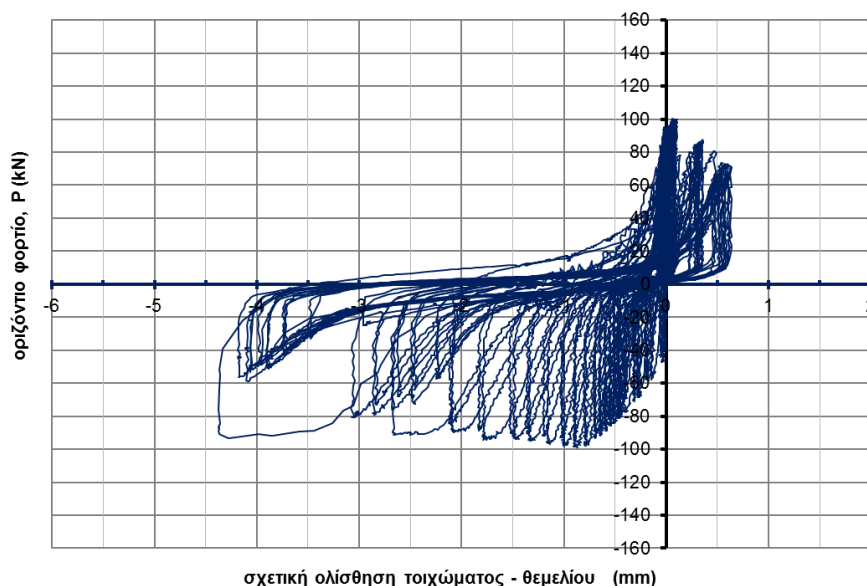


(α) δοκίμιο B1



(β) δοκίμιο B3

**Σχήμα 5.64** – Σχετική ολίσθηση τοιχώματος-θεμελίου.

## 5.6. Πλαστιμότητα

Με βάση την εκτιμηθείσα συμβατική ονομαστική τιμή οριζόντιας μετακίνησης,  $\delta_y$ , δείκτη πλαστιμότητας μετακινήσεων,  $\mu_\delta$ , και επιβατικής δυσκαμψίας,  $K_y$ , συμβατικής “διαρροής” για τους θετικούς και αρνητικούς κύκλους φόρτισης (βλέπε Πίν. 8.1α, β, Κεφ. 8 -Παράρτημα), υπολογίσθηκε μια μέση τιμή του δείκτη πλαστιμότητας μετακινήσεων  $\mu_\delta^m$  για τα δοκίμια της παρούσας έρευνας, που παρουσιάζεται στον Πίν. 5.2. Παρατηρείται ότι τα ενισχυμένα δοκίμια της σειράς Α (δοκίμια Α6 και

A7) υπερέρχουν σε πλαστιμότητα ( $\mu_{\delta}^m$  περίπου 3,6) των μη ενισχυμένων της ίδιας σειράς (δοκίμια A3, A4, A5) με  $\mu_{\delta}^m = 1 \div 2,8$  και έχουν παρόμοια πλαστιμότητα με αυτά της σειράς B ( $\mu_{\delta}^m = 3,5 \div 4$ ).

**Πίνακας 5.2** - Μέση τιμή οριζόντιας μετακίνησης,  $\delta_y^m$ , δείκτη πλαστιμότητας μετακινήσεων,  $\mu_{\delta}^m$ , και επιβατικής δυσκαμψίας,  $K_y^m$ , συμβατικής “διαρροής”.

δοκίμιο	$\delta_y^m$ (mm)	$\mu_{\delta}^m$	$K_y^m$ (kN/mm)
A3	0,65	1.13	158
A4	0,98	1.15	152
A5	0,86	2.81	177
A6	1,19	3.36	228
A7	1,17	3.66	311
B1	1,23	3.50	97
B2	(0,74) <sup>*</sup>	-	-
B3	1,20	4.01	83

(\*) τιμή μόνο από το θετικό φορτίο

## 6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

### 6.1. Μεθοδολογία

Η συνολική αντοχή ενός πλαισίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο έχει ενισχυθεί με την κατασκευή εμφαντινόμενου σε αυτό τοιχώματος με τοποθέτηση βλήτρων κατά μήκος της διεπιφάνειας επαφής πλαισίου-τοιχώματος («τοιχωματοποίηση πλαισίων») υπολογίζεται, βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ., ως άθροισμα τριών παραγόντων-μηχανισμών μεταφοράς δυνάμεων. Στα επόμενα αναφέρονται οι σχετικές εξισώσεις υπολογισμού που προτείνονται. Σχολιάζεται επίσης ο τρόπος εφαρμογής ορισμένων διατάξεων.

### 6.2. Υπολογισμός Αντοχής Δοκιμίων σε Οριζόντιο Φορτίο με Βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

#### 6.2.1. Αντοχή σε οριζόντιο φορτίο «διαγώνιου θλιπτήρα» τοιχώματος ( $F_{s1}$ )

Η αντοχή διαγώνιου θλιπτήρα φανώματος λόγω «τοιχωματοποίησης πλαισίων»,  $N_S$ , (βλέπε Σχ. 6.1) μετά την κρίσιμη ανηγμένη παραμόρφωση σκυροδέματος,  $\varepsilon_{co}=0,002$ , υπολογίζεται με βάση τη σχέση (1) (Σ8.15, ΚΑΝ.ΕΠΕ..) ως

$$N_S = \lambda f_c' t_w b_w \quad , \quad (1)$$

όπου:

$\lambda$  = συντελεστής απομένουσας απόκρισης του διαγώνιου θλιπτήρα μετά την υπέρβαση της κρίσιμης παραμόρφωσής του (προτείνεται  $\lambda = 0.4$ )

$f_c' = 0,60f_c$ , η θλιπτική αντοχή σκυροδέματος υπό εγκάρσιο εφελκυσμό

$t_w$  = πάχος φανώματος

$b_w$  = ενεργό πλάτος του διαγωνίου θλιπτήρα, για τον υπολογισμό του οποίου ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. παραπέμπει στην παρ. 7.4(ζ.2) η οποία αναφέρεται σε τοιχοποιίες που προσομοιώνονται ως ισοδύναμες θλιβόμενες διαγώνιες ράβδοι.

Στους υπολογισμούς που ακολουθούν λαμβάνεται  $\lambda=1$ , καθώς θα γίνει αξιολόγηση της δυνατότητας του ΚΑΝ.ΕΠΕ. να εκτιμήσει το μέγιστο φορτίο. Επίσης, στη σχέση  $f_c' = 0.6f_{ck}$ , αντί για τον συντελεστή 0,60 τίθεται:

$$f_c' = \nu f_{ck} ,$$

όπου

$$\nu = (0,70 - f_{ck}/200) \text{ για ΕΚΩΣ και } \nu = 0,60 (1 - f_{ck}/250) \text{ για ΕΚ2-1-1}$$

Αναφέρεται ότι με βάση το συμβιβαστό των παραμορφώσεων (παράγραφος 7.4(ζ.2)) προκύπτει:

$$b_w \approx L (f_{wv} / f_{wc,s}) , \quad (i)$$

όπου:

$f_{wv}$  = διατμητική αντοχή τοιχοπλήρωσης

$f_{wc,s}$  = θλιπτική αντοχή τοιχοπλήρωσης κατά την διαγώνιο συνεκτιμώντας και την απομείωσή της λόγω των εγκάρσιων εφελκυστικών τάσεων

Αναφέρεται ακολούθως ότι για μέσες τιμές αντοχών υλικών προκύπτει:

$$b_w \approx 0,15L$$

Στην περίπτωση εμφάνισης τοιχώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα, για τον προσδιορισμό της σχέσης που συνδέει τα μεγέθη  $b_w$  και  $L$  από την σχέση (i) θα πρέπει να ληφθούν οι αντίστοιχες τιμές αντοχών για το σκυρόδεμα:

$$f_{wv} = \tau_R = 0,25 f_{ctk,0.05} = 0,25 \times 0,30 \times 0,70 \times f_{cc}^{2/3} = 0,052 f_{cc}^{2/3}$$

$$f_{wc,s} = \nu f_{cc}$$

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι για σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής  $f_{cc}=30$  MPa, το «ισοδύναμο» πλάτος,  $b_w$ , του ενεργοποιούμενου θλιπτήρα αντικαθιστώντας τις αντίστοιχες τιμές αντοχών του σκυροδέματος με βάση τη σχέση (i), προκύπτει:

$$b_w \approx L (f_{wv} / f_{wc,s}) = L (\tau_R / \nu f_{cc}) = L (0,50 / 16,5) = 0,03L \ll 0,15L$$

Στους υπολογισμούς που ακολουθούν, ως ενεργό πλάτος θλιπτήρα λαμβάνεται η τιμή  $b_w=0,15L$  που προτείνεται για την περίπτωση εμφαντωμένων τοιχοποιιών, καθώς η τιμή  $b_w$  που προκύπτει από την αντικατάσταση των αντοχών του σκυροδέματος ( $f_{wv} / f_{wc,s}$ ) οδηγεί σε πολύ μικρή συνεισφορά του θλιπτήρα ( $b_w \approx 0,03L$  για  $f_{cc}=30$  MPa). Ίσως θα ήταν σκόπιμο στην παράγραφο 8.5.3.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. να δίνεται η τιμή του πλάτους  $b_w$  χωρίς να γίνεται αναφορά στο εδάφιο που σχετίζεται με τοιχοπληρώσεις.

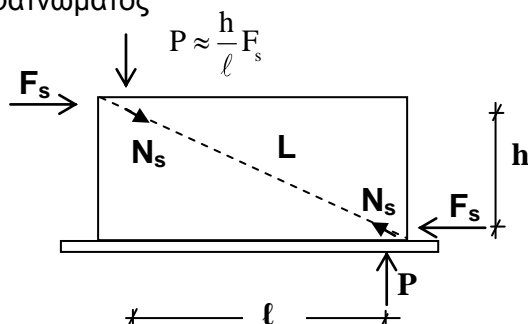
Η συνιστώσα της αντοχής,  $N_s$ , κατά την οριζόντια διεύθυνση (βλέπε Σχ. 6.1) είναι:

$$F_{s1} = \frac{\ell}{L} N_s \quad (1.1)$$

όπου:

$\ell$  = μήκος φατνώματος

$L$  = μήκος διαγωνίου του φατνώματος



Σχήμα 6.1 - Μηχανισμός διαγωνίου θλιπτήρα σε τοίχωμα.

