

## 2. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 2.1 Πειραματική διερεύνηση συμπεριφοράς υποστυλωμάτων ενισχυμένων / επισκευασμένων με ΙΝΟΠ

Η αναλυτική και πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς αξονικά καταπονούμενων στοιχείων (με ή χωρίς εκκεντρότητα) από σκυρόδεμα ή από ΟΣ, ενισχυμένων – περιοφισμένων με ΙΝΟΠ έχει διερευνηθεί εκτενώς στην πρόσφατη βιβλιογραφία, μετά από την εισαγωγή της τεχνολογίας αυτής στο ΟΣ την δεκαετία του 90. Ήδη, έχουν εκπονηθεί Οδηγίες σχεδιασμού έργων με εξωτερική ενίσχυση από ΙΝΟΠ, που αποτελούν μια οργανωμένη βάση του ερευνητικού υπόβαθρου στον τομέα αυτό (ICBO, 1997, FIB-TG 9.3, 2001 και ACI Committee 440, 2002).

Η διερεύνηση της συμπεριφοράς υποστυλωμάτων επικεντρώθηκε :

α) αφενός στη μελέτη της συμπεριφοράς και των κριτηρίων αστοχίας δοκιμών από σκυρόδεμα ή στοιχείων από ΟΣ με περιτύλιξη ΙΝΟΠ σε καθαρή θλίψη, με επακόλουθη μόρφωση ή διακρίβωση καταστατικών νόμων της συμπεριφοράς, και, β) αφετέρου, στον πειραματικό έλεγχο και αναλυτική πρόβλεψη της συμπεριφοράς δοκιμών υποστυλωμάτων σε αξονική-καμπτική καταπόνηση, είτε ενισχυμένων είτε επισκευασμένων και ενισχυμένων, με έμφαση σε υφιστάμενα υποστυλώματα ή βάθρα κτιριακών έργων και γεφυρών.

#### Έρευνα αξονικών στοιχείων σε αξονική επιπόνηση

Αναθεωρώντας το ενδιαφέρον για εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα με τη χρήση ΙΝΟΠ που είχε εμφανιστεί από τη δεκαετία του 80 (Fardis and Khalili, 1981), η ευρύτερη χρήση των υλικών αυτών σε ενίσχυση και επισκευή επιταχύνεται κατά τη δεκαετία του 90, οπότε αρχίζουν πλέον λεπτομερείς έρευνες στα ΙΝΟΠ με πειράματα σε κυλινδρικά δοκίμια εγκιβωτισμένα με τα νέα υλικά, για τη διερεύνηση της επιρροής των ΙΝΟΠ στην αντοχή και την καταστατική προσομοίωση του περιοφισμένου σκυροδέματος σε καθαρή αξονική καταπόνηση (Nanni, Norris and Bradford (1992), Hanna and Jones, (1997),

Mirmiran and Shahawy (1997), Samaan, Mirmiran and Shahawy (1998), Spoelstra and Monti (1999), Toutanji (1999), Rochette and Labossière (2000), Vintzeleou (2001), Fam and Rizkalla, 2001, Xiao and Wu (2000), Moran and Pantelides (2002), Mukherjee, Boothby, Bakis, Joshi and Maitra (2004) και Marques, Marques dos S., da Silva and Cavalcante, 2004). Η δυνατότητα της αναλυτικής προσομοίωσης των πειραματικών δεδομένων από καταστατικά πειράματα των παραπάνω ερευνητών με λεπτομερή πεπερασμένα στοιχεία και σε κρουστική φόρτιση, διερευνήθηκε με επιτυχία από τους Cotsonos (2004) και Malvar, Morrill and Crawford (2004).

Πέραν από την απευθείας εμπειρική προσαρμογή του προσομοιώματος περίσφιγξης που βασίζεται στα αντίστοιχα προσομοιώματα περίσφιγξης από συμβατικούς συνδετήρες που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του αντισεισμικού σχεδιασμού (όπως, π.χ., των Mander, Priestley and Park, 1983), προτάθηκαν για τα ΙΝΟΠ βελτιωμένοι ημ εμπειρικοί νόμοι λαμβάνοντας υπόψη το ισοδύναμο ποσοστό περίσφιγξης λόγω διαφοροποιήσεων στην καμπυλότητα της γωνίας, της λυγηρότητας του δοκιμίου ή των γεωμετρικών αναλογιών της διατομής, λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση εναλλακτικών υλικών ΙΝΟΠ, τη δυσκαμψία του μανδύα ΙΝΟΠ ή το ογκομετρικό ποσοστό περίσφιγξης (για παράδειγμα, η επέκταση του παραπάνω προσομοιώματος του Mander σε εφαρμογές ΙΝΟΠ από τους Saadatmanesh, Ehsani and Li (1994)).

