

Το Κεφάλαιο 7 περιλαμβάνει προσομοιώματα για τον υπολογισμό της αντίστασης (φέρουσας ικανότητας), της δυσκαμψίας και της ικανότητας μετελαστικής παραμόρφωσης δομικών στοιχείων τοιχοποιίας, με ή χωρίς πρότερη βλάβη.

Όπου στο παρόν κεφάλαιο δεν υπάρχει χαρακτηρισμός για την αντοχή της τοιχοποιίας ή αναφέρεται ο όρος «αντιπροσωπευτική τιμή» αυτή νοείται ως η μέση τιμή αντοχής εκτός από την περίπτωση εφαρμογής της ελαστικής μεθόδου ανάλυσης με χρήση του δείκτη συμπεριφοράς  $q$ , όπου λαμβάνεται η οιονεί χαρακτηριστική τιμή.

Στις περιπτώσεις όπου καθοριστική για την ανελαστική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων είναι η κάμψη, κατάλληλα μεγέθη  $F$  και  $\delta$  είναι η ροπή κάμψης  $M$  και η στροφή χορδής  $\theta$  του στοιχείου (Σχήμα Σ 7.1(α)).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

#### 7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

##### 7.1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Το παρόν Κεφάλαιο 7 περιλαμβάνει:

**α)** Την ποσοτική περιγραφή της συμπεριφοράς δομικών στοιχείων τοίχων την οποία προϋποθέτουν οι διάφορες μέθοδοι ανάλυσης κατά το Κεφ.5.

**β)** Προσομοιώματα για τον υπολογισμό της “ικανότητας” δομικών στοιχείων με ή χωρίς πρότερη βλάβη. Η ικανότητα αυτή εκφράζεται σε όρους δυνάμεων ή παραμορφώσεων, προς χρήση στην βασική ανίσωση ασφαλείας του Κεφαλαίου 4. Προσομοιώματα για τα επισκευασμένα ή ενισχυμένα στοιχεία δίνονται στο Κεφ. 8.

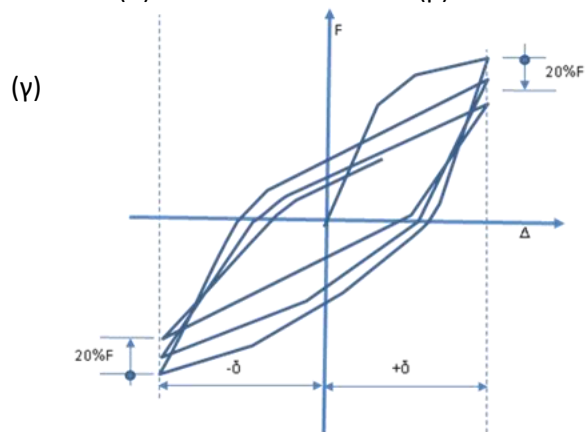
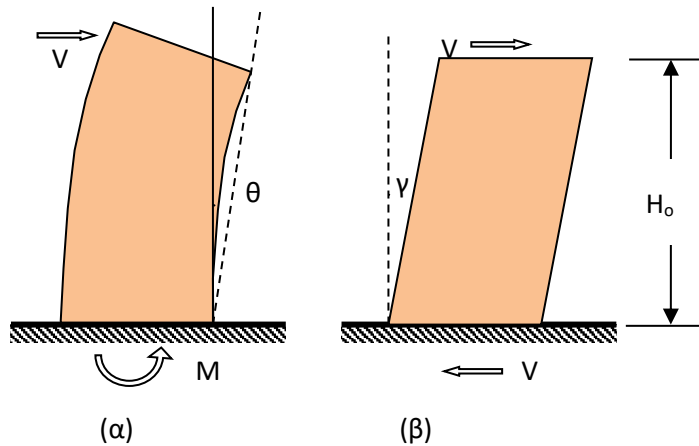
##### 7.1.2 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ– ΟΡΙΣΜΟΙ

###### 7.1.2.1 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΤΑΤΙΚΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ “F-Δ”

Η μηχανική συμπεριφορά ενός πεσσού ή υπέρθυρου δίσκου τοιχοποιίας, περιγράφεται μέσω ενός διαγράμματος εντατικού μεγέθους “ $F$ ” και της παραμόρφωσης ή σχετικής μετακίνησης “ $\delta$ ” (Σχήμα 7.1). Το είδος, η διεύθυνση κ.λπ. του μεγέθους  $F$  επιλέγονται έτσι ώστε να χαρακτηρίζουν το κύριο μέρος της έντασης την οποία προκαλεί η σεισμική δράση στο στοιχείο. Η παραμόρφωση

Αν καθοριστική για την ανελαστική συμπεριφορά είναι η διάτμηση, κατάλληλα μεγέθη είναι η τέμνουσα δύναμη  $V$  και η γωνιακή (διατμητική) παραμόρφωση  $\gamma$  (Σχήμα Σ 7.1(β)).

$\delta$  επιλέγεται έτσι ώστε, σε συνδυασμό με το εντατικό μέγεθος  $F$ , να εκφράζει την ενέργεια παραμόρφωσης του στοιχείου, της κρίσιμης περιοχής ή της σύνδεσης.



