

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ & ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΟΑΣΠ

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

Ερευνητικού προγράμματος

ΘΕΜΑ : «ΜΙΑ ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ
ΜΕΡΙΚΩΣ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
ΠΟΛΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΤΕΓΟΣ, Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2002

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ & ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΟΑΣΠ

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

Ερευνητικού προγράμματος

ΘΕΜΑ : «ΜΙΑ ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ
ΜΕΡΙΚΩΣ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
ΠΟΛΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΤΕΓΟΣ, Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2002

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κάποτε στο Γιβραλτάρ υπήρχαν οι Ηράκλειες στήλες όπου οι Ισπανοί βασιλείς είχαν γραμμένο το "plus ultra", δηλαδή "από 'δώ και πέρα τίποτα". Όταν ανακαλύφθηκε η Αμερική το "plus" σβύστηκε και έμεινε "ultra", δηλαδή "ακόμα πιο πέρα".

Οι γέφυρες πολλών εν σειρά αμφιερείστων ανοιγμάτων με προκατασκευασμένα διαμήκη στοιχεία σκυροδέματος ή χάλυβα γνωρίζουν άνθιση από το 1950. Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του '60 και του '70 η ανάγκη ταχείας επέκτασης των εθνικών οδικών δικτύων εν συνδυασμό με τις απαιτήσεις ταχείας κατασκευής, οδήγησε στη ραγδαία αύξηση του αριθμού των γεφυρών αυτού του τύπου διεθνώς. Ωστόσο το πρόβλημα της φθοράς των αρμών, οι οποίοι προβλέπονταν αρχικά στα άκρα όλων των εν σειρά αμφιερείστων φατνωμάτων, έγινε αντιληπτό στη δεκαετία του '60 στις ΗΠΑ και στη δεκαετία του '70 στην Ευρώπη, οπότε η έρευνα επικεντρώθηκε στη μείωση του αριθμού τους. Με τη λύση της ενιαίας πλάκας καταστρώματος που καθιερώθηκε τελικώς και τη διατήρηση μόνον δύο αρμών στις θέσεις των ακροβάθρων ή για την περίπτωση των γεφυρών μεγάλου μήκους και με πρόβλεψη των ενδιαμέσων αρμών ανά έξι περίπου φατνώματα η κατάσταση βελτιώθηκε σημαντικά και αυτό ισχύει μέχρι σήμερα.

Στη σημερινή βιβλιογραφία μπορεί κανείς να διαβάσει ότι η κατάργηση των ακραίων αρμών δεν είναι εφικτή και οπωσδήποτε δημιουργεί περισσότερα προβλήματα από αυτά που λύνει. Και πράγματι σε χώρες όπως η Γερμανία και η Αγγλία, που δεν αντιμετωπίζουν το πρόβλημα του σεισμού δεν υπάρχει κανένα κίνητρο πλην ίσως της εμφράξεως και της τελευταίας κερκόπορτας εισόδου των αλατόνερων προς τα ευαίσθητα μέρη της γέφυρας το χειμώνα. Στη χώρα μας, όμως, η παρουσία των αρμών συνεπάγεται μεγάλες επιπτώσεις, οικονομικές μέχρι και αισθητικές. Και αυτό γιατί με τη χρησιμοποίηση ελαστομεταλλικών εφεδράνων, τα οποία αποτελούν τον κανόνα, στο προκύπτον "πλωτό σύστημα" η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς καθλώνεται στη ναυτική τιμή $q=1$. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε τεράστιους όγκους εφεδράνων καθώς και σε υπερμεγέθεις διατομές αντισταθμικών μεσοβάθρων. Από την άλλη μεριά η πρακτική των λειτουργικώς ανενεργών και μόνον κατά το σεισμό ενεργών ανασχετήρων (stoppers), που περιλαμβάνεται στους κανονισμούς και θα μπορούσε να αποτελέσει την οικονομική εναλλακτική λύση, αποδείχθηκε διάτρητη υπολογιστικώς και επικίνδυνη και στην ουσία έχει εγκαταληφθεί.

Αν ισχύει πάντως ο αφορισμός του Φραγκίσκου Βάκωνος σύμφωνα με τον οποίο "οι φιλότιμοι άνδρες δημιουργούν περισσότερες ευκαιρίες από όσες ευρίσκουν", ο υπογραφόμενος φιλοδόξησε να τον εφαρμόσει σε κάποιους τομείς της επαγγελματικής

του δραστηριότητας, μεταξύ των οποίων και η βελτίωση της αντισεισμικότητας των γεφυρών με προκατασκευασμένες δοκούς. Με κίνδυνο να φανεί κενόδοξος θα τολμήσει να ισχυριστεί ότι η επιστημονική προώθηση ενός θέματος στη Γεφυροποιία δεν μπορεί να προκύψει από τους μελετητές, οι οποίοι δεν έχουν ούτε το χρόνο, ούτε και τη νοοτροπία, αλλά μάλλον από τους θεωρητικούς επί των γεφυρών με κάποια εμπειρία εφαρμογών. Με αυτά τα κίνητρα το έτος 2000 υπέβαλε σχετική πρόταση στον ΟΑΣΠ, η οποία εγκρίθηκε, και η σύμβαση υπογράφηκε το Νοέμβριο αυτού του έτους.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από το κυρίως μέρος, το οποίο είναι σύντομο, και από τέσσερα προσαρτήματα Α, Β, Γ, και Δ. Στο κυρίως μέρος δίνεται η διερεύνηση του λειτουργικού προβλήματος το οποίο δημιουργείται από τους καταναγκασμούς που προέρχονται από τη μονολιθική σύνδεση της πλάκας καταστρώματος με τα ακρόβαθρα. Η διερεύνηση καταλήγει στον προσδιορισμό ενός προσομοιώματος καταλλήλου για την εκτίμηση της αξονικής και καμπτικής εντάσεως λόγω των καταναγκασμών και με βάση αυτή την ένταση ελέγχεται η επάρκεια της διαμήκου οπλίσεως της πλάκας καταστρώματος, η οποία κατά τη διαμήκη έννοια, στις ζώνες των άκρων των φατνωμάτων συμπεριφέρεται και ως ελκυστήρας.

Όσον αφορά τα περιεχόμενα των Προσαρτημάτων, στο Α δίνονται γενικές πληροφορίες που αφορούν τις γέφυρες με προκατασκευασμένες δοκούς. Στο Β δίνεται μία σειρά εφαρμογών με βάση το προτεινόμενο προσομοίωμα με τη βοήθεια του προγράμματος Sofistik. Οι εφαρμογές αυτές αποτελούν "μαθηματικά πειράματα" τα οποία υποκαθιστούν τα "φυσικά" πειράματα σε πραγματικές κατασκευές ή στο Εργαστήριο.

Στο προσάρτημα Γ δίνονται αναλυτικά αποτελέσματα παραμετρικών φασματικών αναλύσεων για τη γέφυρα "Τρουμπέτα" του Τμήματος "Γρεβενά – Κοζάνη" της Εγνατίας οδού. Οι αναλύσεις αφορούν αφενός τη συμβατική αντιμετώπιση και αφετέρου την προτεινόμενη. Η τελευταία εξετάζεται σε συνδυασμό και με άλλες παραμέτρους, όπως η διατομή των βάθρων και το αρρηγμάτωτο ή ρηγματωμένο (στάδια Ι και ΙΙ) αυτών. Στο Προσάρτημα Δ, τέλος, δίνονται για τη γέφυρα Τ6 του Τμήματος "Ασπροβάλτα – Στρυμόνας" της ίδιας οδού αποτελέσματα πολυπαραμετρικών φασματικών αναλύσεων, επίσης για τις δύο περιπτώσεις, συμβατική και προτεινόμενη, με έμφαση στην προτεινόμενη.

Από το πλήθος των στοιχείων που προέκυψαν φαίνεται, τελικώς, ότι η προτεινόμενη λύση αξιολογείται θετικά, ως παρέχουσα σημαντικά περιθώρια αντισεισμικής ασφαλείας, αλλά και οικονομίας και αισθητικής βελτιώσεως των γεφυρών με προκατασκευασμένες δοκούς.

Μια διδακτική Ιαπωνική παράδοση, που την παρουσιάζουμε εδώ ελάχιστα τροποποιημένη, μας διηγείται ότι, μια μέρα κάποιος πλούσιος ανέθεσε σε κάποιο μηχανικό να του φτιάξει μια μελέτη. Αλλά αυτή θα έπρεπε να είναι κατά το δυνατόν τέλεια. Η ανάθεση έγινε, αλλά ο πλούσιος για αρκετούς μήνες δεν πήρε καμία είδηση από το μηχανικό. Παραξενεμένος αποφάσισε στο τέλος να πάει να τον βρει, οπότε έλαβε τη μελέτη η οποία ήταν αριστουργηματική, αλλά αποτελούνταν από ελάχιστες σελίδες. Αυτό δεν ενόχλησε τον πλούσιο, όταν όμως ζήτησε να πληρώσει, παραλίγο να λιποθυμήσει, όταν του ζητήθηκε ένα υπέρογκο ποσό. Τότε ο μηχανικός τον οδήγησε σε ένα δωμάτιο και του έδειξε σωρούς σχεδίων και υπολογισμών που έφταναν μέχρι την οροφή και αφορούσαν το πρόβλημα που του ανατέθηκε. "Αυτή είναι η εργασία μου πολλών μηνών", είπε ο μηχανικός, "και χάρη σ' αυτήν κατορθώσα σε τόσες λίγες σελίδες να περιλάβω όλα όσα μου ζητήσατε. Είναι δίκαιο να πληρωθώ όχι μόνο γι' αυτό που σας παρέδωσα προ ολίγου, αλλά και γι' αυτά".

Η αναφορά της παραπάνω ιστορίας αποτελεί την απάντηση στην πιθανή απορία "γιατί το κυρίως μέρος είναι τόσο μικρό συγκρινόμενο με τα Προσαρτήματα". Εξάλλου δεν είναι η πρώτη φορά, που αφού εξαντληθούν όλες οι δυσκολίες και εκτελεσθεί ένας τεράστιος αριθμός παραδειγμάτων και αριθμητικών πράξεων προβάλλει η απλότητα με όλη τη γοητεία της, ως η τελική σφραγίδα της Επιστήμης. Για να επαληθευτεί –για άλλη μια φορά– ότι οποιοσδήποτε επιθυμεί να φτάσει αμέσως σ' αυτή δεν το κατορθώνει ποτέ. Γιατί δεν είναι δυνατό να αρχίζει κανείς από το τέλος!

Ο χαρακτήρας του θέματος της εργασίας και τα νοήματά του υποχρέωσε σε αρκετές παραχωρήσεις στην καθαρεύουσα. Μόνον εκεί που το ορθόδοξο δημοτικό λεκτικό και τυπικό θα οδηγούσε ενδεχομένως σε παρεκκλίσεις από την εννοιολογική ευθυβολία.

Η μεγαλύτερη ευχαρίστηση όταν τελειώνει η συγγραφή μιας εργασίας είναι η δημόσια έκφραση ευχαριστιών προς εκείνους που συνέβαλαν άμεσα και έμμεσα, κατά μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, στην ολοκλήρωσή της.

Πρώτ' απ' όλα είμαι ευγνώμων στον ΟΑΣΠ ο οποίος με τίμησε με την εμπιστοσύνη του αναθέτοντάς μου αυτό το ερευνητικό έργο. Επιθυμώ και από τη θέση αυτή να εξομολογηθώ ότι αναλαμβάνοντας την εκπόνηση της εργασίας είχα συναισθήσει, ότι όποιος επιχειρεί να λύσει ένα άλυτο πρόβλημα πρέπει να αναρριχθεί στο όρος της δυσκολίας μόνος του και εφόσον δεν υπάρχει εθνική οδός για την κορυφή πρέπει να ανακαλύψει το στενό και δύσβατο μονοπάτι, το οποίο όταν προχωρείς πολλές φορές, γλυστράς, πέφτεις, ξανασηκώνεσαι, χάνεις το ηθικό σου, το ξαναβρίσκεις, οπισθοχωρείς, κερδίζεις δρόμο, ώσπου να δεις τον ανοιχτό ορίζοντα.

Είμαι επίσης ευγνώμων στους συναδέλφους μηχανικούς οι οποίοι με βοήθησαν υπερβαλλόντως, και μερικές φορές χωρίς να το ξέρουν. Το μέγιστο μέρος της ευγνωμοσύνης μου απευθύνεται στον Ι.Σ. Τέγο ο οποίος πάντοτε εύρισκε χρόνο να «τρέξει» με το Sofistik τις δεκάδες των δοκιμαστικών εφαρμογών του προτεινόμενου προσομοιώματος, Χωρίς τη βοήθειά του το Προσάρτημα Β θα ήταν πολύ φτωχό.

Οφείλω επίσης θερμότερες ευχαριστίες στην συνάδελφο Στυλιανή Γεωργιάδου καθώς και στους συναδέλφους Ηλία Παπαδόπουλο και Στέργιο Μητούλη που βοήθησαν στις παραμετρικές αναλύσεις με το πρόγραμμα SAP 90 που κρίθηκαν απαραίτητες για την ανάδειξη της προτεινόμενης λύσεως.

Το χρέος μου επίσης στον διακεκριμένο μελετητή γεφυρών και εκλεκτό συνάδελφο του Ε.Μ.Π. Ι. Σιγάλα για τη γενναιόδωρη παροχή φωτογραφικού υλικού και άλλων στοιχείων αφορούντων τη γέφυρα Τρουμπέτα (Γρεβενά-Κοζάνη) της Εγνατίας Οδού είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Ομοίως και στον ελπιδοφόρο νέο μηχανικό Ι. Μπαλτζόπουλο για την ευγενή παραχώρηση φωτογραφικού υλικού από τη γέφυρα Τ6 (Απροβάλτα-Στρυμώνας) της ίδιας οδού.

Τέλος, επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμά τον εντεταλμένο σύμβουλο επί των στατικών μελετών της ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ, Α.Ε. Ν. Χαλάτη για τη συμπαράστασή του, καθώς και τις Μ. Σαμαρά, Α. Οικονόμου και Α. Μανέτα για τη δακτυλογράφηση των κειμένων και τις Α. Αμοιρίδου και Ε. Γιουβάνογλου για την επιμέλεια των σχημάτων.

Θεσσαλονίκη Ιούλιος 2002

Ο Επιστημονικός υπεύθυνος

Ι. Α. ΤΕΓΟΣ
Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδα
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΡΟΤΑΣΗΣ	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
ΑΝΑΦΥΟΜΕΝΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	3
ΣΤΑΤΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	5
ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ Ο.Σ.	10
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΛΑΚΑΣ – ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ	17
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	10
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	29
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	30
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	32
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	41

ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Α

Γέφυρες με προκατασκευασμένες δοκούς

ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Β

Παραμετρική διερεύνηση λειτουργικού προβλήματος

ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Γ

Γέφυρα «Τρουμπέτα» Τμήματος Γρεβενά – Κοζάνη της Εγνατίας Οδού
Συγκριτική μελέτη φασματικής αποκρίσεως συμβατικής και προτεινόμενης
αντιμετωπίσεως

ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ Δ

Γέφυρα Τ6 Τμήματος Ασπροβάλλας – Στρυμώνας της Εγνατίας Οδού
Πολυπαραμετρική διερεύνηση φασματικής αποκρίσεως.

ΜΙΑ ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΕΡΙΚΩΣ ΠΡΟΚ. ΓΕΦΥΡΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

Ι. Τέγος, Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΡΟΤΑΣΗΣ

Η πρόταση αφορά τις γέφυρες με προκατ. δοκούς και συνίσταται στη σύνδεση της συνεχούς πλάκας καταστρώματος του υπόψη είδους γεφυρών και με τα δύο ακρόβαθρα, καταργουμένων αμφοτέρων των ακραίων αρμών, με κύριο στόχο την αναβάθμιση της αντισεισμικότητας του συστήματος, κυρίως κατά την κρίσιμη διαμήκη διεύθυνσή του. Αντιμετωπίστηκαν τα δύσκολα λειτουργικά προβλήματα από τις εντάσεις των καταναγκασμών, οι οποίοι προκύπτουν ως αποτέλεσμα της προτεινόμενης σύνδεσης. Η πλάκα διακρίνεται κατά τη διαμήκη της έννοια σε ζώνες αρρηγμάτωτες και ρηγματωμένες. Τελικώς, προτείνονται : α) Ένα αναλυτικό προσομοίωμα προσδιορισμού των εκ των καταναγκασμών εντάσεων του φορέα, β) μία μέθοδος υπολογισμού της διαμήκους οπλίσεως της πλάκας στις ρηγματωμένες ζώνες της, (γ) ένας τύπος ακλόνητου ακροβάθρου και, (δ) ένας κατάλληλος αντισεισμικός έλεγχος του συστήματος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπό την πίεση των μεγάλων απαιτήσεων των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών στον Τομέα της Γεφυροποιίας, αλλά και σε συντονισμό με τις σύγχρονες τάσεις, οι οποίες διεθνώς ευνοούν τις robust bridges (Poetzl, M., Schlaich, 1996) παρουσιάζεται σ' αυτή την εργασία μία κατασκευαστική πρόταση που αφορά τις γέφυρες με προκατασκευασμένες δοκούς πολλών ανοιγμάτων, των οποίων το οικονομικό άνοιγμα των φατνωμάτων καθιερώθηκε σε μέγεθος της τάξεως των 35,0 m και οι αποστάσεις των εγκάρσιων δοκών στα 3,0 m με κριτήριο την αποφυγή της εγκάρσιας προέντασης.

Η πολυδιάσπαση του στατικού συστήματος που επικράτησε στο παρελθόν στη Γεφυροποιία για λειτουργικούς (εκτόνωση συστολοδιαστολών) και κατασκευαστικούς (προκατασκευή) λόγους, σε συνδυασμό με την κατάχρηση των "αναλώσιμων" (χρηζόντων αντικατάσταση) στοιχείων των γεφυρών, όπως, κυρίως, τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα, αλλά και οι αρμοί, που παρατηρείται τελευταίως για αντισεισμικούς λόγους, πλην της γενικότερης στατικής ευπάθειας που εισάγει στους φορείς, συνεπάγεται και δραματικές επιπτώσεις στο κατασκευαστικό (αρχικό) καθώς και στο κόστος συντηρήσεως των γεφυρών, το οποίο εξισώνει με το αρχικό.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μία προωθημένης μονολιθικότητας πρόταση, ελεγχόμενης λειτουργικότητας αφενός και βελτιωμένης αντισεισμικότητας αφετέρου. Αυτή αποδέχεται την, για οικονομικούς λόγους, παραδοσιακή λύση του μερικώς προκατασκευασμένου φορέα και προϋποθέτει την ύπαρξη ισχυρών ακροβάθρων, ικανών να αναδεχτούν τις μεγάλης εντάσεως αναπτυσσόμενες εντάσεις κυρίως εκ των παρεμποδιζομένων συστολοδιαστολών. Ειδικότερα, η πρόταση περιλαμβάνει τη μονολιθική σύνδεση της συνεχούς πλάκας καταστρώματος με τα ακρόβαθρα καταργουμένων όλων των αρμών, και των ακραίων. Διατηρούνται ωστόσο, για λειτουργικούς και μόνο λόγους τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα καθώς και τα εγκάρσια stoppers.

Η βελτίωση της αντισεισμικότητας επιτυγχάνεται για της διπλής, εκτός εκείνης της πλάκας, λειτουργίας της πλάκας καταστρώματος και ως δίσκου μεταφέροντος τα αδρανειακά σεισμικά φορτία άμεσα στα ακρόβαθρα τα οποία οιονεί "φρακάρουν" τον φορέα της γέφυρας. Πλην της βελτιωμένης αντισεισμικότητας η προτεινόμενη σύνδεση προσδίδει στη γέφυρα και άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως :

- α) Στιβαρότητας (robust) με την αναβάθμιση του συστήματος εις την κατηγορία των "ερρωμένων", (ισχυρών, εκ του ρώννυμι).