Επί πλέον, παλαιότερα εμπειρικά προσομοιώματα βελτιώθηκαν με βάση πληρέστερη και ακριβέστερη κατηγοριοποίηση, έλεγχο και στατιστική ανάλυση της πληθώρας των δημοσιευμένων πειραματικών δεδομένων, ανά κατηγορία παραμέτρου. Συγκριτικές μελέτες της αξιοπιστίας των παραπάνω τόσο στην πρόβλεψη της αντοχής όσο και στην πρόβλεψη της μέγιστης μέσης αξονικής παραμόρφωσης δίδονται από τους De Lorenzis and Tepfers (2003) και Παναγιωτίδου και Βιντζηλαίου (2004), η οποία και προτείνει μια νέα καταστατική σχέση με πολύ μικρότερη διασπορά στα προβλεπόμενα αποτελέσματα (ειδικά στην μέγιστη ανηγμένη παραμόρφωση στην αστοχία).

Για την τεκμηρίωση των καταστατικών αυτών εξισώσεων έγιναν πλέον ενδελεχείς πειραματικές μελέτες των κριτηρίων αστοχίας στην περίπτωση της περίσφιγξης με ΙΝΟΠ υποστυλωμάτων, για τη μελέτη της επιρροής της προετοιμασίας της διεπιφάνειας στην συνολική επάλληλη συμπεριφορά του σκυροδέματος και του ΙΝΟΠ (Toutanji and Ortiz, 2001), καθώς και του μηχανισμού εφελκυστικής αστοχίας του ΙΝΟΠ σε περιπτώσεις περιτύλιξης – όπως στην περίσφιγξη – λόγω της επιρροής της καμπυλότητας του ΙΝΟΠ, σε παραλληλόγραμμα και κυλινδρικά υποστυλώματα (Lam and Teng, 2004). Οι Xinbao, Jun, Nanni and Dharani (2004) ανέπτυξαν για αυτό το σκοπό μια πειραματική διάταξη, για να ελέγχουν την αστοχία των ΙΝΟΠ σε συνθήκες αλλαγής κατεύθυνσης της περιτύλιξης, με δυνατότητα ελέγχου εναλλακτικών ακτινών καμπυλότητας.

Πρόσθετα με τα κυλινδρικά / πρισματικά δοκίμια με χαμηλό λόγο ύψους προς διάμετρο, η τρέχουσα έρευνα συμπεριέλαβε δοκίμια που πλησιάζουν σε αναλογίες τα υπό κλίμακα υποστυλώματα από ΟΣ. Οι Pessiki, Harries, Kestner, Sause and Ricles, (2001) έλεγξαν και μικρής κλίμακας και φυσικής κλίμακας υποστυλώματα, για την πληρέστερη διερεύνηση της πραγματικής επιρροής της εγκάρσιας δυσκαμψίας του ΙΝΟΠ, της λυγηρότητας του υποστυλώματος, του μήκους υπερκάλυψης και της γεωμετρίας της διατομής (αναλογίες μήκους προς πλάτος) σε πραγματικές διαστάσεις, κάτι που τα κυλινδρικά δοκίμια δεν προσομοιώνουν επαρκώς.

Ο Tan (2002) διερεύνησε τη συμπεριφορά πενήντα δύο υποστυλωμάτων, 1,50m ύψος και διατομή διαστάσεων 115/420 mm, με διαφορετικές αναλογίες και τοπολογία εφαρμογής των ΙΝΟΠ. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα, πρότεινε μια απλοποιημένη μέθοδο για τον υπολογισμό της μέγιστης φέρουσας ικανότητας σε αξονική του στοιχείου.

Πειράματα σε εννέα τετραγωνικά υποστυλώματα σε μικρή κλίμακα (διαστάσεις περίπου 100/100mm και ύψος 305mm), εγκάρσια ενισχυμένα με ΙΝΟΠ άνθρακα αναφέρουν και οι Parvin and Wang (2001). Τα πειράματα τους έγιναν σε έκκεντρη θλίψη, με παράλληλη αριθμητική πρόβλεψη της

συμπεριφοράς χρησιμοποιώντας προσομοιώματα πεπερασμένων στοιχείων, με πολύ καλά αποτελέσματα (σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, επέκτειναν την αναλυτική πρόβλεψη της συμπεριφοράς και σε αριθμητικές προβλέψεις συμπεριφοράς ολόκληρων υποστυλωμάτων (Parvin and Wang, 2002) που είχαν δημοσιευθεί από άλλους ερευνητές).

