

**ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ
ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟ INSTITUTE
OF STRUCTURAL ENGINEERING, BOKU, VIENNA**

Παναγιώτης Σπυρίδης

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Επιστημονικός Συνεργάτης
Institute of Structural Engineering – Ινστ. Δομικής Μηχανικής
University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Vienna
Βιέννη, Αυστρία
e-mail: spyridis.panagiotis@boku.ac.at

Konrad Bergmeister

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής - Επικεφαλής του ινστιτούτου
Institute of Structural Engineering – Ινστ. Δομικής Μηχανικής
University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Vienna
Βιέννη, Αυστρία
e-mail: konrad.bergmeister@boku.ac.at

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ (ABSTRACT)

Η θεμελίωση και στερέωση μεταλλικών κατασκευών σε σταθερά στοιχεία σκυροδέματος υλοποιείται ως επί το πλείστον με κοχλιωτές συνδέσεις και χρήση αγκυρίων σκυροδέματος. Η έρευνα στον τομέα των συνδέσεων μεταξύ στοιχείων χάλυβα και σκυροδέματος παρουσιάζει καλπάζουσα εξέλιξη τα τελευταία χρόνια, όπως φαίνεται και από την πρόσφατη θέσπιση την σχετικής ευρωπαϊκής οδηγίας CEN TS καθώς και τη σύνταξη του fib bulletin με διεξοδικές οδηγίες για τη διαστασιολόγηση αγκυρώσεων στο σκυρόδεμα. Στο πρόσφατο παρελθόν αλλά και στο παρόν, ιδιαίτερες έρευνες για τη συμπεριφορά συνδέσεων στο σκυρόδεμα υπό διάφορες φορτίσεις έχουν διεξαχθεί στο Ινστιτούτο Δομικής Μηχανικής του University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU) της Βιέννης από την αντίστοιχη ερευνητική ομάδα. Στόχο του παρόντος άρθρου αποτελεί η επισκόπηση της προϋπάρχουσας γνώσεως και του κανονιστικού πλαισίου για την απόκριση αγκυρώσεων υπό αξονική, εγκάρσια και μεικτή φόρτιση, σεισμική επιπόνηση και μακροχρόνια φόρτιση, καθώς και των συναφών πρόσφατων ευρημάτων από την προαναφερθείσα ομάδα έρευνας. Τα πορίσματα των ερευνών καταδεικνύουν κατά περίπτωση τις αδυναμίες των υπαρχόντων κανονισμών, τη δυνατότητα καλύτερης εκμετάλλευσης των αγκυρώσεων στις μεταλλικές κατασκευές και τις μελλοντικές προσδοκίες στον ερευνητικό τομέα και στις πρακτικές εφαρμογές.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

