

8. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

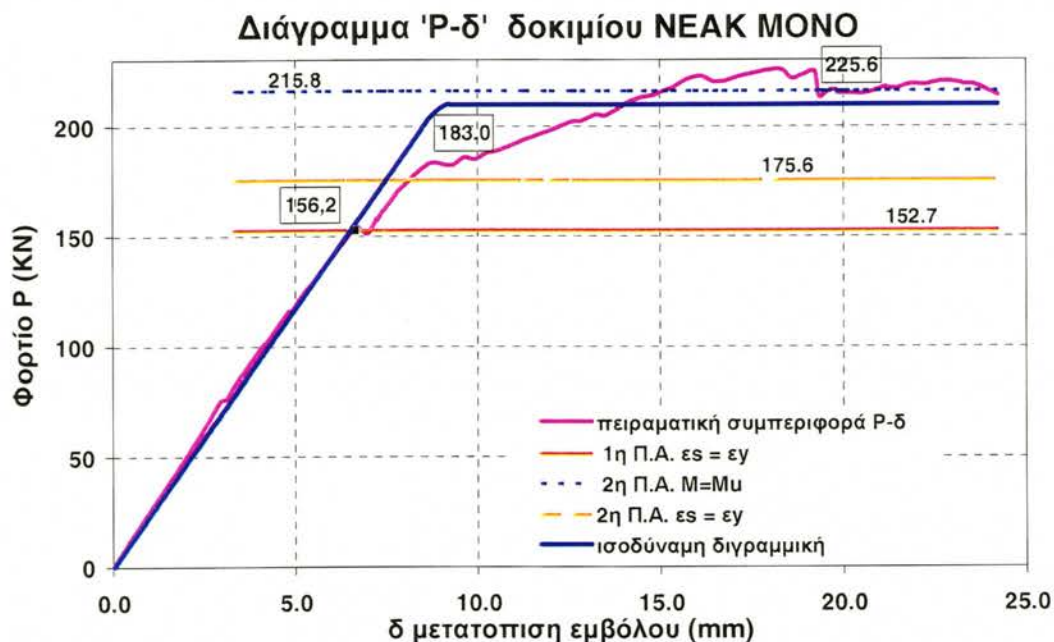
8.1 Σύγκριση πειραματικής και αναλυτικής συμπεριφοράς

Στο κεφάλαιο αυτό συγκρίνονται τα διαγράμματα φορτίου μετατόπισης (P - δ) των δοκιμίων **ΜΟΝΟ** με τις προβλεπόμενες τιμές αντοχής βάσει των συμβατικών προσομοιωμάτων υπολογισμού που χρησιμοποιούνται στην πράξη και υιοθετούνται κατά τον σχεδιασμό. Για έλεγχο των προσομοιωμάτων χρησιμοποιούνται οι μέσες πειραματικές αντοχές για το χάλυβα και το σκυρόδεμα και οι ονομαστικές τιμές των ΙΝΟΠ ενίσχυσης. Υπολογίζονται το προβλεπόμενο φορτίο P_y σχηματισμού της πρώτης άρθρωσης στη διαρροή του συμβατικού οπλισμού ($M_p = M_y$), ενώ δίδεται και η προβλεπόμενη μέγιστη φέρουσα ικανότητα του δοκιμίου για δεδομένη οριακή κατάσταση αστοχίας των κρίσιμων διατομών στις δύο αρθρώσεις, $M_p = M_u$ οπλισμού (συμβατικού ή ενίσχυσης, σε δύο οριακές παραμορφώσεις του ΙΝΟΠ, 6 και 8%), μαζί με τις αντίστοιχες τιμές που προέκυψαν από το πείραμα. Επίσης σημειώνονται οι τιμές παραμόρφωσης που αντιστοιχούν στο σχηματισμό της πρώτης πλαστικής άρθρωσης (δ_y) και στη *συμβατική* αστοχία (δ_u), όπου συμβατική αστοχία θεωρείται η πτώση της αντοχής του δοκιμίου στο 85% της μέγιστης καταγεγραμμένης αντοχής P_{max} στη διάρκεια του πειράματος. Σαν αποτέλεσμα, υπολογίζεται η πλαστιμότητα σε όρους μετατοπίσεων.

Τέλος, δίδεται η ισοδύναμη ελαστοπλαστική διγραμμική συμπεριφορά του δοκιμίου σε επίπεδο δύναμης - παραμόρφωσης, με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης σε διαρροή (R_y , u_y) και την πλαστιμότητα που τη χαρακτηρίζουν. Η ισοδύναμη διγραμμική συμπεριφορά υπολογίζεται με την παραδοχή μίας αρχικής γραμμικής συμπεριφοράς μέσω του σημείου $0,60 P_{max}$ και κατόπιν τέλεια ελαστοπλαστική διαρροή στο σημείο (R_y , u_y), έτσι ώστε η ενέργεια που περικλείεται κάτω από το ισοδύναμο ελαστοπλαστικό διάγραμμα να ισούται με την ενέργεια που απορροφήθηκε από το δοκίμιο πειραματικά, ως το σημείο *συμβατικής αστοχίας* δ_u .

Γίνονται συγκρίσεις των παραπάνω χαρακτηριστικών μεταξύ των τριών εναλλακτικών μεθόδων ενίσχυσης, που διερευνήθηκαν στην παρούσα πειραματική εργασία, και με το μη ενισχυμένο δοκίμιο ελέγχου που έχει οπλιστεί με συμβατικό οπλισμό κατά ΕΑΚ (ΟΑΣΠ, 2000), ως προς την προσφερόμενη πλαστιμότητα, και παραμένονσα αντοχή μετά την αστοχία της ενίσχυσης, ενώ γίνονται και συνοπτικές παρατηρήσεις της εξέλιξης του κάθε πειράματος όπως αυτή διαφαίνεται μέσα από τα διαγράμματα φορτίου - μετατόπισης ($P-\delta$).

8.1.1 Δοκίμιο NEAK MONO



NEAK MONO	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ kN	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ kN	ΔΙΑΦΟΡΑ (%)
1 ^η πλαστική άρθρωση $M_p = M_y$	152,7	156,2	+2,1
2 ^η πλαστική άρθρωση $M_p = M_y$	175,6	183	+4,2
Φέρουσα Ικανότητα $M_p = M_u$	215,8	225,6	+4,5

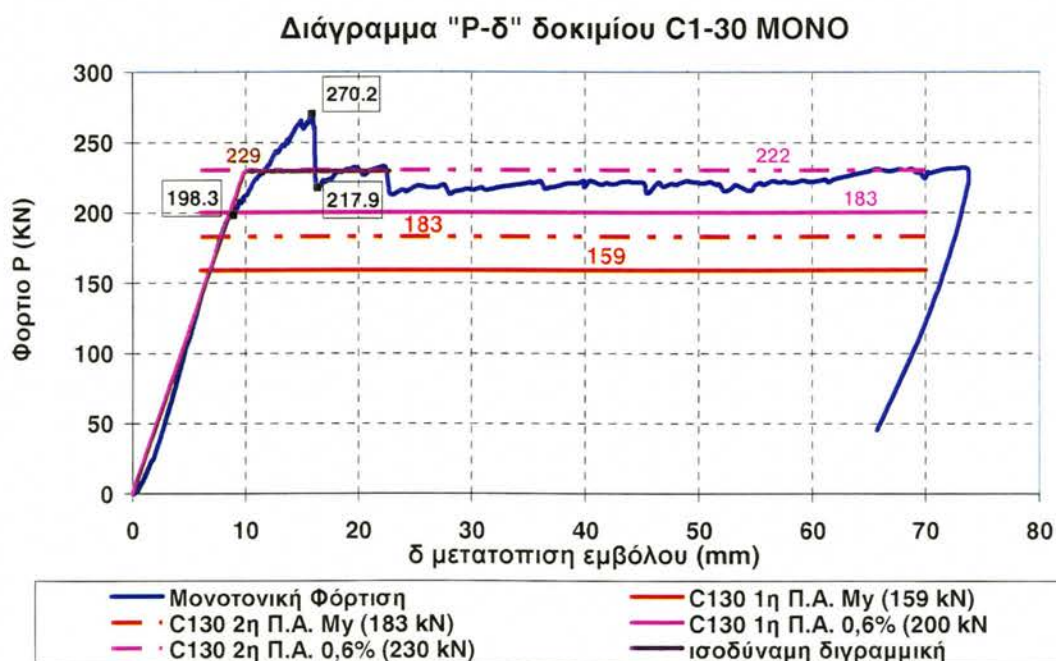
δ_y , δ_u^*	6,6 mm	24.2* mm
Πλαστιμότητα μ_δ^*	3,70*	

R_y , u_y	209,5 kN	8,9 mm
Πλαστιμότητα $\mu\delta^*$	2,70*	

* : Σημειώνεται και πάλι ότι το πείραμα τερματίστηκε πρόωρα αφού, όπως ήδη αναφέρθηκε, λόγω της ύπαρξης πρόσθετων μετρητικών στις στηρίξεις δεν ήταν εφικτή η παραλαβή πρόσθετων στροφών στο αριστερό άκρο. Ως εκ τούτου, η πλαστιμότητα του **NEAK MONO** είναι ενδεικτική της παρεχόμενης αφού η πραγματική δ_u είναι μεγαλύτερη της δ_u^* . Η μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα που τελικά ανέπτυξε η δοκός αποδίδεται στην περαιτέρω κράτυνση του εφελκυσμένου χάλυβα.

8.1.2 Δοκίμιο C1-30 MONO

Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται ότι η πρώτη πλαστική άρθρωση σε διαρροή του οπλισμού σχηματίζεται σε φορτίο ίσο προς 159 kN, ενώ η δεύτερη πλαστική άρθρωση σε διαρροή, στα 183 kN, 8% κάτω από την πειραματική τιμή που χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά από αλλαγή στη δυσκαμψία. Η τελική μέγιστη φέρουσα ικανότητα, πριν την εκρηκτικού τύπου αστοχία λόγω διάρρηξης του διαμήκους ΙΝΟΠ, επάνω από το σημείο φόρτισης, ξεπέρασε την πρόβλεψη βάσει της παραμόρφωσης 8,0‰ κατά 9 %.



C1-30 MONO	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ (για 0,6%) kN	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ (για 0,8%) kN	ΠΕΙΡΑΜΑ- ΤΙΚΗ kN	ΔΙΑΦΟΡΑ (%)	
1 ^η πλαστική άρθρωση $M_p = M_y$	159,4		165,8	+4,0	
1 ^η πλαστική άρθρωση	201	215	198,1	+1,4	+8,4
2 ^η πλαστική άρθρωση	231	248	270,2	+17,0	+9,0

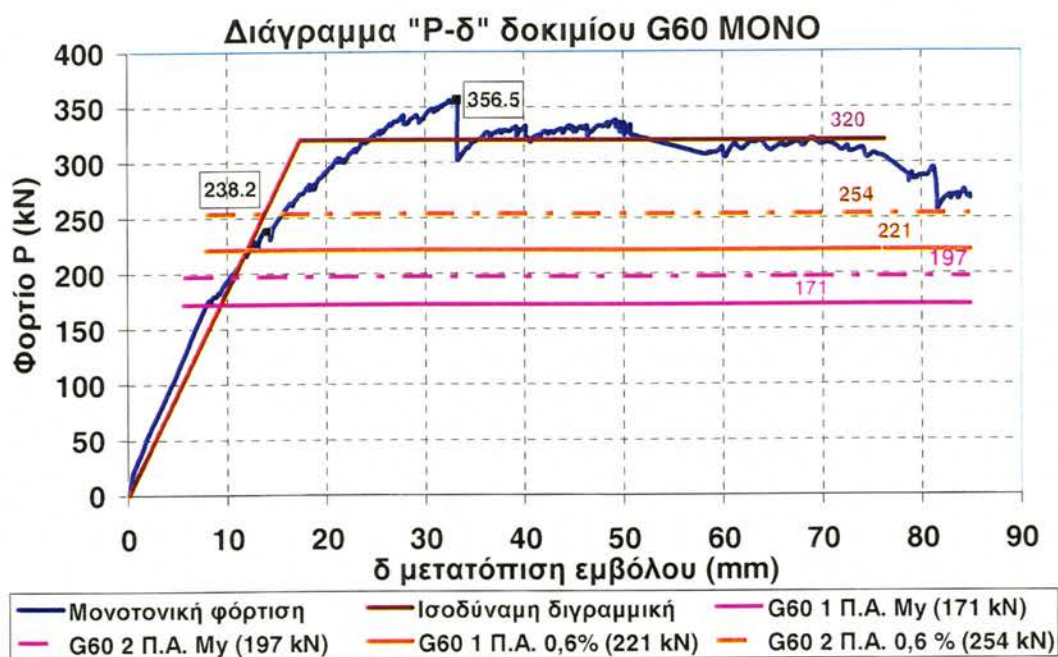
δ_y, δ_u	7,2 mm	22,4 mm
Πλαστιμότητα μ_δ	3,10	

R_y, u_y	229,3 kN	9,9 mm
Πλαστιμότητα μ_δ	2,30	

Σε αντίθεση όμως με το επόμενο δοκίμιο **G60 MONO**, παρατηρείται εδώ, για το συγκεκριμένο τρόπο ενίσχυσης των άνω και κάτω παρειών, ότι μετά που το δοκίμιο φτάνει στη μέγιστη φέρουσα ικανότητα του, υπάρχει μια σημαντική πτώση της αντοχής του (κατά 50 kN), με αποτέλεσμα η παραμένουσα αντοχή του στοιχείου να πέφτει στα επίπεδα της αντοχής του μη ενισχυμένου δοκιμίου **NEAK MONO**, όπως αυτά καθορίζονται από την εφελκυστική δύναμη κράτυνσης του συμβατικού χάλυβα, με το εγκάρσιο ΙΝΟΠ στις πλαστικές αρθρώσεις να παρεμποδίζει τυχόν φαινόμενα αποδιοργάνωσης του θλιβόμενου σκυροδέματος και λυγισμού του θλιβόμενου χάλυβα, κάτι που δεν συνέβη, όμως, στην ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Ουσιαστικά, δηλαδή, από την μονότονη συμπεριφορά διαφαίνεται ότι η ενίσχυση παύει να διαδραματίζει κάποιο ρόλο στην ανάληψη φορτίου σε πολύ μικρές παραμορφώσεις και το δοκίμιο μεταπίπτει στην μη ενισχυμένη συμπεριφορά, με διατήρηση όμως μίας σταθερής αντοχής. Αυτό παρατηρείται με ένα ιδιαίτερα ψαθυρό τρόπο αστοχίας του ενισχυμένου **C1-30 MONO** αφού και η πλαστιμότητα σε όρους μετατοπίσεων κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, σε μία τιμή κοντά στο 2,30.

8.1.3 Δοκίμιο G60 MONO



Σαν δ_u θεωρήθηκε η μετατόπιση του εμβόλου τη στιγμή που η αντοχή του δοκιμίου ήταν ίση με το 85% της μέγιστης αντοχής που καταγράφηκε. Σημειώνεται ότι το δοκίμιο δεν έφτασε ποτέ σε επίπεδα αντίστασης προς τα κάτω συγκρίσιμα με την παραμένουσα αντοχή του δοκιμίου **NEAK MONO**, παρόλο το μεγάλο σχετικό εύρος των παραμορφώσεών του (μεγαλύτερο των 85 mm).

G60 MONO	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ (για 0,6%) kN	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ (για 0,8%) kN	ΠΕΙΡΑΜΑ- ΤΙΚΗ kN	ΔΙΑΦΟΡΑ (%)	
1 ^η πλαστική άρθρωση $M_p = M_y$	171		179	+4,6	
1 ^η πλαστική άρθρωση	221	238	238	+7,6	+0
2 ^η πλαστική άρθρωση	254	273	356	+40,2	+30,4

δ_y , δ_u	8,7 mm	76.2 mm
Πλαστιμότητα μ_δ	8,70	

R_y , u_y	320,1 kN	17,25 mm
Πλαστιμότητα μ_s	4,40	

Το φορτίο που αντιστοιχεί στην πρώτη διαρροή είχε εκτιμηθεί με καλή ακρίβεια. Το δοκίμιο παρουσιάζει μια αύξηση της αντοχής του της τάξης του

40% και 30%, αντίστοιχα, σε σχέση με τις θεωρητικά αναμενόμενες αντοχές, θεωρώντας μέγιστη παραμόρφωση του G60-AR ίση με 0,6% και 0,8% παραμόρφωση του INΟΠ στον εφελκυσμό. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την αυξημένη πλαστιμότητα σε όρους μετατοπίσεων (8,70 ως προς τη διαρροή ή 4,40 σε ισοδύναμη διγραμμική συμπεριφορά) που εμφάνισε το στοιχείο [ξεπερνώντας την ελάχιστη απαίτηση που καθορίζεται από τον Ευρωκώδικα 8 (CEN, 2002) ($\mu_\delta \geq 4$)] καθιστούν τον συγκεκριμένο τρόπο ενίσχυσης ελκυστικό, συνυπολογίζοντας και το συγκριτικά χαμηλό κόστος του INΟΠ G60-AR.

Παρατηρείται επίσης για το συγκεκριμένο δοκίμιο, ότι μετά το σημείο στο οποίο το δοκίμιο φτάνει τη μέγιστη φέρουσα ικανότητα του, εμφανίζεται μία διορθωτική πτώση της αντοχής κατά 50 kN λόγω εφελκυστικής αστοχίας στην παρειά, η οποία όμως δεν οδήγησε σε ολική απομείωση της παραμένουσας αντοχής του όπως στο δοκίμιο με άνω και κάτω ενίσχυση. Έτσι, η παραμένουσα αντοχή του δοκιμίου ξεπερνά τα 300 kN, κάτι που καταδεικνύει ότι ακόμη και μετά την αρχική αστοχία σε διάρρηξη του άνω μόνο τμήματος της ενίσχυσης, το INΟΠ G60-AR εξακολουθεί να προσφέρει σημαντικά στην αντοχή της δοκού, αφού η αντοχή για δύο αρθρώσεις με συμμετοχή του INΟΠ 0,8% είναι 273 kN, και άρα, υπάρχει επαρκής ανακατανομή στην δεύτερη (εσωτερική) πλαστική άρθρωση. Μετά το σημείο της παραπάνω διόρθωσης η αντοχή της δοκού ακολουθεί φθίνουσα πορεία με μικρή αρνητική κλίση μέχρις ότου η μετατόπιση φτάσει τα 76 mm. Εκεί φαίνεται στο διάγραμμα $P-\delta$ ακόμα μια έντονη πτώση της τιμής της αντοχής που οφείλεται στην αποκόλληση του INΟΠ G60-AR από την παρειά λόγω απώλειας πρόσφυσης.

