

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

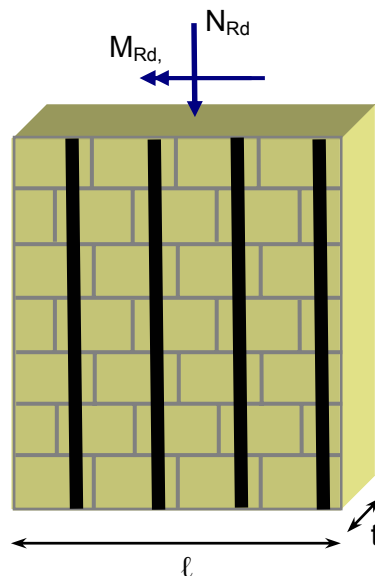
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ ΣΕ ΤΟΙΧΟΠΟΙΪΕΣ

9.1 Γενικά

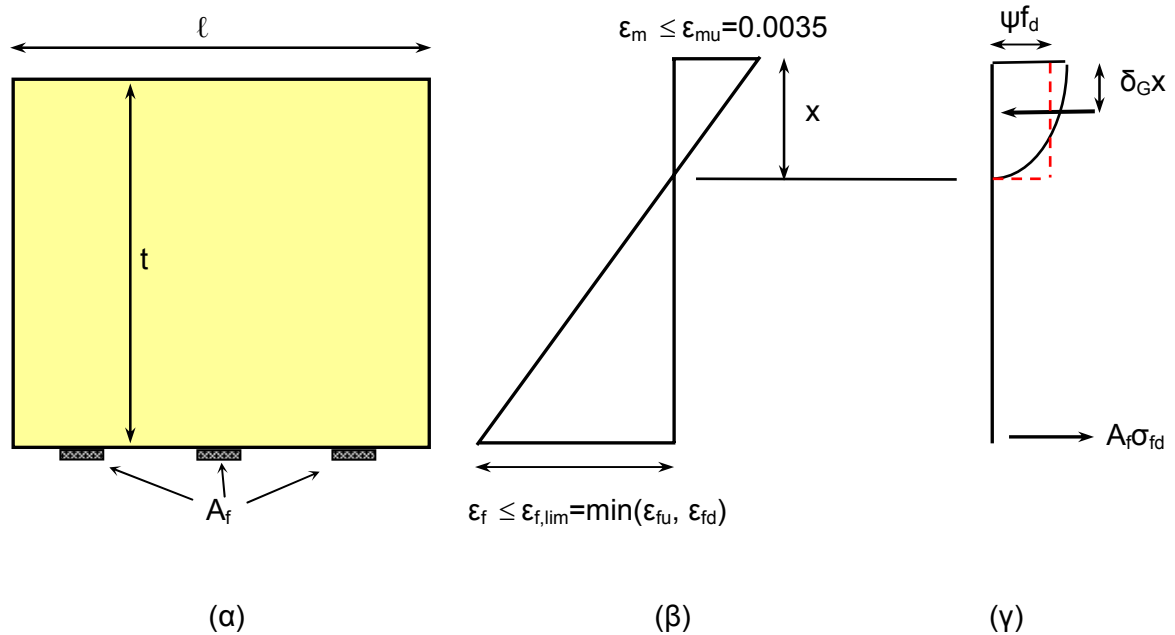
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται απλά προσομοιώματα διαστασιολόγησης ενισχύσεων τοιχοποιίας μέσω συνθέτων υλικών. Οι υπολογισμοί γίνονται για τις περιπτώσεις εκτός ή εντός επιπέδου κάμψης, εντός επιπέδου διάτμησης και περίσφιγξης.

9.2 Τοιχοποιία σε κάμψη εκτός επιπέδου και αξονικό φορτίο

Θεωρούμε ότι στο επίπεδο στοιχείο τοιχοποιίας του Σχ. 9.1, μήκους ℓ και πάχους t , κατά την οριακή κατάσταση αντοχής αναπτύσσεται εκτός επιπέδου ροπή κάμψης $M_{Rd,o}$ σε συνδυασμό με αξονική δύναμη N_{Rd} . Ο οπλισμός συνθέτων υλικών θεωρείται ομοιόμορφα κατανεμημένος στην εφελκόμενη περιοχή, με συνολικό εμβαδόν A_f σε μήκος τοίχου ℓ .



Σχ. 9.1 Στοιχείο τοιχοποιίας σε κάμψη εκτός επιπέδου και αξονικό φορτίο.



Σχ. 9.2 Ανάλυση διατομής στην οριακή κατάσταση αντοχής για κάμψη εκτός επιπέδου: (α) γεωμετρικά χαρακτηριστικά, (β) κατανομή παραμορφώσεων καθ' ύψος της διατομής, (γ) κατανομή εσωτερικών δυνάμεων.

Από την ανάλυση τάσεων και παραμορφώσεων της διατομής (Σχ. 9.2), κατ' αντιστοιχία με την Ενót. 4.4, θεωρώντας ως πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας είτε τη θραύση της τοιχοποιίας (στη θλιβόμενη ζώνη) είτε την αστοχία των συνθέτων υλικών (συνήθως λόγω αποκόλλησης και σπανιότατα λόγω εφελκυστικής θραύσης), προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις για τη θέση του ουδέτερου άξονα και τη ροπή αντοχής συναρτήσει της αντοχής σε αξονικό φορτίο:

(1) Αστοχία τοιχοποιίας στη θλιβόμενη ζώνη πριν από την αστοχία των συνθέτων υλικών

Ισοροπία δυνάμεων:

$$\psi f_d \ell x - A_f \sigma_{fd} = N_{Rd} \quad (9.1)$$

Συμβιβαστό παραμορφώσεων:

$$\frac{\sigma_{fd}}{E_f} = \varepsilon_{mu} \frac{t-x}{x} \leq \varepsilon_{f,lim} \quad (9.2)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις υπολογίζεται η θέση του ουδέτερου άξονα:

$$\frac{x}{t} = \frac{1}{2\psi} \left[-\omega_f + \frac{N_{Rd}}{\ell t f_d} + \sqrt{\left(\omega_f - \frac{N_{Rd}}{\ell t f_d} \right)^2 + 4\psi\omega_f} \right] \quad (9.3)$$

