

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΡΟΒΟΛΟΥ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΥΠΟΣΤΕΙ ΒΕΛΟΣ ΚΑΜΨΗΣ**ΒΕΝΙΟΣ ΚΥΡΙΑΚΟΣ
ΚΟΥΦΟΠΟΥΛΟΥ ΣΤΥΛΙΑΝΗ****Περίληψη**

Η παρούσα εργασία εξετάζει την δημιουργία βέλους κάμψης σε προβόλους από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αναλύει τους μηχανισμούς δημιουργίας του, τους παράγοντες που το επηρεάζουν, τρόπους πρόληψης του και παραθέτει τον τρόπο υπολογισμού του. Επίσης για περιπτώσεις όπου το μέγεθος της παραμόρφωσης είναι μεγάλο και προκαλεί προβλήματα λειτουργικότητας, προτείνει ένα θεωρητικό μοντέλο ενίσχυσης προβόλου από ένα σύστημα προεντεταμένων τενόντων και μεταλλικής δοκού και αναλύει τα αποτελέσματα της επέμβασης.

1. ΒΕΛΟΣ ΚΑΜΨΗΣ ΠΡΟΒΟΛΟΥ

Το σκυρόδεμα, το οποίο αποτελείται από αδρανή, νερό και τσιμέντο, έχει ελαστική και ανελαστική συμπεριφορά στην δράση εξωτερικών φορτίων, επίσης παρουσιάζει παραμορφώσεις που οφείλονται στην ρηγμάτωση του, στο φαινόμενο της συστολής ξήρανσης και στο φαινόμενο του ερπυσμού. [3]

Ένας πρόβολος, από οπλισμένο σκυρόδεμα, από την αρχή της κατασκευής του παρουσιάζει ένα βέλος κάμψης το οποίο αυξάνεται κατά την διάρκεια των ετών. Κατά την κατασκευή του όταν αρχικά θα ξεκαλουπωθεί, πριν την ρηγμάτωση του, το σκυρόδεμα συμπεριφέρεται σαν ελαστικό ομοιογενές υλικό και παρουσιάζει ένα ελαστικό βέλος κάμψης. Στην συνέχεια ακολουθεί η ρηγμάτωση του σκυροδέματος, όπου ο χάλυβας εντείνεται και παραλαμβάνει τάσεις, και το βέλος κάμψης αυξάνεται. [2]

Ο κορεσμένος με νερό τσιμεντοπολτός του σκυροδέματος σε συνθήκες υγρασίας περιβάλλοντος υφίσταται απώλεια νερού και συστέλλεται. Η συστολή αυτή είναι ομοιόμορφη προς όλες τις διευθύνσεις και ονομάζεται συστολή ξήρανσης. Σε ένα πρόβολο θα προκαλούσε μόνο ομοιόμορφη αξονική βράχυνση, χωρίς καμπύλωση του μέλους. Όμως ο οπλισμός στο πάνω πέλμα του προβόλου αντιστέκεται στην βράχυνση του σκυροδέματος που τον περιβάλλει, ασκώντας μια εφελκυστική δύναμη σε αυτό. Έτσι το πάνω πέλμα βραχύνεται λιγότερο από το κάτω με αποτέλεσμα ο πρόβολος όχι μόνο να βραχύνεται αξονικά, αλλά και να καμπυλώνεται με τα κοίλα προς τα κάτω. [2],[3]

Αντίστοιχα όταν ο τσιμεντοπολτός του σκυροδέματος είναι υπό μόνιμη τάση, ποσοστό του προσροφώμενου νερού εξωθείται από την μάζα του με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ερπυστικών παραμορφώσεων. Οι παραμορφώσεις αυτές, επειδή οφείλονται στην δράση μόνιμου φορτίου, είναι παράλληλες στη διεύθυνση της τάσης. Επίσης καθώς ο τσιμεντοπολτός είναι συγκολλημένος με τα αδρανή, οι τάσεις σε αυτόν μειώνονται σταδιακά και τμήμα του φορτίου μεταφέρεται στα αδρανή τα οποία παραμορφώνονται ελαστικά συνεισφέροντας έτσι και αυτά στον ερπυσμό. [3]

Σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ τα υπολογιζόμενα βέλη κάμψης προβόλων πρέπει να μην υπερβαίνουν για λόγους λειτουργικότητας το $2.4 \cdot l/250$, όπου l το ελεύθερο άνοιγμα προβόλου. [1]