### 6.2.2. Αντοχή σε οριζόντιο φορτίο της διεπιφάνειας τοιχώματος/πλαισίου ( $F_{s2}$ )

Τα βλήτρα (διατμητικοί σύνδεσμοι) που τοποθετούνται στην διεπιφάνεια τοιχώματος-δοκού συνεισφέρουν στην ανάληψη της τέμνουσας στην οριζόντια διεύθυνση ( $F_{βλ,οριζ.}$ ). Η διατμητική φέρουσα ικανότητα των βλήτρων, συνυπολογίζοντας την επίδραση τυχόν ανακυκλιζόμενης δράσης, με βάση τη σχέση (2) (σχέση 6.9, ΚΑΝ.ΕΠΕ.) είναι:

$$F_u = 0.65 d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \leq \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

όπου:

0.65 = μειωτικός συντελεστής της συνεισφοράς του βλήτρου λόγω ανακυκλιζόμενης φόρτισης

$d_b$  = η διάμετρος της ράβδου (mm)

$f_{cd}$  = θλιπτική αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος, του ασθενέστερου εκ των δύο εκατέρωθεν της διεπιφάνειας (MPa)

$f_{yd}$  = τάση διαρροής σχεδιασμού χάλυβα (MPa)

$A_s$  = διατομή βλήτρου

Προϋπόθεση για την εφαρμογή της (2) είναι η ύπαρξη επαρκούς μήκους έμπηξης των βλήτρων στο σκυρόδεμα ( $\geq 8d_b$ , παρ.6.1.2.2δ) και επαρκών επικαλύψεων περιμετρικά του βλήτρου ( $\geq 8d_b$ , παρ.6.1.2.2β).

Η σχέση (3) (Σ8.17 ΚΑΝ.ΕΠΕ..) συνδέει την τέμνουσα που καταπονεί τα βλήτρα στη διεπιφάνεια υποστρώματος-φατνώματος ( $F_{βλ.,κατ.}$ ) με τη δύναμη που καταπονεί τα βλήτρα στη διεπιφάνεια τοιχώματος-δοκού ( $F_{βλ.,οριζ.}$ ):

$$F_{βλ., κατ.} = \frac{h}{\ell} F_{βλ., οριζ.} \quad (3)$$

Επί πλέον, τίθεται ένα άνω όριο για τη συμμετοχή των βλήτρων, υποθέτοντας ότι δεν θα ενεργοποιηθούν όλα τα βλήτρα πλήρως και ταυτόχρονα.

$$F_{βλ, \text{οριζ.}} < \frac{1}{2} n_{\delta} F_{ud} \quad (4.1)$$

$$F_{βλ, \text{κατ.}} < \frac{1}{2} n_v F_{ud} \quad (4.2)$$

όπου:

$n_{\delta}$ ,  $n_v$  = αριθμός βλήτρων κατά μήκος της διεπιφάνειας του φατνώματος με τη δοκό και το υποστύλωμα, αντίστοιχα, και

$F_{ud}$  = η αντοχή βλήτρου, συνεκτιμώντας την επιρροή της ανακυκλιζόμενης φόρτισης, υπολογισμένη με βάση την αντοχή του ασθενέστερου σκυροδέματος πλαισίου και φατνώματος

### 6.2.3. Αντοχή σε οριζόντιο φορτίο υποστυλωμάτων πλαισίου ( $F_{s3}$ )

Η συνεισφορά των υποστυλωμάτων στην ανάληψη τέμνουσας από το σύστημα πλαισίου-εμφατνούμενου τοιχώματος με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.. υπολογίζεται μειωμένη μέσω ενός συντελεστή «αβεβαιότητας προσομοιώματος δράσης»,  $\gamma_{sd}=1,3$ . Επομένως, η συνεισφορά των δύο υποστυλωμάτων του πλαισίου διαμορφώνεται ως εξής:

$$F_{s3} = (V_c + V_s) / \gamma_{sd} = 2 \frac{V_{Rd3}}{\gamma_{sd}} = 2 \frac{V_{Rd3}}{1,3} \quad , \quad (5)$$

όπου η διατμητική αντοχή κάθε υποστυλώματος είναι:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd}, \quad \text{με βάση τον ΕΚΩΣ 2000} \quad (6.1)$$

$$V_{Rd3} = V_{wd} \quad , \quad \text{με βάση τον ΕΚ2-1-1} \quad (6.2)$$

### 6.2.4. Συνολική αντοχή πλαισίου σε οριζόντια δύναμη ( $F_s$ )

Άρα, η συνολική αντοχή σε οριζόντια δύναμη ενός πλαισίου με εμφατνωμένο τοίχωμα που διασυνδέεται με το πλαίσιο μέσω βλήτρων είναι:

$$F_s = P_{v,cal} = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} \quad (7\alpha)$$

Σε περίπτωση κατασκευής τοιχώματος εντός του πλαισίου χωρίς διασύνδεσή του με βλήτρα με το περιβάλλον πλαίσιο («απλό γέμισμα»), με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.:

$$F_s = P_{v,cal} = F_{s1} + F_{s3} \quad (7\beta)$$

Επίσης, γίνονται και οι ακόλουθοι έλεγχοι αντοχής:

α) Έλεγχος αποφυγής αστοχίας διαγώνιου θλιπτήρα σκυροδέματος:  $F_{s1} < V_{Rd2}$

β) Έλεγχος τυχόν εξάντλησης της καμπτικής αντοχής του πλαισίου πριν την αστοχία λόγω τέμνουσας. Για τον σκοπό αυτόν υπολογίζεται το οριζόντιο φορτίο  $P_{flex,cal}$ , που αντιστοιχεί στην καμπτική αντοχή ή την αντοχή διαρροής της διατομής,  $M_R=M_u$  ή  $M_y$ , στη βάση του τοιχώματος (παραδοχή επιπεδότητας διατομών) και συγκρίνεται με την υπολογισθείσα διατμητική αντοχή (οριζόντια δύναμη),  $P_{v,cal}$  του πλαισίου. Αν προκύπτει ότι  $P_{v,cal} > P_{flex,cal}$ , τότε η φέρουσα ικανότητα του συστήματος καθορίζεται από την αστοχία του πλαισίου σε κάμψη. Στην συνέχεια υπολογίζονται οι

επιμέρους αντοχές  $F_{si}$  με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.. για τις παραμέτρους των δοκιμών της παρούσας έρευνας.

α) Συνεισφορά θλιπτήρα σκυροδέματος:

Για τοίχωμα πάχους,  $t_w=0,05$  m και  $\ell=1,30$  m, στην περίπτωση των δοκιμών με  $L/h=1,73$  (δοκίμια Α) και  $\ell=0,90$  m στην περίπτωση των δοκιμών με  $L/h=1,20$  (δοκίμια Β)

$$F_{s1} \text{ (kN)} = \frac{\ell}{L} f_c' t_w b_w = \frac{\ell}{L} \nu f_c \times 0,05 \times 0,15L \times 10^3 = 7,5 \ell \nu f_c \text{ (m, MPa)} \quad (1.1a)$$

και  $F_{s1} < V_{Rd2} = 0,50 \nu f_c b_w 0,9d$

β) Συνεισφορά βλήτρων:

Για τα βλήτρα  $\varnothing 6/100$  των δοκιμών με  $d_b = 6$  mm,  $A_s = 28,3 \text{ mm}^2$ , και  $f_{yk} = 470$  MPa,

$$F_u = 0,65 d_b^2 \sqrt{f_{yk}} \sqrt{f_{ck}} = 0,65 \times 6^2 \times \sqrt{470} \sqrt{f_{ck}} \times 10^{-3} = 0,507 \sqrt{f_{ck}} \text{ (kN)} \quad (2a)$$

με άνω όριο  $F_{u,max} = (A_s f_{yk}) / \sqrt{3} = 28,3 \times 470 / \sqrt{3} \times 10^{-3} = 7,68 \text{ (kN)}$  [ $f_{ck}$  σε MPa]

Για τα δοκίμια της παρούσας έρευνας η συνεισφορά των βλήτρων περιορίζεται από την τιμή  $0,5nF_{ud}$  και λαμβάνεται υπόψη πλήρης συνεισφορά των βλήτρων λόγω επαρκούς μήκους έμπηξης στο σκυρόδεμα ( $\geq 8d_b=48$  mm).

- Πλήθος βλήτρων μεταξύ δοκού-τοιχώματος:

$$n_\delta = 13 \text{ για τα δοκίμια της σειράς Α και } n_\delta = 9 \text{ για τα δοκίμια της σειράς Β}$$

- Μέγιστη δύναμη ενεργοποίησης βλήτρων κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.:

$$F_{\beta\lambda, \text{οριζ.}} \text{ (kN)} < \frac{1}{2} n_\delta F_{ud} = \frac{1}{2} \times 13 \times 0,507 \sqrt{f_{ck}} = 3,30 \sqrt{f_{ck}} \text{ [} f_{ck} \text{ σε MPa]} \text{ για δοκίμια Α2÷Α8} \quad (4.1a)$$

$$F_{\beta\lambda, \text{οριζ.}} \text{ (kN)} < \frac{1}{2} n_\delta F_{ud} = \frac{1}{2} \times 9 \times 0,507 \sqrt{f_{ck}} = 2,28 \sqrt{f_{ck}} \text{ [} f_{ck} \text{ σε MPa]} \text{ για δοκίμια Β1÷Β3} \quad (4.1b)$$

γ) Συνεισφορά υποστυλωμάτων πλαισίου:

Επειδή στην φέρουσα ικανότητα έναντι τέμνουσας με βάση τον ΕΚ2-1-1 αμελείται η συνεισφορά του σκυροδέματος, στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών (Πίν. 6.1α, 1β) αναφέρεται ξεχωριστά η συνεισφορά του σκυροδέματος ( $V_c=0,30V_{Rd1}$ , ΕΚΩΣ 2000) και η συνεισφορά των συνδετήρων,  $V_s$ . Στον υπολογισμό όμως της συνολικής τέμνουσας,  $F_{s3}$ , των υποστυλωμάτων λαμβάνεται και η συνεισφορά του σκυροδέματος, ( $V_c+V_s$ ), με βάση τον ΕΚΩΣ καθώς οι διαφορές που προκύπτουν με την εφαρμογή του ΕΚ2-1-1 είναι μικρές. Επισημαίνεται επίσης ότι κατά τον υπολογισμό της τέμνουσας  $V_s$  που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες του υποστυλώματος κατά ΕΚ2 πρέπει να ληφθεί μεταβλητή κλίση θλιπτήρων  $\theta$  και όχι  $\theta=45^\circ$ , όπως ισχύει και στον ΕΚΩΣ. Στον Πίν. 6.1 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις της φέρουσας ικανότητας σε τέμνουσα για  $\theta=45^\circ$  των πλαισίων

της παρούσας έρευνας,  $P_{v,cal}$ , με την εφαρμογή των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ., καθώς επίσης και οι επί μέρους όροι που συνεισφέρουν στην  $P_{v,cal}$ .

