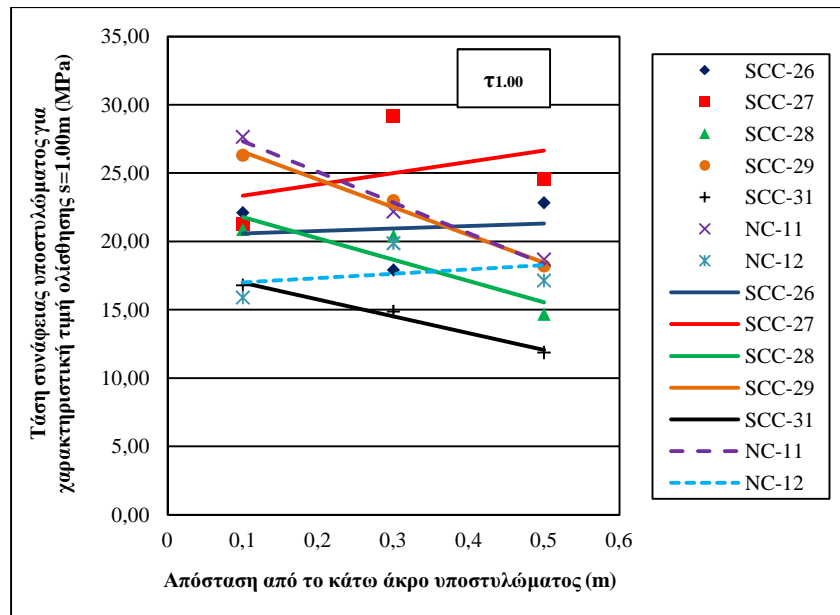
Διάγραμμα 2.25 Τάση συνάφειας για ολίσθηση  $s=0.01$  συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστρώματος.



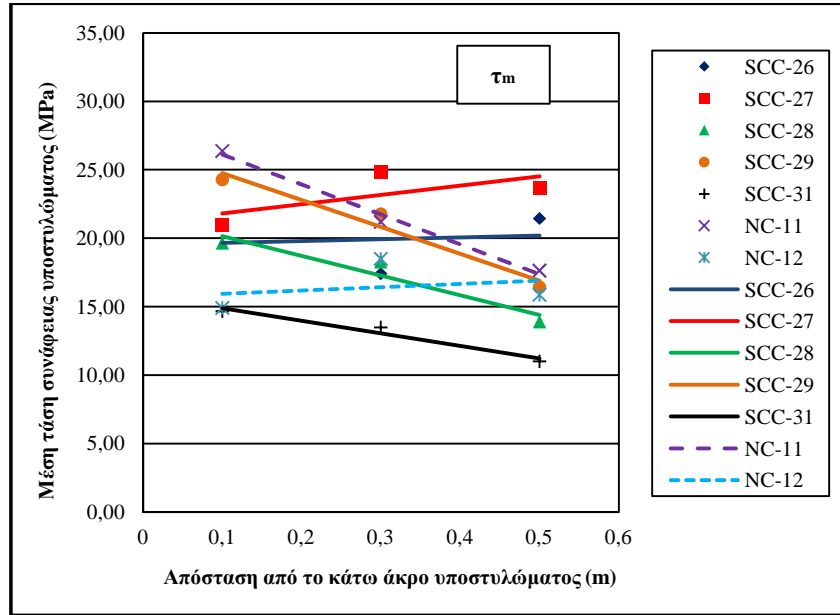
Διάγραμμα 2.26 Τάση συνάφειας για ολίσθηση  $s=0.10$  συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστρώματος.



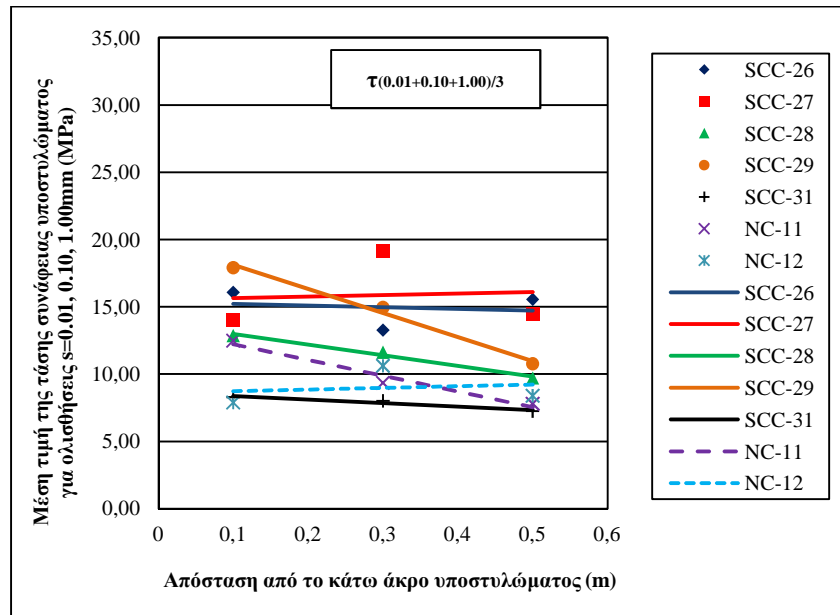
Διάγραμμα 2.27 Τάση συνάφειας για ολίσθηση  $s=0.25$  συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος.



Διάγραμμα 2.28 Τάση συνάφειας για ολίσθηση  $s=1.00$  συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος.

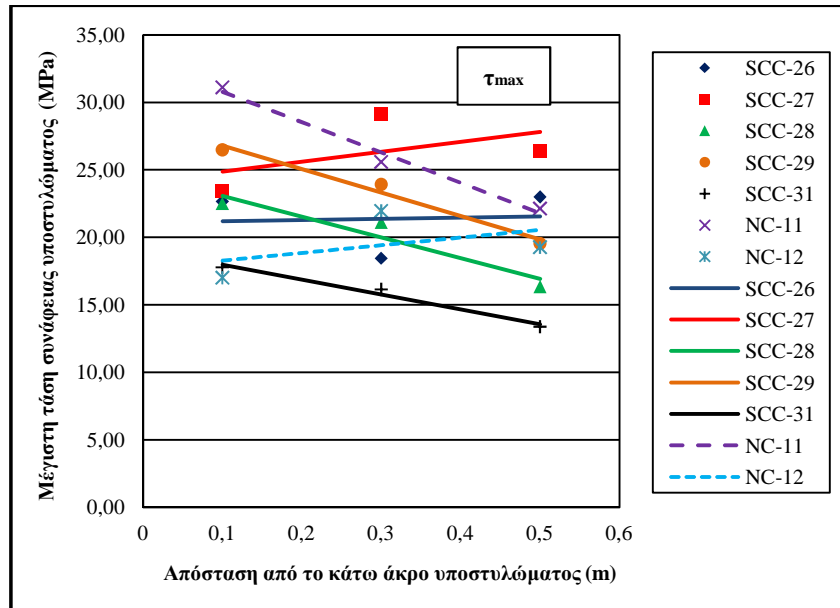


Διάγραμμα 2.29 Μέση τάση συνάφειας (με ολοκλήρωση) συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστύλωματος.



Διάγραμμα 2.30 Μέση τιμή της τάσης συνάφειας για ολισθήσεις s=0.01, 0.10, 1.00 συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστύλωματος.



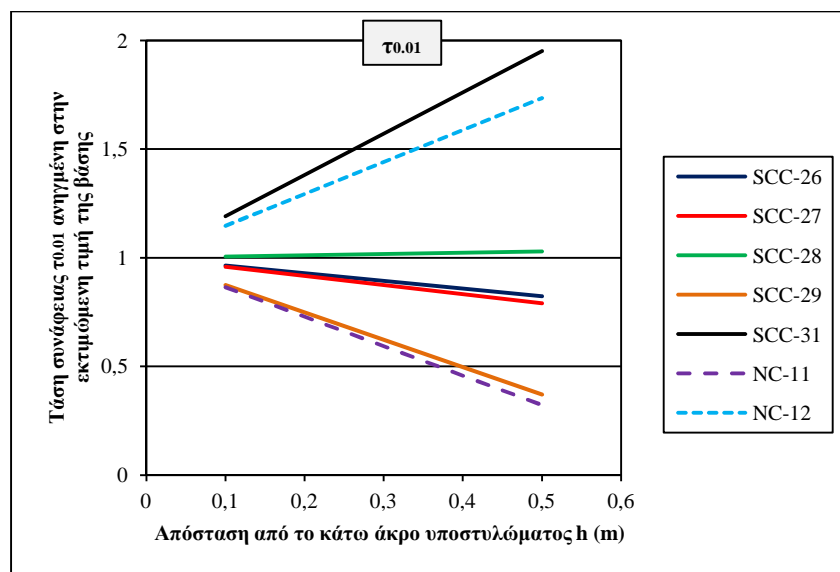


Διάγραμμα 2.31 Μέγιστη τάση συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστρώματος.

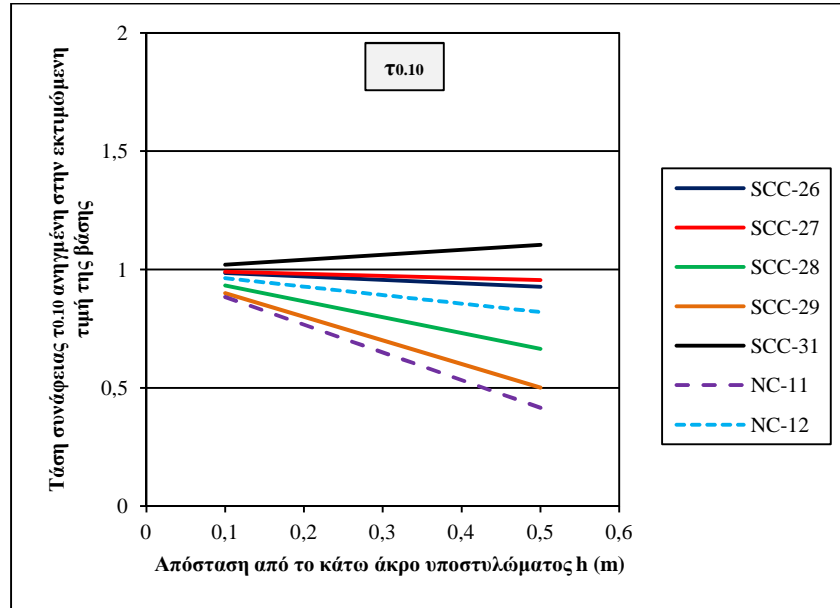
Η θεώρηση που κάναμε δίνει μία αρχική εκτίμηση της έντασης του φαινομένου των άνω ράβδων αλλά εμπεριέχει το σφάλμα ότι εκφράζει τη μείωση της τάσης συνάφειας καθ' ύψος ως απόλυτο μέγεθος αλλά χωρίς αυτή η ένδειξη να είναι άμεσα συγκρίσιμη ανάμεσα στα υποστρώματα καθώς υπάρχει διαφοροποίηση στους συντελεστές  $\tau_0$ . Προκειμένου τα αποτελέσματα να καταστούν συγκρίσιμα αναφορικά με την ένταση του φαινομένου, έγινε **αναγωγή των τιμών στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης του υποστρώματος  $\tau_0$**  (με αποτέλεσμα όλες οι γραμμές να ξεκινούν από την τιμή **1 (100%)** στον άξονα των τάσεων συνάφειας) ως εξής:

$$\tau = a \cdot h + \tau_0 \rightarrow (\tau/\tau_0) = (a/\tau_0) \cdot h + 1$$

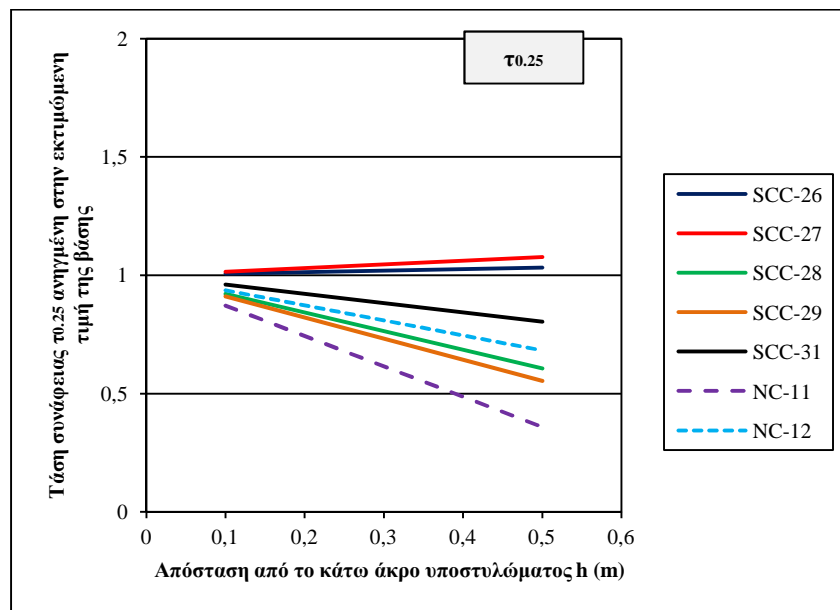
Ακολουθούν για όλες τις συνθέσεις τα διαγράμματα  $(\tau/\tau_0) \cdot h$  για τις 7 εξεταζόμενες τάσεις συνάφειας (Διάγραμμα 2.32 έως 2.38):



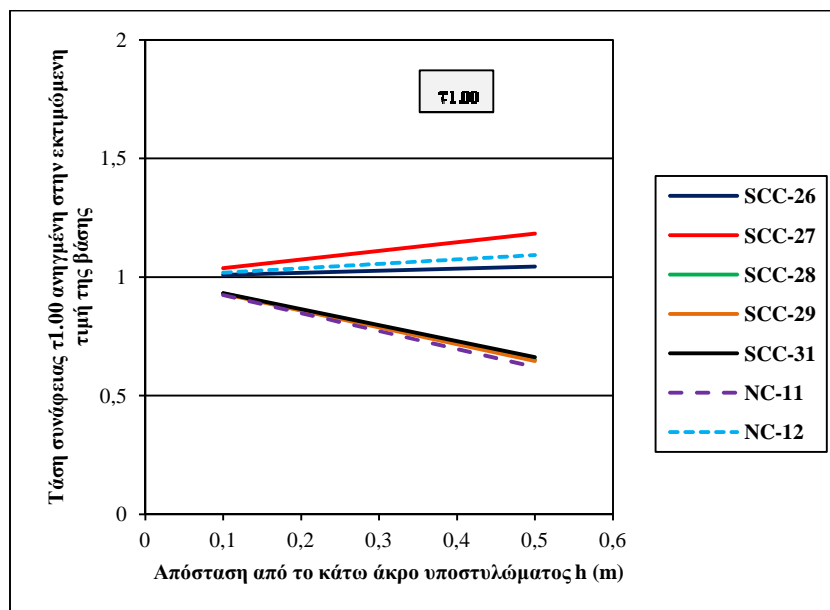
Διάγραμμα 2.32 Τάση συνάφειας για ολίσθηση  $s=0.01\text{mm}$  ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστρώματος.



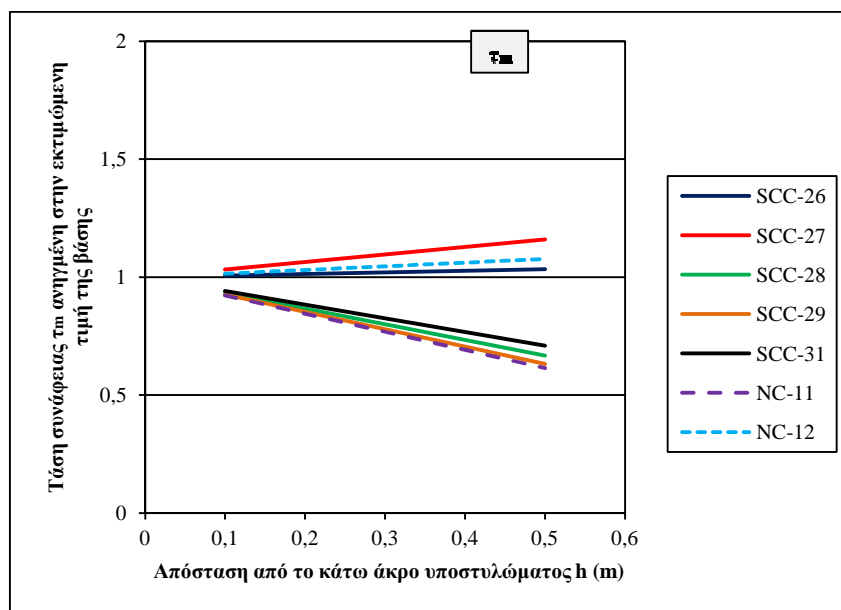
**Διάγραμμα 2.33** Τάση συνάφειας για ολίσθηση  $s=0.10\text{mm}$  ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστρώματος.



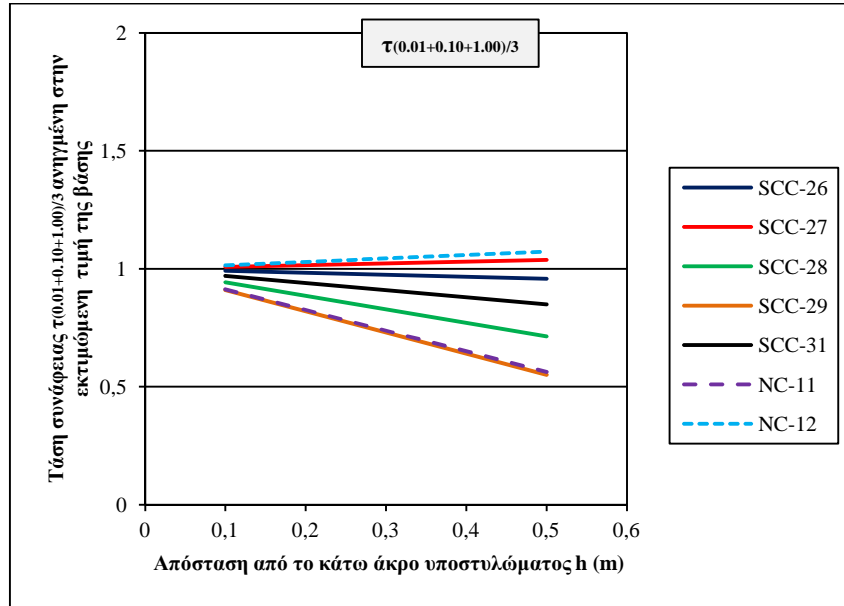
**Διάγραμμα 2.34** Τάση συνάφειας για ολίσθηση  $s=0.25\text{mm}$  ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστρώματος.



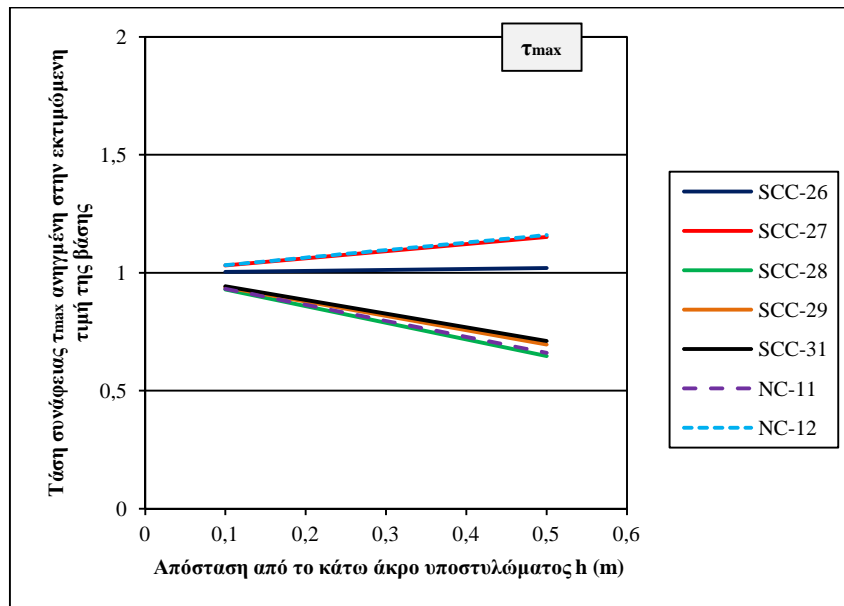
Διάγραμμα 2.35 Τάση συνάφειας για ολίσθηση  $s=1.00\text{mm}$  ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος.



Διάγραμμα 2.36 Μέση τάση συνάφειας (με ολοκλήρωση) ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος.



Διάγραμμα 2.37 Μέση τιμή των τάσεων συνάφειας για ολισθήσεις 0.01, 0.10, 1.00mm, ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστρώματος.



Διάγραμμα 2.38 Μέγιστη τάση συνάφειας ανηγμένη στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστρώματος.

Ακολουθούν οι πίνακες των απολύτων μεγεθών των τάσεων συνάφειας καθώς και των ανηγμένων τιμών στη θλιπτική αντοχή, για τις ράβδους των υποστρώματων και τη μέση τιμή των κύβων, για όλες τις συνθέσεις.