**α)** Εάν διατίθενται πειραματικά στοιχεία, θεωρείται ότι η μηχανική συμπεριφορά περιγράφεται από την περιβάλλουσα των εξασθενημένων αποκρίσεων  $F$ , στο τέλος του πρώτου κύκλου, μετά από πλήρως ανακυκλιζόμενη επιβαλλόμενη παραμόρφωση  $\pm\delta$ , μέχρι και την απώλεια της ικανότητας του δομικού στοιχείου κατά 20% επί της μεγίστης τιμής (Σχήμα Σ 7.1(γ)).

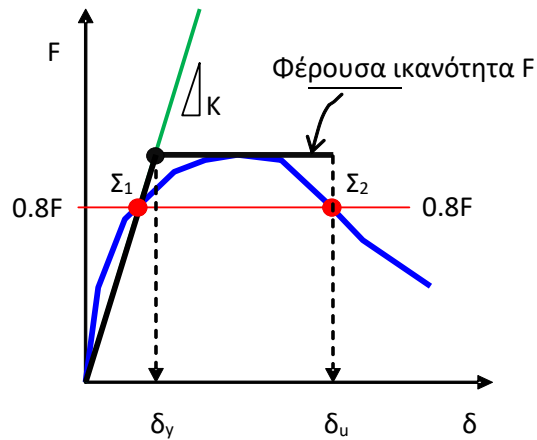
Σχ. Σ 7.1(α), (β): Παραμόρφωση εντός επιπέδου του τοίχου.

Σχ. Σ 7.1(γ): Ορισμός περιβάλλουσας.

Όταν διατίθεται η πειραματική περιβάλλουσα καμπύλη απόκρισης ενός στοιχείου, ο προσδιορισμός των παραμορφώσεων διαρροής και αστοχίας ακολουθεί την διαδικασία του Σχήματος Σ 7.2(α):

**α)** Ορίζεται η οριζόντια εφαπτομένη της καμπύλης στο μέγιστο φορτίο, στην στάθμη της φέρουσας ικανότητας (μέγιστη αντίσταση)  $F$ .

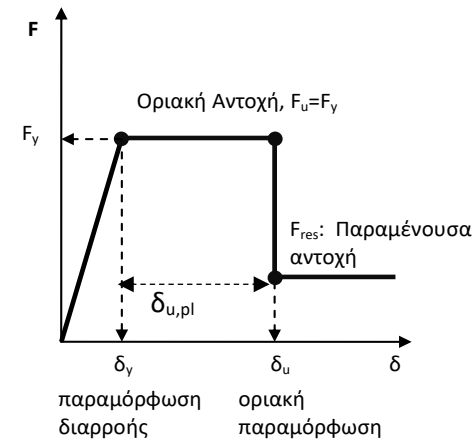
**β)** Χαράσσεται οριζόντια ευθεία σε στάθμη φορτίου ίση με 80% του  $F$ , η οποία κατά κανόνα τέμνει την πειραματική περιβάλλουσα στον ανιόντα κλάδο (Σημείο Σ1) και στον κατιόντα κλάδο μετά το μέγιστο (Σημείο Σ2).



Σχ. Σ 7.2(α): Ορισμός παραμόρφωσης οιονεί διαρροής και αστοχίας στην καμπύλη αντίστασης τοίχου.

Η ευθεία που ορίζεται από την αρχή των αξόνων και το σημείο Σ1 ορίζει την επιβατική (τέμνουσα) δυσκαμψία στο στάδιο της οιονεί διαρροής.

**β)** Όταν δεν διατίθενται πειραματικά δεδομένα για την συμπεριφορά δομικών στοιχείων με χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνα των εξεταζόμενων, τότε μπορεί να χρησιμοποιείται ένα σχηματοποιημένο διάγραμμα συμπεριφοράς (Σχήμα 7.1).



Σχ. 7.1: Σχηματοποιημένο διάγραμμα συμπεριφοράς.

Η τετμημένη στο σημείο τομής της τέμνουσας ευθείας με την οριζόντια εφαπτομένη στο μέγιστο ορίζει την παραμόρφωση διαρροής. Η μέγιστη ικανότητα παραμόρφωσης  $\delta_u$  ορίζεται από την τετμημένη του σημείου Σ2.

Η αποδιοργάνωση της άοπλης φέρουσας τοιχοποιίας με απώλεια τμημάτων της, σηματοδοτεί το τελικό στάδιο της αστοχίας του στοιχείου. Τα δομικά στοιχεία από φέρουσα τοιχοποιία θεωρείται ότι αστοχούν όταν έχουν εξαντλήσει την διαθέσιμη πλαστικότητα στροφών,  $\delta_u$ .

Στην περίπτωση διαζωματικής ή ξυλοπλισμένης ή ξυλόπηκτης τοιχοποιίας, η διαθέσιμη πλαστικότητα στροφών ( $\delta_u$ ) είναι σαφώς μεγαλύτερη της αντίστοιχης τιμής που μπορεί να παραλάβει η άοπλη τοιχοποιία.

Οι απλοί κανόνες για τον υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης με ψευδοελαστικές μεθόδους (ανελαστικά φάσματα απόκρισης και χρήση δείκτη συμπεριφοράς, κανόνας ίσων μετακινήσεων ανελαστικού και ελαστικού συστήματος και επεκτάσεις του, κ.λπ.) προϋποθέτουν δι-γραμμική περιβάλλουσα καμπύλη συνολικών δυνάμεων-μετακινήσεων F-δ του δομήματος (π.χ. καμπύλη τέμνουσας βάσης-μετάθεσης κορυφής), με τον οιονεί ελαστικό κλάδο να φθάνει μέχρι τη διαρροή.