Γενικά, τα πειράματα αυτά δεν είναι σε θέση να αποδώσουν τη συνολική αντοχή υποστυλωμάτων σε σεισμική απόκριση, και έτσι η διερεύνησή τους δεν επεκτάθηκε περαιτέρω στην παρούσα. Δεν παύουν όμως να είναι σημαντικά για την κατανόηση της τοπικής συμπεριφοράς και της συνεργασίας στην οριακή κατάσταση των ΙΝΟΠ περίσφιγξης με το σκυρόδεμα.

Τέλος, οι Hadi and Li (2004) έλεγξαν επτά δοκίμια διαμέτρου 150mm από οπλισμένο σκυρόδεμα υψηλής αντοχής - 100 MPa, σε έκκεντρη θλίψη (λόγος εκκεντρότητας προς ακτίνα ίσος με 0,57). Από αυτά, τα πέντε δοκίμια είχαν ενισχυθεί εγκαρσίως με διαφορετικές στρώσεις (μια ως πέντε) από ΙΝΟΠ άνθρακα ή ύαλο, παρατηρώντας δυσανάλογη αύξηση της αντοχής σε έκκεντρη και κεντρική θλίψη (παρατηρήθηκε ότι η περίπτωση εφαρμογής της εκκεντρότητας αναιρεί ουσιαστικά οιαδήποτε αύξηση αντοχής).

Πειράματα σε καθαρή αξονική, υποστυλωμάτων κυκλικής και παραλληλόγραμμης διατομής, ενισχυμένα με ΙΝΟΠ, διενήργησαν επίσης και οι Wang and Restrepo (2001). Πρόσφατα, οι Thiérault, Neale and Claude (2004) ανέλυσαν κριτικά τα αποτελέσματα σειρών πειραμάτων από δοκίμια κυλίνδρων έως φυσικής κλίμακας υποστυλώματα σε κεντρική θλίψη (συμπεριλαμβάνοντας και δικά τους παλαιότερα πειράματα). Σκοπός τους ήταν να αναγνωριστούν τυχόν φαινόμενα κλίμακας ή λυγηρότητας στα πειραματικά αποτελέσματα και, άρα, και στους καταστατικούς νόμους, που προτάθηκαν και από άλλους ερευνητές. Η στατιστική τους επεξεργασία έδειξε ότι επιρροή της κλίμακας των διαστάσεων στα πειράματα υπάρχει μόνο σε δοκίμια διαμέτρου 50mm και μικρότερης, ενώ δεν υπάρχει στα δοκίμια των πρότυπων συμβατικών διαστάσεων που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο

στις βαθμονομήσεις – καταστατικές προσομοιώσεις που δημοσιεύονται στη βιβλιογραφία.

### **Έρευνα αξονικών στοιχείων σε αξονική και εγκάρσια καταπόνηση**

Παράλληλα με την καταστατική προσομοίωση αξονικών στοιχείων έχει δημοσιευθεί ένας μεγάλος αριθμός πειραμάτων ενισχυμένων ή επισκευασμένων με ΙΝΟΠ κατακόρυφων στοιχείων υπό κλίμακα, με διαστάσεις (αναλογικά) και οπλισμικές διατάξεις που βασίζονται σε αντίστοιχες παραμέτρους υποστυλωμάτων υφιστάμενων κτιριακών έργων ή βάθρων υφιστάμενων γεφυρών, στα οποία επιβάλλεται κατά κύριο λόγο μονότονη ή ανακυκλιζόμενη καμπτική συμπεριφορά και αξονική.

Οι Seible, Priestley, Hegemier and Innamorato (1997) περιέγραψαν τη συμπεριφορά σε αστοχία που παρατηρήθηκε στα βάθρα γεφυρών της Πολιτείας της Καλιφόρνιας, μετά τους δύο διαδοχικούς σεισμούς της περιοχής αυτής κατά τη δεκαετία του 90, που κατέστρεψαν πολλές γέφυρες και υπήρξαν το έναυσμα για ένα μαζικό πρόγραμμα ενισχύσεων των έργων υποδομής της πολιτείας. Αφού περιέγραψαν τη μεθοδολογία σχεδιασμού των ενισχύσεων με ΙΝΟΠ αυτών των φορέων (αντί της χρήσης ελασμάτων από χάλυβα, που μέχρι τότε χρησιμοποιούνταν με επιτυχία), διεξήγαγαν μια σειρά πειραμάτων βάθρων παραλληλόγραμμης και κυκλικής διατομής σε δοκίμια μορφής προβόλου ή αμφιπροβόλου, υπό κλίμακα 0,40, τα οποία είχαν επισκευασθεί με ΙΝΟΠ.