Επίσης αναγράφονται οι τέμνουσες  $P_{flex,cal}$  που αντιστοιχούν στην εκτιμηθείσα καμπτική αντοχή (και σε παρένθεση την αντοχή 1<sup>ης</sup> διαρροής,  $M_y$ ) της διατομής βάσης του πλαισίου, θεωρώντας ότι το στατικό σύστημα του πλαισίου είναι πρόβολος,

$$P_{flex,cal} = M_R/h$$

όπου:

$h$  = απόσταση μεταξύ της θέσης εφαρμογής του οριζόντιου φορτίου από την βάση των υποστυλωμάτων στο σώμα θεμελίωσης ( $h=0,85$  m)

$M_R$ =καμπτική ροπή αντοχής,  $M_u$ , ή ροπή διαρροής,  $M_y$ , της βάσης του πλαισίου-τοιχώματος, λαμβάνοντας υπόψη και τη συνεισφορά των βλήτρων, εάν υπάρχουν, ανεξάρτητα του μήκους αγκύρωσής τους

Επίσης, οι εκτιμώμενες και οι πειραματικές φέρουσες ικανότητες για ορισμένα πλαίσια με εμφατωμένα τοιχώματα Ο.Σ. από εργασίες άλλων ερευνητών παρουσιάζονται στον Πίν. 6.2. Επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. που παρουσιάζονται στους Πιν. 6.1 και 6.2 της παρούσας έκθεσης έχουν προκύψει με τις ακόλουθες παραδοχές, ενώ εντός παρένθεσης είναι οι αντίστοιχες τιμές που έχουν ληφθεί στους υπολογισμούς της 1<sup>ης</sup> Έκθεσης Προόδου για δοκίμια της διεθνούς βιβλιογραφίας.

- $\lambda=1$  για την αντοχή του θλιπτήρα,  $N_s$  (εκτιμήσεις για  $\lambda = 0,4$  παρουσιάζονται στον Πίν. 6.3)
- $\nu=[0,70-f_{ck}/200]$ , συντελεστής μείωσης της  $f_c$  λόγω εγκάρσιου εφελκυσμού ( $\nu=0,60$ )
- $\gamma_s=1,3$  για τη συμβολή διατμητικής αντοχής των υποστυλωμάτων ( $\gamma_s=1$ )

Επίσης, οι εκτιμήσεις των αντοχών στους Πιν. 6.1 και 6.2 έχουν προκύψει για τις πραγματικές τιμές αντοχής χάλυβα και σκυροδέματος και όχι για τις αντοχές σχεδιασμού (δηλαδή  $\gamma_c=\gamma_s=1$ ). Για τα δοκίμια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος η θλιπτική αντοχή σκυροδέματος πλαισίου και τοιχώματος για κυλινδρικά δοκίμια βασίστηκε στον Πίν. 2.1.

Οι υπολογισμοί στους Πίν. 6.1α, 6.1β και 6.2 έχουν γίνει με εφαρμογή των ΕΚΩΣ2000 και ΕΑΚ. Σε περίπτωση που εφαρμοστεί ο Ευρωκώδικας θα υπάρχουν οι εξής μικρές διαφοροποιήσεις:

- $V_c = 0$
- $\nu=(0,70-f_{ck}/200)$  για ΕΚΩΣ 2000 και  $\nu=0,60$  ( $1-f_{ck}/250$ ) για ΕΚ2-1-1  
(π.χ. για  $f_c=30$  MPa:  $\nu=0,55$  για ΕΚΩΣ 2000 και  $\nu=0,53$  για ΕΚ2-1-1)

**Πίνακας 6.1α** - Εκτιμήσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ. για  $\lambda=1$ ) και πειραματικές τιμές μέγιστου οριζόντιου φορτίου για τα δοκίμια της σειράς Α ( $\ell/h=1,73$ ).

κωδικός δοκιμίου	περιγραφή	τρόπος ενίσχυσης υποστυλωμάτων	$P_{exp,max}$ (kN)	$F_{s1}$ (kN)	$F_{s2}$ (kN)	$V_c / 1,3$ (kN)	$V_s / 1,3$ (kN)	$F_{s3}$ (kN)	$P_{v,cal}$ (kN)	$P_{flex,cal}$ (kN)	$P_{exp,max}/P_{cal}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
<b>A2</b>	πλαίσιο+τοίχωμα χωρίς βλήτρα	-	73,7	152,5	-	14,7 (*)	16,0	30,7	183,2	110 (89)	0,67 (0,83)
<b>A3</b>	πλαίσιο+τοίχωμα χωρίς βλήτρα	-	100,0	168,5	-	4,0	16,0	20,0	188,5	110 (89)	0,91 (1,12)
<b>A4</b>	πλαίσιο+τοίχωμα με βλήτρα περιμετρικά (μικρό μήκος αγκύρωσης)	-	155,6	168,5	17,4	4,0	16,0	20,0	205,9	235 (160)	0,76 (0,97)
<b>A5</b>	πλαίσιο+τοίχωμα με βλήτρα πάνω/κάτω (μικρό μήκος αγκύρωσης)	-	149,1	164,0	17,3	4,0	16,0	20,0	201,3	235 (160)	0,74 (0,93)
<b>A6</b>	πλαίσιο+τοίχωμα χωρίς βλήτρα	με οπλισμένο μανδύα και μονολιθική σκυροδέτηση του τοιχώματος	278,6	145,8	-	13,6	85,4	99,0	244,8	612 (520)	1,14
<b>A7</b>	πλαίσιο+τοίχωμα με βλήτρα περιμετρικά (μεγάλο μήκος αγκύρωσης)	με οπλισμένο μανδύα και μονολιθική σκυροδέτηση του τοιχώματος	363,1	147,0	17,5	13,6	85,4	99,0	263,6	764 (520)	1,38

(\*) Συμβολή σκυροδέματος χωρίς μείωση λόγω ανακυκλιζόμενης φόρτισης:  $V_c=V_{Rd1}$  αντί για  $V_c= 0,3V_{Rd1}$  (ΕΚΩΣ) (Α2: μονοτονική φόρτιση)

**Πίνακας 6.1β** – Εκτιμήσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ. για  $\lambda=1$ ) και πειραματικές τιμές μέγιστου οριζόντιου φορτίου για τα δοκίμια της σειράς Β ( $\ell/h=1,20$ ).

κωδικός δοκιμίου	περιγραφή	τρόπος ενίσχυσης	$P_{exp,max}$ (kN)	$F_{s1}$ (kN)	$F_{s2}$ (kN)	$V_c/1,3$ (kN)	$V_s/1,3$ (kN)	$F_{s3}$ (kN)	$P_{v,cal}$ (kN)	$P_{flex,cal}$ (kN)	$P_{exp,max}/P_{cal}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
<b>B1</b>	πλαίσιο+τοίχωμα με βλήτρα πάνω/κάτω (μεγάλο μήκος)	-	122,7	109,7	12,4	4,2	16,0	20,2	142,3	146 (98)	0,86 (1,25)
<b>B2</b>	πλαίσιο+τοίχωμα με βλήτρα περιμετρικά (μεγάλο μήκος)	-	133,2	102,7	11,8	4,2	16,0	20,2	134,7	146 (98)	0,99 1,36)
<b>B3</b>	πλαίσιο+τοίχωμα, με βλήτρα πάνω/κάτω (μικρό μήκος)	-	100,2	109,7	12,4	4,2	16,0	20,2	142,3	146 (98)	0,70 (1,02)

Υπόμνημα: Επεξήγηση συμβολισμών για Πίν. 6.1 και 6.2

$P_{exp,max}$  = πειραματική φέρουσα ικανότητα δοκιμίου σε οριζόντιο φορτίο

$F_{s1}$  = οριζόντια δύναμη που αντιστοιχεί στην αντοχή του διαγώνιου θλιπτήρα του τοιχώματος (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

$F_{s2}$  = οριζόντια δύναμη που αναλαμβάνουν τα βλήτρα (ΚΑΝ.ΕΠΕ..)

$V_s$  = τέμνουσα δύναμη που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες και οι σύνδεσμοι των υποστυλωμάτων του πλαισίου

$V_c$  = τέμνουσα δύναμη που αναλαμβάνουν οι λοιποί μηχανισμοί πέραν των συνδετήρων στα υποστυλώματα του πλαισίου

$F_{s3}$  = συνολική οριζόντια δύναμη που αναλαμβάνουν τα υποστυλώματα του πλαισίου,  $(V_c+V_s) / \gamma_{sd}$ , με  $\gamma_{sd}=1,3$

$P_{v,cal}$  = οριζόντιο φορτίο σε τέμνουσα δύναμη που αναλαμβάνει το σύστημα πλαισίου-τοιχώματος ( $= F_{s1} + F_{s2} + F_{s3}$ )

$P_{flex,cal} = M_i / h$  = οριζόντια δύναμη που αντιστοιχεί στην  $M_u$  ή  $M_y$  (σε παρένθεση) στη βάση δοκιμίου, όπου  $h=0.85$  m η απόσταση του φορτίου από τη βάση του πλαισίου

$P_{cal}$  = εκτιμηθείσα αντοχή σε οριζόντιο φορτίο =  $\min(P_{v,cal}, P_{flex,cal})$

**Πίνακας 6.2 - Εκτιμήσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ. για  $\lambda=1$ ) και πειραματικές τιμές μέγιστου οριζόντιου φορτίου δοκιμών της βιβλιογραφίας.**

αναφορά βιβλιογραφίας	περιγραφή	είδος αστοχίας	$l/h$	$P_{exp,max}$ (kN)	$F_{s1}$ (kN)	$F_{s2}$ (kN)	$F_{s3}$ (kN)	$P_{v,cal}$ (kN)	$P_{flex,cal}$ (kN)	$P_{exp,max}/P_{cal}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
<b>[2] (δοκίμιο 3)</b>	μονώροφο πλαίσιο+ τοίχωμα	διατμητική (άκρη βλήτρων)	1,73	247,90	144,47	25,78	71,15	241,40	462	1,03
<b>[4] (δοκίμιο 2)</b>	πλαίσιο+τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 160 mm	καμπτική (άκρη μάτισης διαμήκων ράβδων υπ/τος)	0,62	70,60	162,19	12,78	13,18	188,15	90	0,78
<b>[5] (δοκίμιο B4)</b>	πλαίσιο+τοίχωμα, συνεχής διαμ. οπλ.		1,73	153,52	193,05	15,76	9,46	218,27	164	0,94
<b>[5] (δοκίμιο B8)</b>	πλαίσιο+τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 100 mm		1,73	142,28	212,09	18,20	10,19	240,5	200	0,71
<b>[6] (δοκίμιο 2)</b>	πλαίσιο+τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 160 mm		0,62	53,20	157,15	16,12	13,10	186,3	77	0,69

**Πίνακας 6.3α** - Εκτιμήσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ. για  $\lambda=0,4$ ) και πειραματικές τιμές μέγιστου οριζόντιου φορτίου για όλα τα δοκίμια της παρούσας έρευνας.