Έτσι, η ροπή αντοχής είναι:

$$\frac{M_{Rd,o}}{\ell t^2 f_d} = \frac{1}{2} \omega_f \frac{\left(1 - \frac{x}{t}\right)}{\frac{x}{t}} + \frac{1}{2} \psi \frac{x}{t} \left(1 - 2\delta_G \frac{x}{t}\right) \quad (9.4)$$

Στις παραπάνω σχέσεις $\psi=0.8$, $\delta_G=0.4$ και ω_f είναι το μηχανικό ποσοστό οπλισμού συνθέτων υλικών, το οποίο ορίζεται ως

$$\omega_f = \frac{A_f}{\ell t} \frac{\varepsilon_{mu} E_f}{f_d} \quad (9.5)$$

Η οριακή παραμόρφωση $\varepsilon_{f,lim}$ στα σύνθετα υλικά μπορεί να εκτιμηθεί βάσει της διαδικασίας του Κεφ. 4 ή να ληφθεί προσεγγιστικά ίση με 0.003. Η οριακή θλιπτική παραμόρφωση της τοιχοποιίας, ε_{mu} , μπορεί να λαμβάνεται ίση με 0.0035.

(2) Αστοχία (αποκόλληση ή εφελκυστική θραύση) των συνθέτων υλικών πριν από τη θλιπτική αστοχία της τοιχοποιίας

Από την εξ. (9.1) και δεδομένου ότι $\varepsilon_f = \varepsilon_{f,lim}$ υπολογίζεται η θέση του ουδέτερου άξονα:

$$\frac{x}{t} = \frac{1}{\psi} \left(\omega_f \frac{\varepsilon_{f,lim}}{\varepsilon_{mu}} + \frac{N_{Rd}}{\ell t f_d} \right) \quad (9.6)$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός της ροπής αντοχής:

$$\frac{M_{Rd,o}}{\ell t^2 f_d} = \frac{1}{2} \omega_f \frac{\varepsilon_{f,lim}}{\varepsilon_{mu}} + \frac{1}{2} \psi \frac{x}{t} \left(1 - 2\delta_G \frac{x}{t}\right) \quad (9.7)$$

Στις παραπάνω εξ. (9.6)-(9.7), όπως και στην περίπτωση του σκυροδέματος, οι συντελεστές ψ και δ_G δίνονται από τις σχέσεις:

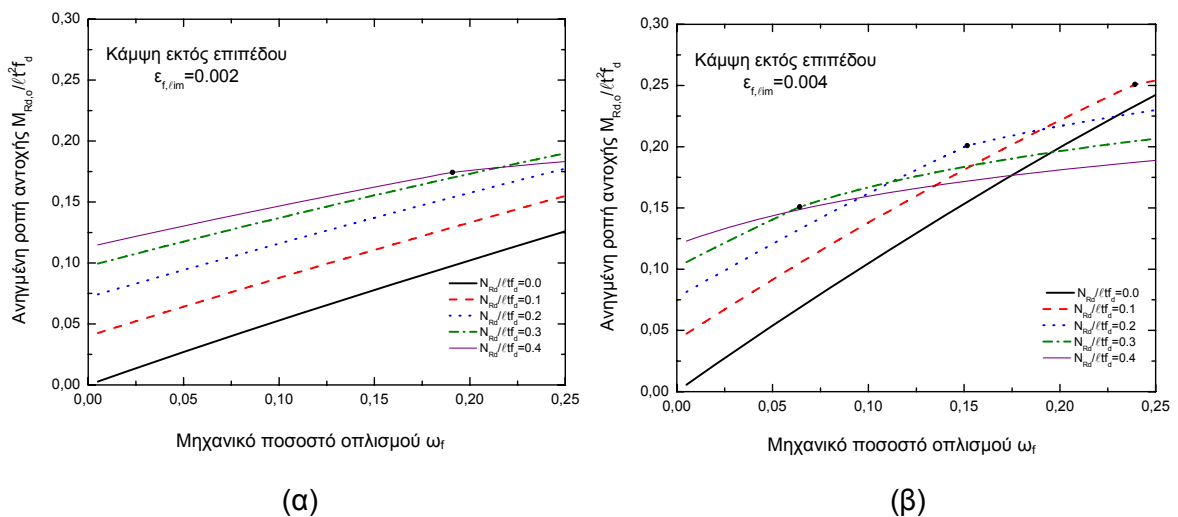
$$\psi = \begin{cases} 1000\varepsilon_m \left(0.5 - \frac{1000}{12} \varepsilon_m \right) & \text{για } \varepsilon_m \leq 0.002 \\ 1 - \frac{2}{3000\varepsilon_m} & \text{για } 0.002 \leq \varepsilon_m \leq 0.0035 \end{cases} \quad (9.8)$$

$$\delta_G = \begin{cases} \frac{8 - 1000\varepsilon_m}{4(6 - 1000\varepsilon_m)} & \text{για } \varepsilon_m \leq 0.002 \\ \frac{1000\varepsilon_m(3000\varepsilon_m - 4) + 2}{2000\varepsilon_m(3000\varepsilon_m - 2)} & \text{για } 0.002 \leq \varepsilon_m \leq 0.0035 \end{cases} \quad (9.9)$$

όπου

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{f,lim} \frac{\frac{x}{t}}{1 - \frac{x}{t}} \leq 0.0035 \quad (9.10)$$

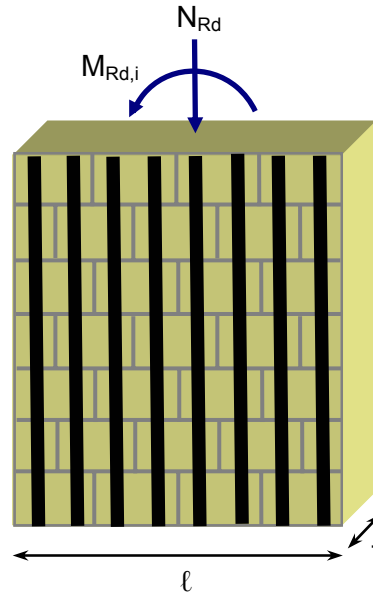
Η ανηγμένη ροπή αντοχής δίνεται στα Σχ. 9.3α,β ως συνάρτηση του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω_f για διάφορες στάθμες του ανηγμένου αξονικού φορτίου (κατά την αστοχία) και για τιμές της οριακής παραμόρφωσης $\varepsilon_{f,lim}$ ίσες με 0.002 και 0.004.