Είναι αξιοσημείωτο ότι ο συγκεκριμένος τρόπος ενίσχυσης με υφάσματα INΟΠ κατά μήκος των πλαϊνών παρειών της δοκού, εμφανίζει ένα μεγάλο συγκριτικό πλεονέκτημα αφού όχι μόνο δεν επιτρέπει στη συνολική συμπεριφορά και τοπική μορφή αστοχίας του στοιχείου να έχει ψαθυρή μορφή αλλά προσφέρει συγκρίσιμη πλαστιμότητα με τα μη ενισχυμένα

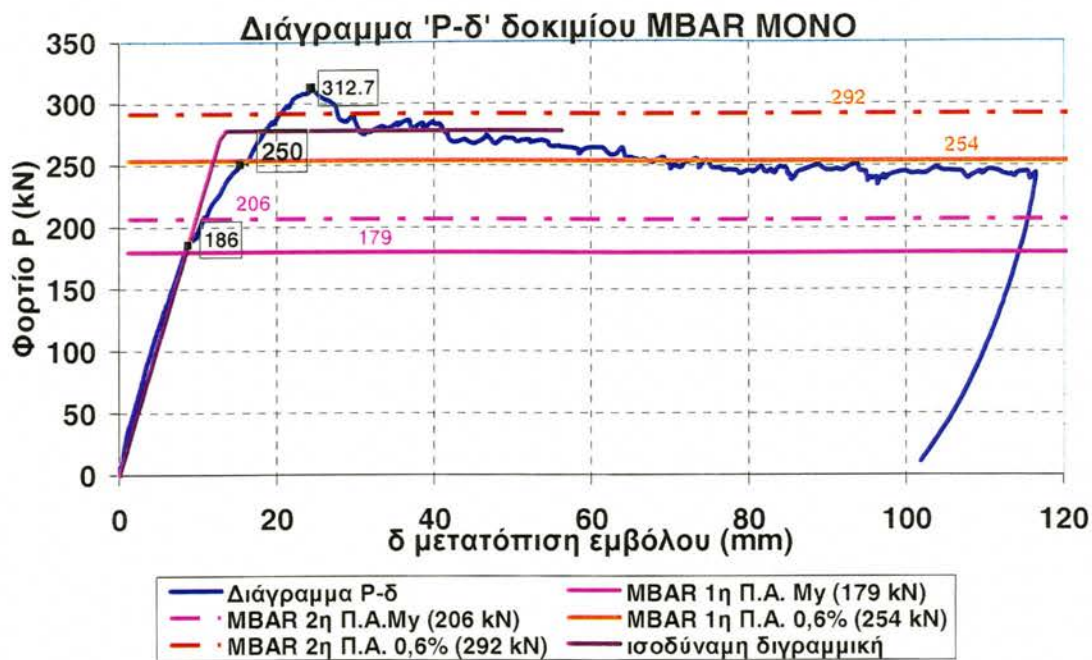
στοιχεία κατά ΕΑΚ (ΟΑΣΠ, 2000), στα οποία βασίζονται οι σημερινοί συντελεστές συμπεριφοράς σχεδιασμού των νέων κατασκευών.

Πέραν αυτού, ο συγκεκριμένος τρόπος τοποθέτησης της ενίσχυσης, όπου είναι εφικτός λόγω ομοιότητας του πλάτους της δοκού και του υποστυλώματος, ξεπερνά τις τεχνικές δυσκολίες που έχει η ενίσχυση των άνω και κάτω παρειών δοκών ΟΣ (αγκύρωση άνω και κάτω στα υποστυλώματα, έλλειψη συνέχειας στον κόμβο λόγω του υποστυλώματος, μεσολάβηση της πλάκας). Στις περιπτώσεις αυτές, για την συμβατική τοποθέτηση των άνω και κάτω ενισχύσεων απαιτούνται να γίνουν εκτεταμένες τροποποιήσεις τόσο στην πλάκα όσο και στα υποστυλώματα, με αμφίβολη δυνατότητα επάρκειας αγκύρωσης, κάτι που αποφεύγεται όταν οι ενισχύσεις αφορούν τμήματα στοιχείων που ούτως ή άλλως είναι εκτεθειμένα, όπως είναι οι πλαϊνές παρειές των δοκών.

8.1.4 Δοκίμιο MBAR MONO

Στο δοκίμιο **MBAR MONO** η πρόβλεψη της πρώτης διαρροής ήταν απόλυτα επιτυχημένη αλλά και εδώ, όπως σε όλα τα ενισχυμένα δοκίμια, η φέρουσα ικανότητα που αναπτύχθηκε ξεπέρασε αυτήν που είχε προεκτιμηθεί (δύο αρθρώσεις σε παραμόρφωση 0,6%) κατά +7,2%. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι με τιμή παρεχόμενης παραμόρφωσης ίση με 0,8% από τις ράβδους ΙΝΟΠ (στην ακρότατη στάθμη τους) προσεγγίζεται καλύτερα η μέγιστη πειραματική φέρουσα ικανότητα των δοκιμών που ενισχύονται με τα σύνθετα υλικά του συγκεκριμένου τύπου, σε ποσοστό -5,5%.

Η ενίσχυση με ράβδους Mbar κρίνεται ιδιαίτερα αποτελεσματική αφού προσδίδει αύξηση της φέρουσας ικανότητας σε σχέση με τη μη ενισχυμένη δοκό **NEAK MONO** ως και 39% ενώ καλύπτει τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 8 (CEN, 2002) σχετικά με τις απαιτήσεις πλαστιμότητας της δοκού, αφού δίνει τιμή 4,2 έως 6,4 σε ισοδύναμη ελαστοπλαστική και πραγματική συμπεριφορά, με βάση το κριτήριο του 85% της απομείωσης της αντοχής. Επίσης, σε αντίθεση με τις μεθόδους που συγκρίθηκαν, η πτώση της



MBAR MONO	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ (για 0,6%) kN	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ (για 0,8%) kN	ΠΕΙΡΑΜΑ- ΤΙΚΗ kN	ΔΙΑΦΟΡΑ (%)	
1 ^η πλαστική άρθρωση $M_p = M_y$	179,4		186	+3,7	
1 ^η πλαστική άρθρωση	253,6	287,8	250	-1,4	-13,1
2 ^η πλαστική άρθρωση	291,6	330,9	312,7	+7,2	-5,5

δ_y , δ_u	8,7 mm	56,0 mm
Πλαστιμότητα μ_δ	6,40	

R_y , u_y	277,4 kN	13,0 mm
Πλαστιμότητα μ_δ	4,20	

αντοχής του δοκιμίου μετά που το φορτίο φτάνει στη μέγιστη τιμή του, πραγματοποιείται με πολύ πιο ομαλό τρόπο, σε μια παραμένουσα αντοχή τουλάχιστον ίση με . Υστερεί μεν σε σχέση με την ενίσχυση με **G60 MONO** σε προσφορά πλαστιμότητας, αλλά υπερτερεί σαφώς έναντι της ενίσχυσης με ΙΝΟΠ τύπου C1-30.

8.1.5 Σύγκριση των τριών εναλλακτικών τρόπων ενίσχυσης

Ακολουθεί η σύγκριση των πλαστιμοτήτων βάσει των τριών τρόπων ενίσχυσης μεταξύ τους και με την ελάχιστη που επιτεύχθη στο μη ενισχυμένο δοκίμιο **NEAK MONO** (Πίνακας 8.1).

Γενικά και οι τρεις μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση των δοκιμίων κρίνονται αποδοτικές με κάποιες διακυμάνσεις μεταξύ τους. Έδωσαν αύξηση της αντοχής από 20% μέχρι 60%¹ ενώ, όπως έχει αποδειχτεί σε άλλες πειραματικές έρευνες, όσο μειώνεται το ποσοστό του διαμήκους εφελκυσμένου χάλυβα, αυξάνεται η υπεραντοχή λόγω της εξωτερικής ενίσχυσης με ΙΝΟΠ και μπορεί να ξεπεράσει ακόμα και το 100 % της αρχικής αντοχής. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν πρόκειται για κατασκευές όπου υπάρχουν παραλείψεις στον οπλισμό ή όταν έχουν αυξηθεί οι απαιτήσεις από άποψη φορτίων.

Πίνακας 8.1 Σύγκριση της φέρουσας ικανότητας (ΦΙ) μεταξύ των NEAK , G60 , C1-30 και MBAR MONO			
NEAK MONO	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ	ΔΙΑΦΟΡΑ ΦΙ ΑΠΟ NEAK (%)	Πλαστιμότητα $\mu\delta$
1 ^η πλαστική άρθρωση	152,7	-	3,70 / 2,70*
Φέρουσα Ικανότητα	226	-	
C1-30 MONO			
1 ^η πλαστική άρθρωση	165,8	+8,6	3,10 / 2,30
Φέρουσα Ικανότητα	270,2	+19,5	
G60 MONO			
1 ^η πλαστική άρθρωση	179	+17,2	8,70 / 4,40
Φέρουσα Ικανότητα	356	+57,5	
MBAR MONO			
1 ^η πλαστική άρθρωση	186	+21,8	6,40 / 4,20

Οι ίδιες παρατηρήσεις ισχύουν και για την ισοδύναμη ελαστοπλαστική συμπεριφορά της κάθε ενισχυμένης δοκού, όπου συγκρίνονται οι ισοδύναμες ενεργειακά πλαστιμότητες της κάθε μεθόδου ενίσχυσης. Γενικά, παρατηρείται

¹ Οι εναλλακτικές μέθοδοι ενίσχυσης δεν μπορούν να συγκριθούν ως προς την υπεραντοχή αφού δε σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να αντιστοιχούν σε κοινές οριακές ροπές αντοχής.

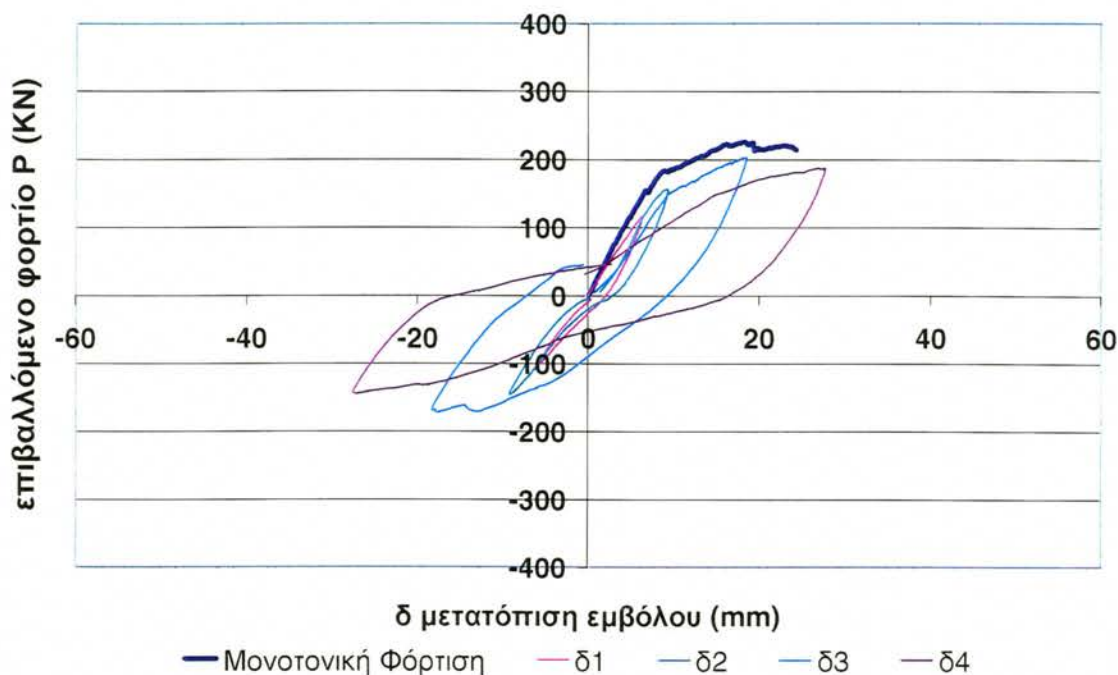
μία μείωση κατά 30% της παρεχόμενης πλαστιμότητας (με εξαίρεση το εύκαμπτο **G60 MONO**), αν και οι αναλογίες μεταξύ δοκιμών τηρούνται και σε αυτή της περίπτωση.

Η καμπτική ενίσχυση με τοποθέτηση στις πλαϊνές παρειές του δοκιμίου του υαλονήματος G60-AR αποδεικνύεται ότι είναι η αποτελεσματικότερη μέθοδος ενίσχυσης από τις τρεις που δοκιμάστηκαν. Η πλαστιμότητα που αναπτύχθηκε ήταν μεγαλύτερη από όλα τα συγκρινόμενα δοκίμια, ενώ η ενίσχυση με C1-30 στην άνω και κάτω παρειά του αποδείχθηκε η χειρότερη. Τέλος, η ενίσχυση με ράβδους Mbar έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα ενίσχυσης και πλαστιμότητα μεγαλύτερη από αυτή του C1-30. Λαμβάνοντας υπόψη και το ότι η συγκεκριμένη μέθοδος έχει όμως πρόσθετες διαδικασίες τοποθέτησης (χαραγές κλπ.), προκύπτει ότι η εν λόγω μέθοδος, αν και βελτιωμένη, παρουσιάζει αρκετά προβλήματα εφαρμογής. Σημειώνεται πάντως ότι οι ράβδοι από INOP μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν εσωτερικός οπλισμός του σκυροδέματος, αντικαθιστώντας το χάλυβα, σε περιπτώσεις υψηλής περιβαλλοντικής καταπόνησης.

8.2 Σύγκριση μεταξύ μονοτονικής και ανακυκλιζόμενης φόρτισης

Στην Ενότητα αυτή γίνεται σύγκριση των αποκρίσεων μεταξύ του κάθε ζεύγους δοκιμών, με όμοιο οπλισμό και μεθοδολογία ενίσχυσης, τα οποία καταπονήθηκαν υπό μονοτονική ή ανακυκλιζόμενη φόρτιση αντίστοιχα. Η σύγκριση της απόκρισης περιλαμβάνει, εκτός από τα διαγράμματα φορτίου - μετατόπισης «P-δ» που έδωσαν τα πειράματα για κάθε ζεύγος δοκιμών, σύγκριση της πλαστιμότητας και της μέσης δυσκαμψίας σε μονοτονική και ανακυκλιζόμενη φόρτιση, μεταξύ των διαδοχικών κύκλων. Για περισσότερη ευκρίνεια, σε περιπτώσεις διαδοχικών πολλαπλών βρόχων που αντιστοιχούν σε ίσες επιβαλλόμενες μετατοπίσεις, απεικονίζονται στο διάγραμμα οι βρόχοι εκείνοι που απέδωσαν τη μεγαλύτερη αντίσταση.

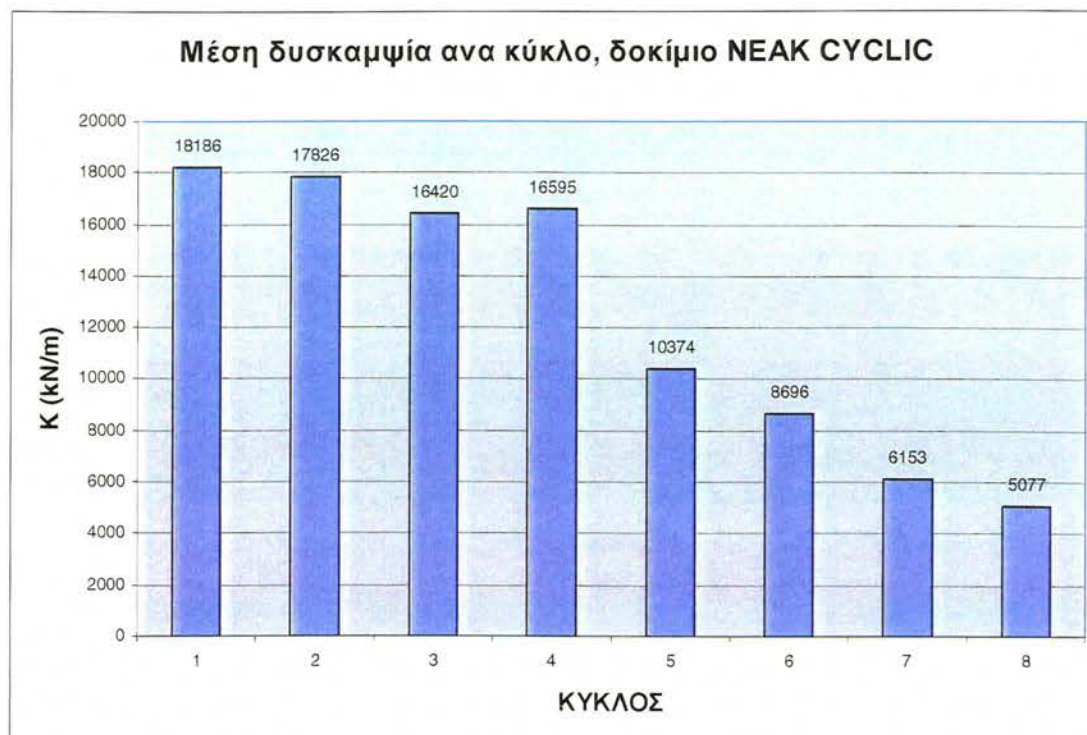
8.2.1 Δοκίμια NEAK MONO και NEAK CYCLIC



Σχήμα 8.1.1 Σύγκριση δοκιμών NEAK MONO και NEAK CYCLIC.

