

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ-ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (COUPLERS)

ΣΤΡΟΥΜΠΟΥΛΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ
ΦΙΛΙΠΠΑ ΑΡΓΥΡΩ

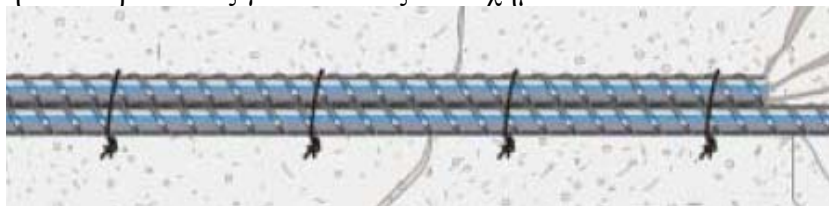
Περίληψη

Η παρούσα εργασία ασχολείται με το θέμα των μηχανικών ενώσεων-επεκτάσεων ράβδων οπλισμού(couplers). Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα διάφορα είδη τους καθώς επίσης και οι εφαρμογές τους. Παράλληλα συγκρίνεται η μηχανική αυτή μέθοδος ένωσης ράβδων με τη μέθοδο της κατά παράθεση ένωσης των άκρων των ράβδων(μάτισμα). Τέλος γίνεται αναφορά στον έλεγχο της μηχανικής επάρκειας των coupler, ενώ παραθέτουμε και διάφορα έργα στα οποία αυτά έχουν εφαρμοστεί.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ένωση ράβδων οπλισμού στα διάφορα στοιχεία του φέροντος οργανισμού, αν και στην πραγματικότητα είναι καλό να αποφεύγεται, προκύπτει σχεδόν πάντα ως ανάγκη στις κατασκευές. Αυτό συμβαίνει γιατί τα μεγάλα μήκη που απαιτούνται, δεν είναι πάντα διαθέσιμα από τις χαλυβουργίες.

Μία από τις πιο διαδεδομένες και αποδοτικές πρακτικές που εφαρμόζεται στη χώρα μας είναι αυτή της υπερκάλυψης των άκρων των ράβδων(μάτιση). Η έμμεση ένωση των ράβδων με υπερκάλυψη των άκρων τους γίνεται όπως στο σχήμα1.



Σχήμα 1: Μάτιση [8]

Μια δεύτερη μέθοδος ένωσης των ράβδων είναι η συγκόλληση. Αυτή πραγματοποιείται όταν δεν είναι εφικτό να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του Κανονισμού Σκυροδέματος για το μήκος υπερκάλυψης, όπως π.χ όταν έχουμε κοντές αναμονές και δεν μπορεί να γίνει ένωση κατά παράθεση. Παρόλα αυτά είναι καλό να αποφεύγεται γιατί τα συνεργεία δεν έχουν πάντα την απαιτούμενη εξειδίκευση και γιατί δεν είναι γνωστή πάντα η συγκολλησιμότητα των χαλύβων. Συγκολλήσεις που έγιναν από τεχνίτες που είχαν εμπειρία συγκολλήσεων μόνο από εργασίες σε μη φέροντα στοιχεία (π.χ μεταλλικές πόρτες, κάγκελα κ.λ.π) αστόχησαν στην περιοχή συγκόλλησης σε ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό[1]. Επίσης η συγκόλληση συνεπάγεται τοπική αύξηση θερμοκρασίας και διαφοροποίηση δομής και ιδιοτήτων του χάλυβα στην περιοχή της συγκόλλησης. Η εμφάνιση ακόμη σκληρών και ψαθυρών συστατικών προσδίδουν σε αυτόν ευθραυστότητα (ψαθυροποίηση) .

Οι μηχανικοί σύνδεσμοι, τέλος, είναι μια σχετικά νέα πρακτική σύνδεσης ράβδων οπλισμού, και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπως π.χ. όταν οι ράβδοι έχουν ασυνήθιστα μεγάλη διάμετρο και υπάρχει συνωστισμός οπλισμού. Είναι όμως μια τεχνική που χρησιμοποιείται κυρίως στο εξωτερικό και όχι τόσο στην Ελλάδα. Στις σπάνιες περιπτώσεις όμως που χρησιμοποιούνται, εισάγονται επί παραγγελία και κοστίζουν αρκετά [5].



Σχήμα 2: Διάφορα είδη μηχανικών ενώσεων [8]

2. ΕΙΔΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ

Υπάρχουν διάφορα είδη μηχανικών ενώσεων, με ξεχωριστές εφαρμογές το κάθε ένα. Στην πιο απλή μορφή του (taper threaded splice) ο συζευκτήρας-coupler αποτελεί μια κυλινδρική κοίλη ράβδο με μήκος που μπορεί να κυμαίνεται από 5 έως 20cm περίπου.