**Πίνακας 2.17** Τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) κάτω (**col-low**), μεσαίας (**col-mid**) και άνω (**col-upp**) ράβδου υποστρώματος, μέση τάση 3 κύβων (**Km**) και ολισθήσεις που αντιστοιχούν στις  $\tau_{max}$  ( $S_{\tau_{max}}$ ) (πραγματικές τιμές).

		SCC-26	SCC-27	SCC-28	SCC-29	SCC-31	NC-11	NC-12
$\tau_{0.01}$	<b>Km</b>	7,46	8,61	4,70	7,36	2,88	3,71	3,00
	<b>col-low</b>	9,15	6,57	5,67	9,55	1,84	1,12	1,94
	<b>col-mid</b>	7,44	8,75	4,97	7,16	3,03	0,75	4,18
	<b>col-upp</b>	7,86	5,25	5,79	4,28	3,13	0,42	3,21
$\tau_{0.10}$	<b>Km</b>	15,35	17,12	8,19	14,11	6,92	9,16	6,77
	<b>col-low</b>	16,96	14,17	12,06	17,88	6,24	8,68	5,84
	<b>col-mid</b>	14,47	19,55	9,50	14,72	6,14	5,12	7,81
	<b>col-upp</b>	15,99	13,60	8,68	9,82	6,74	4,33	4,85
$\tau_{0.25}$	<b>Km</b>	17,14	19,51	12,25	16,95	9,76	15,21	11,49
	<b>col-low</b>	19,52	17,03	15,79	21,93	10,22	17,88	10,72
	<b>col-mid</b>	16,49	23,38	13,13	18,65	9,33	10,97	12,09
	<b>col-upp</b>	19,99	18,18	10,39	13,20	8,55	7,71	7,53
$\tau_{1.00}$	<b>Km</b>	18,57	22,21	19,04	20,39	15,98	23,36	17,83
	<b>col-low</b>	22,11	21,26	20,89	26,31	16,79	27,65	15,89
	<b>col-mid</b>	17,90	29,15	20,42	22,98	14,87	22,18	19,87
	<b>col-upp</b>	22,83	24,57	14,67	18,20	11,86	18,68	17,13
$\tau_m$	<b>Km</b>	17,49	20,79	18,69	17,00	15,02	21,82	16,46
	<b>col-low</b>	20,93	20,97	19,65	24,29	14,67	26,37	14,91
	<b>col-mid</b>	17,40	24,83	18,27	21,76	13,49	21,20	18,50
	<b>col-upp</b>	21,45	23,67	13,90	16,43	11,00	17,63	15,87
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	<b>Km</b>	13,79	15,98	10,64	13,95	8,60	12,07	9,20
	<b>col-low</b>	16,07	14,00	12,87	17,91	8,29	12,48	7,89
	<b>col-mid</b>	13,27	19,15	11,63	14,95	8,02	9,35	10,62
	<b>col-upp</b>	15,56	14,47	9,72	10,77	7,24	7,81	8,40
$\tau_{max}$ $S_{\tau_{max}}$	<b>Km</b>	18,87	22,44	21,96	20,81	17,73	25,32	19,10
	<b>col-low</b>	1,20	1,43	2,78	1,16	2,39	2,27	2,23
	<b>col-mid</b>	22,65	23,48	22,51	26,48	17,78	31,11	17,01
	<b>col-upp</b>	1,67	2,54	2,08	1,50	1,75	2,50	2,47
	<b>col-mid</b>	18,45	29,15	21,11	23,92	16,14	25,59	21,96
	<b>col-upp</b>	1,97	0,99	1,68	2,09	1,97	2,70	2,20
<b>fcc</b>		58,67	54,11	49,67	51,73	42,82	49,29	42,22

**Πίνακας 2.18** Τιμές ανηγμένης τάσης συνάφειας στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος ( $\tau_{0.01}/f_{cc}$ ,  $\tau_{0.10}/f_{cc}$ ,  $\tau_{0.25}/f_{cc}$ ,  $\tau_{1.00}/f_{cc}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}/f_{cc}$ ,  $\tau_{max}/f_{cc}$ ) κάτω (**col-low**), μεσαίας (**col-mid**) και άνω (**col-upp**) ράβδου υποστυλώματος, μέση τάση 3 κύβων (**Km**) (πραγματικές τιμές).

		SCC-26	SCC-27	SCC-28	SCC-29	SCC-31	NC-11	NC-12
$\tau_{0.01}$	<b>Km</b>	0,13	0,17	0,10	0,15	0,07	0,08	0,07
	<b>col-low</b>	0,16	0,12	0,11	0,19	0,05	0,02	0,05
	<b>col-mid</b>	0,13	0,17	0,10	0,14	0,07	0,02	0,10
	<b>col-upp</b>	0,13	0,10	0,12	0,09	0,07	0,01	0,08
$\tau_{0.10}$	<b>Km</b>	0,26	0,32	0,16	0,27	0,16	0,19	0,16
	<b>col-low</b>	0,29	0,26	0,24	0,35	0,15	0,18	0,14
	<b>col-mid</b>	0,25	0,36	0,19	0,28	0,14	0,10	0,18
	<b>col-upp</b>	0,27	0,25	0,17	0,19	0,16	0,09	0,11
$\tau_{0.25}$	<b>Km</b>	0,29	0,36	0,25	0,33	0,23	0,31	0,27
	<b>col-low</b>	0,33	0,31	0,32	0,42	0,24	0,36	0,25
	<b>col-mid</b>	0,28	0,43	0,26	0,36	0,22	0,22	0,29
	<b>col-upp</b>	0,34	0,34	0,21	0,26	0,20	0,16	0,18
$\tau_{1.00}$	<b>Km</b>	0,32	0,41	0,38	0,39	0,37	0,47	0,42
	<b>col-low</b>	0,38	0,39	0,42	0,51	0,39	0,56	0,38
	<b>col-mid</b>	0,31	0,54	0,41	0,44	0,35	0,45	0,47
	<b>col-upp</b>	0,39	0,45	0,30	0,35	0,28	0,38	0,41
$\tau_m$	<b>Km</b>	0,30	0,38	0,38	0,33	0,35	0,44	0,39
	<b>col-low</b>	0,36	0,39	0,40	0,47	0,34	0,54	0,35
	<b>col-mid</b>	0,30	0,46	0,37	0,42	0,32	0,43	0,44
	<b>col-upp</b>	0,37	0,44	0,28	0,32	0,26	0,36	0,38
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	<b>Km</b>	0,24	0,30	0,21	0,27	0,20	0,24	0,22
	<b>col-low</b>	0,27	0,26	0,26	0,35	0,19	0,25	0,19
	<b>col-mid</b>	0,23	0,35	0,23	0,29	0,19	0,19	0,25
	<b>col-upp</b>	0,27	0,27	0,20	0,21	0,17	0,16	0,20
$\tau_{max}$ $S_{\tau_{max}}$	<b>Km</b>	0,32	0,41	0,44	0,40	0,41	0,51	0,45
	<b>col-low</b>	0,39	0,43	0,45	0,51	0,42	0,63	0,40
	<b>col-mid</b>	0,31	0,54	0,43	0,46	0,38	0,52	0,52
	<b>col-upp</b>	0,39	0,49	0,33	0,38	0,31	0,45	0,46

Από τον Πίνακα 2.18 προκύπτουν τα εξής:

- Για τις κάτω ράβδους του υποστυλώματος η μεγαλύτερη  $\tau_{max}/f_{cc}$  αναπτύχθηκε για τη σύνθεση **NC-11 (0.63)**, η δεύτερη μεγαλύτερη (**0.51**) στην **SCC-29** και η μικρότερη στην **SCC-26 (0.39)**.
- Η μεγαλύτερη  $\tau_{max}/f_{cc}$  άνω ράβδου προέκυψε στην σύνθεση **SCC-27 (0.49)**, η μικρότερη στην **SCC-30 (0.31)** και οι υπόλοιπες κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών (**0.33** έως **0.46**).

Όπως έχει ήδη (**§1.3.1 Trezos, et al. 2010**) αναφερθεί ο λόγος των τάσεων συνάφειας (**Πίνακας 2.19**) άνω προς κάτω ράβδου αποτελεί σύνηθες κριτήριο αξιολόγησης της μείωσης της τάσεως συνάφειας καθ' ύψος. Όμως ο λόγος αυτός (ο οποίος όσο πιο κοντά βρίσκεται στη μονάδα τόσο λιγότερο έντονο παρουσιάζεται το πρόβλημα των άνω ράβδων) πρέπει να χρησιμοποιείται με ιδιαίτερη προσοχή καθώς υπεισέρχεται σε αυτόν η επιρροή του ύψους του εξεταζόμενου δοκιμίου. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με τη βοήθεια των εκτιμώμενων τιμών τάσεων συνάφειας που έχουν προσδιοριστεί από τις ευθείες ελαχίστων τετραγώνων. Στην παρούσα εργασία (όπου πάντως το ύψος των δοκιμίων είναι 600mm), για τη μέγιστη τάση συνάφειας και από τον **Πίνακα 2.20** ο λόγος άνω προς κάτω ράβδου κυμαίνεται μεταξύ των τιμών **70-76%** για τα μίγματα ΑΣΣ, ενώ αντίστοιχος είναι ο λόγος για το μίγμα ΣΣ και συγκεκριμένα **71%** (επισημαίνεται ότι η αξιολόγηση αφορά τα μίγματα στα οποία υφίστανται το φαινόμενο των άνω ράβδων δηλαδή τα **SCC-28, SCC-29, SCC-31 και NC-11**). Για τη μέση τάση συνάφειας (με ολοκλήρωση) ο λόγος για τα μίγματα ΑΣΣ λαμβάνει τιμές **68-75%** και για το ΣΣ την τιμή **67%**. Όσον αφορά τη μέση τιμή της τάσης συνάφειας για ολισθήσεις 0.01, 0.10, 1.00mm ο λόγος των τάσεων άνω προς κάτω ράβδου για τα ΑΣΣ μίγματα κυμαίνεται από **61-88%** και **62%** για το μίγμα ΣΣ.

**Πίνακας 2.19** Λόγοι χαρακτηριστικών τιμών τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) άνω/κάτω ράβδου υποστυλώματος (πραγματικές τιμές).

	SCC-26	SCC-27	SCC-28	SCC-29	SCC-31	NC-11	NC-12
$\tau_{0.01}$	0,86	0,80	1,02	0,45	1,70	0,38	1,65
$\tau_{0.10}$	0,94	0,96	0,72	0,55	1,08	0,50	0,83
$\tau_{0.25}$	1,02	1,07	0,66	0,60	0,84	0,43	0,70
$\tau_{1.00}$	1,03	1,16	0,70	0,69	0,71	0,68	1,08
$\tau_m$	1,02	1,13	0,71	0,68	0,75	0,67	1,06
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	0,97	1,03	0,75	0,60	0,87	0,63	1,06
$\tau_{max}$	1,02	1,13	0,73	0,74	0,75	0,71	1,13

**Πίνακας 2.20** Λόγοι χαρακτηριστικών τιμών τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) άνω/κάτω ράβδου υποστυλώματος (εκτιμώμενες τιμές).

	SCC-26	SCC-27	SCC-28	SCC-29	SCC-31	NC-11	NC-12
$\tau_{0.01}$	0,85	0,82	1,02	0,42	1,64	0,37	1,51
$\tau_{0.10}$	0,94	0,96	0,71	0,56	1,08	0,47	0,85
$\tau_{0.25}$	1,03	1,06	0,66	0,61	0,84	0,41	0,73
$\tau_{1.00}$	1,04	1,14	0,70	0,69	0,71	0,67	1,07
$\tau_m$	1,03	1,12	0,71	0,68	0,75	0,67	1,06
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	0,97	1,03	0,76	0,61	0,88	0,62	1,06
$\tau_{max}$	1,02	1,12	0,70	0,74	0,76	0,71	1,12

Για τη σύνθεση **SCC-26** παρατηρούμε ότι για μικρές ολισθήσεις (0.01, 0.10mm) ο λόγος των τάσεων άνω προς κάτω ράβδου λαμβάνει τιμές μικρότερες της μονάδας. Το ίδιο δεν συμβαίνει για τις μεγαλύτερες τιμές ολίσθησης (0.25, 1.00mm) αλλά και για την  $\tau_{\max}$  όπου παρατηρείται μια οριακή υπέρβαση της τιμής 1. Αντίστοιχο είναι το φαινόμενο και στην **SCC-27**, όμως αυτή τη φορά η υπέρβαση της μονάδας για το λόγο τάσεων άνω/κάτω ράβδου είναι μεγαλύτερη (για ολίσθηση 1.00mm ο λόγος λαμβάνει την τιμή 1.14).

Στην προσπάθεια να ερμηνεύσουμε τα παραπάνω, και από το **Διάγραμμα 2.31** της μέγιστης τάσης συνάφειας των ράβδων συναρτήσει της απόστασης από το άκρο του υποστυλώματος (το οποίο και χρησιμοποιούμε ενδεικτικά), παρατηρούμε ότι μία ενδεχομένως εσφαλμένη μέτρηση της τάσης για την άνω ράβδο του υποστυλώματος της σύνθεσης **SCC-26**, ή για τη μεσαία και τη κάτω ράβδο του υποστυλώματος της σύνθεσης **SCC-27**, θα μπορούσε να εξηγήσει την υπέρβαση της τιμής 1 για το λόγο τάσεων άνω/κάτω ράβδου.

Αναφορικά με τη σύνθεση **NC-12**, που παρουσιάζει ανάλογο πρόβλημα, θα μπορούσαμε να ανάγουμε τη «διακύμανση» των τιμών του λόγου περί της μονάδας και σε ενδεχόμενη ανεπαρκής δόνηση (αφού όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 2.18** οι ανηγμένες τάσεις των κάτω ράβδων είναι γενικώς μικρότερες από τις αντίστοιχες της μέσης τιμής των κύβων).

Παράλληλα με τον λόγο τάσεων άνω προς κάτω ράβδου εξετάζεται και ο **μειωτικός συντελεστής  $\alpha$** , δηλαδή η κλίση της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων στα διαγράμματα των ανηγμένων τάσεων συνάφειας στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης του υποστυλώματος ( $\alpha = a/\tau_0$ ), συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος, ως ένα αντικειμενικότερο κριτήριο για την αποτίμηση του φαινομένου των άνω οπλισμών (ο συντελεστής αυτός εκφράζει τη ποσοστιαία μεταβολή της τάσης ανά μέτρο ύψους από το κάτω άκρο του υποστυλώματος, ενώ φαίνεται να είναι συνδεδεμένος με το ύψος του υποστυλώματος).

Όπως έχουμε αναφέρει στη βιβλιογραφική ανασκόπηση (**Trezos, et al. 2010**) ο συντελεστής  $\alpha$  εξαρτάται από την αντοχή του τσιμέντου, το τύπο και την ποσότητα του φίλλερ, το λόγο νερού προς τσιμέντο, το ιξώδες και την αντίσταση σε διαχωρισμό του μίγματος.

Παρακάτω παρουσιάζονται με μορφή πίνακα οι τιμές του μειωτικού συντελεστή  $\alpha$  (**Πίνακας 2.21**) για κάθε σύνθεση και κάθε χαρακτηριστική τάση συνάφειας. Οι μειωτικοί συντελεστές αντιστοιχούν στις αρνητικές τιμές του πίνακα. Οι θετικές τιμές αναφέρονται σε αύξηση της τάσης συνάφειας με το ύψος.

**Πίνακας 2.21** Μειωτικοί συντελεστές  $\alpha$ , των χαρακτηριστικών τάσεων συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ ,  $\tau_{\max}$ ), για κάθε σύνθεση.

	SCC-26	SCC-27	SCC-28	SCC-29	SCC-31	NC-11	NC-12
$\tau_{0.01}$	-0,35	-0,42	0,06	-1,26	1,90	-1,36	1,47
$\tau_{0.10}$	-0,15	-0,09	-0,67	-1,00	0,21	-1,17	-0,36
$\tau_{0.25}$	0,07	0,15	-0,79	-0,89	-0,39	-1,28	-0,64
$\tau_{1.00}$	0,09	0,37	-0,7	-0,71	-0,68	-0,76	0,19
$\tau_m$	0,07	0,32	-0,67	-0,74	-0,58	-0,77	0,15
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	-0,08	0,08	-0,57	-0,90	-0,30	-0,87	0,15
$\tau_{\max}$	0,04	0,30	-0,71	-0,61	-0,58	-0,68	0,32



Όσο μεγαλύτερος (σε απόλυτη τιμή) είναι ο μειωτικός συντελεστής  $\alpha$ , τόσο μεγαλύτερη είναι η μείωση της τάσης συνάφειας εξαιτίας του φαινομένου των άνω ράβδων. Από τον **Πίνακα 2.21** φαίνεται ότι το πιο έντονο πρόβλημα παρουσιάζεται για το μίγμα **NC-11** (μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή  $\alpha$ ). Οι μικρότερες τιμές του συντελεστή  $\alpha$  διαπιστώνονται για το μίγμα **SCC-31**, οπότε και το φαινόμενο των άνω ράβδων είναι λιγότερο έντονο.

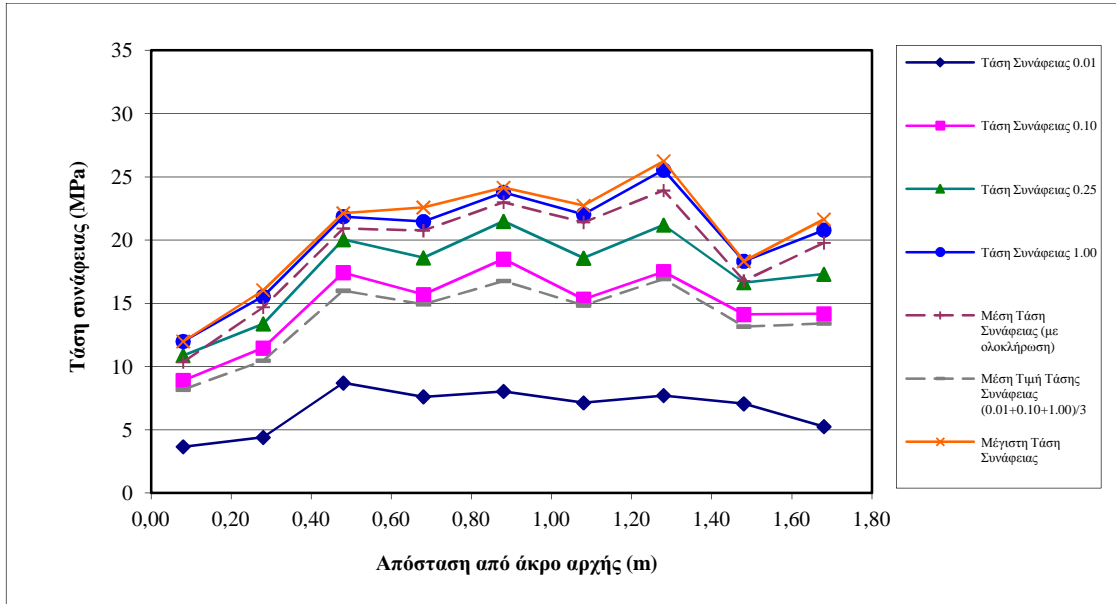
**Πίνακας 2.22** Κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια ( $\tau_0/f_{cc}^{0.5}$ ), μειωτικός συντελεστής ( $\alpha$ ) και λόγος τάσεων άνω/κάτω ράβδου ( $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$ ) για όλες τις συνθέσεις και για 3 διαφορετικά κριτήρια ( $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ).