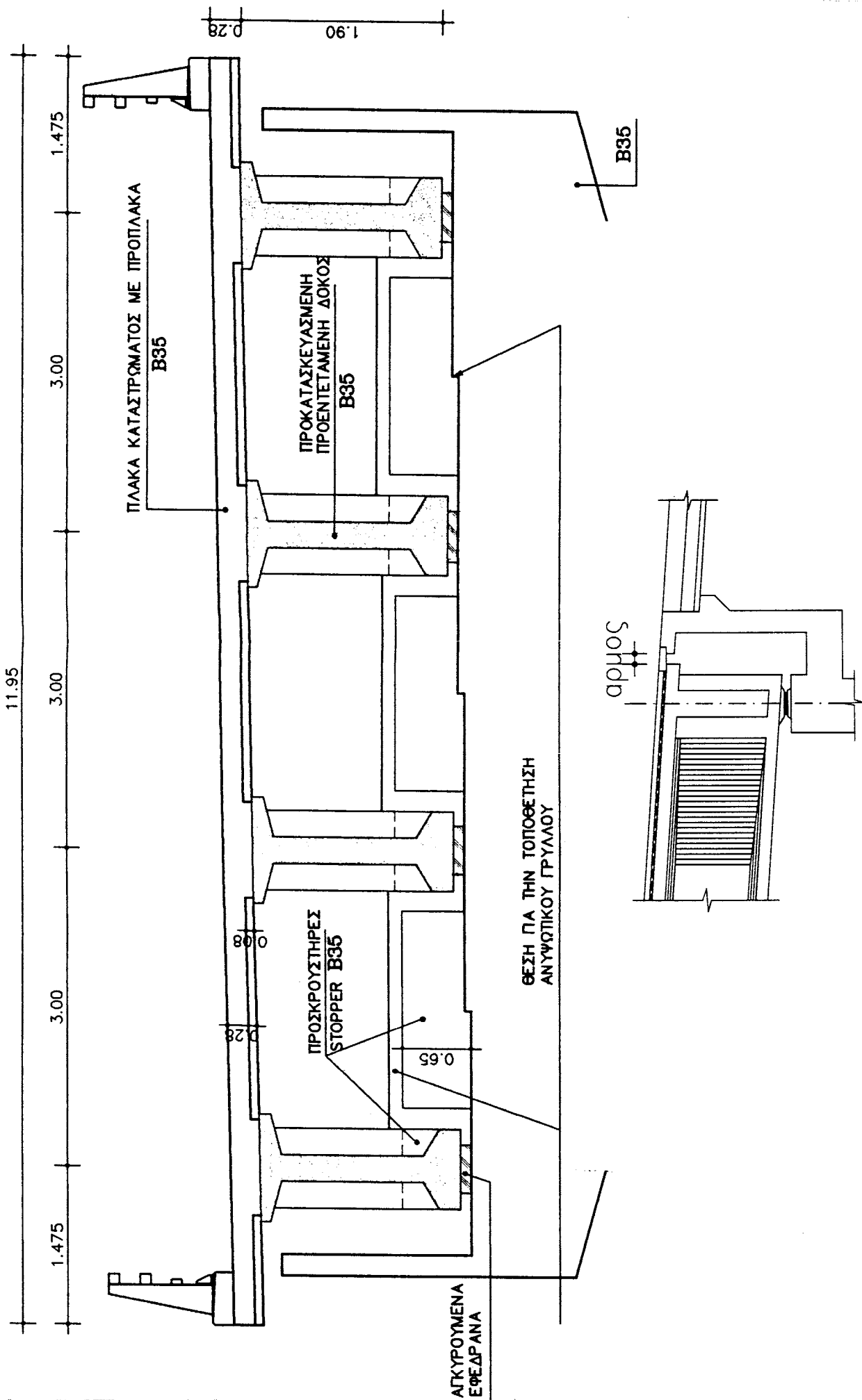
- β) Ανθεκτικότητας, χάρη στην κατάργηση των ακραίων αρμών, οι οποίοι αποτελούν κερκόπορτες της διαβρώσεως.
- γ) Οικονομίας, λόγω της πλήρους καταργήσεως των αρμών, της δραστηκής περικοπής του όγκου των ελαστομεταλλικών εφεδράνων, και της επίσης δραστηκής μείωσης της εντάσεως των μεσοβάθρων λόγω της συγκράτησης των κεφαλών τους από τον δεσμευμένο φορέα, καθώς και τη δυνατότητα χρησιμοποίησεως $q > 1$.
- δ) Χρηστηκής λειτουργικότητας, με την πλήρη κατάργηση των αρμών.
- ε) Αισθητηκής, με τη δυνατότητα μείωσης του αναγκαίου πλάτους των δοκών-προσκεφαλαίων του φορέα στα μεσόβαθρα καθώς και των διατομών των κορμών των μεσοβάθρων.

ΑΝΑΦΥΟΜΕΝΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Για την απόκτηση των παραπάνω σημαντικών πλεονεκτημάτων απαιτείται η αντιμετώπιση δύσκολων λειτουργικών καταστάσεων προερχομένων από εντάσεις καταναγκασμών, οι οποίοι προκύπτουν ως αποτελέσματα της προτεινόμενης σύνδεσης πλάκας – ακροβάθρων. Οι παρεμποδιζόμενες συστολοδιαστολές και κυρίως οι συστολές, της πλάκας καταστρώματος, επιβάλλουν τη λειτουργία της πλάκας κατά τη διαμήκη έννοια του φορέα και ως σύνθετου ελκυστήρα. Τα κύρια αίτια που προκαλούν την τάνυση του εν λόγω ελκυστήρα είναι η θερμοκρασιακή μεταβολή, η ξήρανση του σκυροδέματος, τα πρόσθετα μόνιμα και τα κινητά φορτία βαρύτητας και, δευτερευόντως, ο ερπυσμός.

Η ίδια πλάκα, από την άλλη μεριά, ενεργεί ως θλιβόμενη ζώνη της σύνθετης πλακοδοκού του φορέα για όλα τα φορτία βαρύτητας πλην του ίδιου βάρους και οπωσδήποτε αυτή η οιονεί προέντασή της δεν αποτελεί ευνοϊκό δεδομένο για τη ρηγματώσή της και κατ' επέκταση την εκτόνωση της εντάσεώς της ως ελκυστήρα. Αντίθετα, ευνοϊκά δεδομένα του προβλήματος αποτελούν :

- α) Το μικρό μέγεθος των θλιπτικών τάσεων στα άκρα των ανοιγμάτων των εν σειρά αμφιερείστων δοκών του φορέα, πράγμα το οποίον επιτρέπει την είσοδο της εκ των καταναγκασμών ρηγματώσεως σ' αυτές τις περιοχές.
- β) Η "αντιφόρτιση" του φορέα από την δράση του ελκυστήρα και,
- γ) Η δυνατότητα κλιμακώσεως των διαμήκων οπλισμών από τα άκρα προς το εσωτερικό των φατνωμάτων δια της οποίας μπορεί να εξασφαλισθεί καθεστώς ομοιομόρφου μηκύνσεως στις ενεργές, ως προς την επιδιωκόμενη εκτόνωση, ρηγματωμένες ζώνες των άκρων των φατνωμάτων.



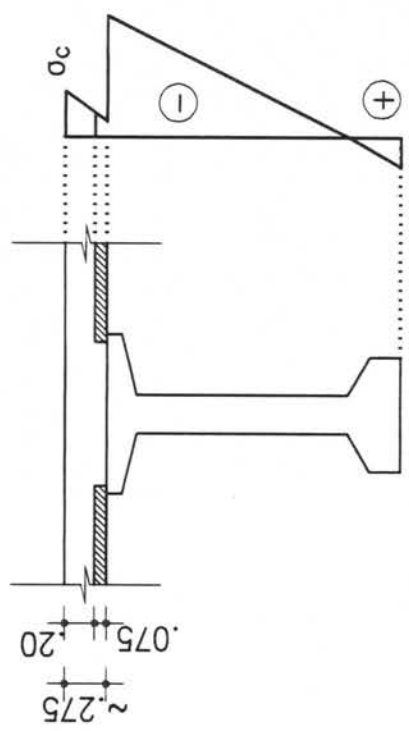
Σχ.1 – Διατομή και ακραίος αρμός σύγχρονης γέφυρας με προκατ. δοκούς

ΣΤΑΤΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

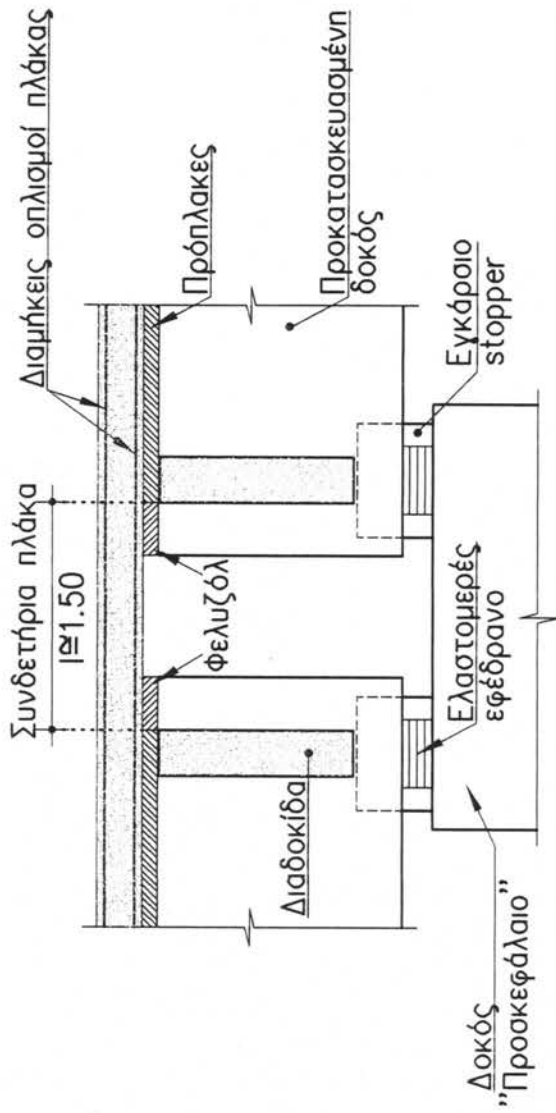
Στο Σχ. 1 δίνονται η διατομή και το ακραίο τμήμα ενός φορέα γέφυρας συγκροτούμενου από δοκούς εν σειρά αμφιέριστες δοκούς με συνεχή πλάκα καταστρώματος και αρμούς στα άκρα της γέφυρας. Επίσης στο Προσάρτημα Α δίνονται λεπτομέρειες των μελών και του τρόπου κατασκευής του τύπου αυτού των γεφυρών με προκατ. δοκούς. Η πλάκα υπό την επιρροή των φορτίων βαρύτητας (ασφαλιτοτάτηπας, πεζοδρόμια και κινητά φορτία) τίθεται υπό σύνθετη καταπόνηση κάμψεως και αξονικού εφελκυσμού. Η δεύτερη ένταση, του καμπτικού εφελκυσμού, εκτονώνεται στην περίπτωση αυτή μερικώς, λόγω της μικρής αντιστάσεως των ελαστομεταλλικών εφεδράνων σε οριζόντια φορτία.

Στην περίπτωση που η πλάκα καταστρώματος συνδεθεί με ανένδοτα ακρόβαθρα το σύστημα χάνει την ελευθερία του έναντι οριζοντίων μετακινήσεων και από βασικά ισοστατικό μεταβάλλεται σε υπερστατικό. Μάλιστα πλήν των φορτίων βαρύτητας απειλείται και από άλλα αίτια καταναγκασμών, όπως η θερμοκρασιακές συστολοδιαστολές, η ξήρανση και ο ερπυσμός του σκυροδέματος, τα οποία, εάν δεν υπήρχε το αντισεισμικό πλεονέκτημα, θα καθιστούσαν το όλο εγχείρημα άσκοπο αν μη επικίνδυνο (Kumar, 1994).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιχειρείται μια ελεγχόμενη λύση του προβλήματος με τη θεώρηση της πλάκας καταστρώματος ως ελκυστήρα ρηγματωμένου στις ζώνες των άκρων των φατνωμάτων προς εκτόνωση της εντάσεως. Στις κεντρικές περιοχές των φατνωμάτων η πλάκα θεωρείται αρρηγμάτωση λόγω της υπερισχύσεως του ρόλου της ως θλιβομένης ζώνης του συστήματος των εν σειρά αμφιερείστων δοκών. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να υπομνησθεί ότι οι θλιπτικές τάσεις της πλάκας ως μέλους της σταδιακώς μορφούμενης σύνθετης διατομής πλακοδοκού είναι σχετικώς μικρές και οφείλονται μόνο στα πρόσθετα μόνιμα και τα κινητά φορτία του φορέα, Σχ. 2. Επί πλέον η απάντηση στην πιθανή ένσταση, αν είναι δυνατόν να γίνει δεκτή μία ρηγμάτωση στην πλάκα, δεδομένου ότι ο Κανονισμός Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ 2000) αποδέχεται την περιορισμένη και όχι τη μερική προένταση, είναι ότι υπάρχει παράβαση μόνον του γράμματος και όχι του πνεύματος του Κανονισμού καθ' όσον η ρηγμάτωση δεν απειλεί τους τένοντες οι οποίοι ευρίσκονται καλά προφυλαγμένοι στις προκατασκευασμένες νευρώσεις των δοκών. Εξάλλου και στο άρθρο 15.3 του Κανονισμού γίνεται λόγος για αποδεκτές ρωγμές κάτω των 0,2 mm σε προεντεταμένους φορείς.



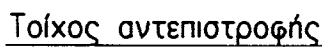
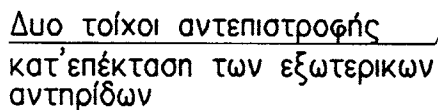
Σχ.2 – Ορθές τάσεις σύνθετης διατομής



Σχ.3 – Τυπική εσωτερική στήριξη επί μεσοβάθρου

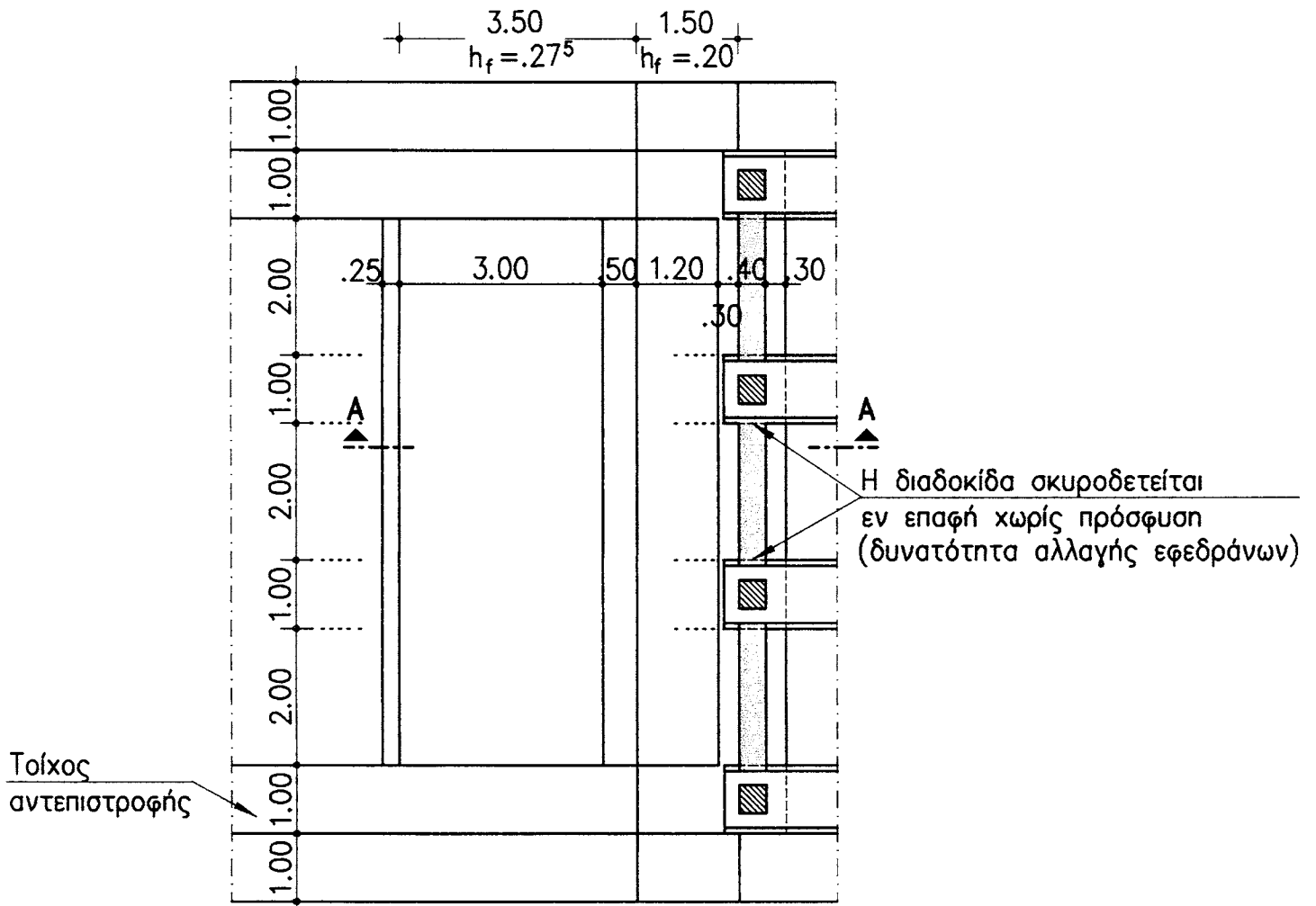
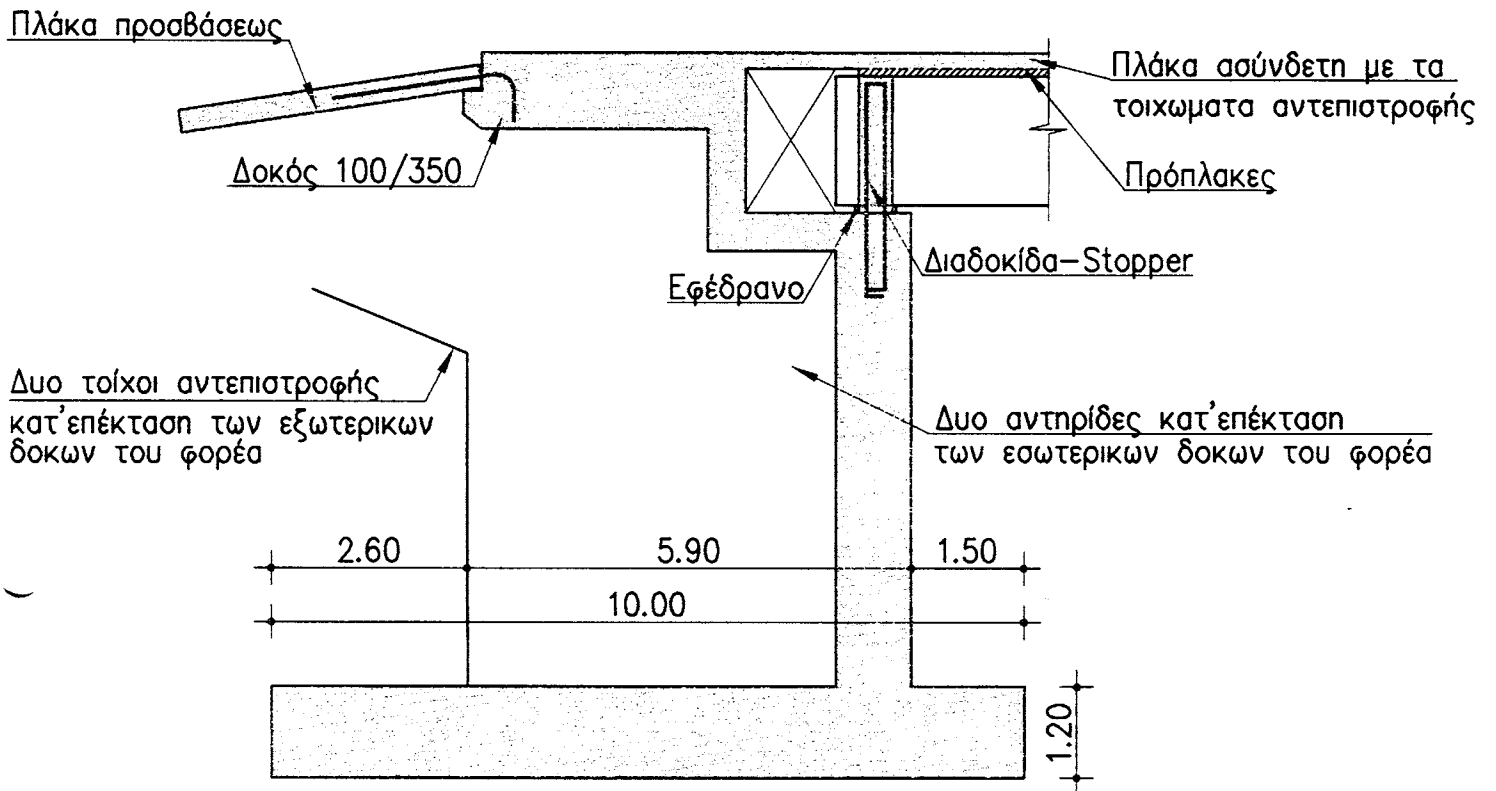