Σχήμα 1: Βέλος κάμψης προβόλου

2. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΜΨΗΣ ΠΡΟΒΟΛΟΥ

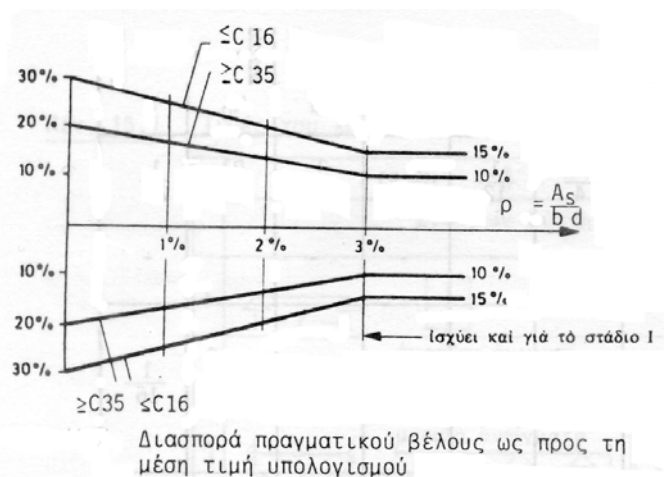
Ο περιορισμός του βέλους κάμψης μπορεί να γίνει έμμεσα με περιορισμό της λυγνρότητας του στοιχείου. Ο ΕΚΩΣ υιοθετεί για προβόλους τον περιορισμό $d \geq \alpha \cdot l / 30$ με d το στατικό ύψος προβόλου, $\alpha=2,4$ και l το ελεύθερο άνοιγμα του προβόλου. [1]

Άλλος τρόπος αντιμετώπισης είναι η αντιστάθμιση μέρους των παραμορφώσεων που αναμένονται με κατάλληλη υπερύψωση του ξυλότυπου. Υπολογίζεται εξ αρχής το βέλος κάμψης του προβόλου και κατασκευάζεται η επιφάνεια του ξυλότυπου του στοιχείου με αρνητικό βέλος. Η υπερύψωση δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το άθροισμα του βέλους λόγω μονίμων δράσεων συν την ελάχιστη τιμή του βέλους λόγω ερπυσμού και σε κάθε περίπτωση το $2.4 \cdot l / 250$. [1],[2]

Ακόμα το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών του σκυροδέματος επηρεάζει τις χρόνιες παραμορφώσεις, μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας οδηγεί σε μείωση του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης. Επίσης τα διάφορα πρόσμικτα και πρόσθετα στο σκυρόδεμα συχνά αυξάνουν τον όγκο των μικρών πόρων του τσιμεντοπολτού, διευκολύνοντας έτσι την κίνηση του νερού μέσω αυτών και προκαλώντας αύξηση των χρόνιων παραμορφώσεων. Τέλος η προστασία της ελεύθερης επιφάνειας του προβόλου (κάτω πλευρά) η οποία είναι εκτεθειμένη στην ελεύθερη ατμόσφαιρα περιορίζει την συστολή ξήρανση και τον ερπυσμό. [3]

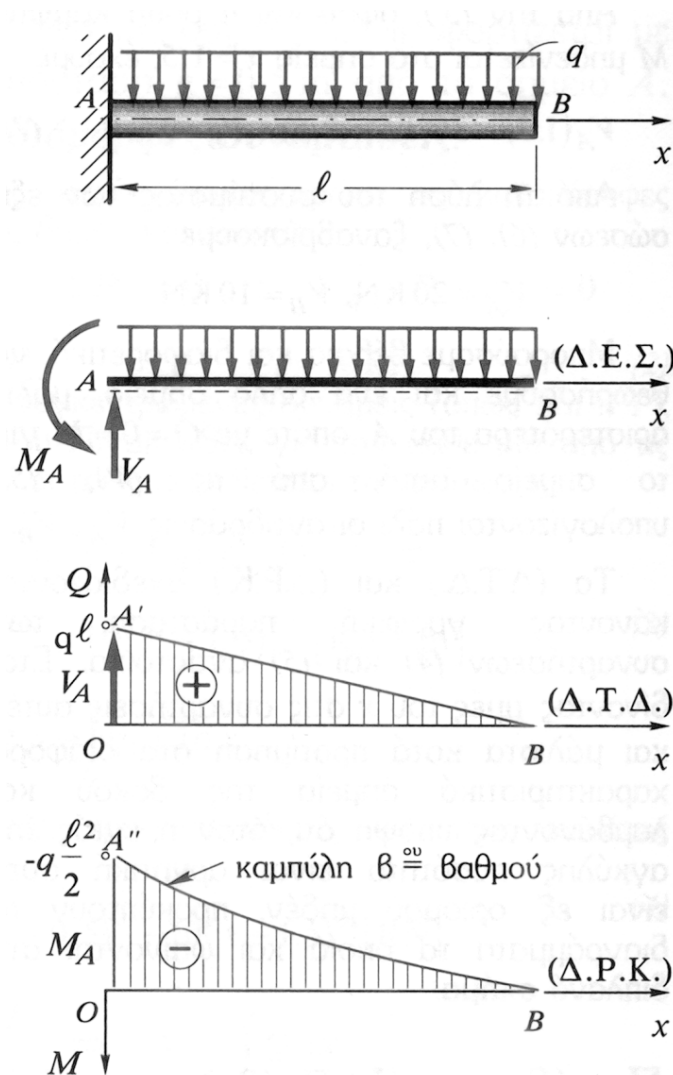
3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΜΨΗΣ ΠΡΟΒΟΛΟΥ