▪ Taper threaded splices [8]

Ο σύνδεσμος αυτός είναι σχεδιασμένος ώστε να ταιριάζει στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογών όπου απαιτείται ένωση των ράβδων οπλισμού. Το εσωτερικό τους είναι σπειροειδές το οποίο έχει κωνοποιηθεί ώστε να μπορεί να δεχτεί τα άκρα των ράβδων τα οποία επίσης κωνοποιούνται σπειροειδώς. Σε αυτήν την κατηγορία, ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής, ανήκουν:

i) Standard Coupler

Κατάλληλο να συνδέει δύο ράβδους της ίδιας διαμέτρου, όπου η μία μόνο μπορεί να περιστραφεί, όπως π.χ. όταν έχουμε αναμονές ράβδων σε κάποιον όροφο. Το εσωτερικό του είναι δύο δεξιόστροφα σπειρώματα τα οποία κωνοποιούνται και από τις δύο πλευρές καθώς προχωράμε προς το μέσο του μήκους του συνδέσμου. Η κωνοποίηση δε των ράβδων δε προχωρεί μέχρι τέλους, ώστε στο εσωτερικό της μηχανικής ένωσης να δημιουργείται κενό, περίπου 25mm.



Σχήμα 3: Taper threaded coupler της εταιρείας Lenton [8]

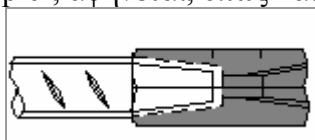
Σε μια άλλη εκδοχή του, το coupler παρέχεται συγκολλημένο με τη ράβδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4: Standard coupler HRC 400 series [10]

ii) Transition Couplers

Χρησιμοποιείται για να συνδέσει ράβδους διαφορετικής διαμέτρου, όπου μόνο η μία μπορεί να περιστραφεί. Το εσωτερικό του είναι, όπως και στην παραπάνω περίπτωση, δύο δεξιόστροφα σπειρώματα διαφορετικής διαμέτρου, έτσι ώστε να ταιριάζουν στις αντίστοιχες ράβδους. Εσωτερικό κενό στο coupler, αφήνεται, όπως και παραπάνω, γύρω στα 25 mm.



Σχήμα 5: Transition coupler της εταιρείας Lenton [8]

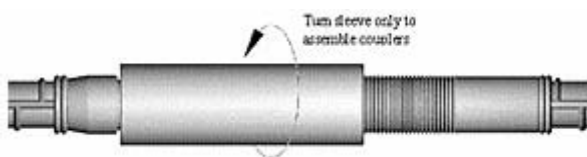
Τα transition couplers μπορούν να έχουν π.χ. εφαρμογή ως εξής : Αν σε περίπτωση λάθους υπολογισμού τα σίδερα σε ένα υποστύλωμα συνεχίζουν με μεγαλύτερη διάμετρο σε σχέση με τη διάμετρο του οπλισμού της θεμελίωσης, τότε είναι πολύ πιθανό, ότι το μήκος των ράβδων που υπάρχει είναι μικρότερο από το απαιτούμενο για ένωση με μάτιση. Στην περίπτωση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν couplers που ενώνουν ράβδους διαφορετικής διαμέτρου.

iii) Position Coupler

Μπορεί να συνδέσει ευθύγραμμες ή κεκαμμένες ράβδους, όταν δεν υπάρχει δυνατότητα περιστροφής καμιάς εκ των δύο. Ανάλογα με την εταιρεία, οι σπειροειδείς απολήξεις των ράβδων στα δύο άκρα του coupler μπορεί είτε να κωνοποιούνται είτε όχι.



Σχήμα 6: Position coupler της εταιρείας Lenton [8]



Σχήμα 7: Position coupler HRC 400 series [10]

Αυτός ο τύπος coupler βρίσκει μεγάλη εφαρμογή ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται μεγάλες σε μήκος ράβδοι, ευθύγραμμες ή κεκαμμένες, καθώς δεν χρειάζεται να στραφούν οι ράβδοι, παρά μόνο το coupler.



Σχήμα 8: Προκατασκευασμένος κλωβός οπλισμού με χρήση position couplers της εταιρείας HRC[10].

▪ Starter Bar System [7, 8]

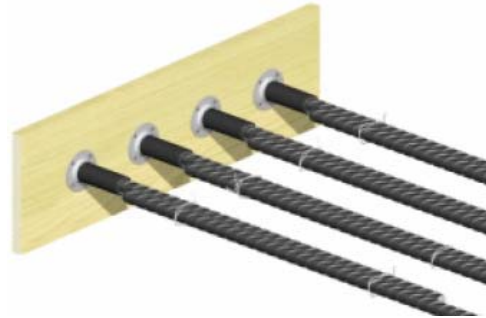
Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις τμηματικής σκυροδέτησης. Το coupler παρέχεται από τον κατασκευαστή συγκολλημένο στο ένα του άκρο με μια ράβδο οπλισμού, ενώ το άλλο άκρο του είναι κωνοποιημένο σπειροειδώς. Αρχικά, κατά την σκυροδέτηση του πρώτου τμήματος, μια μικρή, χαλύβδινη πλάκα καρφώνεται στον ξυλότυπο και πάνω της ενσωματώνεται το coupler. Γίνεται κανονικά η σκυροδέτηση και αφαιρείται ο ξυλότυπος. Η κωνοποιημένη πλευρά του coupler σφραγίζεται για να εμποδίσει την είσοδο σκυροδέματος. Σε αυτήν την πλευρά θα ενωθούν μελλοντικά νέες ράβδοι (σχήμα 9).