Σχ.6 – Πειραματική απόδειξη της δυνατότητας εισόδου της ρηγματώσεως αποκλειστικά στην πλάκα

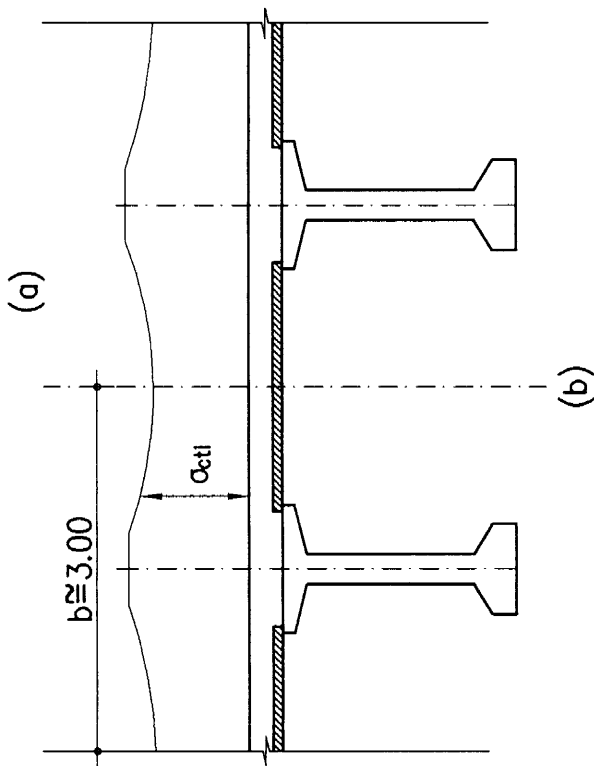
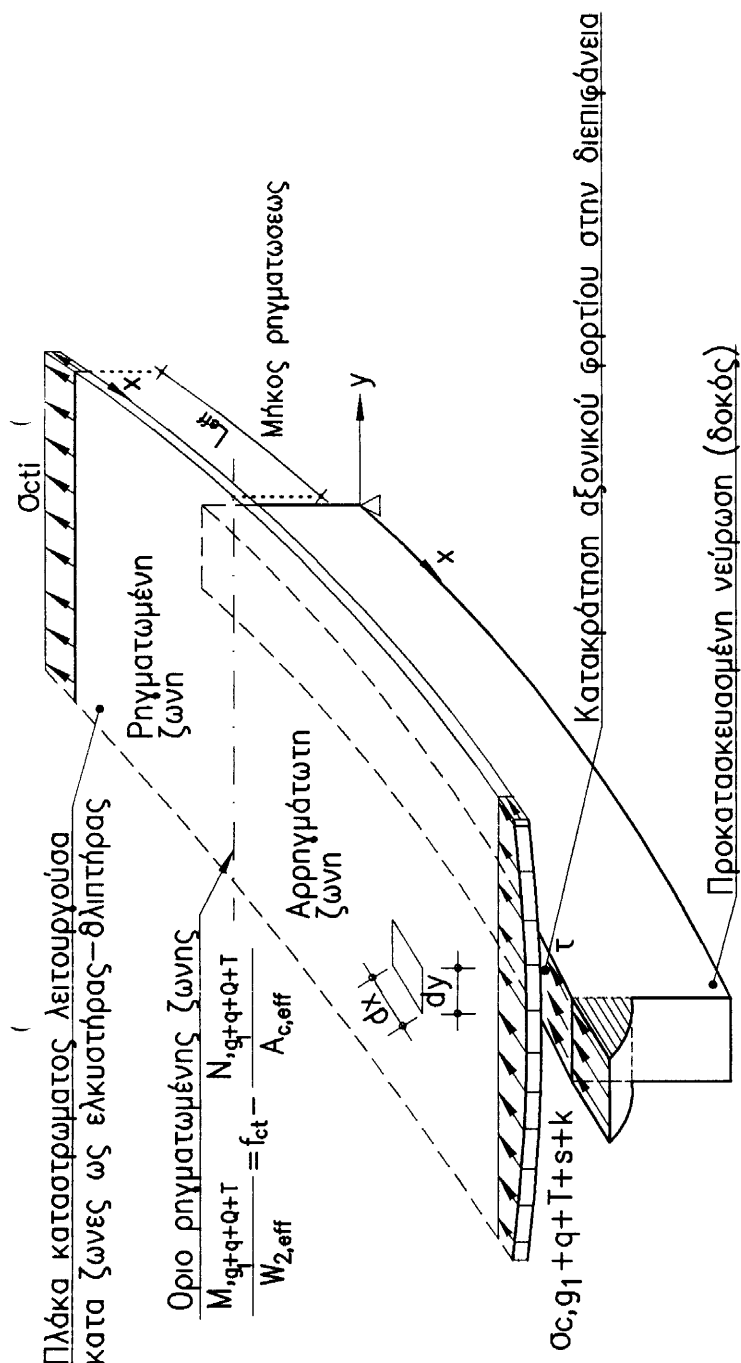
$$h_f = .275 \quad h_f = .20$$


7

ΤΟΜΗ Α-Α



Σχ.4 – (b) Παραλλαγή ακλονήτου ακροβάθρου με εγκάρσια δοκό 100/300 (χωρίς αντηρίδες)
(Οι αναγραφόμενες διαστάσεις είναι ενδεικτικές).



Σx.5 – (a) Η λειτουργία ως δλιπτήρα-ελκυστήρα της συνεχούς πλάκας καταστρωματος
(b) Εγκάρσια κατανομή ορδων εφελκυστικων τάσεων στην πλάκα

Στο Σχ. 3 δίνεται λεπτομέρεια της διαμορφώσεως μιας τυπικής εσωτερικής στηρίξεως του φορέα επί μεσοβάθρου. Η συνδετήρια πλάκα πάχους 0,20 m και ανοίγματος 1,50 m μπορεί να δεχθεί συγκεντρωμένο κινητό φορτίο της τάξεως των 150 kN με μικρά σχετικά ποσοστά διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού.

Στο Σχ. 4 δίνεται επίσης η τομή ενός ακλονήτου ακροβάθρου και η λεπτομέρεια της συνδέσεως της πλάκας – ελκυστήρα με αυτό.

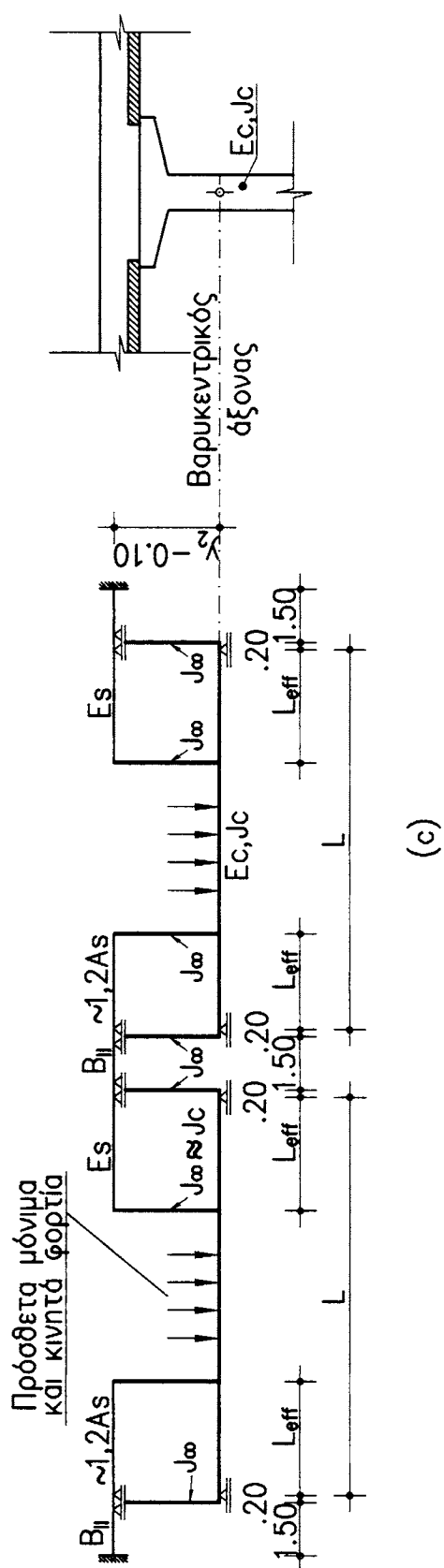
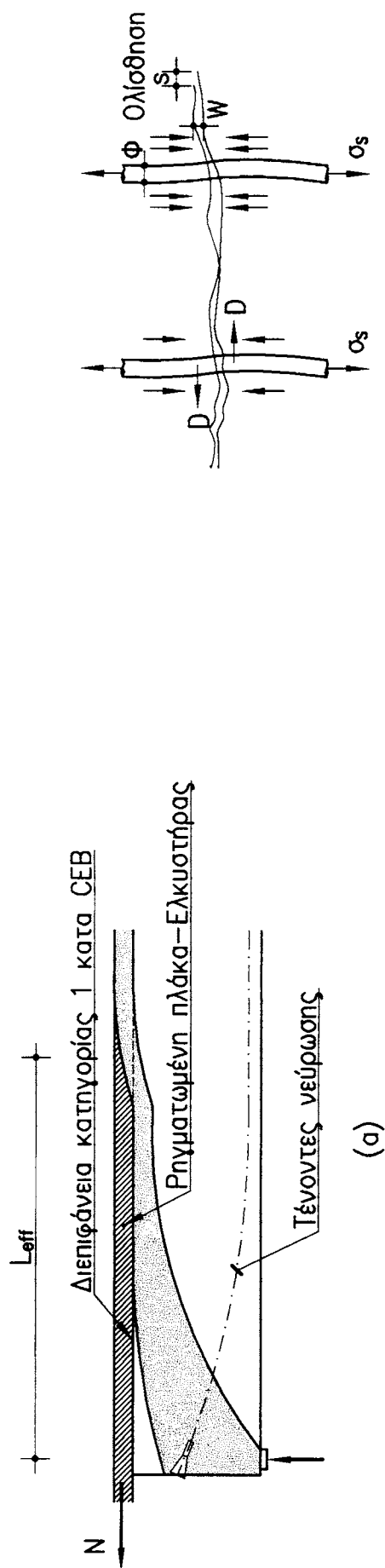
Είναι φανερόν ότι η κρίσιμη για την πλάκα – ελκυστήρα ένταση είναι εκείνη του εφελκυσμού η οποία σχετίζεται με τη μόνιμη επιρροή των ενεργών εκ των φορτίων βαρύτητας καθώς και των συστολών ξηράνσεως και ερπυσμού, η οποία αναιρεί κατά μέγα μέρος ή και υπερκαλύπτει τα αποτελέσματα της μοναδικής αιτίας θλιπτικής εντάσεως, που είναι η θερμοκρασιακή αύξηση +20°C κατά το DIN 1072 (1988). Η πλάκα – δίσκος επομένως θα πρέπει να αντιμετωπιστεί στα κεντρικά τμήματα των φατνωμάτων ως θλιπτήρας, λόγω της υπερισχύσεως του ρόλου της ως θλιβομένης ζώνης στις περιοχές αυτές, ενώ στα άκρα των φατνωμάτων η συνεχής πλάκα ενεργεί ως ρηγματωμένος ελκυστήρας μεταβλητού, κατά τη διαμήκη έννοια, αξονικού εφελκυστικού φορτίου λόγω της υπερίσχυσης των αποτελεσμάτων οικείων καταναγκασμών έναντι εκείνων της κάμψης, Σχ. 5. Πειραματική απόδειξη της δυνατότητας εισόδου της ρηγματώσεως μόνο στην πλάκα και όχι στον κορμό πλακοδοκού δόθηκε ήδη (Τέγος, 2000), Σχ. 6.

Ενα κατάλληλο προσομείωμα για τη στατική ανάλυση ενός φορέα με συνεχή πλάκα μονολιθικώς συνδεδεμένη με τα ακλόνητα ακρόβαθρά του δίνεται στο Σχ. 7 (α), (β), (γ). Στις περιοχές των ρηγματωμένων ζωνών εμφανίζονται μικρολίσθήσεις και δεν ισχύει η αρχή της επιπεδότητας των διατομών για τη συνολική σύνθετη διατομή, CEB-FIP (1991).

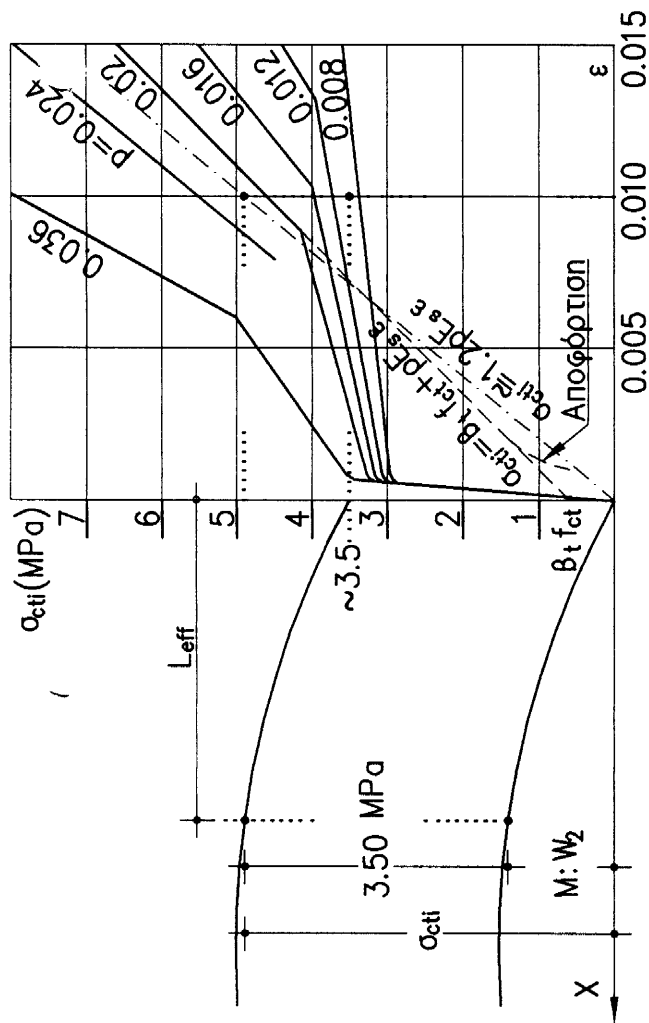
ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ Ο.Σ.

Η περιβολή ράβδων οπλισμού με σκυρόδεμα πλην της προστασίας που τους παρέχει έναντι διαβρώσεως, βελτιώνει και τη μηχανική συμπεριφορά τους ως ελκυστήρων, λόγω της συνεισφοράς του σκυροδέματος σε εφελκυσμό μεταξύ των ρωγμών, CEB (1991), και DIN 1045-1 (1997).

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας αντί της τάσεως του χάλυβα σ_s επινοήθηκε η ιδεατή τάση του σκυροδέματος του ελκυστήρα και με βάση αυτή κατασκευάζονται τα διαγράμματα τάσεων – μηκύνσεων ελκυστήρων με διάφορα ποσοστά οπλισμού, Σχ. 8.

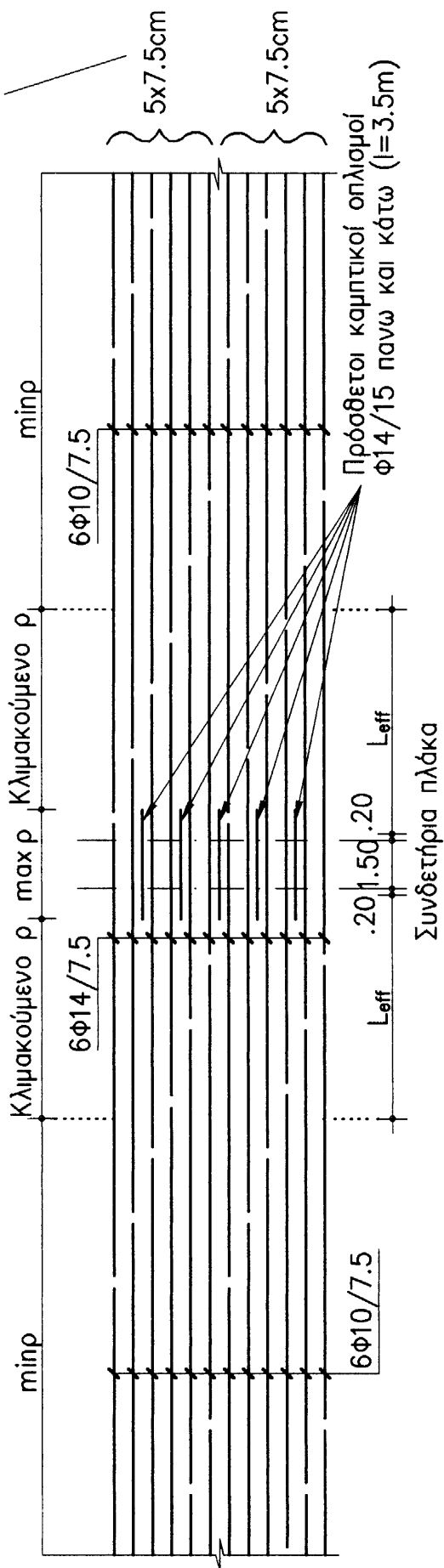


Σχ.7 – (α) Επέκταση της ρηγμάτωσης και τον ελκυστήρα εντός των εκατέρωθεν φατνωμάτων.
(β) Αντίσταση στη διεπιφάνεια Κατηγορίας 1 κατά CEB (smooth).
(c) Αναλυτικό προσομοίωμα για τον υπολογισμό της εντάσεως, από καταναγκασμούς.



Σχ.8 - Διαγράμματα (ιδεατών) τάσεων-μκύνσεων ελκυστήρων για διάφορα ρ και αλληλεπίδραση ποσοτού ρ και μήκους ρηγματώσεως L_{eff} .

Περιοδικώς επαναλαμβανόμενες εξάδες ράβδων ανα 7.5cm σε όλο το πλάτος του καταστρώματος



Σχ.9 - Κλιμάκωση διαμήκων 14μετρων ράβδων οπλισμού εκατέρωθεν των συνδετήριων πλάκας. Μετάβαση από Φ14/7.5 σε Φ10/7.5. Στην περίπτωση πολλών στρώσεων κατά το πάχος της πλάκας τοποθέτηση εναλλάξ με διαφορά φάσεως μιας ράβδου ανα στρώση.