Οι τιμές των πραγματικών βελών κάμψης μπορεί να διαφέρουν από τις υπολογιζόμενες μέσες τιμές έως και $\pm 30\%$, ειδικά αν οι δρώσες ροπές κάμψης έχουν τιμές που πλησιάζουν τη ροπή ρηγμάτωσης. Η διαφορά εξαρτάται από τη διασπορά των χαρακτηριστικών των υλικών, από τις συνθήκες φόρτισης, από τις προηγούμενες φορτίσεις και από το ποσοστό του οπλισμού. Το εύρος της πιθανής διακύμανσης μειώνεται, σαν ποσοστό της μέσης τιμής, όσο μεγαλώνει το ποσοστό διαμήκους οπλισμού, $\rho_1 = A_s / b d$, γιατί το τελευταίο είναι γνωστό με σχετική ακρίβεια και επηρεάζει σημαντικά το μέγεθος των παραμορφώσεων. Το σχ.2 δίνει την απόκλιση των χαρακτηριστικών τιμών του βέλους κάμψης, $a_{0.05}$ και $a_{0.95}$, από το μέσο βέλος, a_m , σαν ποσοστό της τιμής του τελευταίου. Η διασπορά αυτή συνίσταται να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς. [1],[2]



Σχήμα 2 [2]

Στο σχ.3 φαίνεται ένας πρόβολος με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο q καθώς και τα διαγράμματα ελευθέρου σώματος, τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψης. Για τον υπολογισμό του χρόνιου βέλους κάμψης χρησιμοποιούμε το συνδυασμό φόρτισης $q = G + \psi_2 \cdot Q$ [2]



Σχήμα 3 [4]

Ο πρόβολος θα υποστεί ένα βέλος κάμψης το οποίο υπολογίζεται σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ2000 από την σχέση:

$$a_t = \eta \cdot k_t \cdot a_{el} \quad (1)$$

a_t : το χρόνιο βέλος κάμψης

η : συντελεστής για την επιρροή του θλιβόμενου χάλυβα όπου στον πρόβολο λόγω απουσίας θλιβόμενου οπλισμού $\eta=1$

k_t : συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επίδραση του εφελκυσμένου χάλυβα, του στατικού ύψους της διατομής, της ρηγμάτωσης και του ερυσμού

a_{el} : το ελαστικό βέλος κάμψης όπου για τον πρόβολο δίνεται από την σχέση:

$$a_{el} = \alpha \frac{M_D}{E_{cm} I_c} l^2 \quad (2)$$

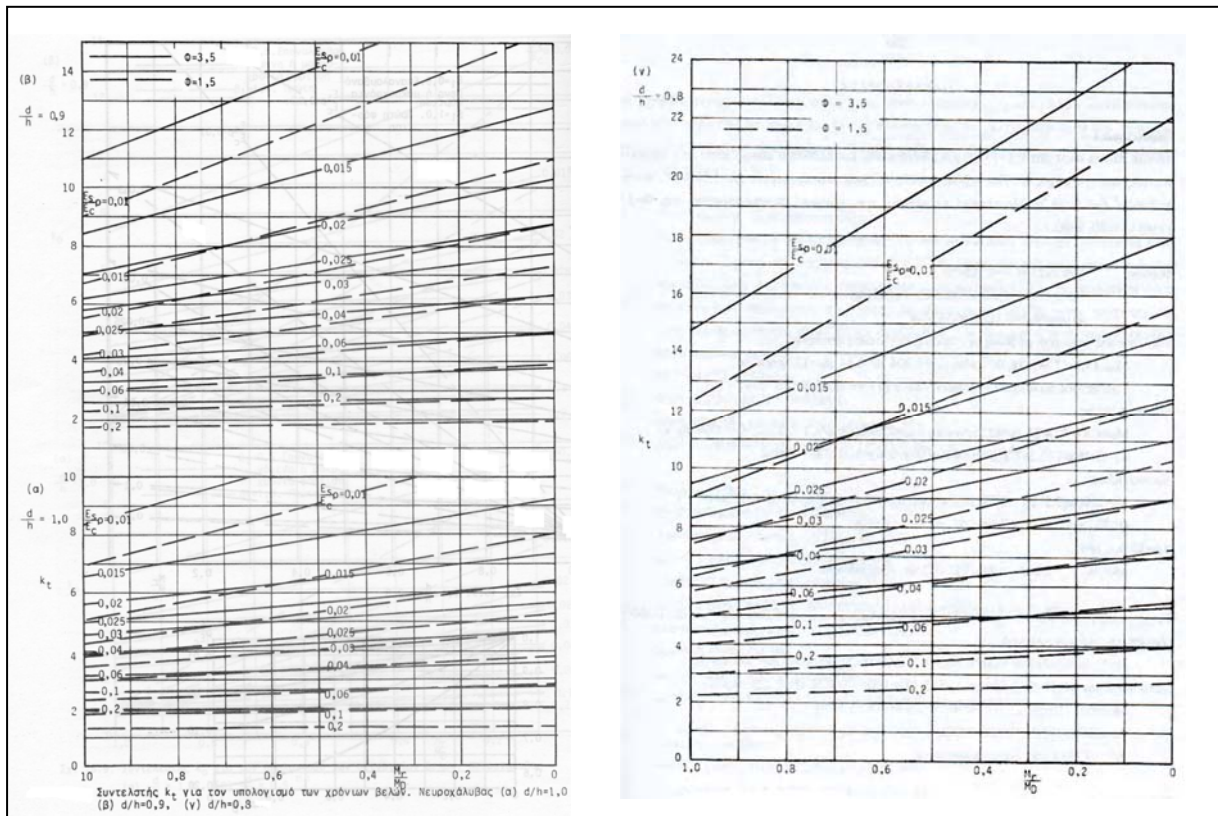
α : συντελεστής μεταξύ θεωρητικού και πραγματικού ανοίγματος όπου για πρόβολο $\alpha=2,4$