Μέχρι τώρα, η μέθοδος που εφαρμοζόταν ήταν οι προεξέχοντες ράβδοι. Αυτές όμως εμποδίζουν αρκετά στις εργασίες ενώ δημιουργούσαν και προβλήματα στην αφαίρεση του ξυλότυπου. Το starter bar system ελαχιστοποιεί τις ράβδους που προεξέχουν σε ένα προσωρινό άνοιγμα και απλοποιεί εφαρμογές όπως μελλοντική προσθήκη σκάλας, δοκών σε

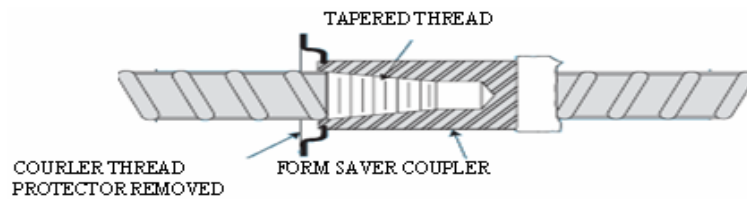
υπάρχοντα υποστυλώματα ή επέκταση προβόλου. Το σύστημα παρέχει μεγάλη ασφάλεια και η τοποθέτηση του είναι απλή.



Σχήμα 9: Τοποθέτηση νέας ράβδου σε starter bar system της Lenton(Form Saver) [8]



Σχήμα 10: Starter Bar System της Ancon [7]



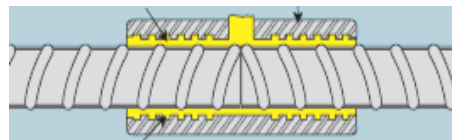
Σχήμα 11: Form Saver της Lenton [8]

▪ Steel- filled coupling sleeve [6]

Για τις πιο απαιτητικές εφαρμογές, αυτό το σύστημα ένωσης ράβδων έχει κερδίσει τη φήμη της πιο αποδοτικής ένωσης. Ενώσεις αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατασκευές που απαιτούν υψηλή ασφάλεια έναντι σεισμού, ανέμου ή πίεσης. Είναι επίσης ιδανικά για σύνδεση καμπύλων ράβδων. Είναι μηχανική ένωση και όχι συγκόλληση. Το εσωτερικό του είναι αυλακωτό και δουλεύει σε συνεργασία με τις ράβδους οπλισμού. Τα φορτία μεταφέρονται από τις ράβδους στην παράπλευρη επιφάνεια του coupler μέσω ενός υλικού πλήρωσης και τα προς σύνδεση άκρα δε χρειάζονται επεξεργασία (σχήμα 13)

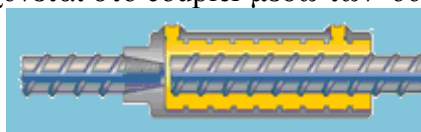


Σχήμα 12: Ένωση καμπύλων ράβδων με Cadweld [8]



Σχήμα 13: Cadweld της Lenton [8]

Σε μία άλλη παραλλαγή αυτής της κατηγορίας ενώσεων, η μία άκρη της μηχανικής ένωσης δέχεται μια κωνοποιημένη ράβδο, ενώ το υπόλοιπο τμήμα της γεμίζεται με ένα ειδικά σχεδιασμένο κονίαμα πλήρωσης. Όσον αφορά στον τρόπο σύνδεσης, η κωνοποιημένη ράβδος ενσωματώνεται στη μια πλευρά του coupler και το “σφραγίζει”(σχήμα 14). Στη συνέχεια οι προεξέχοντες ράβδοι του ήδη σκυροδετημένου στοιχείου που θέλουμε να συνδέσουμε εισέρχονται στην απέναντι πλευρά του coupler. Η ένωση επιτυγχάνεται με το κονίαμα πλήρωσης το οποίο χύνεται στο coupler μέσω των δύο ανοίγματα στο πάνω μέρος.



Σχήμα 14: Interlock της Lenton [8]



Σχήμα 15: Εφαρμογή του Interlock της Lenton [8]

▪ Quick-wedge [8]

Είναι ένα μηχανικό σύστημα που χρησιμοποιείται για την ένωση ράβδων οπλισμού μικρής διαμέτρου (12mm έως 20 mm). Το σχήμα του είναι οβάλ και έχει ένα κυκλικό άνοιγμα στο πάνω μέρος του. Στο εσωτερικό του οι ράβδοι ενώνονται κατά παράθεση με τη βοήθεια μιας σφήνας (μπουλόνι), η οποία τοποθετείται στο παραπάνω άνοιγμα και σταθεροποιεί την ένωση. Τα άκρα των ράβδων οπλισμού δεν χρειάζονται κάποια ειδική επεξεργασία και μπορούν να προεξέχουν της μηχανικής ένωσης (σχήμα 16). Το σύστημα αυτό έχει τη φήμη μιας από τις γρηγορότερες ενώσεις (περίπου 100 ενώσεις ανά ώρα).



Σχήμα 16: Quick –wedge της Lenton [8]

Ιδιαίτερα καλή εφαρμογή παρουσιάζει στην περίπτωση επέκτασης υφιστάμενης κατασκευής (π.χ. όταν έχουμε κοντές αναμονές σε ένα υποστύλωμα) μιας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικρό μήκος ράβδων που προεξέχουν. Χρησιμοποιείται επίσης και στην περίπτωσης ένωσης ράβδων υφιστάμενων στοιχείων σκυροδέματος (σχήματα 17,18) .