Η μορφή των καμπυλών F-δ των επιμέρους προσομοιωμάτων για στοιχεία ή περιοχές του δομήματος, πρέπει να είναι τέτοια ώστε τελικώς να προκύπτει περίπου διγραμμική καμπύλη F-δ για το σύνολο του δομήματος. Έτσι, σε στοιχεία από φέρουσα άοπλη τοιχοποιία, η οιονεί διαρροή αντιστοιχεί ουσιαστικά στον τερματισμό του ανιόντα ελαστικού κλάδου και την διαμόρφωση ρωγμών στο σώμα του στοιχείου.

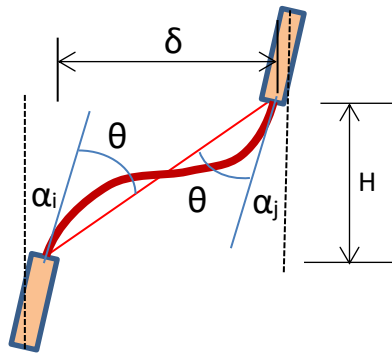
Η παραμόρφωση αστοχίας του δομικού στοιχείου εξαρτάται από την παρουσία ή μη διαζωμάτων (ξύλινων, μεταλλικών ή από Ο.Σ. κ.λπ.) στο σώμα του στοιχείου.

#### 7.1.2.2 ΟΙΟΝΕΙ ΕΛΑΣΤΙΚΟΣ ΚΛΑΔΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΗ

Η προσέγγιση της πραγματικής καμπύλης F-δ μέσω ενός πολυγραμμικού διαγράμματος είναι γενικώς επαρκής για τις ανάγκες του σχεδιασμού. Στο Σχήμα 7.1 ο πρώτος ευθύγραμμος κλάδος εκτείνεται από την αρχή των αξόνων μέχρι τη συμβατική (ή ενεργό) “διαρροή” του στοιχείου (ή της κρίσιμης περιοχής του στοιχείου, ή της σύνδεσης δύο ή περισσότερων στοιχείων), μετά την οποία η καμπύλη F-δ μπορεί να λαμβάνεται κατά προσέγγιση ως οριζόντια.

Η στροφή που αντιστοιχεί στο στάδιο της «οιονεί διαρροής» επιφανειακών στοιχείων από φέρουσα τοιχοποιία,  $\theta_y$ , είναι η μέση ανηγμένη απόκλιση μεταξύ του παραμορφωμένου στοιχείου και της χορδής του κατά την έναρξη της ρηγμάτωσης (Σχήμα Σ 7.1).

(i) Για εντός επιπέδου κάμψη ή για διάτμηση, η τιμή της  $\theta_y$  μπορεί να λαμβάνεται ίση με 0.0015.



Σχ. Σ 7.2(β): Ορισμός της στροφής χορδής  $\theta$ , σε σχέση με την εφαπτομένη στην βάση.

Για λόγους αριθμητικής ευστάθειας της ανάλυσης όπου τεκμηριωμένα θεωρείται ότι υπάρχει πλαστιμότητα, ο μετελαστικός κλάδος μπορεί να λαμβάνεται με μικρή θετική κλίση.

Αν χρησιμοποιείται ανελαστική μέθοδος ανάλυσης της σεισμικής απόκρισης (βλ. §§ 5.6 και 5.7), η χρήση αρνητικής κλίσης της καμπύλης  $F-\delta$  μπορεί να οδηγήσει σε αριθμητικά προβλήματα και λανθασμένα αποτελέσματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, συνιστάται μια κατάλληλη μείωση της  $F_y$ , ώστε ένας συντηρητικότερος οριζόντιος μετελαστικός κλάδος, να

(ii) Για εκτός επιπέδου κάμψη, η στροφή χορδής «διαρροής»,  $\theta_y$ , μπορεί να λαμβάνεται ως 0.0020.

### 7.1.2.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ $F_y$

Η αντίσταση διαρροής,  $F_y$ , μπορεί να ληφθεί ίση με την μέγιστη αντίσταση του αντίστοιχου τρόπου αστοχίας, σύμφωνα με όσα περιγράφονται κατωτέρω.

### 7.1.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΤΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΙΧΟΥ

Στις περιπτώσεις όπου αναμένεται ορισμένη αξιόπιστη πλαστιμότητα των κρίσιμων περιοχών, είναι αποδεκτό να λαμβάνεται ο μετελαστικός κλάδος της καμπύλης  $F-\delta$  ως οριζόντιος μέχρι την παραμόρφωση αστοχίας του στοιχείου,  $\delta_u$  (βλ. Σχήμα 7.1).

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη τυχόν αναμενόμενη έντονη εξασθένηση της απόκρισης με την ανακύκλιση της παραμόρφωσης, ή τα φαινόμενα 2ας τάξεως, ο μετελαστικός κλάδος οφείλει να λαμβάνεται με αρνητική κλίση.

λαμβάνει προσεγγιστικώς υπόψη και την εξασθένιση απόκρισης υπό μεγαλύτερες παραμορφώσεις (Σχήμα Σ 7.2).

Για τους τοίχους από φέρουσα τοιχοποιία ως  $\delta$  χρησιμοποιείται η γωνία στροφής χορδής,  $\theta$ , μετρούμενη ως προς την εφαπτομένη του παραμορφωμένου στοιχείου στην βάση του, ή η γωνία διατμητικής παραμόρφωσης  $\gamma$ . Ο δείκτης πλαστιμότητας  $\mu_\delta = \mu_\theta$  αφορά γωνίες στροφής χορδής, δηλ. σχετική μετάθεση άκρων στοιχείου ανηγμένη προς την μεταξύ τους απόσταση.