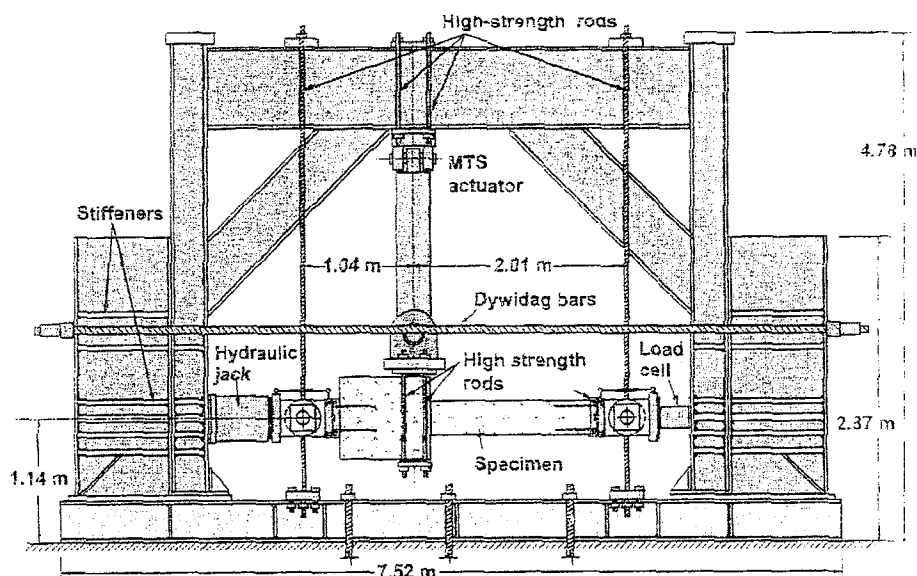
Πρόσθετα με τα πειράματα αυτά οι Saadatmanesh, Ehsani and Jin (1996) και Saadatmanesh, Ehsani and Jin (1997a), έλεγξαν πειραματικά πέντε δοκίμια βάθρων κυκλικής και πέντε παραλληλόγραμμης διατομής, αντίστοιχα, υπό κλίμακα 0,20, με αντιπροσωπευτικές λεπτομέρειες όπλισης υφιστάμενων γεφυρών προ του 1971, που επέδειξαν προβληματική συμπεριφορά σε παλαιότερους σεισμούς (χρήση αναμονών στην κρίσιμη περιοχή και ελλιπής περίσφιγξη). Σε τρία από τα στοιχεία αυτά εφήρμοσαν τρεις εναλλακτικές τεχνικές εφαρμογής ΙΝΟΠ κατά την εγκάρσια μόνον διεύθυνση: α) παθητική περιτύλιξη στην παραλληλόγραμμη διατομή, β)

ενεργητική περιτύλιξη στην παραλληλόγραμμη διατομή μέσω εφαρμογής πεπιεσμένου ενέματος και γ) εξωτερική περιτύλιξη οβάλ με πλήρωση από σκυρόδεμα ταχείας πήξεως, με παθητική περίσφιγξη. Σε κάθε περίπτωση, σκοπός των ΙΝΟΠ ήταν η ενίσχυση της πλαστιμότητας και της αντοχής είτε στην κρίσιμη περιοχή είτε καθόλο το ύψος τους. Όλοι οι έλεγχοι έγιναν κατά την ισχυρή διεύθυνση των διατομών, ενώ έγιναν και πειραματικές συγκρίσεις με αντίστοιχα μη επισκευασμένα στοιχεία.

Επί πλέον, οι Saadatmanesh, Ehsani and Jin (1997b) υπέβαλαν σε πειραματικό έλεγχο τέσσερα υποστυλώματα συμβατικής όπλισης υφιστάμενων βάθρων (δύο κυκλικής και δύο παραλληλόγραμμης διατομής) σε κλίμακα 0,20. Τα δοκίμια αρχικά καταπονήθηκαν σε αύξουσα ανακυκλιζόμενη φόρτιση και κατόπιν επισκευάστηκαν και ενισχύθηκαν με ΙΝΟΠ στην κρίσιμη ζώνη. Όπως και στις προηγούμενες εργασίες, τα δοκίμια είχαν ελλειψείς αναμονές και χαμηλή περίσφιγξη. Η μέθοδος επισκευής/ενίσχυσης περιελάμβανε την καθαίρεση του χαλαρού υλικού και την αντικατάστασή του με νέο σκυρόδεμα και κατόπιν την επιβολή ενεργούς περίσφιγξης, με την εφαρμογή υφασμάτων ΙΝΟΠ σε διάσταση κατά 3 mm μεγαλύτερη περί την κρίσιμη διατομή και συγκόλληση της με το δοκίμιο με εφαρμογή ρητίνης υπό πίεση.