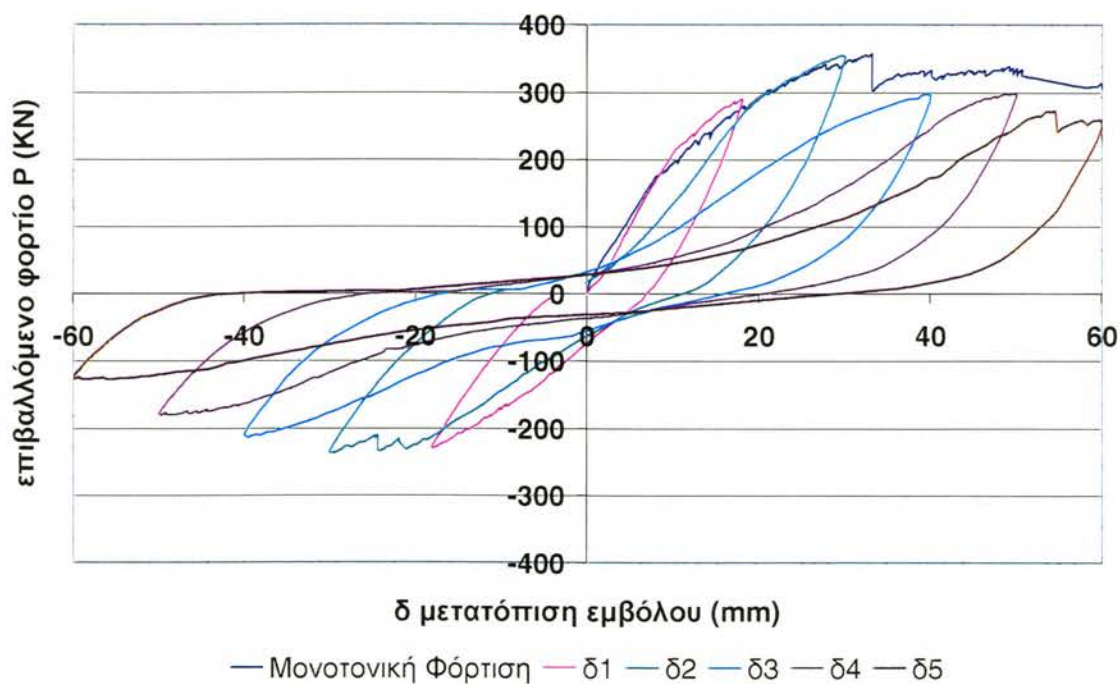
Η δυσκαμψία του δοκιμίου **NEAK CYCLIC** είναι εξαρχής από τους πρώτους βρόχους κιόλας μικρότερη από αυτή του **NEAK MONO**. Όμως, η εφαπτομενική δυσκαμψία μετά τη δημιουργία της πρώτης άρθρωσης που δημιουργείται στον 5^ο βρόχο (δ3), είναι και για τα δύο δοκίμια να είναι ίδια. Η μέση δυσκαμψία μειώνεται ανάλογα με τον αριθμό των ανακυκλίσεων που επιβάλλονται στο δοκίμιο, όπως δείχνεται στο Σχήμα 8.1.2. Επίσης το **NEAK CYCLIC** φτάνει σε μικρότερη μέγιστη αντοχή από αυτή του **NEAK MONO** λόγω επιρροής της ανακύκλισης.

Οι μέγιστες τιμές του φορτίου αντίστασης που μετρήθηκαν σε κάθε βρόχο δείχνονται στον Πίνακα 6.2.1 και δεν επαναλαμβάνονται εδώ. Το δοκίμιο **NEAK CYCLIC** είχε κατά 9% μικρότερη αντοχή από το **NEAK MONO**. Μετά την διαρροή του **NEAK CYCLIC** η φέρουσα ικανότητα του έπεσε κάτω από το 85% της μέγιστης του στον όγδοο κύκλο.



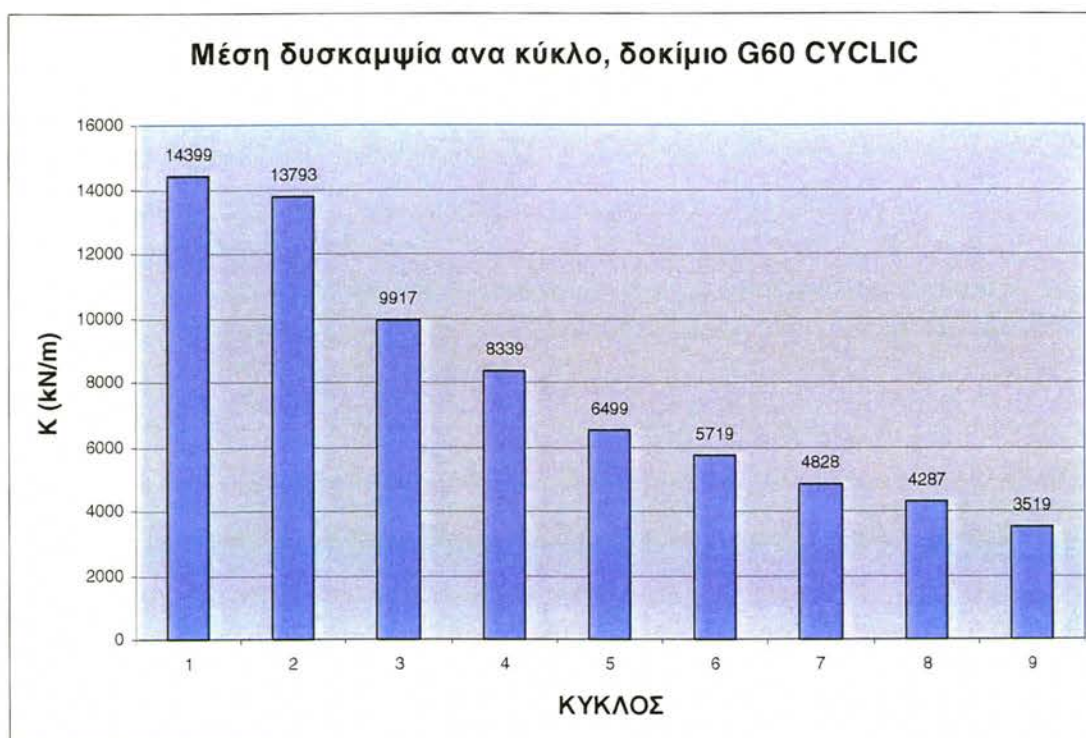
Σχήμα 8.1.2 Διάγραμμα μέσης δυσκαμψίας δοκιμίου NEAK CYCLIC.

8.2.2 Δοκίμια G60 MONO- G60 CYCLIC



Σχήμα 8.2.1 Διάγραμμα σύγκρισης δοκιμών G60 MONO με G60 CYCLIC.

Η δυσκαμψία του **G60 CYCLIC** είναι ίδια με αυτήν του **G60 MONO** μέχρι και τον τέταρτο κύκλο. Από τον πέμπτο κύκλο (δ_3) και έπειτα, εκτός από την μείωση της φέρουσας ικανότητας του δοκιμίου παρατηρείται και σημαντική μείωση της μέσης δυσκαμψίας του. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του Σχήματος 8.2.2, η δυσκαμψία του **G60 CYCLIC** συνεχίζεται να μειώνεται μέχρι και το τέλος του πειράματος. Χαρακτηριστικός είναι ο τελευταίος βρόχος (δ_5) κατά τον οποίο, το δοκίμιο για επιβαλλόμενη μετατόπιση 20 cm έχει σχεδόν μηδενική ακαμψία (πλήρης ολίσθηση). Αξιοσημείωτη είναι η σημαντική μείωση της αντοχής του δοκιμίου κατά τις επαναφορτίσεις (αρνητικές τιμές βρόχων).

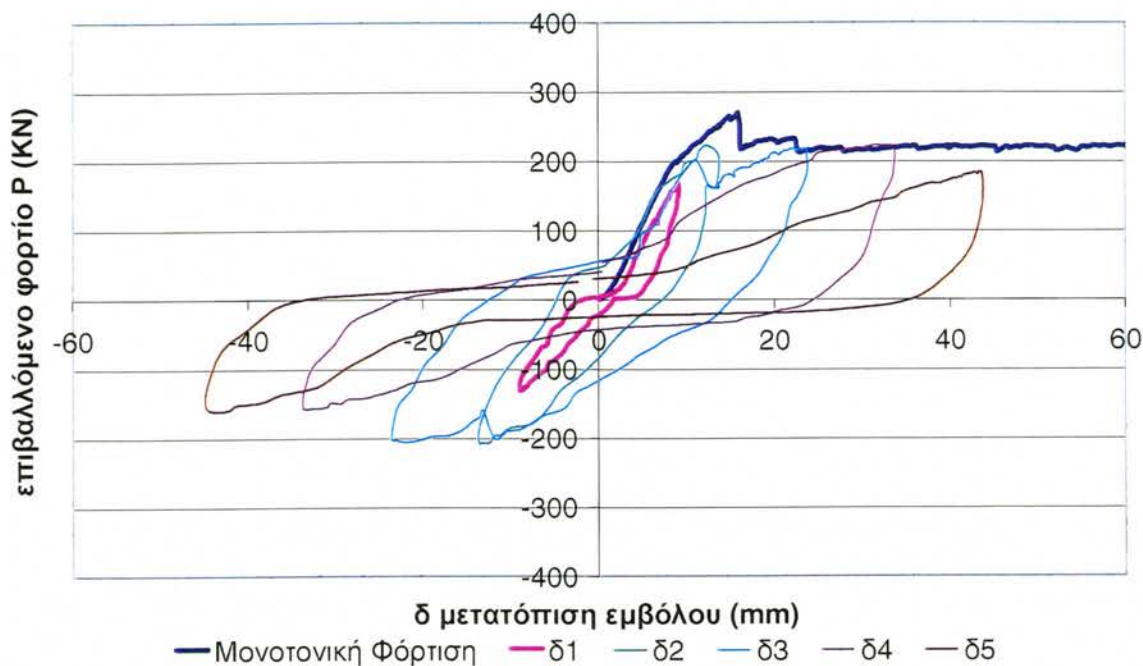


Σχήμα 8.2.2 Διάγραμμα μέσης δυσκαμψίας δοκιμίου **G60 CYCLIC**.

Το δοκίμιο **G60 CYCLIC** απέδωσε την ίδια αντοχή με το δοκίμιο **G60 MONO** (διαφορά 1%). Στον 4^ο κύκλο (δ_2), η φέρουσα ικανότητα του **G60 CYCLIC** έπεσε αμέσως κάτω από το 85% της μέγιστης. Η φέρουσα ικανότητα (< 85% μέγιστης) συνέχισε να μειώνεται με εξαίρεση τον 7^ο κύκλο (δ_4). Το δοκίμιο **G60 CYCLIC** δεν ακολούθησε, δηλαδή, την συμπεριφορά του **G60 MONO** όπου μετά την απότομη πτώση της αντοχής του (λόγω αστοχίας του ΙΝΟΠ σε διάρρηξη) παρατηρήθηκε αύξηση της φέρουσας ικανότητας του. Κατά τον

έννατο κύκλο (δ_5), η φέρουσα ικανότητα έφτασε το 76% της μέγιστης και αμέσως μετά παρατηρήθηκε απότομη πτώση της αντοχής, λόγω απώλειας πρόσφυσης, κατά μήκος της παρειάς, στο μη εγκάρσια ενισχυμένο τμήμα (Πίνακας 6.4.1).

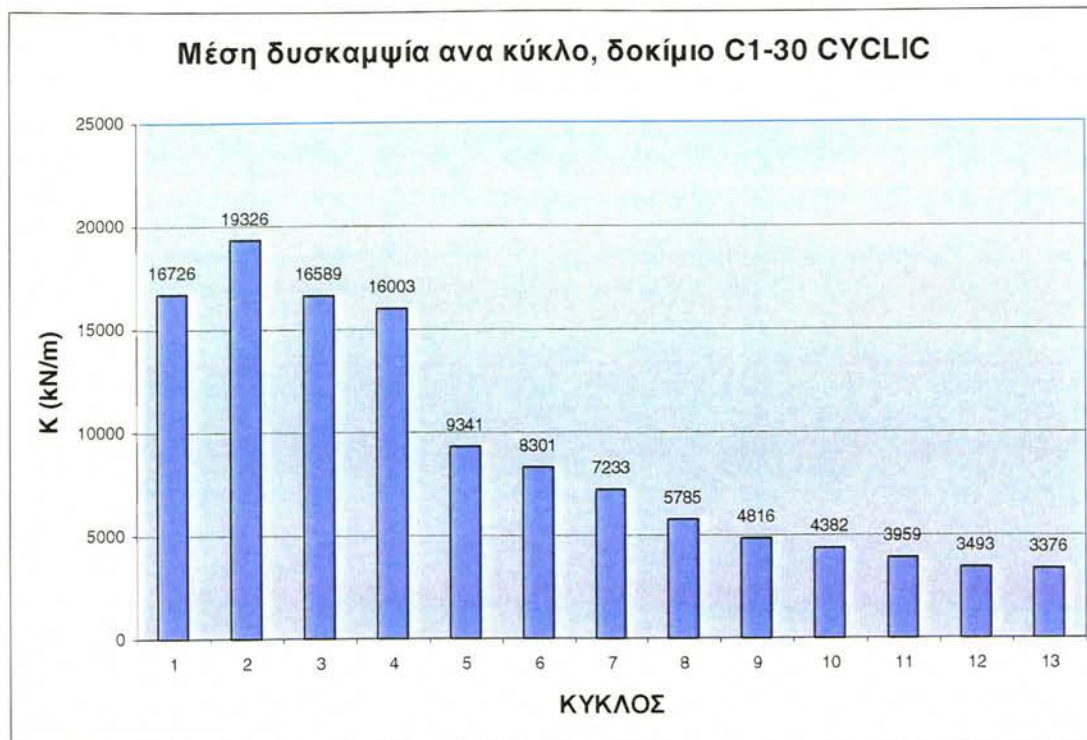
8.2.3 Δοκίμια C1-30 MONO-C1-30 CYCLIC



Σχήμα 8.3.1 Διάγραμμα σύγκρισης της πειραματικής απόκρισης των δοκιμών C1-30 MONO και C1-30 CYCLIC.

Η δυσκαμψία του C1-30 CYCLIC ακολουθεί αυτή του C1-30 MONO μέχρι και τον πέμπτο κύκλο (δ_3) όπου παρατηρείται μείωση της ακαμψίας λόγω αποδιοργάνωσης του δοκιμίου. Από το σημείο αυτό και έπειτα η μειωμένη ακαμψία του C1-30 CYCLIC παραμένει σταθερή μέχρι το δέκατο τρίτο κύκλο (δ_5) οπότε μειώνεται ακόμα περισσότερο (Σχήμα 8.3.2).

Οι μέγιστες τιμές του φορτίου αντίστασης που μετρήθηκαν σε κάθε βρόχο δείχνονται στον Πίνακα 6.6.1. Το C1-30 CYCLIC είχε σημαντικά μικρότερη αντοχή από το C1-30 MONO (διαφορά 17%). Αυτό συνέβη γιατί κατά τον πέμπτο κύκλο (δ_3), η κρίσιμη ζώνη στο δοκίμιο C1-30 αποδιοργανώθηκε πλήρως και παράλληλα παρατηρήθηκε λυγισμός των διαμήκων ράβδων, πριν



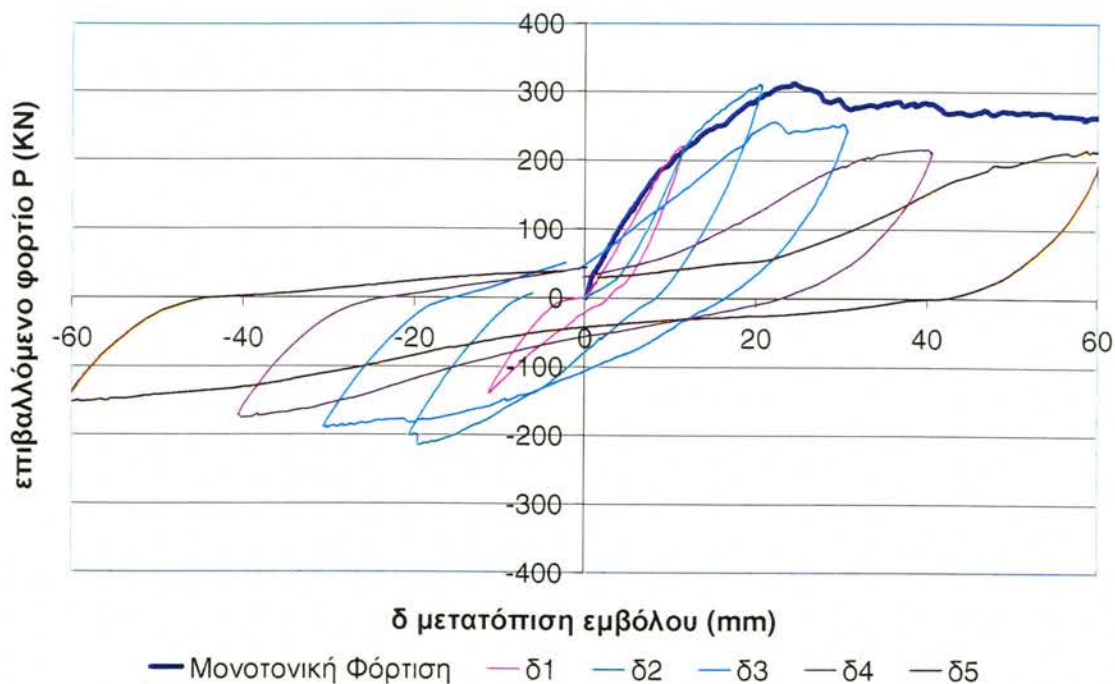
Σχήμα 8.3.2 Διάγραμμα μέσης δυσκαμψίας δοκιμίου C1-30 CYCLIC.

αυτό φτάσει την αντοχή που ανέπτυξε το δοκίμιο C1-30 MONO. Έπειτα από την πτώση της φέρουσας ικανότητας, το δοκίμιο λειτούργησε ως «γυμνό» δοκίμιο φτάνοντας σε παραμένουσα αντοχή σχεδόν ίδια με αυτή του NEAK MONO και NEAK CYCLIC.