Το μέγεθος της απομένουσας αντίστασης  $F_{res}$  και της παραμόρφωσης για την οποία μηδενίζεται (ουσιαστικώς) η αντίσταση σε φορτία βαρύτητας είναι δύσκολο να εκτιμηθούν για στοιχεία από φέρουσα άοπλη τοιχοποιία.

Για τις ανάγκες της προσομοίωσης θεωρείται:

#### 7.1.4 ΟΡΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ

Ως αστοχία ορίζεται η σημαντική και συχνά απότομη μείωση της αντίστασης  $F$  υπό μονοτονικά αυξανόμενη παραμόρφωση, ή υπό ανακυκλιζόμενη παραμόρφωση. Υπό την έννοια αυτή, μπορεί να θεωρηθεί ως “αστοχία” μία μείωση της αντίστασης ίση περίπου με 20% της μέγιστης τιμής της. Ως παραμόρφωση αστοχίας,  $\delta_u$ , επομένως, ορίζεται εκείνη η τιμή που αντιστοιχεί σε απόκριση  $F$  μειωμένη κατά 20% έναντι της μέγιστης (Σχήμα Σ 7.2(α)).

Η τιμή της παραμόρφωσης αστοχίας,  $\delta_u$ , ορίζει και την ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης, μέσω του πλαστικού τμήματος της παραμόρφωσης αστοχίας, δηλ. του  $\delta_{u,pl} = \delta_u - \delta_y$  ενός στοιχείου, μιας κρίσιμης περιοχής ή μιας συνδέσεως στοιχείων. (Σχήμα Σ 7.1).

Η παραμόρφωση  $\delta$  μπορεί να εκφράζεται ως ανηγμένο μέγεθος, με τη βοήθεια του δείκτη πλαστιμότητας παραμορφώσεων  $\mu_\delta$ .

$$\mu_\delta = \delta / \delta_y = \theta / \theta_y \quad (7.1)$$

Η  $\mu_{\delta_u} = \delta_u / \delta_y$  ορίζεται ως διαθέσιμη (μέγιστη) τιμή του δείκτη πλαστιμότητας παραμορφώσεων.

#### 7.1.5 ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Μετά την παραμόρφωση αστοχίας,  $\delta_u$ , μειώνεται σημαντικά η απόκριση του στοιχείου σε ένταση λόγω σεισμικής δράσης υπό αυξανόμενη παραμόρφωση  $\delta$ , αλλά συνήθως δεν μηδενίζεται. Η απόκριση αυτή μπορεί να θεωρηθεί περίπου σταθερή μέχρι την παραμόρφωση που προκαλεί απώλεια της αντίστασης έναντι φορτίων βαρύτητας, αναφέρεται δε ως απομένουσα αντίσταση  $F_{res}$ . Η τιμή της απομένουσας αντίστασης ενδιαφέρει μόνον για λόγους προσομοίωσης της ανελαστικής

(i) Για τοίχους που υπόκεινται σε εντός επιπέδου συνδυασμό τέμνουσας και κατακόρυφου αξονικού φορτίου, λαμβάνεται η απομένουσα αντοχή ίση με το 50% της οριακής αντοχής των στοιχείων.

(ii) Για τοίχους που κάμπτονται κάθετα στο επίπεδό τους υπό συνδυασμό οριζόντιας σεισμικής πίεσης και κατακόρυφου αξονικού φορτίου, λαμβάνεται η απομένουσα αντοχή ίση με το 30% της οριακής αντοχής εάν πρόκειται για διαζωματική τοιχοποιία. Η απομένουσα αντοχή λαμβάνεται ίση με μηδέν για συνήθεις ψαθυρές τοιχοδομές.

Πρόκειται πάντως για κατάσταση αστοχίας που ενδιαφέρει μόνον για την στάθμη επιτελεστικότητας Γ, «Αποφυγή οιονεί-κατάρρευσης», και μόνον εφόσον υπάρχουν πλαστικά στοιχεία (βλ. Κεφ. 9).

Το όριο μεταξύ πλαστικής και ψαθυρής συμπεριφοράς λαμβάνεται συμβατικά ίσο με 1.5, όταν αναφέρεται στη *διαθέσιμη* τιμή δείκτη πλαστιμότητας ανηγμένων σχετικών μετακινήσεων (δηλαδή στροφής χορδής), των τοίχων,  $\mu_{\theta}$ .

Αν χρησιμοποιείται ελαστική ανάλυση χωρίς ενιαίο δείκτη συμπεριφοράς  $\alpha$ , η ανίσωση ασφαλείας μπορεί να εφαρμόζεται σε όρους δυνάμεων, αρκεί η ένταση  $F$  να συγκρίνεται με την αντοχή  $F_y$  ( $\approx F_u$ ) του στοιχείου, αφού διαιρεθεί με κατάλληλο τοπικό δείκτη πλαστιμότητας  $m$ , ο οποίος συνδέεται με τη διαθέσιμη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας παραμορφώσεων  $\mu_{\theta}$  του υπόψη στοιχείου (βλ. § 9.3.2).

