

## Πειραματική και Αναλυτική Έρευνα επί των Βιομηχανικών Δαπέδων και Οδοστρωμάτων Οπλισμένου Σκυροδέματος Χωρίς Αρμούς

**Ιωάννης Τέγος**

*Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ., itegos@civil.auth.gr*

**Κωνσταντίνος Ψάρρας**

*Δρ Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., ko\_psar@yahoo.gr*

**Ηλίας Παπαδόπουλος**

*Δρ Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., Μελετητής ΜΕΤΕ-ΣΥΣΜ Α.Ε., ipapadopoulos@metesysm.gr*

**Πεδίο Θεματολογίας: Ειδικά Θέματα**

**Εκτενής περίληψη**

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή πλακών σκυροδέματος επί εδάφους αποτελεί ένα δύσκολο έργο παρά τη φαινομενική απλότητά του. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι δεν υπάρχουν ακόμη άρτιες κανονιστικές προβλέψεις σχετικές με την κατάλληλη κατασκευή τους. Ως κύριο αίτιο για την αστοχία τους θα μπορούσε να αναφερθεί ότι είναι η δημιουργία καταναγκασμών οι οποίοι προέρχονται από διαφορικές καθιζήσεις ή, κυρίως, από παρεμπόδιση συστολών και διαστολών. Για την αντιμετώπιση των καταναγκασμών η λύση μπορεί να δοθεί μέσω αρμών (αρμοί συστολής, διαχωριστικοί αρμοί, κατασκευαστικοί αρμοί κλπ). Εξαιτίας της απαιτούμενης μεγάλης πυκνότητας των αρμών, οι πλάκες κατασκευάζονται ως μη-οπλισμένες ή ως ινοπλισμένες με μικρά ποσοστά χαλύβδινων ινών λόγω της δυσμενούς επιρροής του μεγάλου ποσοστού ινών στην εργασιμότητα του ινοπλισμένου σκυροδέματος. Επίσης, στις θέσεις των αρμών απαιτείται η κατάλληλη τοποθέτηση βλήτρων, ώστε να εξασφαλισθεί η συνεργασία μεταξύ των γειτονικών τμημάτων.

Οι αρμοί, παράλληλα με την απουσία συμβατικού οπλισμού, αποτελούν την αχίλλειο πτέρνα αυτών των κατασκευών καθώς απαιτούν συντήρηση, είναι επιρρεπείς σε τοπικές αστοχίες και για πλάκες οι οποίες κατασκευάζονται στην ύπαιθρο, αποτελούν εισόδους για το νερό της βροχής και λιωμένου, από το άλας, πάγου. Η αστοχία των αρμών είναι επίσης δυνατόν να συμβεί και λόγω του φαινομένου της «άντλησης» (rumping) που μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένες ρηγματώσεις και αποσύνδεση τμημάτων του σκυροδέματος από την επιφάνεια της πλάκας στην περιοχή του αρμού.

Μεταξύ των πλακών επί εδάφους και αυτών οι οποίες στηρίζονται επί δοκών δεν υπάρχει καμία συσχέτιση. Ένα αξιοσημείωτο γεγονός, ενδεικτικό της άγνοιας σχετικά με αυτό το θέμα, είναι ότι δεν υπάρχουν παρά μόνον οδηγίες οι οποίες να αναφέρονται σε πλάκες επί εδάφους. Επιπλέον, οι πολλαπλές εφαρμογές των πλακών επί εδάφους αναγκάζουν τους μηχανικούς να αναζητούν μέσω της διεθνούς βιβλιογραφίας ειδικούς κανόνες σχετικούς με το σχεδιασμό και την κατασκευή αυτών.

Οι καταπονήσεις στις οποίες υπόκεινται οι πλάκες αυτές προέρχονται από σημειακά φορτία, από καταναγκασμούς που προέρχονται από παρεμπόδιση των παραμορφώσεων. Οι αιτίες των καταναγκασμών είναι οι συστολές και οι διαστολές του σκυροδέματος που συμβαίνουν λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών, η συστολή λόγω της ξήρανσης του σκυροδέματος, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του άνω και κάτω πέλματος της

πλάκας και οι διαφορικές καθιζήσεις εξαιτίας της ενδοτικότητας της στρώσης θραυστού υλικού της υπόβασης επί της οποίας εδράζονται.