8.2.4 Δοκίμια MBAR MONO- MBAR CYCLIC

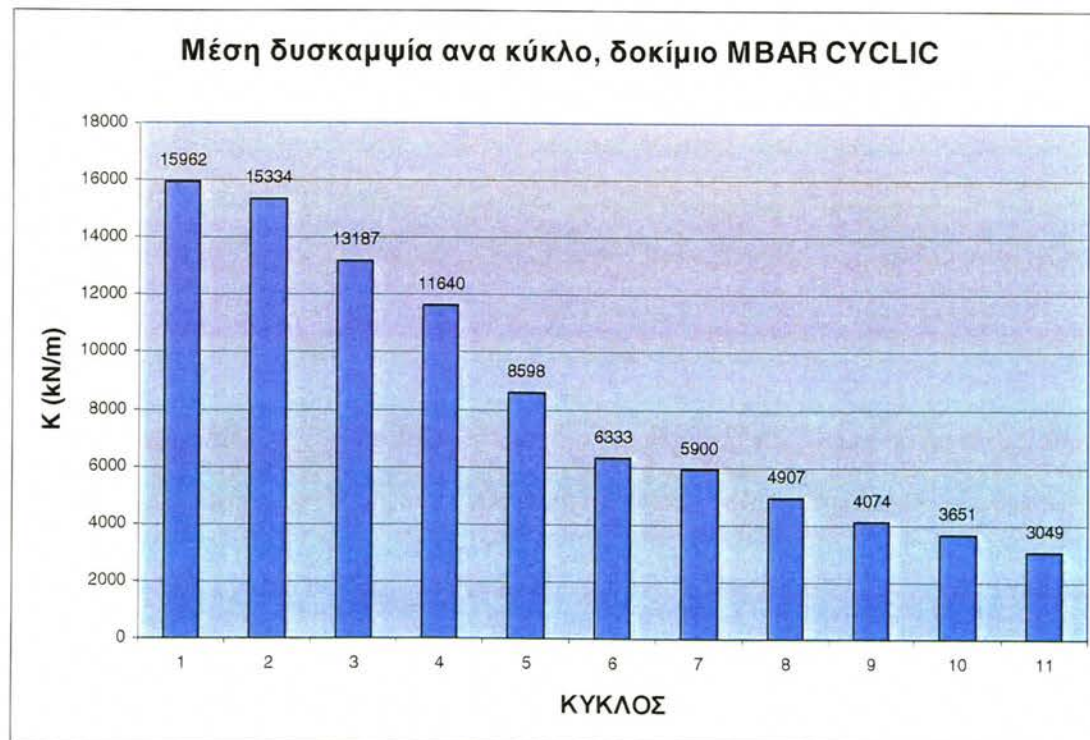
Η δυσκαμψία του MBAR CYCLIC ακολουθεί αυτή του MBAR MONO μέχρι και τον τρίτο κύκλο φόρτισης (δ_2). Από τον πέμπτο κύκλο (δ_3) και μετά, στον οποίο καταγράφεται και η διαρροή του δοκιμίου, ξεκίνησε η μείωση της δυσκαμψίας η οποία συνεχίστηκε μέχρι και το τέλος του πειράματος (Σχήμα 8.4.2).

Οι μέγιστες τιμές του φορτίου αντίστασης που μετρήθηκαν σε κάθε βρόχο δείχνονται στον Πίνακα 6.8.1. Το δοκίμιο MBAR CYCLIC ανέπτυξε ακριβώς την ίδια φέρουσα ικανότητα με το MBAR MONO. Όμως τη στιγμή που αναπτύχθηκε η φέρουσα ικανότητα, μειώθηκε κατά πολύ η αντοχή του με αποτέλεσμα στον 5^ο μόλις κύκλο να πέσει κάτω από το 85% της μέγιστης. Η αντοχή του συνέχισε να μειώνεται μέχρι το τέλος του πειράματος. Εν



Σχήμα 8.4.1 Γράφημα σύγκρισης δοκιμών **MBAR MONO** και **MBAR CYCLIC**.

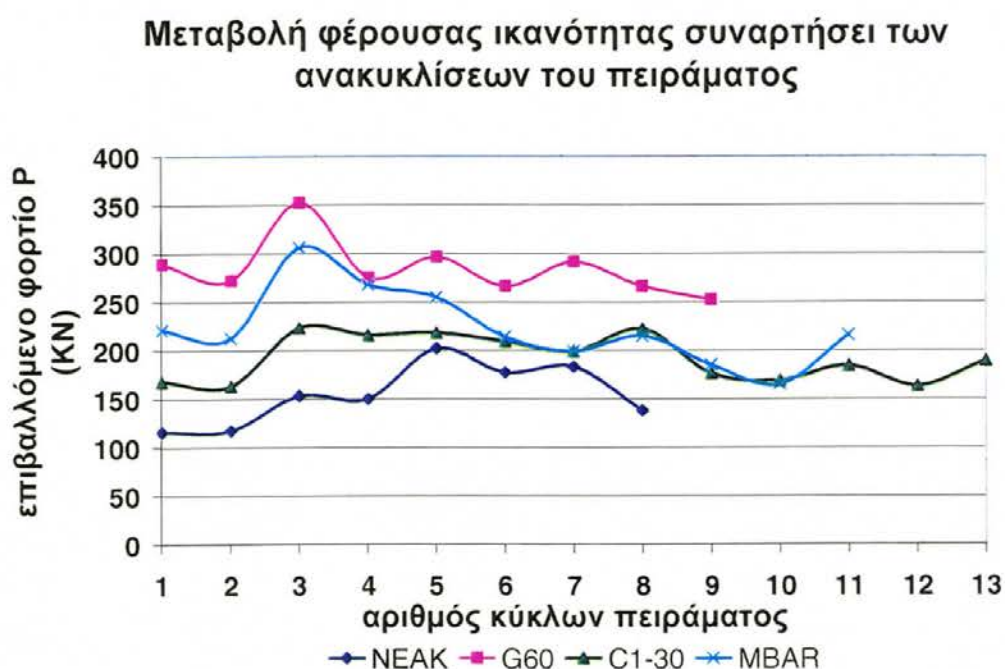
κατακλείδι, για το δοκίμιο **MBAR CYCLIC** η φέρουσα ικανότητα ήταν ίδια με αυτή του **MBAR MONO**, αλλά η αντοχή του παρουσίασε τα μεγαλύτερα ποσοστά απομείωσης (μέχρι και 46%) από όλα τα δοκίμια που καταπονήθηκαν υπό ανακυκλίζόμενη φόρτιση.



Σχήμα 8.4.2 Διάγραμμα μέσης δυσκαμψίας δοκιμίου **C1-30 CYCLIC**.

8.3 Επιρροή της ανακύκλισης στη φέρουσα ικανότητα

Από τις τιμές των πινακοποιημένων αποτελεσμάτων ανά κύκλο στο Κεφάλαιο 6, σχεδιάστηκε το παρακάτω διάγραμμα του Σχήματος 8.5 που παρουσιάζει την μεταβολή του μέγιστου καταγεγραμμένου φορτίου του εκάστοτε δοκιμίου που καταπονήθηκε υπό ανακυκλιζόμενο φορτίο, συναρτήσει του αριθμού των ανακυκλίσεων, ανεξάρτητα από το μέγιστο βέλος παραμόρφωσης.



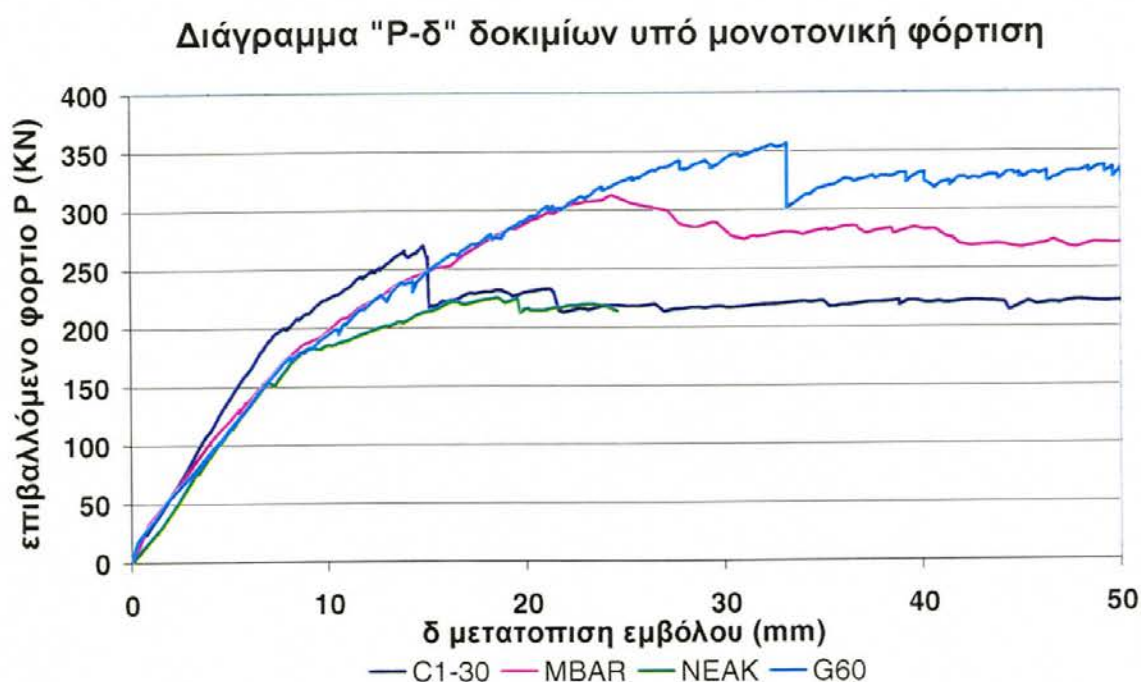
Σχήμα 8.5 Μεταβολή της φέρουσας ικανότητας συναρτήσει των κύκλων φόρτισης.

Από τη μεταβολή της μέγιστης καταγραφής μετά την μέγιστη του κάθε πειράματος, στο Σχήμα 8.5, παρατηρείται πως η μεγαλύτερη σταδιακή απομείωση της φέρουσας ικανότητας γίνεται στο δοκίμιο **MBAR CYCLIC** ενώ στο **C1-30** η Φ.Ι παραμένει σχεδόν σταθερή. Όπως σημειώθηκε και πιο πάνω, η ενίσχυση έπαψε να υφίσταται μετά από τους πρώτους κύκλους. Έτσι το δοκίμιο **C1-30 CYCLIC** συμπεριφέρθηκε μετά ως μη ενισχυμένο κάτι που φαίνεται και από τη σχεδόν ταύτιση των τιμών της φέρουσας ικανότητας του με αυτών του δοκιμίου **NEAK MONO**. Το δοκίμιο **G60 CYCLIC** έχασε απότομα μέρος της φέρουσας ικανότητας του στο 4^ο κύκλο, αλλά από εκεί και πέρα αυτή παραμένει σχετικά σταθερή και σημαντικά μεγαλύτερη από ότι

στα υπόλοιπα δοκίμια. Η επιρροή, άρα, της σταδιακής απώλειας της αγκύρωσης των ράβδων ΙΝΟΠ στη συγκριτική συμπεριφορά των δύο πλαϊνά οπλισμένων δοκιμίων (MBAR και G60 CYCLIC) είναι εμφανής.

8.4 Σύγκριση των περιβαλλουσών P - δ των δοκιμίων MONO

Οι ονομαστικές καμπτικές δυσκαμψίες (EI_f) των τριών μεθόδων ενίσχυσης είναι ίσες με 607, 479 και 744 kNm^2 , για τις τρεις μεθόδους C1-30, G60, και MBAR, αντίστοιχα. Η σχετική επιρροή τους είναι, αναμενόμενα, εμφανής, μόνο μετά από την αρχική ρηγμάτωση του σκυροδέματος, λόγω της αρχικά μεγάλης δυσκαμψίας του σκυροδέματος (σε αναλογία 50/1). Από την σύγκριση των τεσσάρων δοκιμίων (Σχήμα 8.6) που καταπονήθηκαν υπό μονοτονική φόρτιση παρατηρούνται τα ακόλουθα συμπεράσματα :



Σχήμα 8.6 Συγκριτική μονοτονική συμπεριφορά των τεσσάρων δοκιμίων.

Η ενίσχυση στην άνω και κάτω παρειά του δοκιμίου (C1-30 MONO) προσδίδει μεγαλύτερη καμπτική δυσκαμψία από ότι οι άλλες μορφές ενίσχυσης, και λόγω θέσης και λόγω του τριπλάσιου μέτρου ελαστικότητας μεταξύ των δύο υφασμάτων ΙΝΟΠ που χρησιμοποιήθηκαν. Αντίθετα, οι άλλες δυο μορφές ενίσχυσης, η πλαϊνή ενίσχυση (G60 MONO) και η ενίσχυση

με ράβδους ΙΝΟΠ (**MBAR MONO**) εμφανίζουν την ίδια δυσκαμψία με το μη ενισχυμένο δοκίμιο ελέγχου.

Στις ενισχύσεις με υφάσματα (**G60 MONO**, **C1-30 MONO**) η φέρουσα ικανότητα μειώνεται απότομα, αν και σε μικρότερο ποσοστό για το **G60 MONO**, όταν το δοκίμιο φθάσει στην μέγιστη αντοχή του. Τα ΙΝΟΠ συμπεριφέρονται ελαστικά σε εφελκυσμό μέχρι την αστοχία τους, που προκαλείται είτε λόγω διάρρηξης του νήματος είτε λόγω απώλειας της πρόσφυσης ΙΝΟΠ-σκυροδέματος (Φωτογραφία 8.1). Έτσι η μείωση της φέρουσας ικανότητας τους, μετά την αστοχία, είναι απότομη και χωρίς προειδοποίηση. Σε αντίθεση με τα υφάσματα, οι ράβδοι από ΙΝΟΠ Mbar με τις οποίες ενισχύθηκε το δοκίμιο **MBAR MONO** παραμορφώνονται ελαστικά τόσο σε εφελκυσμό όσο και σε θλίψη, αλλά αδυνατούν να παράσχουν οποιαδήποτε αντίσταση στην εγκάρσια παραμόρφωση δράσης βλήτρου (Φωτογραφία 8.2). Σαν αποτέλεσμα, συνεχίζουν να έχουν φέρουσα ικανότητα κάτι που συνεπικουρεί στην ομαλή μείωση της φέρουσας αντοχής του δοκιμίου, μείωση η οποία οφείλεται περισσότερο στην αστοχία λόγω ολίσθησής τους σε μεγαλύτερο μήκος αγκύρωσης.



Φωτογραφία 8.1 ΙΝΟΠ C1-30 μετά την αστοχία του.



Φωτογραφία 8.2 Ράβδος ΜΒΑΡ μετά την αστοχία της.

Το δοκίμιο με την άνω και κάτω ενίσχυση (**C1-30 MONO**) μετά την αστοχία του διαθέτει φέρουσα ικανότητα ίση με τη αυτήν του μη ενισχυμένου δοκιμίου (**NEAK MONO**). Μετά την πλήρη εφελκυστική αστοχία του ΙΝΟΠ C1-30 στην άνω παρειά, το δοκίμιο συμπεριφέρεται ως μη ενισχυμένο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πως όσο και αν ενισχυθεί το δοκίμιο, στη περίπτωση

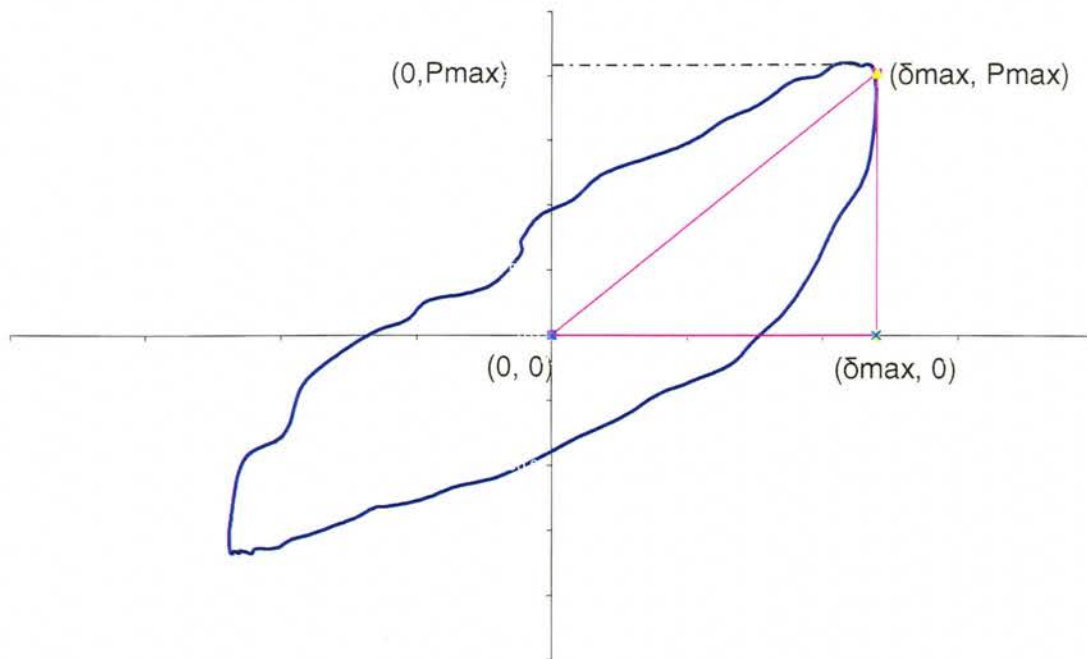
αστοχίας του INOΠ στην κρίσιμη περιοχή, η ενίσχυση παύει συνολικά να υφίσταται και δεν ανακατανέμονται οι τάσεις. Στα δοκίμια με τις δύο άλλες μορφές ενίσχυσης, παρόλο που μειώθηκε η φέρουσα ικανότητα μετά την επίτευξη της μέγιστης αντοχής, η φέρουσα ικανότητα που διατηρήθηκε ήταν σημαντικά μεγαλύτερη αυτής σε μεγάλες παραμορφώσεις.