		SCC-26	SCC-27	SCC-28	SCC-29	SCC-31	NC-11	NC-12
$\tau_m$	$\tau_0/f_{cc}^{0.5}$	2,55	2,87	3,06	3,71	2,41	4,03	2,42
	$\alpha$	0,07	0,32	-0,67	-0,74	-0,58	-0,77	0,15
	$\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$	1,02	1,13	0,71	0,68	0,75	0,67	1,06
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	$\tau_0/f_{cc}^{0.5}$	2,00	2,11	1,95	2,77	1,32	1,91	1,32
	$\alpha$	-0,08	0,08	-0,57	-0,90	-0,30	-0,87	0,15
	$\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$	0,97	1,03	0,75	0,6	0,87	0,63	1,06
$\tau_{max}$	$\tau_0/f_{cc}^{0.5}$	2,75	3,28	3,49	3,97	2,91	4,70	2,73
	$\alpha$	0,04	0,30	-0,71	-0,61	-0,58	-0,68	0,32
	$\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$	1,02	1,13	0,73	0,74	0,75	0,71	1,13

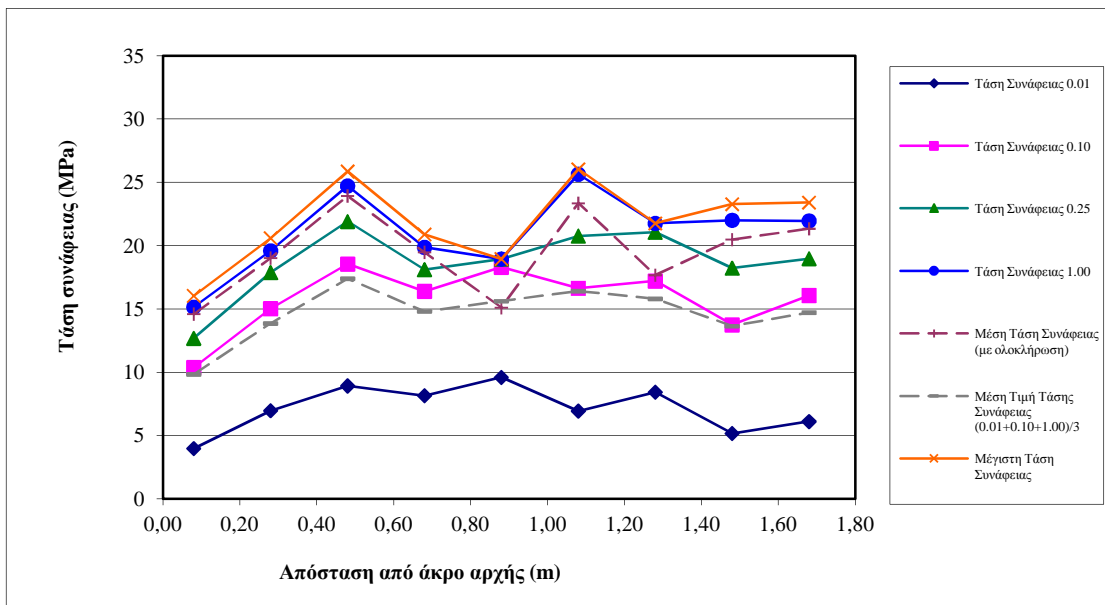
$\tau_0$ : τάση συνάφειας στη βάση του υποστυλώματος,  $\tau_{col-low}$ : τάση συνάφειας της κάτω ράβδου,  $\tau_{col-upp}$ : τάση συνάφειας της άνω ράβδου (εκτιμώμενες τιμές),  $\alpha$ : μειωτικός συντελεστής συνάφειας

Από τον **Πίνακα 2.22** προκύπτει ότι η μεγαλύτερες τιμές κανονικοποιημένης (στη ρίζα της θλιπτικής αντοχής) τάσης συνάφειας προκύπτουν για τα κριτήρια  $\tau_m$  και  $\tau_{max}$  και για τη σύνθεση **NC-11 (4.03, 4.70 αντίστοιχα)**, ενώ για το κριτήριο  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$  η μεγαλύτερη τιμή προέκυψε για τη σύνθεση **SCC-29 (2.77)**.

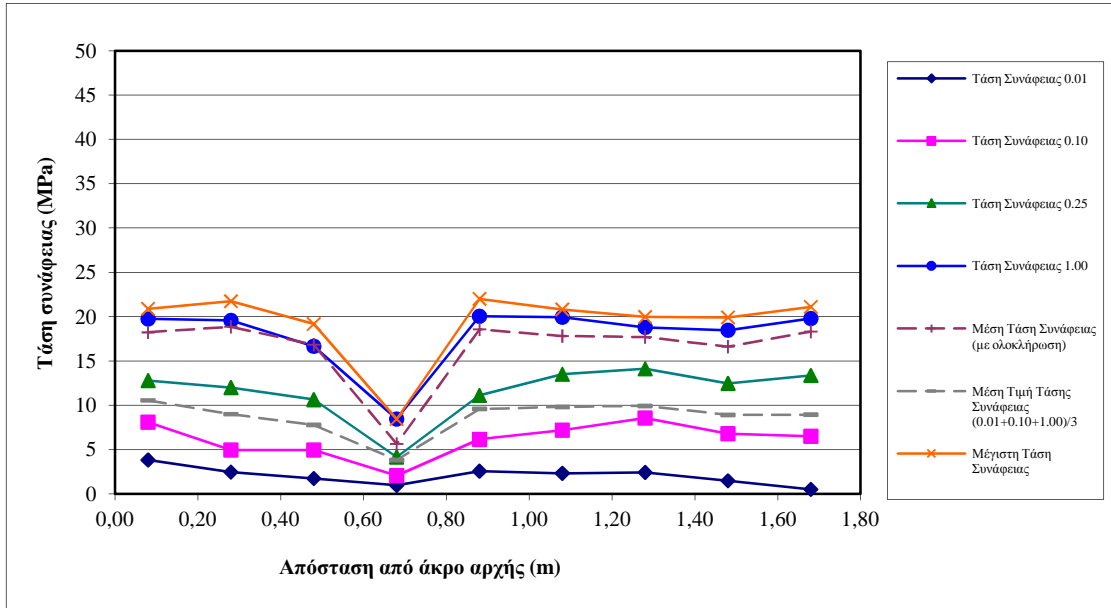
Ακολουθούν τα διαγράμματα που προέκυψαν από τις δοκιμές εξόλκευσης στα δοκίμια δοκού. Αρχικά θα παραθέσουμε τα διαγράμματα (Διάγραμμα 2.39 έως 2.45) των χαρακτηριστικών τιμών της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής.



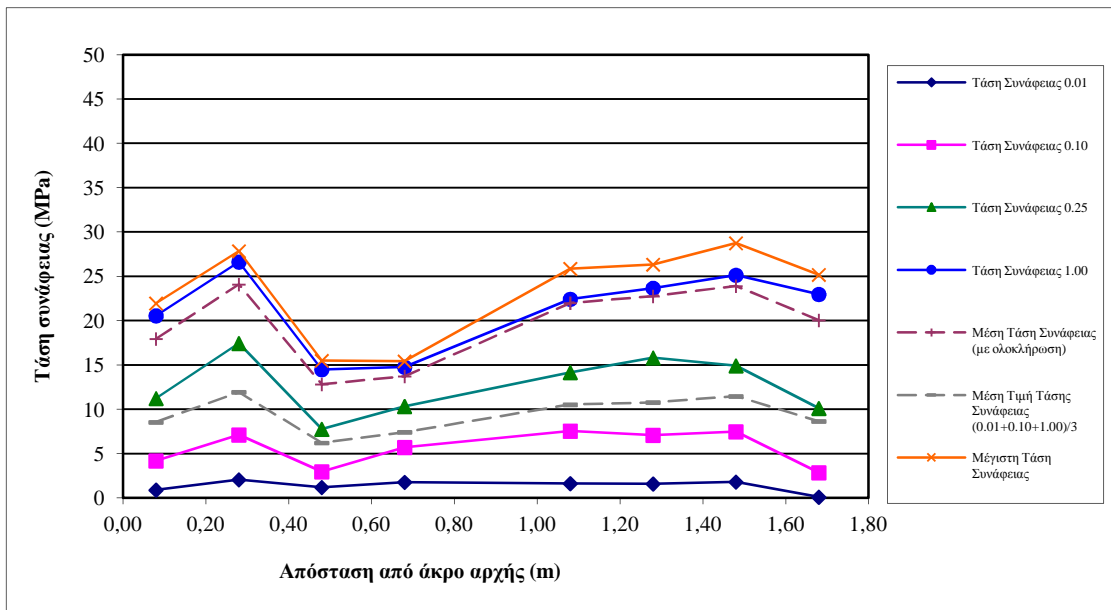
Διάγραμμα 2.39 Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (SCC-26).



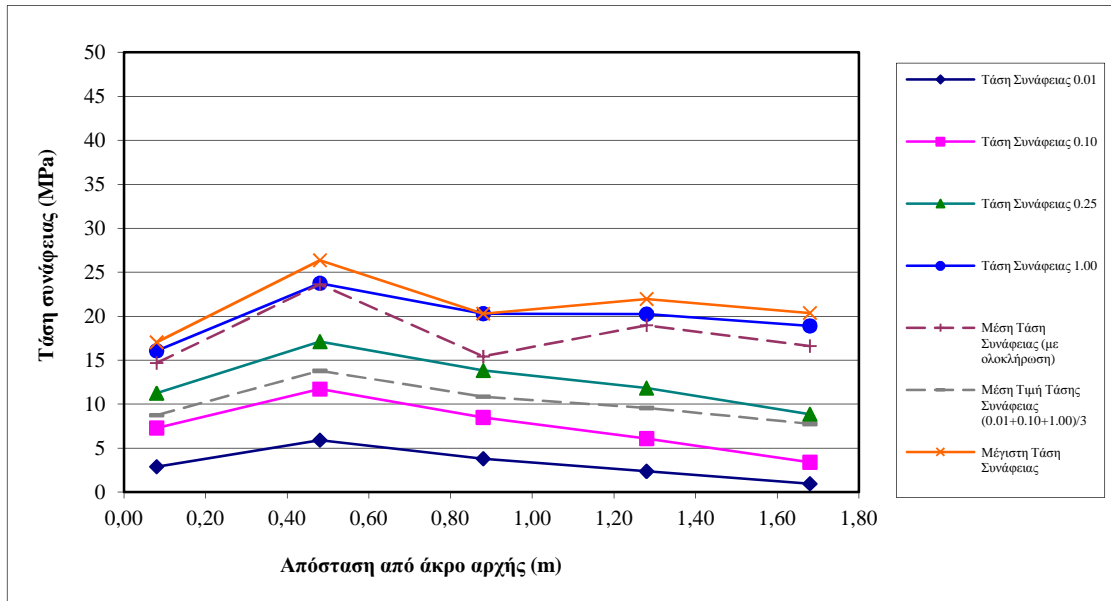
Διάγραμμα 2.40 Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (SCC-27).



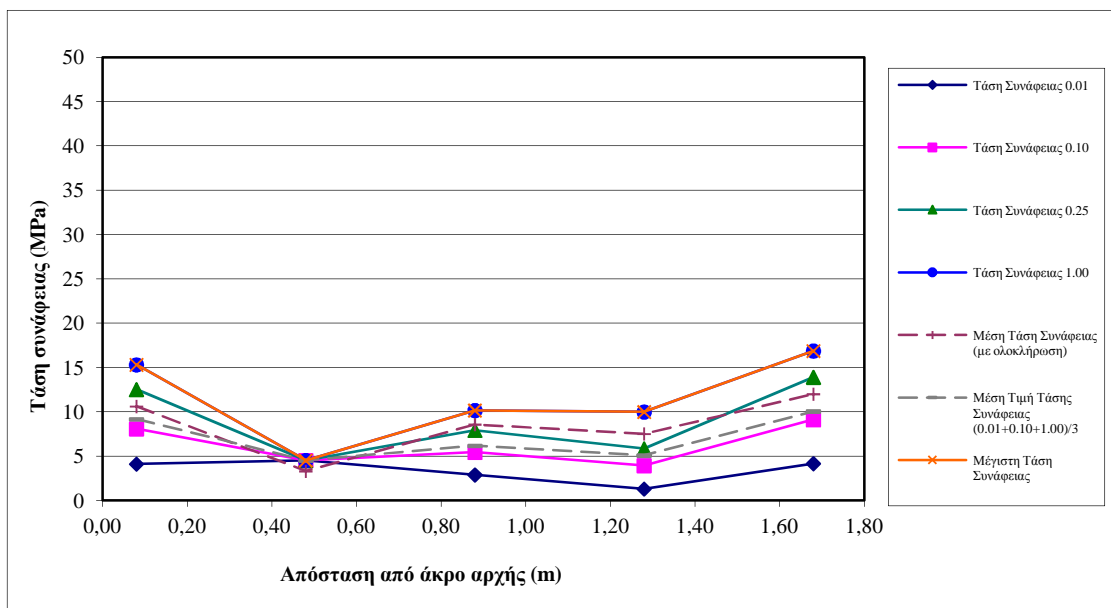
Διάγραμμα 2.41 Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (SCC-28).



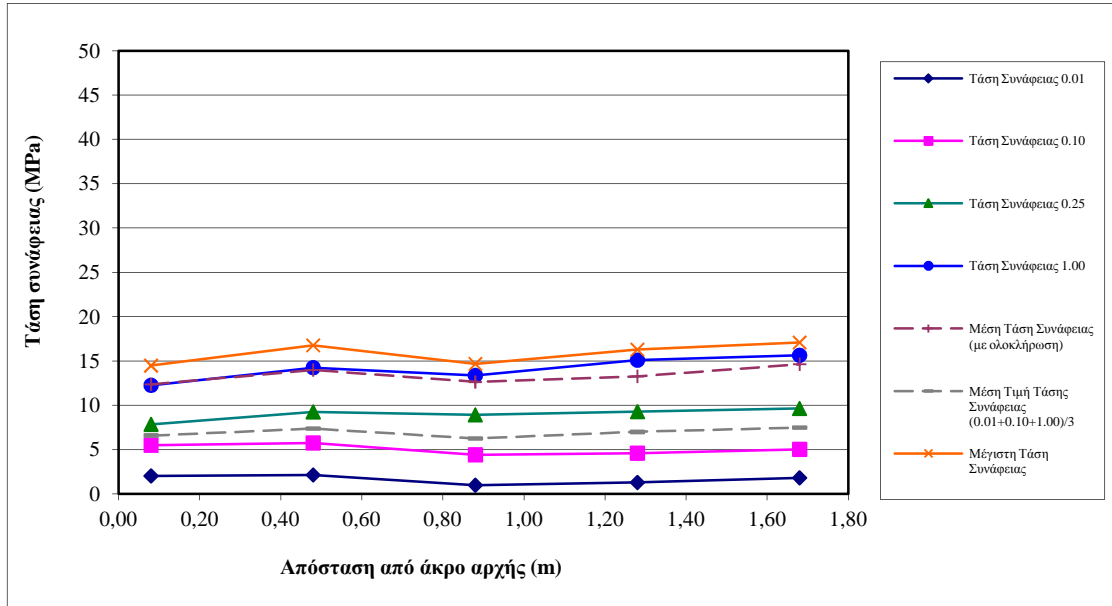
Διάγραμμα 2.42 Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (NC-11).



Διάγραμμα 2.43 Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (NC-12).

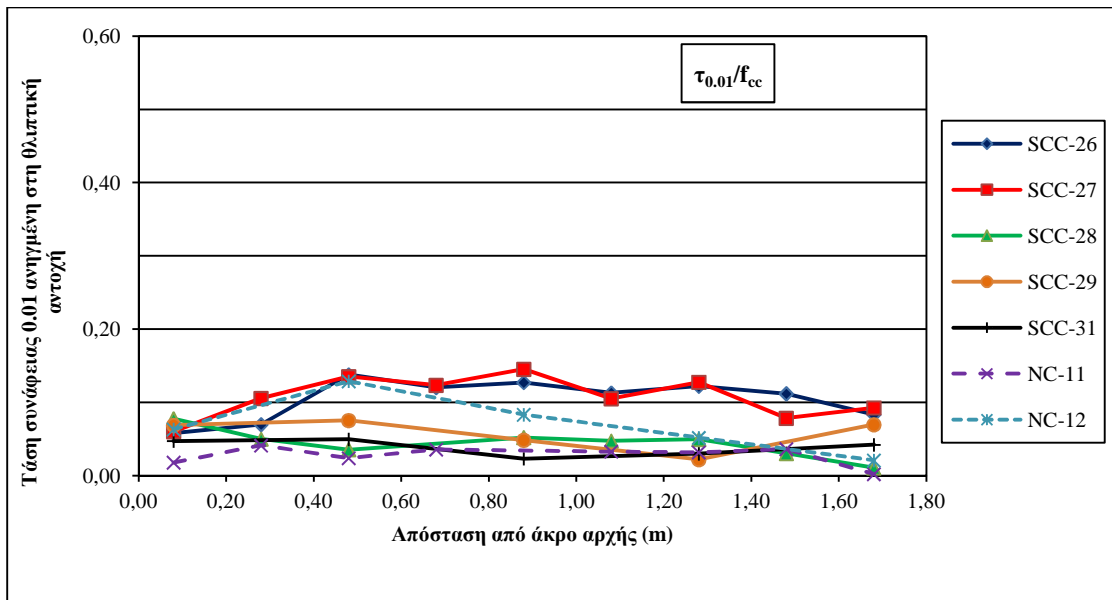


Διάγραμμα 2.44 Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (SCC-29).

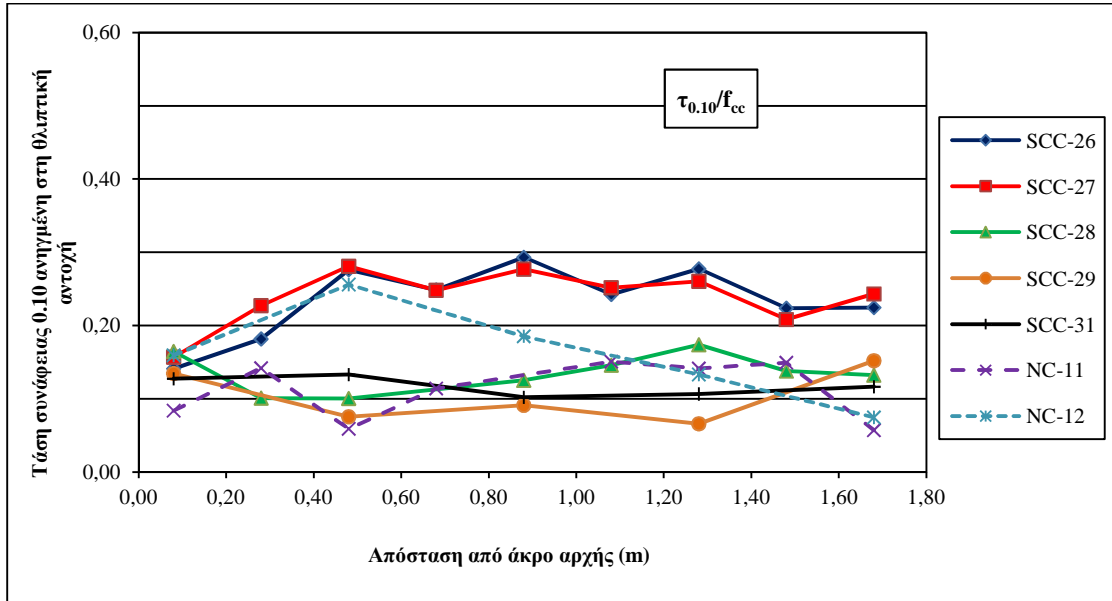


**Διάγραμμα 2.45** Χαρακτηριστικές τιμές της τάσης συνάφειας ως συνάρτηση της απόστασης από το άκρο αρχής (SCC-31).

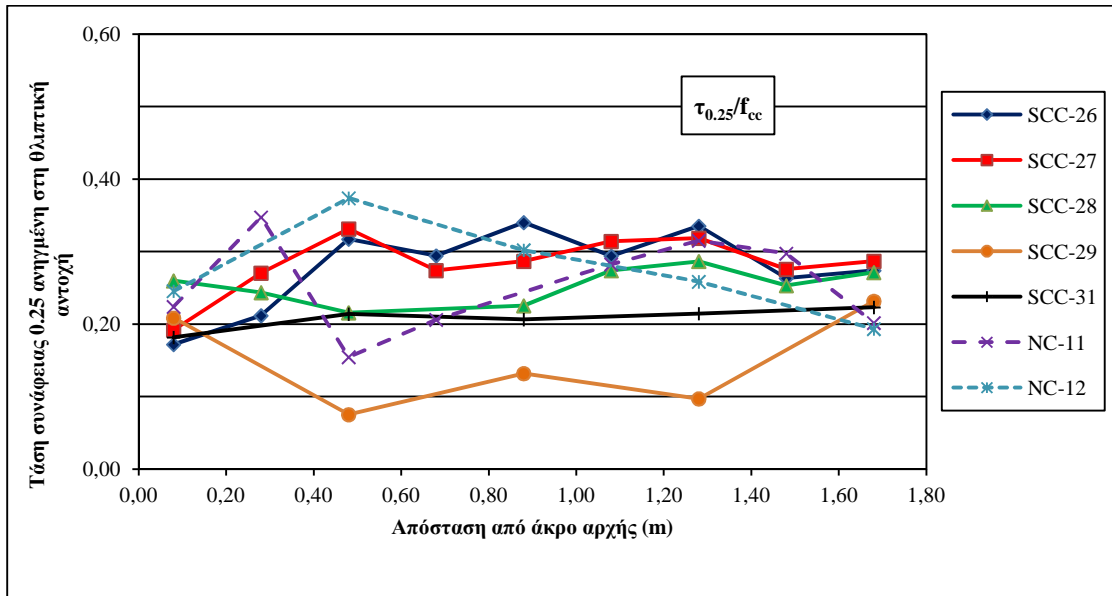
Στη συνέχεια παραθέτουμε τα διαγράμματα των χαρακτηριστικών τάσεων ανηγμένων στη θλιπτική αντοχή, συγκριτικά για όλες τις συνθέσεις (Διάγραμμα 2.46 έως 2.52).