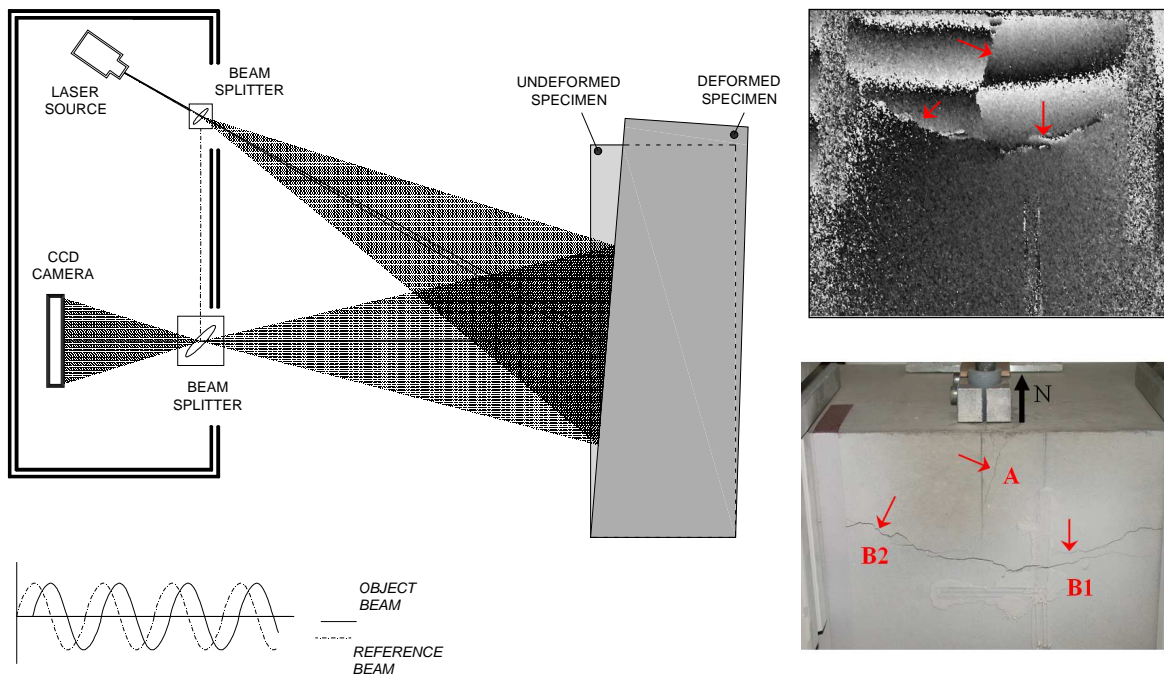
Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι συνδέσεις μεταλλικών στοιχείων σε σταθερά υπόβαθρα σκυροδέματος αντικατοπτρίζονται σε πλήθος εφαρμογών, μεταξύ άλλων τη θεμελίωση μεταλλικών φορέων, την επέκταση υφιστάμενων κατασκευών σκυροδέματος με μεταλλικές κατασκευές, τις επισκευές και ενισχύσεις με χρήση χαλύβδινων στοιχείων. Η θεμελίωση και στερέωση μεταλλικών κατασκευών σε σταθερά στοιχεία σκυροδέματος υλοποιείται συχνά με κοχλιωτές συνδέσεις και χρήση αγκυρίων σκυροδέματος (post-installed anchors). Η έρευνα στον τομέα των συνδέσεων μεταξύ στοιχείων χάλυβα και σκυροδέματος παρουσιάζει καλπάζουσα εξέλιξη τα τελευταία χρόνια, όπως φαίνεται και από την πρόσφατη θέσπιση της σχετικής ευρωπαϊκής οδηγίας CEN TS καθώς και τη σύνταξη του fib bulletin με διεξοδικές οδηγίες για τη διαστασιολόγηση αγκυρώσεων στο σκυρόδεμα. Στο πρόσφατο παρελθόν αλλά και στο παρόν, ιδιαίτερες έρευνες για τη συμπεριφορά συνδέσεων στο σκυρόδεμα υπό διάφορες φορτίσεις έχουν διεξαχθεί στο Institute of Structural Engineering (Ινστιτούτο Δομικής Μηχανικής) του University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU) της Βιέννης από την αντίστοιχη ερευνητική ομάδα υπό την καθοδήγηση του Καθ. Konrad Bergmeister και σε στενή συνεργασία με τα τμήματα έρευνας και ανάπτυξης δύο πρωτοπόρων εταιριών βιομηχανικής παραγωγής αγκυρίων σκυροδέματος. Στόχο του παρόντος άρθρου αποτελεί η επισκόπηση της προϋπάρχουσας γνώσεως και του κανονιστικού πλαισίου για την απόκριση αγκυρώσεων υπό αξονική και εγκάρσια φόρτιση, σεισμική επιπόνηση και μακροχρόνια φόρτιση, καθώς και των συναφών πρόσφατων ευρημάτων από την προαναφερθείσα ομάδα έρευνας. Τα πορίσματα των ερευνών καταδεικνύουν κατά περίπτωση τις αδυναμίες των υπαρχόντων κανονισμών, τη δυνατότητα καλύτερης εκμετάλλευσης των αγκυρώσεων στις μεταλλικές κατασκευές και τις μελλοντικές προσδοκίες στον ερευνητικό τομέα και στις πρακτικές εφαρμογές. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται έρευνες σχετικά με (α) τη σημειακή εφαρμογή φορτίων στο σκυρόδεμα, (β) τις μορφές αστοχίας σκυροδέματος κοντά στο άκρο, (γ) τις επιρροές των κατασκευαστικών ανοχών, (δ) τη μακροχρόνια απόκριση χημικών αγκυρίων και (ε) τη σεισμική συμπεριφορά των αγκυρίων.

2.1 Υπάρχον κανονιστικό πλαίσιο

Τόσο στην Ευρώπη όσο και στις ΗΠΑ, η διαδικασία σχεδιασμού αγκυρώσεων στο σκυρόδεμα με αγκύρια σκυροδέματος συνιστά συνδυασμό δύο βασικών σκελών, ήτοι του ελέγχου της αντοχής του συστήματος αγκύρωσης έναντι των φορτίσεων αφενός και αφετέρου της επιλογής και χρήσης πιστοποιημένων προϊόντων. Ισχύων κανονισμός στην Ευρώπη, κατά την περίοδο συγγραφής του παρόντος αποτελεί η προδιαγραφή CEN/TS 1992-4 Design of Fastenings for Use in Concrete [1], η οποία χρησιμοποιείται σε συνέχεια του Ευρωκώδικα 2 [2]. Η εφαρμογή του [1] προαπαιτεί την πιστοποίηση των προϊόντων (αγκυρίων) που χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τις διαδικασίες του EOTA (European Organisation for Technical Approvals), δηλαδή την CUAP (Common Understanding of Assessment Procedures) ή την ETAG (European Technical Approval Guideline) [3] βάσει ειδικών σειρών πειραμάτων σε επίσης κατάλληλα διαπιστευμένα εργαστήρια (το εργαστήριο του Institute of Structural Engineering – BOKU – Vienna διαθέτει διαπίστευση που πληροί τις απαιτήσεις των Ευρωπαϊκών αλλά και των Αμερικανικών αρμοδίων φορέων). Πέραν της επίσημης, πλέον, προδιαγραφής [1], οδηγίες για τη διαστασιολόγηση τέτοιων συστημάτων παρέχονται από το υπό έκδοση fib - Design Guide [4] και, εν μέρει, από τις οδηγίες διαστασιολόγησης ETAG-001 Metal Anchors for Use in Concrete Annex C [3], τον Κανονισμό Επεμβάσεων [5] και τον Κανονισμό Σκυροδέματος [6]. Ωστόσο, το [4] αποτελεί ουσιαστικά μια ιδιαίτερα αναλυτική επισκόπηση του