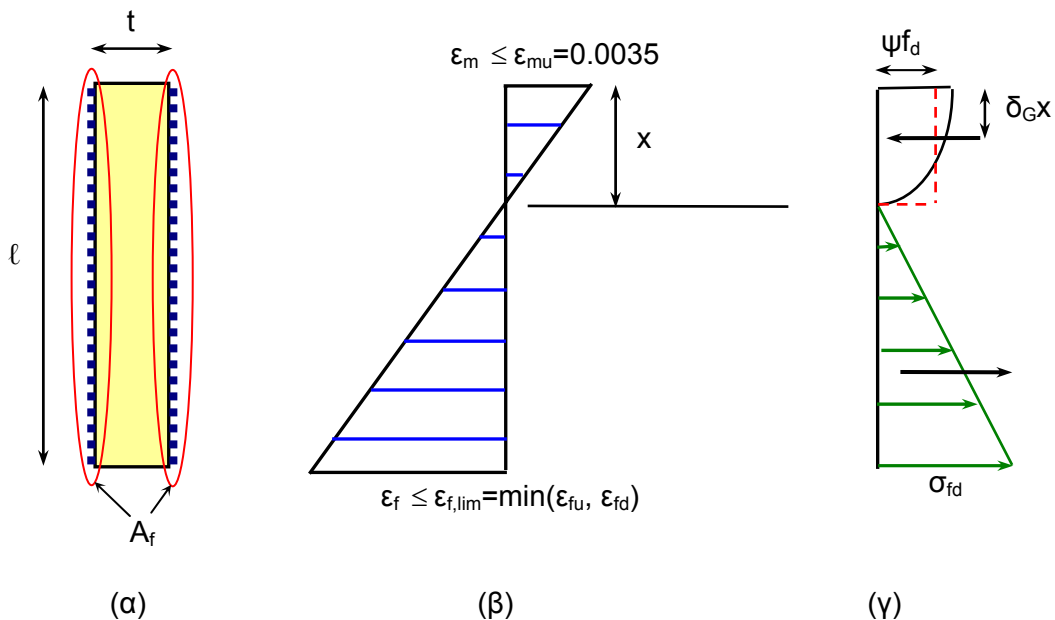
Σχ. 9.3 Ανηγμένη αντοχή σε κάμψη εκτός επιπέδου συναρτήσεσι του μηχανικού ποσοστού οπλισμού για διάφορες στάθμες ανηγμένου αξονικού φορτίου και διάφορες τιμές της οριακής παραμόρφωσης $\varepsilon_{f,lim}$.

9.3 Τοιχοποιία σε κάμψη εντός επιπέδου και αξονικό φορτίο

Θεωρούμε ότι στο επίπεδο στοιχείο τοιχοποιίας του Σχ. 9.4, μήκους ℓ και πάχους t , κατά την οριακή κατάσταση αντοχής αναπτύσσεται εντός επιπέδου ροπή κάμψης $M_{Rd,i}$ σε συνδυασμό με αξονική δύναμη N_{Rd} .



Σχ. 9.4 Στοιχείο τοιχοποιίας σε κάμψη εντός επιπέδου και αξονικό φορτίο.



Σχ. 9.5 Ανάλυση διατομής στην οριακή κατάσταση αντοχής για κάμψη εντός επιπέδου: (α) γεωμετρικά χαρακτηριστικά, (β) κατανομή παραμορφώσεων καθ' ύψος της διατομής, (γ) κατανομή εσωτερικών δυνάμεων.

Ο οπλισμός συνθέτων υλικών θεωρείται, κατά προσέγγιση, ομοιόμορφα κατανομημένος με συνολικό εμβαδόν διατομής A_f . Και σε αυτή την περίπτωση πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας είναι (α) η σύνθλιψη της τοιχοποιίας στη θλιβόμενη ζώνη πριν αστοχήσουν οι εξωτερικοί οπλισμοί (συνήθως λόγω αποκόλλησης, σπανιότερα λόγω εφελκυστικής θραύσης) και (β) η αστοχία των συνθέτων υλικών (αποκόλληση ή, σπανιότερα, θραύση των ακραίων εφελκυσόμενων λωρίδων) πριν εκδηλωθεί η θλιπτική αστοχία της τοιχοποιίας. Από την ανάλυση τάσεων και παραμορφώσεων της διατομής (Σχ. 9.5), αμελώντας τη συνεισφορά των συνθέτων υλικών σε θλίψη, προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις για τη θέση του ουδέτερου άξονα και τη ροπή αντοχής.

(1) Αστοχία τοιχοποιίας στη θλιβόμενη ζώνη πριν από την αστοχία των συνθέτων υλικών στην ακραία εφελκυσόμενη λωρίδα

Ισοροπία δυνάμεων:

$$\psi f_d t x - \frac{1}{2} \sigma_{fd} A_f \frac{\ell - x}{\ell} = N_{Rd} \quad (9.11)$$

Συμβιβαστό παραμορφώσεων:

$$\frac{\sigma_{fd}}{E_f} = \varepsilon_{mu} \frac{\ell - x}{x} \leq \varepsilon_{f,lim} \quad (9.12)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις υπολογίζεται η θέση του ουδέτερου άξονα:

$$\frac{x}{\ell} = \frac{1}{2\left(\psi - \frac{\omega_f}{2}\right)} \left[-\omega_f + \frac{N_{Rd}}{\ell t f_d} + \sqrt{\left(\omega_f - \frac{N_{Rd}}{\ell t f_d}\right)^2 + 2\left(\psi - \frac{\omega_f}{2}\right)\omega_f} \right] \quad (9.13)$$

Έτσι, η ροπή αντοχής είναι:

$$\frac{M_{Rd,i}}{\ell^2 f_d} = \frac{1}{12} \omega_f \frac{\left(1 - \frac{x}{\ell}\right)^2 \left(1 + 2 \frac{x}{\ell}\right)}{\frac{x}{\ell}} + \frac{1}{2} \psi \frac{x}{\ell} \left(1 - 2\delta_G \frac{x}{\ell}\right) \quad (9.14)$$

Στις παραπάνω σχέσεις $\psi = 0.8$, $\delta_G = 0.4$ και ω_f είναι το μηχανικό ποσοστό οπλισμού συνθέτων υλικών, το οποίο ορίζεται από την εξ. (9.5).