Οι Gergely, Pantelides, Nuismer and Reaveley (1998) σχεδίασαν την ενίσχυση με ΙΝΟΠ του κόμβου μεταξύ βάθρου και κεφαλοδοκού και των κρίσιμων ζωνών στα συναντώμενα μέλη μίας υφιστάμενης γέφυρας σχεδιασμένης για κατακόρυφα φορτία μόνο, την οποία και έλεγξαν κατόπιν πειραματικά σε φυσική κλίμακα. Οι Mo, Yeh and Hsieh (2004) έλεγξαν πειραματικά οκτώ υποστυλώματα – προβόλους κοίλης τετράγωνης διατομής διαστάσεων 500 επί 500 mm υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση και σταθερό αξονικό φορτίο, με εναλλακτικά ποσοστά εγκάρσιας και διαμήκους ενίσχυσης από ΙΝΟΠ. Τέλος, οι Saiidi and Cheng (2004) διεξήγαγαν πειράματα σε δύο προβόλους βάθρων οκταγωνικής διατομής μεταβλητών διαστάσεων, υπό κλίμακα 0,40, τα οποία επισκευάστηκαν με χρήση ΙΝΟΠ αφού είχαν υποστεί σοβαρή βλάβη σε σεισμική καταπόνηση λόγω αστοχίας του διαμήκους

οπλισμού τους, ο οποίος και αντικαταστάθηκε με διαμήκη υφάσματα ΙΝΟΠ, τόσο από ίνες άνθρακα όσο και υάλου, εν παραλλήλω. Οι διαφορές των δύο δοκιμών ήταν στο ποσοστό του διαμήκους οπλισμού τους (1,0 και 1,8%

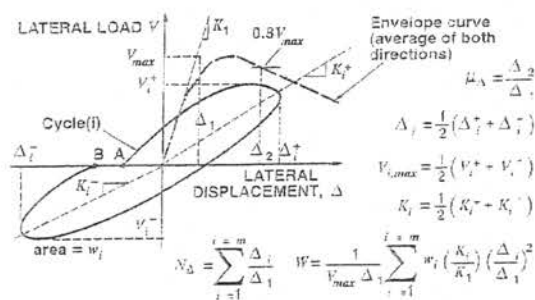


**Σχήμα 2.1.** Διάταξη πειραματικού ελέγχου τετραγώνων υποστυλμάτων σε οριζόντια θέση (Iacobucci, Sheikh and Bayrak, 2003).

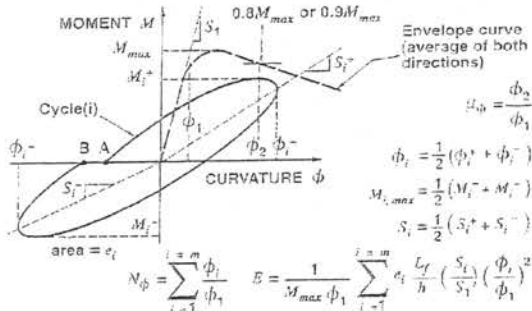
αντίστοιχα). Πειράματα σε τρία δοκίμια κυκλικής διατομής σε κλίμακα 0,50 διεξήγαγαν και οι Xiao and Ma (1997), διερευνώντας και αυτοί υφιστάμενα υποστυλώματα – βάθρα με παρόμοιες οπλισμικές ατέλειες, επισκευασμένα εγκάρσιως με ΙΝΟΠ.

Οι Iacobucci, Sheikh and Bayrak (2003) έλεγξαν οκτώ υποστυλώματα τετράγωνης διατομής φυσικής κλίμακας, οπλισμένα κατά τις διατάξεις οπλισμών υφισταμένων κατασκευών σε ανακυκλιζόμενη εγκάρσια και σταθερή αξονική, χρησιμοποιώντας μια παραλλαγή της διάταξης που χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία (Σχήμα 2.1), με τη διαφορά ότι αντί για ένα συνεχές ενισχυμένο υποστυλώμα (όπως η παρούσα), οι ερευνητές υλοποίησαν ισχυρό κόμβο, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια τοπική περισφιγξη στην κρίσιμη ζώνη<sup>1</sup>. Οι παράμετροι υπό διερεύνηση ήταν το

<sup>1</sup> Τοπικά φαινόμενα καθώς και προβλήματα λόγω ασυμμετρίας κατά την ανελαστική απόκριση, σε παραπλήσια διάταξη είχαν παρατηρηθεί και σε παλαιότερα πειράματα που είχαν πραγματοποιηθεί στο ΕΜΠ (Lu, Vintzileou, Zhang and Tassios, 1999) και για αυτό το λόγο δεν έγινε χρήση κόμβου στην παρούσα εργασία.