Όπως στην περίπτωση των συμβατικών πλακών, ο κύριος στόχος είναι ο υπολογισμός του πάχους της πλάκας και του οπλισμού της. Το πάχος της πλάκας προσδιορίζεται από τα εξωτερικά φορτία. Όσον αφορά τον οπλισμό, η περίπτωση των πλακών επί εδάφους είναι πολύ διαφορετική από την περίπτωση των συμβατικών πλακών. Παραδοσιακά, οι πλάκες επί εδάφους οπλίζονταν ασθενώς χρησιμοποιώντας πλέγματα στο άνω και κάτω πέγμα τα οποία είχαν περισσότερο λειτουργία επιδερμικού οπλισμού παρά καμπτικού. Σήμερα, αυτές οι πλάκες, είτε είναι μη οπλισμένες οπότε λειτουργούν στο στάδιο I (αρηγμάτωτο σκυρόδεμα), είτε είναι ινοπλισμένες (ποσοστό οπλισμού ινών 25-30 kg/m<sup>3</sup>). Χρησιμοποιώντας χαμηλό ποσοστό οπλισμού προβλέπεται να ικανοποιηθούν δύο βασικές, αλλά αντιμαχόμενες, απαιτήσεις: Η εργασιμότητα του σκυροδέματος και η ενίσχυση του μηχανισμού παραλαβής φορτίου μέσω της ενεργοποίησης αμφοτέρων των πελμάτων της πλάκας. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα προσδίδει κάποια μικρή πλαστιμότητα στο σκυρόδεμα, και έτσι επιτυγχάνεται, ώστε η αστοχία του κάτω πέγματος αυτής να ενεργοποιεί το άνω πέγμα και επιτρέπει τη χρήση της θεωρίας των γραμμών διαρροής. Σημειώνεται ότι, οι ίνες που χρησιμοποιούνται δεν επηρεάζουν αισθητά την καμπτική ικανότητα της πλάκας σε σύγκριση με την περίπτωση του άοπλου σκυροδέματος.

Αναφορικά με τους καταναγκασμούς, οι αρμοί αποτελούν τη «θεραπεία» που χρησιμοποιείται για την εξουδετέρωση των αναπτυσσομένων εντάσεων. Κατά κανόνα, προκειμένου να μειωθεί το πάχος της πλάκας, χρησιμοποιούνται βλήτρα για τη σύνδεση των γειτονικών τμημάτων της πλάκας, τα οποία διαχωρίζονται από τους δημιουργούμενους αρμούς σε τετραγωνικά τμήματα διαστάσεων σηνήθως 5m x 5m. Ωστόσο, δεν είναι υπερβολή να πούμε ότι εν προκειμένω η «θεραπεία» αποδεικνύεται ότι είναι χειρότερη από την ασθένεια που υποτίθεται ότι θεραπεύει, πιο συγκεκριμένα, την έντονη ρηγμάτωση της πλάκας. Ήδη είναι γνωστό ότι σήμερα ευρίσκεται σε εξέλιξη προσπάθεια για αποφυγή των αρμών σε όλα τα δομικά έργα. Πολλά κτήρια μεγάλης κάτοψης και γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων κατασκευάζονται χωρίς αρμούς. Σύμφωνα με τις πεποιθήσεις των συγγραφέων, είναι πλέον απαραίτητο αυτή η φιλοσοφία να υιοθετηθεί και σε πλάκες επί εδάφους, καθώς οι αρμοί, όπως προαναφέρθηκε, προκαλούν περισσότερα προβλήματα από εκείνα που λύνουν.

Η έρευνα επί των θερμοκρασιακών αλλαγών, που επηρεάζουν τη σχέση μεταξύ μήκους και παραμορφώσεων διαφορετικών στοιχείων και η δυνατότης κατάργησης των αρμών σε κτήρια καθώς και στη γεφυροποιία, αποτελεί σήμερα έρευνα αιχμής για τους φορείς σκυροδέματος. Ωστόσο, οι περιπτώσεις των γεφυρών υπερβαίνουν τις περιπτώσεις των κτηρίων στην βιβλιογραφία της παρούσας.