(2) **Αστοχία (αποκόλληση ή εφελκυστική θραύση) των συνθέτων υλικών στην ακραία λωρίδα πριν από τη θλιπτική αστοχία της τοιχοποιίας**

Από την εξ. (9.11) και δεδομένου ότι $\varepsilon_f = \varepsilon_{f,lim}$ υπολογίζεται η θέση του ουδέτερου άξονα:

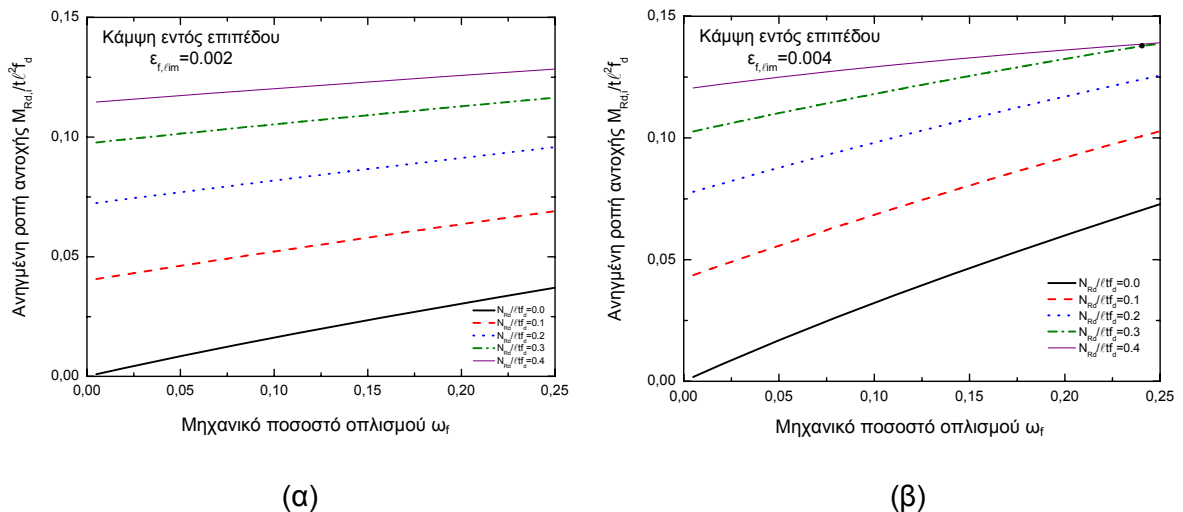
$$\frac{x}{l} = \frac{\frac{1}{2} \omega_f \frac{\varepsilon_{f,lim}}{\varepsilon_{mu}} + \frac{N_{Rd}}{l t f_d}}{\psi + \frac{1}{2} \omega_f \frac{\varepsilon_{f,lim}}{\varepsilon_{mu}}} \quad (9.15)$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός της ροπής αντοχής:

$$\frac{M_{Rd,i}}{t l^2 f_d} = \frac{1}{2} \omega_f \frac{\varepsilon_{f,lim}}{\varepsilon_{mu}} \frac{\left(1 - \frac{x}{l}\right) \left(1 + 2 \frac{x}{l}\right)}{6} + \frac{1}{2} \psi \frac{x}{l} \left(1 - 2 \delta_G \frac{x}{l}\right) \quad (9.16)$$

Στις παραπάνω εξ. (9.15) - (9.16), οι συντελεστές ψ και δ_G δίνονται από τις σχέσεις (9.8) – (9.9), ενώ για την μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση ε_m ισχύει

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{f,lim} \frac{\frac{x}{l}}{\left(1 - \frac{x}{l}\right)} \leq 0.0035 \quad (9.17)$$



Σχ. 9.6 Ανηγγμένη αντοχή σε κάμψη εντός επιπέδου συναρτήσεσι του μηχανικού ποσοστού σπλισμού για διάφορες στάθμες ανηγμένου αξονικού φορτίου και διάφορες τιμές της οριακής παραμόρφωσης $\varepsilon_{f,lim}$.

Η ανηγμένη ροπή αντοχής δίνεται στα Σχ. 9.6α,β ως συνάρτηση του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω_f για διάφορες στάθμες του ανηγμένου αξονικού φορτίου (κατά την αστοχία) και για τιμές της οριακής παραμόρφωσης $\varepsilon_{f,lim}$ ίσες με 0.002 και 0.004.

9.4 Παραδείγματα ενισχύσεων σε κάμψη

Θεωρούμε στοιχείο τοιχοποιίας μήκους $\ell = 1$ m και πάχους $t = 0.30$ m σε **κάμψη εκτός επιπέδου**. Η τοιχοποιία φέρει αξονικό φορτίο 150 kN και έχει θλιπτική αντοχή (στη διεύθυνση δράσης του φορτίου) $f_d = 5$ N/mm². Υποθέτουμε ότι η ενίσχυση γίνεται με λωρίδες ανθρακούφασματατος με ίνες μίας διεύθυνσης, πλάτους 100 mm, πάχους 0.2 mm και μέτρου ελαστικότητας 235 kN/mm². Να υπολογισθεί η ροπή αντοχής της ενισχυμένης τοιχοποιίας κάνοντας χρήση τριών λωρίδων ανά μέτρο.

$$A_f = 3 \times 100 \times 0.2 = 60 \text{ mm}^2, \quad \frac{N_{Rd}}{\ell t f_d} = \frac{150000}{1000 \times 300 \times 5} = 0.1, \quad \omega_f = \frac{60 \times 0.0035 \times 235000}{1000 \times 300 \times 5} = 0.033.$$

Για αστοχία της τοιχοποιίας στη θλιβόμενη ζώνη η εξ. (9.3) δίνει $x/t = 0.249$ και από την εξ. (9.4) προκύπτει $M_{Rd,o} = 58.22$ kNm. Λαμβάνοντας όμως υπόψη την αστοχία των συνθέτων υλικών μέσω αποκόλλησης (σε παραμόρφωση $\varepsilon_{f,lim} = 0.003$), η εξ. (9.6) δίνει $x/t = 0.276$ και από την εξ. (9.7) προκύπτει $M_{Rd,o} = 29.56$ kNm. Σημειώνεται ότι για την τιμή αυτή της ροπής αντοχής σχεδιασμού η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση της τοιχοποιίας υπολογίζεται από την εξ. (9.10) ίση με $\varepsilon_m = 0.00115$, δηλαδή αρκετά μικρότερη της ε_{mu} .