κωδικός δοκιμίου	$\ell/h$	$P_{exp,max}$ (kN)	$F_{s1}$ (kN)	$F_{s2}$ (kN)	$F_{s3}$ (kN)	$P_{v,cal}$ (kN)	$P_{flex,cal}$ (kN)	$P_{exp,max}/P_{cal}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
<b>A2</b>	1,73	73,7	61,0	-	30,7	91,7	110 (89)	0,80 (0,83)
<b>A3</b>	1,73	100,0	67,4	-	20,0	87,4	110 (89)	1,14 (1,12)
<b>A4</b>	1,73	155,6	67,4	17,4	20,0	104,8	235 (160)	1,48 (1,48)
<b>A5</b>	1,73	149,1	65,6	17,3	20,0	102,9	235 (160)	1,45
<b>A6</b>	1,73	278,6	58,3	-	99,0	157,3	612 (520)	1,77
<b>A7</b>	1,73	363,1	58,8	17,5	99,0	175,3	764 (520)	2,07
<b>B1</b>	1,20	122,7	43,9	12,4	20,2	76,5	146 (98)	1,60
<b>B2</b>	1,20	133,2	41,1	11,8	20,2	73,1	146 (98)	1,82
<b>B3</b>	1,20	100,2	43,9	12,4	20,2	76,5	146 (98)	1,31

**Πίνακας 6.3β** - Εκτιμήσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ. για  $\lambda=0,4$ ) και πειραματικές τιμές μέγιστου οριζόντιου φορτίου δοκιμών της βιβλιογραφίας.

αναφορά βιβλιογραφίας	$\ell/h$	$P_{exp,max}$ (kN)	$F_{s1}$ (kN)	$F_{s2}$ (kN)	$F_{s3}$ (kN)	$P_{v,cal}$ (kN)	$P_{flex,cal}$ (kN)	$P_{exp,max}/P_{cal}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
<b>[2] (δοκίμιο 3)</b>	1,73	247,90	57,8	25,78	71,15	154,7	462	1,60
<b>[4] (δοκίμιο 2)</b>	0,62	70,60	64,9	12,78	13,18	90,8	90	0,78
<b>[5] (δοκίμιο B4)</b>	1,73	153,52	77,2	15,76	9,46	102,4	164	1,50
<b>[5] (δοκίμιο B8)</b>	1,73	142,28	84,8	18,20	10,19	113,2	200	1,26
<b>[6] (δοκίμιο 2)</b>	0,62	53,20	62,9	16,12	13,10	92,1	77	0,69

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος του παρόντος ερευνητικού προγράμματος ήταν να διερευνηθεί η ισχύς των σχέσεων που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την εκτίμηση της αντοχής των πλαισίων με εμφατνούμενα τοιχώματα Ο.Σ.. Εξετάστηκαν πλαίσια με χαρακτηριστικά (οπλισμός, διαστάσεις) που αντιστοιχούν σε κατασκευές προ του 1980, δηλαδή ιδιαίτερα ευάλωτα σε ψαθυρή αστοχία. Εξετάστηκαν δοκίμια με δύο (2) λόγους διάτμησης τοιχώματος:  $l/h=1,73$  (σειρά Α) και  $l/h=1,20$  (σειρά Β).

Εκτός από την πρόταση ενίσχυσης πλαισίων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύα και σύνδεση του τοιχώματος μέσω βλήτρων σε όλη την περίμετρο της διεπιφάνειας τοιχώματος-πλαισίου και εκτράχυνση των διεπιφανειών περιμετρικά, εξετάστηκαν και λύσεις χωρίς την κατασκευή μανδύα στα υποστυλώματα, οι οποίες είναι απλούστερες κατασκευαστικά, π.χ. εμφάνιση τοιχώματος χωρίς σύνδεση με το πλαίσιο (απλό «γέμισμα» στα δοκίμια Α2 και Α3 χωρίς εκτράχυνση των διεπιφανειών), εμφάνιση τοιχώματος με περιμετρική σύνδεση με το πλαίσιο μέσω βλήτρων (δοκίμια Α4, Β2 - χωρίς εκτράχυνση), και εμφάνιση τοιχώματος με σύνδεση με βλήτρα μόνον στις οριζόντιες επιφάνειες του τοιχώματος με τη δοκό (πάνω) και με το θεμέλιο (κάτω) (δοκίμια Α5, Β1, Β3 - χωρίς εκτράχυνση). Εξετάστηκαν επίσης «κοντά» και «μακριά» βλήτρα. Οι σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. εφαρμόστηκαν για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας των δοκιμίων της παρούσας έρευνας, καθώς και δοκιμίων της βιβλιογραφίας (βλέπε Πίν. 6.1 για  $\lambda=1$  και 6.3 για  $\lambda=0,4$ ).

Κατά τους υπολογισμούς της συμβολής του θλιπτήρα με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. στους Πίν. 6.1, 6.2 έγιναν οι εξής παραδοχές:

- Το πλάτος του διαγώνιου θλιπτήρα στους υπολογισμούς λήφθηκε  $b_w=0,15L$ . Επισημαίνεται η ανάγκη ενδεχόμενης αλλαγής στην διατύπωση της σχετικής παραγράφου του ΚΑΝ.ΕΠΕ. ώστε να γίνει σαφέστερο το πάχος του θλιπτήρα που προτείνεται (βλ. παρ. 6.2.1).
- Λήφθηκε  $\lambda=1$  (συντελεστής απομένουσας απόκρισης διαγώνιου θλιπτήρα μετά την υπέρβαση της κρίσιμης παραμόρφωσής του) και όχι  $\lambda=0,4$ , όπως προτείνεται, με την αιτιολόγηση ότι διερευνάται η δυνατότητα του προσομοιώματος να εκτιμήσει την μέγιστη φέρουσα ικανότητα των ενισχυμένων πλαισίων. Στον Πίν. 6.3α παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για  $\lambda=0,4$ .

Κατ' αρχήν, οι σχετικά χαμηλές τιμές  $V_{exp,max}/V_{cal}$  για τα δοκίμια Α2, Α3 οφείλονται στην αστοχία του κόμβου δοκού/υποστυλώματος που έγινε σε χαμηλότερο φορτίο και η μετρηθείσα φέρουσα ικανότητα των δοκιμίων σε οριζόντιο φορτίο δεν έχει καμιά σχέση με αστοχία διαγώνιου θλιπτήρα (βλέπε Πίν. 6.1α για  $\lambda=1$ ). Το τοίχωμα όταν αποκολλήθηκε σε κάποιο φορτίο από το περιβάλλον πλαίσιο συμπεριφέρθηκε ως στερεό σώμα και μετέφερε το οριζόντιο φορτίο επιτυχώς βασικά

μέσω της θλιβόμενης διαγωνίου μέχρις ότου αστόχησαν οι κόμβοι του πλαισίου. Άρα, η μέση διαγώνια δύναμη που μεταφέρεται στο τοίχωμα (περίπου 75 kN με βάση την ισορροπία), είναι μικρότερη από την κρίσιμη δύναμη που προκαλεί αστοχία σε θλίψη στο διαγώνιο θλιπτήριο σκυροδέματος, αλλά ικανή βέβαια να προκαλέσει αστοχία στον αδύνατο σχετικά κόμβο του πλαισίου.

Το δοκίμιο A4 («κοντά» βλήτρα περιμετρικά) σε σχέση με το A5 («κοντά» βλήτρα πάνω/κάτω) παρουσιάζει παρόμοια ικανότητα απορρόφησης ενέργειας (το A4 υπερέχει οριακά) και μέση φέρουσα ικανότητα,  $\pm P_{max}$  αυξημένη κατά περίπου 7% αυτής του A5. Η ύπαρξη των επιπλέον βλήτρων στις κατακόρυφες διεπιφάνειες στο δοκίμιο A4 φαίνεται να περιορίζει τις σχετικές μετακινήσεις του τοιχώματος με το πλαίσιο, αλλά πιθανώς οδηγεί σε αυξημένη βλάβη στις περιοχές αγκύρωσης των βλήτρων στα υποστυλώματα. Το προσομοίωμα του ΚΑΝΕΠΕ για την περίπτωση των A4 και A5 για  $\lambda=1$ , φαίνεται ότι υπερεκτιμά την φέρουσα ικανότητα χωρίς οπωσδήποτε η αστοχία να έχει καμιά σχέση με αστοχία θλιπτήρα, αλλά περισσότερο με καμπτοδιατμητική αστοχία στον πόδα των υποστυλωμάτων (βλέπε Πίν. 6.1α).

Παρατηρήθηκε ξεκάθαρη υπεροχή του A7 ως προς το A6 (χωρίς βλήτρα) καθόσον αφορά στην φέρουσα ικανότητα και την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Επίσης, τα δοκίμια A6 και A7 λόγω της ενίσχυσης των υποστυλωμάτων με μανδύα, παρουσιάζουν περίπου κατά 60% αυξημένη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας σε σχέση με τα δοκίμια A4 και A5 (βλέπε Σχ. 5.27). Το προσομοίωμα του διαγώνιου θλιπτήρα που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. για  $\lambda=1$  εμφανίζεται συντηρητικό και ιδιαίτερα στην περίπτωση του δοκιμίου A7 (βλήτρα περιμετρικά) (βλέπε Πίν. 6.1α). Βέβαια, πρέπει να τονιστεί ότι τα δοκίμια A6 και A7 είναι τα μόνα δοκίμια στα οποία υπήρξε καθαρά διατμητική αστοχία στην κατά μήκος τομή του πλαισίου στο ύψος της πάνω διεπιφάνειας του τοιχώματος χωρίς να αστοχήσει ο διαγώνιος θλιπτήρας. Και στα δύο δοκίμια (A6, A7) δημιουργήθηκαν οι εντονότερες χιαστί ρωγμές από όλα τα δοκίμια και στο δοκίμιο A7 παρατηρήθηκε η μέγιστη ενεργοποίηση του διαγώνιου θλιπτήρα.

Για τα δοκίμια της σειράς B, οι προτεινόμενες σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για  $\lambda=1$  οδηγούν σε μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα πλαισίου από την πειραματική, ιδιαίτερα στην περίπτωση του δοκιμίου B3 («κοντά» βλήτρα). Αυτό συμβαδίζει με τα πειραματικά αποτελέσματα που δείχνουν καμπτικού τύπου αστοχία (διαρροή διαμήκους σπλισμού) (βλέπε Πίν. 6.1β). Ο διαγώνιος θλιπτήρας ενεργοποιείται λιγότερο από ότι στα δοκίμια της σειράς A, γεγονός που αναμένεται λόγω του μικρότερου λόγου διάτμησης  $l/h$ . Τα δοκίμια της σειράς B ( $l/h=1,20$ ) παρουσιάζουν ικανότητα απορρόφησης ενέργειας ίση περίπου με το 50% της αντίστοιχης ικανότητας των δοκιμίων A4 και A5 ( $l/h=1,73$ ) (βλέπε Σχ. 5.27 και 5.28).