Οι εξισώσεις υπολογισμού των χαρακτηριστικών τεταγμένων του διαγράμματος για υλικά C25/30 και S500 δίνονται παρακάτω :

$$\begin{aligned}\sigma_{cti} &= \frac{N}{A_c} = E_c(1+\alpha\rho)\varepsilon && \text{για } 0 < \sigma_{ct} < f_{ct} \\ \sigma_{cti} &= f_{ct} + 30\rho \text{ και } \varepsilon = 0,15\% && \text{για } \sigma_{ct} = f_{ct} \text{ και } \sigma_s = 30 \text{ MPa} \\ \sigma_{cti} &= 1,3 (f_{ct} + 30\rho) \text{ και } \varepsilon = \frac{1,05f_{ct} + 39\rho}{\rho E_s} && \text{για } \sigma_s = \sigma_{srn} \\ \sigma_{cti} &= \rho E_s \varepsilon + 0,25 f_{ct} && \text{για } \sigma_{srn} < \sigma_s < f_y \\ \Delta\varepsilon_{sr} &= \frac{f_{ct} + 30\rho}{\rho E_s} - 0,15\%_o\end{aligned}$$

Στο Σχ. 8 δίνονται σε απλοποιημένη μορφή οι καμπύλες μηχανικής συμπεριφοράς ελκυστήρων υπό επαναληπτική μακράς διάρκειας φόρτισης για τα διάφορα ποσοστά ρ .

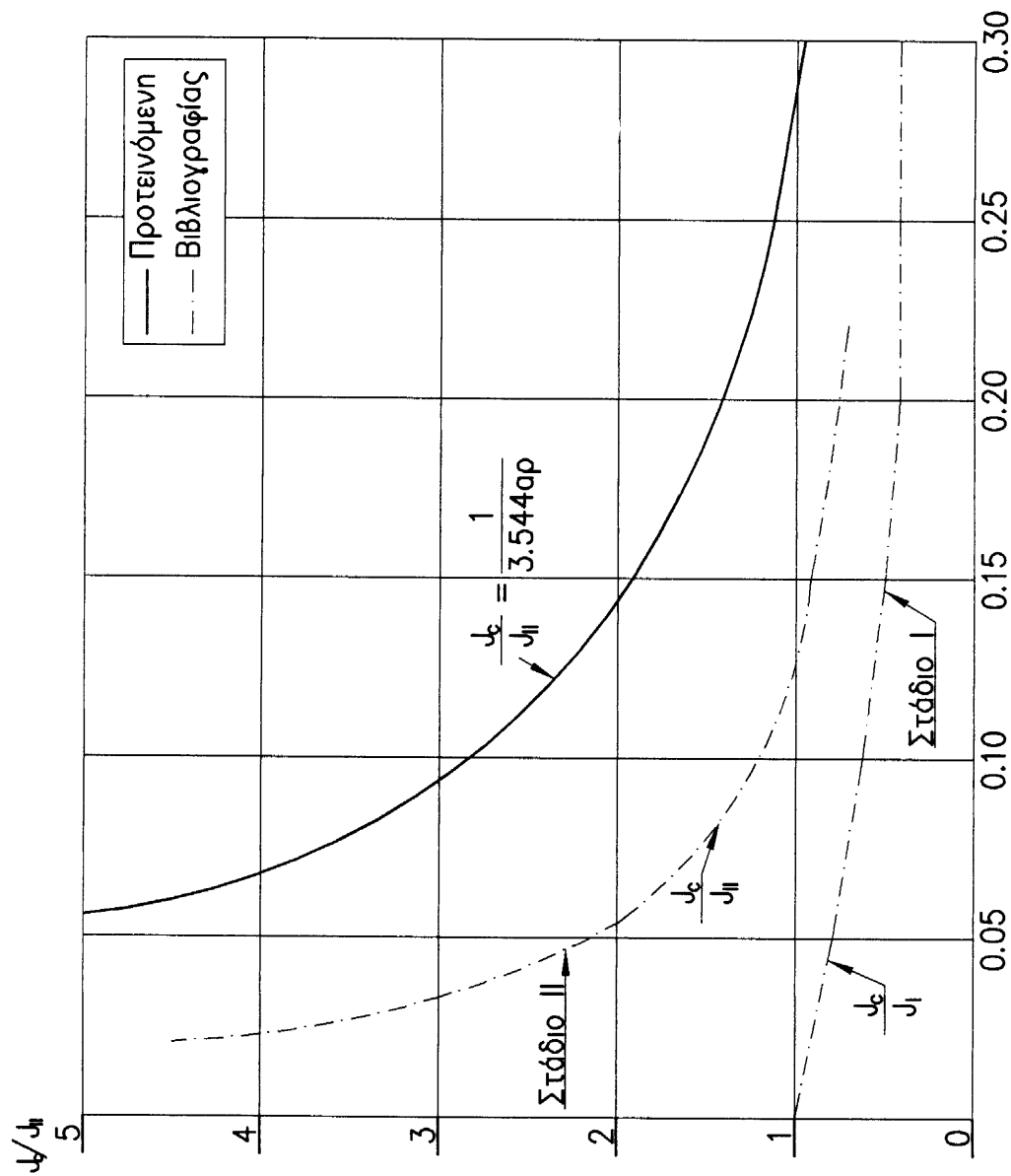
Είναι αξιοπαρατήρητο στο Σχ. 8, ότι σε περιπτώσεις ελκυστήρων μεταβλητού αξονικού εφελκυστικού φορτίου, όπως η εξεταζόμενη περίπτωση προκειμένου να έχουμε σταθερή μήκυνση κατά το μήκος, τους θα πρέπει να διαθέτουν κλιμακούμενο ποσοστό οπλισμού αντίστοιχο με το φορτίο τους.

Όσον αφορά τα ενδεδειγμένα ποσοστά ρ που σχετίζονται με τον ιδιόμορφο ελκυστήρα του προβλήματος κατ' αρχάς ένα πολύ συντηρητικό ελάχιστο ποσοστό που θα πρέπει να ισχύει είναι, με βάση τον Κανονισμό Σκυροδέματος (2000).

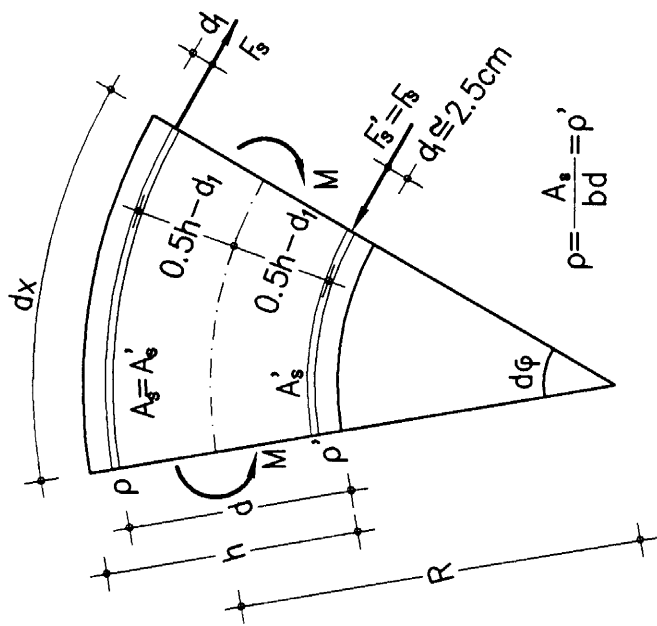
$$\min\rho = 0,85 \times 2,6 / 240 = 0,92\%$$

Το ποσοστό αυτό ισχύει για ποιότητα σκυροδέματος C25/30, διάμετρο ράβδων $\varnothing 14$, αποστάσεις ράβδων 7,5 cm συνθήκες προέχοντος εφελκυσμού και δυσμενείς συνθήκες 3,4 περιβάλλοντος με επιτρ. εύρος ρωγμής $< 0,1$ mm. Η συντηρητική αυτή επιλογή κρίθηκε σκόπιμη προς κάλυψη των αβεβαιοτήτων των παραδοχών και κυρίως εκείνης που σχετίζεται με τη μεταβολή της αξονικής δυνάμεως κατά μήκος των ρηγματωμένων ελκυστήρων. Πράγματι, ενώ η κατηγορία συνθηκών περιβάλλοντος είναι 2, γεγονός που θα έκανε αποδεκτό το εύρος των 0,2 mm, εντούτοις δε θεωρήθηκε αντισυμβατική η εξασφάλιση μιας εφεδρείας, η οποία καλείται να παίξει ρόλο ανάλογο με εκείνον της πλαστιμότητας στην ανακατανομή της εντάσεως των καμπτομένων στοιχείων.

Με το $\min\rho$ θα πρέπει να οπλιστούν οι πρακτικώς αρρηγμάτωτες κεντρικές περιοχές του χυτού επί τόπου πάχους των πλακών των φατνωμάτων, ενώ το μέγιστο ποσοστό $\max\rho$ που θα επιλεγεί, θα αντιστοιχεί στις συνδετήριες πλάκες των φατνωμάτων. Μεταξύ των δύο περιοχών το ρ θα πρέπει να κλιμακώνεται κατά τρόπον ώστε να ισχύει κατά το δυνατόν η παραδοχή της ίσης μηκύνσεως στις ρηγματωμένες ζώνες της πλάκας κατασρώματος λόγω της μεταβολής (μειώσεως) της εφελκ. δυνάμεως της προς το



Σχ.10 – Συσχέτιση ακαμψίων πλάκας σταδίου I και II για διάφορα ποσοστά καμπτικού οπλισμού ($\rho=\rho'$) και διάφορες ποιότητες σκυροδέματος



$$\frac{1}{R} \frac{d\phi}{dx} = \frac{2\varepsilon_s}{h-2d_1}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma}{vE_s} = \frac{M}{v(h-2d_1)A_s E_s}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{M}{0.5v(h-2d_1)^2 A_s E_s} = \frac{M}{B_{II}}$$

$$B_{II} = 0.5v(1-2\frac{d_1}{h})^2 A_s E_s \approx$$

$$\approx 0.5 \times 1.2 \times 0.75^2 \times h^2 \times A_s \times E_s = 0.3375 h^2 A_s E_s$$

$$J_{II} = 0.3375a h^2 A_s = 0.2953a\rho h^3$$

$$J_{II}/J_c = 3.544a\rho, \text{ όπου } J_c = h^3/12 \text{ m}^4/\text{m}$$

εσωτερικό των φατνωμάτων. Ένας τέτοιος τρόπος κλιμακώσεως μεταξύ maxr και minr προτείνεται στο Σχ. 9, όπου από ένα maxr = από Ø14 /7,5 γίνεται μετάβαση σε ένα minr από Ø10/7,5.

Η κλιμάκωση κρίνεται απαραίτητη λόγω της κατακρατήσεως μέρους της εφελκυστικής δυνάμεως της πλάκας – ελκυστήρα στη διεπιφάνεια από τον κορμό, Σχ.5 και 7 (b).

Από το Σχ. 8 προκύπτει ακόμη ότι το μήκος ρηγματώσεως των άκρων των φατνωμάτων L_{eff} επηρεάζεται από δύο βασικούς παράγοντες : (α) Από τα ενεργά εκ των φορτίων βαρύτητας του φορέα που καθορίζουν το μέγεθος των αντιστεκομένων στην εξάπλωση της ρηγματώσεως θλιπτικών τάσεων της πλάκας ως θλιβόμενης ζώνης πλακοδοκού, (β) Από το μέγεθος του καταναγκασμού (συστολής) ο οποίος εκφράζεται σε ισοδύναμη θερμοκρασιακή μείωση T και, (γ) Από το maxr το οποίο δίνει τη δυνατότητα βαθείας διείδυσης της ρηγματώσεως προς το εσωτερικό των φατνωμάτων, δηλαδή πραγματοποίησεως μεγάλων τιμών L_{eff} .

Οι δυστένειες και οι ακαμψίες σταδίου II που απαιτούνται για τη στατική επίλυση του προσομοιώματος του Σχ. 7 υπολογίζονται ως εξής :

Η δυστένεια των ρηγματωμένων ζωνών είναι δυνατόν να υπολογισθεί προσεγγιστικώς με την υποκατάσταση των καμπυλών του Σχ. 8 με γραμμικές (αναλογικές) εκφράσεις, οπότε η ζητούμενη εφελκυστική δυστένεια προκύπτει

$$N/\varepsilon = 12(0,12-\rho) E_s A_{st} \approx 1,2 E_s A_{st}$$

όπου

E_s το μέτρον ελαστικότητας του χάλυβα

A_{st} το εμβαδόν των συμμετρικών πάνω κάτω και, ενδεχομένως, ενδιαμέσων στρώσεων οπλισμών της συνδετήριας πλάκας και

$12(0,12-\rho) \approx 1,2$ είναι ο όρος που λαμβάνει υπόψη την ευνοϊκή επιρροή του σκυροδέματος στην απόδοση του ελκυστήρα. Στο Παράρτημα της παρούσας δίνονται πειραματικά αποτελέσματα επί ελκυστήρων, οι οποίοι φορτίστηκαν και αποφορτίστηκαν επαναληπτικώς. Τα πειράματα έγιναν στο Εργαστήριο Σκυροδέματος του ΑΠΘ υπό την καθοδήγηση του Υπευθύνου του πρόντος Προγράμματος (Τέγος κ.α., 2002)

Η δυσκαμψία σταδίου II της συνδετήριας πλάκας υπολογίζεται στο Σχ. 10, στο οποίο δίνεται και η συσχέτιση της προτεινόμενης εκτίμησης με αντίστοιχη πρόταση της διεθνούς βιβλιογραφίας (Cordina 1992). Τα ευνοϊκότερα αποτελέσματα της προτεινόμενης λύσης δικαιολογούνται στην προκειμένη περίπτωση από το γεγονός ότι η κάμψη συνδιάζεται με προέχοντα αξονικό εφελκυσμό, η συνύπαρξη του οποίου κάνει ρεαλιστική, την παραδοχή της συνολικής αναλήψεως της δύναμης της θλιβόμενης ζώνης από τους θλιβόμενους οπλισμούς.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΛΑΚΑΣ – ΕΛΚΥΣΤΗΡΙΑ

Στο Σχ. 11(α) προτείνεται ένα πιο πρόσφορο για τις εφαρμογές προσομοίωμα συγκριτικώς με εκείνο του Σχ. 7. Αυτό προκύπτει με την εξασφάλιση κατά το δυνατόν σταθερής σχετικής μηκύνσεως με κατάλληλη κλιμάκωση του οπλισμού κατά μήκος των ρηγματωμένων περιοχών της συνεχούς πλάκας καταστρώματος που δρούν ως ελκυστήρες. Στο ίδιο σχήμα δίνονται ποσοτικώς και τα ενεργά ως προς τον καταναγκασμό φορτία βαρύτητας, πρόσθετα μόνιμα και κινητά κατά DIN 1072, για το σύνηθες πλάτος των γεφυρών της Εγνατίας Οδού, Σχ. 1.

Όπως σ' όλες τις περιπτώσεις των υπερστατικών συστημάτων απαιτείται προεκλογή διατομών έτσι και στην προκειμένη περίπτωση προεκλέγεται ή διατομή των διαμήκων οπλισμών ελκυσμού και κάμψεως, των συνδετήριων πλακών. Επιπλέον απαιτείται και μία προεκτίμηση του μήκους επιρροής της ρηγματώσεως L_{eff} .

Κριτήριο για την εξακρίβωση του ορθού ή μη της προεκτίμησης του L_{eff} , αποτελεί η παρακάτω σχέση μέσω της οποίας εντοπίζεται τετμημένη του πέρατος του L_{eff} :

$$\frac{M_{g_1+q+Q+T}^{(X=L_{eff})}}{W_{2,eff}} = f_{ct} - \frac{N_{g_1+q+Q+T}}{A_{c,eff}}$$

όπου

$M_{g_1+q+Q+T}$ είναι η επαλληλία των ροπών στην τετμημένη $x=L_{eff}$

$N_{g_1+q+Q+T}$ είναι η εφελκ. δύναμη των ελκυστήρων στα άκρα των φατνωμάτων

$W_{2,eff}$ και $A_{c,eff}$ είναι αντιστοίχως, η ενεργός στον εφελκυσμό ροπή αντιστάσεως του άνω πέλματος και η ενεργός διατομή του φορέα στις οποίες προφανώς δε συμμετέχουν οι πρόπλακες.

Όσον αφορά την προεκτίμηση της τιμής του L_{eff} αυτή μπορεί να λαμβάνεται ελλείψει ακριβεστέρας προσεγγίσεως $L_{eff,o} = 0,20 L$.

Κατόπιν οι ακριβείς τιμές του L_{eff} και του N είναι δυνατόν να προκύψουν από αυτήν την προσεγγιστική στατική επίλυση με τη βοήθεια μιας θαμιστικής μεθόδου, διαδοχικών προσεγγίσεων κατά την εφαρμογή της οποίας επιδιώκεται ο καθορισμός του πέρατος του L_{eff} με βάση τη διόρθωση ΔN της τιμής του N που προκύπτει από την εφαρμογή της σχέσεως :

$$M_{g_1+q+Q+T}^{(x=L_{eff})} - (Y_{2,eff} - 0,5 h_{f,eff}) \Delta N = W_{2,eff} \left(f_{ct} - \frac{N_{g_1+q+Q+T} - \Delta N}{A_{c,eff}} \right)$$

Η διορθωμένη τιμή του $L_{eff,i}$ για το βήμα i της μεθόδου προκύπτει από την αναλογία

$$\frac{N_o}{N_i + N\Delta_i} = \frac{2L_{eff,i} + 2,65}{2L_{eff,o} + 2,65}$$

όπου το μήκος 2,65 m(=1,50+0,20+0,20+0,75) εκφράζει τα εκατέρωθεν του στατικού ανοίγματος L ενεργά μήκη της πλάκας – ελκυστήρα για την περίπτωση του προσομοιώματος του Σχ. 11(α), και

N_o είναι το αξονικό εντατικό μέγεθος της πλάκας, που προέκυψε από την στατική επίλυση.

Το απαιτούμενο ποσοστό ρ του διαμήκη οπλισμού των συνδετηρίων πλακών του συστήματος προεκλέγεται λαμβάνοντας υπ' όψιν την προέλευση της εντάσεώς της, η οποία προέρχεται κυρίως από τον καταναγκασμό της παρεμποδιζόμενης συστολής της και όχι από συμβατικά φορτία. Τυχόν υπερτίμηση του ποσοστού ρ οδηγεί σε υπερασφάλεια. Αντιθέτως σε περίπτωση ανεπάρκειάς του προκύπτουν για τον ελκυστήρα τάσεις χάλυβα σ_s μεγαλύτερες εκείνων που απαιτεί το κάτω του 0,1 mm εύρος της ρηγματώσεως, του τέθηκε ως συντηρητικός στόχος εξ αρχής.

Η τυπική γέφυρα του Σχ. 11(α) υπολογίστηκε με τη βοήθεια του Προγράμματος Sofistic για διάφορες τιμές ποσοστού οπλισμού ρ και ισοδύναμης θερμοκρασίας T , η οποία εκπροσωπεί την επαλληλία των ομόσημων αιτιών των καταναγκασμών (θερμοκρασία, ξήρανση και ερπυσμός). Τα αποτελέσματα των εντατικών καταπονήσεών της δίνονται στο Προσάρτημα Β.

Υπολογίστηκαν η εφελκυστική δύναμη και η καμπτική ένταση των συνδετηρίων πλακών για την κρίσιμη λειτουργική φόρτιση υπό την επαλληλία των ενεργών φορτίων βαρύτητας του Σχ. 11 και των ισοδύναμων καταναγκασμών $T=-50^\circ$, 60° και 70° C στους οποίους περιλαμβάνονται η κατά DIN 1072 (1988) μείωση της θερμοκρασίας $T=-30^\circ$ C καθώς και οι ομόσημες προς αυτήν συστολές ξηράνσεως και ερπυσμού.