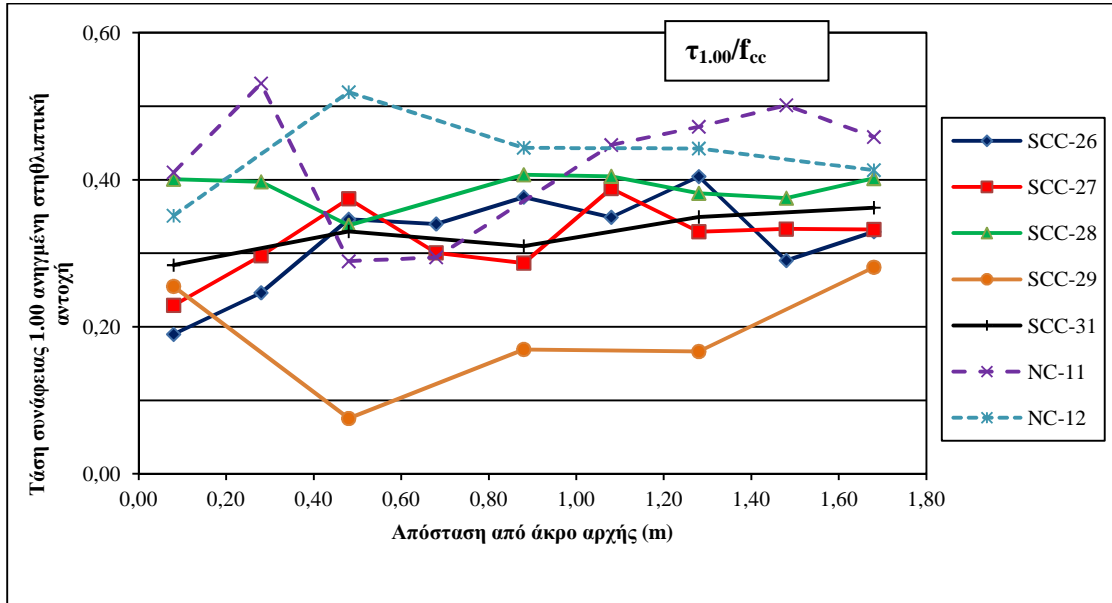
**Διάγραμμα 2.46** Τάση συνάφειας για  $s = 0.01$  ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης.



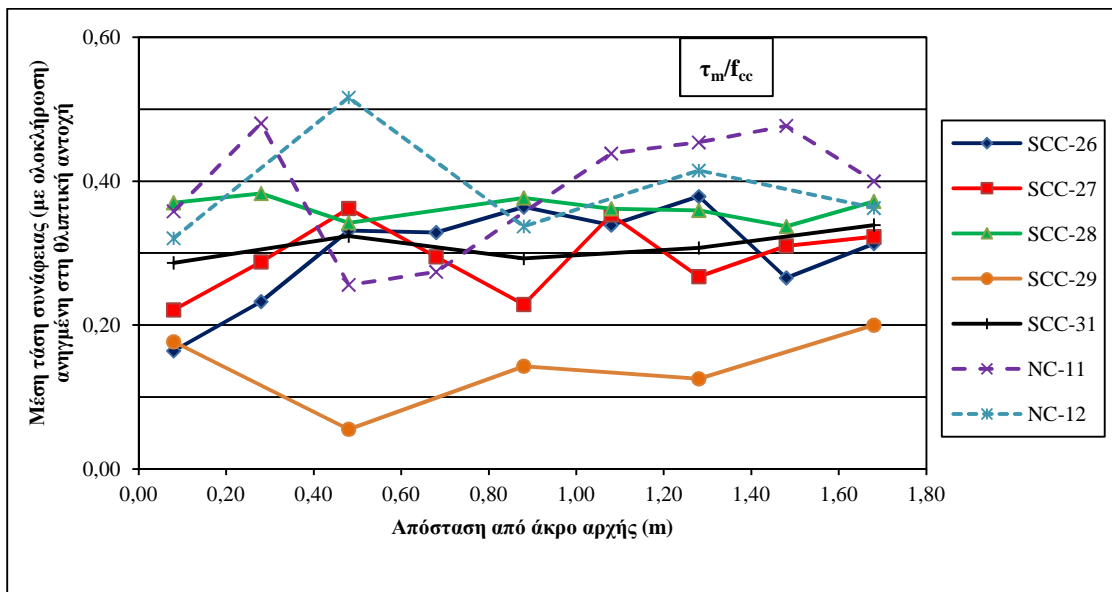
Διάγραμμα 2.47 Τάση συνάφειας για  $s = 0.10$  ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης.



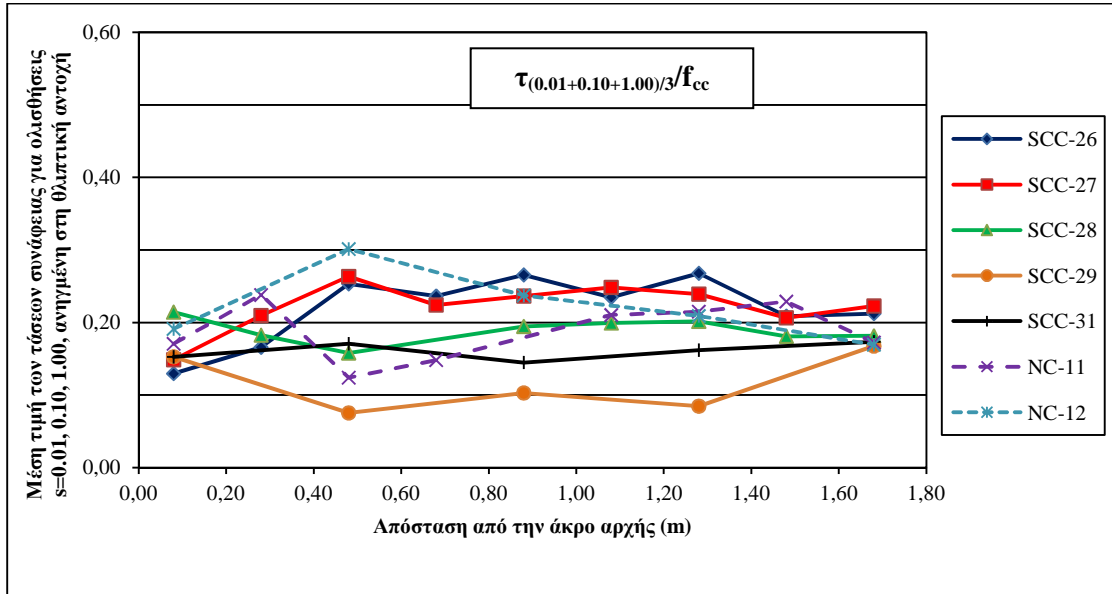
Διάγραμμα 2.48 Τάση συνάφειας για  $s = 0.25$  ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης.



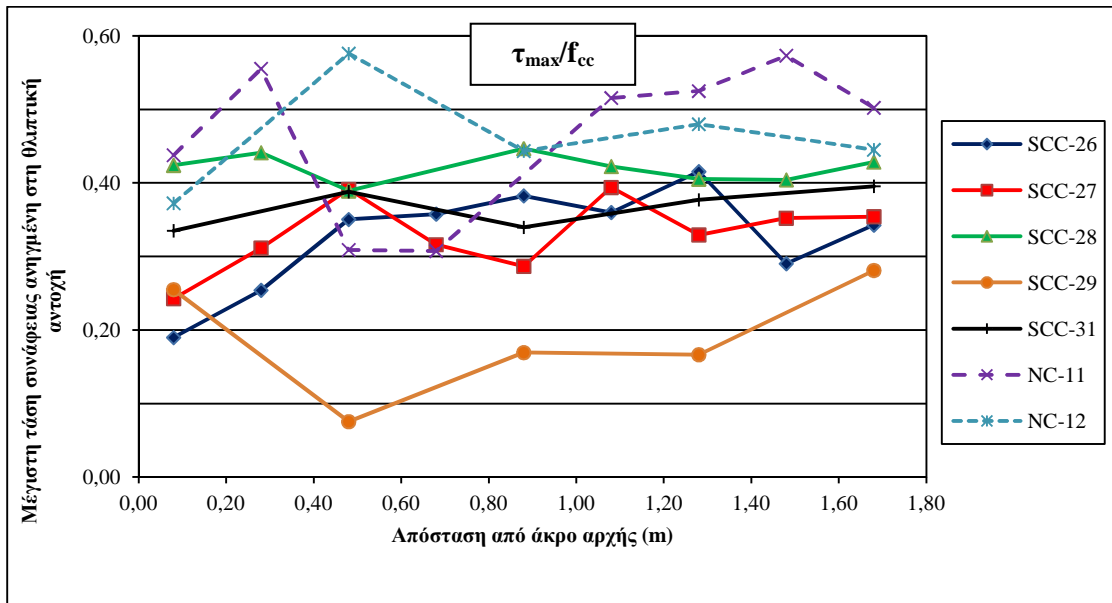
Διάγραμμα 2.49 Τάση συνάφειας για  $s = 1.00$  ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης.



Διάγραμμα 2.50 Μέση τάση συνάφειας (με ολοκλήρωση) ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης.



Διάγραμμα 2.51 Μέση τιμή τάσεων συνάφειας (για ολισθήσεις  $s=0.01, 0.10, 1.00$ ) ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης.



Διάγραμμα 2.52 Μέγιστη τάση συνάφειας ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης.

Παρατηρούμε ότι για μικρές ολισθήσεις (0.01, 0.10) μεγαλύτερες ανηγμένες τιμές συνάφειας προκύπτουν για τις συνθέσεις **SCC-26**, **SCC-27**. Για μεγαλύτερες τιμές ολισθήσεων αλλά και για την μέγιστη ανηγμένη τάση συνάφειας υπερिशύουν τα συμβατικά μίγματα **NC-11**, **NC-12**. Ακόμα σε όλα τα διαγράμματα χαμηλότερες τιμές ανηγμένης τάσης συνάφειας προκύπτουν για τη σύνθεση **SCC-29**.



Η πτώση των τάσεων συνάφειας που εμφανίζει η NC-11, φαίνεται να σχετίζεται με την αστοχία που επήλθε στη θέση της 5<sup>ης</sup> ράβδου (Εικόνα 2.10) (και της οποίας την τιμή πάντως παρεμβάλλαμε).



**Εικόνα 2.10** Τμήμα δοκιμίου δοκού έπειτα από την αστοχία (για τη σύνθεση NC-11).

Τέλος, παρατηρείται σε πολλές περιπτώσεις στα παραπάνω διαγράμματα (2.46-2.52) η παρουσία αιχμής (τοπικού μέγιστου) στις θέσεις της 2<sup>ης</sup> ή της 3<sup>ης</sup> ράβδου σε σχέση με τις χαμηλές τιμές της τάσης συνάφειας στη θέση της 1<sup>ης</sup> ράβδου (και κυρίως για τις μεγάλες τιμές ολισθήσεων). Η παρατήρηση αυτή είναι σημαντική, αφού στόχος της παρούσας διπλωματικής αποτελεί η διερεύνηση της ύπαρξης μιας συστηματικής μεταβολής των τάσεων συνάφειας κατά μήκος του δοκιμίου δοκού.

## 2.4. Σχολιασμός – Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

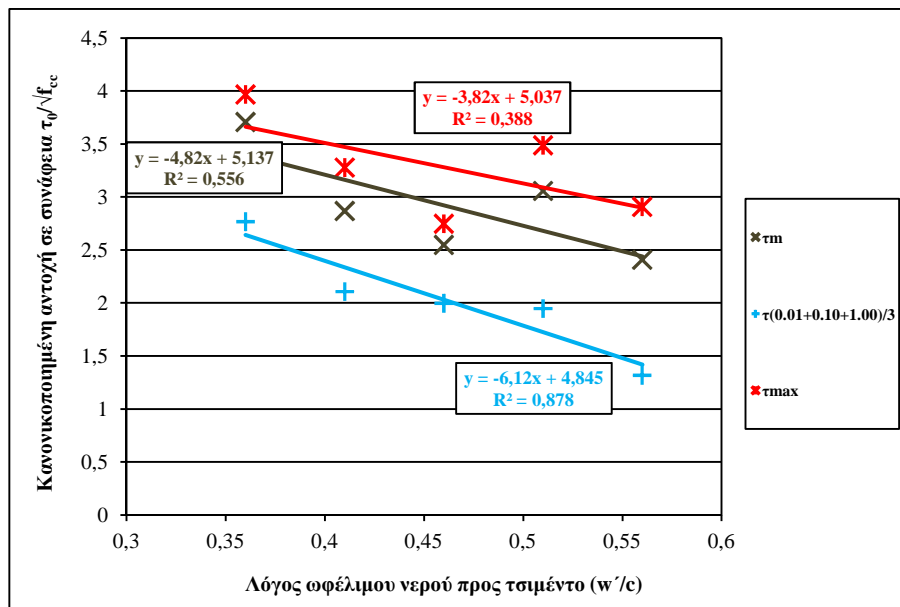
Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στη προηγούμενη παράγραφο, σε συνάρτηση με τα δεδομένα των συνθέσεων που παρασκευάσαμε στο εργαστήριο, αναφορικά με την αντοχή σε συνάφεια, το πρόβλημα των άνω οπλισμών καθώς και τη κατά μήκος μεταβολή της τάσης συνάφειας στα δοκίμια δοκού.

Στον Πίνακα 2.23 παρουσιάζονται οι κανονικοποιημένες αντοχές συνάφειας στη θεωρητική τιμή της βάσης για τα μίγματα ΑΣΣ, καθώς επίσης η περιεκτικότητα σε υπερρευστοποιητή και ο λόγος ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο για κάθε σύνθεση. Παρατηρούμε ότι η προσθήκη υπερρευστοποιητή αντί νερού έχει ως συνέπεια την αύξηση της κανονικοποιημένης αντοχής σε συνάφεια.

Πίνακα 2.23 Σύγκριση των μιγμάτων ΑΣΣ όσον αφορά τη κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια  $\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$ .

		SCC-29	SCC-27	SCC-26	SCC-28	SCC-31
SP/c	C347	3,33%	2,55%	1,99%	1,09%	0,90%
	w'/c	0,36	0,41	0,46	0,51	0,56
$\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$	$\tau_m$	3,71	2,87	2,55	3,06	2,41
	$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	2,77	2,11	2,00	1,95	1,32
	$\tau_{max}$	3,97	3,28	2,75	3,49	2,91

SP: υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα (C347: BASF Glenium), w'/c: λόγος ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο,  $\tau_0$ : εκτιμώμενη τάση συνάφειας στη βάση του υποστυλώματος



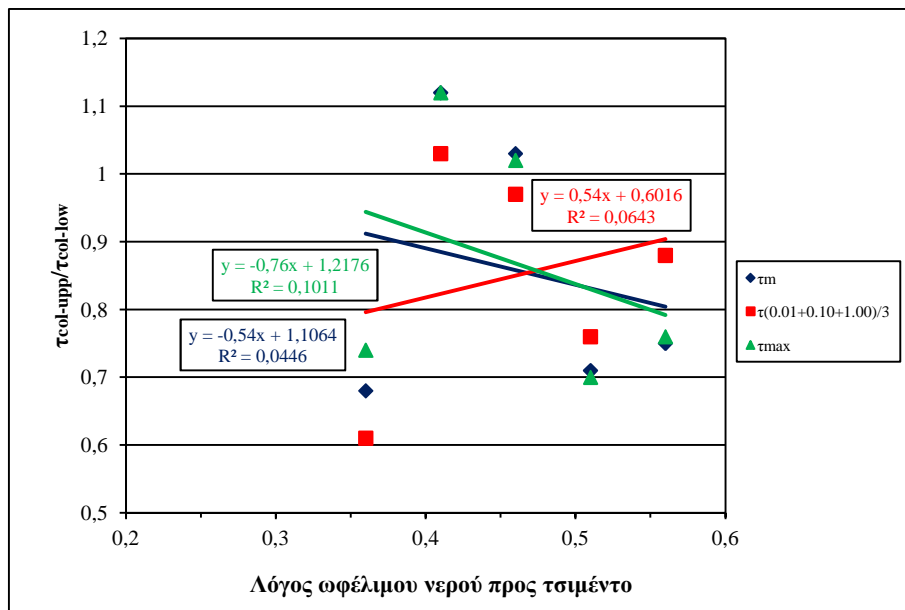
Διάγραμμα 2.53 Μεταβολή της κανονικοποιημένης αντοχής σε συνάφεια ( $\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$ ) συναρτήσει του λόγου του ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο για τα μίγματα ΑΣΣ.

Στον **Πίνακα 2.24** παρατίθενται συγκεντρωτικά οι λόγοι άνω/κάτω ράβδου για τα μίγματα ΑΣΣ όπως επίσης οι περιεκτικότητες σε υπερρευστοποιητή (SP/c) και οι λόγοι ωφέλιμου νερού/τσιμέντο ( $w'/c$ ) που αντιστοιχούν στα μίγματα αυτά. Στο **Διάγραμμα 2.54** αναπαριστώνται γραφικά τα δεδομένα του **Πίνακα 2.20**. Παρατηρούμε τους μικρούς συντελεστές προσαρμογής ( $R^2$ ) των ευθειών των ελαχίστων τετραγώνων αλλά και τη γενικότερη διασπορά των δεδομένων που μας εμποδίζει να αποφανθούμε αναφορικά με τη συσχέτιση του λόγου άνω/κάτω ράβδου και του  $w'/c$ .

**Πίνακα 2.24** Σύγκριση των μιγμάτων ΑΣΣ όσον αφορά το λόγο  $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$ .

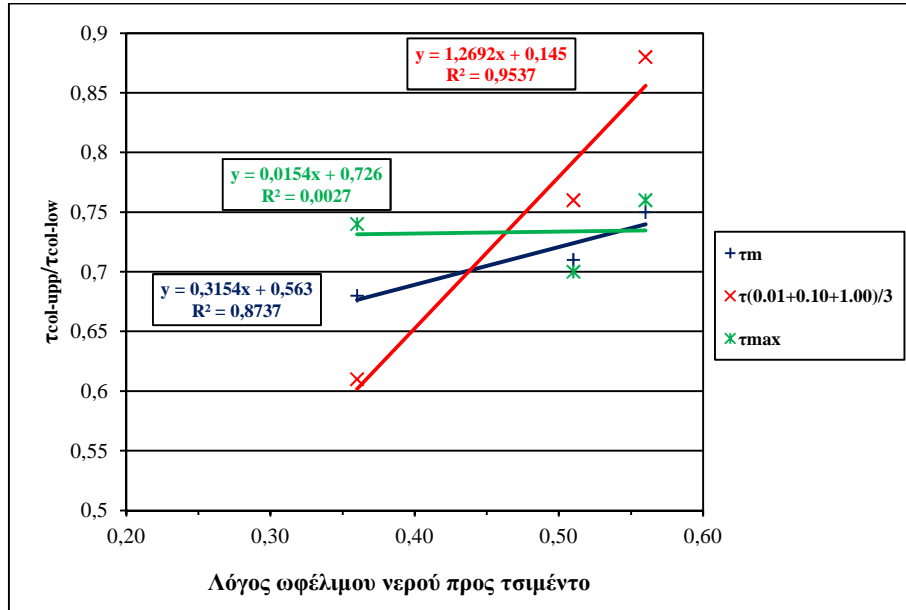
		SCC-29	SCC-27	SCC-26	SCC-28	SCC-31
SP/c	C347	3,33%	2,55%	1,99%	1,09%	0,90%
	$w'/c$	0,36	0,41	0,46	0,51	0,56
$\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$	$\tau_m$	0,68	1,12	1,03	0,71	0,75
	$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	0,61	1,03	0,97	0,76	0,88
	$\tau_{max}$	0,74	1,12	1,02	0,70	0,76

SP: υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα (C347: BASF Glenium),  $w'/c$ : λόγος ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο,  $\tau_{col-low}$ : τάση συνάφειας της κάτω ράβδου,  $\tau_{col-upp}$ : τάση συνάφειας της άνω ράβδου (εκτιμώμενες τιμές)



**Διάγραμμα 2.54** Μεταβολή του λόγου  $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$  συναρτήσει του λόγου του ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο για τα μίγματα ΑΣΣ.

Αναλύοντας το φαινόμενο των άνω οπλισμών για τα αυτοσυμπκνούμενα μίγματα και συγκρίνοντας αυτή τη φορά τις συνθέσεις **SCC-29**, **SCC-28** και **SCC-31** που παρουσίασαν μείωση της τάσης συνάφειας καθ' ύψος του δοκιμίου υποστρώματος, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η αύξηση του λόγου  $w'/c$  είχε ως συνέπεια την εμφάνιση λιγότερο έντονου προβλήματος των άνω ράβδων, αφού όπως παρατηρείται στο **Διάγραμμα 2.55** αυξάνεται ο λόγος της τάσης της άνω ράβδου προς αυτήν της κάτω ράβδου ( $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$ ). Πάντως αναφορικά με την περίπτωση της μεταβολής καθ' ύψος των μέγιστων τάσεων συνάφειας, το φαινόμενο παρουσιάζεται με την ίδια ένταση και για τα 3 μίγματα.