Η επιλογή της ενίσχυσης των υποστυλωμάτων και των κόμβων μέσω μανδύα Ο.Σ. που κατασκευάζεται ταυτόχρονα με το τοίχωμα, λύση που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ., είναι αναμφίβολα η πλέον αποτελεσματική δεδομένου ότι προσφέρει σημαντική διατμητική ενίσχυση του υποστυλώματος και του κόμβου. Η λύση αυτή οδηγεί σε σημαντική αύξηση της δυσκαμψίας του πλαισίου, της ικανότητας απόσβεσης ενέργειας και της πλαστιμότητας. Το μήκος έμπληξης  $8d_b$  (κάτω όριο ΚΑΝΕΠΕ) των βλήτρων με ρητίνη στο υφιστάμενο πλαίσιο σε ορισμένες περιπτώσεις αποδείχτηκε ανεπαρκές καθώς παρατηρήθηκαν μεμονωμένες αστοχίες αγκύρωσης «κοντών» βλήτρων με τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στην περιοχή της αγκύρωσης και ιδιαίτερα στις κατακόρυφες διεπιφάνειες με τα υποστυλώματα. Επισημαίνεται ότι τα βλήτρα στην περίπτωση της εμφάνισης τοιχώματος λειτουργούν ταυτόχρονα και ως αγκύρια κατά την ανακυκλιζόμενη φόρτιση, γεγονός που καθιστά ενδεχομένως ανεπαρκές το μήκος έμπληξης,  $8d_b$ . Για την μεγαλύτερη ενεργοποίηση του τοιχώματος συνιστάται να χρησιμοποιούνται μεγαλύτερου μήκους βλήτρα, τα οποία συμμετέχουν περισσότερο και στην ανάληψη των καμπτικών ροπών. Αξίζει να επισημανθεί ότι, ανεξάρτητα του μήκους των βλήτρων στις οριζόντιες διεπιφάνειες, με βάση τις μετρήσεις της σχετικής ολίσθησης (στο συγκεκριμένο σημείο της διεπιφάνειας που έγινε η μέτρηση) στο μέγιστο οριζόντιο φορτίο για τα δοκίμια A4, A5, A7, B1 και B3, η μέση τιμή της σχετικής ολίσθησης του τοιχώματος στην πάνω και κάτω διεπιφάνεια (βλέπε Πίν. 5.1) είναι πολύ κοντά στην απαιτούμενη από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.,  $0,1d_b$  (παρ. 6.1.2.2ε), για την επίτευξη της μέγιστης αντοχής στα βλήτρα.

Η χρήση του προσομοιώματος που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. για  $\lambda=0,4$  (βλέπε Πίν. 6.3), οδηγεί σε συντηρητικά αποτελέσματα εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας του ενισχυμένου πλαισίου, γεγονός το οποίο δεν είναι απαραίτητα υπέρ της ασφάλειας κατά τον σχεδιασμό της ενίσχυσης του φέροντος οργανισμού ενός κτηρίου. Η συμβολή του διαγώνιου θλιπτήρα, η οποία πρακτικά διαμορφώνει την φέρουσα ικανότητα κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ., χρειάζεται επανεκτίμηση. Στην περίπτωση ενίσχυσης του πλαισίου με γέμισμα (τοίχωμα χωρίς βλήτρα, ή έστω με βλήτρα μόνον στις οριζόντιες άνω και κάτω επιφάνειες επαφής του τοιχώματος με το πλαίσιο) ο ΚΑΝ.ΕΠΕ προτείνει (παρ. 8.5.2) «να ελέγχονται οι πρόσθετες τέμνουσες στις δοκούς και στα υποστυλώματα του υφισταμένου σκελετού όπως παραμορφώνεται κατά τη στιγμή του σεισμού σχεδιασμού». Παρατηρείται ότι η πρόταση αυτή, παρόλο ότι είναι απολύτως ορθή, είναι πρακτικώς αδύνατον να εφαρμοστεί. Κίνδυνος αστοχίας του πλαισίου εξαιτίας των μεταβιβαζόμενων δυνάμεων υφίσταται όταν αρχίσει η αποκόλληση του τοιχώματος από το πλαίσιο, όπως φάνηκε από τις δοκιμές. Κρίνεται ότι χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση των μηχανισμών αυτών για να διατυπωθούν κάποιες σχετικές οδηγίες για τον σχεδιασμό. Η συνεχιζόμενη αξιολόγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας θα βοηθήσει προς αυτή την κατεύθυνση.

## 8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 8.1. Υπολογισμός Αντοχής Τέμνουσας, $P_{v,cal}$ , Δοκιμίου A7 με Βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. και ΕΚΩΣ

Η εκτιμηθείσα αντοχή σε τέμνουσα,  $P_{v,cal}=F_s = F_{s1}+F_{s2}+F_{s3}$ , για το δοκίμιο A7 υπολογίζεται ως εξής:

(α) Συμβολή θλιπτήρα σκυροδέματος:  $F_{s1}$  (εξ. 2α)

$$F_{s1} \text{ (kN)} = 7,5 \ell v f_c = 7,5 \times 1,24 \times 0,5585 \times 28,3 = 147,0 \text{ kN} < V_{Rd2} = 0,50 v f_c b_w 0,9d = 425 \text{ kN},$$

όπου

$$f_c = 28,3 \text{ MPa}$$

$$v = (0,70 - f_{ck}/200) = (0,70 - 28,3/200) = 0,5585$$

$\ell = 1,24 \text{ m}$  (μειωμένο κατά 0,06 m συγκριτικά με τα A2, A3, A4 και A5 λόγω των μανδύων των υπ/των)

(β) Συμβολή βλήτρων:  $F_{s2}$  (εξ. 4.1α)

Η συμβολή των βλήτρων περιορίζεται από το άνω όριο του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την πλήρη ενεργοποίηση μόνον των μισών βλήτρων ( $F_{βλ, οριζ.} < \frac{1}{2} n_{\delta} F_{ud}$ ) είναι:

$$F_{s2} = F_{βλ, οριζ.} = 3,30 \sqrt{f_{ck}} = 3,30 \sqrt{28,3} = 17,55 \text{ kN}, \text{ όπου}$$

$$f_c = 28,3 \text{ MPa} = \min(28,5 \text{ MPa}, 28,3 \text{ MPa})$$

Σε περίπτωση που δεν υπολογιστεί η μείωση της αντοχής των βλήτρων λόγω ανακυκλιζόμενης φόρτισης η συμβολή των βλήτρων διαμορφώνεται ως εξής:  $F_{βλ, οριζ.} = 17,55 / 0,65 = 27 \text{ kN}$

(γ) Συμβολή υποστυλωμάτων πλαισίου:  $F_{s3}$

α1) συμβολή σκυροδέματος

Για κάθε υποστύλωμα:

$$V_{Rd1} = [T_R k (1,2 + 40\rho) + 0,15\sigma_{cp}] b d = [0,4878 \times 1,455 \times (1,2 + 40 \times 1,51/100)] 0,16 \times 0,144 \times 1000 = 29,5 \text{ kN},$$

όπου

$$f_c = 28,3 \text{ MPa} = \min(28,5, 28,3 \text{ MPa})$$

$$T_R = 0,25 f_{ctk, 0,05} = 0,25 \times 0,30 \times 0,70 (f_{cc})^{2/3} = 0,0525 (f_{cc})^{2/3} = 0,0525 \times (28,3)^{2/3} = 0,4878 \text{ MPa}$$

$$k = 1,6 - d = 1,6 - 0,145 = 1,455$$

$$\rho = A_s / (b h) = 3,86 / (16 \times 16) = 1,51\%$$

$$A_s = (6 \times 0,502) + 3 \times 0,2826 = 3,86 \text{ cm}^2 \quad (6\Phi 8: \text{μανδύας και } 3\Phi 6: \text{αρχικό υπ/μα})$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$d = h - c - \Phi_w - \Phi_L / 2 = 0,16 - 0,009 - 0,003 - 0,004 = 0,144 \text{ m}, \text{ και}$$

$$b = 0,16 \text{ m}$$

Η μειωμένη συμβολή του σκυροδέματος λόγω εναλλασσόμενης φόρτισης υπολογίζεται:

$$V_c = 0,30 V_{Rd1} = 0,30 \times 29,5 = 8,85 \text{ kN}$$

α2) συμβολή συνδετήρων

Για κάθε υποστύλωμα:

$$V_s = (A_{sw} / s) 0,9 d f_{wy} = 7,65 \times 0,9 \times 0,144 \times 560 \times 0,10 = 55,55 \text{ kN},$$

όπου

$A_{sw}/s = 2\Phi 3/60 + 3\Phi 3/40 = 2,355 + 5,30 = 7,65 \text{ cm}^2/\text{m}$  (αρχικό υπ/μα:  $2\Phi 3/60$ , μανδύας:  $3\Phi 3/40$ ) και  $f_{wy} = 560 \text{ MPa}$ ,  $d = 0,144 \text{ m}$

Εφαρμόζοντας τον συντελεστή αβεβαιότητας προσομοιώματος  $\gamma_R = 1,3$ , η συνολική συμβολή των δύο υποστυλωμάτων (βλέπε Πίν. 6.1α, στήλη 9), προκύπτει:

$$F_{s3} = 2 (V_c + V_s) / 1,3 = 2 \times (8,85 + 55,55) / 1,3 = 99 \text{ kN}$$

Αρα,

$$P_{v,cal} = F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} = 263,6 \text{ kN}$$

## 8.2. Υπολογισμός Πειραματικής Συμβατικής Οριζόντιας Μετακίνησης Διαρροής και Δείκτη Πλαστιμότητας

Η ονομαστική οριζόντια μετακίνηση «διαρροής»,  $\delta_y$ , ορίζεται συμβατικά μέσω της ευθείας ΟΑ (Σχ. 8.1) έτσι ώστε να παραμένει ίδιο εμβαδόν εκατέρωθεν της περιβάλλουσας P-δ του 1<sup>ου</sup> κύκλου φόρτισης (θετικού και αρνητικού φορτίου). Αυτό γίνεται καθώς η «διαρροή» στις περισσότερες περιπτώσεις δεν διακρίνεται εμφανώς. Για τον προσδιορισμό της  $\delta_y$  έχουν ληφθεί γενικά οι μέγιστες τιμές φορτίων P. Σε ορισμένες μόνον περιπτώσεις για τον ορισμό της  $\delta_y$  λήφθηκε και ένα μικρότερο φορτίο από το μέγιστο, διότι κρίθηκε ότι το φορτίο αυτό ήταν πιο αντιπροσωπευτικό από το μέγιστο για τον προσδιορισμό της διαρροής.

Η συμβατική δυσκαμψία «διαρροής»  $K_y$  ορίζεται ως:

$$K_y^+ = \frac{P_{\max}^+}{\delta_y^+} \quad \text{και} \quad K_y^- = \frac{P_{\max}^-}{\delta_y^-}$$

όπου  $P_{\max}^+$ ,  $P_{\max}^-$  είναι τα μέγιστα φορτία σε θετική και αρνητική φόρτιση, αντίστοιχα.