Στο Σχ. 12 δίνεται με βάση τα “αναλυτικά πειράματα” της παρούσας που περιέχονται στο Προσάρτημα Β, οι γραφικές παραστάσεις των σχέσεων μεταξύ των : (α) ποσοστών οπλισμού της πλάκας – ελκυστήρα ρ , (β) των αξονικών εφελκυστικών δράσεων N , (γ) των ισοδύναμων θερμοκρασιών T , και (δ) των ενεργών ρηγματωμένων μηκών L_{eff} .

Ο λειτουργικός έλεγχος για τη συνδετήρια πλάκα–ελκυστήρα, γίνεται για δυο βραχυχρόνιους λειτουργικούς συνδιασμούς δράσεων. Ο πρώτος έλεγχος αφορά τον δυσμενέστερο λειτουργικό συνδιασμό των φορτίων βαρύτητας, για τον οποίον είναι προέχουσα η κάμψη. Ο δεύτερος έλεγχος αφορά την προηγούμενη φόρτιση και

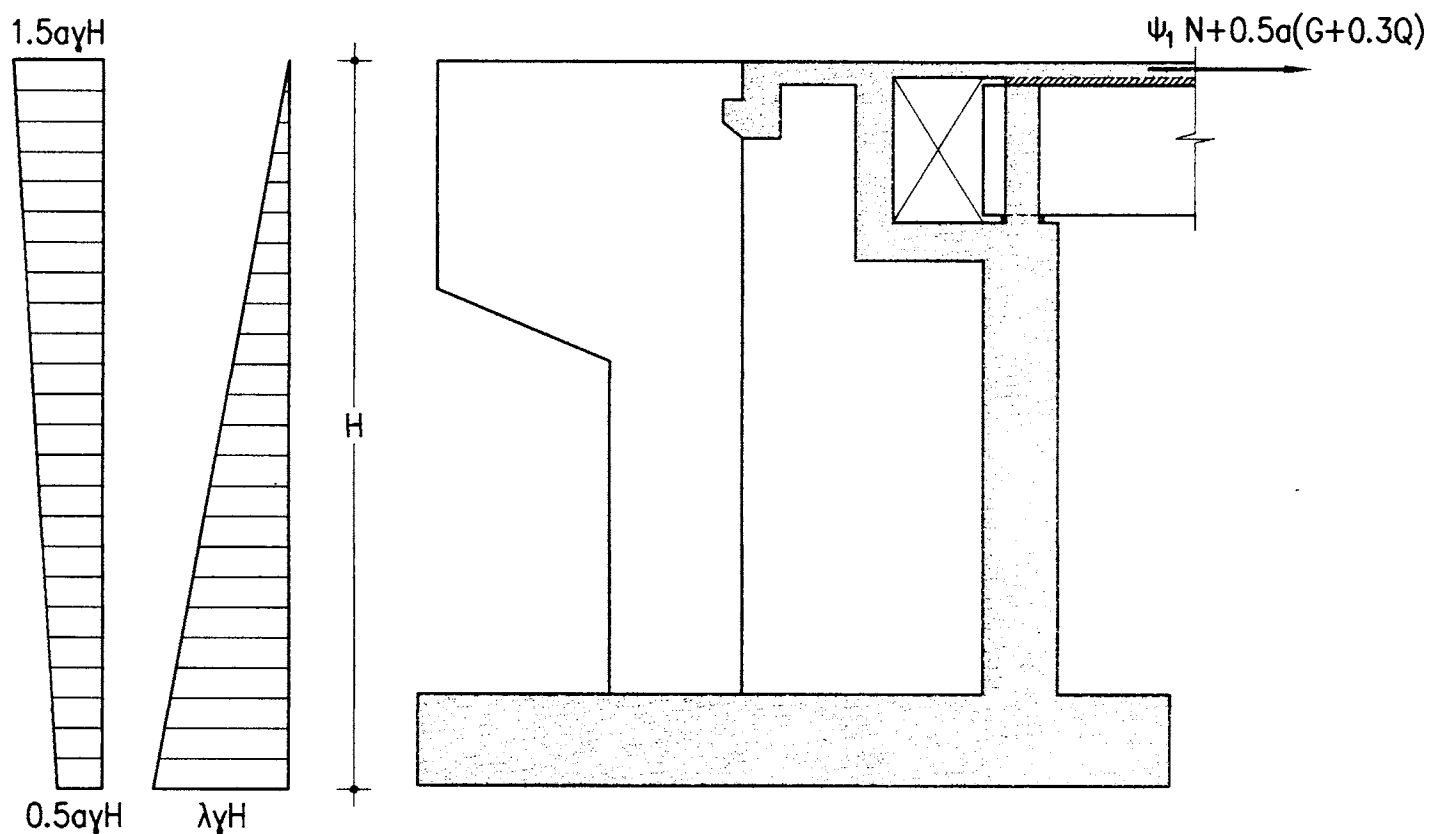
επιπροσθέτως τη μέγιστη ισοδύναμη θερμοκρασία T . Σ' αυτήν την περίπτωση προέχων είναι ο εφελκυσμός και η διαστασιολόγηση γίνεται με διαφορετικόν τρόπο.

Όπως προαναφέρθηκε η τοποθέτηση περισσότερου του απαιτούμενου διαμήκη οπλισμού οδηγεί σε υπερασφάλεια, δηλαδή ρωγμές κάτω του επιτρεπτού 0,1 mm, ενώ αντιθέτως, η ανεπάρκεια οπλισμού οδηγεί σε μικρότερα L_{eff} και απαράδεκτο εύρος ρωγμών, καθόσον το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με ενεργοποίηση (ρηγμάτωση) μικρότερου μήκους της πλάκας – ελκυστήρα με αποτέλεσμα την αύξηση των σχετικών μηκύνσεων στις ρηγματωμένες ζώνες, και κατ' επέκταση αύξηση του εύρους των ρωγμών. Είναι αυτονόητο, ότι όταν η γέφυρα είναι αφόρτιστη, χωρίς κινητά φορτία, οι οπλισμοί του ελκυστήρα λειτουργούν με μειωμένες τάσεις.

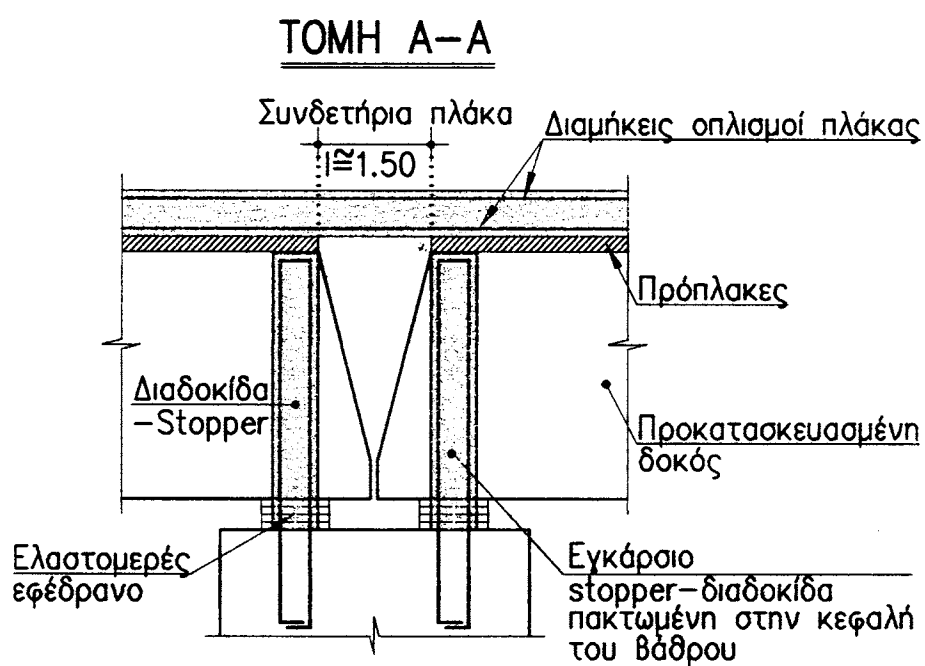
Στο Σχ. 11(b) δίνονται τα αποτελέσματα μιας λύσεως για συνήθη δεδομένα των υπόψη γεφυρών ($L=33,0$, $b=12,0$, $h_b=2,15$, $h_f=0,20$, $h(\text{προπλ.})=0,075$ m, $A_c = 5,92$ (5,10)m², $J_c = 3,072$ (2,784)m⁴, $y_1/y_2 = 1,486$ (1,42)/0,664(0,73)m, $T = -50^\circ$ C, Κλάση 60/30) : $L_{eff} \approx 0,20 L$, $A_{st}=3 \times 20,5=61,6$ cm²/m (εφελκυσμένοι οπλισμοί διατασσόμενοι σε 4 στρώσεις κλιμακούμενοι σε κάθε στρώση κατά το Σχ. 9 με διαφορά φάσεως 1 ράβδου ανά διαδοχική στρώση), $A_{sb}=20,5$ cm²/m πάνω +20,5 cm²/m κάτω (καμπτικοί οπλισμοί). Είναι αυτονόητο ότι ανά διαστήματα είναι δυνατόν να γίνουν κατάλληλες πυκνώσεις και αραιώσεις ράβδων με στόχο την άνετη είσοδο του δονητή για την καλύτερη συμπίκνωση του σκυροδέματος, το οποίο δέον να μην υπολείπεται της κατηγορίας καθίσεως S_3 .

Η λύση αυτή είναι δυνατόν να θεωρηθεί προσεγγιστικώς και γενικής εφαρμογής. Λόγω της συντηρητικότητός της μάλιστα καλύπτει και ισοδύναμα $T>50^\circ$ C (συστολή). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Προσαρτήματος Β, για $T=60^\circ$ C, δηλ. αύξηση 20% της εντάσεως του καταναγκασμού, η αντίστοιχη επιβάρυνση του ελκυστήρα είναι κάτω του 5%. Επίσης για $\psi_1 = 0,7$ στην κατάσταση των βραχυχρόνιων συνδιασμών δράσεων απαιτούνται μόνον τα 2/3 των διαμήκων οπλισμών (Προσάρτημα Β). Σημειωτέον ότι, επειδή στο πρόβλημα προέχων είναι ο καταναγκασμός αποκτά μεγάλη σημασία η διάμετρος των ράβδων που θα χρησιμοποιηθούν. Με μικρότερες διαμέτρους επιτυγχάνονται μικρότερα ποσοστά οπλισμού ρ , μικρότερα N και μικρότερα L_{eff} , Σχ. 12 Π.χ. με τη χρησιμοποίηση διαμέτρου Ø10 αντί Ø14 το ποσοστό ρ μπορεί να μειωθεί περίπου στο μισό, Σχ. 12.

Σημειωτέον, επίσης, ότι με την αύξηση του αριθμού των ανοιγμάτων η εκτόνωση του καταναγκασμού είναι ευχερέστερη, επειδή κατά τον Κανονισμό φορτίσεων τα πρότυπα οχήματα φορτίζουν μόνον ένα εκ των φατνωμάτων. Με άλλα λόγια η σύνδεση συμφέρει περισσότερο στα πολλά ανοίγματα και είναι επαχθής για γέφυρες ενός ανοίγματος.



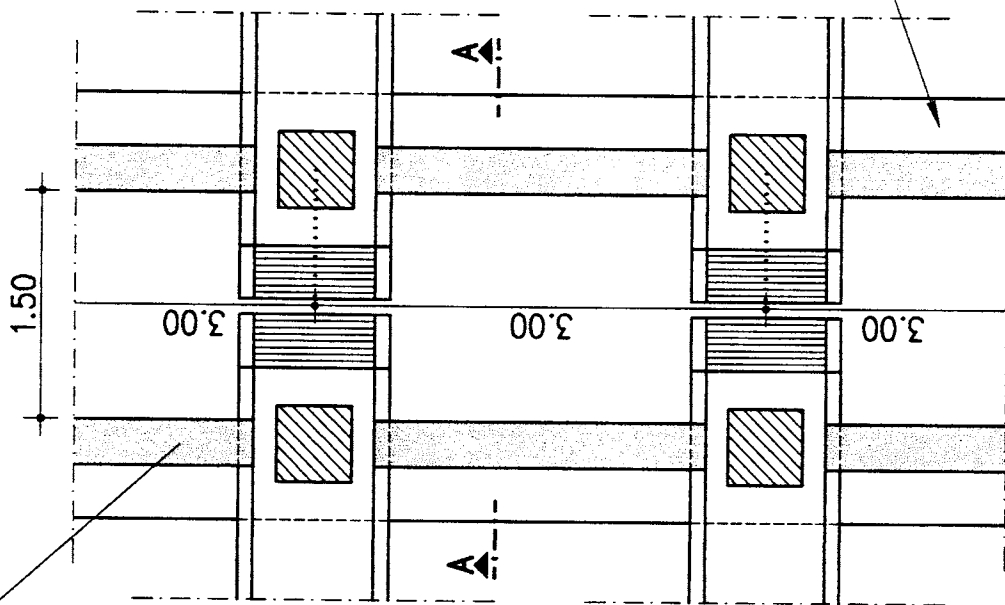
Σχ.13 – Συνδιασμός δράσεων με σεισμό στο ακρόβαθρο



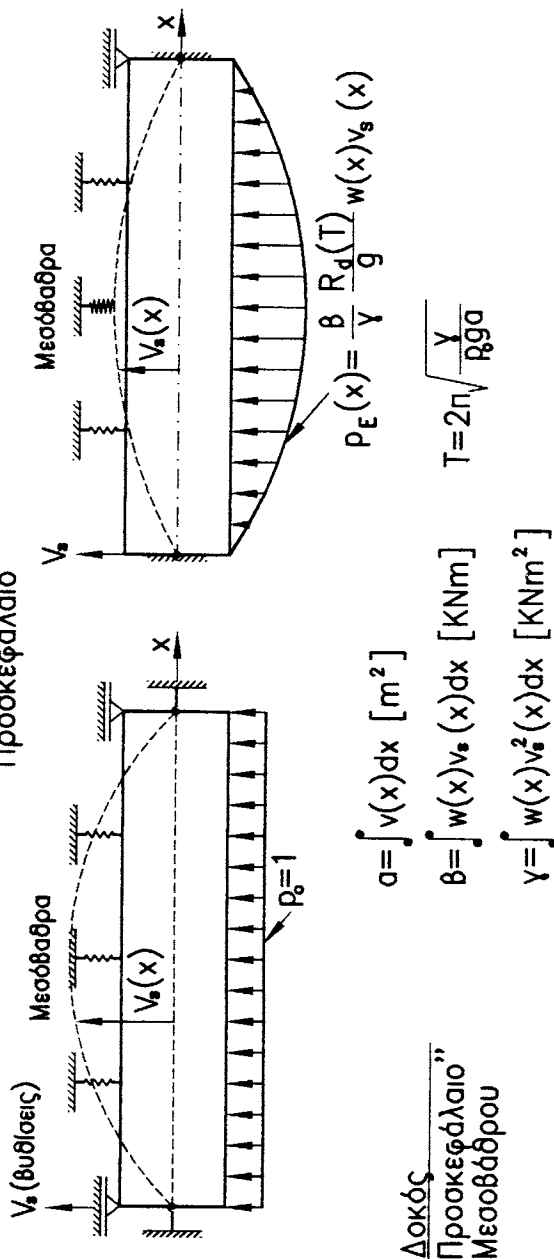
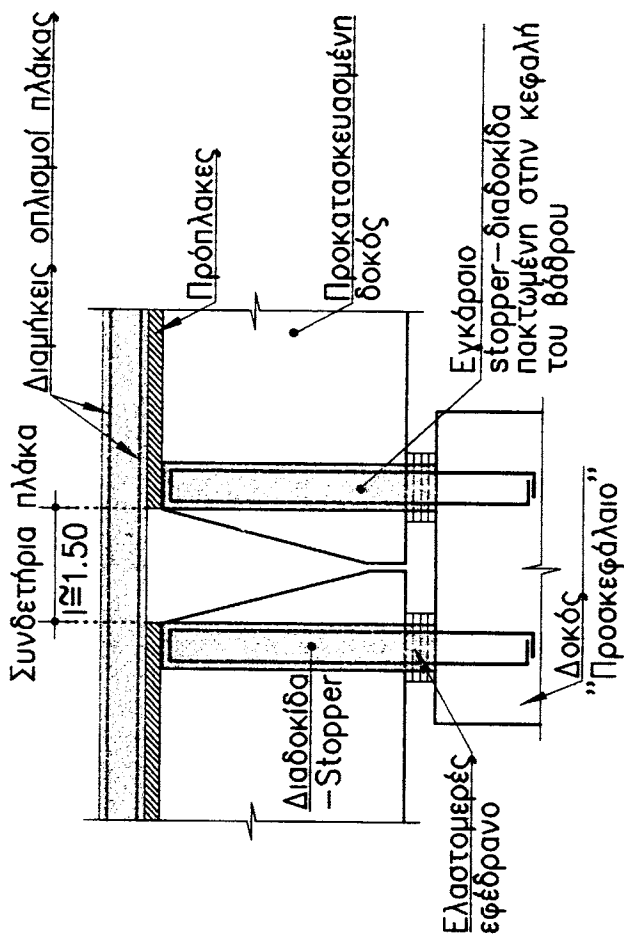
Σχ.14 – (α) Εγκάρσια stoppers και
(β) Υπολογισμός κατανομής εγκάρσιων σεισμικών δράσεων κατά AASHTO

ΤΟΜΗ Α-Α

Διαδοκίδες σκυροδετημένες εν επαφή αλλά χωρίς πρόσφυση, με τις κύριες δοκούς (για την αλλαγή των εφεδράνων).



(a)



(b)

Σχ.14 - (a) Εγκάρσια stoppers και
(b) Υπολογισμός κατανομής εγκάρσιων δράσεων κατά AASHTO

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Η ενίσχυση της πλάκας του καταστρώματος με ισχυρούς διαμήκεις οπλισμούς για να αντεπεξέλθει, τμηματικώς, στο ρόλο του ελκυστήρα που επιβάλλει η σύνδεσή της με τα ακρόβαθρα του συστήματος, την έχουν ήδη προετοιμάσει και για έναν τρίτο ρόλον, εκείνον του επαρκώς οπλισμένου δίσκου (δοκού), που θα κληθεί να αναλάβει στην περίπτωση ενός εγκάρσιου προς τη γέφυρα σεισμού.