Η εξωτερική ενίσχυση δεν αύξησε την δυσκαμψία στα δοκίμια εκτός από το δοκίμιο **C1-30 MONO** (μέχρι το σχηματισμό της πρώτης πλαστικής άρθρωσης). Σε άλλα πειράματα που έχουν γίνει σε δοκίμια ενισχυμένα με INOΠ υφασμάτων στην άνω και κάτω παρειά (Alagusundaramoorthy, Harik and Choo, 2003) είχε ομοίως παρατηρηθεί μικρή αύξηση της δυσκαμψίας μετά τη ρηγμάτωση. Η αύξηση αυτή της δυσκαμψίας του εν λόγω δοκιμίου σε σχέση με το δοκίμιο ελέγχου **NEAK MONO**, ήταν 10% περίπου. Στα άλλα δύο ενισχυμένα δοκίμια, όπου εφαρμόστηκε πλαϊνή ενίσχυση (**G60 MONO**, **MBAR MONO**), η δυσκαμψία δεν αυξήθηκε, και η πορεία της ακολούθησε ακριβώς την πορεία της δυσκαμψίας του μη ενισχυμένου δοκιμίου μέχρι την πρώτη πλαστική άρθρωση.

8.5 Σύγκριση απορρόφησης ανελαστικής ενέργειας κατά τις ανακυκλίσεις

Το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης « β » λόγω απορρόφησης υστερετικής ενέργειας (Chopra, 1995) σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση υπολογίστηκε από τους πειραματικούς βρόχους υστέρησης των δοκιμίων **CYCLIC**, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση του Σχήματος 8.7, όπου και ορίζονται τα απαραίτητα εμβαδά κάθε βρόχου ($E_{\text{βρόχου}}$) και τριγώνου ($E_{\text{τριγώνου}}$) για κάθε κύκλο.

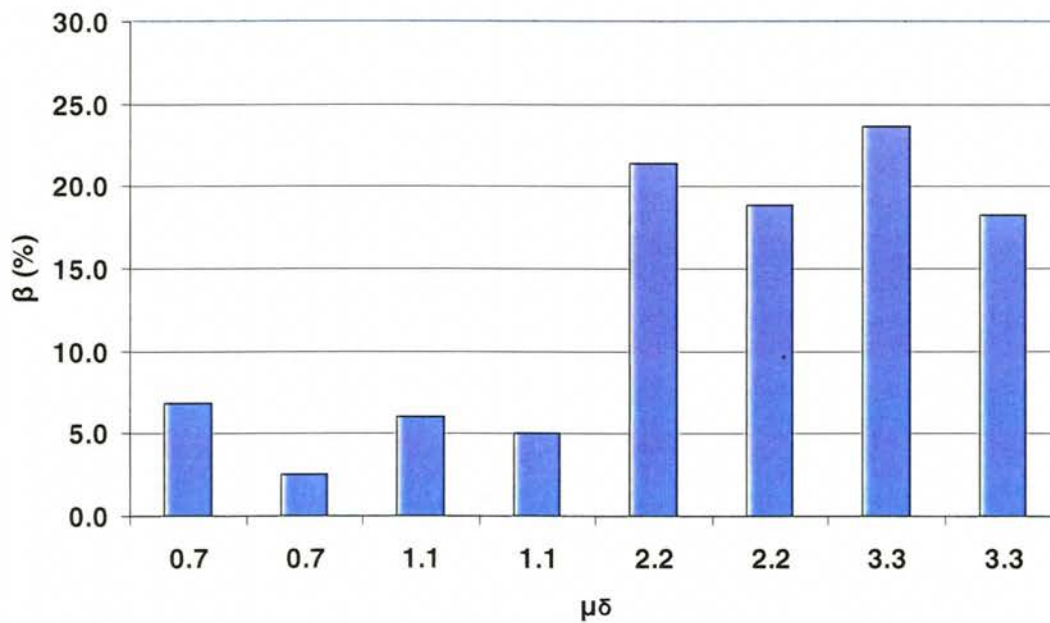
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται με τη μορφή ιστογραμμάτων, οι αδιάστατοι συντελεστές ισοδύναμης κρίσιμης απόσβεσης της απορροφόμενης ενέργειας σε σταθερή ανακύκλιση, β , όπως υπολογίσθηκαν με την παραπάνω μέθοδο, για το κάθε ένα δοκίμιο.



$$\beta = \frac{1}{4\pi} * \frac{E_{\text{βρόχου}}}{E_{\text{τριγώνου}}}$$

Σχήμα 8.7 Ενδεικτική παράσταση υπολογισμού ποσοστού κρίσιμης απόσβεσης λόγω απορρόφησης υστερητικής ενέργειας (β).

8.5.1 Δοκίμιο NEAK CYCLIC

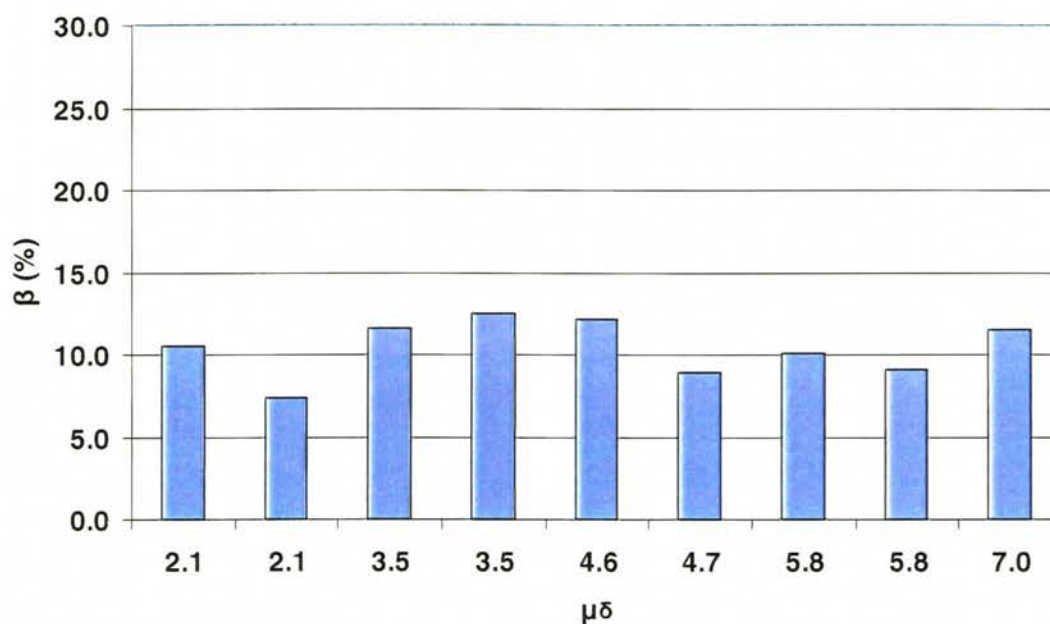


Σχήμα 8.8 Ιστόγραμμα «β», δοκίμιο NEAK CYCLIC.

NEAK CYCLIC	Αριθμός Βρόχων	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
	β (%)	6,8	2,5	6,0	5,0	21,3	18,9	23,6	18,2
	Πλαστιμότητα	0,7	0,7	1,1	1,1	2,2	2,2	3,3	3,3

Από το διάγραμμα του Σχήματος 8.8 φαίνεται ότι μεταξύ των βρόχων που αντιστοιχούν στην ίδια μέγιστη μετατόπιση το « β » πήρε τη μικρότερη τιμή του στους βρόχους που πραγματοποιήθηκαν πρώτα, όπως και αναμενόταν, σε επίπεδο 5%, σύμφωνα και με τα επίπεδα σχεδιασμού του ΕΑΚ (ΟΑΣΠ, 2000). Μετά την διαρροή του δοκιμίου, σε διπλασιασμό της πλαστιμότητας παρατηρείται τετραπλάσια αύξηση του « β », το οποίο στη συνέχεια διατηρείται σταθερό στο 20% για τους υπόλοιπους κύκλους του πειράματος.

8.5.2 Δοκίμιο G60 CYCLIC



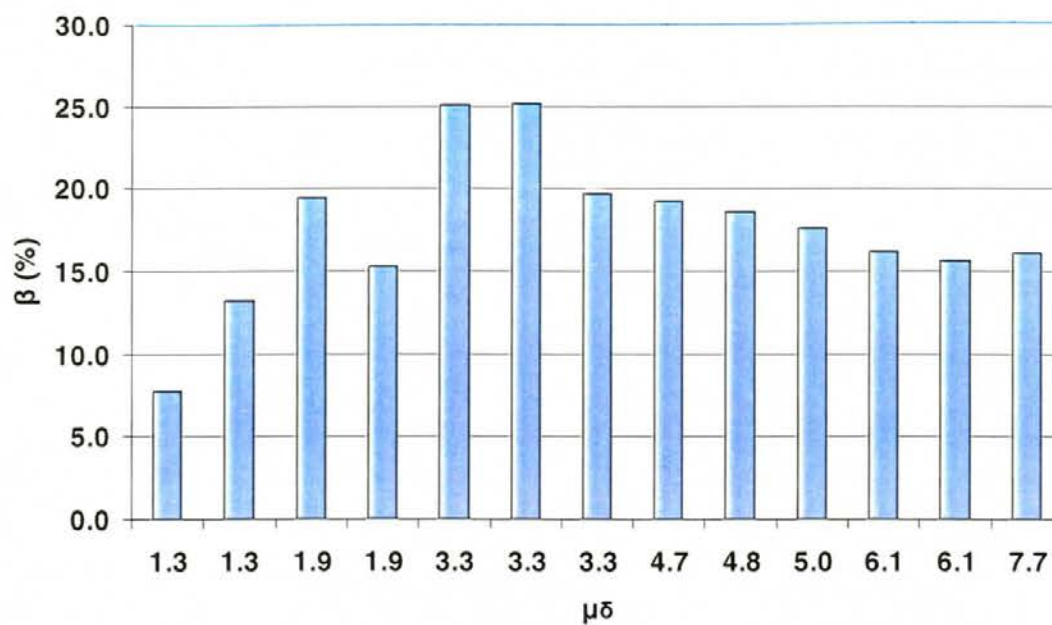
Σχήμα 8.9 Ιστόγραμμα « β », δοκίμιο G-60 CYCLIC.

G60 CYCLIC	Αριθμός Βρόχων	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1
	β (%)	10,5	7,4	11,7	12,5	12,1	8,9	10,1	9,1	11,6
	Πλαστιμότητα	2,1	2,1	3,5	3,5	4,6	4,7	5,8	5,8	7,0

Σε σχέση με το δοκίμιο **NEAK CYCLIC** οι τιμές του « β » για το δοκίμιο **G60 CYCLIC** είναι σημαντικά μειωμένες. Εντούτοις, σε αυτό το δοκίμιο οι τιμές του « β » σε βρόχους ίδιας επιβαλλόμενης μετατόπισης δεν μειώνονται σημαντικά αλλά σε πολύ μικρό ποσοστό, μεταξύ διαδοχικών κύκλων (Σχήμα 8.9). Το δοκίμιο, όπως και το **NEAK CYCLIC**, παρουσιάζει μια σταθερότητα υστερετικής απόσβεσης περίπου 10%, σταθερά, μέχρι τη μέγιστη επιβληθείσα πλαστιμότητα 7,0. Σε απόλυτα μεγέθη, όμως, το **G60 CYCLIC** έχει μικρότερη απορρόφηση από το παραπάνω δοκίμιο ελέγχου, το οποίο διατηρεί την απορρόφηση στο 20%.

8.5.3 Δοκίμιο C1-30 CYCLIC

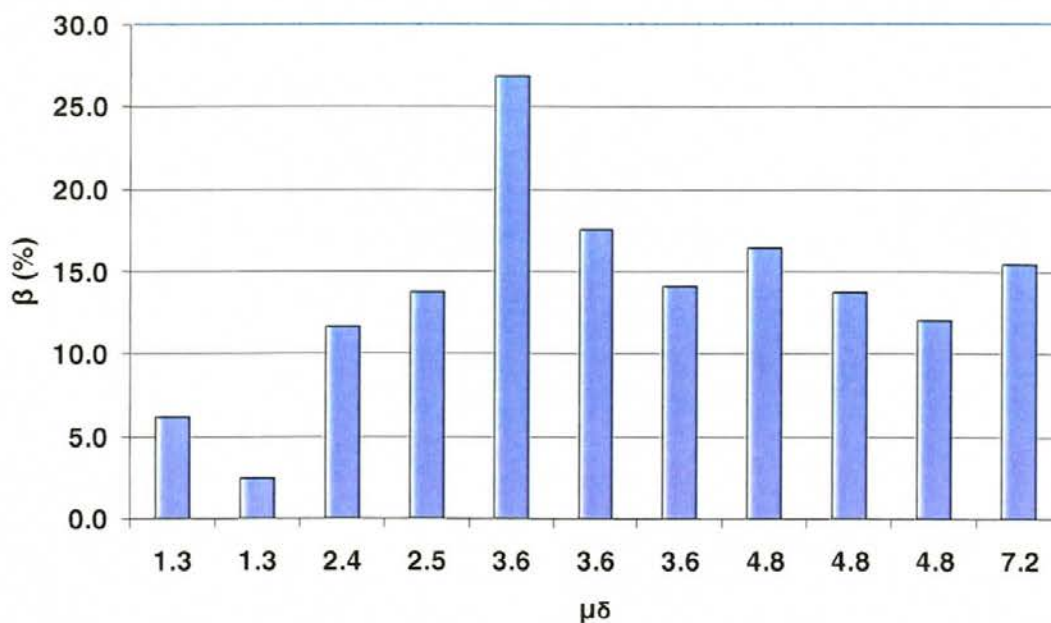
Το δοκίμιο **C1-30 CYCLIC**, το οποίο καταπονήθηκε για περισσότερους κύκλους απ' ό,τι τα υπόλοιπα δοκίμια, έδωσε τα μεγαλύτερα ποσοστά ισοδύναμης κρίσιμης απόσβεσης « β », τα οποία ακολούθησαν ίδια πορεία όπως και στα τα υπόλοιπα πειράματα. Αξιοσημείωτο είναι ότι μετά τον έβδομο κύκλο και μέχρι το τέλος οι τιμές του « β » παραμένουν σχεδόν σταθερές και μεγαλύτερες από αυτές που δίνουν τα άλλα ενισχυμένα δοκίμια, σε ποσοστό 15%. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε πλαστιμότητα 3,30, το **C1-30 CYCLIC** έδωσε απορρόφηση 25%, μεγαλύτερη και από το δοκίμιο ελέγχου, σε αντίστοιχες πλαστιμότητες (Σχήμα 8.10).



Σχήμα 8.10 Ιστόγραμμα «β», δοκίμιο C1-30 CYCLIC.

C1-30 CYCLIC	Αριθμός Βρόχων	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3
	β (%)	7,7	13,2	19,4	15,2	25,0	25,2	19,7
	Πλαστιμότητα	1,3	1,3	1,9	1,9	3,3	3,3	3,3
	Αριθμός Βρόχων	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6.1	
	β (%)	19,2	18,6	17,6	16,2	15,7	16,1	
	Πλαστιμότητα	4,7	4,8	5,0	6,1	6,1	7,7	

8.5.4 Δοκίμιο MBAR CYCLIC



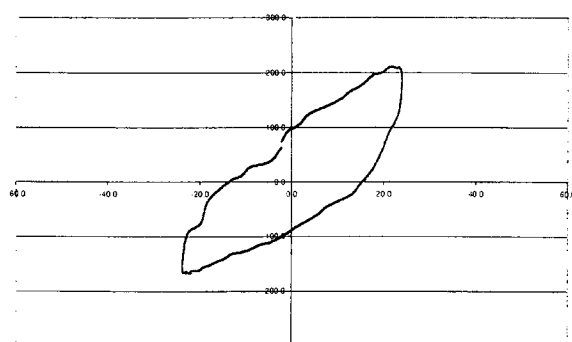
Σχήμα 8.11 Ιστόγραμμα «β», δοκίμιο MBAR CYCLIC.

MBAR CYCLIC	Αριθμός Βρόχων	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3
	β (%)	6,1	2,5	11,6	13,7	26,8	17,5	14,1
	Πλαστιμότητα	1,3	1,3	2,4	2,5	3,6	3,6	3,6
	Αριθμός Βρόχων	4.1	4.2	4.3	5.1			
	β (%)	16,4	13,8	12,1	15,5			
	Πλαστιμότητα	4,8	4,8	4,8	7,2			

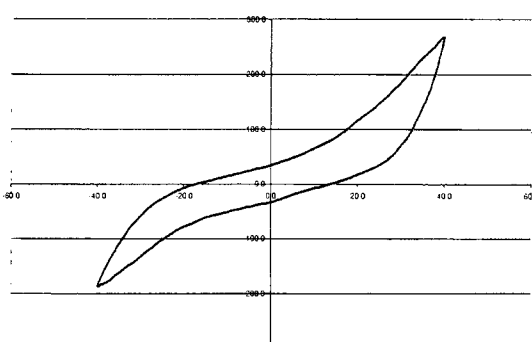
Στο δοκίμιο **MBAR CYCLIC** οι τιμές του «β» ακολουθούν την ίδια πορεία όπως στο δοκίμιο **G60 CYCLIC**, το οποίο ενισχύθηκε με τον ίδιο τρόπο στις παρειές. Παρατηρώντας το Σχήμα 8.11 φαίνεται ότι το «β» μειώνεται, δηλαδή, ανάλογα με τη σειρά εμφάνισης των βρόχων (που αντιστοιχούν σε ίδιες μετατοπίσεις) με εξαίρεση τους βρόχους στην αρχή του πειράματος πριν τη μέγιστη αντοχή. Σε σχέση με τις τιμές «β» του **NEAK CYCLIC**, τα ποσοστά

του **MBAR CYCLIC** είναι μεγαλύτερα μέχρι τον έκτο κύκλο οπότε και είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα ως προς την επιβληθείσα πλαστιμότητα. Έπειτα, για τιμές μετατόπισης κοντά στο $3\delta_y$ οι τιμές του «β» για το δοκίμιο **MBAR CYCLIC** είναι μικρότερες από αυτές του **NEAK CYCLIC**. Σε αυτό πιθανώς να έπαιξε ρόλο και ο μεγάλος αριθμός κύκλων του δοκιμίου **MBAR CYCLIC** που αντιστοιχούν σε μετατοπίσεις μικρότερες από $3,30 \delta_y$.