Ακολούθως θεωρούμε το ίδιο στοιχείο τοιχοποιίας σε **κάμψη εντός επιπέδου**. Υποθέτουμε ότι η ενίσχυση γίνεται με λωρίδες ανθρακούφασματατος με ίνες μίας διεύθυνσης, πλάτους 50 mm, πάχους 0.12 mm και μέτρου ελαστικότητας 235 kN/mm². Ζητούμενη είναι η ροπή αντοχής της ενισχυμένης τοιχοποιίας κάνοντας χρήση πέντε λωρίδων σε κάθε πλευρά.

$$A_f = 10 \times 50 \times 0.12 = 60 \text{ mm}^2, \quad \frac{N_{Rd}}{\ell t f_d} = 0.1, \quad \omega_f = \frac{60 \times 0.0035 \times 235000}{1000 \times 300 \times 5} = 0.033.$$

Για αστοχία της τοιχοποιίας στη θλιβόμενη ζώνη η εξ. (9.13) δίνει $x/\ell = 0.194$ και από την εξ. (9.14) προκύπτει $M_{Rd,i} = 117.50$ kNm. Λαμβάνοντας όμως υπόψη την αστοχία των συνθέτων υλικών μέσω αποκόλλησης (σε παραμόρφωση $\varepsilon_{f,lim} = 0.003$), η εξ. (9.15) δίνει $x/\ell = 0.257$ και από την εξ. (9.16) προκύπτει $M_{Rd,i} = 71.86$ kNm. Και εδώ επισημαίνεται ότι για την τιμή αυτή της ροπής αντοχής σχεδιασμού η μέγιστη θλιπτική

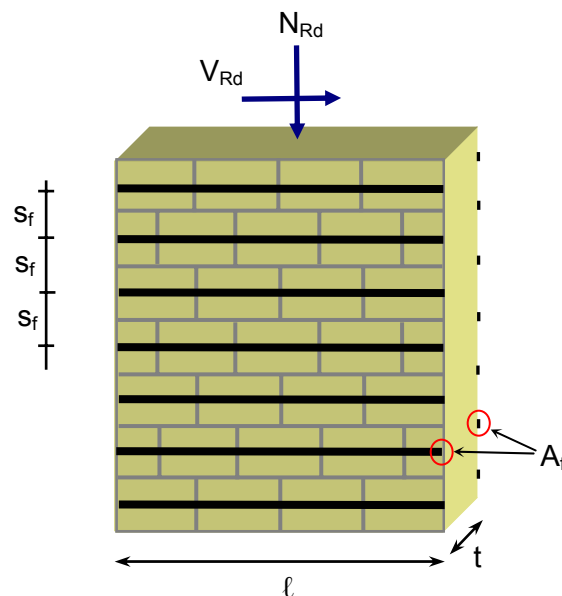
παραμόρφωση της τοιχοποιίας υπολογίζεται από την εξ. (9.17) ίση με $\varepsilon_m = 0.00104$, δηλαδή αρκετά μικρότερη της ε_{mu} .

9.5 Τοιχοποιία σε διάτμηση εντός επιπέδου και αξονικό φορτίο

Θεωρώντας ότι τα σύνθετα υλικά δρουν ως οπλισμός διάτμησης, η διαστασιολόγηση τοιχοποιίας για συνδυασμό τέμνουσας με αξονική δύναμη μπορεί να γίνει στα πλαίσια των διατάξεων του Ευρωκώδικα 6 για την οπλισμένη τοιχοποιία. Οι διατάξεις αυτές διαφοροποιούνται ελαφρώς ανάλογα με το αν η διαστασιολόγηση αφορά σε στοιχεία τύπου διατμητικού τοιχώματος ή δοκού.

9.5.1 Διατμητικά τοιχώματα

Θεωρούμε ότι στο επίπεδο στοιχείο τοιχοποιίας του Σχ. 9.7, μήκους ℓ και πάχους t , κατά την οριακή κατάσταση αντοχής αναπτύσσεται εντός επιπέδου τέμνουσα V_{Rd} σε συνδυασμό με αξονική δύναμη N_{Rd} . Ο οπλισμός συνθέτων υλικών θεωρείται ομοιόμορφα κατανομημένος ανά αποστάσεις s_f με διάταξη παράλληλη στη διεύθυνση της τέμνουσας δύναμης, με συνολικό εμβαδόν διατομής A_f σε κάθε στάθμη.



Σχ. 9.7 Στοιχείο τοιχοποιίας σε διάτμηση εντός επιπέδου και αξονικό φορτίο.

Η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα δίνεται από τη σχέση:

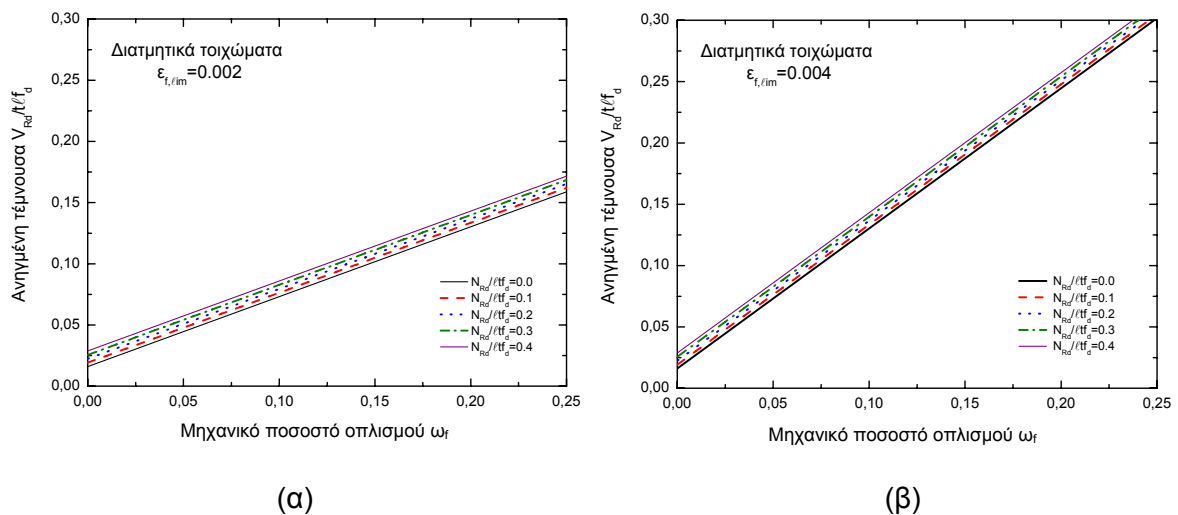
$$\frac{V_{Rd}}{t l f_d} = \frac{V_{Rd,M}}{t l f_d} + \frac{V_{Rd,f}}{t l f_d} = \frac{f_{vd}}{f_d} + \frac{A_f}{t s_f} \frac{\sigma_{fed}}{f_d} \leq \frac{2}{f_d} \quad (9.18)$$