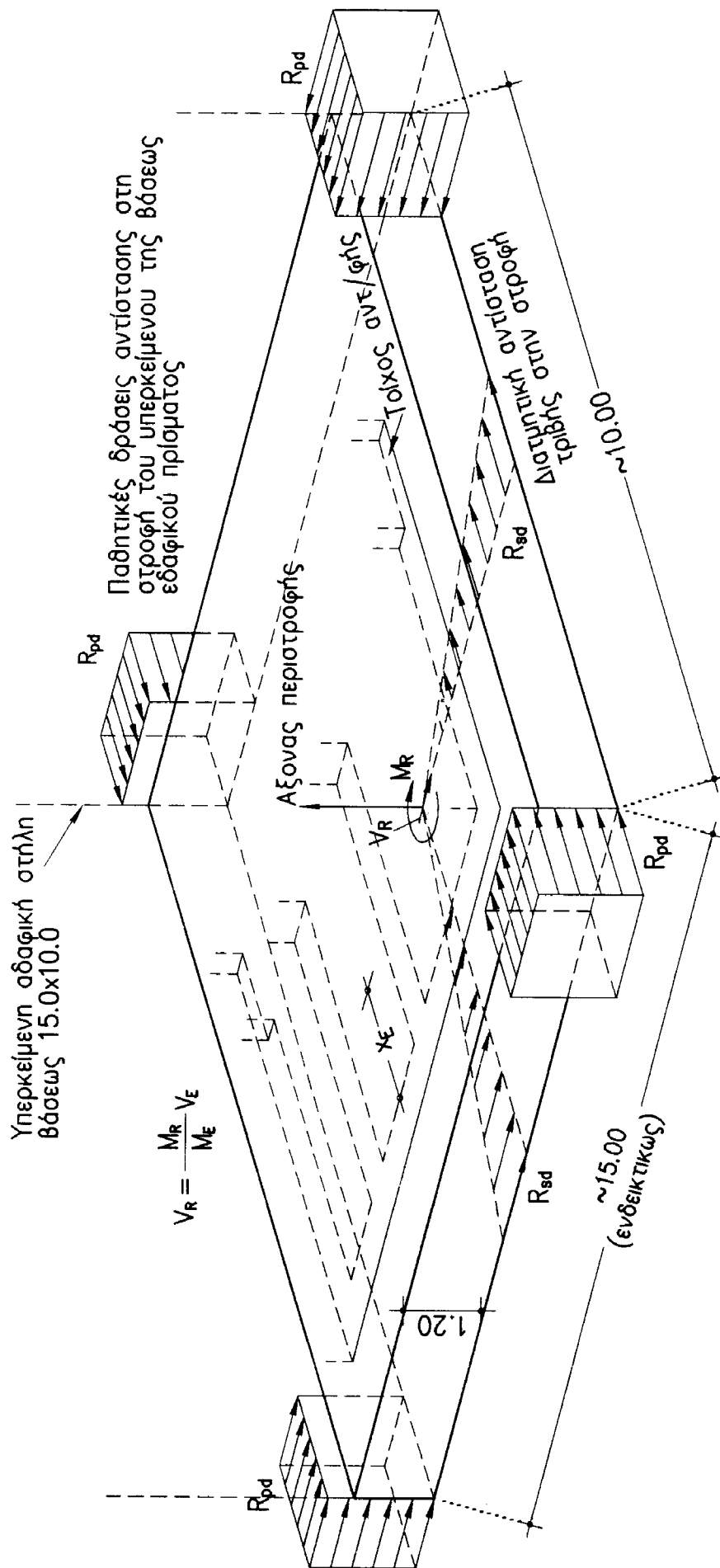
Το ίδιο ισχύει ασφαλώς και για τα ακρόβαθρα τα οποία καθώς έχουν ισχυροποιηθεί αρκούντως, ώστε να παραμείνουν ακλόνητα υπό τις εξαιρετικώς απαιτητικές λειτουργικές συνθήκες, θα πρέπει να κρατήσουν τη θέση τους και υπό τα ακραία φορτία του σεισμού σχεδιασμού.

Λόγω της μονολιθικής σύνδεσης των ακροβάθρων με την πλάκα – δίσκο του φορέα το σύστημα κατά τη διαμήκη διεύθυνση, η οποία για τη συμβατική περίπτωση αντιμετώπισης με τους δύο αρμούς στα άκρα, είναι και η πλέον επαχθής εκ των υποχρεωτικώς εξεταζομένων σύμφωνα με τον Κανονισμό καθέτων μεταξύ των οριζοντίων διεθύνσεων, επιτρέπεται να εξεταστεί με επαρκή προσέγγιση λαμβανομένου υπ' όψιν του ακλονήτου κατά τη διαμήκη διεύθυνση ρόλου των ακροβάθρων. Οι αδρανειακές δράσεις στο φορέα για το διαμήκη σεισμό θα υπολογίζονται γενικώς με βάση τη μέγιστη υπολογιστική εδαφική επιτάχυνση a , χωρίς φασματική μεγέθυνση και με τιμή συντελεστή συμπεριφοράς $q=1$, Σχ. 13.

Σημειωτέον, ότι τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα που χρησιμοποιούνται για τη στήριξη των δοκών υπολογίζονται αποκλειστικώς για τα φορτία βαρύτητας του φορέα και τα πάχη που προκύπτουν αποτελούν κλάσμα εκείνων που θα απαιτούσε μία συμβατική αντισεισμική αντιμετώπιση.

Όσον αφορά το σεισμό κατά την εγκάρσια διεύθυνση με βάση τη μέθοδο της ισοδύναμης στατικής φόρτισης, η ιδιοπερίοδος του συστήματος μπορεί να προσδιοριστεί με την παραδοχή πλήρους πακτώσεως του δίσκου του φορέα στα πρακτικώς άστρεπτα ακρόβαθρα και με ελατηριακές στηρίξεις στις θέσεις των μεσοβάθρων. Στο Σχ. 14 δίνεται ο προσδιορισμός αφενός της ιδιοπεριόδου T και αφετέρου του συνεχούς σεισμικού φορτίου $p_E(x)$ κατά AASHATO (1997).

Για την εξασφάλιση για τα ακρόβαθρα συνθηκών μεγάλης δυστροπίας και κατ' επέκτασιν πακτώσεως της πλάκας – δίσκου στα ακρόβαθρα απαιτείται ο έλεγχος της στατικής ισορροπίας των, που περιλαμβάνει τους συμβατικούς ελέγχους ολισθήσεως, ανατροπής και εδάφους θεμελιώσεως, να συμπληρωθεί με έναν έλεγχο αστροπίας. Στο



Σχ.15 – Ικανοτικός έλεγχος στρεπτικής ευστάθειας βάσεως ακροβάθρου

Σχ. 15 δίνεται μία ικανοτική προσέγγιση του εν λόγω προβλήματος και το κριτήριο αστρεψίας ανάγεται στην ικανοποίηση της ακόλουθης ανίσωσης :

$$M_{Rd} \leq R_{Sd} + R_{Pd}$$

όπου

M_{Rd} είναι η ικανοτική καμπτική ροπή αντοχής της πλάκας – δίσκου στη θέση πακτώσεώς της στο ακρόβαθρο προσαυξημένης κατά την ομόσημη επιρροή της τέμνουσας V_R , Σχ. 15. Σημειωτέον ότι παραλαβή της ικανοτικής αυτής ροπής από το ακρόβαθρο είναι ευχερής λόγω της συγκυρίας του διπλού ρόλου των ακραίων εκ των προβλεφθέντων αντηρίδων λειτουργούντων και ως τοίχων αντεπιστροφής γεγονός που τους προσδίδει τη δυνατότητα μεγαλύτερου μήκους διατομής και κατ' επέκταση και φέρουσα ικανότητα προς παραλαβήν του ζεύγους των δυνάμεων που μετασχηματίζεται η ικανοτική ροπή, Σχ. 4.

Ειρήσθω εν παρόδω ότι η M_{Rd} μεγιστοποιείται, όταν γίνεται ελάχιστος ο λειτουργικός αξονικός εφελκυσμός, τουτέστιν υπο.....θερινές συνθήκες.

R_{Sd} είναι η αντίσταση σε στρεπτική ολίσθηση στη διεπιφάνεια θεμελίου – εδάφους και

R_{Pd} είναι οι αναπτυσσόμενες αντιστάσεις από παθητικές αντιδράσεις σε τέσσερα κατακόρυφα μέτωπα της ορθογωνικής κατόψεως πλάκας θεμελιώσεως και του υπερκειμένου αυτής εδαφικού πρίσματος, Σχ. 15.

Η αντίσταση R_{Sd} σε στρεπτική ολίσθηση είναι δυνατόν να υπολογίζεται για την περίπτωση συνεκτικών εδαφών από τη σχέση

$$R_{Sd} = 0,4 \times N_{Fd} \times b/\beta$$

όπου

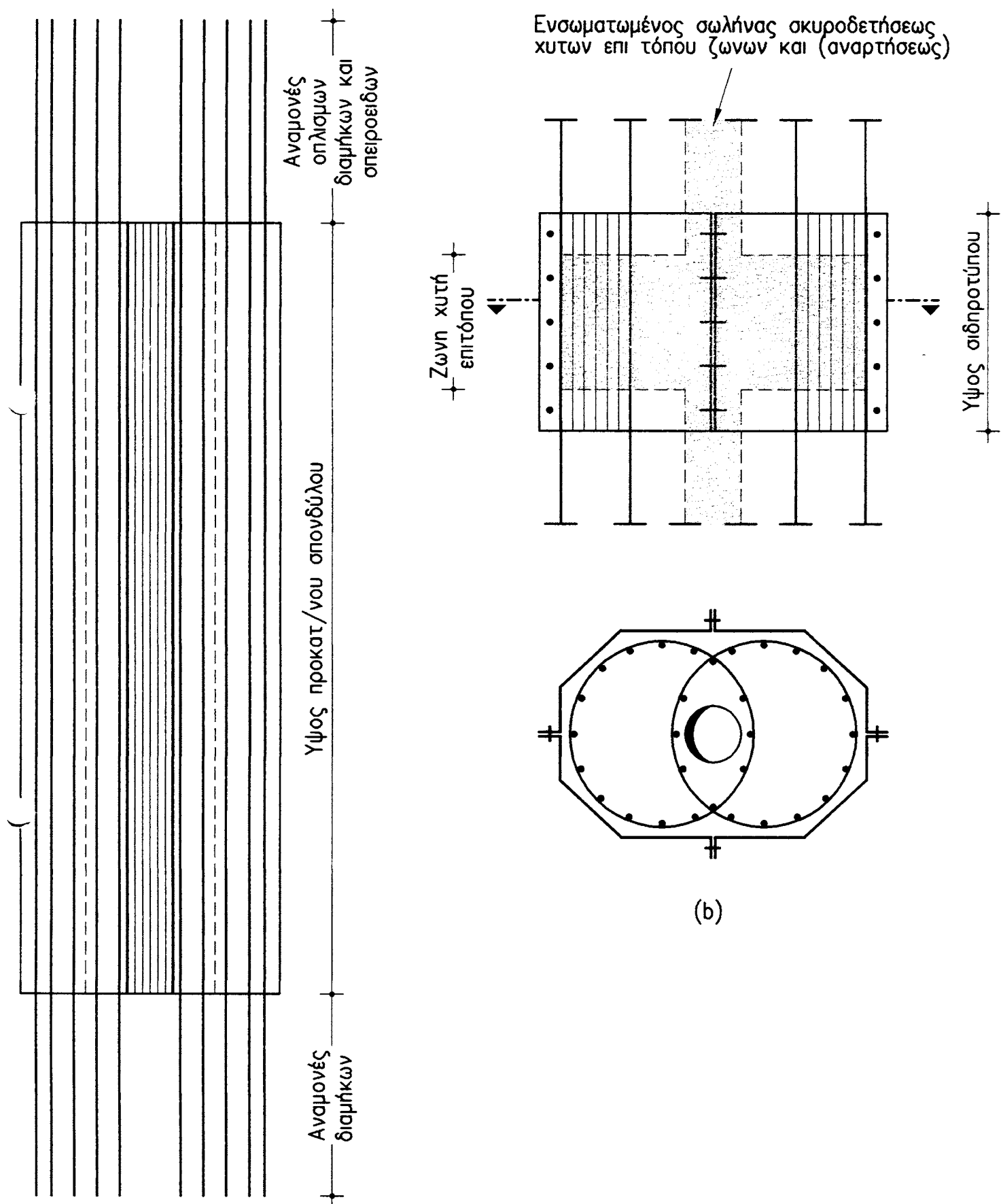
N_{Fd} είναι η ορθή δύναμη (βάρος) στη διεπιφάνεια εδάφους – θεμελίου,

b η μικρότερη πλευρά της κατόψεως της πλάκας θεμελιώσεως και

β ο στρεπτικός συντελεστής κατά Saint – Venant που εξαρτάται από το λόγο των πλευρών της ορθογωνίου κατόψεως (για τετράγωνο $\beta=4,80$).

Στις βαθιές θεμελιώσεις ακροβάθρων η τοποθέτηση πασσάλων περιμετρικώς της κατόψεως της πλάκας εδράσεως, οπωσδήποτε βελτιώνει τη δυσστρεψία, όπως και το ακλόνητο των ακροβάθρων (ΕΑΚ 2000).

Η επιρροή της ακαμψίας, σταδίου Ι και σταδίου ΙΙ, των μεσοβάθρων στη φασματική ανάλυση εξετάστηκε εν συνδυασμώ και με την διατομή τους. Πλην της περιπτώσεως των κοίλων βάθρων, τα οποία εφαρμόζονται κατά κανόνα στις υπ' όψιν γέφυρες εξετάστηκε και η περίπτωση της συμπαγούς διατομής με τις συμπλεκτές έλικες του



Σχ.16 - (α) Τυπικός "σπόνδυλος" προκατασκευασμένου μεσοβάθρου με αναμονές διαμήκων και εγκάρσιων οπλισμών.

(β) Λεπτομέρεια τρόπου συνδέσεως διαδοχικών σπονδύλων μεταξύ

Σχ. 16. Η διατομή αυτή όπως, και οι κοίλη εξετάστηκε είτε αρρηγμάτως είτε ρηγματωμένη στα πλαίσια της παρούσας προτάσεως της μονολιθικής συνδέσεως της πλάκας με τα ακρόβαθρα. Είναι γνωστή η δυσχέρεια εξασφαλίσεως περίσφιξης στα κοίλα μεσόβαθρα γεγονός που αποτελεί αντικίνητρο για την χρησιμοποίησή τους και που ωθεί στην εξέταση και άλλου τύπου διατομών ει δυνατόν συμπαγών, ιδίως για περιπτώσεις βάθρων όχι ακραίων κατά το ύψος και φορέων των οποίων η πτώση από τα βάθρα τους κατά το σεισμό μπορεί να αποκλεισθεί μέσω καταλλήλων βαθών εδράσεως και συνδέσμων, όπως είναι τα αντισεισμικά stoppers.

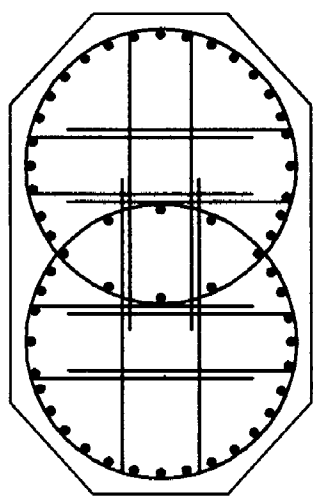
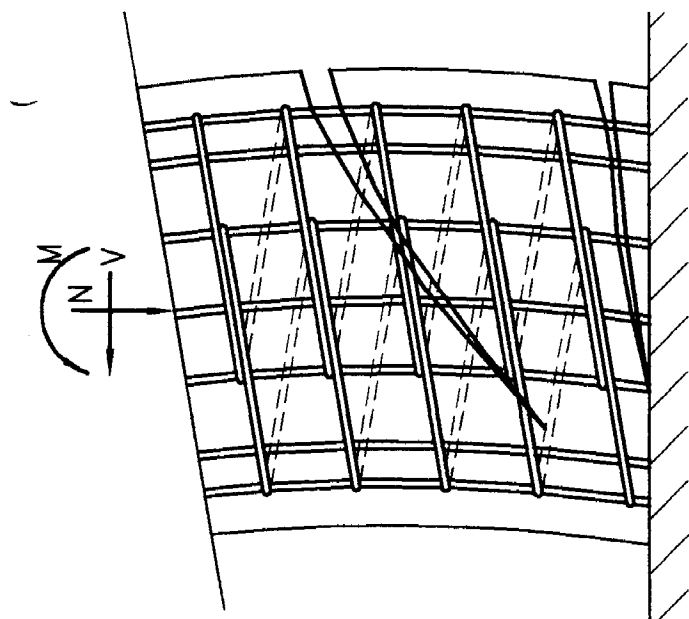
Ενας άλλος λόγος αποφυγής των κοίλων μεσοβάθρων είναι και η απαίτηση εξοπλισμού αναρριχώμενων ξυλοτύπων με ό,τι αυτό συνεπάγεται, αφενός από πλευράς οικονομίας και αφετέρου ταχύτητας κατασκευής.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης προτείνεται ένας τρόπος προκατασκευής τυποποιημένων “σπονδύλων” μεσοβάθρων, του οποίου οι λεπτομέρειες της μορφολογίας και της συναρμολογήσεως, δίνονται στο Σχ. 17.

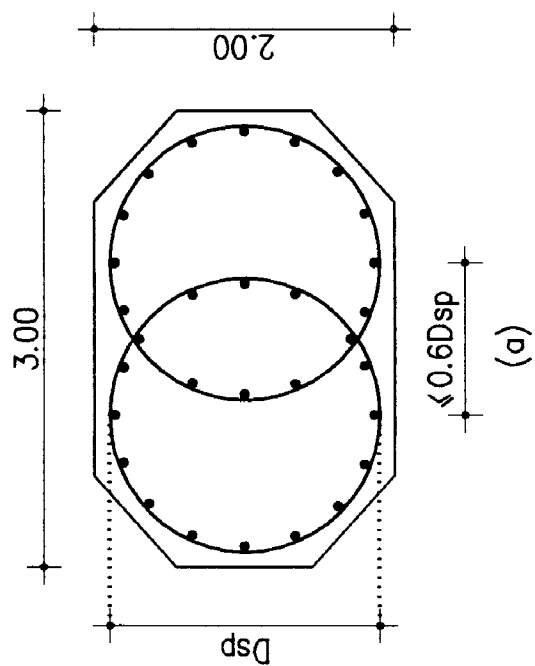
Βεβαίως, θα ήταν δυνατόν να υποστηριχθεί ότι οι μικρές απαιτήσεις πλαστιμότητας, λόγω της χαμηλής τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς, $q=1,5$, που δέχεται ο Κανονισμός για τις γέφυρες με φορείς συνδεδεμένους μονολιθικώς με τα ακρόβαθρά τους, δε συμβαδίζουν με τα πλούσια αντισεισμικά εφόδια των στοιχείων που οπλίζονται με αλληλοεπικαλυπτόμενες σπείρες. Ωστόσο, η διαθέσιμη περίσφιξη μπορεί να αξιοποιηθεί στην αξονική φέρουσα ικανότητα και να προκύψει με τη συμβολή και του βελτιωμένου τρόπου παραγωγής (βιομηχανικό και όχι εργοταξιακό προϊόν) σημαντική μείωση διατομής των μεσοβάθρων προς όφελος και της αισθητικής των γεφυρών. Επί πλέον, συνεπικουρούσης και της θεωρήσεως σταδίου II, είναι δυνατόν να επιτευχθεί μείωση της εντάσεως των σεισμικών δράσεων προερχομένη από την αύξηση της ιδιοπεριόδου του συστήματος.

Στις περιπτώσεις μεσοβάθρων μικρότερου ύψους των οποίων οι απαιτήσεις έναντι τέμνουσας προκύπτουν αυξημένες είναι δυνατόν να βελτιωθεί η φέρουσα ικανότητά τους μέσω συμβατικών συμπληρωματικών διατάξεων, όπως φαίνεται στο Σχ. 17 (b). Επίσης στην περίπτωση επί τόπου κατασκευής και προς αποφυγή μεγάλων εγκαρσίων μετακινήσεων, αλλά και της εργοταξιακώς δύσκολης εργασίας συμπλέξεων των σπειρών, προτείνεται στο Σχ. 17 (c) μια πιο επιμήκης διατομή η οποία συνδιάζει απλότητα κατασκευής και βελτιωμένες αντισεισμικές ιδιότητες (Τέγος, 1999).

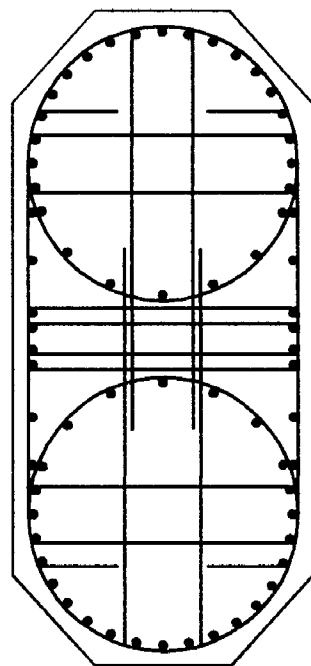
Στο Προσάρτημα Γ, της της Εργασίας με αφετηρία μία γέφυρα προκατασκευασμένων δοκών, τη γέφυρα Τρουμπέτα στο τμήμα “Γρεβενά – Κοζάνη” της Εγνατίας Οδού, 5 ανοιγμάτων και συνολικού μήκους 200 m, δίνονται αποτελέσματα φασματικών



(b)



(a)



(c)

Σχ.17 – (a) Τυπική περίπτωση χρήσεως επικαλυπτομένων σπειρων (συμπλεκτων ελίκων).
(b) Ενίσχυση έναντι τέμνουσας και βελτίωση περισφίξεως.
(c) Επιμήκης διατομή με μη συμπλεκτές έλικες.