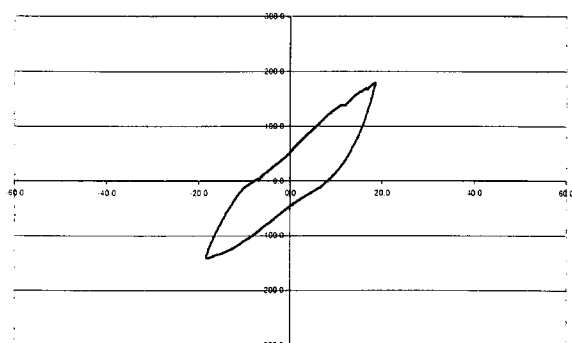
Ακολούθως παρατίθενται οι συγκρίσιμοι βρόχοι (σε ανακύκλιση πλαστιμότητας $2,2 \div 4,7 \delta_y$), που προέκυψαν από τον 6^ο κύκλο φόρτισης των τεσσάρων δοκιμίων, αναπαριστούμενοι υπό την ίδια κλίμακα (Σχήμα 8.12). Φαίνεται από το βρόχο του **C1-30 CYCLIC** πως το συγκεκριμένο δοκίμιο συμπεριφέρθηκε καλύτερα από τα υπόλοιπα όσον αφορά την απορρόφηση ενέργειας. Από πλευράς απορρόφησης ενέργειας, το δυσμενέστερο σχήμα εμφανίζει ο βρόχος του δοκιμίου **G60 CYCLIC**.



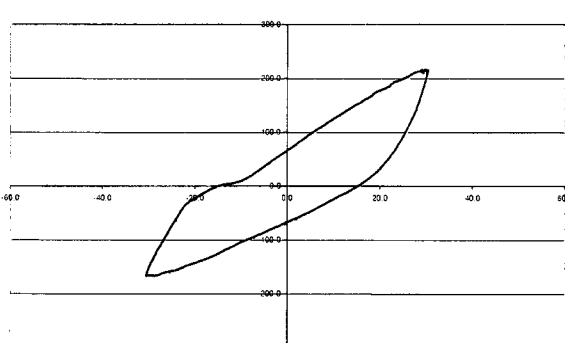
6^{ος} Βρόχος C1-30 CYCLIC



6^{ος} Βρόχος G-60 CYCLIC



6^{ος} Βρόχος NEAK CYCLIC

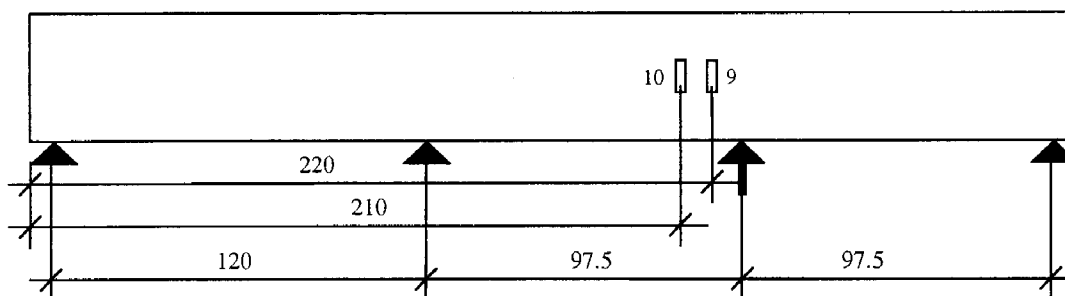


6^{ος} Βρόχος MBAR CYCLIC

Σχήμα 8.12 Σύγκριση βρόχων υστέρησης των τεσσάρων δοκιμίων.

8.6 Σύγκριση διαγραμμάτων παραλαμβανόμενης τέμνουσας

Στα ενισχυμένα δοκίμια τοποθετήθηκαν ηλεκτρονικά μηκυνσιόμετρα (Σχήμα 8.13) επάνω στην επιφάνεια του INOP G60-AR που χρησιμοποιήθηκε για τη διατμητική ενίσχυσή τους. Από τις καταγραφές δημιουργήθηκαν διαγράμματα που παρουσιάζουν την παραλαμβανόμενη τέμνουσα συναρτήσει της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης δ και αντίστασης του δοκιμίου, στις συγκεκριμένες θέσεις, σε απόσταση $d/4$ και $d/2$ από το P προς τη μεσαία στήριξη.



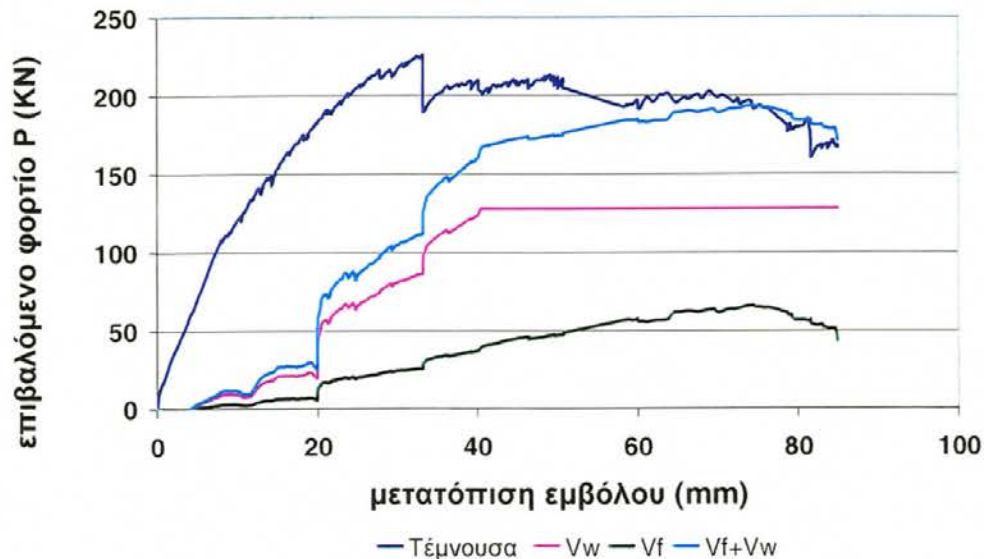
Σχήμα 8.13 Θέσεις ηλεκτρονικών μηκυνσιομέτρων για την καταγραφή της παραλαμβανόμενης τέμνουσας στα ενισχυμένα δοκίμια.

Τα διαγράμματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις των ηλεκτρονικών μηκυνσιομέτρων στα δοκίμια **G60 MONO** και **MBAR MONO** δείχνονται στα Σχήματα 8.14, 8.16 και 8.17. Τα δύο ηλεκτρονικά μηκυνσιόμετρα στην επιφάνεια του νήματος G60-AR του δοκιμίου **C1-30 MONO** δεν κατέγραψαν καμία τιμή ανηγμένης παραμόρφωσης που να αντιστοιχεί σε εγκάρσια δύναμη πάνω από 2 kN, γεγονός που αποδεικνύει ότι στις διατομές όπου έγινε η μέτρηση δεν ενεργοποιήθηκε ο μηχανισμός ανάληψης τέμνουσας από το εγκάρσιο G60-AR που είχε τοποθετηθεί με την διεύθυνση των ινών του κάθετα στο διαμήκη άξονα της δοκού.

Για κάθε δοκίμιο, από τις παραμορφώσεις που κατέγραψαν τα ηλεκτρονικά μηκυνσιόμετρα υπολογίστηκαν η τέμνουσα που ανάλαβε το εγκάρσιο νήμα (V_f) και οι εγκάρσιοι συμβατικοί οπλισμοί (V_w), θεωρώντας ότι υφίστανται την ίδια παραμόρφωση. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκαν ονομαστικά εμβαδά και μέτρο ελαστικότητας των δύο υλικών. Επί πλέον, βάσει των προβλέψεων δημιουργίας πρώτης και δεύτερης πλαστικής

άρθρωσης υπολογίσθηκε και το διάγραμμα της δρώσας τέμνουσας στο μεσαίο τμήμα της δοκού, ως προς την επιβαλλόμενη παραμόρφωση δ .

8.6.1 Δοκίμιο G60 MONO

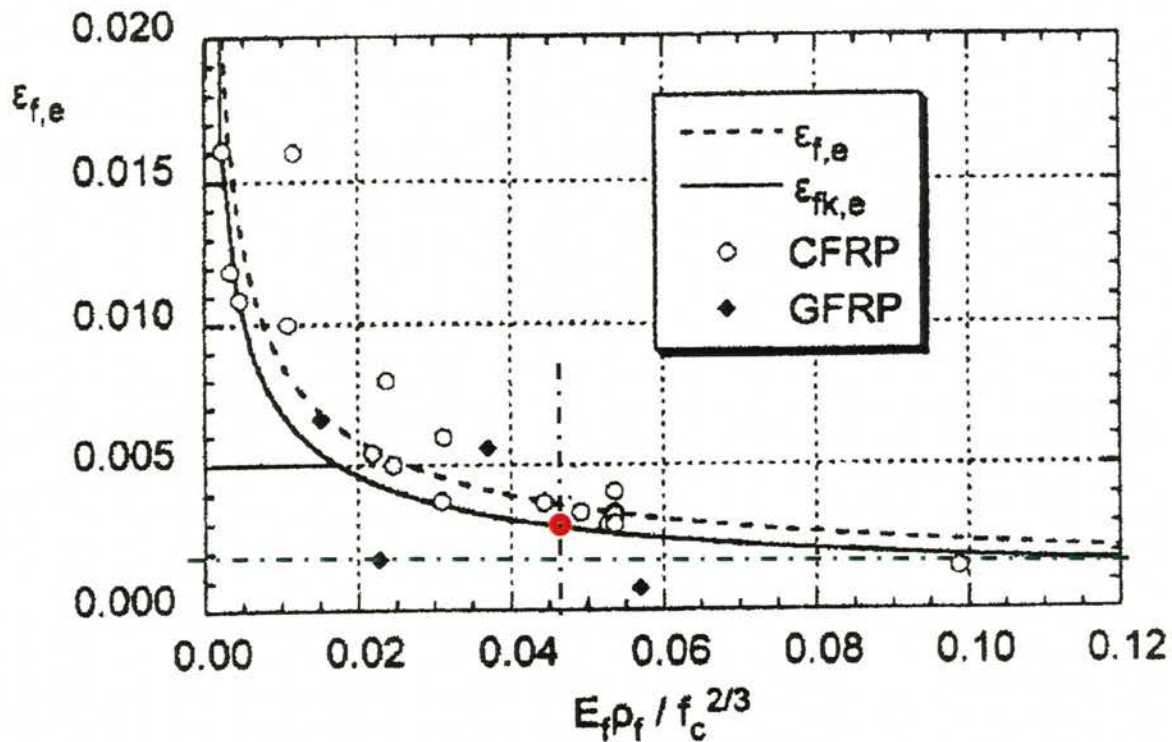


Σχήμα 8.14 Διάγραμμα κατανομής τέμνουσας στη θέση του S.G. #9-G60 MONO.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα τέμνουσας - παραμόρφωσης που κατέγραψε το ηλεκτρονικό μηκυνσιόμετρο #9, στην αρχή του πειράματος το ΙΝΟΠ αναλαμβάνει μικρό σχετικά φορτίο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, οι δευτερεύοντες μηχανισμοί (V_c) μέσω του μη ρηγματωμένου σκυροδέματος παρέλαβαν το σύνολο της δρώσας τέμνουσας, σε ποσοστό μεγαλύτερο από όσο υπολογίσθηκε κατά το σχεδιασμό (ιση με 46,8 kN). Κατά τη διάρκεια του πειράματος και καθώς η V_c μειώνεται, αυξάνεται η συμβολή του ΙΝΟΠ στην ανάληψη τέμνουσας, μέχρι που στο τέλος, όλη η δρώσα τέμνουσα του μεσαίου τμήματος παραλαμβάνεται από το ΙΝΟΠ και τον εγκάρσιο χάλυβα ($V_c=0$). Το ηλεκτρονικό μηκυνσιόμετρο #9 κατέγραψε μέγιστη παραμόρφωση του ΙΝΟΠ $\varepsilon_f = 3,0 \text{ ‰}$.

Με βάση την παραμόρφωση του ΙΝΟΠ και την παράμετρο $E_f^* \rho_f / f_c^{2/3}$ (η οποία ισούται με 0,046 για δύο περιμετρικές στρώσεις ΙΝΟΠ υάλου G60-AR που αντιστοιχούν στον εγκάρσιο οπλισμό του δοκιμίου στο τμήμα που μελετάται), προκύπτει το σημείο ● (0,003, 0,046), το οποίο τοποθετείται στο

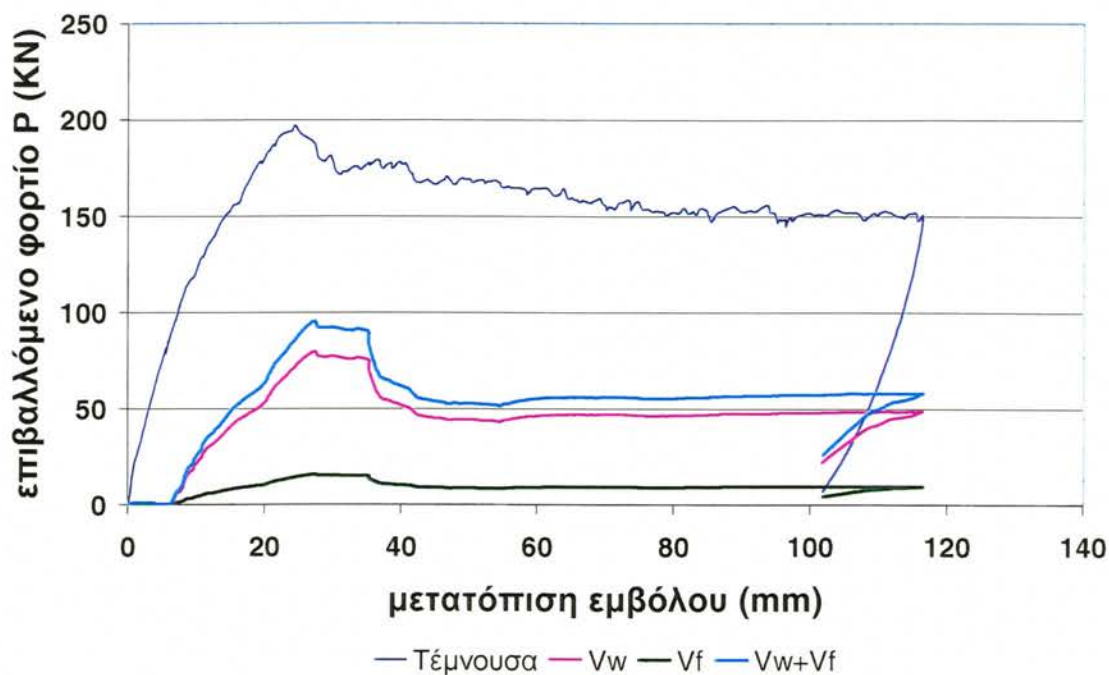
διάγραμμα που προτείνεται από τον Triantafillou (1998) για την αποτίμηση της μέσης και χαρακτηριστικής τιμής της ε_f κατά τη διατμητική αστοχία, με βάση πειραματικά δεδομένα από άλλους ερευνητές (Σχήμα 8.15).



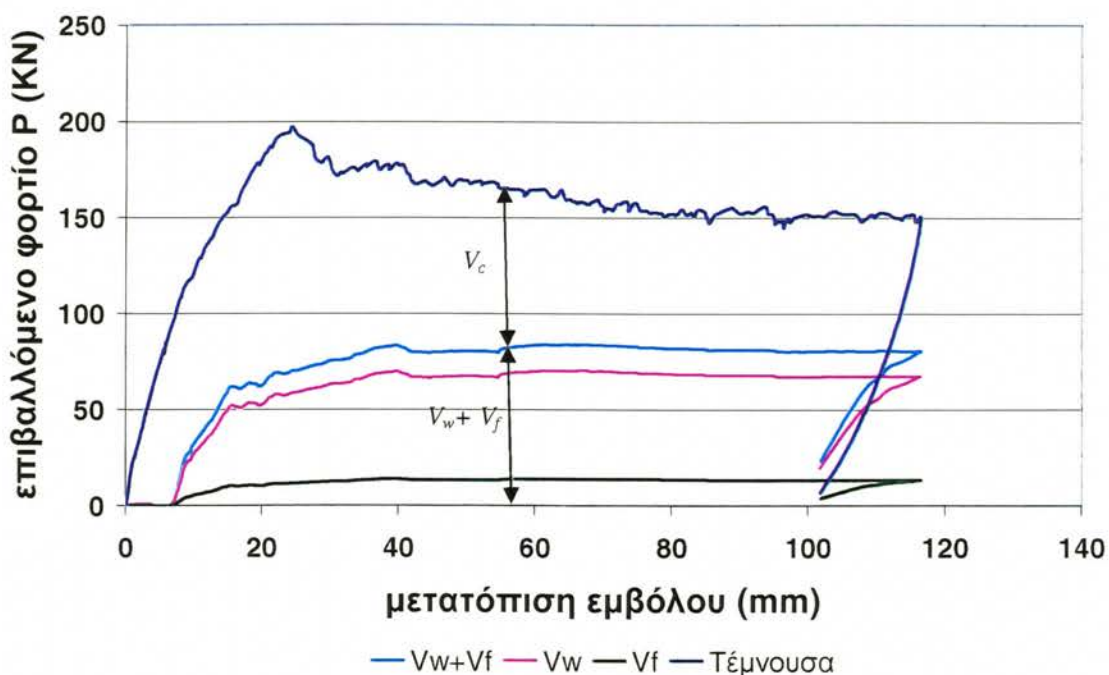
Σχήμα 8.15 Προτεινόμενη παραμόρφωση διατμητικού σχεδιασμού (Triantafillou, 1998).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα, το σημείο •, το οποίο δέον να σημειωθεί βασίζεται σε μέσες τιμές υπολογισμού, συμπίπτει με τη οριακή καμπύλη σχεδιασμού της χαρακτηριστικής τιμής ε_{fk} , που προτείνεται από τον Triantafillou, στο προσομοίωμα, που συσχετίζει τον όρο $E_f \rho_f / f_c^{2/3}$ με τη μέγιστη παραμόρφωση του ΙΝΟΠ.

8.6.2 Δοκίμιο MBAR MONO



Σχήμα 8. 16 Διάγραμμα παραλαβής τένουσας στη θέση SG #10-MBAR MONO.