Σχήμα 17 [8]



Σχήμα 18 [8]

▪ Strap-type steel coupling sleeve [8,6]

Το ημικυλινδρικό τμήμα του coupler καταλήγει καμπτόμενο στη μια πλευρά του ενώ από την άλλη έχει μια σειρά σχισμών. Λωρίδες σχήματος L συνδέονται στις σχισμές και “κλειδώνουν” από την άλλη, στο καμπτόμενο τμήμα. Αυτές οι μηχανικές ενώσεις εφαρμόζονται σε ράβδους που δέχονται μόνο θλιπτικά φορτία.



Σχήμα 19: Strap-type coupler [8]



Σχήμα 20: Speed-Sleeve της Lenton [8]

▪ MBT [7]

Οι μηχανικές ενώσεις MBT αποτελούν μία εναλλακτική μέθοδο ένωσης ράβδων σε υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος. Τα άκρα των προς ένωση ράβδων δε χρειάζονται επεξεργασία και δε χρειάζονται ειδικευμένοι τεχνίτες για την ένωση. Αποτελείται από ένα εσωτερικά σπειροειδές καμπύλο τμήμα και η ένωση γίνεται με διατμητικούς ήλους. Αυτοί, καθώς στρέφονται, ενσφηνώνονται στις ράβδους έως ότου οι κεφαλές τους κοπούν κάνοντας τους τελικά να εξέχουν ελαφρώς από το coupler (σχήματα 21,22). Οι εφαρμογές τους είναι πολλές, όπως π.χ σε αναμονές υποστυλωμάτων, σε δοκούς, σε γέφυρες κ.τ.λ.



Σχήμα 21: MBT της εταιρείας Ancon [7]



Σχήμα 22: Τομή MBT [7]

Για ένωση ράβδων διαφορετικής διαμέτρου χρησιμοποιείται παραλλαγή της παραπάνω μηχανικής ένωσης, η οποία είναι μεταβλητής διατομής (σχήμα 23).



Σχήμα 23: Transition MBT [7]

3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΠΑΡΑΘΕΣΗΣ ΡΑΒΔΩΝ (ΜΑΤΙΣΗΣ)

Η κατά παράθεση ένωση των ράβδων (μάτιση) ήταν μέχρι πρόσφατα, ιδιαίτερα στη χώρα μας, η πιο αποδεκτή μέθοδος σύνδεσης ράβδων οπλισμού σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Επίσης η λανθασμένη αντίληψη ότι πρόκειται για οικονομική μέθοδο έκανε την αποδοχή των μηχανικών ενώσεων ως μέθοδο ένωσης των ράβδων οπλισμού δύσκολη.

Στη μάτιση, το φορτίο μεταφέρεται μέσα από το σκυρόδεμα και οι ενώσεις αναπτύσσουν την αντοχή τους σε συνεργασία με αυτό. Όσον αφορά στο μήκος υπερκάλυψης (l_0), αυτό εξαρτάται από:

- i. την ποιότητα του σκυροδέματος, όπου όσο καλύτερη η ποιότητα του σκυροδέματος που έχουμε, τόσο μικρότερο το απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης,
- ii. την διάμετρο οπλισμού, όπου όσο αυξάνεται η διάμετρος, τόσο αυξάνεται και το μήκος υπερκάλυψης και
- iii. από το όριο διαρροής του χάλυβα.

Αυτό φαίνεται και από τις παρακάτω σχέσεις [5]:

$$l_0 = \alpha_1 l_{b,net} \geq l_{0,min} = \max(15\Phi, 200\text{mm}, 0,3 \alpha_1 l_b) - \text{Για ευθύγραμμο άκρα} \quad (1\alpha)$$

$$l_0 = 0,7 \alpha_1 l_{b,net} \geq l_{0,min} = \max(15\Phi, 200\text{mm}, 0,21 \alpha_1 l_b) - \text{Για άκρα με άγκιστρα} \quad (1\beta)$$

$$\text{όπου } l_{b,net} = (A_{s,cal}/A_{s,ef}) l_b \geq l_{b,min}$$

$A_{s,ef}$: ενεργός διατομή οπλισμού που πραγματικά υπάρχει και χρειάζεται να αγκυρωθεί.

$A_{s,cal}$: απαιτούμενη από τον υπολογισμό διατομή οπλισμού στην υπόψη θέση, το πολύ ίση με $A_{s,ef}$

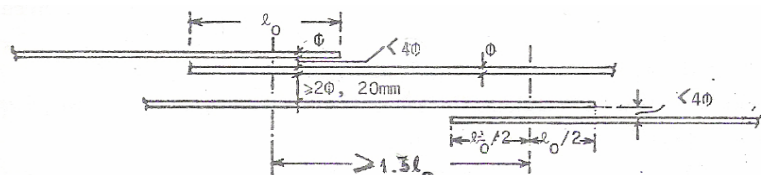
α_1 : η τιμή του δίνεται από πίνακες.

$$l_b = (\Phi/4) * (f_{yd} / f_{bd})$$

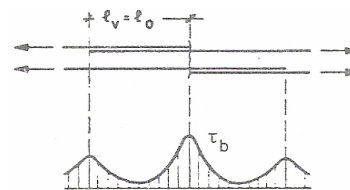
Στη μάτιση ο συνηθισμένος τρόπος αστοχίας είναι η διάρρηξη του μεταξύ των ράβδων σκυροδέματος και για να περιοριστεί το ενδεχόμενο αυτό απαιτείται επιπρόσθετος εγκάρσιος οπλισμός(συνδετήρες). Συνήθως όμως αρκεί ο ήδη υπάρχων [5].