M_D : ροπή κάμψης στην καθοριστική διατομή όπου για πρόβολο η ροπή στη στήριξη

I : μήκος προβόλου

E_{cm} : μέσο μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος

I_c: ροπή αδρανείας της γεωμετρικής διατομής σκυροδέματος, χωρίς συνυπολογισμό της επιρροής του χάλυβα [2]



Σχήμα 4 : Συντελεστής k_t [2]

$\varphi(t_{\infty}, t_0)$						
Ηλικία t_0 τη στιγμή της φόρτισης (ημέρες)	Ιδεατό μέγεθος $2 \cdot A_c / u$ σε mm					
	50	150	600	50	150	600
	Ξηρές ατμοσφαιρικές συνθήκες εσωτερικού χώρου (RH=50%)			Υγρές ατμοσφαιρικές συνθήκες υπαίθρου (RH=80%)		
1	5.50	4.60	3.70	3.60	3.20	2.90
7	3.90	3.10	2.60	2.60	2.30	2.00
28	3.00	2.50	2.00	1.90	1.70	1.50
90	2.40	2.00	1.60	1.50	1.40	1.20
365	1.80	1.50	1.20	1.10	1.00	1.00

Πίνακας 1: Τελικές τιμές συντελεστή ερπυσμού $\varphi(t_{\infty}, t_0)$ [1]

Επίσης θα έχουμε ένα πρόσθετο βέλος κάμψης λόγω συστολής ξήρανσης που δίνεται από την σχέση:

$$\frac{a_{cs}}{l} = \delta \epsilon_{cs} \frac{1}{d} \left[0,1 + \frac{E_s}{E_{cm}} (0,25\rho - \rho') \right] \quad (3)$$

a_{cs} : βέλος κάμψης λόγω συστολής ξήρανσης

l : μήκος προβόλου

δ : συντελεστής όπου για πρόβολο $\delta=4$

ϵ_{cs} : συστολή ξήρανσης

E_s : μέτρο ελαστικότητας χάλυβα

E_{cm} : μέσο μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος

ρ : ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού

ρ' : ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού όπου για πρόβολο $\rho'=0$ [2]

$\epsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0) \cdot 10^3$			
Θέση του στοιχείου	Σχετική υγρασία (%)	Ιδεατό μέγεθος $2 \cdot A_c / u$ σε mm	
		≤ 150	≥ 600
Εσωτερικός χώρος	50	-0.60	-0.50
Υπαίθριος	80	-0.33	-0.28

RH = σχετική υγρασία.

A_c είναι το εμβαδόν της διατομής του στοιχείου και u είναι η περίμετρος της διατομής σε επαφή με την ατμόσφαιρα.

Στην περίπτωση κιβωτοειδούς διατομής ή διατομής με διάκενα της οποίας το εσωτερικό συγκοινωνεί με την ελεύθερη ατμόσφαιρα, το u θα περιλαμβάνει και την εσωτερική περίμετρο.

Για ενδιάμεσα μεγέθη, μεταξύ 150 και 600 mm, μπορεί να γίνεται γραμμική παρεμβολή στις τιμές του Πίνακα.