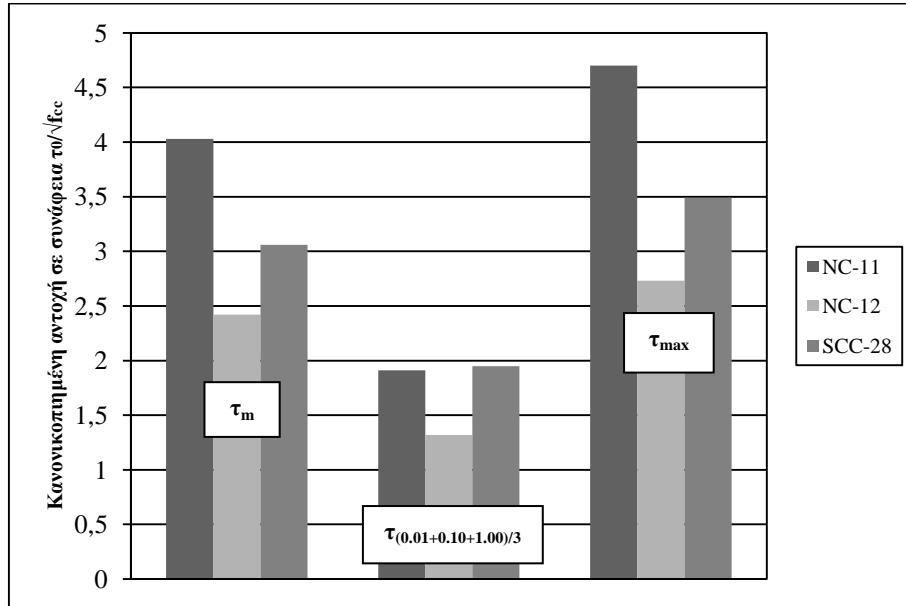
**Διάγραμμα 2.55** Μεταβολή του λόγου  $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$  συναρτήσει του λόγου του ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο για τα μίγματα SCC-29, SCC-28 και SCC-31.

Η σύγκριση των συμβατικών μιγμάτων NC-11, NC-12 μεταξύ τους αλλά και με το μίγμα SCC-28 (Πίνακας 2.25) που είχε τον ίδιο λόγο ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο με τα ΣΣ οδηγεί στα ακόλουθα συμπεράσματα. Η προσθήκη μιας μικρής ποσότητας υπερρευστοποιητή στο NC-12 σε σχέση με το NC-11 έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της κανονικοποιημένης αντοχής σε συνάφεια. Επίσης το NC-12 παρουσιάζει αύξηση των τάσεων συνάφειας καθ' ύψος του δοκιμίου (που όμως έχει ήδη σχολιαστεί). Το SCC-28 παρουσιάζει ενδιάμεσες τιμές κανονικοποιημένης αντοχής σε συνάφεια σε σχέση με τα ΣΣ όπως επίσης και τιμές των λόγων της τάσης άνω ράβδου/κάτω ράβδου ( $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$ ) αυξημένες σε σχέση με το NC-11.

**Πίνακα 2.25** Σύγκριση των μιγμάτων NC-11, NC-12 και SCC-28 όσον αφορά τη κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια  $\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$  και το λόγο  $\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$ .

		NC-11	NC-12	SCC-28
SP/c	C347	0,00%	0,25%	1,09%
	w'/c	0,51	0,51	0,51
$\tau_{col-upp}/\tau_{col-low}$	$\tau_m$	0,67	1,06	0,71
	$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	0,62	1,06	0,75
	$\tau_{max}$	0,71	1,12	0,73
$\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$	$\tau_m$	4,03	2,42	3,06
	$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	1,91	1,32	1,95
	$\tau_{max}$	4,70	2,73	3,49

SP: υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα (C347: BASF Glenium), w'/c: λόγος ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο,  $\tau_{col-low}$ : τάση συνάφειας της κάτω ράβδου,  $\tau_{col-upp}$ : τάση συνάφειας της άνω ράβδου (εκτιμώμενες τιμές),  $\tau_0$ : τάση συνάφειας στη βάση του υποστρώματος



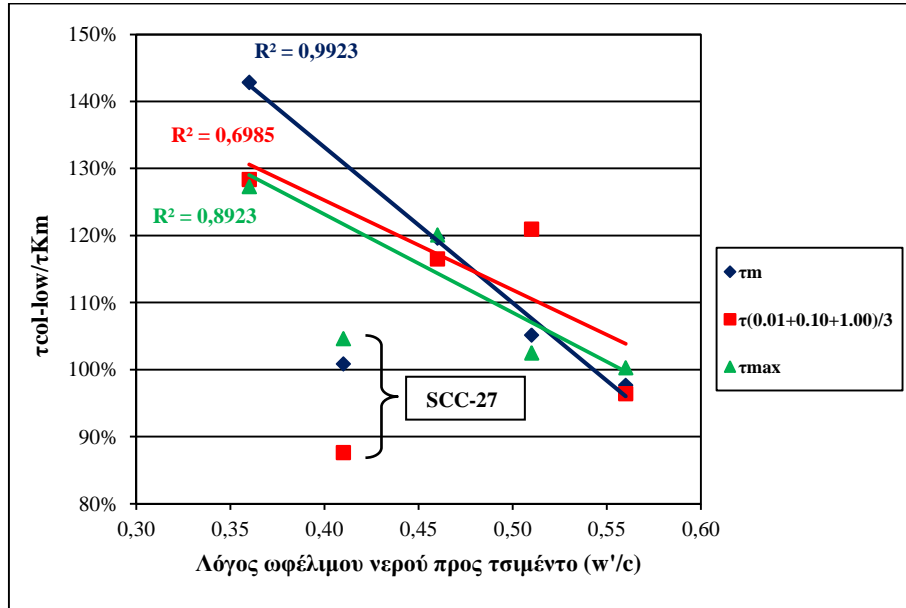
Διάγραμμα 2.56 Σύγκριση κανονικοποιημένων ( $\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$ ) αντοχών σε συνάφεια για τα μίγματα NC-11, NC-12 και SCC-28.

Αναφορικά με την επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος στη τάση συνάφειας των κάτω ράβδων του υποστρώματος, προκύπτει ότι η αύξηση του λόγου του ωφέλιμου νερού προς το τσιμέντο ( $w'/c$ ) συνεπάγεται τη μείωση της απόκλισης μεταξύ της τάσης συνάφειας της μέσης τιμής των κύβων ( $K_m$ ) και της κάτω ράβδου του υποστρώματος για την ίδια σύνθεση.

Πιο συγκεκριμένα το υπερκείμενο πάχος σκυροδέματος στα κυβικά δοκίμια είναι 100mm ενώ το αντίστοιχο στα υποστρώματα από τη θέση της κάτω ράβδου είναι 500mm. Το υποκείμενο πάχος είναι και στις δύο περιπτώσεις το ίδιο (100mm), όπως επίσης και οι διαστάσεις της βάσης (200mm × 200mm). Σχολιάζοντας τις τιμές του Πίνακα 2.26, επισημαίνουμε ότι στην σύνθεση SCC-29 (της οποίας ο λόγος ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο ( $w'/c$ ) είναι ίσος με 0.36, ενώ η περιεκτικότητα σε υπερρευστοποιητή είναι  $SP/c = 3.34\%$ ) φαίνεται να παρουσιάζεται η μεγαλύτερη αύξηση της τάσης συνάφειας της κάτω ράβδου του στύλου σε σχέση με το κύβο  $K_m$  και η οποία είναι περίπου σταθερή κατά 28% για όλες τις χαρακτηριστικές ολισθήσεις αλλά και για τη μέγιστη τάση συνάφειας.

Πίνακας 2.26 Επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος ( $\tau_{col-low}/\tau_{K_m}$  (%)) στην τάση της κάτω ράβδου του υποστρώματος.

	SCC-26	SCC-27	SCC-28	SCC-29	SCC-31	NC-11	NC-12
τ <sub>0.01</sub>	124%	74%	120%	128%	66%	30%	64%
τ <sub>0.10</sub>	110%	83%	147%	127%	90%	95%	86%
τ <sub>0.25</sub>	114%	87%	129%	129%	105%	118%	93%
τ <sub>1.00</sub>	119%	96%	110%	129%	105%	118%	89%
τ <sub>m</sub>	120%	101%	105%	143%	98%	121%	91%
τ <sub>(0.01+0.10+1.00)/3</sub>	117%	88%	121%	128%	96%	103%	86%
τ <sub>max</sub>	120%	105%	102%	127%	100%	123%	89%



**Διάγραμμα 2.57** Μεταβολή του λόγου  $\tau_{col-low}/\tau_{K_m}$  (%) συναρτήσει του λόγου του ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο για τα μίγματα ΑΣΣ.

Στο **Διάγραμμα 2.57**, και για την κατασκευή των ευθειών ελαχίστων τετραγώνων δεν έχουμε συμπεριλάβει τις μετρήσεις για τη σύνθεση **SCC-27** μιας και αυτές αποκλίνουν σημαντικά από εκείνες που αντιστοιχούν στις υπόλοιπες συνθέσεις.

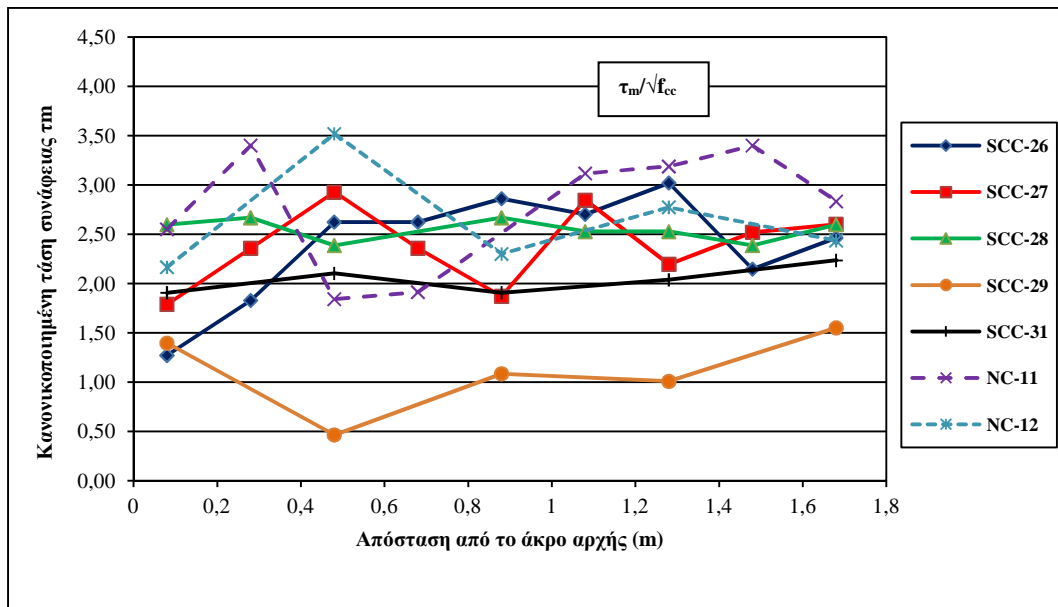
Τέλος, (όπως έχουμε ήδη αναφέρει) οι χαμηλές τιμές του λόγου  $\tau_{col-low}/\tau_{K_m}$  (%) για τη σύνθεση **NC-12** ενδεχομένως να οφείλονται σε ατελή συμπίκνωση κατά τη σκυροδέτηση

Στη συνέχεια ακολουθεί η αξιολόγηση των μετρήσεων που προέκυψαν για τα δοκίμια δοκού που σκυροδετήσαμε.

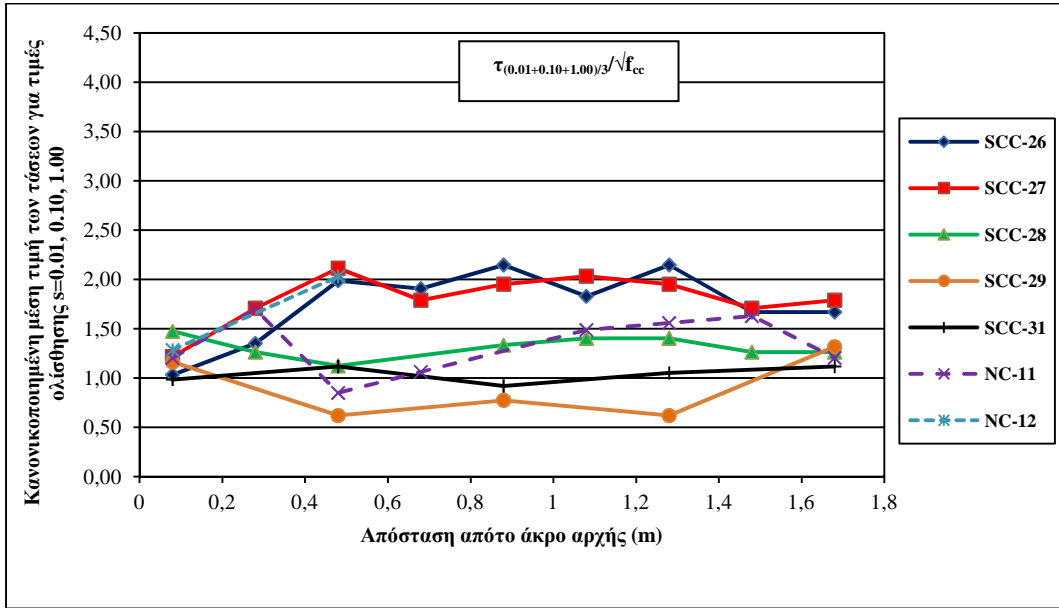
Θεωρητικά θα αναμέναμε έως ένα βαθμό, μία προοδευτική μείωση των τάσεων συνάφειας κατά μήκος της δοκού και όσο απομακρυνόμαστε από την παρειά έναρξης της σκυροδέτησης. Οι αιτίες μιας τέτοιας μείωσης θα μπορούσαν να είναι (**α**) το μειούμενο πάχος επικάλυψης των ράβδων εξαιτίας της ύπαρξης καθοδικής κλίσης της ελεύθερης επιφάνειας των δοκιμίων από ΑΣΣ (Thrane et al. 2010) και (**β**) η ενδεχομένως έντονη διαφοροποίηση ως προς την ομοιογένεια του υλικού κατά μήκος της δοκού (που δημιουργείται για παράδειγμα λόγω εμπλοκής των χονδρόκοκκων αδρανών στις ράβδους οπλισμού).

Αναφορικά με το πάχος επικάλυψης των ράβδων για τα δοκίμια που σκυροδετήσαμε αυτό ήταν με μεγάλη προσέγγιση σταθερό σε όλη την έκταση των δοκιμίων και ίσο με 100mm, ενώ όσον αφορά το θέμα της ομοιογένειας, από τους εργαστηριακούς ελέγχους νωπού σκυροδέματος (δοκιμή εξάπλωσης, δοκιμή δοχείου L) προέκυψαν μετρήσεις που υποδεικνύουν την αυξημένη ρευστότητα και διελευσιμότητα των μιγμάτων ΑΣΣ που παρασκευάσαμε.

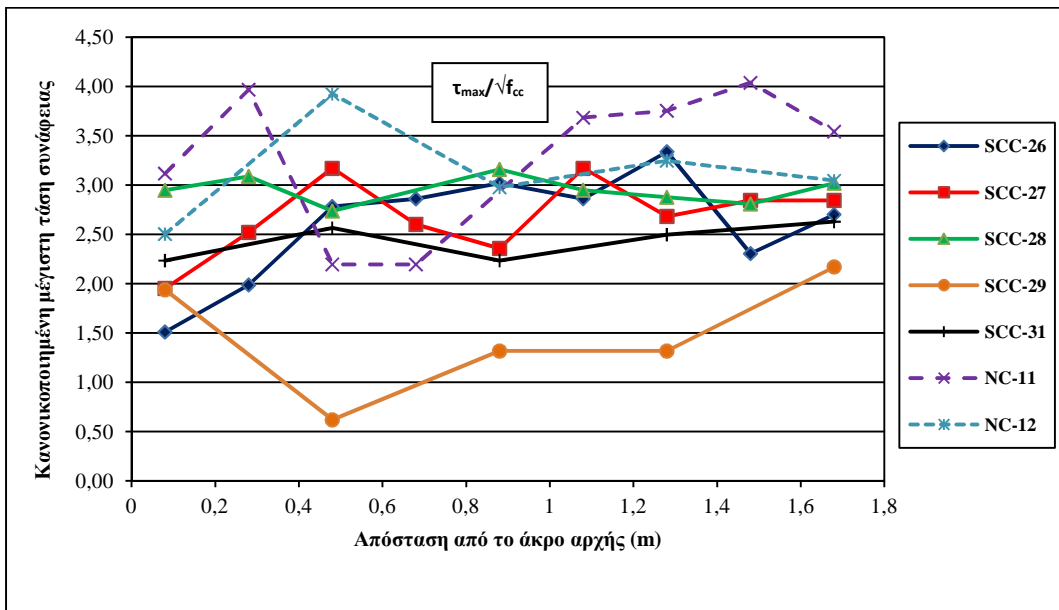
Από τα δεδομένα των δοκιμών εξόλκευσης για τα δοκίμια δοκού κατασκευάστηκαν τα Διαγράμματα 2.39 έως 2.52 που παρατίθενται παραπάνω, όπως επίσης και τα Διαγράμματα 2.61 έως 2.63 της κανονικοποιημένης (ως προς τη ρίζα της θλιπτικής αντοχής) τάσης συνάφειας (για τις  $\tau_{max}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ) συναρτήσει της απόστασης της ράβδου από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης, που έπονται.



Διάγραμμα 2.58 Κανονικοποιημένη μέση τάση συνάφειας (με ολοκλήρωση) των ράβδων της δοκού συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής.



**Διάγραμμα 2.59** Μέση τιμή των κανονικοποιημένων τάσεων συνάφειας (για ολισθήσεις  $s=0.01, 0.10, 1.00$ ) των ράβδων της δοκού συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής.



**Διάγραμμα 2.60** Κανονικοποιημένη μέγιστη τάση συνάφειας ( $\tau_{max}/\sqrt{f_{cc}}$ ) των ράβδων της δοκού συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής.

Η επαλήθευση ή όχι μίας συστηματικής μεταβολής με τη θέση, των τάσεων συνάφειας των ράβδων των δοκών, αποδείχτηκε μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία, λόγω της κατάλληλης επιλογής του κριτηρίου με το οποίο θα γινόταν μια τέτοιου είδους αξιολόγηση. Επιλέχθηκαν ο λόγος της μέσης τιμής των τάσεων συνάφειας όλων των ράβδων ( $\Delta m$ ) της εκάστοτε δοκού προς τη τάση συνάφειας της πρώτης ράβδου ( $\Delta 1$ ) καθώς και η κλίση της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων ( $a$ ) που παρεμβάλλει τις τιμές των τάσεων συνάφειας των ράβδων της δοκού.



Οι τιμές της κανονικοποιημένης τάσης συνάφειας για την πρώτη ράβδο κάθε δοκού και για τη μέση τιμή των ράβδων, η τυπική απόκλιση, ο συντελεστής μεταβλητότητας για της μετρήσεις όλων των ράβδων, οι λόγοι  $\Delta m/\Delta I$  (%) για κάθε τάση συνάφειας που έχουμε επιλέξει ως κριτήριο ελέγχου και για όλες τις συνθέσεις ΑΣΣ, αλλά και οι κλίσεις **a** των ευθειών ελαχίστων τετραγώνων (και οι συντελεστές προσαρμογής  $R^2$ ) παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2.27**.

**Πίνακας 2.27** Κανονικοποιημένες τάσεις ( $\tau_m/f_{cc}$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)}/3/f_{cc}$ ,  $\tau_{max}/f_{cc}$ ) συνάφειας για την πρώτη ράβδο ( $\Delta I$ ) της δοκού και για τη μέση τιμή των ράβδων ( $\Delta m$ ), λόγος  $\Delta m/\Delta I$  (%), τυπική απόκλιση και συντελεστής μεταβλητότητας **COV** (%) όλων των ράβδων της δοκού, κλίσεις **a** των ευθειών ελαχίστων τετραγώνων και συντελεστές προσαρμογής  $R^2$  (επισημαίνεται ότι ο πίνακας αφορά τα ΑΣΣ μίγματα).