Τόσο η υιοθέτηση όσο και η κατάργηση των διαχωριστικών αρμών σε κτήρια περιλαμβάνουν μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό, τη λειτουργία και τη συντήρησή τους. Πιο συγκεκριμένα, η παρουσία αρμών αυξάνει το κόστος κατασκευής και η συντήρησή τους συνεπάγεται πρόσθετο κόστος και πολλές δυσκολίες. Αντιθέτως, η κατάργηση των αρμών προκαλεί εντάσεις λόγω καταναγκασμών και ως αποτέλεσμα απαιτείται περισσότερος οπλισμός σε περιοχές όπου οι εφελκυστικές τάσεις είναι πιο πιθανόν να αναπτυχθούν. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται οπλισμός και στο άνω και κάτω πέγμα της πλάκας. Επιπλέον, σε κατασκευές χωρίς αρμούς είναι απαραίτητος ο έλεγχος έναντι ρηγμάτωσης καθώς οι παραμορφώσεις λόγω των καταναγκασμών (θερμοκρασία, συστολή ξήρανσης, καθιζήσεις) προκαλούν υψηλές τάσεις σε αυτά τα συστήματα. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της κατάργησης των αρμών είναι η προβληματική εφαρμογή της μεθόδου της

προκατασκευής, εξαιτίας των δυσκολιών της συναρμολόγησης και μεταφοράς των προκατασκευασμένων στοιχείων.

Η εργασία περιλαμβάνει αναλυτικό και σημαντικό πειραματικό σκέλος. Κατασκευάστηκαν υπό κλίμακα 1:2 στα πλαίσια της Πειραματικής Έρευνας δοκίμια πλακών πάχους 80 mm και κάτοψης 1100x1100 mm τα οποία οπλίστηκαν με πλέγματα διαφόρων πυκνοτήτων στα δύο πέλματα. Τα δοκίμια φορτίστηκαν με μοναχικό φορτίο μονότονης αύξουσας έντασης και κατασκευάστηκαν οι σχετικές καμπύλες φόρτισης-αποφόρτισης με κύριο στόχο την εξέταση της εικόνας ρηγματώσης αυτών έναντι της ακραίας λειτουργικής φόρτισης, καθώς και πέραν αυτής με φορτίσεις που πλησίασαν την οριακή κατάσταση αστοχίας για μερικά από τα δοκίμια. Προέκυψαν από την Πειραματική Έρευνα ενδιαφέροντα συμπεράσματα αναφορικά με τη μηχανική απόκριση των οδοστρωμάτων σκυροδέματος και των πλακών των βιομηχανικών δαπέδων έναντι των ακραίων φορτίων κυκλοφορίας, καθώς και έναντι των στατικών μοναχικών φορτίων, όπως τα ράφια, που αφορούν αποκλειστικώς τα βιομηχανικά δάπεδα.



Σχ. 1 Πειραματική διάταξη φόρτισης

Η Εργασία αυτή εντάσσεται στο πλαίσιο της προσπάθειας της πλήρους κατάρτησης των αρμών σε δομικά έργα. Καταλήγει σε μια καλά υποστηριζόμενη πρόταση διαστασιολόγησης για βιομηχανικά δάπεδα και οδοστρώματα χωρίς αρμούς από οπλισμένο σκυρόδεμα, ο σχεδιασμός των οποίων βασίζεται σε δράσεις εξωτερικών φορτίων και καταναγκασμών. Ως κύρια συμπεράσματα αυτής της εργασίας αναφέρονται ως εξής:

- Υπάρχει μεγάλη δυνατότητα για τη μείωση του πάχους της πλάκας σε βιομηχανικά δάπεδα και οδοστρώματα, σε σύγκριση με τα συμβατικά αντίστοιχα έργα με αρμούς.
- Απαιτήση υψηλής ποιότητας σκυροδέματος.
- Οι οπλίσεις πλεγμάτων χρησιμοποιούνται στην κάτω ίνα της πλάκας οδοστρώματος. Το κατώτερο πλέγμα είναι σημαντικά ισχυρότερο από το ανώτερο, το οποίο παίζει περισσότερο το ρόλο του επιδερμικού οπλισμού.
- Οι κυρτώσεις που οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας  $\Delta t$ , αντιμετωπίζονται κυρίως μέσω της λεπτύνσεως του πάχους της πλάκας για τη μείωση του οποίου υπάρχουν πολλά περιθώρια και αποτελεί εν γένει την οικονομικότερη λύση υπό την προϋπόθεση ότι είναι κανονιστικώς αποδεκτή η παραλαβή των εξωτερικών φορτίων και πληρούνται οι απαιτήσεις έναντι κάμψης και διατρήσεως.
- Το φαινόμενο της κόπωσης έναντι του οποίου εμφανίζουν ευαισθησία εξ αιτίας του ιδιαίτερου μειονεκτικού έναντι της εφελκυστικής αντοχής σκυροδέματος οι άοπλες πλάκες με αρμούς, εκδηλώνεται χάρη στους οπλισμούς κατά πολύ ηπιότερο.