όπου f_{vd} = τιμή σχεδιασμού της αντοχής της τοιχοποιίας σε διάτμηση, σ_{fed} = τιμή σχεδιασμού της ενεργής τάσης στα σύνθετα υλικά κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας και f_d σε N/mm^2 . Για την f_{vd} ισχύει:

$$f_{vd} = \frac{1}{\gamma_M} \min(f_{vko} + 0.4\sigma_d, f_{vlt}) \quad (9.19)$$

όπου f_{vko} = χαρακτηριστική διατμητική αντοχή υπό μηδενική θλιπτική τάση, σ_d = τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής τάσης ($\sigma_d = N_{Rd} / lt$) και f_{vlt} = μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή για την f_{vko} , που εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό πλήρωσης των αρμών. Για πλήρεις κατακόρυφους αρμούς είναι $f_{vlt} = 0.065f_b$, όπου f_b η θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων στη διεύθυνση εφαρμογής του αξονικού φορτίου. Τέλος, η εκτίμηση της σ_{fed} μπορεί να γίνει βάσει της διαδικασίας που περιγράφεται στην Ενότητα 5.2. Εναλλακτικά θα μπορούσε να υιοθετηθεί μία σχετικά χαμηλή τιμή, της τάξης του $0.003E_f$.

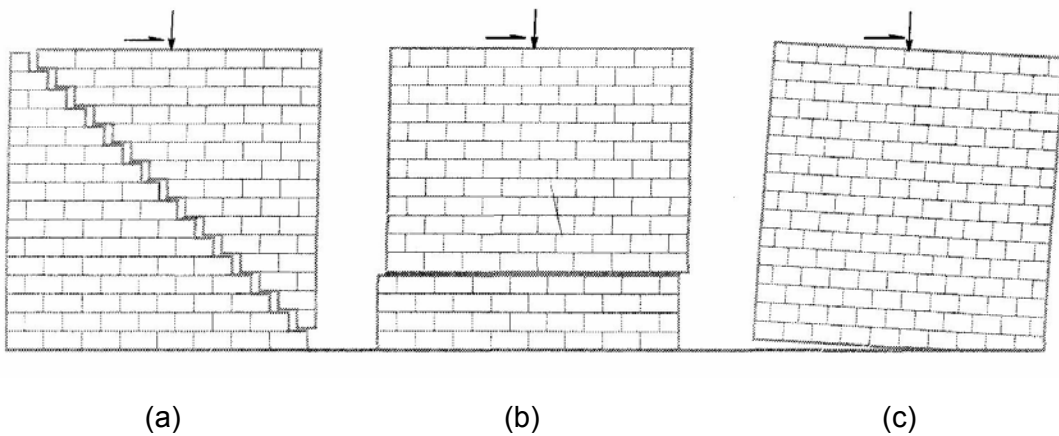
Η ανηγμένη αντοχή σε τέμνουσα δίνεται στα Σχ. 9.8α,β ως συνάρτηση του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω_f για διάφορες τιμές του ανηγμένου αξονικού φορτίου και για τιμές της οριακής παραμόρφωσης $\varepsilon_{f,lim}$ ίσες με 0.002 και 0.004.



Σχ. 9.8 Ανηγμένη αντοχή σε κάμψη τέμνουσα συναρτήσει του μηχανικού ποσοστού οπλισμού για διάφορες στάθμες ανηγμένου αξονικού φορτίου και διάφορες τιμές της οριακής παραμόρφωσης $\varepsilon_{f,lim}$.

Κλείνοντας την ενότητα αυτή θα πρέπει να επισημάνουμε ότι η οριζόντια διάταξη των συνθέτων υλικών είναι αποτελεσματική μόνο για το μηχανισμό αστοχίας της διαγώνιας ρηγμάτωσης (Σχ. 9.9α). Άλλοι μηχανισμοί, όπως αυτός της διατμητικής ολίσθησης (Σχ.

9.9β) ή της λίκνισης (Σχ. 9.9γ) υποδεικνύουν τη χρήση οπλισμών σε κατακόρυφη διάταξη, με επαρκή αγκύρωση στη θεμελίωση.



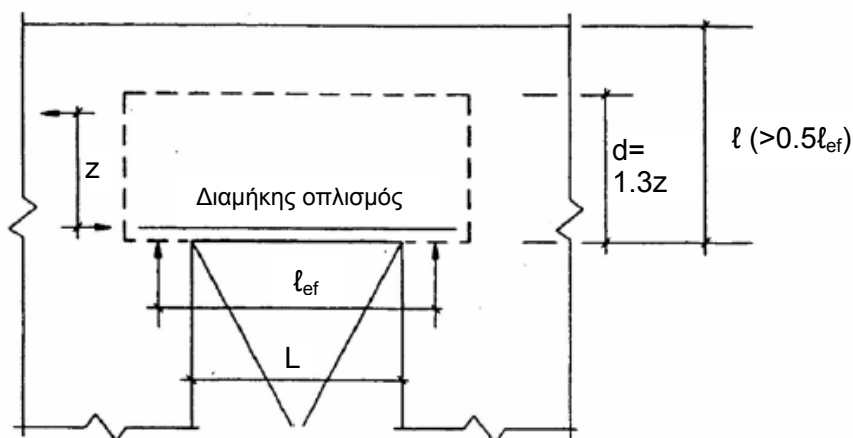
Σχ. 9.9 Τυπικοί μηχανισμοί αστοχίας τοιχοποιίας σε εντός επιπέδου διάτμηση: (α) διαγώνια ρηγμάτωση, (β) διατμητική ολίσθηση, (γ) λίκνιση.