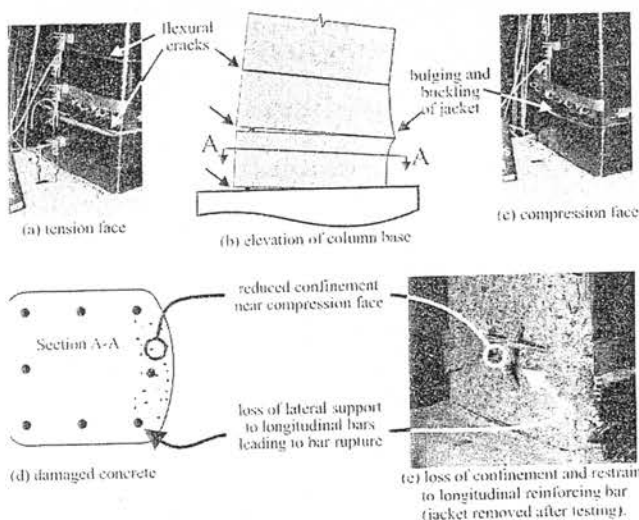
(a) Member Ductility Parameters



(b) Section Ductility Parameters

Σχήμα 2.2. Δείκτες συμπεριφοράς κατά την ανακύκλιση (Iacobucci, Sheikh and Bayrak, 2003). Αντιστοιχοι δείκτες υιοθετούνται και αποτιμώνται στην παρούσα Εργασία

αξονικό φορτίο και ο αριθμός στρώσεων των ΙΝΟΠ υάλου, στην εγκάρσια περισφιγμένη κρίσιμη ζώνη. Ορισμένα από τα δοκίμια είχαν πρότερη βλάβη, ενώ άλλα ενισχύθηκαν και κατά τη διαμήκη διεύθυνση. Τα αποτελέσματα – δείκτες συμπεριφοράς (πλαστιμότητας, ενεργειακής απορρόφησης σε υστερητική ανακύκλιση) που παρουσίασαν, συνοψίζονται στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.3. Αστοχία τετράγωνου υποστυλώματος ενισχυμένου με ΙΝΟΠ σε κάμψη (από τους Sause, Harries, Walkup, Pessiki and Ricles (2004)).

Οι Chaallal and Shahawy (2000) έλεγξαν μέχρι την αστοχία σε μονοτονική φόρτιση δοκίμια υποστυλωμάτων σε φυσική κλίμακα παραλληλόγραμμης διατομής, υπό έκκεντρη θλίψη. Τα δοκίμια ενισχύθηκαν με ΙΝΟΠ σε σταυροειδή όπλιση. Οι ερευνητές έλεγξαν συνολικά έξι σειρές από δύο

δοκίμια (ένα δοκίμιο ελέγχου και ένα ίδιο με INOP) σε κάθε σειρά, με διαφορετική - σταθερή - εκκεντρότητα για την κάθε σειρά (περιλαμβανομένης και της καθαρής κάμψης). Πειράματα ανακυκλιζόμενης φόρτισης σε τέσσερα υποστυλώματα τετράγωνης διατομής σε φυσική κλίμακα, με παλαιού τύπου περίσφιγξη, δημοσίευσαν και οι Sause, Harries, Walkup, Pessiki and Ricles (2004). Τα πειράματα, υπό μορφή προβόλου, περιελάμβαναν ένα δοκίμιο

ελέγχου και τρία δοκίμια ενισχυμένα εγκαρσίως στην κρίσιμη περιοχή με INOP από άνθρακα. Αντικείμενο της μελέτης ήταν η μορφή αστοχίας του φορέα και η παρεχόμενη πλαστιμότητα στροφών, σε ανακυκλιζόμενη απόκριση, με έμφαση στην αστοχία της περίσφιγξης των INOP λόγω λυγισμού των ράβδων και της διόγκωσης του σκυροδέματος. Χαρακτηριστικά, αναφέρεται ότι κρίσιμες για την συμπεριφορά των INOP ήταν οι μεσαίες ράβδοι της διατομής – Σχήμα 2.3, (σε αντιδιαστολή με τα αποτελέσματα της παρούσης λόγω διαξονικής απόκρισης).