θεωρητικού υποβάθρου για τις τρέχουσες διαδικασίες διαστασιολόγησης, συγγεγραμμένη από διεθνώς αναγνωρισμένους ειδικούς στον κλάδο, δηλαδή το αντίστοιχο fib Special Activity Group, ενώ τα υπόλοιπα κείμενα έχουν σαφώς πολύ πιο περιορισμένα πεδία εφαρμογής.

Σε κάθε περίπτωση και παρά το γεγονός ότι το [1] είναι ήδη αρκετά εκτενές, πολλές περιοχές στη διαστασιολόγηση των εν λόγω συστημάτων αγκύρωσης παραμένουν σκιώδεις. Ως εκ τούτου στην έρευνα γίνονται προς αυτές τις κατευθύνσεις προσπάθειες, όπως αυτές που περιγράφονται παρακάτω, ενώ στόχο αποτελεί ένα συνδυασμένα βέλτιστο αποτέλεσμα μεταξύ (α) διαφάνειας και ευκολίας, (β) ασφάλειας και πληρότητας, και (γ) οικονομίας της κατασκευής στις προτεινόμενες διαδικασίες διαστασιολόγησης αλλά και πιστοποίησης αγκυρώσεων μεταλλικών στοιχείων στο σκυρόδεμα.



Σχ. 1: Γενική διάταξη συμβολόμετρου ESPI και ενδεικτική απεικόνιση αποτελεσμάτων για αξονικώς φορτιζόμενο αγκύριο.

3. ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Εργαστηριακά πειράματα

Στη διερεύνηση της συμπεριφοράς (φυσικά και στην πιστοποίηση των προϊόντων) οι πειραματικές μέθοδοι παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο τουλάχιστον στον εν λόγω κλάδο παραδοσιακά. Τα πειράματα εκτελούνται συνήθως στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του Institute of Structural Engineering με χρήση σερβοϋδραυλικής συσκευής με δυνατότητες φόρτισης έως περίπου 700 kN σε τρεις διευθύνσεις ή συνδυασμό αυτών, ενώ το υπάρχον σύστημα επιτρέπει και την ελεγχόμενη ρηγμάτωση των δοκιμίων, η οποία άλλωστε αποτελεί ιδιαίτερη παράμετρο ευαισθησίας των πειραμάτων σε αγκύρια σκυροδέματος. Πέραν τούτου, πειράματα εκτελούνται ενίοτε και σε προδιαγεγραμμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, σε θερμοκρασίες μεταξύ -40°C και $+180^{\circ}\text{C}$ και σε οποιαδήποτε ποσοστά

σχετικής υγρασίας (μεταξύ 10 και 95°C). Σε συνεργασία με άλλα εργαστήρια εκτελέστηκαν επίσης και πειράματα σε σεισμικές τράπεζες μιας και τριών διευθύνσεων.

Μια πρωτόπορος μέθοδος αποτύπωσης των πειραμάτων που χρησιμοποιείται από το εργαστήριο είναι η Ηλεκτρονική Συμβολομετρία Κηλίδων (Electronic Speckle Pattern Interferometry – ESPI) η οποία παρέχει σημαντική βοήθεια στην ταυτοποίηση της μικρορηγμάτωσης και περαιτέρω στη μελέτη της αστοχίας σκυροδέματος λόγω σημειακής φόρτισης από το αγκύριο. Η μέθοδος ESPI βασίζεται στη συσχέτιση των αποτυπώσεων μιας επιφάνειας (με βιντεοσκόπηση σε κάμερα CCD), στην οποία προσπίπτουν δέσμες ακτινών laser, ενώ αυτή παραμορφώνεται στη διάρκεια του χρόνου. Η γενική διάταξη του συμβολόμετρου μαζί με τυπικά αποτελέσματα της αποτύπωσης για αξονικά φορτιζόμενο αγκύριο παρουσιάζεται στο Σχ. 1 – αριστερά . Από την υπέρθεση των αποτυπώσεων/αντανακλάσεων δύο διαφορετικών φάσεων παραμόρφωσης του δοκιμίου προκύπτει μια εικόνα συμβολής (συμβολόγραμμα και πραγματική εικόνα αστοχίας – Σχ. 1 δεξιά) το οποίο με κατάλληλη επεξεργασία αποδίδει την τρισδιάστατη σχετική παραμόρφωση του υπό εξέταση σώματος με ακρίβεια της τάξεως των 10 nm. Πιο λεπτομερείς περιγραφές της μεθόδου περιέχονται στα [7], [8], [9].

