

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΟΑΣΠ)

Σύσταση και Διάχυση Τεχνικών Οδηγιών για την
Ενίσχυση Κατασκευών με Σύνθετα Υλικά
(Ε Ν Ι Κ Α Σ)



Περίληψη

Αθ. Τριανταφύλλου

Αναπλ. Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπ. Πατρών (Ανάδοχος Φορέας)

Ε. Βιντζηλαίου

Αναπλ. Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π. (Συνεργαζόμενος Φορέας)

Σ. Πανταζοπούλου

Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ. (Συνεργαζόμενος Φορέας)

Θ. Γραμμένου

Πολιτικός Μηχανικός, Μ.Δ.Ε. στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπ. Πατρών

Σ. Ταστάνη

Πολιτικός Μηχανικός, Υποψήφια Διδάκτωρ στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ.

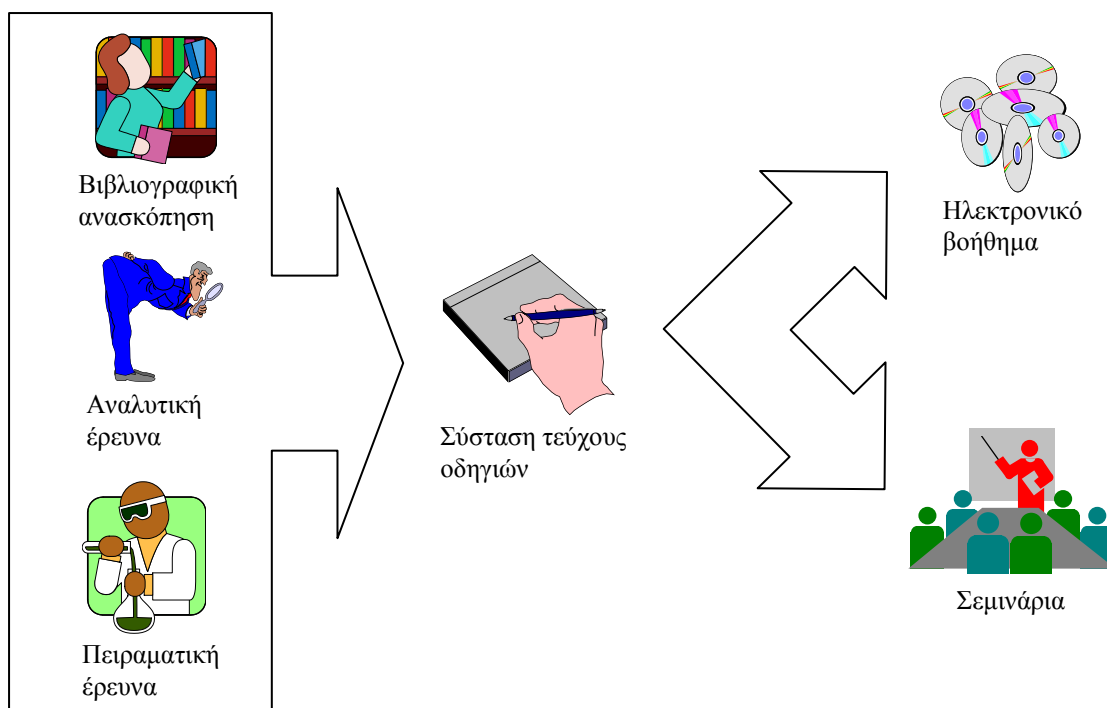
Ιούλιος 2003

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός του προγράμματος ήταν:

- Η καταγραφή των συνηθέστερων τύπων εφαρμογής των συνθέτων υλικών στο πεδίο των ενισχύσεων, η συγκέντρωση βιβλιογραφικού υλικού, η αναγνώριση περιοχών όπου η παρούσα γνώση είναι ελλιπής (“γκρίζες” περιοχές) και η διεξαγωγή αναλυτικής και πειραματικής έρευνας στις παραπάνω περιοχές.
- Η σύνταξη τεχνικών οδηγιών για την ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά.
- Η ανάπτυξη ηλεκτρονικών εργαλείων για τη διάδοση και διάχυση των παραπάνω αποτελεσμάτων στον τεχνικό κόσμο της χώρας.

Η **μεθοδολογία** που ακολουθήθηκε περιελάμβανε την υλοποίηση τριών φάσεων, κάθε μία από τις οποίες χωριζόταν σε επιμέρους εργασίες.