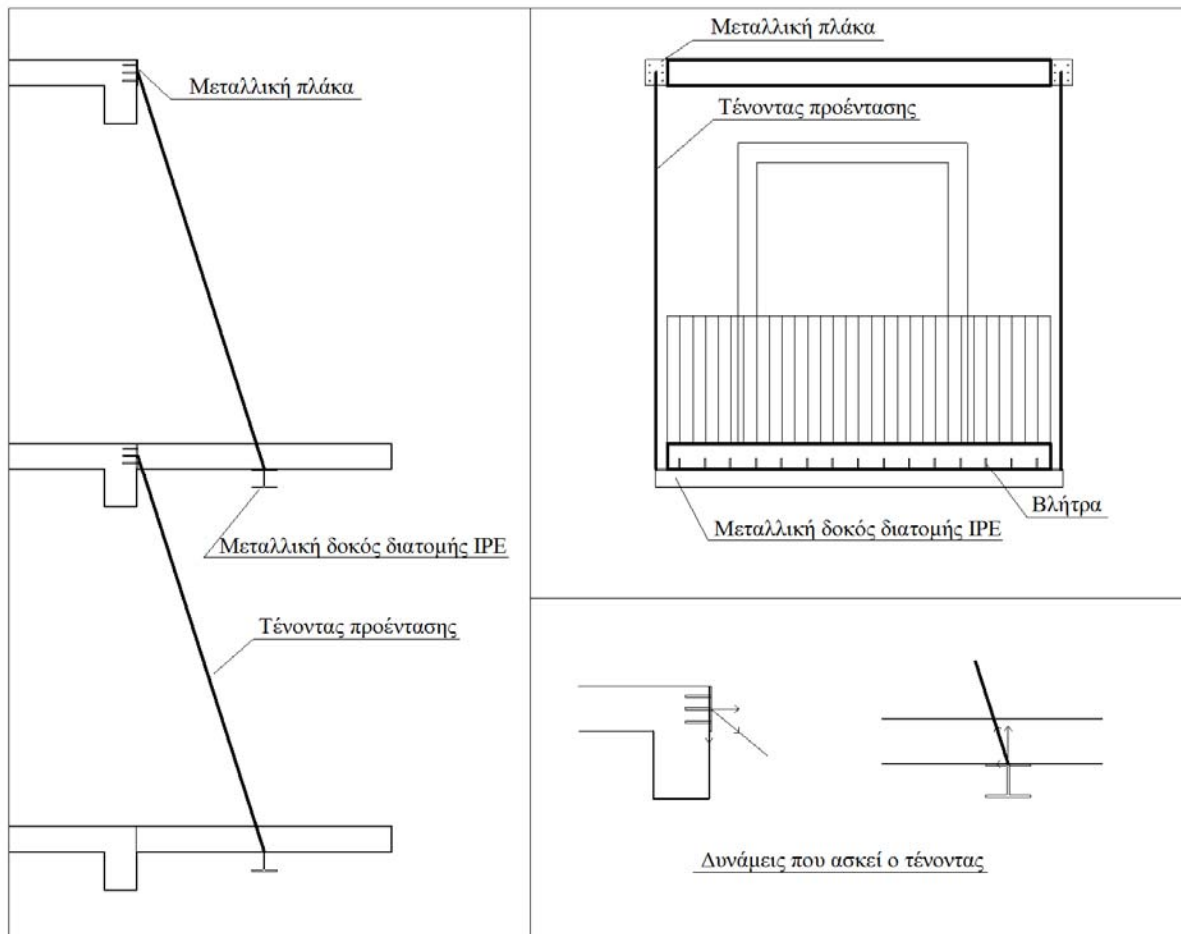
Πίνακας 2: Τελικές τιμές συστολής ξήρανσης $\epsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0)$ σκυροδέματος [1]

4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΡΟΒΟΛΟΥ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΥΠΟΣΤΕΙ ΒΕΛΟΣ ΚΑΜΨΗΣ

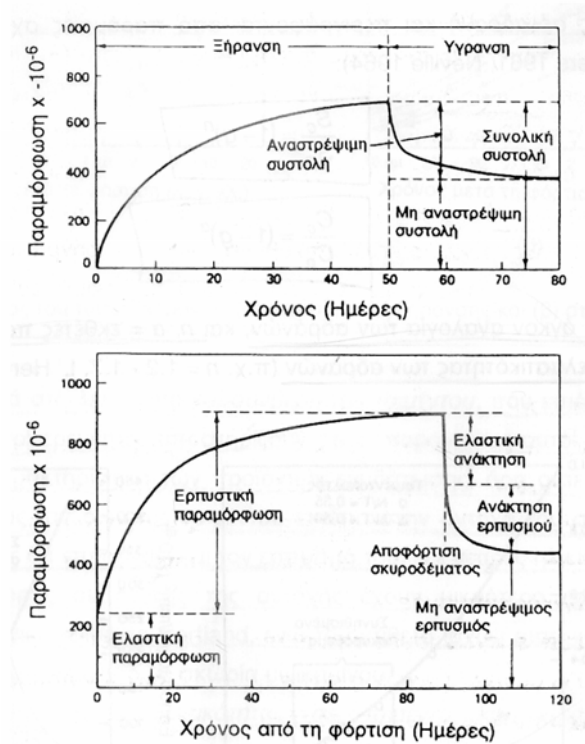
Σε μία υφισταμένη κατασκευή που αντιμετωπίζει πρόβλημα βέλους κάμψης, ένας προτεινόμενος τρόπος περιορισμού του προβλήματος είναι η ενίσχυση του προβόλου με τένοντες προέντασης (Σχ.5). Οι τένοντες θα εφαρμόζουν στον πρόβολο τέμνουσες δυνάμεις, χωρίς να δημιουργούν στήριξη στο σημείο εφαρμογής τους (πράγμα που θα οδηγούσε σε αλλαγή του ισοστατικού μοντέλου του προβόλου και σε ανεπιθύμητες μεγάλες εφελκυστικές περιοχές στο κάτω πέλμα του, όπου δεν υπάρχει οπλισμός). Έτσι θα μειωθούν οι τέμνουσες δυνάμεις που παραλαμβάνει ο πρόβολος και η ροπή στην στήριξη του, οδηγώντας σε μείωση του βέλους κάμψης και του ερπυστικού φαινομένου.