Επιπλέον, η μάτιση θλιβόμενων ράβδων εμφανίζει σημαντικές διαφορές στη συμπεριφορά της συγκριτικά με τη μάτιση εφελκόμενων ράβδων. Στην περίπτωση των θλιβόμενων ράβδων η μεταφορά της δύναμης θλίψης από τη μία ράβδο στην άλλη δε γίνεται μόνο μέσα στο μήκος l_0 . Τάσεις αιχμής στην άκρη της ράβδου με μέγεθος περίπου $3f_c$ μεταφέρουν θλιπτική δύναμη από την αιχμή της ράβδου στο σκυρόδεμα και στη συνέχεια στην άλλη ράβδο μέσω συνάφειας. Για το λόγο αυτό σε μόνιμα θλιβόμενες ράβδους το μήκος υπερκάλυψης που απαιτείται είναι μικρότερο από το αντίστοιχο των εφελκόμενων. Ακόμη, για να αποφευχθεί διάρρηξη και αποκόλληση του σκυροδέματος από τις τάσεις αιχμής, μπορεί να χρειαστεί εγκάρσιος οπλισμός μέχρι απόσταση $4\Phi_L$ πέρα από τα άκρα της ένωσης [5].

Πρόσθετες κατασκευαστικές διατάξεις απαιτούνται και για την αποφυγή της δυσμενούς επαλληλίας των τάσεων συνάφειας (σχήμα 25). Έτσι σε δύο γειτονικές ενώσεις η διαμήκης απόσταση μεταξύ δύο αντίστοιχων σημείων τους(π.χ. μεταξύ των κέντρων τους) πρέπει να είναι τουλάχιστον $1,3l_0$ (σχήμα 24) [5].



Σχήμα 24: Μάτιση-Ελάχιστες εγκάρσιες και αξονικές αποστάσεις ενώσεων[5]



Σχήμα 25: Επαλληλία τάσεων συνάφειας [5]

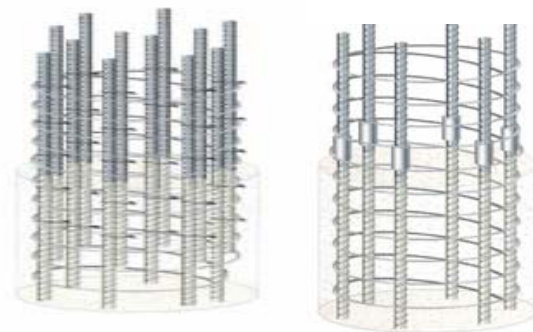
Ένα επιπλέον μειονέκτημα της μάτισης είναι ότι διπλασιάζει τον αριθμό των ράβδων, δημιουργώντας συνωστισμό οπλισμού (σχήμα 26), ο οποίος και εμποδίζει τη ροή των αδρανών στην περιοχή της ένωσης. Τέτοιου είδους ενώσεις, ακόμη, παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Η μάτιση απαιτεί, τέλος, χρονοβόρους υπολογισμούς και ενδεχόμενα λάθη μπορούν να οδηγήσουν σε υπερδιαστασιολόγηση [8].

Από την άλλη πλευρά, οι μηχανικές ενώσεις παρουσιάζουν περισσότερα πλεονεκτήματα. Ο οπλισμός συμπεριφέρεται σαν ενιαία ράβδος και τα φορτία μεταφέρονται ανεξάρτητα από το σκυρόδεμα και την ποιότητά του. Σε περίπτωση διάβρωσης του οπλισμού η επικάλυψη σκυροδέματος θα σπάσει και επειδή οι ράβδοι στη μάτιση συνεργάζονται με το σκυρόδεμα, ενδέχεται να αστοχήσουν στην περιοχή αυτή. Οι μηχανικές ενώσεις, αντίθετα, λειτουργώντας ανεξάρτητα από το σκυρόδεμα, θα έχουν καλύτερη συμπεριφορά στην παραπάνω περίπτωση [8].

Επίσης ελαχιστοποιούν τα προβλήματα συνωστισμού, μία από τις κυριότερες αιτίες για τη δημιουργία κενών και πόρων στο σκυρόδεμα. Άλλωστε οι κατασκευαστικοί κώδικες ορίζουν ποσοστό οπλισμού κάτω από 8%, πράγμα το οποίο είναι δύσκολο να επιτευχθεί με τη μέθοδο της μάτισης. Ειδικά σε υποστυλώματα, όταν δουλεύουμε με μικρότερες διαμέτρους ράβδων, απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα ράβδων και κατά συνέπεια

μεγαλύτερες διαστάσεις στοιχείου. Χρησιμοποιώντας όμως τα couplers, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεγαλύτερης διαμέτρου σε υποστύλωμα μικρότερων διαστάσεων και τελικά εξοικονόμησης χώρου ανά όροφο(σχήμα 26) [8].

Επιπλέον ελαχιστοποιούνται οι χρονοβόροι και κοπιαστικοί υπολογισμοί σε αντίθεση με την περίπτωση της μάτισης, ενώ η εγκατάσταση γίνεται γρήγορα και εύκολα χωρίς να απαιτεί εξειδίκευση. Αξιοσημείωτη τέλος είναι και η μείωση του κόστους λόγω του λιγότερου οπλισμού που χρησιμοποιείται [8].