αναλύσεων αφορώντων αφενός τη συμβατική αντιμετώπιση και αφετέρου την προτεινόμενη μονολιθική σύνδεση εν συνδιασμό με τη θεώρηση άλλοτε συμβατικών κοίλων και άλλοτε συμπαγών με συμπλεκτές έλικες μεσοβάθρων θεωρουμένων είτε σε στάδιο I είτε σε στάδιο II.

Επίσης, στο Προσάρτημα Δ δίνονται για μία άλλη γέφυρα του εξεταζόμενου είδους, τη γέφυρα T6 του Τμήματος “Ασπροβάλτα – Στρυμώνας”, της Εγνατίας Οδού, από 6 ανοίγματα των 35 m και συνολικού μήκους 208 m, τα αποτελέσματα μιας πολυπαραμετρικής διερεύνησης με κύριες παραμέτρους : (α) το πάχος των εφεδράνων, (β) τη σύνδεση ή μη του φορέα με τα ακρόβαθρα, (γ) τη διατομή των μεσοβάθρων, (δ) το ρηγματωμένο ή μη των μεσοβάθρων και της πλάκας καταστρώματος και, τέλος, (ε) τον αριθμό των ανοιγμάτων.

Από το πλήθος των στοιχείων που προέκυψαν από τις αναλύσεις, φαίνεται η προερχόμενη από την προτεινόμενη σύνδεση φορέα – ακροβάθρων σημαντική μείωση της εντάσεως των μεσοβάθρων, η οποία συνδιαζόμενη με την πλήρη κατάργηση των αρμών και την δραστική περικοπή του όγκου των εφεδράνων συμβάλλει στην αισθητή μείωση του κόστους κατασκευής και όχι μόνον, αλλά και του κόστους συντηρήσεως.

Επίσης, προκύπτει, ότι οι αντισεισμικές απαιτήσεις οπλίσεως της πλάκας – δίσκου του καταστρώματος, όπως και των ακροβάθρων, υπερκαλύπτονται από τις αντίστοιχες λειτουργικές απαιτήσεις, που προκαλούνται από τους καταναγκασμούς της υπερστατικότητας που επιδιώχθηκε δια της καταργήσεως και των αρμών των άκρων.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ως σημαντικότερα από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διερεύνηση της προτάσεως, που έγινε με στόχο τη βελτίωση της αντισεισμικότητας των γεφυρών προκατασκευασμένων δοκών και συνίσταται στη μονολιθική σύνδεση της πλάκας καταστρώματος και με τα ακρόβαθρα, αναφέρονται τα εξής :

- 1) Προέκυψε για την πλάκα καταστρώματος ένα αναλυτικό προσομοίωμα προσδιορισμού της εκ των λειτουργικών καταναγκασμών εντάσεως αυτής, αξονικής εφελκυστικής και καμπτικής.
- 2) Προέκυψε με άκρως συντηρητικές επιλογές (εύρος ρωγμών κάτω του 0,1 mm) μια κλιμακούμενη διαμήκης όπλιση της συνεχούς πλάκας καταστρώματος, η οποία δεδομένης της τυποποιημένης γεωμετρίας των εν λόγω γεφυρών είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως γενικής εφαρμογής ή εν πάση περιπτώσει λύση – αφετηρία για

οποιαδήποτε γέφυρα αυτού του είδους. Η προτεινόμενη λύση επιδέχεται, οπωσδήποτε, δραστική ελάφρυνση.

- 3) Ένας ενισχυμένος τύπος ακλονήτου ακροβάθρου με κατάλληλη μορφολογία προς ανάληψη των εντάσεων των καταναγκασμών.
- 4) Προέκυψε, ότι οι λειτουργικώς απαιτούμενοι διαμήκεις οπλισμοί της πλάκας καταστρώματος υπερκαλύπτουν τις αντισεισμικές ανάγκες της ως δίσκου. Το ίδιο ισχύει και για τα ακρόβαθρα τα οποία μπορούν να αντεπεξέλθουν στις αντισεισμικές απαιτήσεις και με ικανοτικά κριτήρια.
- 5) Η επιβάρυνση λόγω αύξησης του κόστους των ακλονήτων ακροβάθρων και της ισχυρής διαμήκουσ οπλίσεως της πλάκας καταστρώματος αποτελεί πολύ μικρό ποσοστό της μείωσης του αρχικού και του μακροπρόθεσμου κόστους, που προέρχεται από την δραστική μείωση της σεισμικής εντάσεως των μεσοβάθρων και του όγκου των ελαστομεταλλικών εφεδράνων, καθώς και από την πλήρη κατάργηση των αρμών.
- 6) Πλην των οικονομικών είναι δυνατόν να προέλθουν αφενός αισθητικής φύσεως πλεονεκτήματα λόγω της δυνατότητας λεπτύνσεως των μεσοβάθρων και αφετέρου χρηστικής ανέσεως λόγω της πλήρους απαλλαγής του καταστρώματος από τους αρμούς.
- 7) Το “plus ultra” του Προλόγου της παρούσας εργασίας συνεχίζει να ισχύει, καθόσον η κατατεθείσα πρόταση επιδέχεται βελτιώσεις για τον τύπο γεφυρών που εξετάστηκε και για τον οποίο κατατέθηκε, αλλά και, ενδεχομένως, προσαρμογή σε άλλους τύπους αντισεισμικών γεφυρών.

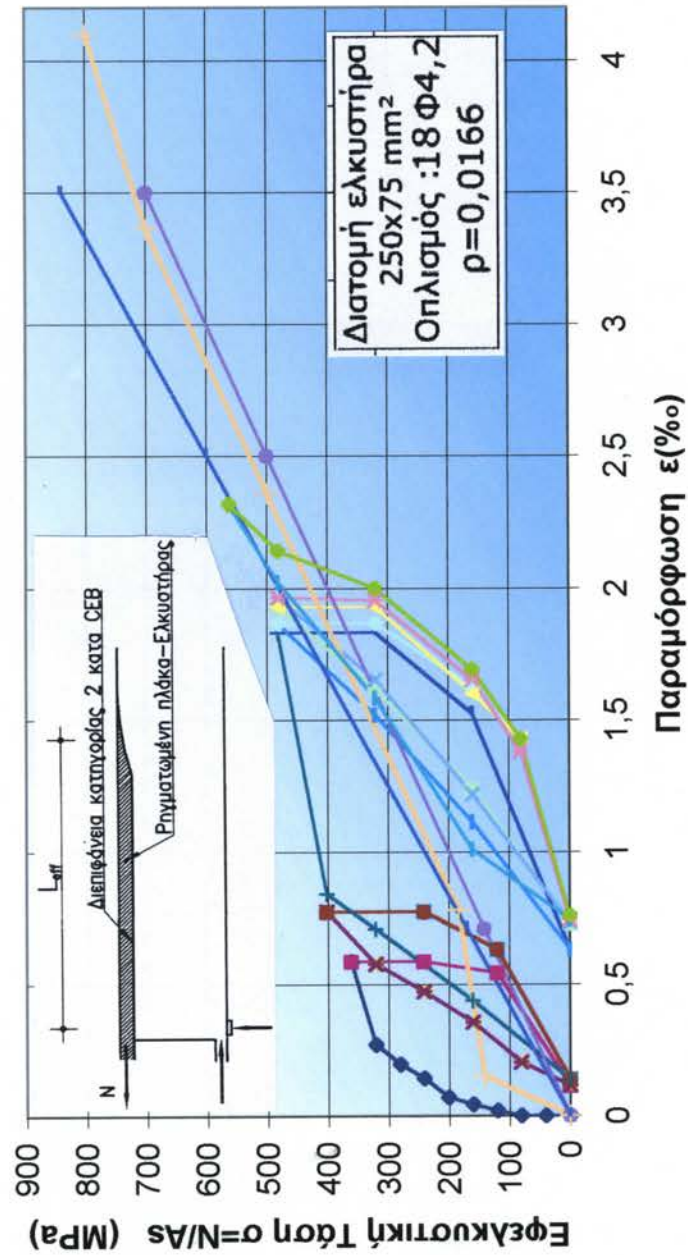
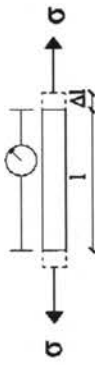
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Poetzl, M., Schlaich, J., (1996)
"Robust Concrete Bridges without Bearing and Joints". Structural Engineering International 4/96, 266-268
2. Kumar, A., (1994)
Locally separated deck slab continuity in composite bridges, Continuous and Bridges. Edited by Brian Pritchard, E. and FN SPON, London, 239-246.
3. Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (2000).
4. DIN 1072 (1988)
Παραδοχές Φορτίων Γεφυρών.
5. Ι. Τέγος, (2000)
International Symposium on Concrete and Masonry Structures, G. Penelis, Thessaloniki, Okt. 2000.
6. CEB –FIP (1991)
Model Code 1990, Final Draft, Chapters 1-10, CEB Buletin No 203 και No 204
7. Ι. Τέγος, Η. Βουρνάζου, Ο. Ζηρδέλης, Ε. Ντουμανοπούλου, Ν. Ντούρος (2002)
"Πειραματική διερεύνηση μηχανικής συμπεριφοράς ελκυστήρων Ω.Σ. "
Διπλωτικές εργασίες, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, Οκτώβριος 2002.
8. Karl Cordina, (1992)
Bemessungshilfsmittel zu Eurocode 2 Teil 1, Beuth Verlag GmbH, Berlin-Köln.
9. Ε. 39/99
Οδηγίες για την Αντισεισμική Μελέτη των Γεφυρών
10. AASHTO (1997)
"Guide Specifications for Seismic Design of Highway Bridges", Publ. by the AASHTO, Washington 1997,
11. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (2000)
12. Ι. Τέγος, (1999)
"Συγκριτική πειραματική μελέτη περισφιγκτικών διατάξεων ορθογωνικών διατομών", 13^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Τόμος Ι, Ρέθυμνο 1999.
13. Στ. Γεωργιάδου (2001)
"Δυναμική Φασματική Ανάλυση Γέφυρας με Προκατ. Δοκούς και Συνεχή Πλάκα Καταστρώματος", Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, ΑΣΤΕ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., Οκτώβριος 2001
14. Στ. Μητούλης (2002)
"Παραμετρική Διερεύνηση της Αντισεισμικής Συμπεριφοράς των Γεφυρών με Προκατ. Δοκούς και Συνεχή Πλάκα Καταστρώματος", Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., Ιούλιος 2002.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

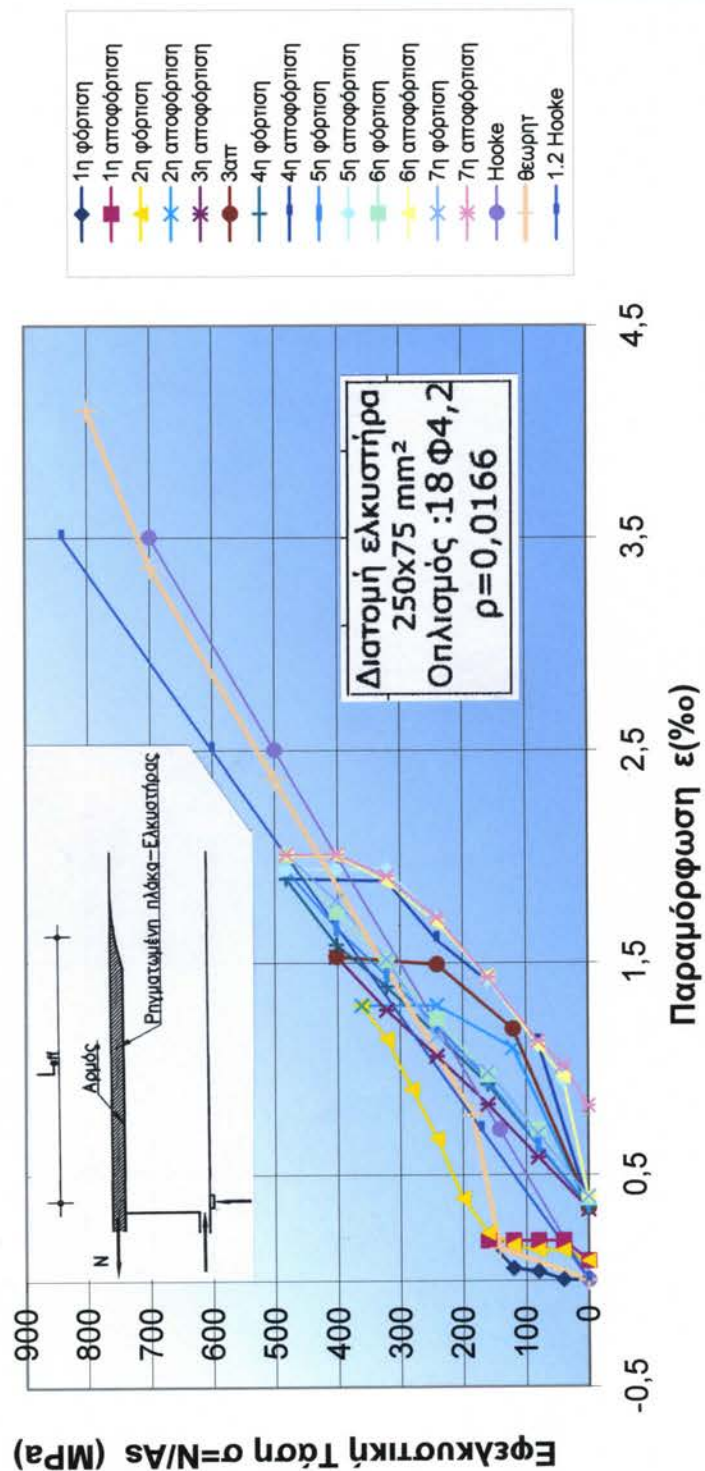
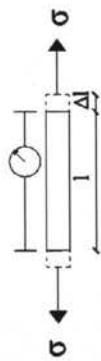
Πειραματικά αποτελέσματα μηχανικής συμπεριφοράς ελκυστήρων οπλισμένου
σκυροδέματος υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση

1ο Δοκός
Κύκλοι Φόρτισης

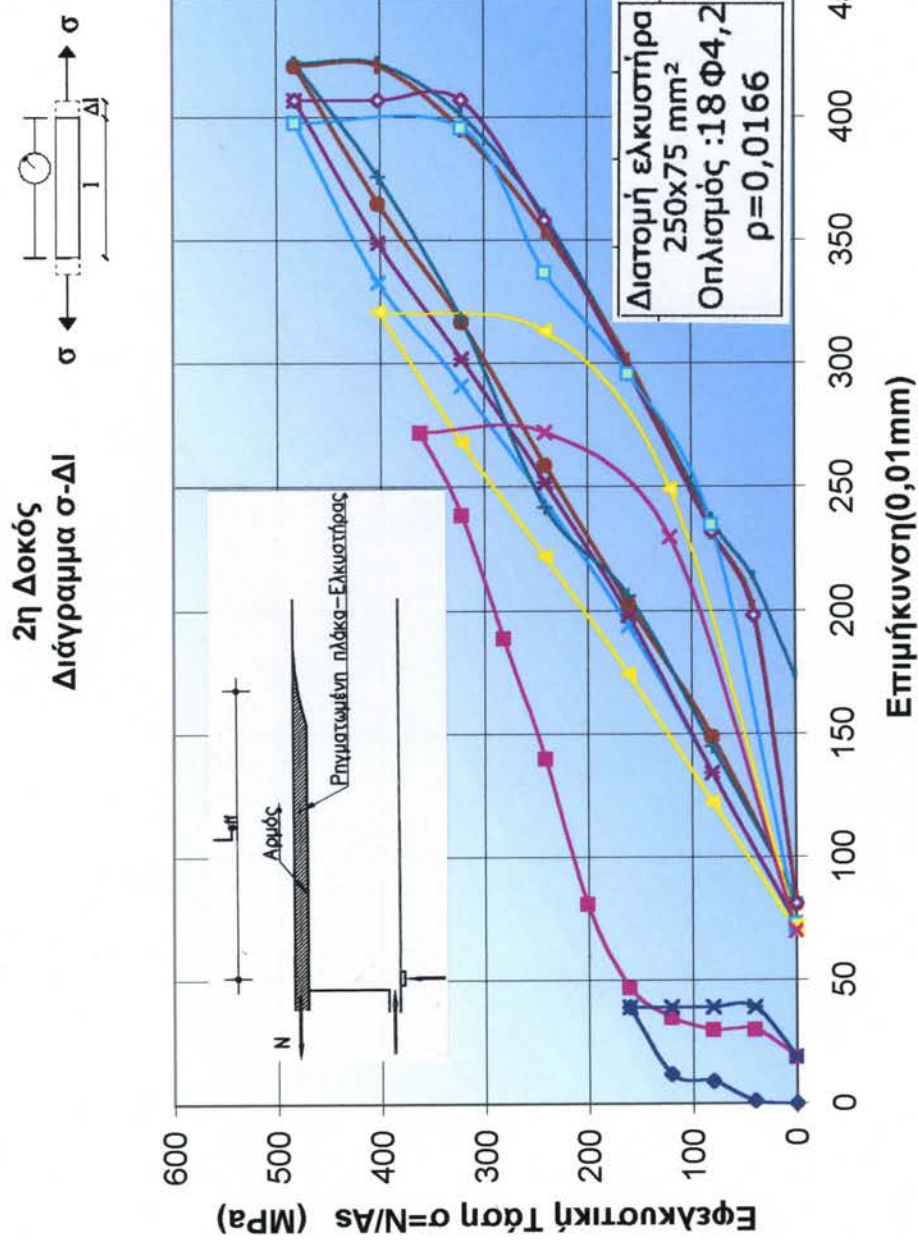


Διάγραμμα Τάσεων-παραμορφώσεων υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση.

2η Δοκός
Κύκλοι Φόρτισης

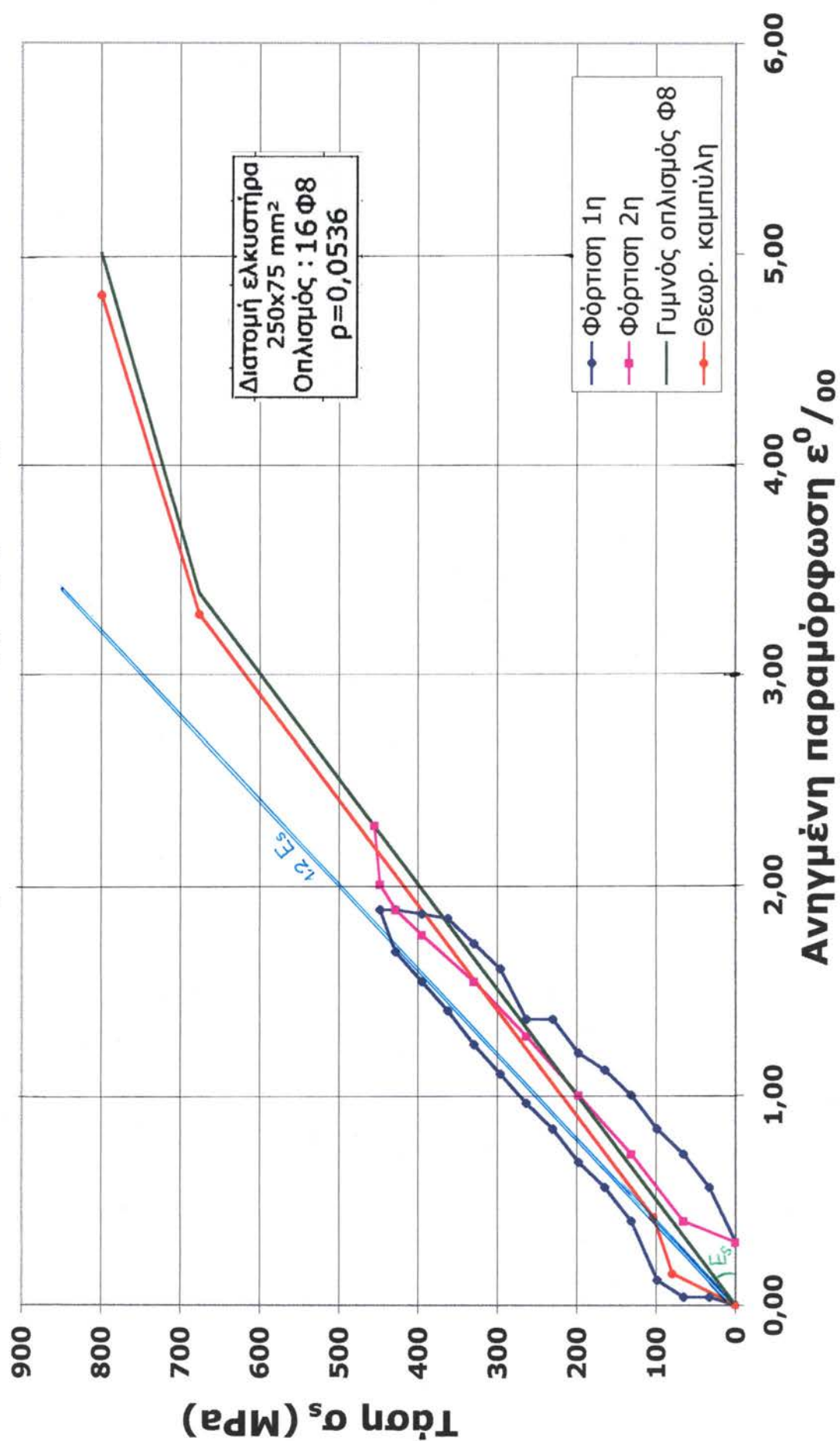


Διάγραμμα Τάσεων-παραμορφώσεων υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση.