Πειράματα σε αντιπροσωπευτικά στοιχεία από υφιστάμενους κτιριακούς φορείς υπό κλίμακα διεξήγαγαν οι Bousias, Triantafillou, Fardis, Spathis and O'Reagan (2004), σε είκοσι συνολικά ορθογωνικά υποστυλώματα, εκ των οποίων τα μισά είχαν παρόμοια όπλιση, η οποία είχε διαβρωθεί με επιταχυνόμενη διαδικασία διάβρωσης. Τα πειράματα έγιναν σε προβολική διάταξη, με σταθερή αξονική και εγκάρσια ανακύκλιση σε μια από τις δύο κύριες διευθύνσεις των υποστυλωμάτων (ξεχωριστά), είτε σε παρθένα ενισχυμένα δοκίμια είτε σε επισκευασμένα και ενισχυμένα δοκίμια τα οποία είχαν αντεπεξέλθει προηγουμένως μεγάλες παραμορφώσεις. Όλες οι ενισχύσεις έγιναν με INOP άνθρακα και ύαλο σε λίγες περιπτώσεις, πλην των δοκιμών ελέγχου.

Ειδικά για τη διερεύνηση της δυνατότητας επισκευής των διαβρωμένων οπλισμών σε ΟΣ, με χρήση INOP, οι Pantazopoulou, Bonacci, Thomas and Hearn (2001) διεξήγαγαν σειρά πειραματικών ελέγχων της συμπεριφοράς πενήντα συμβατικών δοκιμών ελαφρά οπλισμένων κυλίνδρων, σε καθαρή θλίψη, οι οποίοι αρχικά υπέστησαν επιταχυνόμενη διάβρωση και κατόπιν

επισκευάστηκαν, με διαφορετικές εναλλακτικές διαδικασίες επισκευής και εφαρμογή ΙΝΟΠ υάλου κατά την επισκευή. Πειράματα της συμπεριφοράς των ΙΝΟΠ αυτών καθαυτών σε περιβαλλοντική φόρτιση (θερμοκρασιακούς κύκλους και κύκλους παγετού), διεξήγαγαν στο εργαστήριο και στο πεδίο, σε ΙΝΟΠ υάλου που εφαρμόσθηκαν στα βάθρα δύο γεφυρών, οι Teng, Sotelino and Chen (2003). Τα πειράματα απέδειξαν ότι τα υλικά εμφανίζουν μια μικρή επιρροή της παραμορφωσιμότητας τους λόγω παγετού, προς το ψαθυρότερο.

Τέλος, οι Vougioukas, Zeris and Kotsovos (2005) διεξήγαγαν πειράματα σε πρότερα αστοχήσαντα και κατόπιν επισκευασμένα και/ή απευθείας ενισχυμένα, με ΙΝΟΠ, ορθογωνικά υποστυλώματα, με διαφορετικούς λόγους διάτμησης και σταθερό αξονικό φορτίο, με τη διαφορά ότι τα δοκίμια ήταν της μορφής υπερστατικού φορέα, τύπου δοκού δύο ανοιγμάτων, για τη μελέτη της δυνατότητας ανακατανομών στην αντοχή και την επιρροή της κατανομής της δυσκαμψίας και βλάβης, μεταξύ των όμορων στοιχείων. Επιπρόσθετα με τις συμβατικές Κανονιστικές μεθόδους, διερευνήθηκε και η χρήση εναλλακτικού τρόπου υπολογισμού της αντοχής σε διάτμηση.

Σύμφωνα με την παραπάνω βιβλιογραφική διερεύνηση, συμπεραίνεται ότι δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς η απόκριση ενισχυμένων ή επισκευασμένων υποστυλωμάτων μη κυκλικής διατομής, σε φυσικές κλίμακες, όπου οι περισφιγείς των ΙΝΟΠ απέχουν αυτών της απλής κυκλικής διατομής. Λόγω του ότι τα υποστυλώματα, στην πληθώρα των υφιστάμενων δομικών συστημάτων, καλούνται κατά την ανελαστική απόκριση της κατασκευής να αποκριθούν στο χώρο και με δεδομένο ότι η αστοχία του ΙΝΟΠ ελέγχει σε ουσιαστικό βαθμό και τη φέρουσα ικανότητα του υποστυλώματος μετά από την ενίσχυση ή επισκευή, κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθεί η διαξονική απόκριση τετραγωνικών υποστυλωμάτων σε φυσική κλίμακα πριν και μετά από επισκευή και/ή ενίσχυση.