		SCC-26	SCC-27	SCC-28	SCC-29	SCC-31
$\tau_m$	$\Delta I$	1,27	1,79	2,60	1,40	1,91
	$\Delta m$	2,39	2,38	2,54	1,10	2,04
	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0,55	0,39	0,11	0,42	0,14
	COV (%)	23%	16%	4%	38%	7%
	$\Delta m/\Delta I$ (%)	188%	133%	98%	79%	107%
	<b>a</b>	0,549	0,230	-0,049	0,213	0,147
	$R^2$	0,295	0,103	0,066	0,103	0,45
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)}/3$	$\Delta I$	1,03	1,22	1,47	1,16	0,99
	$\Delta m$	1,75	1,81	1,32	0,90	1,04
	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0,37	0,26	0,11	0,32	0,09
	COV (%)	21%	14%	8%	36%	9%
	$\Delta m/\Delta I$ (%)	170%	148%	90%	78%	105%
	<b>a</b>	0,311	0,182	-0,016	0,077	0,049
	$R^2$	0,214	0,145	0,007	0,023	0,132
$\tau_{max}$	$\Delta I$	1,51	1,95	2,95	1,94	2,23
	$\Delta m$	2,60	2,68	2,95	1,47	2,43
	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0,56	0,39	0,14	0,61	0,19
	COV (%)	22%	15%	5%	41%	8%
	$\Delta m/\Delta I$ (%)	172%	137%	100%	76%	109%
	<b>a</b>	0,569	0,345	-0,023	0,290	0,186
	$R^2$	0,305	0,238	0,009	0,091	0,378

Παρατηρούμε ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων οι τάσεις της πρώτης ράβδου  $\Delta I$  είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες μέσες τιμές  $\Delta m$ . Ακόμα έχουμε ήδη διαπιστώσει τη παρουσία ενός τοπικού μέγιστου αναφορικά με τις τάσεις, στη θέση της 2<sup>ης</sup> ή της 3<sup>ης</sup> ράβδου. Τέθηκε λοιπόν ο προβληματισμός για το αν οι τιμές  $\Delta I$  πρέπει να είναι εκείνες οι ράβδοι ως προς τις οποίες θα γίνει η αξιολόγηση μίας μεταβολής των τάσεων συνάφειας κατά μήκος του δοκιμίου και αν τελικά θα έπρεπε να περιληφθούν στα διαγράμματα αποτελώντας απλώς μια φυσιολογική απόκλιση που οφείλεται στο μικρό αριθμό δοκιμίων που εξετάζουμε, ή να αποκλειστούν από την αξιολόγηση εφόσον αποδειχθεί ότι επηρεάστηκαν από κάποιο

αστάθμητο εργαστηριακό παράγοντα (π.χ. εγκλωβισμός αέρα στη περιοχή έγχυσης του υλικού στο ξυλότυπο που θα μείωνε τις τάσεις συνάφειας στην περιοχή αυτή).

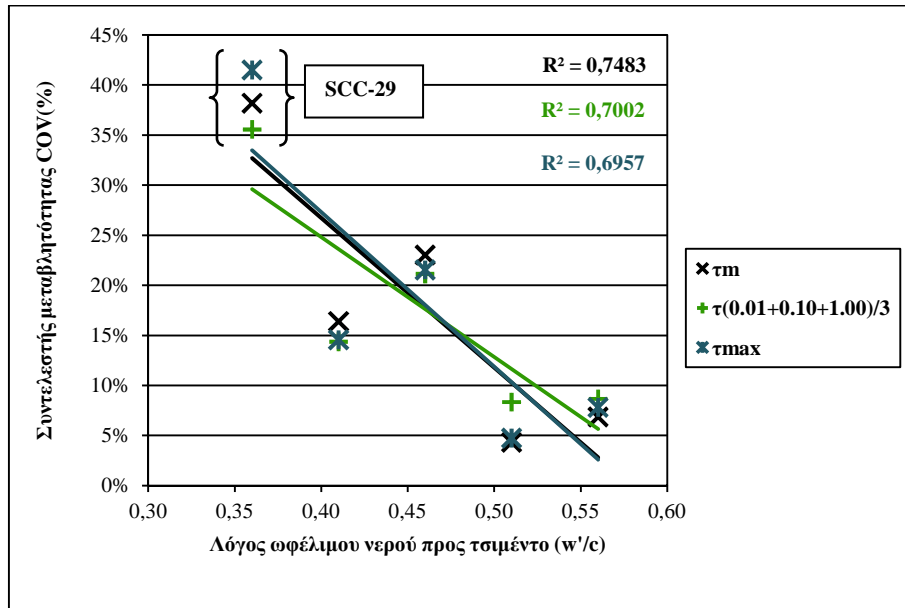
Από τον Πίνακα 2.27 παρατηρούμε ότι τις μεγαλύτερες αποκλίσεις από τη μέση τιμή παρουσιάζουν οι πρώτες ράβδοι των συνθέσεων **SCC-26** και **SCC-27**, οπότε και αυτές ενδεχομένως να παραλειφθούν κατά την αξιολόγηση. Η απόρριψη αυτών των μετρήσεων οδηγεί σε μικρότερους συντελεστές μεταβλητότητας (Πίνακας 2.28) κάτι που δικαιολογεί έως ένα βαθμό την επιλογή μας. Πάντως, και η 2<sup>η</sup> ράβδος των δοκών αυτών παρουσιάζει τάσεις συνάφειας μικρότερες της μέσης τιμής των εναπομεινάντων ράβδων (σε μεγαλύτερο βαθμό για την SCC-26), κάτι που υποδεικνύει αύξηση των τάσεων συνάφειας κατά μήκος του δοκιμίου (ως προς τη 2<sup>η</sup> ράβδο).

**Πίνακας 2.28** Συντελεστές μεταβλητότητας των κανονικοποιημένων τάσεων των ράβδων των δοκών για τις συνθέσεις **SCC-26** και **SCC-27**, έπειτα από την απόρριψη των μετρήσεων για τις πρώτες ράβδους.

		<b>SCC-26</b>	<b>SCC-27</b>
$\tau_m$	<b>COV (%)</b>	15%	14%
	$\Delta m/\Delta 2$ (%)	139%	104%
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	<b>COV (%)</b>	15%	8%
	$\Delta m/\Delta 2$ (%)	136%	110%
$\tau_{max}$	<b>COV (%)</b>	15%	11%
	$\Delta m/\Delta 2$ (%)	138%	110%

Για τη δοκό της σύνθεσης **SCC-28**, τόσο από τις κλίσεις των ευθειών ελαχίστων τετραγώνων (αν και η γραμμική συσχέτιση δεν προσεγγίζει ικανοποιητικά τη διακύμανση των τάσεων κατά μήκος της δοκού για καμία σύνθεση, όπως υποδεικνύουν και οι μικρές τιμές  $R^2$ ) όσο και από το κριτήριο  $\Delta m/\Delta 1$  (%), συμπεραίνουμε μία μικρή πτώση των τιμών της κανονικοποιημένης τάσης συνάφειας, αλλά και μεγάλη ομοιογένεια αναφορικά με την κατανομή τους κατά μήκος του δοκιμίου (**COV(%)=4** έως **8%**). Η δοκός της σύνθεσης **SCC-29** παρουσιάζει έντονη ανομοιογένεια όσον αφορά τις κανονικοποιημένες τάσεις συνάφειας (**COV(%)=36** έως **41%**) και ως εκ τούτου είναι δύσκολο να αξιολογηθεί. Τέλος για τη σύνθεση **SCC-31** παρατηρούμε μία μικρή αύξηση των τιμών της συνάφειας από τη μία άκρη του δοκιμίου στην άλλη, χωρίς πάντως να διαφαίνεται κάποια έντονη διαφοροποίηση αναφορικά με το μέγεθος των τάσεων αυτών.

Συνεχίζοντας την ανάλυση μας, παραθέτουμε το Διάγραμμα 2.61 προκειμένου να συσχετίσουμε τη διασπορά των τάσεων συνάφειας των ράβδων μιας δοκού, με το λόγο νερού προς τσιμέντο για τα μίγματα ΑΣΣ. Προκύπτει ότι η αύξηση του  $w'/c$  έχει ως συνέπεια τη μείωση του συντελεστή μεταβλητότητας (**COV (%)**) και ως εκ τούτου τη μεγαλύτερη ομοιογένεια στη κατανομή των τάσεων συνάφειας κατά μήκος του δοκιμίου. Παρατηρούμε ακόμα ότι για τη σύνθεση **SCC-29** ο δείκτης **COV (%)** λαμβάνει αρκετά μεγάλες τιμές (για τις τάσεις συνάφειας που χρησιμοποιούνται ως κριτήρια ελέγχου) και πιθανότατα αυτό οφείλεται στο ότι η αυξημένη ποσότητα υπερρευστοποιητή στο μίγμα (**SP/c=3,33%**) δεν πρόλαβε να ομογενοποιήσει το μίγμα επαρκώς (και να αντιδράσει χημικά με το τσιμέντο) και ότι ενδεχομένως θα απαιτούνταν μεγαλύτερος χρόνος ανάμιξης.



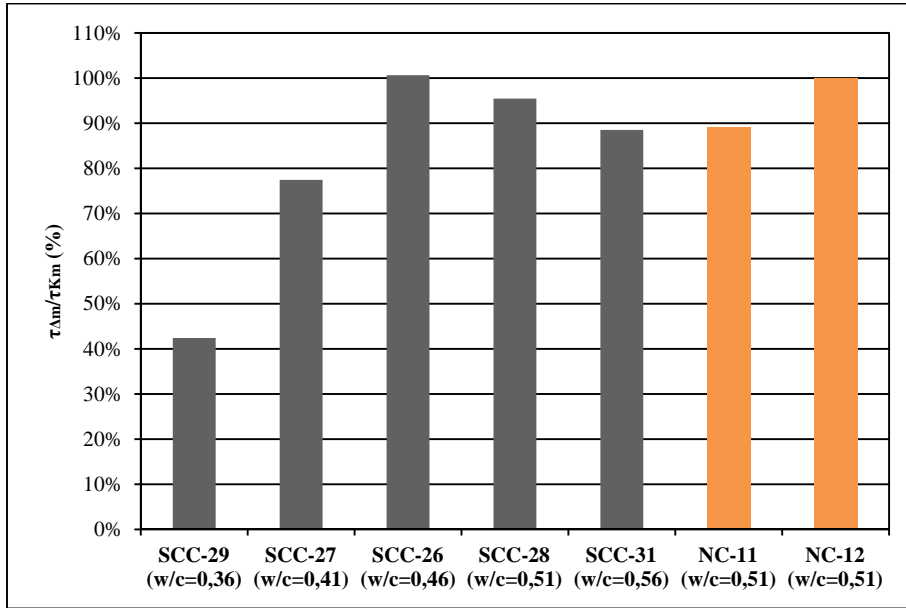
**Διάγραμμα 2.61** Μεταβολή του συντελεστή μεταβλητότητας των τάσεων συνάφειας των ράβδων για κάθε δοκό, συναρτήσει του λόγου ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο.

Αναφορικά με τις τάσεις των ράβδων των δοκών που αντιστοιχούν στα ΣΣ και συγκεκριμένα από τον Πίνακα 2.29 παρατηρούμε ότι η δονητική συμπίκνωση (η οποία πραγματοποιήθηκε στις περιοχές μεταξύ των ράβδων) δεν οδήγησε στις μικρές τιμές διασποράς που επιδιώκαμε (με τη δόνηση).

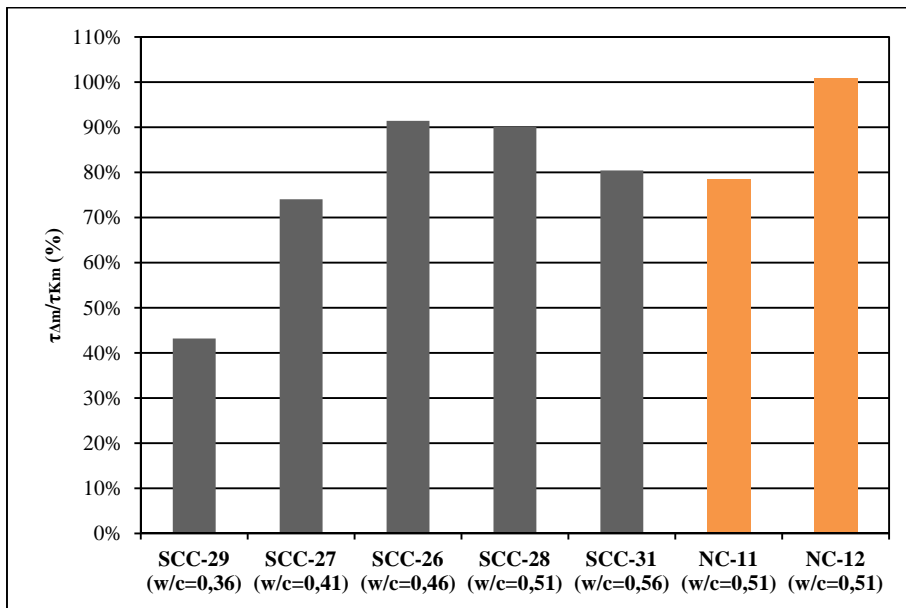
**Πίνακας 2.29** Συντελεστές μεταβλητότητας των κανονικοποιημένων τάσεων των ράβδων των δοκών για τις συνθέσεις NC-11 και NC-12.

		NC-11	NC-12
τ <sub>m</sub>	COV (%)	21%	21%
τ(0.01+0.10+1.00)/3	COV (%)	21%	23%
τ <sub>max</sub>	COV (%)	21%	16%

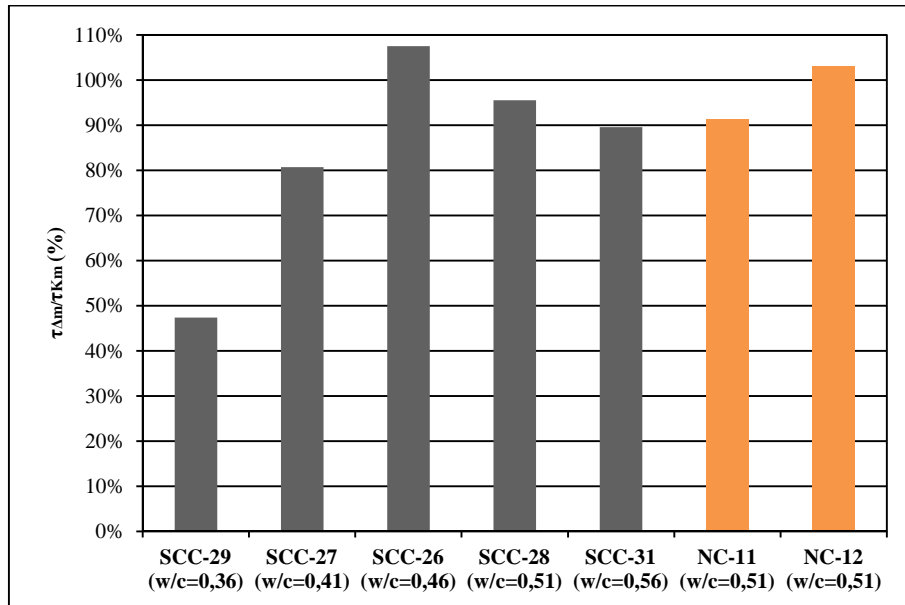
Παρακάτω ακολουθούν τα **Διαγράμματα 2.62** έως **2.64** με τα οποία συγκρίνονται η μέση τιμή των τάσεων συνάφειας των ράβδων της δοκού με τις τάσεις συνάφειας των κυβικών δοκιμίων και πιο συγκεκριμένα τη μέση τιμή αυτών (**K<sub>m</sub>**). Στόχος μας είναι να διερευνήσουμε την επιρροή της ροής του υλικού στο δοκίμιο δοκού κατά τη χύτευση και το πώς αυτή μεταβάλλει τις τάσεις συνάφειας σε σχέση με τις μεμονωμένες μετρήσεις των κυβικών δοκιμίων (τονίζεται πάντως ότι τα κυβικά δοκίμια και το δοκίμιο δοκού μιας σύνθεσης σκυροδετήθηκαν από διαφορετικά αναμίγματα).



**Διάγραμμα 2.62** Λόγος της μέσης τιμής της τάσης συνάφειας  $\tau_m$  των ράβδων της δοκού ( $\Delta m$ ) προς τη μέση τιμή της αντίστοιχης τάσης συνάφειας των τριών κύβων ( $Km$ ).



**Διάγραμμα 2.63** Λόγος της μέσης τιμής της τάσης συνάφειας  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$  των ράβδων της δοκού ( $\Delta m$ ) προς τη μέση τιμή της αντίστοιχης τάσης συνάφειας των τριών κύβων ( $Km$ ).



**Διάγραμμα 2.64** Λόγος της μέσης τιμής της μέγιστης τάσης συνάφειας των ράβδων της δοκού ( $\Delta m$ ) προς τη μέση τιμή της αντίστοιχης τάσης συνάφειας των τριών κύβων ( $Km$ ).

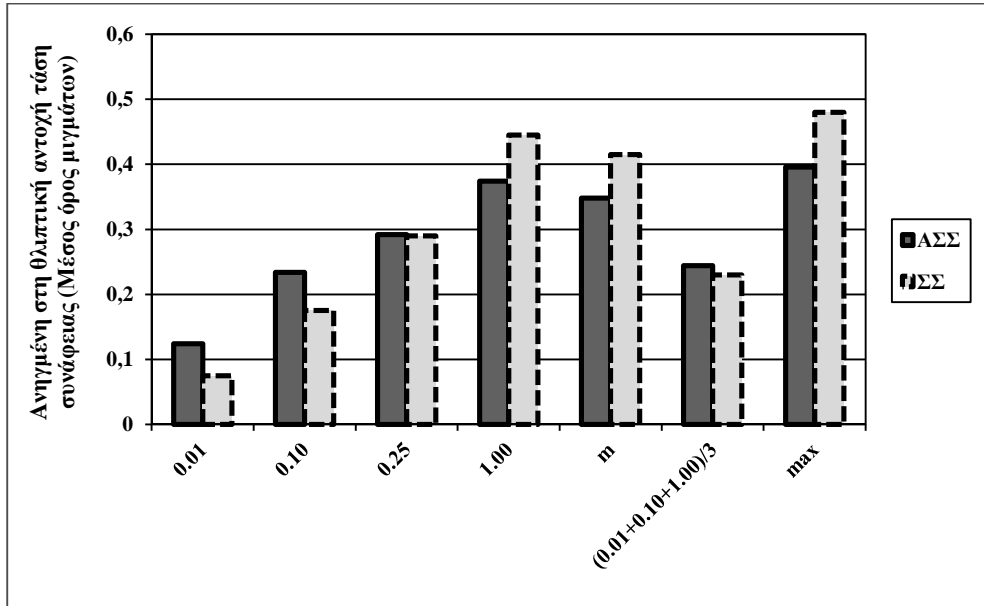
Τα συμβατικά μίγματα παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές του λόγου  $\tau_{\Delta m}/\tau_{K m}$  (%), κάτι που αναμέναμε εξαιτίας της δονητικής συμπίκνωσης στην οποία υποβλήθηκαν τα μίγματα αυτά (και σε αντίθεση με τα μίγματα ΑΣΣ). Παρατηρούμε μια αύξηση του λόγου  $\tau_{\Delta m}/\tau_{K m}$  (%), όσο αυξάνεται η αναλογία ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο στα ΑΣΣ (για τις τιμές από 0,36 έως 0,46) οπότε και παρουσιάζεται ένα μέγιστο (για τη σύνθεση **SCC-26**). Στη συνέχεια, και για μεγαλύτερους λόγους νερού προς τσιμέντο ακολουθεί μια μικρή μείωση της τάξεως του 10 έως 20% ανάλογα με το κριτήριο ελέγχου ( $\tau_{max}$ ,  $\tau_m$  ή  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ). Σε σύγκριση με τα συμβατικά μίγματα, τα ΑΣΣ που παρουσιάζουν ανάλογη συμπεριφορά είναι αυτά με τους μεγαλύτερους λόγους νερού προς τσιμέντο (**SCC-26**, **SCC-28**, **SCC-31**).

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Συμπεράσματα

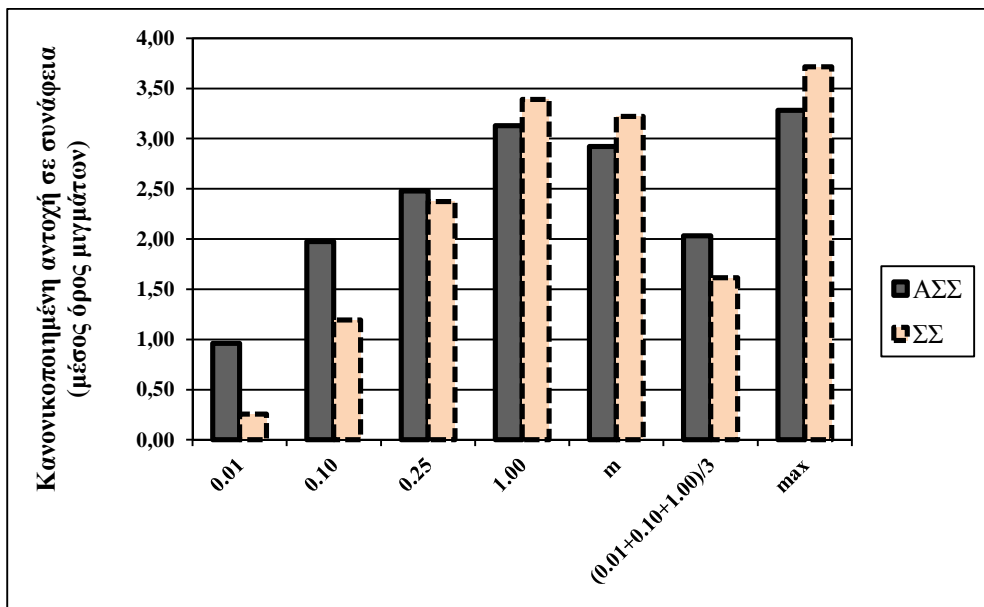
Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναφερθούμε συνοπτικά στα βασικά αποτελέσματα που προέκυψαν με τη διενέργεια των ελέγχων συνάφειας στα δοκίμια που παρασκευάσαμε και αφορούν τόσο την αντοχή σε συνάφεια όσο και το πρόβλημα των άνω ράβδων αλλά και τη μεταβολή των τάσεων συνάφειας κατά μήκος δοκιμίου δοκού. Τέλος προτείνονται θέματα για περαιτέρω έρευνα.