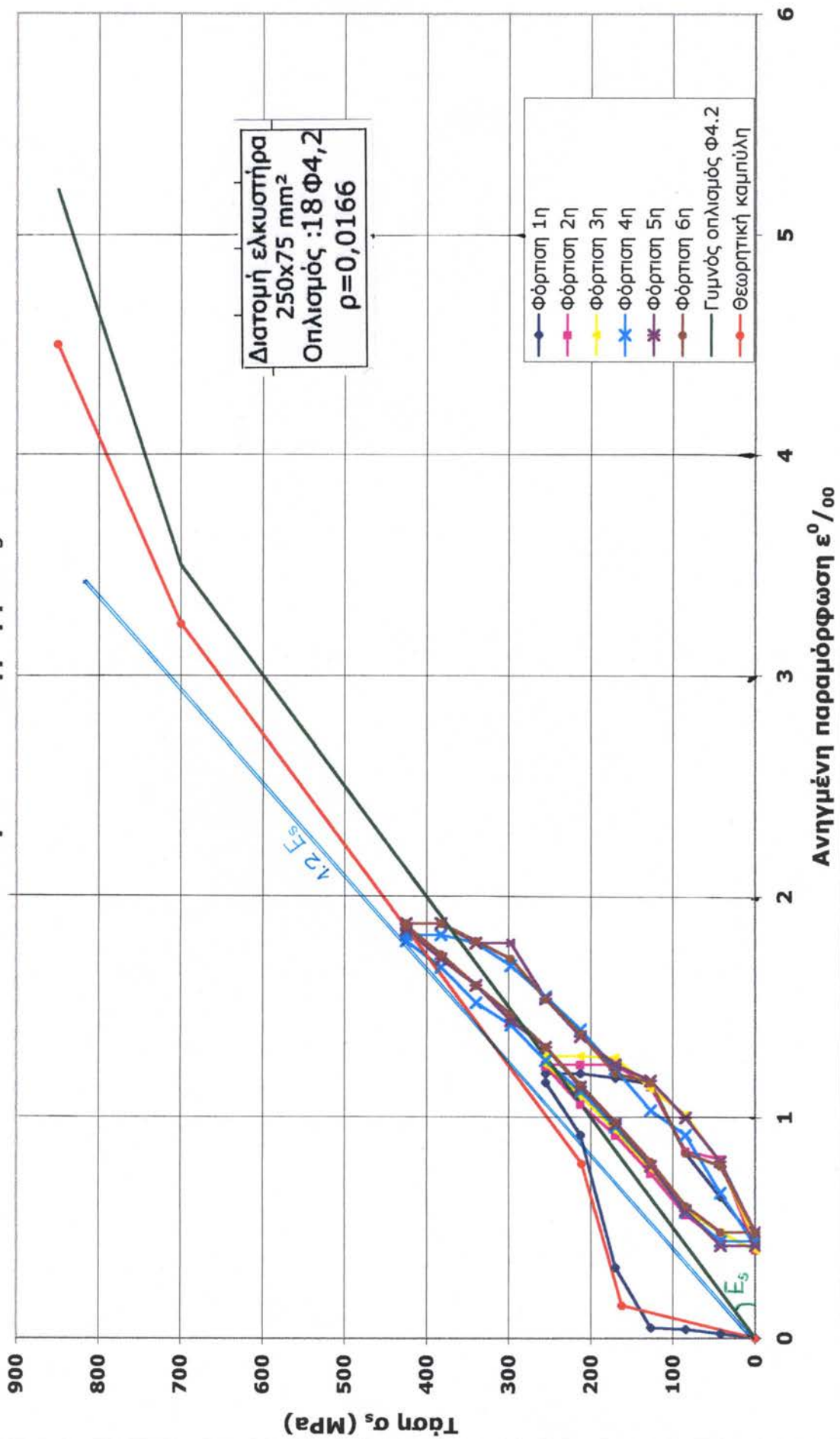


Διάγραμμα Τάσεων-επιμηκύνσεων υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση.

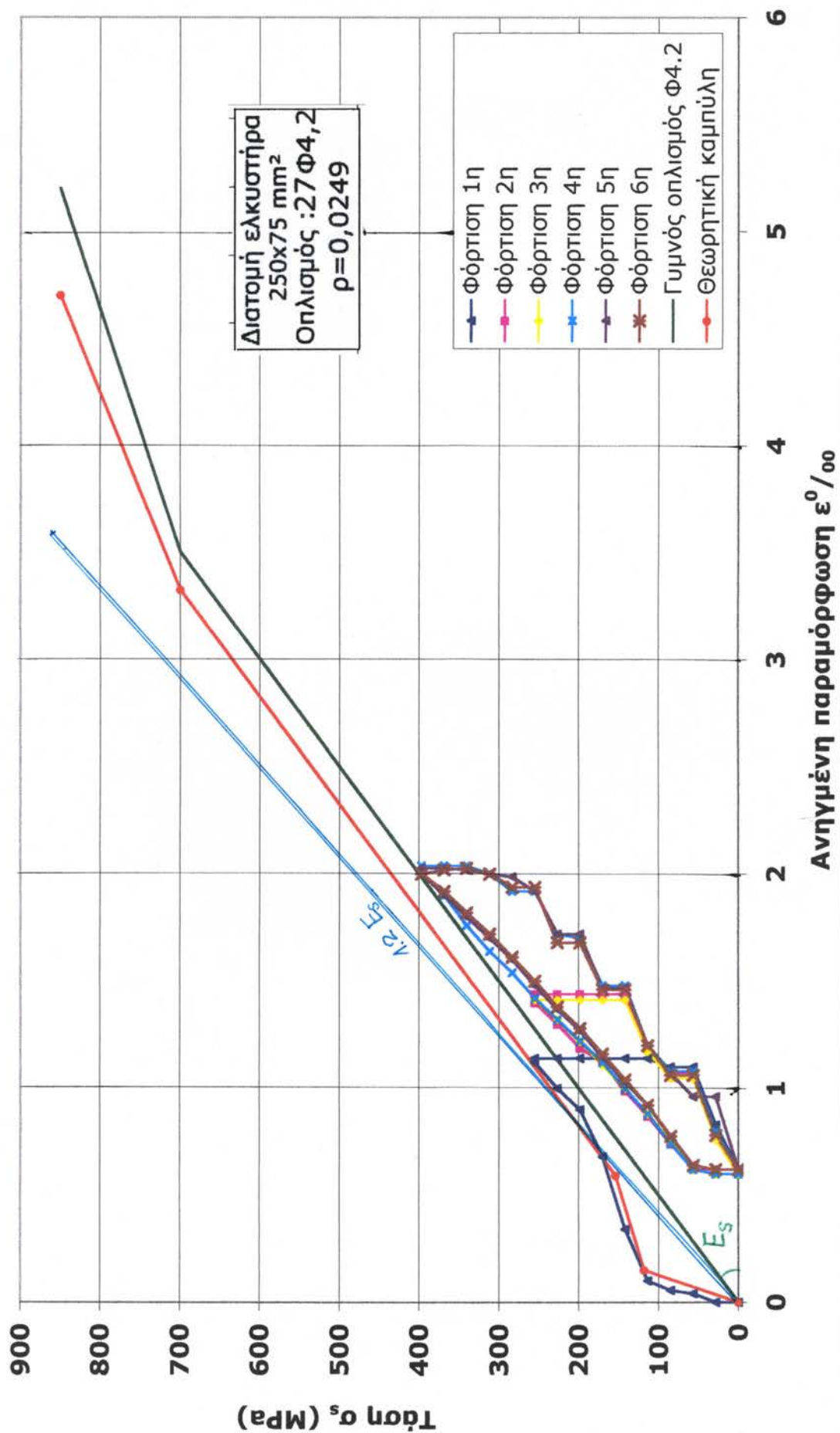
Δοκίμιο 3 - Διάγραμμα σ_s - ϵ



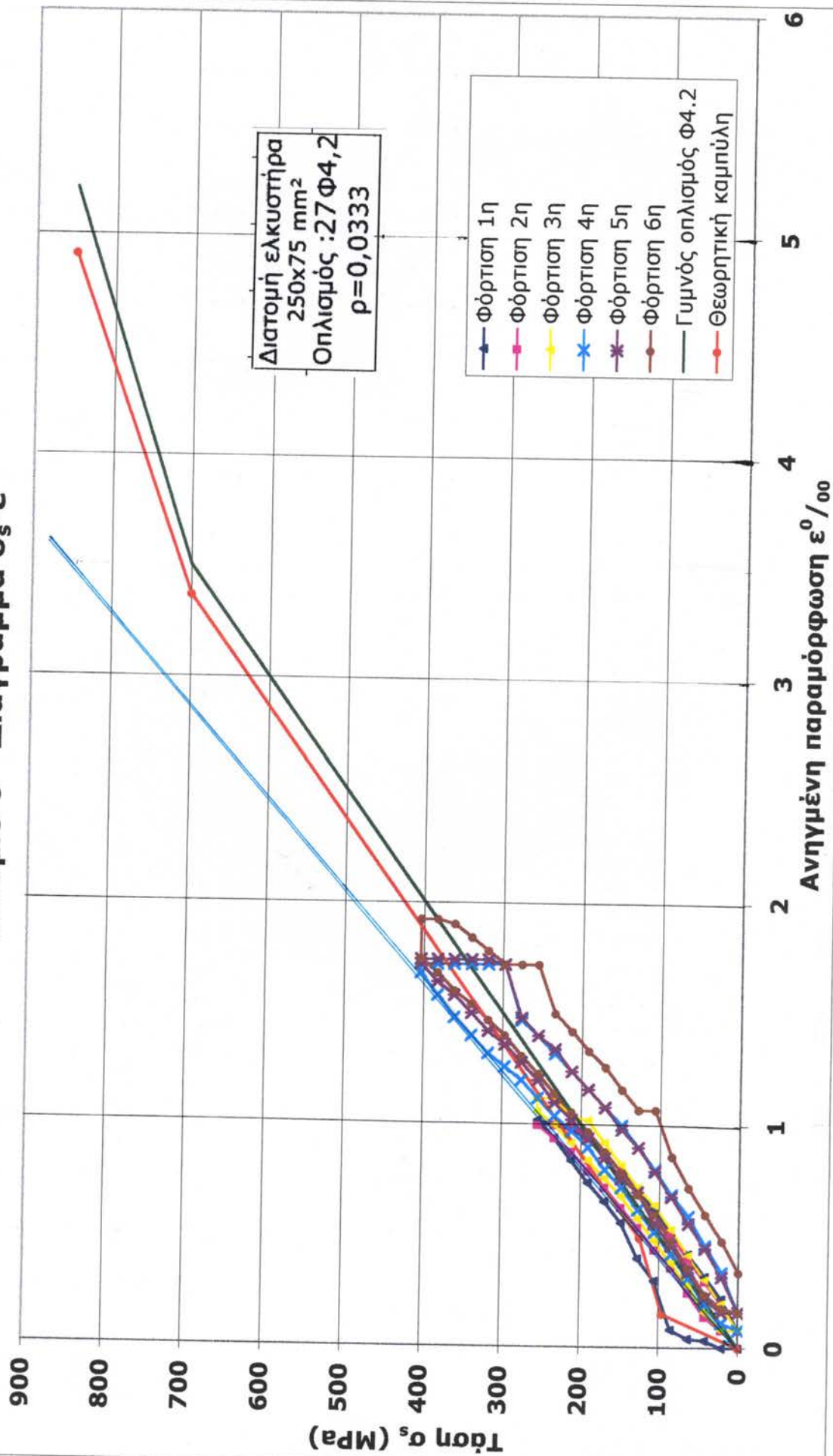
Δοκίμιο 4 - Διάγραμμα σ_s - ϵ



Δοκίμιο 5 - Διάγραμμα σ_s - ϵ



Δοκίμιο 6 - Διάγραμμα σ_s - ϵ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Μηχανική συμπεριφορά διατμητικών αρμών

$$T_{Rd} = \beta \cdot f_{ctd} + \mu(\rho f_{yd} + \sigma_{cd}) < f_{cd}$$

όπου:

$\beta \cdot f_{ctd}$ είναι η πρόσφυση μεταξύ των δύο τμημάτων σκυροδέματος των αρμών και μ είναι ο συντελεστής τριβής. Οι παράμετροι β και μ εξαρτώνται από την κατηγορία τραχύτητας των διεπιφανειών, σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα της CEB.

ρ = ποσοστό οπλισμού στον αρμό $\geq 0,001$

f_{yd} = εφελκυστική αντοχή χάλυβα οπλισμού

σ_{cd} = εξωτερική κανονική φόρτιση ασκούμενη στο αρμό (υπολογισμένη για γ_F -τιμές ανταποκρινόμενες σε ευνοϊκή επίδραση των δράσεων, $\sigma_{cd} > 0$ για θλίψη)

f_{ctd} = εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος με χαμηλότερη αντοχή

Παράμετροι	Κατηγορία Επιφάνειας	
	1	2
β	0.2*	0.4
μ	0.6	0.9

Πίνακας Τιμές παραμέτρων β και μ

*Για πολύ λείες επιφάνειες (I) και (II), συνιστάται η τιμή $\beta=0,1$

Εάν η κατασκευή διεκπεραιώνεται σύμφωνα με τους καθορισμένους κανονισμούς με ιδιαίτερη θεώρηση στη μεταχείριση της διεπιφάνειας, στην πυκνότητα και την πλαστικότητα του σκυροδέματος, λαμβάνονται υπόψη δύο κατηγορίες της τραχύτητας της επιφάνειας:

Κατηγορία 1 ("λεία")

(I) λεία επιφάνεια, όπως αυτή προκύπτει με ένα μεταλλικό ή ξύλινο καλούπι

(II) επιφάνεια που έχει κατασκευαστεί με το μυστρί, σχετικά ρευστή, και η οποία είναι ουσιαστικά όσο λεία είναι η (I)

(III) επιφάνεια που έχει κατασκευαστεί με το μυστρί, ή έχει χτυπηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε μικρές ράχες, οδοντώσεις ή κυματισμοί έχουν παραμείνει

(IV) επιφάνεια που προκύπτει με ολίσθηση ή με δόνηση

(V) επιφάνεια που προκύπτει "τραβηχτή"

(VI) επιφάνεια που έχει σκοπίμως τραχυνθεί ελαφρά όταν είναι ακόμα υγρή

Κατηγορία 2 (“τραχεία”)

(VII) όπως και η (VI) αλλά με εντονότερη τράχυνση με τη χρήση μεταλλικού ξύστρου ή διαστελλόμενου μετάλλου.

(VIII) επιφάνεια που έχει επαρκώς συμπακνωθεί, αλλά χωρίς να έχει γίνει καμία προσπάθεια για λείανση, στούπωμα ή βελτίωση της υφής της επιφάνειας με κανέναν τρόπο, και η οποία έχει μια τραχεία επιφάνεια με τσιμεντοπολτό να προεξέχει, αν και έχει τοποθετηθεί στην μήτρα.

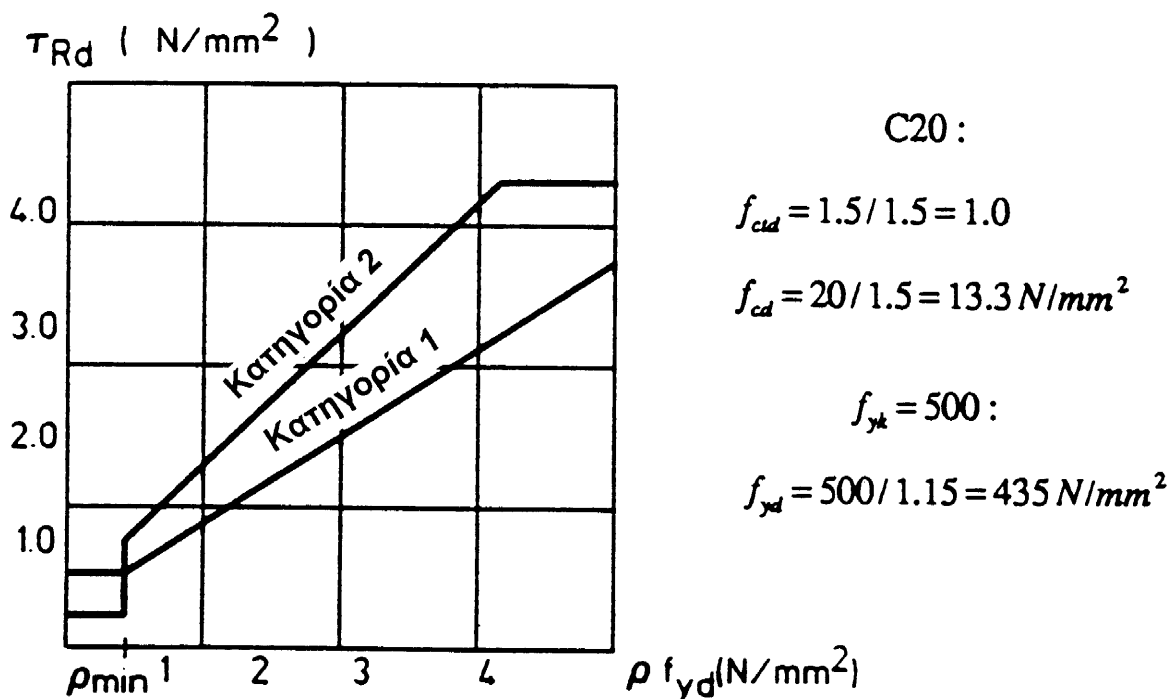
(IX) επιφάνεια όπου το σκυρόδεμα έχει βραχεί όταν είναι ακόμη υγρό, αποκαλύπτοντας τον τραχύ τσιμεντοπολτό χωρίς να τον διαταράξει.

(X) επιφάνεια που έχει προκύψει με μηχανική διατμητική κλείδα.

Για περιπτώσεις χαμηλής αξονικής καταπόνησης η αξονική αντοχή σχεδιασμού μπορεί να εκτιμηθεί σύμφωνα με την παρακάτω απλή σχέση:

$$\tau_{Rd} = \beta \cdot f_{ctd}$$

Σε αυτή την περίπτωση δε χρειάζεται ενίσχυση με οπλισμό.



Σχήμα 2 : Παράδειγμα εφαρμογής κατηγοριών τραχύτητας της επιφάνειας