Προηγούμενες αναλυτικές μελέτες συμπεριφοράς υποστυλωμάτων σε διαξονική καταπόνηση (Zeris, 1991, Zeris and Mahin, 1991) ανέδειξαν τη σημαντική αύξηση τοπικών πλαστιμοτήτων παραμορφώσεων στους

γωνιακούς χάλυβες, σε διατομές καταπονούμενες διαξονικά, σε αντιστοιχία με αυτές που καταπονούνται σε καθαρά μονοαξονική φόρτιση. Αυτές οι αυξημένες τοπικές απαιτήσεις εμφανίστηκαν ακόμη και όταν η ολική πλαστιμότητα μετατοπίσεων είναι συγκρίσιμη. Προέκυψε λοιπόν η ανάγκη στο παρόν Ερευνητικό Πρόγραμμα να γίνει έλεγχος αυτών των δομικών στοιχείων, τόσο στην παρθένα υφιστάμενη μορφή τους όσο και αφού ενισχυθούν, πειραματικά και αναλυτικά. Ούτως ή άλλως, στο θέμα της διαξονικής κάμψης υποστυλωμάτων, δεν υπάρχουν μέχρι στιγμής καθόλου στοιχεία, που να αφορούν είτε την πειραματική είτε την αναλυτική πρόβλεψη της συμπεριφοράς επισκευασμένων ή ενισχυμένων στοιχείων (με εξαίρεση τα πειράματα σε βάθρα γεφυρών κυκλικής διατομής).

## 2.2 Δημοσίευση των αποτελεσμάτων του Ερευνητικού Προγράμματος

Τα πειραματικά αποτελέσματα της Α φάσης των πειραμάτων στα παρθένα υποστυλώματα έχουν περιγραφεί στη Δεύτερη Έκθεση Προόδου προς τον ΟΑΣΠ (Ζέρης, 2001). Οι σχετικές αριθμητικές προβλέψεις και αναλύσεις που έλαβαν χώρα με σκοπό το σχεδιασμό των κατακόρυφων δοκιμίων και της διάταξης, η κατασκευή των παρθένων υποστυλωμάτων και η ακόλουθη διαδικασία της επισκευής και ενίσχυσής τους περιγράφηκαν στις Πρώτες δύο Εκθέσεις Προόδου (Ζέρης, 2001 και 2003).

Αναλυτικότερη περιγραφή των σχετικών εργασιών κατασκευής, των διατάξεων, των αναλυτικών προβλέψεων και αποτελεσμάτων που αφορούν τόσο τα πειράματα υποστυλωμάτων όσο και τα πειράματα στις δοκούς (τα οποία περιλαμβάνονται στον Δεύτερο Τόμο της παρούσης) αναπτύσσονται στις Διπλωματικές εργασίες οι οποίες εκπονήθηκαν υπό την επίβλεψη του Επιστημονικού Υπευθύνου του Ερευνητικού Προγράμματος, στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΟΣ) του ΕΜΠ, από τους Γ. Δροσόπουλο (2002), Κ. Μωυσιάδου (2002), Α. Τσιαρτσιώνη (2002), Γ. Περγαντή (2003), Ι. Αναστασάκη (2003), Ι. Κυριακίδη (2003) και Γ. Τσόλκα (2005), Πολιτικούς Μηχανικούς ΕΜΠ.

Τέλος, τα αποτελέσματα των πειραμάτων εναλλακτικών τρόπων ενίσχυσης δοκών υφισταμένων κτιρίων από ΟΣ με χαμηλό λόγο διατμητικού μήκους, έχουν υποβληθεί προς δημοσίευση στο έγκριτο περιοδικό Structures Journal του American Concrete Institute (Zeris, προς δημοσίευση). Τα αποτελέσματα των πειραμάτων επισκευής / ενίσχυσης υφιστάμενων υποστυλωμάτων θα υποβληθούν στο Journal of Composites of Construction του American Society of Civil Engineers (Zeris, προς δημοσίευση) ενώ ανακοινώσεις των παραπάνω πρόκειται να ανακοινωθούν και στο επόμενο Β' Συνέδριο Συνθέτων Υλικών ή Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος ή Αντισεισμικών.

#### Δήλωση:

Ευχαριστούμε από τη θέση αυτή τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) για την αμέριστη συμπαράστασή τους στη χρηματοδότηση του παρόντος Ερευνητικού. Τα συμπεράσματα, οι θέσεις και τα αποτελέσματα της Παρούσης Τελικής Έκθεσης είναι ευθύνη του Επιστημονικού Υπευθύνου και δεν εκφέρουν απαραίτητα τη θέση του ΟΑΣΠ.