Σχήμα 8.17 Διάγραμμα παραλαβής τένουσας στη θέση SG #9- MBAR MONO.

Αντίστοιχα διαγράμματα παραλαμβανόμενης και δρώσας διατμητικής δύναμης με βάση τις μετρήσεις της παραμόρφωσης του ΙΝΟΠ για το δοκίμιο MBAR MONO, δίδονται στα Σχήματα 8.16 και 8.17, για τα δύο

μηκυνσιόμετρα. Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι τα δύο μηκυνσιόμετρα κατέγραψαν συγκρίσιμες τιμές, γεγονός που συνηγορεί υπέρ της αξιοπιστίας τους. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η τέμνουσα που αναλαμβάνει το ΙΝΟΠ G60-AR, που τοποθετήθηκε για διατμητική ενίσχυση, παύει να αυξάνεται από ένα σημείο και έπειτα (αυτό δεν συνέβη στο δοκίμιο **G60 MONO** που συνεχώς αυξανόταν), σε απόλυτα μεγέθη δε, το εγκάρσιο ΙΝΟΠ παραλαμβάνει μέγιστο φορτίο περίπου 20 kN, σε αντίθεση με το προηγούμενο δοκίμιο, όπου η παραλαβή φορτίου ήταν τριπλάσια στη μέγιστη παραμόρφωση – αφού και οι συμβατικοί συνδετήρες είχαν διαρρεύσει, για συγκρίσιμες αντοχές και άρα διατμήσεις εσωτερικά του δοκιμίου. Αυτό επί πλέον παρατηρείται και από το γεγονός ότι στο δοκίμιο **MBAR MONO** εμφανίζεται σταθερή διαφορά $(Q-(V_w+V_f))$ μεταξύ της παραλαμβανόμενης διάτμησης από συμβατικούς συνδετήρες συν το ΙΝΟΠ (V_w+V_f) , και της δρώσας τέμνουσας (Q), ακόμη και σε μεγάλες πλαστιμότητες. Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, στο δοκίμιο **G60 MONO** (Σχήμα 8.14), αυτή η διαφορά σταδιακά εκμηδενίζεται όσο αυξάνεται η παραμόρφωση του δοκιμίου, με το συνολικό ποσοστό της δρώσας τέμνουσας (Q) να ισορροπείται τελικά εξ ολοκλήρου από την έμμεσα καταγεγραμμένη δύναμη (V_w+V_f) .

Οι μετρήσεις αυτές οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στην περίπτωση του **MBAR MONO** λειτουργεί ένας πρόσθετος μηχανισμός που συμβάλλει στην ανάληψη της δρώσας τέμνουσας (Q). Λόγω της σχετικά μεγάλης δυσκαμψίας των ράβδων που διέρχονται από τις ρωγμές, είναι πιθανό ότι οι οχτώ ράβδοι **Mbar** παραλαμβάνουν ένα μεγαλύτερο μέρος της Q υπό μορφή δράσης βλήτρου, κάτι που δεν είναι εφικτό να υφίσταται στο δοκίμιο **G60**. Πέραν αυτού, και οι ίδιοι οι διαμήκεις οπλισμοί, που διέρχονται μέσα από τις διαγώνιες ρωγμές, παραλαμβάνουν τμήμα της δύναμης κατά μήκος της διαγωνίου συμμετέχοντας στο μηχανισμό παραλαβής τέμνουσας.

Χαρακτηριστικό είναι επίσης πως και στα τρία διαγράμματα φαίνεται πως οι μηχανισμοί ανάληψης τέμνουσας δεν ενεργοποιούνται από την αρχή

επιβολής του φορτίου στο δοκίμιο. Πιθανώς, η τέμνουσα μέχρι το σημείο αυτό να αναλαμβάνεται μόνο από τους δευτερεύοντες μηχανισμούς ανάληψης τέμνουσας (V_c) λόγω του ότι δεν έχει ενεργοποιηθεί η διατμητική ρηγμάτωση.

8.7 Διατμητική συμπεριφορά των δοκιμίων - Παρατηρήσεις και Σχόλια

Στο παρόν συγκρίνονται τα διαγράμματα των τεμνουσών δυνάμεων και διατμητικών αντοχών για τα ενισχυμένα δοκίμια **MONO** και **CYCLIC**.

Από πλευράς αντοχής δίδονται δύο τιμές:

- η συντηρητική παραδοχή σχεδιασμού, που βασίζεται στη συμμετοχή του εγκάρσιου ΙΝΟΠ με $\varepsilon_f = 0,18\%$ και
- η παραδοχή της τρέχουσας πρακτικής, που υιοθετεί συμμετοχή του εγκάρσιου ΙΝΟΠ σε $\varepsilon_f = 0,30\%$ (ACI 440-2R.02, 2002).

Από πλευράς απαίτησης, δίδονται οι τιμές της τέμνουσας δύναμης που αναμενόταν να αναπτυχθούν σύμφωνα με τους υπολογισμούς,

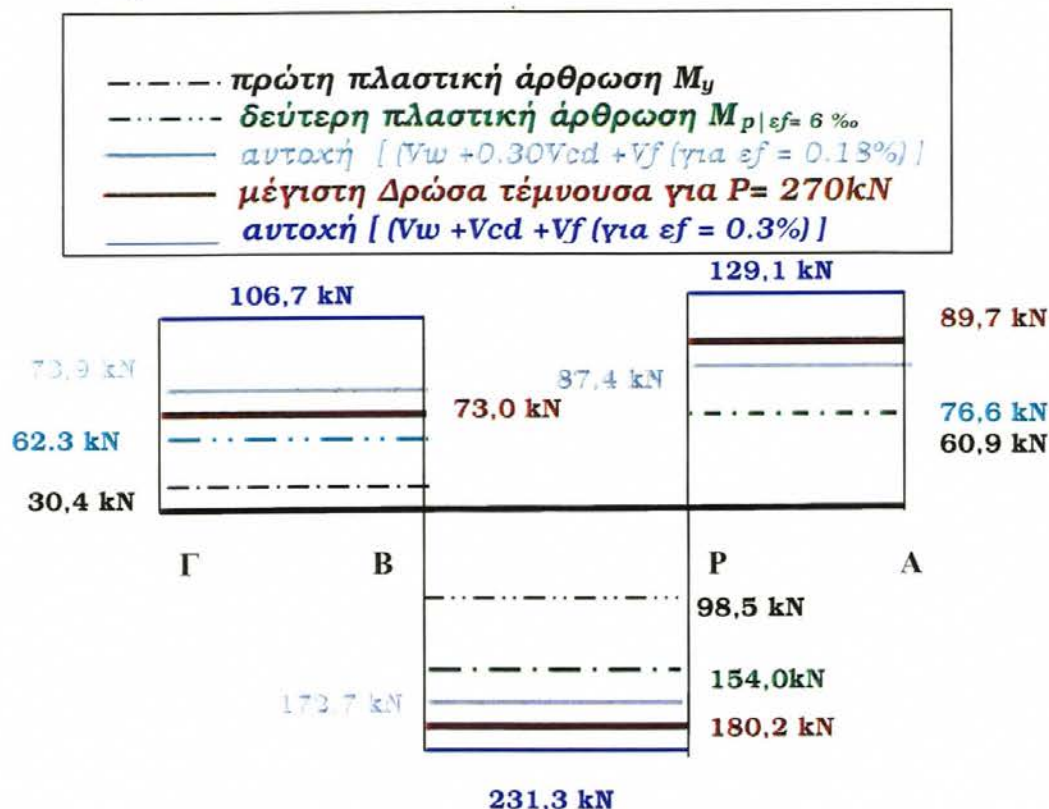
- κατά το σχηματισμό των πλαστικών αρθρώσεων σε διαρροή και
- για μέγιστη $\varepsilon_f = 0,6\%$ στα διαμήκη ΙΝΟΠ. Η τιμή αυτή είχε υιοθετηθεί κατά το σχεδιασμό για την εύρεση της απαιτούμενης διατμητικής ενίσχυσης, βάσει της συντηρητικής παραδοχής παραπάνω.

Η παρεχόμενη αντοχή του εκάστοτε δοκιμίου υπολογίζεται βάσει του αθροιστικού τύπου των τριών συνεισφορών στη διάτμηση:

$$V_R = a V_c + V_w + V_f$$

όπου, ο συντελεστής a λαμβάνει την τιμή $a=1,0$ για τα δοκίμια **MONO** και $a=0,30$ για τα δοκίμια **CYCLIC**, αντίστοιχα με τις απαιτήσεις του ΕΑΚ (ΟΑΣΠ, 2000), οι δε αντίστοιχες συνεισφορές του σκυροδέματος (V_c) και χάλυβα (V_w) υπολογίζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΕΚΟΣ (ΟΑΣΠ, 2000), θεωρώντας $V_{cd}=2,50 \tau_{rd} b_w d$ (Βλέπε και Παράρτημα II).

8.7.1 Δοκίμιο C1-30 ΜΟΝΟ



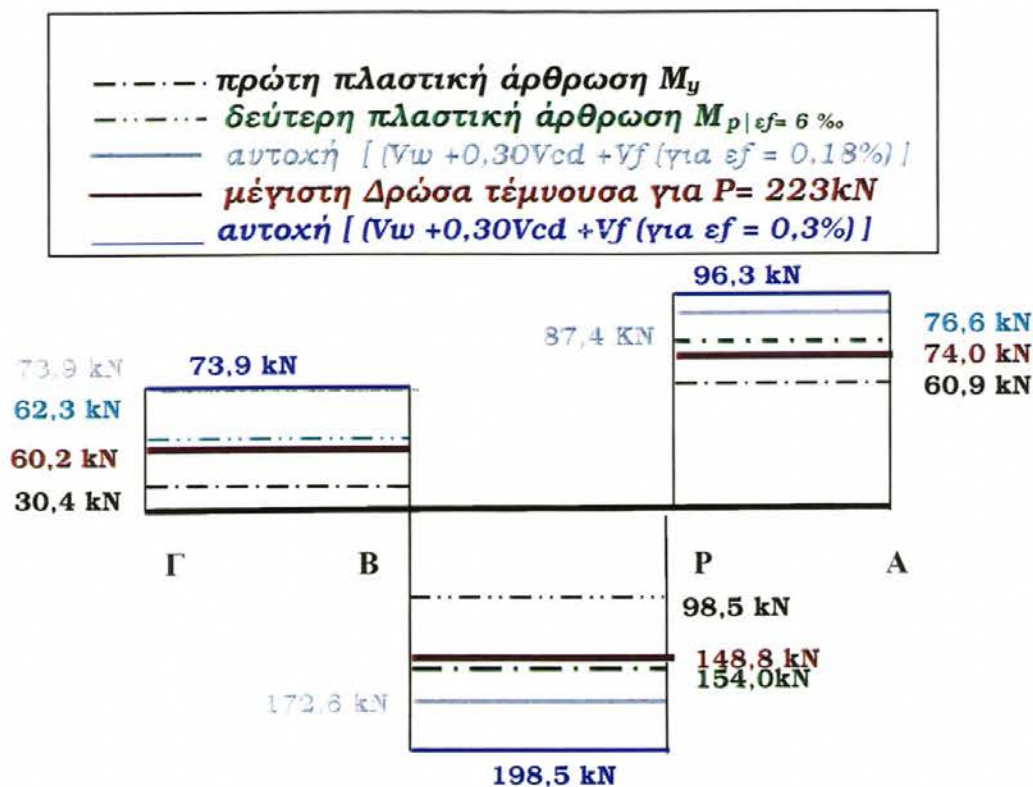
Σχήμα 8.18 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων δράσεων και αντοχής φορέα C1-30 ΜΟΝΟ.

Στην περίπτωση του C1-30 ΜΟΝΟ η φέρουσα ικανότητα του δοκιμίου στο μεσαίο τμήμα BP, που είναι και το πλέον κρίσιμο, ξεπέρασε κατά 12 % την αρχική εκτίμηση σχεδιασμού ενώ η δρώσα τέμνουσα ξεπέρασε τη συντηρητική αντοχή σχεδιασμού (βάσει $\epsilon_f = 0.18\%$) στο τμήμα PA του φορέα μόνο κατά 2,2 kN και στο τμήμα PB κατά 7,5 kN (ποσοστό 4% της αντοχής). Παρατηρείται, έτσι, ότι ουσιαστικά, ακόμα και με τη συντηρητική πρόβλεψη για την παραμόρφωση του ΙΝΟΠ ($\epsilon_f = 0.18\%$) και χρήση της ρήτρας $0,30 V_c$ του ΕΚΟΣ (ΟΑΣΠ, 2000) – αν και στο πείραμα δεν υπήρξε ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά – η παρεχόμενη διατμητική αντοχή ήταν αρκετή για να παραλάβει τη δρώσα τέμνουσα σε κάθε τμήμα του φορέα.

Ο συντελεστής ασφαλείας έναντι αστοχίας σε διάτμηση στη μέγιστη καταγεγραμμένη δύναμη του πειράματος ($P = 270 \text{ kN}$) αυξάνεται σε 1,46, 1,28 και 1,44 για τα τρία τμήματα του δοκιμίου, αν ληφθεί υπόψη η συνεισφορά του ΙΝΟΠ σύμφωνα με την τρέχουσα πρακτική σχεδιασμού, η οποία

επιτρέπει στο σχεδιασμό υψηλότερες τιμές για την ε_f , χωρίς απομειώσεις λόγω ανακύκλισης της V_c . Το δοκίμιο εμφάνισε μία διατμητική ρωγμή μικρού εύρους, στο μεσαίο τμήμα (Φωτογραφία 6.5.6), η οποία όμως δεν διευρύνθηκε, λόγω απομείωσης του μέγιστου φορτίου μετά από τη διάρρηξη των ΙΝΟΠ κάμψης στο Ρ. Η μέγιστη συμμετοχή του εγκάρσιου ΙΝΟΠ σε διάτμηση, άρα, έφτασε την παραμόρφωση $\varepsilon_f = 0,6 \text{ ‰}$.

8.7.2 Δοκίμιο C1-30 CYCLIC

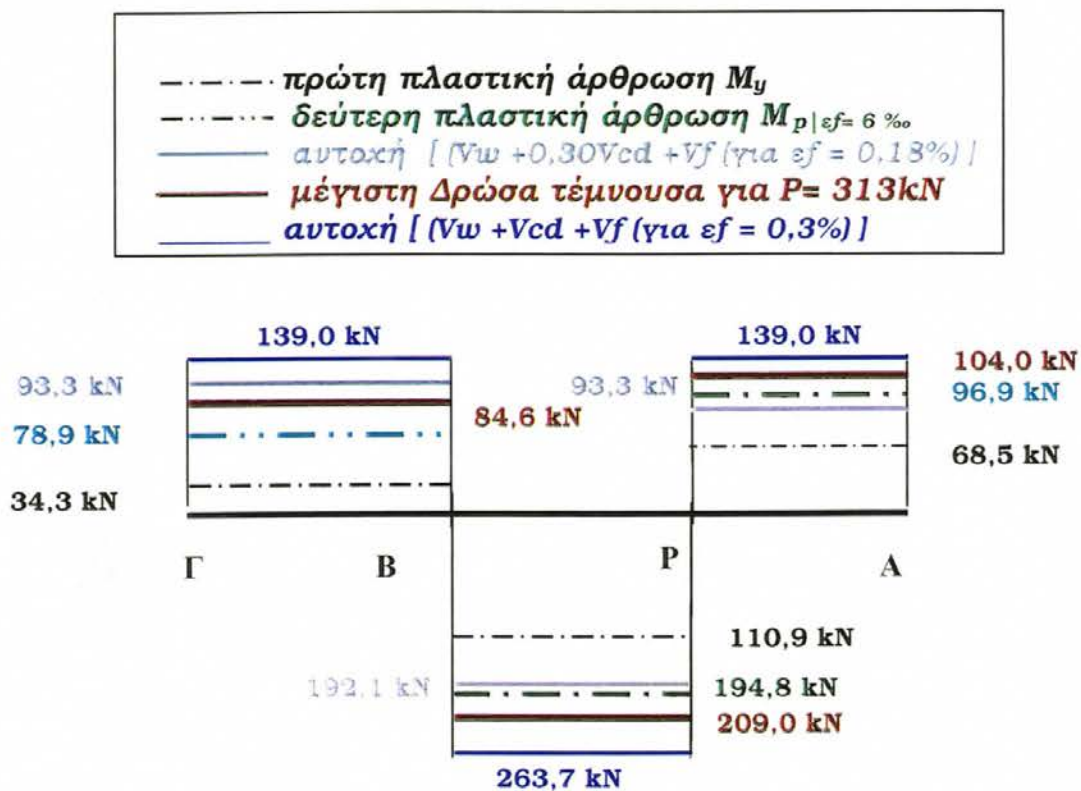


Σχήμα 8.19 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων δράσεων και αντοχής φορέα C1-30 CYCLIC.

Αν και το δοκίμιο αυτό είναι ίδιο με το προηγούμενο, η φέρουσα ικανότητα αυτού του δοκιμίου ήταν χαμηλότερη από αυτή του **ΜΟΝΟ** μιας και η επίδραση της ανακύκλισης σε αυτή την περίπτωση δεν επέτρεψε να αναπτυχθεί μεγαλύτερη αντοχή. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η δρώσα τέμνουσα να είναι παντού μικρότερη ή ίση από την διατμητική αντοχή της δοκού ακόμα και με τη συντηρητική πρόβλεψη για παραμόρφωση του νήματος ($\varepsilon_f = 0,18\%$) και θεώρηση $0,30 V_c$, με τον συντελεστή ασφαλείας έναντι αστοχίας σε διάτμηση στη μέγιστη καταγεγραμμένη δύναμη του

πειράματος ($P = 223 \text{ kN}$) να είναι ίσος προς 1,23, 1,33 και 1,30 για τα τρία τμήματα του δοκιμίου, θεωρώντας την πρακτική σχεδιασμού. Εν τούτοις, το δοκίμιο αστόχησε σε καθαρή διατμητική αστοχία με μεγάλες διατμητικές παραμορφώσεις στη θέση του P , προς το μεσαίο τμήμα της δοκού.