Σχήμα 26 [8]

4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ

Πριν χρησιμοποιηθούν οι μηχανικές ενώσεις θα πρέπει πάντα να ελέγχουμε την επάρκεια των μηχανικών χαρακτηριστικών τους σε διάφορες δοκιμές φόρτισης:

♦ Δοκιμή σε εφελκυσμό

Ο απαραίτητος έλεγχος, ο οποίος αποδεικνύει την επάρκεια μιας μηχανικής ένωσης, είναι η δοκιμή σε εφελκυσμό.

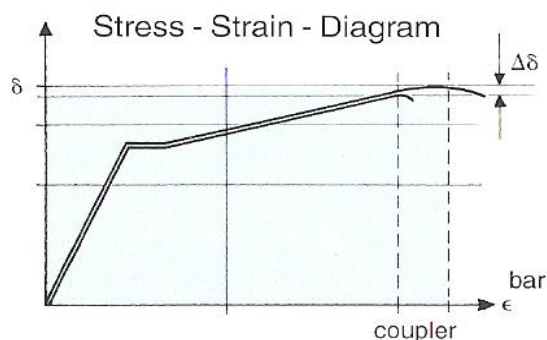
Ο έλεγχος γίνεται ως εξής: δύο ράβδοι οπλισμού ενώνονται με το coupler και το δοκίμιο υπόκειται σε αυξανόμενο φορτίο μέχρι τη θραύση του. Το μήκος που εξετάζεται (gauge length) στις μετρήσεις είναι ίσο με το μήκος της ένωσης (coupler) συν μία έως τρεις φορές τη διάμετρο της ράβδου εκατέρωθεν του coupler. Κάθε φορά σημειώνεται η επιμήκυνση (elongation) και ο τρόπος αστοχίας (mode fracture).

Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση των πειραματικών αποτελεσμάτων διαφέρουν από χώρα σε χώρα αλλά κοινά κριτήρια είναι τα εξής:

1. Η τάση αστοχίας της ένωσης πρέπει να προσεγγίζει την ονομαστική εφελκυστική αντοχή της εκάστοτε κατηγορίας χάλυβα των ράβδων που εξετάζονται, (π.χ., για χάλυβα S500, την κατά 25% περίπου, σε σχέση με το f_y , αυξημένη τάση αστοχίας $\approx 600 \text{ N/mm}^2$) [8]. Σύμφωνα με τον ICC-ES*, για κάθε διάμετρο οπλισμού θα πρέπει να ελέγχονται τουλάχιστον 5 δοκίμια. Για χρήση με βάση τον UBC**, κάθε μηχανική ένωση θα πρέπει να αναπτύξει σε εφελκυσμό το λιγότερο 95% της τάσης αστοχίας (f_u), ή 160% του ορίου διαρροής (f_y) της ράβδου οπλισμού. Με βάση τον IBC**, για κάθε ένωση σε εφελκυσμό, οι αντίστοιχες τιμές είναι 100% f_u ή 125% f_y [11].
2. Η θραύση δεν πρέπει να γίνεται στη μηχανική ένωση αλλά στις ράβδους [8] και
3. Η μείωση της εφελκυστικής αντοχής που προκύπτει από μια ένωση με coupler σε σχέση με μία ενιαία ράβδο(σχήμα 26) θα πρέπει να βρίσκεται στα όρια που ορίζει ο εκάστοτε εθνικός κανονισμός [8].
4. Εξετάζεται επίσης και η ολίσθηση (slip) στα άκρα της μηχανικής ένωσης, η οποία υπό το φορτίο λειτουργίας επιτρέπεται να είναι το πολύ 0.1 mm [2].

*ICC-ES : International Code Council-Evaluation Service

**UBC :Uniform Building Code / IBC : International Building Code



Σχήμα 27: Διάγραμμα σύγκρισης αντοχών ενιαίας ράβδου και μηχανικής ένωσης (coupler) [8]

Παρακάτω παρατίθενται πειραματικά στοιχεία από δοκιμή σε εφελκυσμό μηχανικής ένωσης τύπου A12 (threaded bar) της εταιρείας LENTON διαμέτρου 50mm. Για τη διεξαγωγή του πειράματος ακολουθήθηκαν προδιαγραφές κατά ASME III Div 2 και κατά τον Βρετανικό Κώδικα (BS 8110). Οι προδιαγραφές αυτές ορίζουν :

- 5 δείγματα ενώσεων (samples) ελέγχονται σε θερμοκρασία δωματίου και ένα ακόμη δείγμα σε θερμοκρασία χαμηλότερη των -7°C
- 3 δείγματα υπόκεινται το καθένα σε 100 επαναλαμβανόμενους κύκλους φτάνοντας αρχικά το 5% του ορίου διαρροής και στον τελευταίο κύκλο στο 90% αυτού.
- Τέλος απαιτείται ,όταν η τάση φτάσει το 0,6 της χαρακτηριστικής εφελκυστικής αντοχής (f_{tk}) της ράβδου και ακολούθως γίνει αποφόρτιση, φτάνοντας σε μηδενική τάση, η παραμένουσα επιμήκυνση να μην ξεπερνά τα 0,1 mm. [9]