απόκρισης πλαστικών στοιχείων τοίχων (βλ. § 9.3.1 για την απαίτηση ικανοποίησης κριτηρίων ελέγχου από όλα τα στοιχεία).

### 7.1.6 ΠΛΑΣΤΙΜΗ ΚΑΙ ΨΑΘΥΡΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Αν η διαθέσιμη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας  $\mu_{\theta}$  ενός δομικού στοιχείου, μιας κρίσιμης περιοχής στοιχείου, ή μιας συνδέσεως στοιχείων τοίχων ξεπερνά ένα ορισμένο όριο, η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται ως πλαστική, οπότε η ανίσωση ασφαλείας του θα εκφράζεται σε όρους παραμορφώσεων  $\delta$ . Διαφορετικά, η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται ως ψαθυρή, οπότε η ανίσωση ασφαλείας θα εκφράζεται σε όρους δυνάμεων  $F$ , βλ. Κεφ. 4.

### 7.2 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΒΑΛΛΟΜΕΝΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΕΜΝΟΥΣΑ

Στοιχεία από άοπλη τοιχοποιία υπό εντός επιπέδου κάμψη:

Κατά τον έλεγχο μιας διατομής έναντι εντός επιπέδου κάμψεως, αμελείται η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας, και γίνεται παραδοχή αδρανούς περιοχής. Η ροπή κάμψεως  $M_{Rd}$  την οποία μπορεί να αναλάβει η διατομή ελέγχου εξαρτάται από την θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας και από την τιμή του (ευμενούς) αξονικού θλιπτικού φορτίου, κατά την ακόλουθη σχέση (βλ. Σχήμα Σ 7.3) ως εξής:

$$M_{Rd} = N_{sd} \cdot (1 - 1.15\nu_{sd}) \cdot L/2 \quad (7.2\alpha)$$

$N_{sd}$  είναι το αξονικό φορτίο του τοίχου για το σεισμικό συνδυασμό (λαμβάνεται υπόψη μόνον εφόσον είναι θλιπτικό)

$L$  είναι η οριζόντια εντός επιπέδου διάσταση του τοιχώματος (μήκος),  
 $\nu_{sd} = N_{sd}/(L \cdot t \cdot f_d)$  είναι το ανηγμένο αξονικό φορτίο (με  $f_d = f_{mc}/\gamma_w$ , όπου  $f_{mc}$  είναι η αντιπροσωπευτική τιμή της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας όπως λαμβάνεται από επί τόπου δοκιμές και από πρόσθετες πηγές πληροφόρησης, και το  $\gamma_w$  είναι ο συντελεστής ασφαλείας για την τοιχοποιία σύμφωνα με τη στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων κατά την § 4.5.3, το  $t$  είναι το πάχος του τοίχου.

### 7.2.1 ΙΚΑΝΟΤΙΚΗ ΤΕΜΝΟΥΣΑ

Η ικανοτική τέμνουσα  $V_f$ , υπολογίζεται από την Σχέση (7.2β).

$$V_f = \frac{LN_{sd}}{2H_0} (1 - 1.15\nu_{sd}) \quad (7.2\beta)$$

Όπου,

$H_0$  είναι η απόσταση μεταξύ της διατομής στην οποία αναπτύσσεται η μέγιστη ροπή και του σημείου μηδενισμού των ροπών.

Όταν αναπτύσσεται η αντοχή σε κάμψη σε κρίσιμη διατομή λόγω οριζόντιας σχετικής μετάθεσης των άκρων του τοίχου, τότε ορίζεται ως ικανοτική τέμνουσα, η δύναμη που δρα σε διατμητικό μήκος  $H_0$  και βρίσκεται σε ισορροπία με την καμπτική αντοχή, σύμφωνα με το Σχήμα Σ 7.3. Η ικανοτική τέμνουσα συγκρίνεται με την δρώσα τέμνουσα  $V_{Ed}$  για την διαπίστωση υπέρβασης του ελαστικού ορίου.

Όταν οι τοίχοι κάμπτονται εντός επιπέδου, οι στροφές που αναπτύσσονται οφείλονται σε συνδυασμό καμπτικών και διατμητικών παραμορφώσεων.

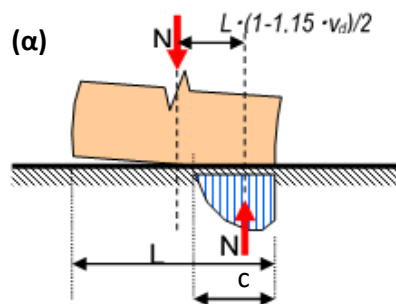


Σε στοιχεία με αμιγώς καμπτική συμπεριφορά το σημείο της οιονεί διαρροής σχετίζεται με την ανάπτυξη της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας στην ακραία θλιβόμενη ίνα της κρίσιμης διατομής λόγω κάμψης. Υπογραμμίζεται ότι, επειδή δεν υπάρχει οπλισμός, η καμπτική συμπεριφορά αναφέρεται σε περιστροφή των τοίχων περί την διατομή στήριξης στη βάση (βλ. Σχήμα Σ 7.3).