3.2 Μέθοδοι πεπερασμένων στοιχείων

Καθώς η συμπεριφορά του σκυροδέματος σε σημειακά φορτία και, σε πολλές περιπτώσεις, η μηχανική της αστοχίας περιγράφονται από ιδιαίτερη μη-γραμμικότητα, τα ανελαστικά μοντέλα ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία αποδεικνύονται εξαιρετικά χρήσιμα για τη περιγραφή των διαδικασιών αστοχίας, τη μελέτη ευρύτερων φασμάτων παραμέτρων από αυτές που επιτρέπουν τα πειράματα και τη γενίκευση των συμπερασμάτων. Στις προκείμενες έρευνες χρησιμοποιούνται κυρίως μη-γραμμικά/πλαστικά θραυστομηχανικά μοντέλα σκυροδέματος [10], [11].

3.3 Πιθανοτικές και στοχαστικές μέθοδοι

Όπως προαναφέρεται, οι μηχανικές διαδικασίες που περιγράφουν τη συμπεριφορά αγκυρώσεων στο σκυρόδεμα χαρακτηρίζονται από υψηλά μη-γραμμικότητα. Επιπλέον, αναφερόμενοι στην περίπτωση ομάδων κοχλίων/αγκυρίων, σημαντικό κομμάτι των ερευνών αποτελούν οι επιρροές των κατασκευαστικών ανοχών στη διανομή φορτίων στους επιμέρους κοχλίες η οποία χαρακτηρίζεται, όπως κάθε θέμα κατασκευαστικών ατελειών, από τυχαιότητα. Ένα άλλο κομμάτι της έρευνας απασχολεί ιδιαίτερα η ανθεκτικότητα των χημικώς πακτωμένων αγκυρίων και η γήρανση / μείωση της ωφέλιμης διάρκειας ζωής των συστημάτων αγκύρωσης, που σχετίζονται με υψηλά επίπεδα αβεβαιότητας. Για να ανταποκριθούν οι έρευνες σε αυτές τις ιδιαιτερότητες είναι αναγκαία η επιστράτευση πιθανοτικών και στοχαστικών μεθόδων ανάλυσης.

Πέρα από τις ειδικές έρευνες για την κατάστρωση στοχαστικών μοντέλων τυχαίων μεταβλητών [12], γίνεται ευρεία εφαρμογή αριθμητικών μεθόδων δειγματοληψίας Monte Carlo, ενώ πιο συγκεκριμένα εφαρμόζεται και η βελτιωμένη δειγματοληπτική μέθοδος διαστρωμάτωσης Latin Hypercube Sampling [13], η οποία επιτρέπει τη μείωση των αναγκαίων δειγμάτων. Περαιτέρω εισάγονται στις έρευνες μη-γραμμικά μοντέλα συσχέτισης τυχαίων μεταβλητών (επί παραδείγματι συναρτήσεις copula) [14] και μελέτες επιρροής και συσχέτισης των παραμέτρων μέσω πιθανοτικών συντελεστών ευαισθησίας. Τέλος, πραγματοποιείται αξιολόγηση της βραχυ- και μακροπρόθεσμης αντοχής των

συστημάτων βάσει εκτίμησης της πιθανότητας αστοχίας και του δείκτη αξιοπιστίας β-Cornell [15], [16].

4. ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΘΕΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 Αντοχή σε εφελκυσμό σε μικρές επικαλύψεις σκυροδέματος

Στην πράξη, ο μηχανισμός χημικώς πακτωμένων και εγκιβωτισμένων ράβδων οπλισμού θεωρείται κοινός και ο σχεδιασμός βασίζεται στις συμβατικές μεθόδους, όπως ο Ευροκώδικας 2. Από την άλλη, οι συνδέσεις με χρήση αγκυρίων σκυροδέματος βασίζονται στη μέθοδο Concrete Capacity Design [17], με διαφορετική φιλοσοφία και φάσμα εφαρμογής. Ωστόσο, όταν η σύνδεση υλοποιηθεί, οι εγκιβωτισμένες ράβδοι οπλισμού, οι χημικώς πακτωμένες ράβδοι οπλισμού και τα χημικά άγκυρια είναι παρόμοια δομικά συστήματα. Προς το παρόν, αν και αυτά τα συστήματα έχουν ομόλογη μηχανική συμπεριφορά, οι προσεγγίσεις διαστασιολόγησης είναι παραδόξως διαφορετικές. Με βάση πειράματα και αριθμητικές προσομοιώσεις [18], [19], καθίσταται φανερό ότι οι τρόποι αστοχίας των εν λόγω συστημάτων είναι ανάλογοι (Σχ. 1 κάτω δεξιά) και ότι θα ήταν αποτελεσματική η συγχώνευση των διαφορετικών μοντέλων διαστασιολόγησης σε ένα ενιαίο μοντέλο αγκύρωσης/συνάφειας για οποιοδήποτε έμβλημα στο σκυρόδεμα υπό αξονική φόρτιση.