Στη Φάση Α του έργου καταρχήν διεξήχθη λεπτομερής βιβλιογραφική ανασκόπηση και αναγνωρίστηκαν περιοχές σχετικές με την εφαρμογή των συνθέτων υλικών στο πεδίο των ενισχύσεων, όπου η παρούσα γνώση είναι ελλιπής. Ως τέτοιες περιοχές θεωρήθηκαν: (α) Η συμπεριφορά ορθογωνικών υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος με σχετικά μεγάλο λόγο πλευρών ή υποστυλωμάτων διατομής Γ, όπου η αποτελεσματικότητα της περίσφιγξης με σύνθετα υλικά είναι αμφίβολη και/ή ανεπαρκώς τεκμηριωμένη. (β) Η διερεύνηση της

σεισμικής συμπεριφοράς πλακοδοκών ενισχυμένων με σύνθετα υλικά. (γ) Η ανάπτυξη νέων αναλυτικών προσομοιωμάτων τα οποία αντιμετωπίζουν τη συμπεριφορά δομικών στοιχείων ενισχυμένων σε κάμψη – διάτμηση κατά τρόπο ορθολογικό και σε ενιαία βάση. (δ) Ο χαρακτηρισμός της παραμορφωσιμότητας στοιχείων περιορισμένης εγγενούς πλαστιμότητας, που έχουν ενισχυθεί με μανδύες συνθέτων υλικών.

Η έρευνα εστιάστηκε στις προαναφερθείσες περιοχές. Βελτιώθηκαν αναλυτικά προσομοιώματα για τη μελέτη της περίσφιγξης υποστυλωμάτων ορθογωνικών (με μεγάλο λόγο πλευρών) ή μορφής Γ διατομών και αναπτύχθηκαν νέα αναλυτικά προσομοιώματα για τη συμπεριφορά στοιχείων (δοκοί-πλακοδοκοί, υποστυλώματα) ενισχυμένων με σύνθετα υλικά σε κάμψη-διάτμηση. Τα παραπάνω βασίστηκαν τόσο σε υπάρχουσες βάσεις πειραματικών δεδομένων, όσο και σε νέες πειραματικές δοκιμές, οι οποίες διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος του ΕΜΠ. Ο χαρακτηρισμός της παραμορφωσιμότητας βασίστηκε στα παρακάτω βήματα: (α) Δημιουργία και επεξεργασία πειραματικής βάσης δεδομένων από τη σχετική διεθνή βιβλιογραφία και ποσοτικός προσδιορισμός της σχέσης των δεικτών συμπεριφοράς με τις βασικές παραμέτρους σχεδιασμού. (β) Μαθηματική διατύπωση με βάση τις αρχές της μηχανικής της ανελαστικής παραμορφωσιμότητας στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος περισφιγμένων με σύνθετα υλικά και βαθμονόμηση με την πειραματική βάση. (γ) Διατύπωση απλουστευμένων σχέσεων για την εκτίμηση της κατανομής των αναμενόμενων ανελαστικών παραμορφώσεων σχεδιασμού στις πλαστικές αρθρώσεις των φερόντων στοιχείων. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, διατυπώθηκε μία στρατηγική διαστασιολόγησης των ενισχύσεων με σύνθετα υλικά με βάση την αναμενόμενη απαίτηση για παραμόρφωση στις κρίσιμες περιοχές της κατασκευής σε περίπτωση πραγματοποίησης του κρίσιμου σεισμού σχεδιασμού.

Στη Φάση Β υλοποιήθηκε η σύνταξη τεύχους με λεπτομερή στοιχεία για: τα σύνθετα υλικά και τις τεχνικές εφαρμογής, τη διαδικασία διαστασιολόγησης δομικών στοιχείων, τη στρατηγική επεμβάσεων, τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες εφαρμογής και την ανθεκτικότητα των συνθέτων υλικών στο χρόνο. Το τεύχος συμπληρώνεται με παραδείγματα υπολογισμών.

Τέλος, στη Φάση Γ αναπτύχθηκε υλικό σε ψηφιακή μορφή (CD), το οποίο περιλαμβάνει: (α) Ηλεκτρονικό βοήθημα με παρουσίαση όλων των στοιχείων της Φάσης Β σε φιλική προς το χρήστη μορφή (αρχεία *.html*). (β) Πρόγραμμα (σε Visual Basic) αυτοματοποιημένης διαστασιολόγησης ενισχύσεων δομικών στοιχείων για τις βασικές περιπτώσεις (περίσφιγξη, διάτμηση, κάμψη+αξονικό φορτίο, κάμψη). Επιπλέον, στα πλαίσια της Φάσης Γ δημιουργήθηκαν 2 παρουσιάσεις Powerpoint, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν μέχρι τώρα σε τέσσερα σεμινάρια – διαλέξεις όπου συμμετείχαν μηχανικοί, αλλά θα είναι διαθέσιμες και στο μέλλον για παρόμοιες περιπτώσεις.