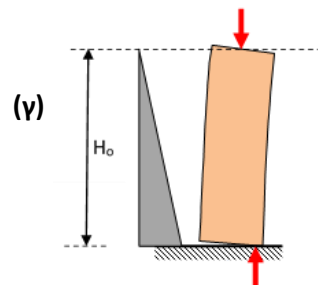
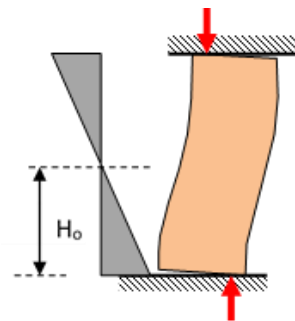
Για τον υπολογισμό της ροπής κάμψεως που αντιστοιχεί στην οιονεί διαρροή, απαιτείται ο υπολογισμός του μήκους της θλιβόμενης περιοχής στην κάτωψη του δομήματος (βλ. Κεφ. 5-A.1). Η δημιουργία αδρανών περιοχών (δηλ. περιοχών όπου οι ορθές τάσεις που προκύπτουν από συνδυασμό ροπής και αξονικού φορτίου είναι εφελκυστικές) μειώνει την φέρουσα ικανότητα έναντι κάμψεως. Είναι:

$$v_d = \sigma_d / f_d$$

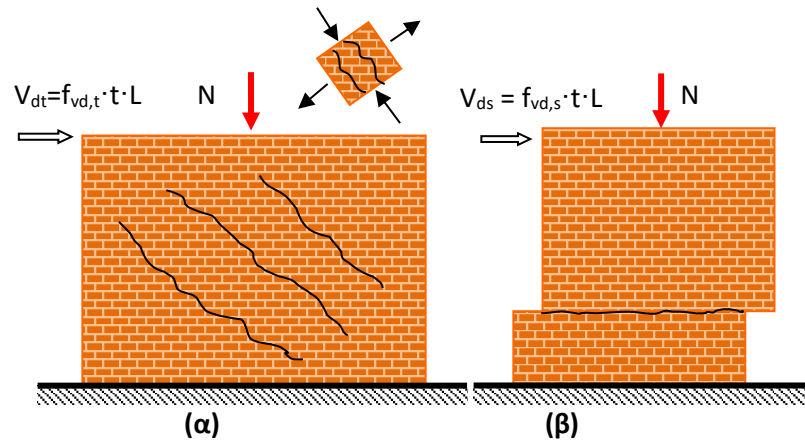
(Σ 7.1)



(β)



Σχ. Σ 7.3: Εντός επιπέδου κάμψη στοιχείου. (α) Ορισμός εσωτερικής ροπής. (β) Ορισμός ύψους  $H_0$  σε σχέση με το διάγραμμα ροπών. (γ) Ορισμός  $H_0$  σε τοίχο χωρίς άκαμπτο διάφραγμα στην κορυφή.



Σχ. Σ 7.4(α): Διαγώνια εφελκυστική αστοχία, (β) Ολίσθηση κατά μήκος οριζόντιου αρμού κονιάματος.

Η άοπλη τοιχοποιία υπό τέμνουσα με ταυτόχρονη παρουσία κατακόρυφης θλίψεως αστοχεί με έναν εκ των κατωτέρω τρόπων:

**α)** με την εμφάνιση λοξών ρωγμών (κατά την μία ή και κατά τις δυο διαγωνίους της τοιχοποιίας).

**β)** λόγω θλιπτικής αστοχίας του διαγώνιου θλιπτήρα υπό ταυτόχρονο εγκάρσιο εφελκυσμό.

**γ)** με ολίσθηση κατά μήκος των οριζοντίων αρμών.

Η πρώτη και η τρίτη περίπτωση είναι συνήθεις, βλ. Σχήμα Σ 7.4).

Η γωνία κλίσεως των ρωγμών (Σχήμα Σ 7.4α) εξαρτάται από το μέγεθος του ταυτόχρονου θλιπτικού φορτίου. Λόγω ανακυκλιζόμενων δράσεων

## 7.2.2 ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ

Η διατμητική αντίσταση,  $V_v$ , ενός τοίχου από άοπλη τοιχοποιία μπορεί να υπολογίζεται από την σχέση 7.3(α):

$$V_v = f_{vd} L't \quad (7.3\alpha)$$

όπου:

$L'$ : είναι το μήκος της θλιβόμενης περιοχής του τοίχου

$t$ : είναι το πάχος του τοίχου, και

$f_{vd}$ : είναι η αντιπροσωπευτική τιμή της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας, η οποία συνυπολογίζει και την παρουσία κατακόρυφου φορτίου ως εξής:

$$f_{vd} = f_{vm0} + 0,4 N/L't \leq 0,065f_b, \quad (7.3\beta)$$

όπου:

$f_{vm0}$  είναι η διατμητική αντοχή στην περίπτωση απουσίας κατακόρυφου φορτίου (συνοχή).

$f_b$  είναι η κανονικοποιημένη θλιπτική αντοχή του τοιχοσώματος (κατά τον ΕΚ 6-1-1).

Και οι δύο αντοχές πρέπει να λαμβάνονται από επί τόπου δοκιμές και /ή από πρόσθετες πηγές πληροφόρησης, και να διαιρούνται με τους συντελεστές εμπιστοσύνης  $CF$ , όπως ορίζονται στο **3.5(1)P** και στον Πίνακα 3.1, του ΕΚ 8-3: συνυπολογίζοντας το επίπεδο της γνώσης που έχει αποκτηθεί.

(σεισμός), οι διαγώνιες/δισδιαγώνιες ρωγμές ενδέχεται να οδηγήσουν σε αποδιοργάνωση της τοιχοποιίας του στοιχείου και, επομένως, σε αστοχία του.