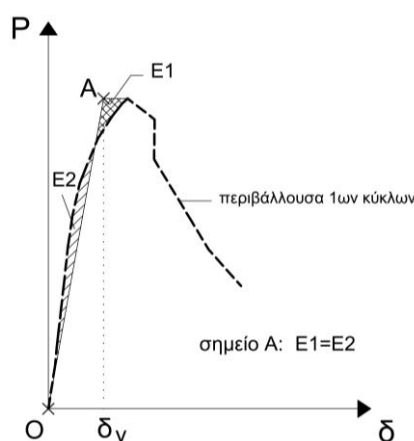
Ο δείκτης πλαστιμότητας σε όρους μετακινήσεων,  $\mu_\delta$ , υπολογίζεται ως ο λόγος της οριζόντιας μετακίνησης που αντιστοιχεί σε πτώση απόκρισης 15% κατά τον 2<sup>ο</sup> κύκλο φόρτισης προς τη συμβατική μετακίνηση «διαρροής»,  $\delta_y$ . Η μείωση απόκρισης λογίζεται πάντοτε ως προς την μέγιστη τιμή φορτίου για την κάθε διεύθυνση φόρτισης, και όχι ως προς το τυχόν μειωμένο φορτίο που λήφθηκε για τον ορισμό της μετακίνησης διαρροής  $\delta_y$ . Υπολογίζονται διαφορετικές τιμές δείκτη πλαστιμότητας για την θετική και αρνητική φορά φόρτισης, ως εξής:

$$\mu^+ = \frac{\delta(0,85P_{\max}^+)}{\delta_y^+} \quad \text{και} \quad \mu^- = \frac{\delta(0,85P_{\max}^-)}{\delta_y^-},$$

όπου

$\delta(0,85P_{\max}^+) =$  μετακίνηση για  $P = 0,85 P_{\max}^+$  στην περιβάλλουσα του 2<sup>ου</sup> θετικού κύκλου φόρτισης

$\delta(0,85P_{\max}^-) =$  μετακίνηση για  $P = 0,85 P_{\max}^-$  στην περιβάλλουσα του 2<sup>ου</sup> αρνητικού κύκλου φόρτισης



**Σχήμα 8.1** – Τρόπος υπολογισμού της συμβατικής τιμής διαρροής,  $\delta_y$ .

Οι υπολογισθείσες τιμές της συμβατικής οριζόντιας μετακίνησης διαρροής  $\delta_y$ , του δείκτη πλαστιμότητας  $\mu_\delta$ , και της επιβατικής δυσκαμψίας,  $K_y$ , για τους θετικούς και τους αρνητικούς κύκλους φόρτισης περιλαμβάνονται στον Πίν. 8.1.

**Πίνακας 8.1α** - Ονομαστική οριζόντια μετακίνηση,  $\delta_y^+$ , δείκτης πλαστιμότητας μετακινήσεων,  $\mu_\delta^+$ , και επιβατική δυσκαμψία,  $K_y^+$ , συμβατικής “διαρροής” για τους θετικούς κύκλους φόρτισης.

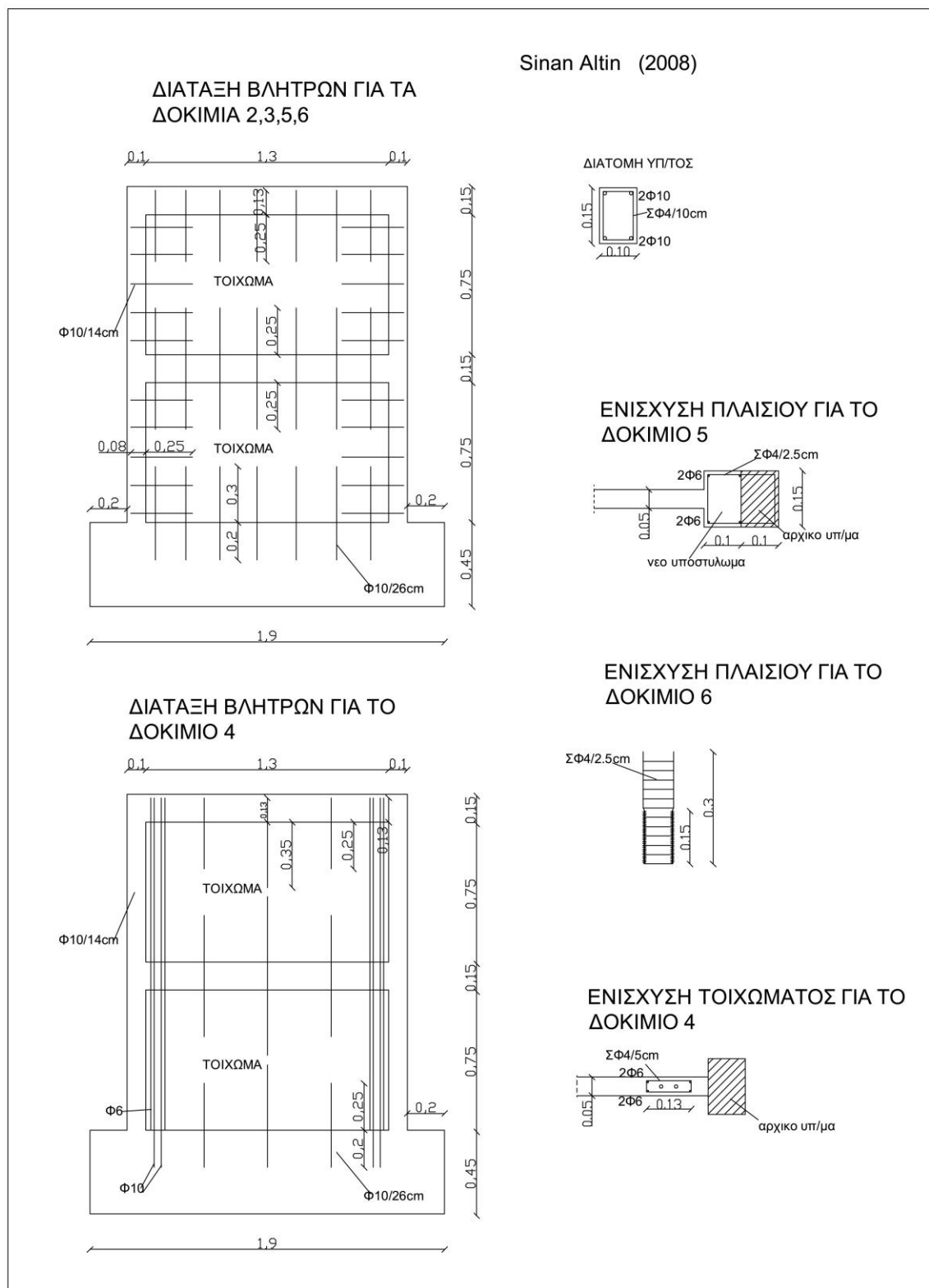
δοκίμιο	$0,85P_{\max}^+$ (kN)	$\delta_y^+$ (mm)	$\delta^+(0,85P_{\max})$ 2 <sup>ος</sup> κύκλος	$\mu_\delta^+$	$K_y^+$ (kN/mm)
A3	85.0	0.89	0.93	1.04	112.4
A4	120.0	0.97	1.27	1.31	145.6
A5	126.8	1.16	3.01	2.49	123.3
A6	236.9	1.30	4.73	3.90	215
A7	308.6	1.29	4.48	3.60	282
B1	104.3	1.34	4.52	3.40	91
B2	113.2	0.74	-	-	180.0
B3	85.2	1.27	4.63	3.66	79

**Πίνακας 8.1β** - Ονομαστική οριζόντια μετακίνηση,  $\delta_y^-$ , δείκτης πλαστιμότητας μετακινήσεων,  $\mu_\delta^-$ , και επιβατική δυσκαμψία,  $K_y^-$ , συμβατικής “διαρροής” για τους αρνητικούς κύκλους φόρτισης.

δοκίμιο	$0,85P_{\max}^-$ (kN)	$\delta_y^-$ (mm)	$\delta^-(0,85P_{\max})$ 2 <sup>ος</sup> κύκλος	$\mu_\delta^-$	$K_y^-$ (kN/mm)
A3	-70.8	-0.41	-0.50	1.22	203.2
A4	-132.3	-0.98	-0.98	1.00	158.8
A5	-107.2	-0.56	-1.75	3.13	225.2
A6	-220.2	-1.08	-3.04	2.81	239.9
A7	-304.3	-1.05	-3.91	3.73	341
B1	-97.9	-1.12	-4.03	3.60	102.9
B2	-95.4	-	-	-	-
B3	-84.0	-1.15	-5.00	4.35	86

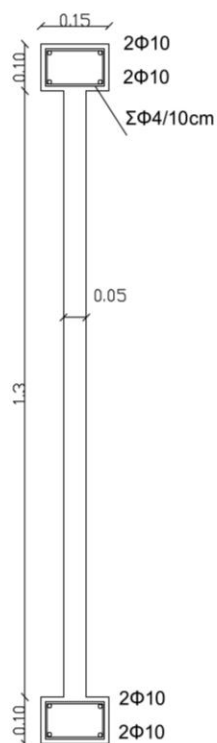
### 8.3. Χαρακτηριστικά Δοκιμών Βιβλιογραφικών Αναφορών

#### 8.3.1. - Δημοσίευση [1] (Sinan Altin et al., 2008)

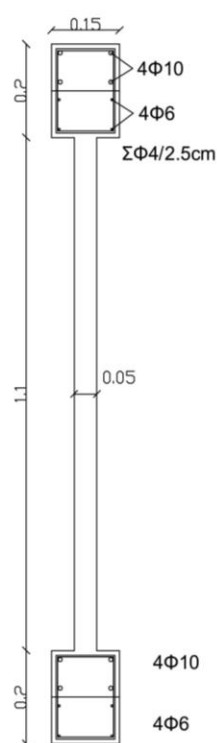


**Σχήμα 8.2α** - Χαρακτηριστικά δοκιμών εργασίας [1] ( $l/h=1.73$ ).

ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ 2,3,4,6 ΓΙΑ  
ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΣΕ ΚΑΜΨΗ



ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 5 ΓΙΑ ΤΟΝ  
ΕΛΕΓΧΟ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