9.5.2 Στοιχεία τύπου δοκού

Για στοιχεία τύπου δοκού (π.χ. υπέρθυρα) σε εντός επιπέδου διάτμηση ο υπολογισμός της V_{Rd} γίνεται βάσει της σχέσης:

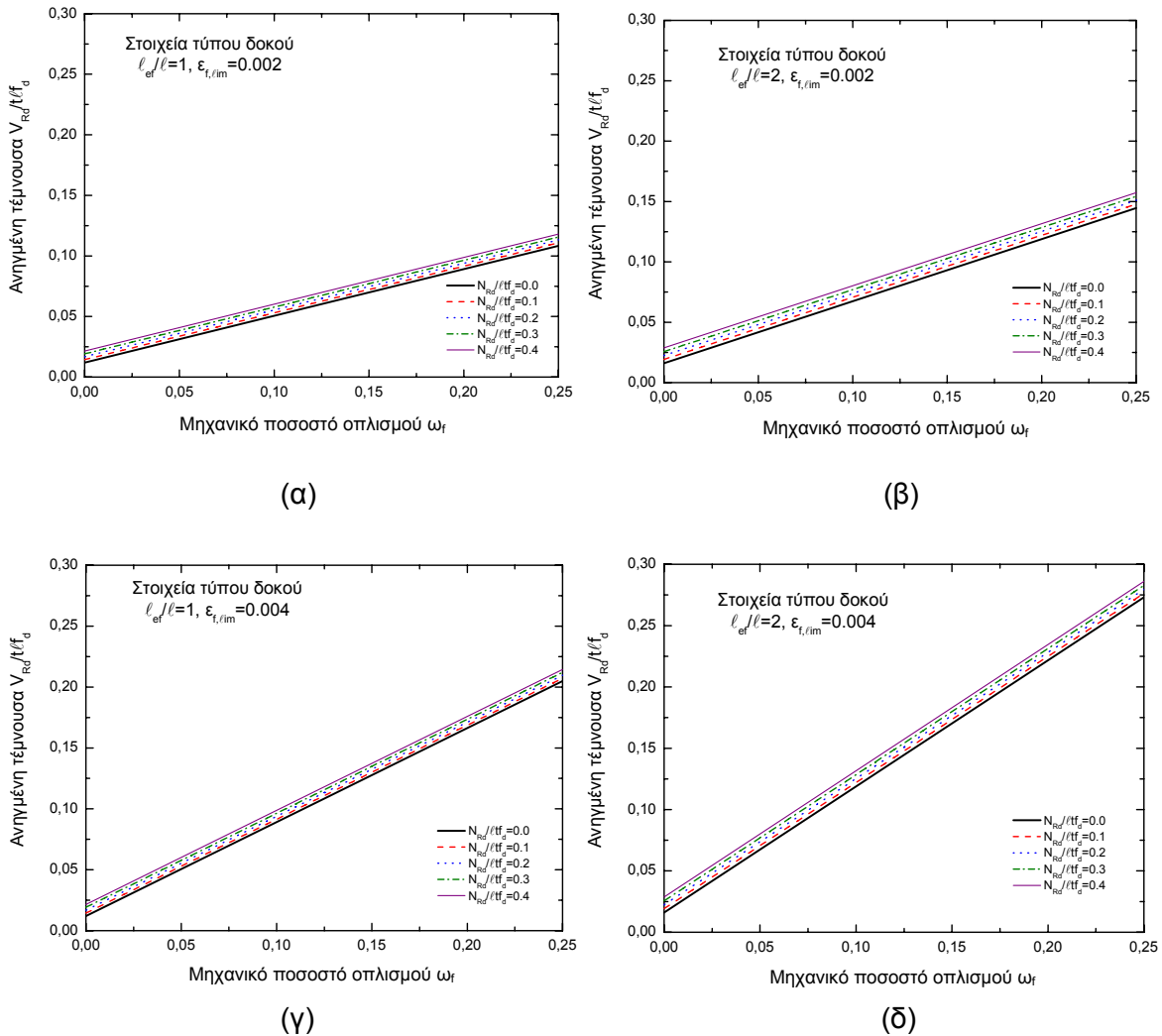
$$\frac{V_{Rd}}{t l f_d} = \frac{V_{Rd,M}}{t l f_d} + \frac{V_{Rd,f}}{t l f_d} = \frac{f_{vd}}{f_d} \frac{d}{\ell} + 0.9 \frac{d}{\ell} \frac{A_f}{t s_f} \frac{\sigma_{fd}}{f_d} (1 + \cot \alpha) \sin \alpha \leq 0.25 \frac{d}{\ell} \quad (9.20)$$

όπου d = στατικό ύψος, το οποίο για την περίπτωση υψίκορμων στοιχείων ισούται με $1.3z$, με $z = \min(0.7\ell_{ef}, 0.4\ell + 0.2\ell_{ef})$, ℓ_{ef} = ενεργό μήκος ανοίγματος και ℓ = ύψος δοκού, όπως δείχνει το Σχ. 9.10. Στην εξ. (9.20) α = γωνία διεύθυνσης ινών ως προς τον άξονα του στοιχείου (συνήθως $\alpha = 90^\circ$).



Σχ. 9.10 Γεωμετρία στοιχείου τοιχοποιίας τύπου δοκού.

Η ανηγμένη αντοχή σε τέμνουσα δίνεται στα Σχ. 9.11α-δ ως συνάρτηση του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω_f για διάφορες τιμές του ανηγμένου αξονικού φορτίου, για διάφορες τιμές του λόγου ℓ_{ef}/ℓ και για τιμές της οριακής παραμόρφωσης $\varepsilon_{f,lim}$ ίσες με 0.002 και 0.004. Στα σχήματα αυτά θεωρήθηκε $\alpha = 90^\circ$.



Σχ. 9.11 Ανηγμένη αντοχή σε τέμνουσα συναρτήσει του μηχανικού ποσοστού οπλισμού για διάφορες στάθμες ανηγμένου αξονικού φορτίου, δύο διαφορετικές γεωμετρίες και διάφορες τιμές της οριακής παραμόρφωσης $\varepsilon_{f,lim}$.