Αρχικά θα παραθέσουμε τα βασικά συμπεράσματα **ανά τύπο σκυροδέματος**:

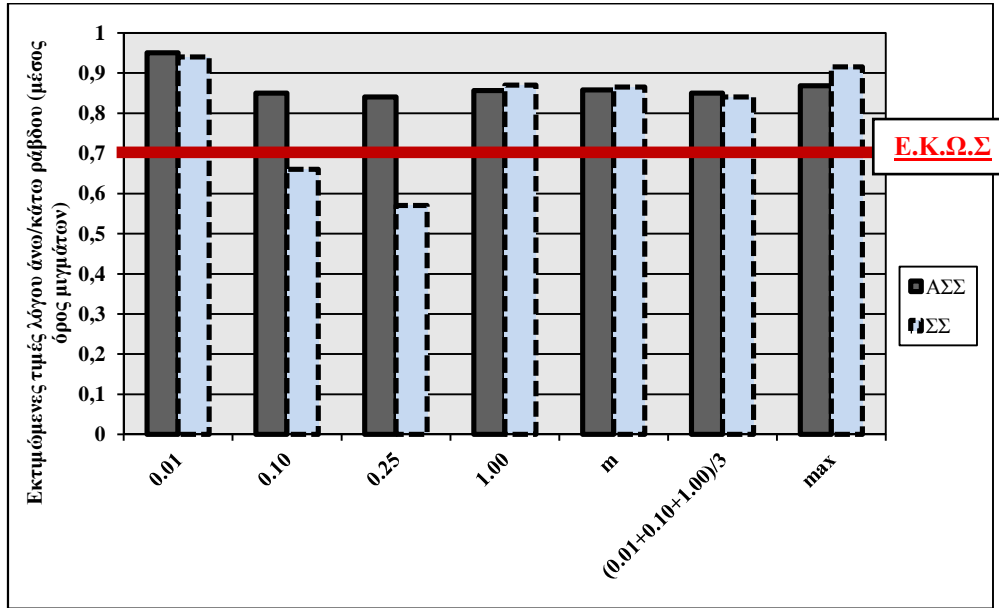
- Τα μίγματα ΑΣΣ ανέπτυξαν υψηλότερες τάσεις συνάφειας ανηγμένες στη θλιπτική αντοχή (**Διάγραμμα 3.1**) για μικρές τιμές ολισθήσεων (0.01, 0.10mm), ενώ για μεγαλύτερες ολισθήσεις ανέπτυξαν χαμηλότερες τάσεις συνάφειας σε σύγκριση με τα ΣΣ. Αναφορικά με τη μέση τιμή των τάσεων που αντιστοιχούν σε ολισθήσεις 0.01, 0.10 και 1.00mm, τα μίγματα ΑΣΣ και ΣΣ δίνουν παρόμοιες τιμές.
- Τα μίγματα ΑΣΣ έδωσαν υψηλότερες κανονικοποιημένες τάσεις συνάφειας (στη ρίζα της θλιπτικής αντοχής) (**Διάγραμμα 3.2**) για μικρές ολισθήσεις (0.01, 0.10mm), για μεγαλύτερες ολισθήσεις ανέπτυξαν χαμηλότερες τάσεις συνάφειας σε σύγκριση με τα ΣΣ, ενώ και η μέγιστη κανονικοποιημένη τάση συνάφειας στα ΣΣ ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τα ΑΣΣ. Όσον αφορά τη μέση τιμή των τάσεων που αντιστοιχούν σε ολισθήσεις 0.01, 0.10 και 1.00mm, τα μίγματα ΑΣΣ δίνουν υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα συμβατικά μίγματα.
- Σχετικά με το πρόβλημα των άνω ράβδων (**Διάγραμμα 3.3**), φαίνεται αυτό να παρουσιάζεται με μεγαλύτερη ένταση για τα υποστυλώματα συμβατικού σκυροδέματος και για μικρές ολισθήσεις (και κυρίως για 0.10 και 0.25mm) ενώ στην περίπτωση της μέγιστης τάσης συνάφειας εμφανίζεται πιο έντονο στα υποστυλώματα αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος. Η πρόβλεψη του **Ε.Κ.Ω.Σ.** για τις άνω ράβδους, οι οποίες θεωρείται ότι ανήκουν σε περιοχές κακής συνάφειας (II) οπότε και λαμβάνεται για αυτές ως τάση συνάφειας το **70%** της αντίστοιχης τιμής για τις κάτω ράβδους που ανήκουν σε περιοχές καλής συνάφειας (I), κρίνεται συντηρητική για τα υποστυλώματα ΑΣΣ και για κάθε εξεταζόμενη τάση (αντίθετα ο Ε.Κ.Ω.Σ. υπερεκτιμά τις τάσεις συνάφειας των άνω ράβδων των συμβατικών υποστυλωμάτων και για ολισθήσεις 0.10 και 0.25mm).
- Τα δοκίμια δοκού ΑΣΣ εμφανίζουν μικρότερους συντελεστές μεταβλητότητας (**Διάγραμμα 3.4**) για τις τάσεις συνάφειας των ράβδων τους σε σχέση με δοκίμια ΣΣ. Τα συμβατικά δοκάρια παρά τη δονητική συμπίκνωση στην οποία υποβλήθηκαν παρουσίασαν μία μη αναμενόμενη διασπορά τάσεων κατά μήκος του δοκιμίου.



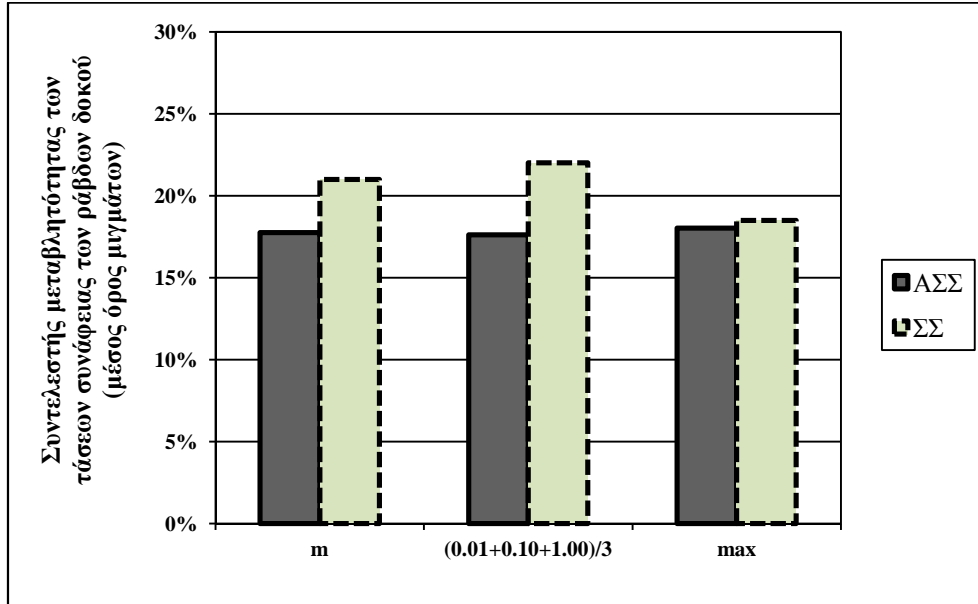
**Διάγραμμα 3.1** Τάσεις συνάφειας ανηγμένες στη θλιπτική αντοχή (μέσος όρος των 3 κύβων) για τις χαρακτηριστικές τιμές ολίσθησης 0.01, 0.10, 0.25, 1.00, ανηγμένη μέση τάση (με ολοκλήρωση), μέση τιμή των ανηγμένων τάσεων για ολισθήσεις 0.01, 0.10 και 1.00 αλλά και μεγίστη ανηγμένη τάση συνάφειας (μέσος όρος μιγμάτων ΑΣΣ και ΣΣ).



**Διάγραμμα 3.2** Τάσεις συνάφειας κανονικοποιημένες στη ρίζα της θλιπτικής αντοχής (εκτιμώμενες τιμές στη βάση του υποστρώματος) για τις χαρακτηριστικές τιμές ολίσθησης 0.01, 0.10, 0.25, 1.00, κανονικοποιημένη μέση τάση (με ολοκλήρωση), κανονικοποιημένη μέση τιμή των τάσεων για ολισθήσεις 0.01, 0.10 και 1.00 αλλά και μεγίστη κανονικοποιημένη τάση συνάφειας (μέσος όρος μιγμάτων ΑΣΣ και ΣΣ).



**Διάγραμμα 3.3** Λόγος άνω/κάτω ράβδου (εκτιμώμενες τιμές) για όλες τις εξεταζόμενες τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) (μέσος όρος μγμάτων ΑΣΣ και ΣΣ).



**Διάγραμμα 3.4** Συντελεστής μεταβλητότητας για τις τάσεις συνάφειας  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$  (που έχουμε επιλέξει ως κριτήρια ελέγχου) των ράβδων δοκιμίου δοκού (μέσος όρος μγμάτων ΑΣΣ και ΣΣ).



Τα βασικά συμπεράσματα **ανά σύνθεση:**

- Παρατηρήσαμε ότι η προσθήκη υπερρυστοποιητή αντί νερού είχε ως συνέπεια την αύξηση της κανονικοποιημένης αντοχής σε συνάφεια ( $\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$ ).
- Εξετάζοντας το φαινόμενο των άνω οπλισμών για 3 από τα υποστυλώματα **AΣΣ** που σκυροδετήσαμε (**SCC-28**, **SCC-29**, **SCC-31**), καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η μείωση του λόγου  $w/c$  με ταυτόχρονη αύξηση της περιεκτικότητας σε υπερρυστοποιητή είχε ως συνέπεια την εμφάνιση εντονότερου προβλήματος των άνω ράβδων.
- Αναφορικά με την επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος στη τάση συνάφειας των κάτω ράβδων του υποστυλώματος, προέκυψε ότι με την αύξηση του λόγου του ωφέλιμου νερού προς το τσιμέντο  $w/c$  μειώνεται η απόκλιση μεταξύ της τάσης συνάφειας της μέσης τιμής των κύβων (**Km**) και της κάτω ράβδου του υποστυλώματος της ίδιας σύνθεσης.
- Δεν προέκυψε κάποια εμφανής μείωση των τάσεων συνάφειας κατά μήκος των δοκιμίων δοκού στα μίγματα **AΣΣ** που παρασκευάσαμε, γεγονός που αναμενόταν εξαιτίας της ρεολογικής συμπεριφοράς που επέδειξαν τα μίγματα κατά τη χύτευση.

Αντίθετα, παρατηρήθηκε σε κάποιες περιπτώσεις μία μικρή αύξηση των τάσεων συνάφειας από τη παρειά έναρξης της σκυροδέτησης έως το απέναντι άκρο του ξυλοτύπου, που φαίνεται να σχετίζεται με την αβεβαιότητα ως προς τη ράβδο που θα επιλέξουμε να διαπιστώσουμε την ύπαρξη μιας συστηματικής μεταβολής με τη θέση για τις τάσεις συνάφειας. Εξαίρεση από τα προηγούμενα αποτελεί η **SCC-29** εξαιτίας των ακραίων τιμών  $w/c$  και  $SP/c$  που διέθετε.

- Η αύξηση του  $w/c$  είχε ως συνέπεια τη μείωση του συντελεστή μεταβλητότητας (**COV (%)**) των τάσεων συνάφειας των ράβδων για τα δοκίμια **AΣΣ**, και ως εκ τούτου τη μεγαλύτερη ομοιογένεια τους κατά μήκος του δοκιμίου.

## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

- Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρήχθησαν 7 διαφορετικές συνθέσεις, τόσο αυτοσυμπκνούμενου όσο και συμβατικού σκυροδέματος. Για κάθε μία από αυτές κατασκευάστηκαν και ελέγχθηκαν ένα μόνο υποστύλωμα και μία δοκός. Είναι λοιπόν προφανής, η ανάγκη επανάληψης των συνθέσεων προκειμένου να ελεγχθεί η συνέπεια των αποτελεσμάτων.
- Επανάληψη της ίδιας πειραματικής διαδικασίας για διαφορετικές συνθέσεις (π.χ. συνθέσεις ΑΣΣ με διαφορετική αναλογία αδρανών από αυτές που εξετάσαμε, κατάρτιση συνθέσεων ΑΣΣ με προσθήκη διαφορετικών ποσοτήτων πυριτικής παιπάλης διατηρώντας όμως σταθερό το λόγο w/b).
- Έλεγχος δοκιμίων κανονικός οπλισμένων (η παρουσία οπλισμού θα επηρεάσει τη διελευσιμότητα των μιγμάτων ΑΣΣ).
- Έλεγχος δοκιμίων δοκού μεγαλύτερου μήκους από αυτά που εξετάσαμε. Μήκος δοκιμίου δοκού 1.80m κρίνεται μικρό για τις ρεολογικές ικανότητες του ΑΣΣ. Προτείνεται εναλλακτικά μήκος δοκιμίου 5 ή 10m και για τα οποία είναι πιθανή η παρουσία μιας προοδευτικής μείωσης των τάσεων συνάφειας από το άκρο χύτευσης έως το άλλο άκρο του καλουπιού (επισημαίνεται ότι η παρασκευή τέτοιων δοκιμίων απαιτεί κατάλληλη εργαστηριακή υποστήριξη).

---

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βαγγελή, Ι. και Χρηστάκης Α. «Συνάφεια χάλυβα σκυροδέματος : Επίδραση της Γεωμετρίας των Νευρώσεων. » Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2008.
2. Πάλμος, Μ., Σωτηροπούλου Ε. «Θέματα Αντοχής και Συνάφειας Καθ' ύψος στο Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010.
3. Πάττα, Σ.Δ., Περβολαράκης Δ.Μ. «Συνάφεια χάλυβα σκυροδέματος : Επίδραση της Γεωμετρίας των Νευρώσεων. » Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2005.
4. Στύλος, Α. «Συνάφεια Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος με Χάλυβα Οπλισμού» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011.
5. Σφήκας, Ι.Π. «Τεχνολογία Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος.» Μεταπτυχιακή Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2007.
6. Almeida Filho, F.M., El Debs, M.K. and El Debs, A.L.H.C. "Bondslip behavior of self-compacting concrete and vibrated concrete using pullout and beam tests.", *Materials and Structures*, vol. 41 (2008): pp. 1073-1089.
7. Boel, V., P. Helincks, P. Desnerck, and G. De Schutter. "Bond behaviour and shear capacity of self-compacting concrete." Edited by K. H. Khayat, & D. Feys. *Design, Production and Placement of Self-Consolidating Concrete* (RILEM Bookseries, 2010) Vol.1, Part 8 (2010): pp.343-353.
8. Domone, P.L. "A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete.", *Cement & Concrete Composites*, vol. 29 (2007): pp. 1- 12.
9. Hassan A.A.A., Hossain K.M.A., Lachemi M. "Bond strength of deformed bars in large reinforced concrete members cast with industrial self-consolidating concrete mixture", *Construction and Building Materials*, vol. 24 (2009): pp. 520-530.
10. Valcuende, M. and Parra, C. "Bond behaviour of reinforcement in self-compacting concretes.", *Construction and Building Materials*, vol. 23 (2009): pp. 162-170.
11. Thrane, L. N. , C. Pade, C. Idzerda, and M. Kaasgaard. "Effect of Rheology of SCC on Bond Strength of Ribbed Reinforcement Bars." Edited by K. H. Khayat, & D. Feys. *Design, Production and Placement of Self-Consolidating Concrete* (RILEM Bookseries 1), 2010.
12. Trezos, K., I. Sfikas, M. Palmos, and E. Sotiropoulou. "Top-Bar Effect in Self-Compacting Concrete Elements." Edited by D. Feys, & K. H. Khayat. *Design, Production and Placement of Self-Consolidating Concrete* (RILEM Bookseries, 2010) Vol.1, Part 8 (2010): pp.355-366.
13. Yerlici V. A. and Özturan T. "Factors Affecting Anchorage Bond Strength in High-Performance Concrete.", *ACI Structural Journal*, Title no. 97-S54 (2000).

- 
14. Zhu, W., Sonebi, M. and Bartos, P.J.M. "Bond and interfacial properties of reinforcement in self-compacting concrete.", *Materials and Structures*, vol. 37(2004): pp. 442-448.
  15. Γιαννόπουλος Π.Ι. «Συνάφεια ράβδων οπλισμού στο σκυρόδεμα.» *15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου, 2006.*
  16. Σίδηρης, Κ.Κ. «Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα και Ελληνική πραγματικότητα: Παρούσα κατάσταση και προοπτικές εξέλιξης.» *16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/ 2009, Πάφος, Κύπρος.*
  17. Κτένας Α.Ε. «Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (self-compacting concrete ).» *12ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών», Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2006.*
  18. Τζίμας Α., Χατζάκης Π., «Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα», *13ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών», Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2007.*
  19. European Standard, EN12620, "Aggregates for Concrete", September 2002.
  20. EFNARC. "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete." (European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems) 2005.
  21. European Standards, prEN 10080, "Steel for the reinforcement of concrete – Weldable reinforcing steel – General", January 2008.
  22. FIB. "Bulletin 10: Bond of reinforcement in concrete." (Fédération Internationale du Béton) 2000.
  23. Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών (Ι.Ο.Κ.). «Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΕΤΕΠ) 01-01-06-00.» 2005.
  24. Ο.Α.Σ.Π., Σ.Π.Μ.Ε. «Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000 (ΕΚΩΣ2000).» 2000.
  25. «Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 97», ΦΕΚ 315/Β/17-4-97.
  26. ΕΛΟΤ 1421-1, «Χάλυβες Ωπλισμένου Σκυροδέματος – Μέρος 1: Γενικές Απαιτήσεις».