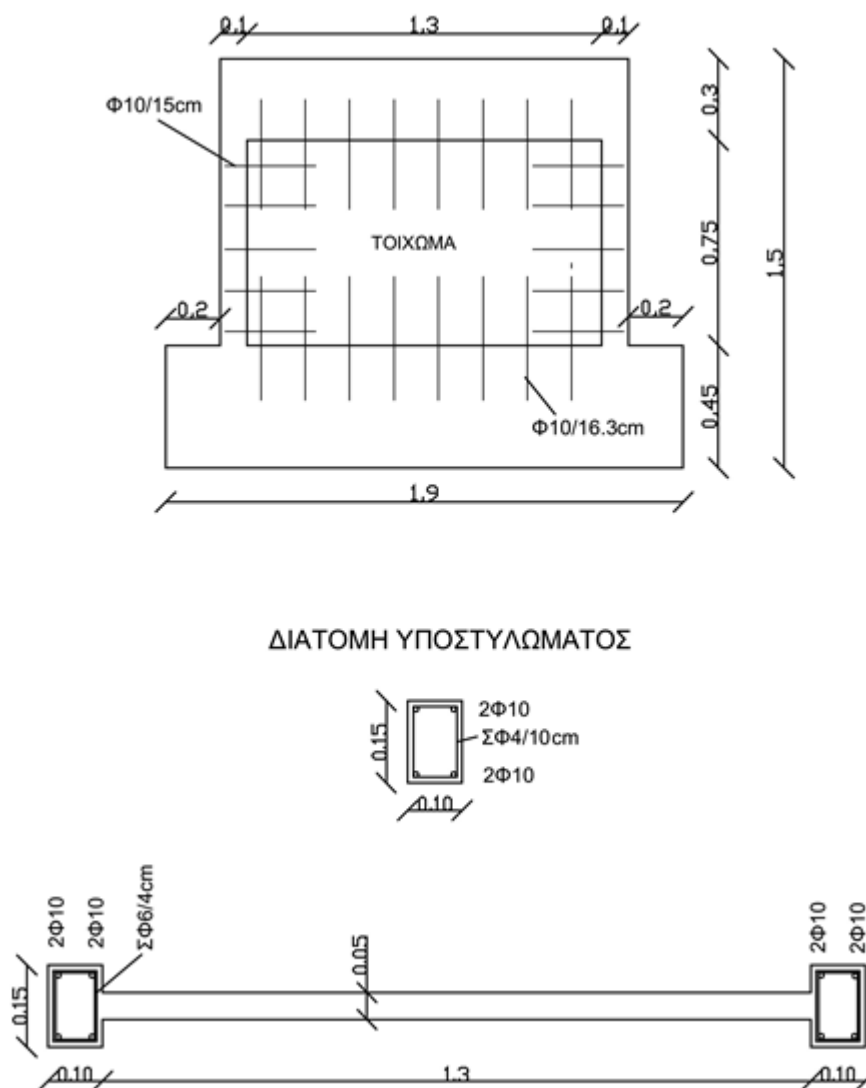


Σχήμα 8.2β - Χαρακτηριστικά δοκιμών εργασίας [1] ( $\ell/h=1.73$ ).

Πίνακας 8.2 - Χαρακτηριστικά δοκιμών [1] ( $\ell/h=1.73$ ).

Δοκίμιο	Χαρακτηριστικά	Τρόπος Ενίσχυσης	$V_{exp,max}$ (kN)
(1)	(2)	(3)	(4)
1	πλαίσιο, μήκος αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 150 mm	-	15,46
2	πλαίσιο+τοίχωμα, συνεχής διαμήκης οπλισμός	-	156,00
3	πλαίσιο+τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 150 mm	-	82,61
4	πλαίσιο+τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 150 mm	ενισχύσεις στα άκρα του τοιχίου	127,02
5	πλαίσιο+τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 150 mm	προσθήκη υπ/των εσωτερικά του πλαισίου+περίσφιξη	136,53
6	πλαίσιο+τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 150 mm	συγκόλληση ράβδων+περίσφιξη	174,25

### 8.3.2. - Δημοσίευση [2] (Ozgun Anil et al., 2007)

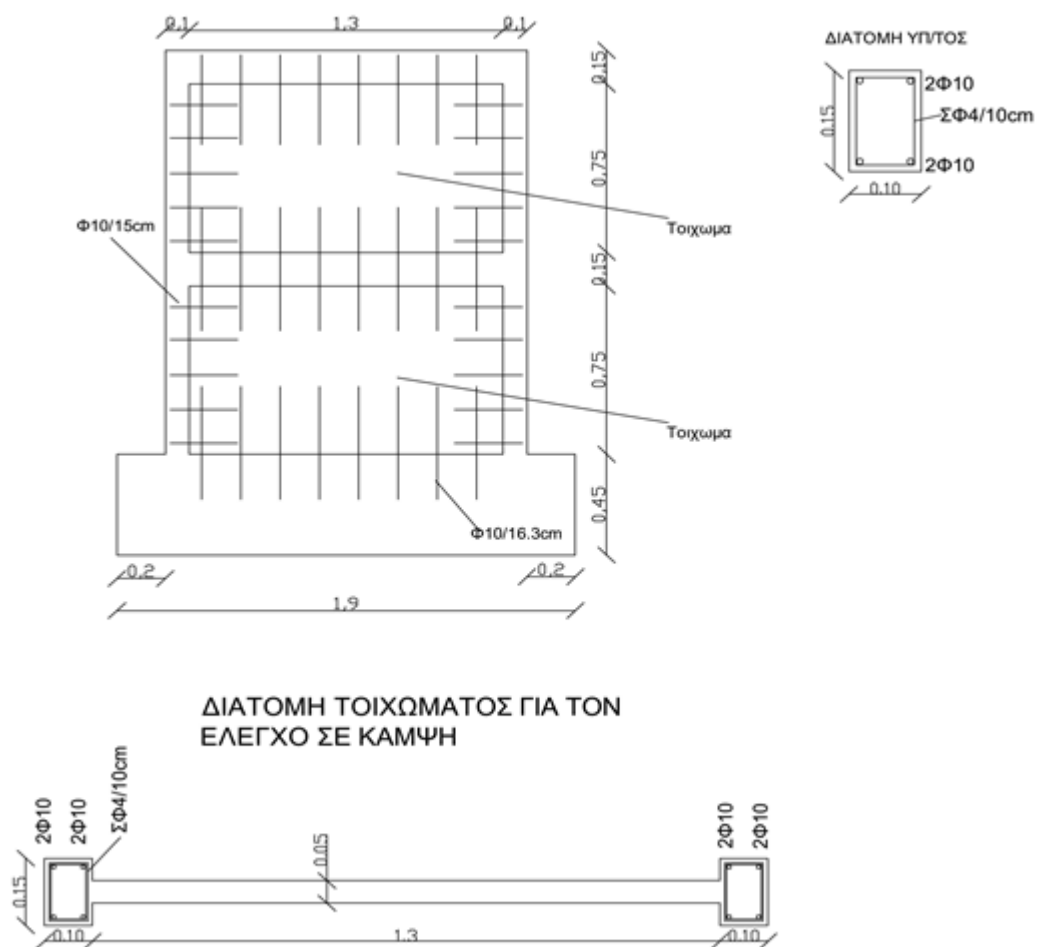


Σχήμα 8.3 - Χαρακτηριστικά δοκιμίων εργασίας [2] ( $\ell/h=1.73$ ).

Πίνακας 8.3 - Χαρακτηριστικά δοκιμίων [2], ( $\ell/h=1.73$ ).

Δοκίμιο	Χαρακτηριστικά	Τρόπος Ενίσχυσης	$V_{exp,max}$ (kN)
(1)	(2)	(3)	(4)
1	μονώροφο πλαίσιο	-	26,30
3	μονώροφο πλαίσιο+ τοίχωμα	-	247,90

### 8.3.3. - Δημοσίευση [3] (Kara M. E. and Sinan Altin, 2006)

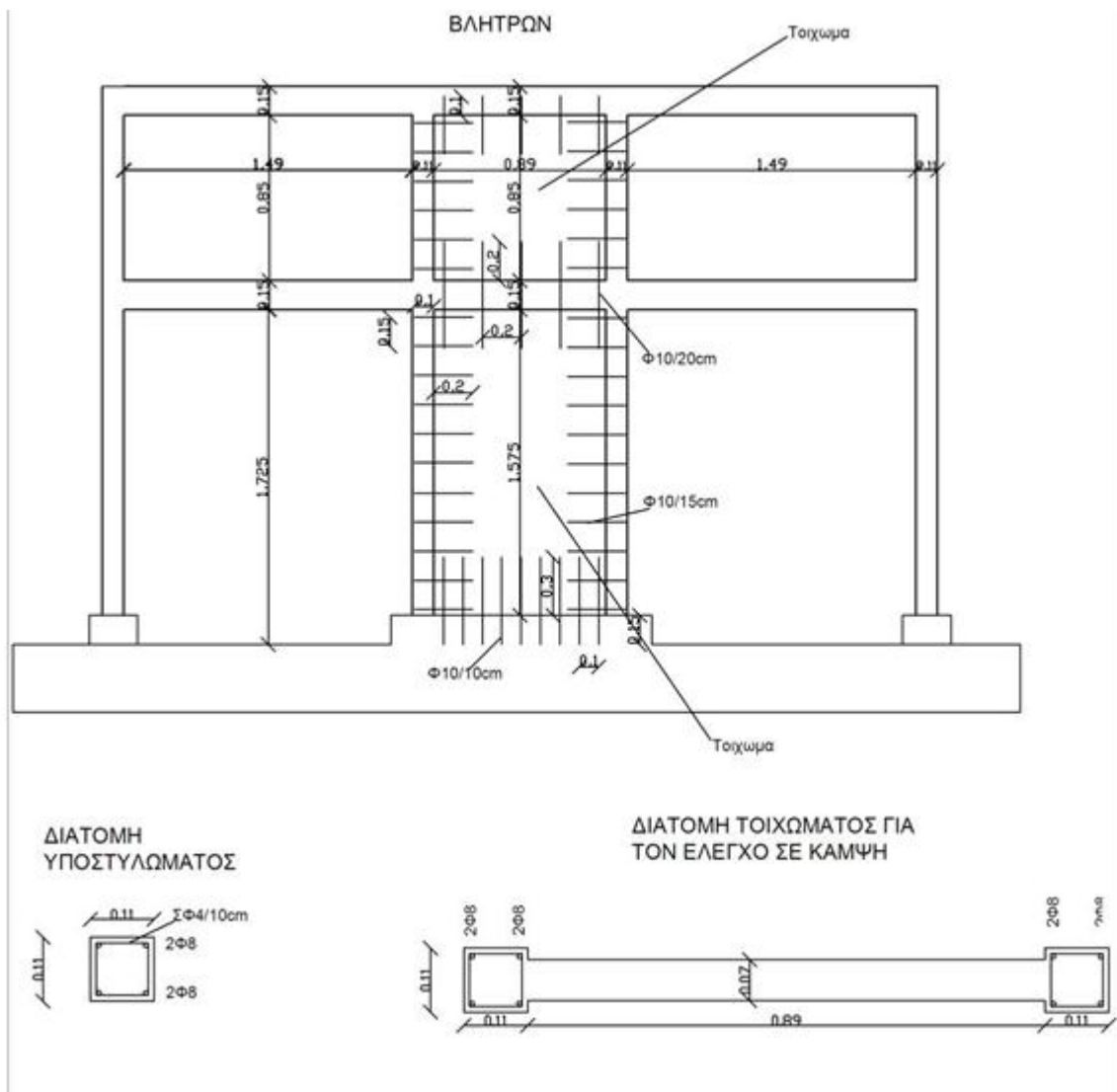


**Σχήμα 8.4** - Χαρακτηριστικά δοκιμών εργασίας [3] ( $\ell/h=1.73$ ).

**Πίνακας 8.4** - Χαρακτηριστικά δοκιμών [3], ( $\ell/h=1.73$ ).

Δοκίμιο	Χαρακτηριστικά	Τρόπος Ενίσχυσης	$V_{exp,max}$ (kN)
(1)	(2)	(3)	(4)
1	πλαίσιο, συνεχής διαμήκης οπλισμός	-	21,00
2	μονώροφο πλαίσιο+ τοίχωμα	-	156,00