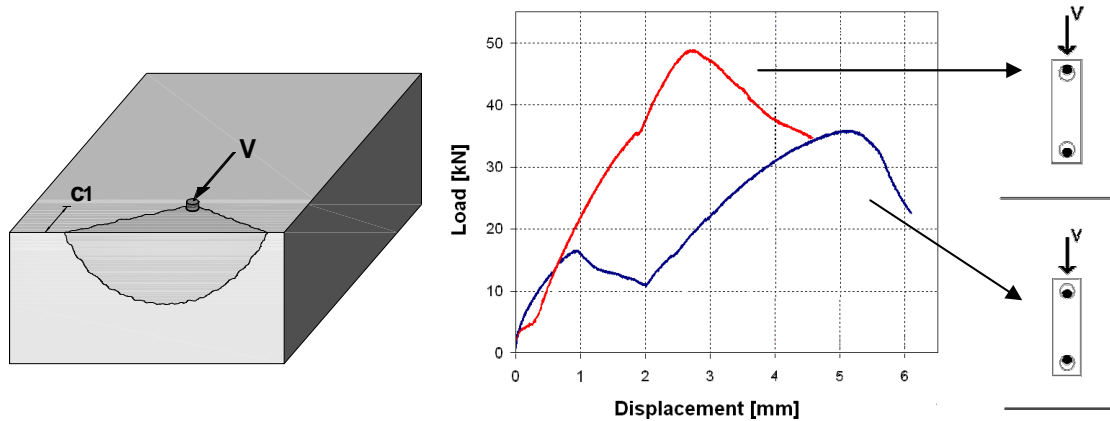
4.2 Ομάδες αγκυρίων υπό εγκάρσια φορτία κοντά στο άκρο του δομικού στοιχείου

Η αστοχία αγκυρώσεων που βρίσκονται κοντά σε ελεύθερο άκρο του δομικού στοιχείου σκυροδέματος και υποβάλλονται σε εγκάρσια φόρτιση με κατεύθυνση προς το άκρο χαρακτηρίζεται από απόσχιση πλευρικού κώνου (πρίσματος αστοχίας) σκυροδέματος προς την κατεύθυνση του φορτίου (Σχ. 2 αριστερά). Αυτός ο τύπος αστοχίας συμβαίνει για σχετικά χαμηλές παραμορφώσεις (έως και πολύ κάτω του χιλιοστού), ενώ η φέρουσα ικανότητα είναι ανάλογη της απόστασης από το άκρο (c_1). Υπό αυτές τις συνθήκες, η εγκάρσια αντίσταση μιας ομάδας αγκυρίων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη των ανοχών μεταξύ των οπών της πλάκας σύνδεσης και των μεμονωμένων αγκυρίων που απαρτίζουν το σύστημα ακύρωσης (Σχ. 2 δεξιά). Εν τη απουσία πιο συγκεκριμένων λύσεων, οι σημερινές φιλοσοφίες σχεδιασμού (συμπεριλαμβανομένου και του [4]) καταφεύγουν σε μια συντηρητική προσέγγιση, με βάση την ακραία / χειρότερη πιθανή διάταξη των αγκυρίων και διανομή των φορτίων στο σύστημα ακύρωσης (Σχ. 3). Οι πρόσφατες μελέτες στο Institute of Structural Engineering, βάσει πειραμάτων, πεπερασμένων στοιχείων και πιθανοτικών εκφράσεων της επιρροής των κατασκευαστικών ανοχών καταδεικνύουν τη δυνατότητα για μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση της εγκάρσιας αντοχής ομάδων αγκυρίων [20], [21]. Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν, αναπτύσσονται μαθηματικές διατυπώσεις για τον υπολογισμό μιας ακριβέστερης τιμής της φέρουσας ικανότητας.

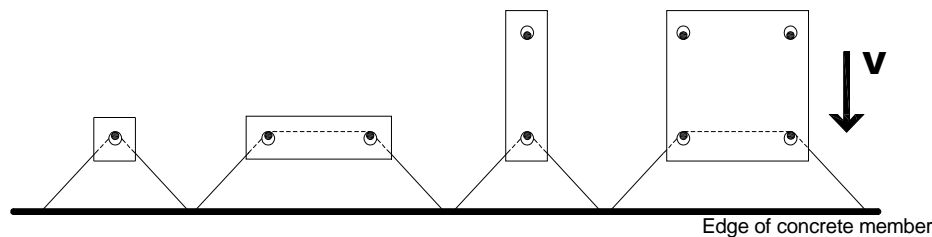
4.3 Μακροχρόνια απόκριση χημικώς πακτωμένων αγκυρίων

Αντικείμενο αυτής της μελέτης αποτελεί ο υπολογισμός της δομικής αξιοπιστίας χημικώς πακτωμένων αγκυρίων. Επιπλέον, εισάγεται ο μειωτικός συντελεστής κ προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η γήρανση του συστήματος και να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις της μακροχρόνιας φόρτισης στην πιθανότητα αστοχίας p_f , με κρίσιμη τιμή 10^{-6} /έτος. Προκειμένου να καθοριστεί το φάσμα τιμών του συντελεστή κ , εκπονείται μελέτη