Test	Sample Ident	Strain at 0.9 f_y (%)	Yield Stress (N/mm ²)	Tensile Load (kN)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation * (%)	Mode of Fracture
Static	1	0.24	493	1275	605	4.8 AC 6.8 IB	Bar Thread Stripped
Static	2	0.23	493	1237	645	4.2 AC 6.0 IB	Bar Thread Stripped
Static	3	0.25	494	1280	668	4.8 AC 6.6 IB	Bar Thread Stripped
Static	4	0.24	493	1283	669	5.6 AC 6.8 IB	Bar Thread Stripped
Static	5	0.23	491	1263	659	4.0 AC 6.0 IB	Bar Thread Stripped
Static	6	0.24	493	1266	660	4.0 AC 6.0 IB	Bar Thread Stripped

Πίνακας 1: Αποτελέσματα πειράματος εφελκυσμού [9]

Test	Sample Ident	Strain at 0.9 fy (%)	Yield Stress (N/mm ²)	Tensile Load (kN)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation * (%)	Mode of Fracture
Cyclic	7	0.21	494	1283	669	4.6 AC 5.8 IB	Bar Thread Stripped
Cyclic	8	0.22	491	1253	653	4.6 AC 5.0 IB	Bar Thread Stripped
Cyclic	9	0.21	490	1304	680	6.6 AC 8.8 IB	Bar Thread Stripped
Cold Soak	10	0.25	495	1289	672	4.8 AC 6.8 IB	Ductile In Bar
Control	-	0.21	494	1329	693	24.4 AF 13.2 IB	Ductile In Bar

Πίνακας 2: Αποτελέσματα πειράματος εφελκυσμού για επαναλαμβανόμενη φόρτιση [9]

*AC Κατά μήκος του coupler(Across Coupler)

IB Στην ράβδο (In the Bar)

Συμπερασματικά προκύπτει από το πείραμα ότι:

- Και στις 2 περιπτώσεις οι μηχανικές ενώσεις υπερέβησαν το 125% της τάσης διαρροής του χάλυβα οπλισμού.
- Η παραμόρφωση για το 90% της τιμής του ορίου διαρροής, σε σχέση με την αρκετά μεγαλύτερη τιμή της παραμόρφωσης θραύσης δείχνει ότι το σύστημα coupler που εξετάζουμε εμφανίζει μεγάλη πλαστικότητα (π.χ. για το δοκίμιο 2, η παραμόρφωση διαρροής είναι 0,23%, ενώ η παραμόρφωση θραύσης είναι 4,2% κατά μήκος του coupler και 6% κατά μήκος της ράβδου.)
- Η τάση διαρροής για όλα τα δοκίμια είναι περίπου 500 MPa, που είναι περίπου αυτή του χάλυβα. Έτσι ράβδος και coupler διαρρέουν σχεδόν ταυτόχρονα
- Παρατηρείται όμως ότι η ράβδος παίρνει μεγαλύτερες παραμορφώσεις(π.χ. για το δοκίμιο 1, κατά μήκος του coupler είναι 4,8%, ενώ στη ράβδο είναι 6,8%) και τελικά αυτή είναι που αστοχεί και όχι το coupler.
- Η αστοχία της ράβδου συμβαίνει στο σπείρωμα της(bar thread stripped)
- Η δοκιμή που έγινε σε χαμηλή θερμοκρασία δεν είχε επιβλαβείς συνέπειες στην απόδοση των couplers[9].
- Η κυκλική φόρτιση πάλι δεν είχε επιβλαβή αποτελέσματα στην απόδοσή τους [9].

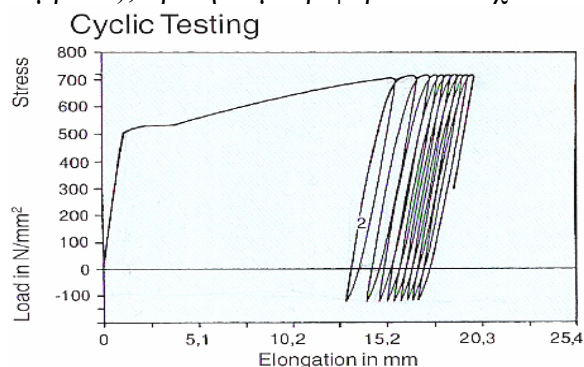
♦ Δοκιμή σε θλίψη

Σύμφωνα με τον ICC-ES*, για κάθε διάμετρο οπλισμού, ισχύουν τα ίδια κριτήρια με τη δοκιμή εφελκυσμού με τη διαφορά ότι κάθε ένωση σε θλίψη χρειάζεται να ελεγχθεί μόνο για το 125% του ορίου διαρροής(fy) της ράβδου οπλισμού [11].

Επιπλέον δοκιμές γίνονται και για επαναλαμβανόμενους κύκλους είτε εφελκυσμού είτε θλίψης, εξετάζοντας έτσι και το φαινόμενο της κόπωσης [11].