Αρχικά ο πρόβολος θα υποστυλωθεί κατάλληλα ώστε να αναιρεθεί ένα ποσοστό του βέλους κάμψης του. [5] Ποσοστό του ερπυσμού αποδίδεται στην καθυστερημένη ελαστική αποφόρτιση των αδρανών, των οποίων οι παραμορφώσεις είναι ελαστικές και τελικά αναιρούνται πλήρως σε αποφόρτιση του προβόλου. Η αναστρεψιμότητα των φαινομένων συστολής ξήρανσης και ερπυσμού φαίνονται στο Σχήμα 6. Επίσης θα πρέπει να προστατευτεί τυχόν άμεσα εκτεθειμένη επιφάνεια σκυροδέματος στην ατμόσφαιρα καθώς επιβαρύνονται τα φαινόμενα ερπυσμού και συστολής ξήρανσης όπως προκύπτει και από τον συντελεστή u στους πίνακες 1 και 2. Το κάτω πέλμα του προβόλου είναι το ποιο εκτεθειμένο και εκεί θα πρέπει να δοθεί σημασία. [3] Αργότερα θα ακολουθήσει η ενίσχυση του προβόλου με τους τένοντες.

Οι τένοντες προέντασης θα ασκήσουν τέμνουσα δύναμη στο πρόβολο σύμφωνα με την διάταξη (τενόντων προέντασης, μεταλλικής δοκού και μεταλλικών πλακών στήριξης των τενόντων) όπως φαίνεται στο σχ.5. Την τέμνουσα δύναμη θα αναλάβει να ασκήσει στον πρόβολο μία μεταλλική δοκός τοποθετημένη στο κάτω πέλμα του προβόλου, κατά μήκος της πρόσοψης, διατομής IPE. Η δοκός είναι κατάλληλης διατομής έτσι ώστε να ασκήσει το ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο στο πρόβολο, με το μικρότερο δυνατό βέλος κάμψης της σύμφωνα με την μελέτη εφαρμογής. Η δοκός συνδέεται με βλήτρα που θα κληθούν να παραλάβουν το διατμητικό φορτίο στη διεπιφάνεια δοκού προβόλου και θα διασφαλίσουν την συνεργασία τους. Η δοκός μετά την επέμβαση μπορεί να καλυφθεί με τσιμεντοσανίδα για αισθητικούς λόγους.



Σχήμα 5 : Σύστημα τενόντων προέντασης



Σχήμα 6: Αναστρεψιμότητα συστολής ξήρανσης (επάνω) και ερπυσμού (κάτω) [3]

Η μεταλλική δοκός θα υποστηριχθεί στα δύο άκρα της από δύο τένοντες προέντασης. Οι τένοντες θα αρθρωθούν σε μεταλλική πλάκα, πακτωμένη στο ύψος της πλάκας του πάνω ορόφου, και θα προενταθούν στην ένωση τους με την μεταλλική δοκό. Θα πρέπει να ενταθούν ταυτόχρονα και από τις δύο πλευρές, για ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων και αποφυγή στρεβλώσεων του συστήματος. Μετά το πέρας των εργασιών οι τένοντες που θα είναι τοποθετημένοι μέσα σε κατάλληλους σωλήνες θα προστατευθούν από διάβρωση με γέμισμα των σωλήνων με τσιμεντένεμα.

Η μεταλλικές πλάκες, άρθρωσης των τενόντων, πακτώνονται στο ύψος της πλάκας του πάνω ορόφου με μεταλλικούς συνδέσμους συνδυασμένης δράσης αγκυρίου και βλήτρου, έτσι ώστε να παραλάβουν τα διατμητικά και αξονικά φορτία που θα αναπτυχθούν λόγω της φόρτισης από τον τένοντα. Θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην τοποθέτηση των μεταλλικών συνδέσμων καθώς στο σημείο εφαρμογής τους θα βρίσκονται συνδετήρες δοκού. Επίσης προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην επιφάνεια της μεταλλικής πλάκας που θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη έτσι ώστε το φορτίο που θα ασκήσει να κατανεμηθεί σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια. Η αξονική δύναμη που θα ασκήσει η μεταλλική πλάκα θα παραληφθεί εύκολα από τον δίσκο της πλάκας του πάνω ορόφου που έχει πολύ μεγάλη δυσκαμψία. Αντιθέτως η τέμνουσα θα επιβαρύνει την δοκό που θα τρέχει στο σημείο εφαρμογής της. Όμως αν έχουμε ενίσχυση συνεχόμενων προβόλων καθ' ύψος του κτηρίου αυτή η δύναμη θα αντισταθμιστεί από την μείωση της διατμητικής δύναμης που ασκεί ο πρόβολος του ορόφου στην δοκό λόγω ενίσχυσής του και αυτού στην από πάνω πλάκα.

Στο σχήμα 7α φαίνεται ένας πρόβολος με κατανεμημένο φορτίο, καθώς και τα διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψης.