ευαισθησίας που εξετάζει πιθανοτικά τις μέσες τιμές, τις διασπορές και το είδος της κατανομής για τις γεωμετρικές και μηχανικές παραμέτρους του συστήματος [22]. Συμπληρωματικές πειραματικές μελέτες εκτιμούν τα αποτελέσματα της γήρανσης του συνδετικού κονιάματος που χρησιμοποιείται κατά περίπτωση (εποξική ρητίνη, τσιμέντο, υβρίδιο) με χρήση υλικών «ισοδύναμα γηρασμένων» [23].



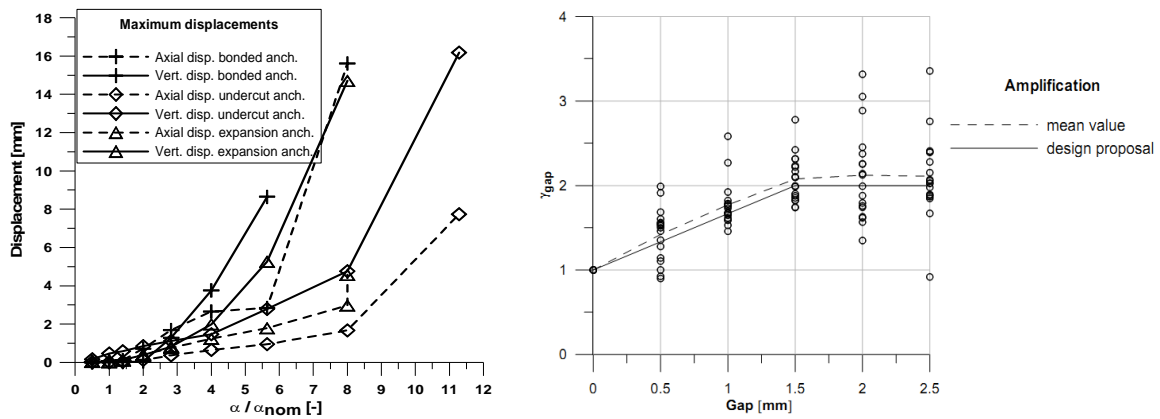
Σχ. 2: Αριστερά: Σχηματική απεικόνιση της πλευρικής αστοχίας κώνου σκυροδέματος. Δεξιά: Πειραματικά αποτελέσματα για δύο διαφορετικές θέσεις των αγκυρίων σε σχέση με τις οπές της πλάκας καταδεικνύουν την ευαισθησία της αντοχής στις κατασκευαστικές ανοχές



Σχ. 3: Η τρέχουσα φιλοσοφία σχεδιασμού για εκγάρσια φορτία κοντά στο άκρο για διάφορους τύπους αγκύρωσης βάσει συντηρητικών παραδοχών: Μόνο το αγκύριο - ή η σειρά αγκυρίων - πλησιέστερα στο άκρο θεωρείται φέρουσα έναντι εκγάρσιων φορτίων.

4.4 Σεισμική συμπεριφορά αγκυρώσεων στο σκυρόδεμα

Ιδιαίτερες προσπάθειες στον τομέα της έρευνας γίνονται για τη διάγνωση της συμπεριφοράς των αγκυρώσεων υπό σεισμική διέγερση με σκοπό την καθιέρωση κατάλληλων πειραμάτων πιστοποίησης και μεθόδων διαστασιολόγησης με ικανοτικά κριτήρια / κριτήρια πλαστιμότητας. Κρίσιμος είναι ο σχεδιασμός πρότυπων πειραματικών μοντέλων ώστε να προσομοιώνονται επαρκώς αλλά και με εύλογες πειραματικές διατάξεις οι αναμενόμενες ταλαντώσεις / ανακυκλίσεις και η ταυτόχρονη δράση των αξονικών, των εγκάρσιων φορτίων και της ανακύκλισης του εύρους ρωγμής. Παράλληλα, αντικείμενο ενδιαφέροντος αποτελεί και ο ιδιαίτων ρόλος των συνδέσεων κατά τη διαμόρφωση επισκευών και ενισχύσεων έναντι σεισμών [24]. Στην περίπτωση της σεισμικής δράσης, η επιρροή των κατασκευαστικών ανοχών φέρεται να συμβάλει στην αύξηση των αδρανειακών δυνάμεων σε κάποιες περιπτώσεις (φαινόμενο σφύρας) [25], και εισάγεται στο σχεδιασμό με έναν πρόσθετο συντελεστή επιτάχυνσης γ_{gap} .



Σχ. 4: Αριστερά: Σχέση επιτάχυνσης – παραμόρφωσης για διάφορους τύπους αγκυρίων από πειράματα σε σεισμική τράπεζα τριών διευθύνσεων. Δεξιά: Συντελεστής αύξησης των φορτίων αδρανείας σε σχέση με το μέγεθος της ανοχής της οπής στην πλάκα σύνδεσης [16].

5. ΣΥΓΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στο παρόν κείμενο περιγράφεται καταρχήν η τρέχουσα κατάσταση στο σχεδιασμό και στη συνέχεια παρουσιάζονται σχετικές ερευνητικές προσεγγίσεις και θέματα στα οποία εστιάζουν επίκαιρες έρευνες στον τομέα των συνδέσεων και θεμελιώσεων μεταλλικών κατασκευών στο σκυρόδεμα από την ομάδα του Institute of Structural Engineering του University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU) της Βιέννης. Μέσω αυτών αναδεικνύονται τρέχοντα προβλήματα στον τομέα αλλά και εφαρμογές σύγχρονων επιστημονικών μεθόδων. Φυσικά, η παρούσα έκθεση είναι επιλεκτική και ενδεικτική και σε ουδεμία περίπτωση εξαντλητική. Άλλωστε, πλήθος θεμάτων έχουν ανακύψει και εξακολουθούν να ανακύπτουν στο χώρο των συνδέσεων χάλυβα και σκυροδέματος. Ωστόσο θεωρείται ότι δίδονται κάποιες βασικές προοπτικές και εγείρονται χρήσιμοι προβληματισμοί στους ερευνητές και μηχανικούς της πράξης, σχετικά με τα εν λόγω δομικά συστήματα.

Όσα αναφέρονται στο παρόν αποτελούν εν μέρει προϊόν συνεργασίας των συγγραφέων με την υπόλοιπη ερευνητική ομάδα του Institute of Structural Engineering, αλλά και προσωπικό ερευνητικό έργο των μελών της: Stefan Lachniger, Andreas Unterweger, Anton Rieder και Ronald Mihala.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. CEN/TS 1992-4: 2009, Design of fastenings for use in concrete, Parts 4-1 to 4-5, Brussels, 2009
- [2] CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 2. EN 1992-1-1:2004 Design of concrete structures. General rules and rules for buildings Brussels, 2004
- [3] EUROPEAN ORGANIZATION FOR TECHNICAL APPROVALS – EOTA. “ETAG 001: Metal Anchors for Use in Concrete” www.eota.be, 2010
- [4] fib – INTERNATIONAL FEDERATION FOR STRUCTURAL CONCRETE. fib Design Guide (final draft submitted for publication). 2010
- [5] ΟΑΣΠ – Κανονισμός Επεμβάσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ.

- [6] ΣΠΙΜΕ, ΟΑΣΠ *Ελληνικός κανονισμός ωπλισμένου σκυροδέματος - ΕΚΩΣ 2000*
- [7] EBERHARDSTEINER, J. “*Mechanisches Verhalten von Fichtenholz - Experimentelle Bestimmung der biaxialen Festigkeitseigenschaften*” (Μηχανική συμπεριφορά του ξύλου ερυθρελάτης – Πειραματικός προσδιορισμός των ιδιοτήτων διαξονικής αντοχής), Springer, Vienna, 2002
- [8] MIX, P.E., “*Introduction to nondestructive testing: A Training Guide*”, John Wiley & Sons, New Jersey, 2005
- [9] ΣΠΥΡΙΔΗΣ Π., UNTERWEGER A., MIHALA R., BERGMEISTER K. “Η μικρορηγμάτωση στο μικροσκόπιο. Μια εφαρμογή της ηλεκτρονικής συμβολομετρίας κηλίδων (ESPI)” *fib - RILEM, 16^ο Συνεδριο Σκυροδέματος*, Πάφος, 21 - 23 Οκτ. 2009
- [10] ČERVENKA V., JENDELE L., ČERVENKA J. *ATENA Program Documentation. Part 1 – Theory*. Cervenka Consulting Ltd. Prague 2011
- [11] DASSAULT SYSTÈMES. *ABAQUS Analysis User's Manual. Version 6.8. Volume III: Materials*. Dassault Systèmes, 2008
- [12] BERGMEISTER K., RIEDER, A., STRAUSS, A. *Bemessung durch Versuche (Assessment through experiments – in German)*. Departmental publication, University of Natural resources and Applied Life Sciences of Vienna, Department of Civil Engineering and Natural Hazards, 2004
- [13] McKAY, M.D., CONOVER, W.J., BECKMAN, R.J. A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code. *Technometrics* 21 (1979), pp 239 – 245, 1979
- [14] TAMPAROPOULOS, E.A. , SPYRIDIS, P., BERGMEISTER, K.; On the Dependence type Uncertainty and the Effect on Construction Reliability. In: *Concrete engineering for excellence and efficiency - the fib Symposium 2011*, Prague, 8 – 10 June 2011
- [15] ΣΠΥΡΙΔΗΣ Π., UNTERWEGER A., MIHALA R., RIEDER A., BERGMEISTER K.: Ανάλυση αξιοπιστίας και πειραματική μελέτη χημικών αγκυρίων στο σκυρόδεμα In: G. Gazetas (Ed.), 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνα, 5–7 Νοεμβρίου, 2008
- [16] BERGMEISTER K., NOVAK D., PUKL, R, CERVENKA V. Structural assessment and reliability analysis for existing engineering structures, theoretical background. *Structure and Infrastructure Engineering* 5 (2009), pp 267 – 275, 2009
- [17] ELIGEHAUSEN, R.; MALLÉÉ, R.; SILVA, J.F. *Anchorage in Concrete Construction*. Berlin: Ernst & Sohn, 2006
- [18] SPYRIDIS, P., MIHALA, R., BERGMEISTER, K. Towards a unified design concept for cast-in place bars, post-installed rebars and bonded anchors in concrete. In: *Innovative Concrete Technology in Practice. The 5th Central European Congress on Concrete Engineering*. Austrian Society for Concrete- and Construction Technology, Baden, 24 - 25 September 2009
- [19] MIHALA, R., RIEDER, T., HILBER, R., BERGMEISTER, K. Testing and Mechanistic Analysis of Anchorages in Concrete Close to the Edge. In: *3rd fib International Congress - 2010*, The International Federation for Structural Concrete (fib - fédération internationale du béton), Paper ID: 521, Washington, May 29 - June 2, 2010
- [20] LACHINGER S., SPYRIDIS P., UNTERWEGER A., BERGMEISTER K. Group of anchorages close to the edge under oblique loading. I In: *3rd fib International Congress - 2010*, The International Federation for Structural Concrete (fib -