Βασικά συμπεράσματα του προγράμματος είναι:

- Η αποτελεσματικότητα περίσφιγξης μέσω μανδύα συνθέτων υλικών μειώνεται με την αύξηση του λόγου των πλευρών σε ορθογωνικές διατομές.
- Η περίσφιγξη σκυροδέματος σε υποστυλώματα διατομής Γ προϋποθέτει την ύπαρξη επαρκούς συστήματος αγκύρωσης στην εισέχουσα γωνία ή τη χρήση ανεξάρτητου συστήματος οπλισμών περίσφιγξης για κάθε ορθογωνικό τμήμα (π.χ. λωρίδες ανά αποστάσεις, με τοποθέτηση τμήματος αυτών εντός ειδικά διαμορφωμένων οπών. Η μη λήψη ειδικής μέριμνας για την αγκύρωση καθιστά την περίσφιγξη υποστυλωμάτων διατομής Γ πρακτικά ανενεργή.
- Τα σύνθετα υλικά, σε κατάλληλη ποσότητα και διάταξη, μεταβάλλουν τον τρόπο αστοχίας πλακοδοκών από διατμητικό σε καμπτικό. Επί πλέον, αυξάνουν την φέρουσα ικανότητα σημαντικά.
- Βάσει των αναλυτικών προσομοιωμάτων που βελτιώθηκαν ή αναπτύχθηκαν στην παρούσα έρευνα καθίσταται δυνατός ο σχεδιασμός μανδύα περίσφιγξης σε υποστυλώματα ορθογωνικής διατομής για τις παρακάτω περιπτώσεις: αύξηση δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων, αύξηση θλιπτικής αντοχής, αύξηση αντοχής έναντι τέμνουσας, αποτροπή αστοχίας ματίσεων, αποτροπή λυγισμού ράβδων διαμήκους οπλισμού.
- Βάσει των αναλυτικών προσομοιωμάτων που αναπτύχθηκαν, οι μηχανισμοί αποκόλλησης των συνθέτων υλικών μπορούν να περιγραφούν κατά τρόπο ενιαίο, βάσει προσομοιώματος που εφαρμόζεται σε ενισχύσεις κάθε τύπου (π.χ. αύξηση διατμητικής αντοχής, καμπτικής αντοχής κλπ).
- Η αναπτυχθείσα στρατηγική επέμβασης με σύνθετα υλικά επιτρέπει την εφαρμογή της τεχνικής αυτής λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του συνόλου του δομήματος (παραμορφωσιμότητα, δυσκαμψία, αντοχή).
- Το Τεύχος Τεχνικών Οδηγιών που αναπτύχθηκε μπορεί να υιοθετηθεί ως χρήσιμο βοήθημα, τόσο για την κατανόηση της συμπεριφοράς στοιχείων και κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων με σύνθετα υλικά, όσο και για τη διαστασιολόγηση των αντιστοίχων ενισχύσεων. Ομοίως, η ηλεκτρονική έκδοση του βοηθήματος αποτελεί ένα εύχρηστο εργαλείο ενημέρωσης, κατανόησης της συμπεριφοράς και διαστασιολόγησης ενισχύσεων.
- Το λογισμικό που αναπτύχθηκε επιτρέπει την αυτοματοποιημένη διαστασιολόγηση ενισχύσεων για τις εξής περιπτώσεις: (α) Περίσφιγξη υποστυλωμάτων με στόχο αύξηση πλαστιμότητας ή αντοχής. (β) Ενίσχυση υποστυλωμάτων ή δοκών σε τέμνουσα. (γ) Ενίσχυση υποστυλωμάτων σε κάμψη με αξονικό φορτίο, ή δοκών σε κάμψη.

Η **χρησιμότητα** του προγράμματος θεωρείται αυτονόητη, δεδομένου ότι: (α) Εντάθηκε η έρευνα σε περιοχές που άπτονται της εφαρμογής των συνθέτων υλικών στο πεδίο των ενισχύσεων και στις οποίες εκκρεμούσαν απαντήσεις σε κρίσιμους τομείς. (β) Υλοποιήθηκε η συγγραφή Τεύχους Τεχνικών Οδηγιών, βάσει του οποίου ο μηχανικός είναι σε θέση να κατανοήσει τη συμπεριφορά ενισχυμένων (με σύνθετα υλικά) στοιχείων και κατασκευών, να προβεί στη διαστασιολόγηση ενισχύσεων αλλά και να γνωρίζει πρακτικούς κανόνες εφαρμογής. (γ) Αναπτύχθηκε λογισμικό αυτοματοποιημένης διαστασιολόγησης ενισχύσεων με σύνθετα υλικά, το οποίο επιτρέπει, με τρόπο φιλικό προς το χρήστη, τον υπολογισμό των απαιτούμενων διαστάσεων μανδύα ή μεμονωμένων οπλισμών συνθέτων υλικών, με στόχο την αύξηση αντοχής και/ή πλαστιμότητας για τις βασικές περιπτώσεις δράσεων. (δ) Παρουσιάσθηκαν τα αποτελέσματα του προγράμματος (κυρίως αυτά που αφορούν στη διαστασιολόγηση ενισχύσεων δομικών στοιχείων και στη στρατηγική επεμβάσεων) σε σεμινάρια – διαλέξεις, και μέσω του ηλεκτρονικού υλικού που αναπτύχθηκε (παρουσιάσεις “powerpoint”) αναμένεται ότι θα αξιοποιηθούν σε αντίστοιχες δραστηριότητες και στο άμεσο μέλλον.