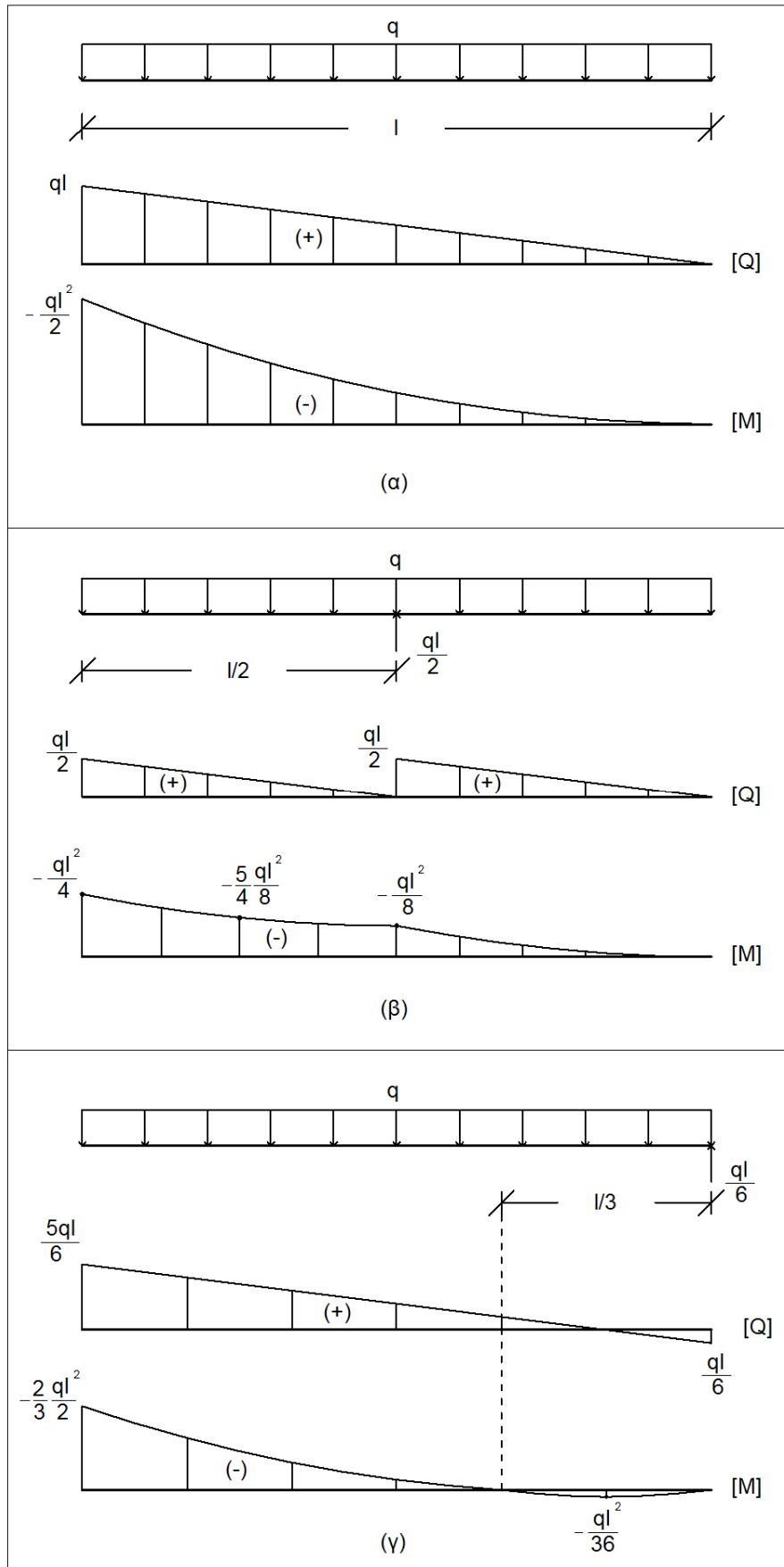
Στο σχήμα 7β στον ίδιο πρόβολο ασκείται μέσω συστήματος τενόντων ένα ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο $q_t = q_l/2$ ανά τρέχων μέτρο πρόσοψης του προβόλου. Το σημείο εφαρμογής του είναι στο μέσο του ανοίγματος του προβόλου και το μέγεθος του έχει επιλεγεί τέτοιο ώστε να μηδενίζει τις τέμνουσες δυνάμεις στο σημείο αυτό. Σε αυτό το μοντέλο καταλήγουμε να έχουμε μειώσει στο μισό και την μέγιστη τέμνουσα και την ροπή στο σημείο στήριξης όπως φαίνεται στα διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων και ροπών.

Στο σχήμα 7γ στο πρόβολο ασκείται από το σύστημα τενόντων αυτήν την φορά ένα $q_t = q_l/6$, με σημείο εφαρμογής το άκρο του προβόλου. Το φορτίο εδώ έχει επιλεγεί τέτοιο ώστε σε απόσταση $l/3$ από το άκρο του προβόλου να μηδενίζεται η ροπή. Σε αυτό το μοντέλο καταλήγουμε να έχουμε μειώσει στα $2/3$ την μέγιστη ροπή στο σημείο στήριξης, όμως έχει δημιουργηθεί εφελκυσμένη ζώνη στο κάτω πέλμα, στο άκρο του προβόλου. Εδώ θα χρειαζόταν περαιτέρω ενίσχυση του κάτω πέλματος στο άκρο με επικολλητά ελάσματα για την παραλαβή της εφελκυσμένης τάσης.