8.7.3 Δοκίμιο MBAR MONO

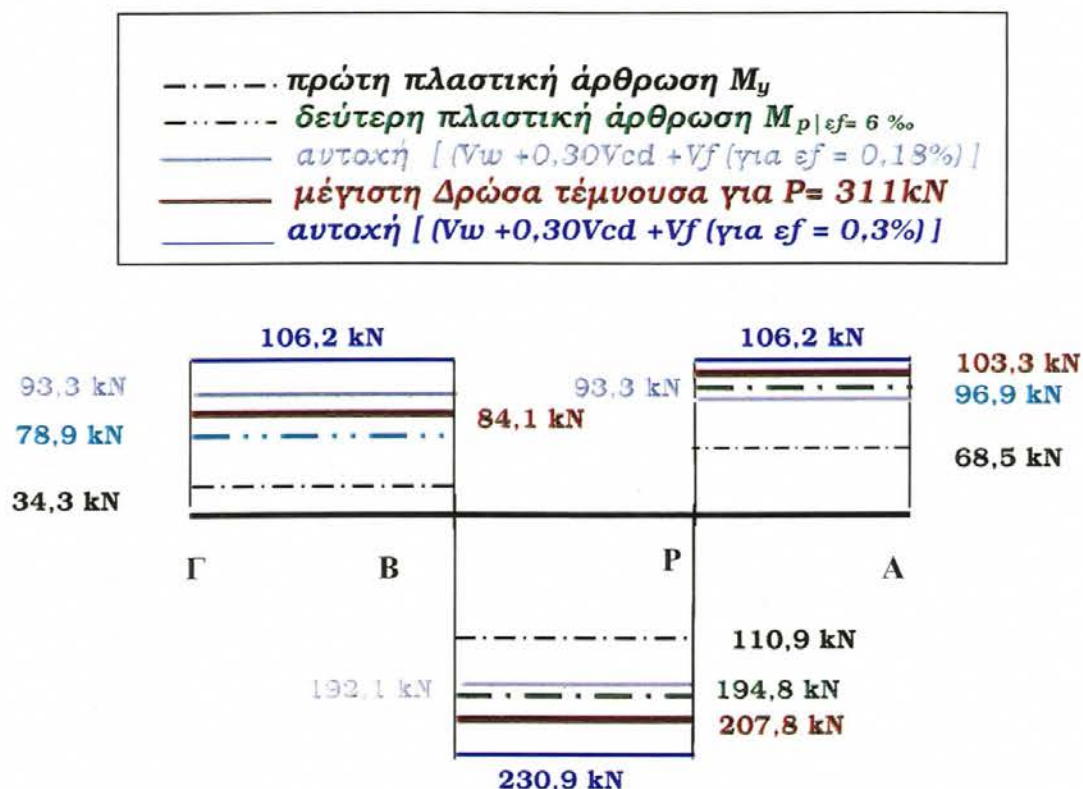


Σχήμα 8.20 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων δράσεων και αντοχής φορέα MBAR MONO.

Και σε αυτήν την περίπτωση ο σχεδιασμός της ενίσχυσης έγινε θεωρώντας τις τέμνουσες που αναπτύσσονται για ροπή αντοχής που αντιστοιχεί σε παραμόρφωση των ράβδων M_{bar} ίση με 0,6%, όπως και τελικά επετεύχθη. Η δρῶσα τέμνουσα που παρέλαβε το δοκίμιο, εμφανίσθηκε παντού μεγαλύτερη από την συντηρητική αυτή αντοχή και ειδικά στο τμήμα BP, όπου υπήρξε υπέρβαση της τιμής αυτής κατά 17kN (ποσοστό 9%). Σημειώνεται πάντως ότι στο τμήμα ΒΓ μπορούσε να γίνει μικρή υπέρβαση της τιμής σχεδιασμού προς την αντοχή, αφού είχε ληφθεί υπόψη μόνο το 30% της V_c , όμως, ούτως ή άλλως, το τμήμα αυτό ενισχύθηκε για περιορισμό των διαμήκων ΙΝΟΠ. Η απουσία διατμητικών ρωγμών από το δοκίμιο δείχνει ότι, όντως, η επιπλέον

τέμνουσα που προέκυψε αναλήφθηκε είτε από το σκυρόδεμα είτε από το ΙΝΟΠ (ή συνδυασμό αυτών). Με βάση την μέγιστη δύναμη, η μέγιστη συμμετοχή του εγκάρσιου ΙΝΟΠ σε διάτμηση, έφτασε στο μεσαίο τμήμα παραμόρφωση $\varepsilon_f = 2,0 \text{ ‰}$.

8.7.4 Δοκίμιο MBAR CYCLIC

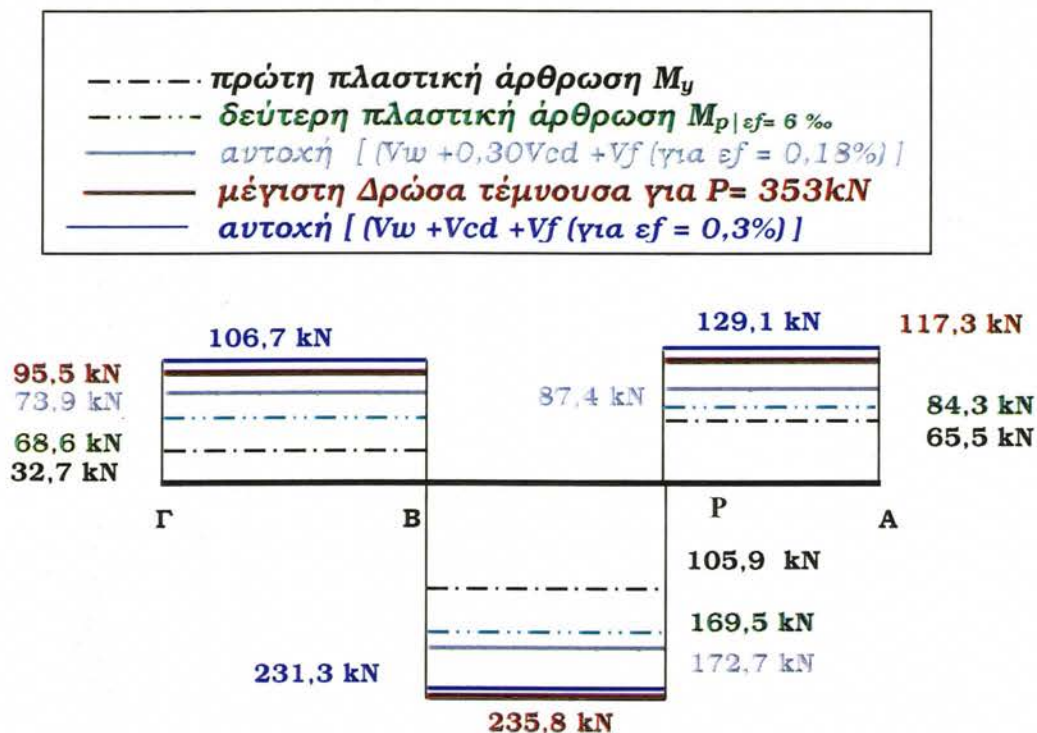


Σχήμα 8.21 Διαγράμματα τέμνουσών δυνάμεων δράσεων και αντοχής φορέα MBAR CYCLIC.

Η μέγιστη φέρουσα ικανότητα του δοκίμιου υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, MBAR CYCLIC, ήταν ίδια με αυτή του μονοτονικού, οπότε ίδια ήταν και η δρώσα τέμνουσα που αναπτύχθηκε. Από αυτή την άποψη, ισχύουν όλες οι παρατηρήσεις που έγιναν παραπάνω και για το MBAR MONO. Η διαφορά με το δοκίμιο αυτό είναι ότι επειδή η φόρτιση ήταν ανακυκλιζόμενη, οι οιοσδήποτε υπερβάσεις της προβλεπόμενης αντοχής από την πειραματικά μετρηθείσα δρώσα τέμνουσα θα πρέπει να παραλήφθηκαν κατά κύριο λόγο από το εγκάρσιο ΙΝΟΠ υάλου (λόγω πλήρους αποδιοργάνωσης του υλικού και απώλειας των 'δευτερευόντων' μηχανισμών αντίστασης V_c). Με αφετηρία αυτή την παραδοχή υπολογίζεται ότι στο πείραμα αυτό το εγκάρσιο ΙΝΟΠ

συμμετείχε με παραμόρφωση $\varepsilon_f = 2,7 \%$ θεωρώντας $V_c = 0$, σύμφωνα και με την πειραματική παρατήρηση του εύρους ρωγμών στην αστοχία (αφού $V_w = 119,9 \text{ kN}$ στο μεσαίο τμήμα).

8.7.5 Δοκίμιο G60 MONO



Σχήμα 8.22 Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων δράσεων και αντοχής φορέα G60 MONO.

Λόγω του ότι η καμπτική και άρα συνολική αντοχή του δοκιμίου ξεπέρασε κατά 39% την αρχική εκτίμηση σχεδιασμού, αποδεικνύεται ότι η τέμνουσα αντοχής του δοκιμίου έφθασε σε επίπεδα πολύ μεγαλύτερα από τα προβλεπόμενα στο σχεδιασμό, ενώ το δοκίμιο δεν αστόχησε διατμητικά.

- Θεωρώντας τη συντηρητική παραδοχή, (μέγιστη ανηγμένη παραμόρφωση του εγκάρσιου ΙΝΟΠ ίση με $\varepsilon_f = 0,18\%$ και συνεισφορά των δευτερευόντων μηχανισμών ίση με $0,30V_c$), παρατηρείται στο Σχήμα 8.22 ότι η δρῶσα τέμνουσα ξεπερνά κατά πολύ την αναμενόμενη αντοχή σε όλα τα τμήματα του φορέα, περισσότερο δε από όλα στο τμήμα BP , όπου η υπέρβαση φτάνει τα 63 kN, που αντιστοιχεί σε ποσοστό της υπολογιστικής ίσο με 37%. Η θεώρηση αυτή σχεδιασμού υποτιμά τόσο τη συνεισφορά του

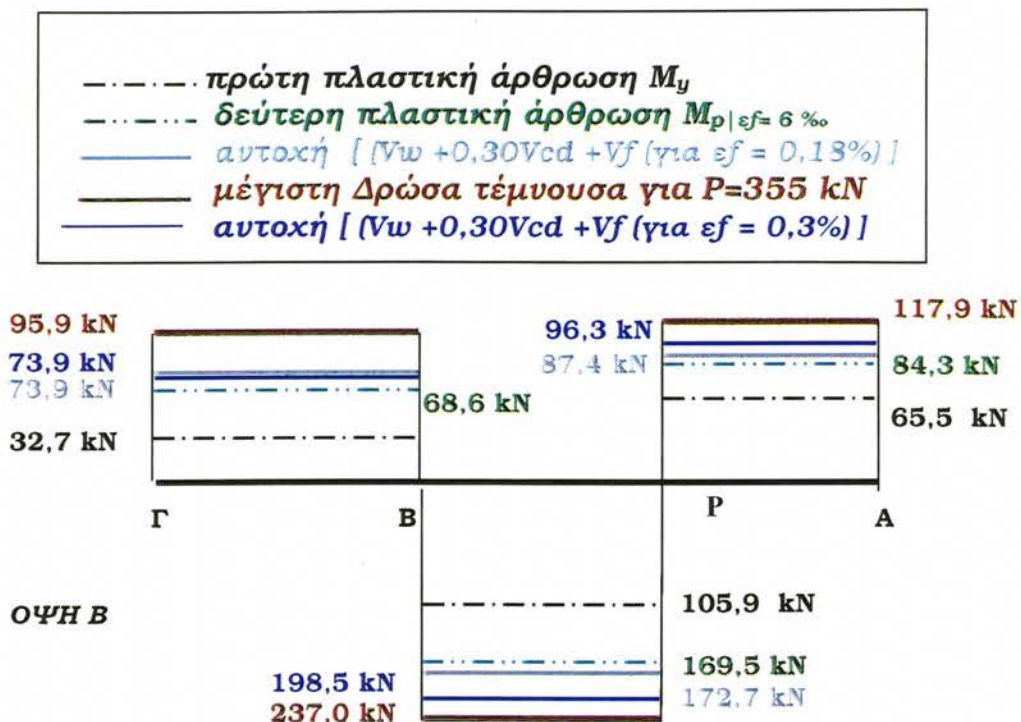
ΙΝΟΠ, το οποίο παραμορφώνεται πέραν του 0.18%, αλλά και τη συνεισφορά των δευτερευόντων μηχανισμών αντίστασης του σκυροδέματος, η οποία, σημειωτέον, στην περίπτωση της μονοτονικής φόρτισης μπορεί να ληφθεί εξολοκλήρου υπόψη ($100\%V_c$).

- Θεωρώντας την τιμή πρακτικής (100% της V_c και μέγιστη παραμόρφωση ΙΝΟΠ ε_f ίση προς 0,30%), αποδεικνύεται ότι η δρώσα τέμνουσα είναι χαμηλότερη της αντοχής στα τμήματα ΑΡ και ΒΓ ενώ και ξεπερνά οριακά την παραπάνω (231,30 και 235,8 kN αντιστοίχως) μόνο στην περιοχή ΡΒ, σε ποσοστό 2%.

Η συμπεριφορά του δοκιμίου ήταν, εντέλει, πλαστική, με πλήρη ανάπτυξη δύο πλαστικών αρθρώσεων σε συμμετοχή του διαμήκους ΙΝΟΠ 15%. Παρόλο που ακόμα και με το δεύτερο τρόπο υπολογισμού της διατμητικής αντοχής, υπήρχε στο μεσαίο τμήμα ΡΒ ένα οριακό έλλειμμα αντοχής σε διάτμηση, στην πράξη αυτό μάλλον υπερκαλύφθηκε, όπως συνάγεται και από την έλλειψη διατμητικής αστοχίας του δοκιμίου. Ως εκ τούτου, η μέγιστη συμμετοχή του εγκάρσιου ΙΝΟΠ σε διάτμηση, έφτασε στο μεσαίο τμήμα την παραμόρφωση $\varepsilon_f = 3,2 \text{ ‰}$.

8.7.6 Δοκίμιο G60 CYCLIC

Όπως και στο πείραμα **G60 MONO**, το μέγιστο επιβαλλόμενο φορτίο ξεπέρασε κατά πολύ την πρόβλεψη (κατά 67,5 kN, ποσοστό 40%). Ρωγμές διατμητικής μορφής εμφανίστηκαν τόσο στο τμήμα ΒΡ και, κυρίως, στο τμήμα ΡΑ. Ειδικότερα, θεωρώντας τη συντηρητική η τιμή σχεδιασμού (λαμβάνοντας τη συνεισφορά των δευτερευόντων μηχανισμών (V_c) σε ποσοστό 30% μόνον λόγω της ανακύκλησης), παρατηρείται στο Σχήμα 8.23 ότι η μέγιστη δρώσα τέμνουσα ξεπέρασε κατά πολύ την υπολογιστική αντοχή σε όλα τα τμήματα της συνεχούς δοκού, με μεγαλύτερη υπέρβαση από όλες τις περιοχές στο τμήμα ΒΡ, όπου η δρώσα τέμνουσα φθάνει τα 237,0 kN, που αναλογεί σε υπέρβαση της υπολογιστικής αντίστασης σχεδιασμού ίση με



Σχήμα 8.23 Διαγράμματα τέμνουσών δυνάμεων δράσεων και αντοχής φορέα G60 CYCLIC.

64,3 kN (ποσοστό 37%). Θεωρώντας και την τιμή της τρέχουσας πρακτικής (πάλι με 30% συμμετοχή της V_c) το ποσοστό υπέρβασης της δρώσας τέμνουσας προς την αντοχή είναι 1,19 και 1,22, στα τμήματα PB και PA αντίστοιχα, όπου απομειώνεται η V_c λόγω διασταυρούμενων ρωγμών.

Όπως συνέβη και με το MBAR CYCLIC, λαμβάνοντας υπόψη το εύρος ρηγμάτωσης της δοκού κατά το πείραμα, είναι ασφαλές να θεωρηθεί ότι όποιες υπερβάσεις της προβλεπόμενης αντοχής από την δρώσα πειραματική τέμνουσα παραλήφθηκαν από το εγκάρσιο ΙΝΟΠ υάλου λόγω πλήρους αποδιοργάνωσης του σκυροδέματος στις ρωγμές και απώλειας των 'δευτερευόντων' μηχανισμών αντίστασης V_c . Με βάση αυτή την υπόθεση υπολογίστηκε ότι στο δοκίμιο αυτό το εγκάρσιο ΙΝΟΠ θα πρέπει συμμετείχε με παραμόρφωση $\epsilon_f = 5,4 \%$ θεωρώντας $V_c = 0$, $V_w = 119,9 \text{ kN}$ στο μεσαίο τμήμα. Λόγω του ότι η παραπάνω τιμή είναι εκτός κάθε δυνατότητας πρόβλεψης (βλέπε και Triantafillou, 1998), είναι προφανές ότι το προσομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό απέχει της

πραγματικότητας και ότι η παρουσία του διαμήκους ΙΝΟΠ στο σχήμα ενίσχυσης στις παρειές συμμετέχει ουσιαστικά στην παραλαβή τέμνουσας.

Σε κάθε περίπτωση, είναι εμφανές από τα πειραματικά αποτελέσματα ότι προκειμένου να είναι μικρότερες οι αποκλίσεις μεταξύ των θεωρητικών προσομοιωμάτων και της φυσικής συμπεριφοράς, συνιστάται να λαμβάνεται υπόψη μεγαλύτερη ροπή (υπερ)αντοχής για το σχεδιασμό της ενίσχυσης έναντι τέμνουσας κατά τον ικανοτικό σχεδιασμό, με ελάχιστο όριο οι υπολογισμοί της αντίστασης σε κάμψη να γίνονται βάσει μιας μέγιστης παραμόρφωσης του διαμήκους ΙΝΟΠ τουλάχιστον 1,0% και μέγιστο ακόμη και 1,6%, ανάλογα με τον τρόπο ενίσχυσης που υιοθετείται (άνε και κάτω ενίσχυση και παρειά, αντίστοιχα). Παράλληλα, η μέγιστη παραμόρφωση του ΙΝΟΠ στον υπολογισμό της προσφοράς του εγκάρσιου ΙΝΟΠ στην διατμητική αντοχή, ενδέχεται να μειωθεί και κάτω από το 0,25%.