Παράρτημα Α: Τεχνικά φυλλάδια υλικών



**ΕΚΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ**  
**TEST REPORT**

Ημερομηνία Έκδοσης: <i>Date of Issue:</i>	03.12.2010
Αριθμός Εργαστηριακής Εντολής: <i>Work order Number:</i>	17759-01/10
Εντολές: <i>Submitted by:</i>	TITAN Α.Ε. TITAN S.A.
Διεύθυνση: <i>Address:</i>	Χαλκίδος 22Α, 111 43 Αθήνα 22A Haikidas Str, 111 43 Athens
Έργο: <i>Project:</i>	-
Ημερομηνία εισαγωγής: <i>Reception Date:</i>	19.11.2010
Ημερομηνία εκτέλεσης δοκιμής: <i>Testing Date:</i>	23.11.2010 - 24.11.2010
Στοιχεία δειγμάτων: <i>Samples' Description:</i>	No 1: ΣΚΥΡΑ 31,5/63 No 2: ΧΑΛΙΚΙ 16/31,5 No 3: ΓΑΡΜΠΙΛΙ (Λατομείο ΞΗΡΟΦΕΜΑΤΟΣ / R: 17.11.2010) No 4: ΡΥΖΑΚΙ 4/8 No 5: ΑΜΜΟΣ 0/4 No 6: ΑΜΜΟΣ ΧΤΙΣΙΜΑΤΟΣ 0/4 Nº 1: COARSE GRAVEL 31.5/63 Nº 2: COARSE GRAVEL 16/31.5 Nº 3: MEDIUM GRAVEL (XIROREMA Quarry / R: 17.11.2010) Nº 4: SMALL GRAVEL 4/8 Nº 5: SAND 0/4 Nº 6: SAND FOR BUILDING 0/4
Μάζα των ξηρών δειγμάτων δοκιμής: <i>Mass of dry samples tested:</i>	ΣΚΥΡΑ / COARSE GRAVEL 16585 g ΧΑΛΙΚΙ / COARSE GRAVEL 5238 g ΓΑΡΜΠΙΛΙ / MEDIUM GRAVEL 2171 g ΡΥΖΑΚΙ / SMALL GRAVEL 1453,4 g ΑΜΜΟΣ / SAND 1028,5 g ΑΜΜΟΣ ΧΤΙΣΙΜΑΤΟΣ / SAND FOR BUILDING 1086,2 g
Αιτηθείσα δοκιμή: <i>Requested Test:</i>	Δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών - Μέρος 6: Προσδιορισμός της πυκνότητας και απορρόφησης νερού ΕΛΟΤ EN 1097-6: 2000/A1:2006 Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 6: Determination of particle density and water absorption ELOT EN 1097.06.2000 / A1.2006



**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ  
RESULTS**

**No 1, No 2, No 3 & No 4: ΜΕΘΟΔΟΣ  
ΣΥΡΜΑΤΙΝΟΥ ΚΑΛΑΘΙΟΥ**

*Nr 1, Nr 2, Nr 3 & Nr 4: Wire Basket Method*

		No.1 <i>Nr 1</i>	No.2 <i>Nr 2</i>	No.3 <i>Nr 3</i>	No.4 <i>Nr 4</i>
Φαινόμενη Πυκνότητα <i>Apparent Particle Density</i>	$\rho_a$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,71</b>	<b>2,72</b>	<b>2,72</b>	<b>2,74</b>
Πυκνότητα επί ξηρού <i>Apparent Density on an oven dried basis</i>	$\rho_{rd}$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,65</b>	<b>2,65</b>	<b>2,66</b>	<b>2,66</b>
Πυκνότητα επί κορεσμένου και επιφανειακά ξηρού <i>Particle density on a saturated and surface dried basis</i>	$\rho_{ssd}$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,67</b>	<b>2,68</b>	<b>2,68</b>	<b>2,69</b>
Απορροφητικότητα <i>Water absorption</i>	WA <sub>24</sub> (%)	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>1,1</b>

**No 5 & No 6: ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟΥ**

*Nr 5 & Nr 6: Pyknometer Method*

		No.5 <i>Nr 5</i>	No.6 <i>Nr 6</i>
Φαινόμενη Πυκνότητα <i>Apparent Particle Density</i>	$\rho_a$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,73</b>	<b>2,73</b>
Πυκνότητα επί ξηρού <i>Apparent Density on an oven dried basis</i>	$\rho_{rd}$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,65</b>	<b>2,64</b>
Πυκνότητα επί κορεσμένου και επιφανειακά ξηρού <i>Particle density on a saturated and surface dried basis</i>	$\rho_{ssd}$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,68</b>	<b>2,68</b>
Απορροφητικότητα <i>Water absorption</i>	WA <sub>24</sub> (%)	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>



**ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ- REMARKS**


1. Η προέλευση του παραπάνω υλικού είναι κατά δήλωση του πελάτη.  
*The sample's description, stated in the present report, is made by the client.*
2. Το παρόν πιστοποιητικό δεν μπορεί να αναπαραχθεί, παρά μόνο συνολικά και μόνο με την γραπτή έγκριση του εργαστηρίου.  
*The present report cannot be reproduced, except in full and with the written approval of the laboratory.*
3. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αφορούν μόνο στο προσκομισθέν δείγμα που υποβλήθηκε σε δοκιμή.  
*The test results relate only to the sample, which was delivered to the laboratory and was subjected to the test.*

Ο υπεύθυνος τμήματος  
*Head of Department*



Γ. Γαρυφαλλίδης  
*G. Garyfallidis*

Η διευθύντρια του εργαστηρίου  
*Laboratory Director*  
**Γ. ΓΚΡΙΝΤΖΟΣ & ΣΙΑ ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑ**  
**δ.τ. ERGOTEST ΑΕ**  
**ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ & ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**  
**ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**  
Φ. Αναστασίου  
*F. Anastassiou*

 <p><b>DIONYSSOMARBLE</b> group ΜΟΝΑΔΑ FILLER</p>	<p>A.E.E.E. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ - ΠΕΝΤΕΛΗΣ Γραφείο Αθηνών : Κηφισίας 364 &amp; Δελφών 1 - Χαλάνδρι 15233 Τηλ.: 2106653401 - Fax.: 2106653410 Τηλ. Έργαστ. Διονύσου: 2106211400 - 6, Fax: 2106211400 www.novocarb.gr</p>	<p><b>ΠΡ-Φ-05.01.20</b></p>
--	---	-----------------------------

## ΝΟΒΟCΑRΒ Νο 20 ΦΥΣΙΚΟ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ

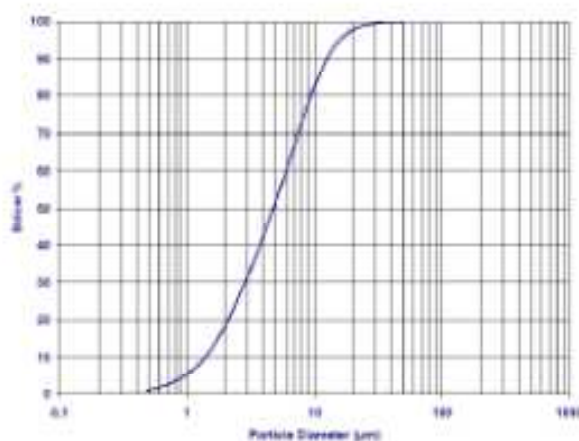
**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:** Λεπτόκοκκο φυσικό κρυσταλλικό ανθρακικό ασβέστιο, υψηλής λευκότητας, προερχόμενο από το κοίτησμα λευκού μαρμάρου στο Διόνυσο Αττικής.

**ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ:**

CaCO <sub>3</sub>	≥	98,0	%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≤	0,07	%
SiO <sub>2</sub>	≤	0,35	%	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≤	0,001	%
MgO	≤	0,75	%	Περιεχόμενη υγρασία	≤	0,2	%

**ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ:**

Λεπτότητα κόκκων d (0,97)	16-20 μm
Μέσο μέγεθος κόκκων d (0,50)	4-6 μm
Κόκκοι λεπτότεροι από 2 μm	14-26 %



Ειδικό βάρος	2,6
Φαινόμενο βάρος	0,7 g/cm <sup>3</sup>
Ελαιοσποροφαιτικότητα	20 g/100 g
Σκληρότητα (κλίμακα Mohs)	3

**ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ:**

Λευκότητα (Whiteness index ASTM 313) **97,5**

**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ:**

- Κάποιες από τις συνήθειες χρήσεις του ως πληρωτικό υλικό:
- Χρώματα (Υδροχρώματα εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών, αλκυδικά χρώματα, αστόρια κτλ...)
- Προϊόντα από PVC (Καλύμματα δαπέδων και κάποια άλλα προϊόντα σε μορφή φύλλων)
- Συγκολλητικές ύλες
- Στόκος με πολυεστερική βάση

**ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ**

Σακιά των 25 kg με παλετοποίηση 1250 kg (50 σακιά)

**ΠΩΛΗΣΗΣ:**

Big Bags 600 kg ή 800 kg / Χύμα σε σιλοφόρο 25 tn

Οι παραπάνω τιμές είναι ενδεικτικές. Βασίζονται σε αποτελέσματα δοκιμών που εκτελούνται σε εξωτερικά εργαστήρια, καθώς και σε συνεχείς μετρήσεις που λαμβάνουν χώρα μέσα στο πλαίσιο του εφαρμοζόμενου συστήματος διαχείρισης ποιότητας ISO 9001







# GLENIUM® C347

(ex. GLENIUM® 747)

**Νέας γενιάς υπερρευστοποιητής με βάση τον πολυκαρβοξυλικό αιθέρα, για τη παραγωγή υψηλής ποιότητας έτοιμου σκυροδέματος, με χαμηλό λόγο νερού προς τσιμέντο και εξαιρετική εργασιμότητα. (Σύμφωνα με τα πρότυπα EN934-2:2001 Π11.1 & 11.2)**

### Περιγραφή

Το GLENIUM® C 347 είναι ένας επαναστατικός υπερρευστοποιητής δεύτερης γενιάς, βασισμένος σε πολυμερή πολυκαρβοξυλικού αιθέρα (PCE) και αποτελεί άμεση απάντηση του συστήματος Ολοκληρωτικού Ελέγχου Απόδοσης (Total Performance Control). Το GLENIUM® C 347 είναι ειδικά σχεδιασμένο για χρήση σε έτοιμο σκυρόδεμα. Η ειδική του σύσταση επιτρέπει την καθυστέρηση της απορρόφησης του από τους κόκκους του τσιμέντου, επιπυχνώνοντας έτσι την αποτελεσματική διασπορά τους. Σε σχέση με άλλους υπερρευστοποιητές PCE, επιτρέπει την επίτευξη ενός μίγματος σκυροδέματος υψηλής ποιότητας, με γρήγορη ανάπτυξη αντοχών και παρατεταμένη εργασιμότητα, χωρίς να καθυστερεί τα χαρακτηριστικά της πήξης. Το σύστημα Total Performance Control™ διασφαλίζει ότι οι παραγωγοί έτοιμου σκυροδέματος, οι εργολάβοι αλλά και οι μηχανικοί, παραλαμβάνουν σκυρόδεμα της ίδιας υψηλής ποιότητας με αυτήν που έχει προδιαγραφεί αρχικά, ξεκινώντας από τη παραγωγή στο παρασκευαστήριο, μέχρι την παράδοση και την επόπου εφαρμογή, καθώς και κατά τη διαδικασία της σκλήρυνσης. Χρησιμοποιώντας τη τεχνολογία του Ρεοδυναμικού (Rheodynamic™) σκυροδέματος, παρέχει ένα μίγμα σκυροδέματος με εξαιρετικά χαρακτηριστικά χειρισμού και ταχεία ενυδάτωση του τσιμέντου, για την ανάπτυξη της αρχικής αντοχής και την επίτευξη σκυροδέματος υψηλής ποιότητας.

### Πεδία εφαρμογής

Το GLENIUM® C 347, χρησιμοποιείται για τη παραγωγή έτοιμου σκυροδέματος υψηλής ποιότητας. Το GLENIUM® C 347 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το GLENIUM® STREAM, για την παραγωγή Ρεοδυναμικού σκυροδέματος, με ικανότητα αυτοσυμπύκνωσης, ακόμα και σε περίπτωση πολύ πυκνού σπασμού.

### Χαρακτηριστικά και Πλεονεκτήματα

Το GLENIUM® C 347 προσφέρει τα εξής πλεονεκτήματα:

#### Για τον παραγωγό έτοιμου σκυροδέματος:

- Δυνατότητα παράδοσης υψηλής ποιότητας σκυροδέματος ανά πάσα στιγμή, επί τόπου στο εργοτάξιο
- Παραγωγή σκυροδέματος με χαμηλό λόγο νερού προς τσιμέντο, χωρίς επιπτώσεις στην εργασιμότητα
- Προϊόν με πολλαπλές εφαρμογές

#### Για τον εργολάβο / χρήστη:

- Ευκολότερη σκυροδέτηση και ταχύτερη ανάπτυξη αντοχών
- Βελτιωμένες επιφάνειες από σκυρόδεμα
- Εγγύηση σκυροδέτησης με το σκυρόδεμα που προδιαγράφηκε και παραγγέλθηκε από τη μονάδα παραγωγής σκυροδέματος

#### Για το μηχανικό:

- Βεβαιότητα ότι το σκυρόδεμα πληρεί τις αρχικές προδιαγραφές
- Υψηλής ποιότητας σκυρόδεμα μεγάλης αντοχής και ανθεκτικότητας

### Συσκευασία

Το GLENIUM® C 347 διατίθεται σε δεξαμενές 1075kg, σε βαρέλια 225kg, ή χύδην.

Χρώμα	Καφέ
Ειδικό βάρος στους 20°C	1,060 – 1,080
Τιμή Ph	6,4

### Δοσολογία

Η συνιστώμενη δοσολογία του GLENIUM® C 347 κυμαίνεται μεταξύ 0,4 kg και 2,0 kg (0,37-1,87Lt) ανά 100 kg του συνολικού τσιμεντοσβούσ υλικού.

Σε ειδικές περιπτώσεις ενδέχεται να εφαρμοστεί διαφορετική δοσολογία, αναλόγως των ειδικών εργοταξιακών συνθηκών. Σε αυτήν την περίπτωση, μπορείτε να συμβουλευτείτε το Τμήμα Τεχνικών Υπηρεσιών.

**Adding Value to Concrete**

# GLENIUM® C347

(ex. GLENIUM 747)

## Ανάμιξη

Το GLENIUM® C 347 είναι ένα πρόσμικτο έτοιμο προς χρήση, το οποίο προστίθεται στο σκυρόδεμα ως ξεχωριστό στοιχείο.

Τα βέλτιστα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν το GLENIUM® C 347 διοχετεύεται στο μίγμα του σκυροδέματος, μετά από την προσθήκη όλου του νερού ανάμιξης, όταν δηλαδή έχουν διαβραχτεί όλα τα στερεά υλικά. Αποφύγετε την προσθήκη του πρόσμικτου σε στεγνά αδρανή.

## Συμβατότητα

Το GLENIUM® C 347 δεν είναι συμβατό με τους υπερρευστοποιητές της σειράς RHEOBUILD®. Για την ικανοποίηση τυχόν ειδικών απαιτήσεων, συνιστάται η συμπληρωματική χρήση των ακόλουθων πρόσθετων:

- Ρυθμιστής ιξώδους GLENIUM® STREAM, για την παραγωγή Ρεοδυναμικού σκυροδέματος
- Αερακτικό MICRO AIR®, για τη βελτίωση της αντοχής σε ψύξη / απόψυξη

## Αποθήκευση

Το GLENIUM® C 347 αποθηκεύεται σε μέρος που δεν έρχεται σε απευθείας επαφή με το ηλιακό φως, προστατευμένο από μεγάλες εναλλαγές της θερμοκρασίας. Εάν αποθηκευτεί σύμφωνα με αυτές τις οδηγίες, η διάρκεια ζωής του προϊόντος είναι 12 μήνες.

## Χειρισμός και μεταφορά

Δεν υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις, οι οποίες πρέπει να τηρούνται κατά τη χρήση. Ωστόσο, συνιστάται η χρήση προστατευτικών γαντιών και γυαλιών. Το GLENIUM® C 347 δεν είναι εύφλεκτο ή τοξικό, δεν προκαλεί ερεθισμούς και δεν απαιτεί ειδικές συνθήκες μεταφοράς.

## Προφυλάξεις

Το GLENIUM® C 347 δεν περιέχει επικίνδυνες ουσίες, οι οποίες πρέπει να αναγράφονται. Για περισσότερες πληροφορίες, μπορείτε να ανατρέξετε στο Φύλλο Πληροφοριών Ασφαλείας Υλικού.

## Σημείωση

Η επτόπου εξυπηρέτηση, όπου παρέχεται, δεν συνιστά ευθύνη επίβλεψης. Για επιπλέον πληροφορίες, επικοινωνήστε με τον τοπικό σας αντιπρόσωπο της BASF ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε. Η BASF ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε. επιφυλάσσει τα δικαιώματά της να διατηρή την πραγματική αιτία οιασδήποτε δυσκολίας προσδιορισμένης από αποδεικτές μεθόδους ελέγχου.

## Ποιότητα και μέριμνα

Όλα τα προϊόντα που προέρχονται από τις εγκαταστάσεις της BASF ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε., κατασκευάζονται με βάση ένα σύστημα διαχείρισης, το οποίο φέρει ανεξάρτητη πιστοποίηση, ώστε να συνάδει με τις απαιτήσεις των προτύπων ISO 9001 & ISO 14001.

## BASF ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε.

### Τμήμα Χημικά Κατασκευών

Αθήνα: Μεσογείων 449 • 153 43 Αγία Παρασκευή

Τηλ. 210 6860100 • Fax 210 6860215

Θεσσαλονίκη: ΒΙ.ΠΕ. Σίνδου • 570 72 Σίνδος

Τηλ. 2310 417 101 • Fax 2310 417 115

Εργοστάσιο Θήβας: Τηλ. 22620 22471 • Fax 22620 28573

[www.basf-cc.gr](http://www.basf-cc.gr)



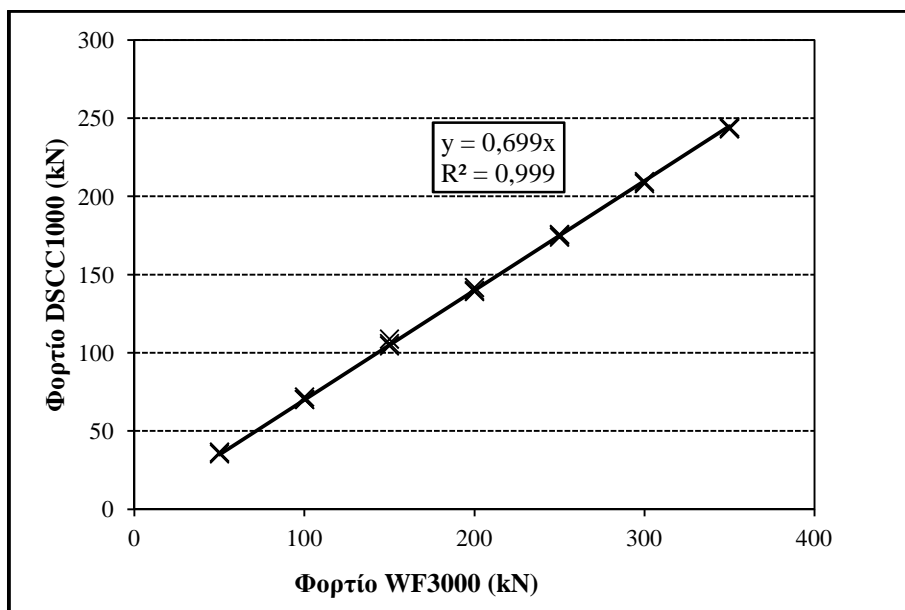
## Παράρτημα Β: Βαθμονόμηση δυναμοκυψέλης CCG-300

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, για τη διεξαγωγή των δοκιμών εξόλκευσης χρησιμοποιήθηκε η δυναμοκυψέλη *LC CCG-300* του εργαστηρίου, καθώς και 3 γραμμικά βελόμετρα. Κατά τη διάρκεια των ελέγχων προέκυψε η απαίτηση βαθμονόμησης της δυναμοκυψέλης εξαιτίας της ευαισθησίας που παρουσιάζουν συσκευές τέτοιου τύπου.

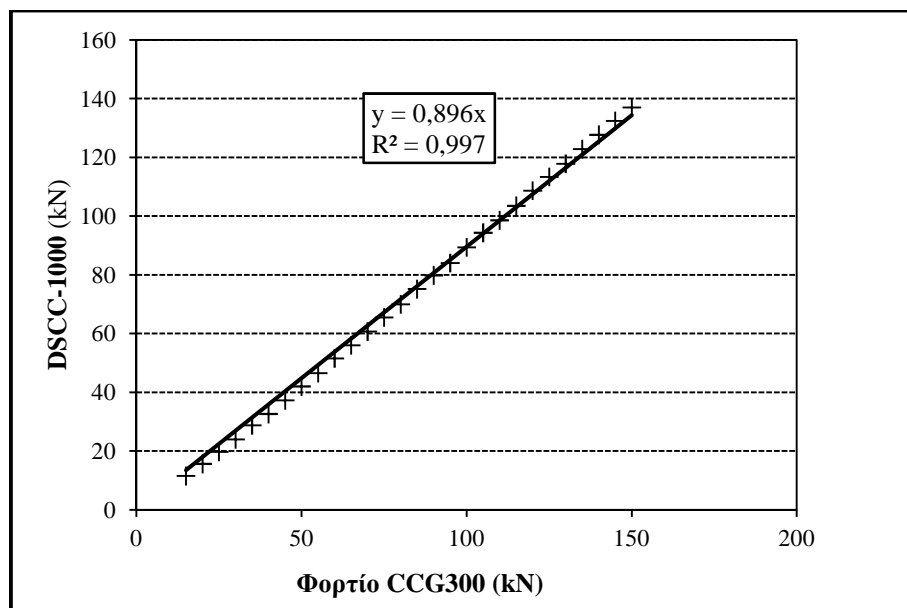
Για τις ανάγκες της βαθμονόμησης αντιπαραβάλλαμε:

- 1) Τις τιμές του *LC CCG-300* με αυτές που προέκυψαν από τη μηχανή θλίψης Wykeham Farrance (*WF-3000*) του εργαστηρίου
- 2) Τις τιμές της μηχανής θλίψης (*WF-3000*) με εκείνες της δυναμοκυψέλης *DSCC-1000* οπότε και προέκυψε το **Διάγραμμα Β.1**

Θεωρώντας την ένδειξη της δυναμοκυψέλης *DSCC-1000* ως ορθή ( $DSCC-1000 = 1,000$ ), από το (2) προέκυψε συντελεστής  $WF-3000 = 0,699 * DSCC1000$  ( $R^2=0,9996$ ) και με βάση αυτή την αναλογία προέκυψε από το (1) ότι  $CCG-300 = 0,896 * DSCC-1000$  ( $R^2= 0,9971$ ).



**Διάγραμμα Β.1** Συγκριτικό διάγραμμα ενδείξεων μηχανής θλίψης (WF-3000) και δυναμοκυψέλης DSCC-1000.



**Διάγραμμα Β.2** Συγκριτικό διάγραμμα ενδείξεων δυναμοκυψέλης CCG-300 και δυναμοκυψέλης DSCC-1000.