Από τις σχέσεις υπολογισμού του βέλους κάμψης (1) και (2) βλέπουμε ότι αυτό εξαρτάται από την μέγιστη ροπή στο σημείο στήριξης M_d καθώς και από τον συντελεστή k_t . Ο συντελεστής k_t λαμβάνεται από το σχήμα 4 και ο ίδιος εξαρτάται εκτός των άλλων και από τη ροπή M_d . Στην περίπτωση του σχ. 7β καταλήξαμε μετά την επέμβαση να μειώσουμε στο μισό την ροπή στήριξης $M'_D = M_D/2$. Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του βέλους κάμψης που δίνουν οι σχέσεις (1) και (2) για τον πρόβολο πριν και μετά την επέμβαση θα έχουμε:

$$a'_{el} = \alpha \frac{M_D / 2}{E_{cm} I_c} l^2 = \frac{a_{el}}{2}$$

$$a'_t = \eta k'_t \quad a'_{el} = \eta \frac{7}{8} k_t \quad \frac{a_{el}}{2} = 0,4375 a_t$$



Σχήμα 7

Άρα σε αυτήν την λύση ενίσχυσης οδηγούμαστε σε πρόβολο ο οποίος έχει 50% μικρότερο ελαστικό βέλος κάμψης ($a'_{el}=a_{el}/2$) άρα και 50% μικρότερο βέλος ρηγμάτωσης καθώς και 56,25% μικρότερο χρόνιο βέλος κάμψης ($a'_t=0.4375a_t$)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επέμβαση του σχ.7β οδηγεί σε σημαντική μείωση του βέλους κάμψης του προβόλου, χωρίς να επιβαρύνει την κατασκευή με σημαντικά επιπλέον φορτία χάρη στα σχετικά μικρά βάρη των στοιχείων της επέμβασης. Επίσης οδηγεί και σε σημαντική μείωση της ροπής στήριξης, αποτέλεσμα της οποίας θα είναι το σύστημα ισορροπίας του προβόλου και της εσωτερικής πλάκας να αλλάξει. Αυτό θα προκαλέσει αύξηση του βέλους κάμψης της εσωτερικής πλάκας με αρνητικές ίσως επιπτώσεις. Εδώ θα πρέπει να ελεγχθεί το νέο βέλος κάμψης της πλάκας και να προβλεφθούν τυχόν προβλήματα κυρίως στις τοιχοποιίες.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε αυτήν την λύση δεν χρειάζεται να γίνουν καταστροφικές επεμβάσεις σε στοιχεία του κτηρίου που θα ανέβαζαν το κόστος κατασκευής και θα δρούσαν αποτρεπτικά στην απόφαση της επέμβασης. Επίσης δεν παρεμποδίζεται και δεν σταματάει η λειτουργία των εσωτερικών χώρων του κτηρίου, σημαντικό στοιχείο καθώς η επέμβαση θα κληθεί να γίνει σε παλαιά κτήρια που βρίσκονται ήδη σε πλήρη λειτουργία.

Σε μία διαφορετική λύση όπως η αύξηση του στατικού ύψους του προβόλου με νέο οπλισμό και νέα στρώση σκυροδέματος πάνω από την υφιστάμενη, όπως φαίνεται στο σχ.8, θα χρειαζόταν επέμβαση όχι μόνο στο πρόβολο αλλά και στο συνεχόμενο άνοιγμα της πλάκας στο εσωτερικό του κτηρίου. Άρα και διακοπή της λειτουργίας του. Σε μία τέτοια λύση αν είχαμε αύξηση της διατομής του προβόλου π.χ. από 0,17m σε 0,21m και συγκρίναμε τα αποτελέσματα του βέλους κάμψης που δίνουν οι σχέσεις (1) και (2) για τον πρόβολο πριν και μετά την επέμβαση θα είχαμε:

$I_c' = 1,885 I_c$ λόγω αύξησης της διατομής μας

$M'_D = 1,14 M_D$ λόγω των επιπλέον φορτίων

Άρα:

$$a'_{el} = \alpha \frac{1,14 M_D}{E_{cm} 1,885 I_c} l^2 = \alpha 0,605 \frac{M_D}{E_{cm} I_c} l^2 = 0.605 a_{el}$$

Επομένως μία τέτοια λύση θα οδηγούσε σε μείωση του ελαστικού βέλους κάμψης κατά 39,5% έναντι του 50% τις προτεινομένης επέμβασης.



Σχήμα 8 [6]

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, “Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ 2000)” ΦΕΚ 1329/6-11-2000
- [2] Μιχαήλ Ν. Φαρδής, “Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, Μέρος ΙΙΙ”, Εκδόσεις Παν. Πατρών, Πάτρα 2005
- [3] Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, “Δομικά Υλικά”, Εκδόσεις Πατρών, 5^η Έκδοση-2002
- [4] Δρ Π. Α Βουθούνης Μηχανική του απαραμόρφωτου στερέου –Στατική-, Αθήνα, Ε΄ Έκδοση-1999
- [5] Σ. Η. Δρίτσος, “Ενισχύσεις-Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Εκδόσεις Παν. Πατρών, Πάτρα 2007
- [6] Στέφανος Η. Δρίτσος, Βασικά Προσομοιώματα Συμπεριφοράς Επισκευασμένων/Ενισχυμένων Στοιχείων, Πανεπιστήμιο Πατρών, ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Κεφ.6-Παρουσίαση 2008