fédération internationale du béton), Paper ID 543. Washington, 29 May – 1 June 2010.

- [21] SPYRIDIS P., UNTERWEGER A., BERGMEISTER K. Novel design approaches for shear loaded fastenings in concrete. In: *3rd fib International Congress - 2010*, The International Federation for Structural Concrete (fib - fédération internationale du béton), Paper ID 515. Washington, 29 May – 1 June 2010.
- [22] MIHALA, R.; SPYRIDIS, P.; BERGMEISTER, K. Durability and reliability assessment of adhesive anchors by use of probabilistic methods. In: Chen, S.; Frangopol, D.M.; Ang, A., *Proceedings of the Second International Symposium of Life-Cycle Civil Engineering. Life-Cycle of Civil Engineering Systems, International Association for Life-Cycle Civil Engineering*. National Taiwan University of Science and Technology; ISBN: 978-986-02-4986-6 Taipei, October 27 - 31, 2010
- [23] UNTERWEGER A., MIHALA R., SPYRIDIS P., BERGMEISTER, K. Long term behavior of bonded fasteners - Aggregate interlock without bonding agent In: Chen, S.; Frangopol, D.M.; Ang, A., *Proceedings of the Second International Symposium of Life-Cycle Civil Engineering. Life-Cycle of Civil Engineering Systems, International Association for Life-Cycle Civil Engineering*. National Taiwan University of Science and Technology; ISBN: 978-986-02-4986-6 Taipei, October 27 - 31, 2010
- [24] RIEDER A., SPYRIDIS P., BERGMEISTER, K. Seismic behaviour of post-installed anchors in concrete - A case study. In: G. Gazetas (Ed.), *3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας*, Αθήνα, 5–7 Νοεμβρίου, 2008
- [25] RIEDER A., BERGMEISTER K. Simulated and Tested Seismic Response of Post-Installed metal Anchors in Concrete In: *3rd fib International Congress - 2010*, The International Federation for Structural Concrete (fib - fédération internationale du béton), Paper ID 515. Washington, 29 May – 1 June 2010.

DEVELOPMENTS IN RESEARCH ON CONNECTIONS BETWEEN STEEL AND CONCRETE FROM THE INSTITUTE OF STRUCTURAL ENGINEERING, BOKU, VIENNA

Panagiotis Spyridis

Dr. Eng., Research Associate
Institute of Structural Engineering
University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Vienna
Vienna, Austria
e-mail: spyridis.panagiotis@boku.ac.at

Konrad Bergmeister

O.Univ.Prof. Dipl. Ing. Dr.techn. Dr.phil. - Head of the Institute
Institute of Structural Engineering
University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Vienna
Vienna, Austria
e-mail: konrad.bergmeister@boku.ac.at

SUMMARY

The foundation and fastening of metal structural components on concrete elements is mostly realized through bolted connections and by use of concrete anchors. As it appears in the recent establishment of the relative European Specification CEN TS as well as the edition of the respective fib bulletin with extensive guidance on the design of anchorages in the concrete, research in the discipline of connections between steel and concrete has showed a galloping development in the past years. Since the last few years, particular investigations on the behavior of connections to concrete under various load actions have been carried out in the Institute of Structural Engineering of the University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU) - Vienna from the respective research group. Objective of the present paper is the review of the state-of-knowledge and the normative framework with regard to the response of fastenings under axial, shear and oblique loads, seismic excitation and long-term loading. Furthermore, the relevant recent findings from the above-mentioned research-group are demonstrated, with the aim to discuss possibilities of improvements in existing regulations and the future prospects in the research and practice of connections between steel and concrete.