#### 8.3.4. - Δημοσίευση [4] (Erdem I. Et al., 2006)

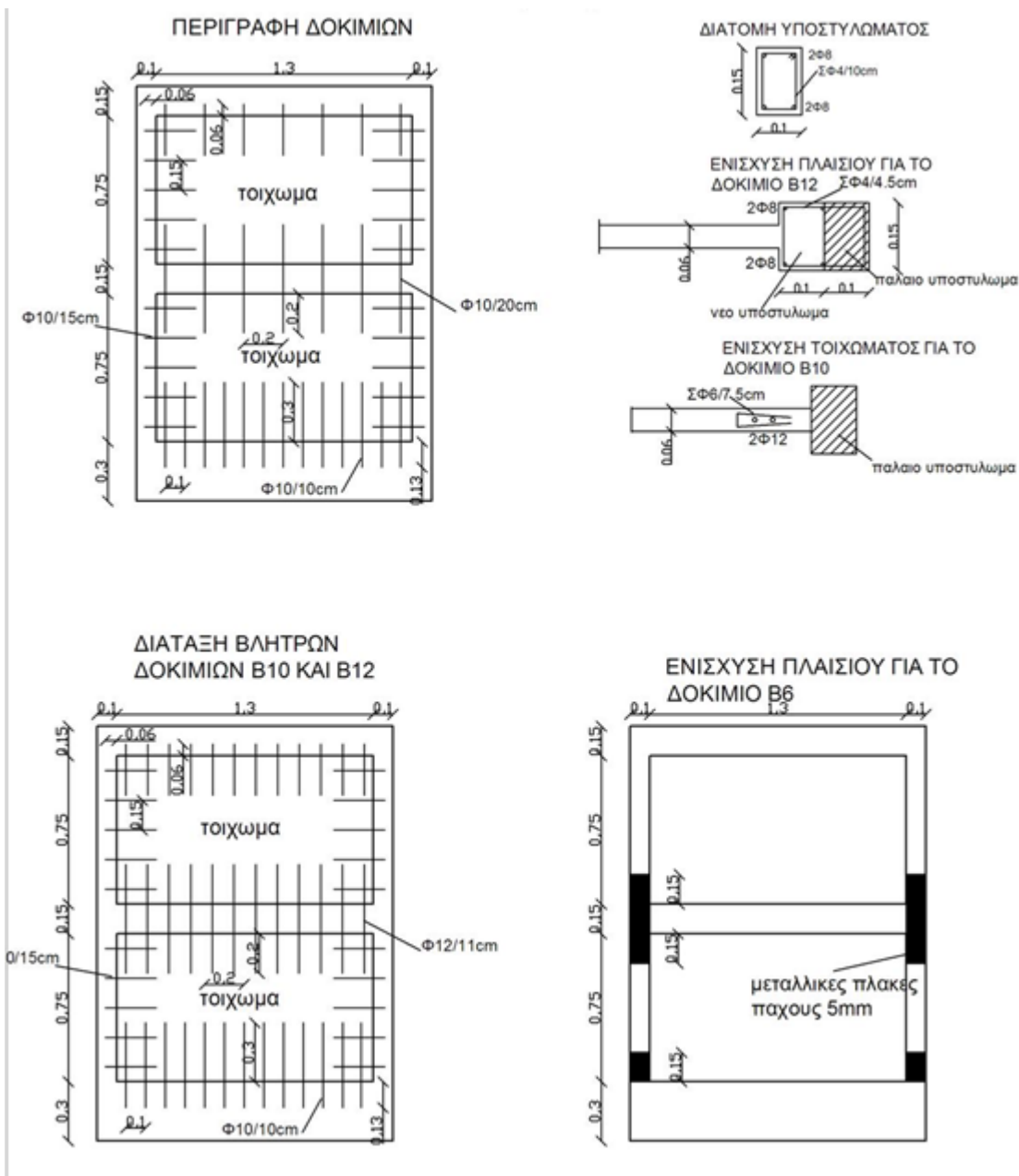


Σχήμα 8.5 - Χαρακτηριστικά δοκιμών εργασίας [4] ( $l/h=0.62$ ).

Πίνακας 8.5 - Χαρακτηριστικά δοκιμών [4], ( $l/h=0.62$ ).

Δοκίμιο	Χαρακτηριστικά	Τρόπος Ενίσχυσης	$V_{exp,max}$ (kN)
(1)	(2)	(3)	(4)
1	πλαίσιο, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 160 mm	-	14,00
2	πλαίσιο + τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 160 mm	-	70,6

### 8.3.5. - Δημοσίευση [5] (Sonuvar M. O. et al., 2004)

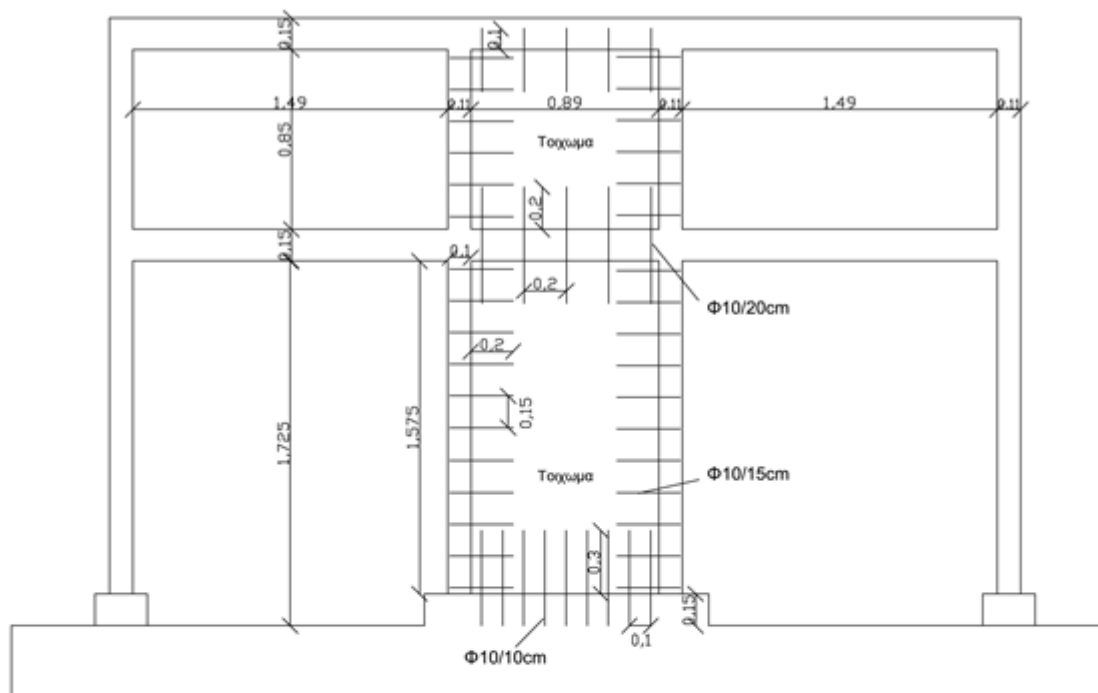


Σχήμα 8.6 - Χαρακτηριστικά δοκιμών εργασίας [5] ( $l/h=1.73$ ).

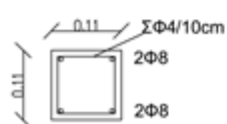
**Πίνακας 8.6 - Χαρακτηριστικά δοκιμών δοκιμών [5], ( $\ell/h=0.62$ ).**

Δοκίμιο	Χαρακτηριστικά	Τρόπος Ενίσχυσης	$V_{exp,max}$ (kN)
(1)	(2)		(4)
B3	πλαίσιο ,συνεχής διαμήκης οπλισμός	-	12,25
B4	πλαίσιο + τοίχωμα, συνεχής διαμήκης οπλισμός.	-	153,52
B5	πλαίσιο, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 100 mm	-	12,52
B6	πλαίσιο+ τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 100 mm	συγκόλληση εξωτερικών μεταλλικών φύλλων	200,24
B7	πλαίσιο, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 100 mm	-	13,63
B8	πλαίσιο+ τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 100 mm	-	142,28
B9	πλαίσιο, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 100 mm	-	9,23
B10	πλαίσιο+ τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 100 mm	ενισχύσεις στα άκρα του τοιχώματος	176,80
B11	πλαίσιο, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 100 mm	-	9,98
B12	πλαίσιο+ τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 100 mm	προσθήκη υπ/των+περίσφιγξη	224,09

### 8.3.6. - Δημοσίευση [6] (Canbay E. et al., 2003)



ΔΙΑΤΟΜΗ  
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ



ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ  
ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΣΕ ΚΑΜΨΗ



Σχήμα 8.7 - Χαρακτηριστικά δοκιμών εργασίας [6] ( $\ell/h=0.62$ ).

Πίνακας 8.7 - Χαρακτηριστικά δοκιμών δοκιμών [6], ( $\ell/h=0.62$ ).

Δοκίμιο	Χαρακτηριστικά	Τρόπος Ενίσχυσης	$V_{exp,max}$ (kN)
(1)	(2)	(3)	(4)
1	πλαίσιο , αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 160 mm	-	13,90
2	πλαίσιο + τοίχωμα, αγκ. διαμ. οπλ. υποστ. 160 mm	-	53,20

## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1]. Altin S., Anil O., Emin Kara M. (2008), "Strengthening of RC non-ductile Frames with RC Infills: An Experimental Study", Gazi University, Cement & Concrete Composites, 30, pp. 612-621.
- [2]. Anil O. and Altin S. (2007), "An Experimental Study on RC Partially Infilled Frames", Eng. Str., 29, pp. 449-460.
- [3]. Kara M.E., and Altin S., (2006), "Behavior of RC Frames with RC Partial Infills", Str. J., 103 (5), September-October, pp. 701-709 (Title No. 103-S72).
- [4]. Erdem I., Akyuz U., Ersoy U., and Ozcebe G., (2006), "An Experimental Study on Two Different Strengthening Techniques for RC Frames", Eng. Str., 28, pp. 1843-1851.
- [5]. Sonuvar M.O., Ozcebe G., and Ersoy U., (2004), "Rehabilitation of RC Frames with RC Infills", ACI Str. J., 101 (4), pp. 494-500 (Title no. 101-S49).
- [6]. Canbay E., Ersoy U., and Ozcebe G., (2003), "Contribution of RC Infills to Seismic Behavior of Structural Systems", ACI Str. J., 100 (5), pp. 637-643 (Title No. 100-S66).