♦ Συμπεριφορά σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση

Σε κάποια κατασκευαστικά στοιχεία η διεύθυνση της φόρτισης μπορεί να αλλάξει εξαιτίας του ανέμου ή σε περίπτωση σεισμού κ.λ.π. Τα στοιχεία αυτά καταπονούνται σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση, γεγονός το οποίο αναγκάζει τον οπλισμό, συμπεριλαμβανομένης και της μηχανικής ένωσης, να πρέπει να αντισταθεί σε εφελκυσμό και θλίψη εναλλάξ. Σε μια δοκιμή ανακυκλιζόμενης φόρτισης θα πρέπει να εξεταστεί η σχετική ολίσθηση ανάμεσα στο coupler και στη ράβδο. Αυτό που θα πρέπει να συμβαίνει σε κάθε κύκλο φόρτισης-αποφόρτισης είναι η ολίσθηση να γίνεται κατά τον ελαστικό κλάδο, ώστε κατά τον ανελαστικό κλάδο της φόρτισης η ράβδος να είναι αυτή που θα αναπτύξει πλαστική συμπεριφορά. Όπως φαίνεται και από ένα πείραμα που έγινε σε μηχανικό σύνδεσμο της Lenton (σχήμα 27), η ενέργεια που απορροφάται σε κάθε κύκλο φόρτισης-αποφόρτισης είναι μικρή (βρόγχοι με μικρό εμβαδό), άρα η συμπεριφορά είναι σχεδόν ελαστική.



Σχήμα 27: Διάγραμμα ανακυκλιζόμενης φόρτισης από πείραμα της Lenton[8]

5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ - ΕΡΓΑ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΧΟΥΝ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Συνοψίζοντας, οι μηχανικές ενώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα δομικά μέλη μιας κατασκευής αντί της μάτισης (αποφεύγοντας πάλι η ένωση να γίνεται σε κρίσιμες περιοχές) και κυρίως στα υποστυλώματα, στα οποία υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερα μήκη ράβδων. Επίσης, σε προσθήκες ορόφων, επεκτάσεις οριζόντιων στοιχείων, τμηματικές σκυροδετήσεις, προσθήκη σκάλας, κλπ.

Οι μηχανικές ενώσεις έχουν εφαρμοστεί σε διάφορα έργα ανά τον κόσμο (μεγάλα κτιριακά έργα, γέφυρες, πυρηνικές εγκαταστάσεις κ.λ.π.). Μερικά από αυτά φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Σχήμα 28: Bank Swiss Union στην Κίνα [8]



Σχήμα 29: Πυρηνική εγκατάσταση SizewellB στο Ηνωμένο Βασίλειο [8]



Σχήμα 30: Γέφυρα Storebaelt West στη Δανία [8]

Εκτός όμως από το εξωτερικό, μηχανικοί σύνδεσμοι έχουν χρησιμοποιηθεί και σε σημαντικά έργα στην Ελλάδα, όπως π.χ στην Αθήνα στο ΜΕΤΡΟ, στη Γέφυρα Κηφισού αλλά και στο ΟΑΚΑ (στεγαστρο Καλατράβα, ποδηλατοδρόμιο).[8]

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην Ελλάδα τα couplers δεν έχουν εφαρμοστεί σε πάρα πολλά τεχνικά έργα, εξαιτίας της αντίληψης ότι είναι αντιοικονομικά, μιας και δεν παράγονται στη χώρα μας και πρέπει να εισάγονται. Τα πλεονεκτήματά τους, όμως, όσον αφορά στην οικονομία χρόνου και στην ευκολία στη χρήση τους είναι εμφανή. Επίσης, οι δοκιμές που έχουν γίνει σχετικά με τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους (αντοχή, πλαστιμότητα) έχουν, μέχρι τώρα, δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Παρόλ'αυτά, όσον αφορά στην επάρκειά τους σε σεισμική καταπόνηση, δεν υπάρχουν επαρκή πειραματικά αποτελέσματα. Σε μια ιδιαίτερα σεισμογενή χώρα, όμως, όπως η Ελλάδα, η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά των couplers σε σεισμό, θα ήταν περισσότερο από απαραίτητη. Έτσι μέχρι να υπάρξουν περισσότερα δεδομένα που θα εξασφαλίζουν την αποτελεσματικότητά τους σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση, η χρήση τους θα μπορούσε ίσως να περιοριστεί σε στοιχεία που δεν καταπονούνται σε σεισμό (π.χ.σε μια επέκταση προβόλου) .

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δρίτσος Σ., “Ενισχύσεις και Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Εκδόσεις Παν. Πατρών, Πάτρα 2006.
2. ΕΚΩΣ 2000, παρ.17.7.3: “Κοχλιωτές ενώσεις”.
3. Μαστρογιάννης Ε., “Μηχανική των Υλικών – Τόμος πρώτος” , Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999.
4. Τριανταφύλλου Α., “Εισαγωγή στη Μηχανική των Υλικών”, Εκδόσεις Παν. Πατρών, Πάτρα 2004.
5. Φαρδής Μ., “Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος –Μέρος ΙΙ”, Εκδόσεις Παν. Πατρών, Πάτρα 2006.
6. ACI Structural Journal/Title no.88-S27, “Mechanical Connections of Reinforcing Bars”, March-April 1991
7. ANCON Company (Brochure), (<http://www.ancon.co.uk>).
8. Erico Company (Brochure), (<http://www.erico.com/products.asp>)
9. Grant G., Norman T., “Report: Final Qualification Tests on Lenton A12, P13 and P14 Type Couplers” , Stanger Science & Environment, 16 April 1999
10. HRC Company (Brochure), (<http://www.hrc-europe.com/products.php>)
11. ICC Evaluation Service, “Acceptance Criteria for Mechanical Connectors for Steel Reinforcing Bars”, (www.icc-es.org)