9.6 Παραδείγματα ενισχύσεων σε διάτμηση

Θεωρούμε διατμητικό τοίχωμα μήκους $\ell = 1$ m και πάχους $t = 0.30$ m σε **διάτμηση εντός επιπέδου**. Η τοιχοποιία φέρει αξονικό φορτίο 150 kN και έχει θλιπτική αντοχή (στη διεύθυνση δράσης του φορτίου) $f_d = 5$ N/mm². Τα λιθοσώματα είναι συμπαγή με

αντοχή $f_b = 7 \text{ N/mm}^2$, οι κατακόρυφοι αρμοί είναι πλήρεις, $f_{vko} = 0.2 \text{ N/mm}^2$ και $\gamma_M = 2.5$. Υποθέτουμε ότι η ενίσχυση γίνεται με ελάσματα πλάτους 20 mm, πάχους 1.5 mm και μέτρου ελαστικότητας $E_f = 170 \text{ kN/mm}^2$. Να υπολογισθεί η απόσταση των οπλισμών ώστε η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα να είναι $V_{Rd} = 100 \text{ kN}$.

$$\sigma_d = \frac{150000}{1000 \times 300} = 0.5 \text{ N/mm}^2, \quad f_{vd} = \frac{1}{2.5} \min(0.2 + 0.4 \times 0.5, 0.065 \times 7) = 0.16 \text{ N/mm}^2$$

Έτσι από την εξ. (9.18) με $\sigma_{fed} = 0.003 \times 170000 = 510 \text{ N/mm}^2$ και $A_f = 2 \times 20 \times 1.5 = 60 \text{ mm}^2$ προκύπτει $s_f = 588 \text{ mm}$. [Αν υποθέσουμε ότι η απόσταση των οριζόντιων αρμών είναι περίπου 140 mm, θα μπορούσε να υιοθετηθεί η λύση της τοποθέτησης των ελασμάτων σε εγκοπές, με ένα έλασμα κάθε τέσσερις αρμούς].

Ακολούθως θεωρούμε στοιχείο τοιχοποιίας τύπου δοκού, με ύψος $\ell = 1 \text{ m}$ και στατικό ύψος $d = 0.80 \text{ m}$, σε διάτμηση εντός επιπέδου υπό μηδενικό αξονικό φορτίο. Οι ιδιότητες των υλικών τοιχοποιίας και οπλισμών είναι όπως παραπάνω. Και εδώ ζητούμενο είναι ο υπολογισμός της απόστασης των οπλισμών ώστε η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα να είναι $V_{Rd} = 100 \text{ kN}$.

$$\sigma_d = 0, \quad f_{vd} = \frac{1}{2.5} \min(0.2, 0.065 \times 7) = 0.08 \text{ MPa}.$$

Από την εξ. (9.20) με $\sigma_{fed} = 0.003 \times 170000 = 510 \text{ N/mm}^2$ και $A_f = 60 \text{ mm}^2$ προκύπτει $s_f = 273 \text{ mm}$.

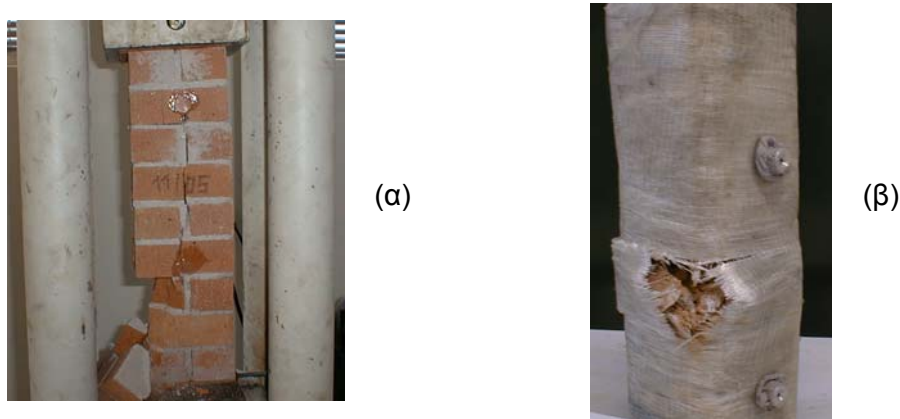
9.7 Περίσφιγξη

Η δράση μανδύων περίσφιγξης τοιχοποιίας είναι αντίστοιχη με αυτή για το σκυρόδεμα. Με βάση το απλό αναλυτικό προσομοίωμα των Krenvaikas and Triantafillou (2005), το οποίο βασίζεται σε πειραματικά αποτελέσματα επί κοντών υποστυλωμάτων ορθογωνικών διατομών (Σχ. 9.12), η θλιπτική αντοχή f_{dc} και η οριακή παραμόρφωση $\varepsilon_{m\text{cu}}$ περισφιγμένης τοιχοποιίας περιγράφονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$f_{dc} = f_d \quad \text{αν} \quad \frac{\sigma_{\ell\text{ud}}}{f_d} \leq 0.24 \quad (9.21\alpha)$$

$$f_{dc} = f_d \left(0.6 + 1.65 \frac{\sigma_{\ell\text{ud}}}{f_d} \right) \quad \text{αν} \quad \frac{\sigma_{\ell\text{ud}}}{f_d} \geq 0.24 \quad (9.21\beta)$$

$$\varepsilon_{m\text{cu}} = \varepsilon_{m\text{u}} + 0.034 \frac{\sigma_{\ell\text{ud}}}{f_d} \quad (9.22)$$



Σχ. 9.12 (α) Θλιπτική αστοχία άοπλης τοιχοποιίας, (β) αστοχία μανδύα περίσφιγξης.

Στις παραπάνω σχέσεις $\sigma_{\ell ud}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης περίσφιγξης, η οποία για στοιχεία με κυκλική διατομή διαμέτρου D ισούται με $(2t_f/D)f_{fde}$. Για στοιχεία ορθογωνικής διατομής με πλευρές b και d , η τάση περίσφιγξης μπορεί να ληφθεί προσεγγιστικά ίση με τη μέση τιμή των τάσεων κάθετα σε κάθε μία από τις πλευρές του ορθογωνίου, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφ. 6 για την περίσφιγξη σκυροδέματος:

$$\sigma_{\ell ud} = \frac{\sigma_{\ell ud,d} + \sigma_{\ell ud,b}}{2} = \frac{1}{2} \alpha_f \left(\frac{2t_f}{d} f_{fde} + \frac{2t_f}{b} f_{fde} \right) = \alpha_f \frac{(b+d)}{bd} t_f f_{fde} \quad (9.23)$$

όπου α_f είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας του μανδύα, σύμφωνα με την εξ. (6.10).