Οι λοξές ρωγμές εμφανίζουν μορφολογία η οποία εξαρτάται από τον τρόπο δομήσεως της τοιχοποιίας:

**α)** Όταν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των λιθοσωμάτων και του κονιάματος είναι παραπλήσια, οι λοξές ρωγμές περνούν τόσο μέσω των αρμών κονιάματος, όσο και μέσω των λιθοσωμάτων. Έτσι, οι ρωγμές εμφανίζονται περίπου ως ευθείες γραμμές.

**β)** Όταν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των λιθοσωμάτων είναι σημαντικώς μεγαλύτερα από εκείνα του κονιάματος, οι ρωγμές διαδίδονται μέσω των αρμών του κονιάματος και έχουν μορφή βαθμιδωτή.

**γ)** Όταν το μέγεθος των λιθοσωμάτων είναι μικρό, ακόμη και αν αυτά έχουν σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή από το κονίαμα, οι ρωγμές που διαδίδονται μέσω των αρμών του κονιάματος έχουν μορφή περίπου ευθείας γραμμής.

**δ)** Όταν η τοιχοποιία είναι δίστρωτη ή τρίστρωτη, ακόμη και όταν οι εξωτερικές παρειές είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους, η μορφολογία ρηγματώσεως είναι συνήθως διαφορετική στις δυο εξωτερικές όψεις της τοιχοποιίας.

Η Σχέση (7.3β) στηρίζεται σε προσομοίωμα τριβής, το οποίο αναφέρεται σε αστοχία ολισθήσεως κατά μήκος των αρμών. Η θεωρητική διατμητική αντοχή μπορεί να εκτιμηθεί σε όρους τάσεων ακριβέστερα ως εξής:

- i. Για υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας λόγω διάτμησης (διαγώνια ρηγμάτωση στην κατεύθυνση των κύριων θλιπτικών τάσεων, κάθετα στην κατεύθυνση των κύριων εφελκυστικών τάσεων,

Σχήμα Σ 7.4(α)), η διατμητική τάση ρηγματώσεως,  $f_{vd,t}$  μπορεί να προσδιορίζεται συναρτήσει της αντιπροσωπευτικής τιμής της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας  $f_{wtd}$  και του αξονικού φορτίου από την σχέση:

$$f_{vd,t} = \left[ \left( -f_{wtd} - \frac{v_d f_d}{2} \right)^2 - \left( \frac{v_d f_d}{2} \right)^2 \right]^{1/2} = \sqrt{f_{wtd} \cdot (f_{wtd} + v_d \cdot f_d)} \quad (\Sigma 7.2)$$

όπου:

το αρνητικό πρόσημο αναφέρεται σε εφελκυσμό και το θετικό σε θλίψη.  
 $f_{vd,t}$ : είναι η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας που σχετίζεται με διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

$f_{wtd}$ : είναι η αντιπροσωπευτική τιμή της αντοχής της τοιχοποιίας σε εφελκυσμό.

Υπενθυμίζεται ότι  $f_d = f_m / \gamma_w$

- ii. Εναλλακτικά, με αναφορά στο προσομοίωμα ολισθήσεως κατά μήκος των οριζοντίων αρμών (Σχήμα Σ 7.4(β)) η θεωρητική τιμή της διατμητικής αντοχής ολισθήσεως  $f_{vd,s}$  εκτιμάται από την συνοχή και την τριβή που δημιουργείται παρουσία του υπερκείμενου θλιπτικού φορτίου, ως:

$$f_{vd,s} = f_{vm0} + \mu \cdot (v_d f_d) \quad (\Sigma 7.3)$$

όπου:

$f_{vd,s}$  η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας που σχετίζεται με ολίσθηση κατά μήκος επιφάνειας τριβής.

$f_{vm0}$  η συνοχή που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια του κονιάματος – λιθοσώματος.

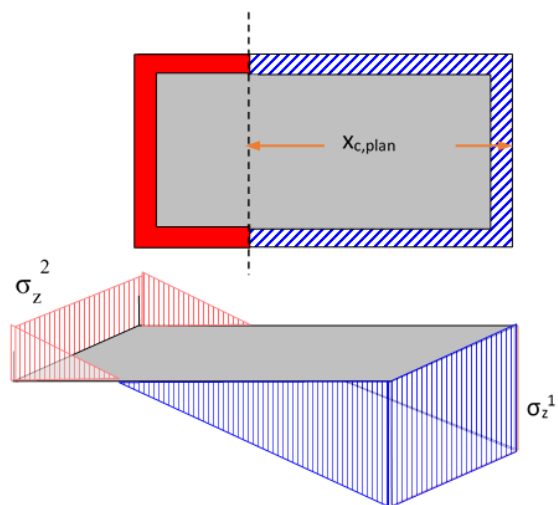
$\mu$ : είναι ο φαινόμενος συντελεστής τριβής κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησεως. Ο φαινόμενος συντελεστής τριβής αναφέρεται σε οριζόντιο επίπεδο και όχι στο κεκλιμένο επίπεδο της ρωγμής. Η τιμή του συντελεστή τριβής είναι συνάρτηση τόσο της τιμής της θλιπτικής τάσεως, όσο και της τραχύτητας της διεπιφάνειας.

Ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, ο συντελεστής τριβής μπορεί να λαμβάνεται ίσος με 0,40. Δεδομένου ότι αυτή η τιμή αντιστοιχεί σε μεγάλες τιμές θλιπτικής τάσης κάθετης στην διεπιφάνεια, όταν πρόκειται για αποτίμηση κτηρίων με ιστορική/αρχιτεκτονική αξία, συνιστάται να λαμβάνεται υπ' όψη κατάλληλη (αυξημένη) τιμή του συντελεστή τριβής, βάσει της βιβλιογραφίας (βλ. Σχόλια § 6.5.2).

$v_d f_d = \sigma_d$ : είναι η υπερκείμενη θλιπτική τάση στο επίπεδο ολισθήσεως.

Η αντίσταση ολισθήσεως αναπτύσσεται μόνο στην θλιβόμενη περιοχή των τοίχων που βρίσκονται διατεταγμένοι παράλληλα προς την κατεύθυνση της σεισμικής δράσης στην κάτοψη του κτιρίου (βλ. διαγραμματισμένο τμήμα της κάτοψης στο Σχήμα Σ 7.5, και Σχέση 7.3(α)). Η συμβολή των τοίχων που είναι διατεταγμένοι εγκάρσια προς την κατεύθυνση της σεισμικής δράσης, στην θλιβόμενη περιοχή της κάτοψης του κτιρίου μπορεί να λαμβάνεται υπόψη μόνον παρουσία δύσκαμπτων διαφραγμάτων. (Δηλαδή ελλείψει δύσκαμπτων διαφραγμάτων δεν λαμβάνεται υπόψη συμβολή στην διατμητική αντοχή του κτιρίου από τοίχους που διακείνται εγκάρσια προς την διεύθυνση του σεισμού).

Για την περίπτωση ελέγχων τάσεων με την βοήθεια ανάλυσης με πεπερασμένα επιφανειακά στοιχεία (Βλ. Κεφ. 5), προτείνεται για την εκτίμηση της αντοχής τοίχων σε διάτμηση να λαμβάνεται στην Σχέση (7.3) ως  $f_{vd}$  η ελάχιστη των τιμών  $f_{vd,t}$  και  $f_{vd,s}$ .



Σχ. Σ 7.5: Αντοχή ολισθήσεως αναπτύσσεται στο διαγραμμισμένο τμήμα της κάτοψης των φερόντων τοίχων.

### 7.2.3 ΜΟΡΦΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΙΧΟΥ ΣΕ ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΔΡΑΣΗ

Θεωρείται ότι ο τοίχος ελέγχεται από την τέμνουσα αν:

$$V_v \leq V_f \quad (7.4)$$

Άλλως θεωρείται ότι ο τοίχος ελέγχεται από την κάμψη.

Κατά τον έλεγχο επάρκειας, συγκρίνεται η τέμνουσα σχεδιασμού με την ελάχιστη των τιμών  $V_v$  και  $V_f$ .

Δεδομένου ότι τα οριζόντια διαζώματα (όπως π.χ. ξυλοδεσιές) ενεργοποιούνται μετά από την εμφάνιση των λοξών ρωγμών στην τοιχοποιία, οπότε η  $f_{v0}$  έχει μηδενισθεί, η συνεισφορά της άοπλης τοιχοποιίας μπορεί να λαμβάνεται ίση με την συμβολή της τριβής κατά μήκος της λοξής ρωγμής.

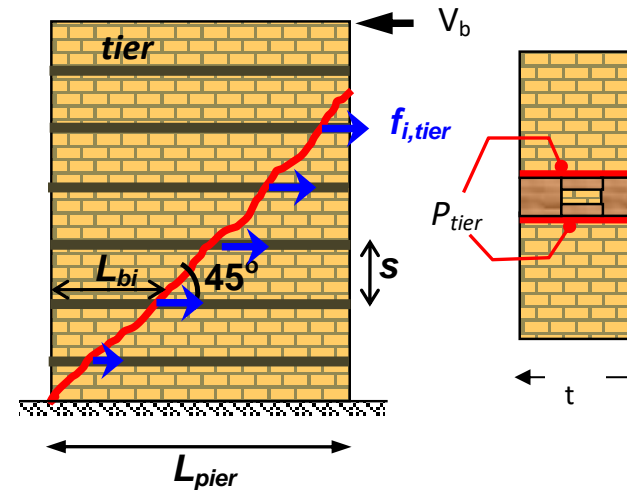
Όταν το δόμημα διαθέτει οριζόντια διαζώματα (όπως π.χ. ξυλοδεσιές) καθ' όλη την περίμετρό του, ο σπλισμός μπορεί να θεωρείται πλήρως αγκυρωμένος εκατέρωθεν της ρωγμής.

Στην περίπτωση ξυλοδεσιών, εάν η αναμενόμενη ρωγμή διέρχεται από περιοχή ματίσματος διαμήκων ξύλινων στοιχείων, συνιστάται (επί το δυσμενέστερον) να αμελείται η συμβολή του σπλισμού.

#### 7.2.4 ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΙΑΖΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ

Τα οριζόντια διαζώματα στο σώμα της τοιχοποιίας λειτουργούν ως σπλισμός και συμβάλλουν στην αύξηση της φέρουσας ικανότητας του στοιχείου έναντι τέμνουσας.

Η φέρουσα ικανότητα έναντι τέμνουσας στοιχείου τοιχοποιίας το οποίο διαθέτει οριζόντια διαζώματα μπορεί να υπολογίζεται ως άθροισμα της συνεισφοράς της άοπλης τοιχοποιίας (Σχέση 7.2) και της συνεισφοράς των ξύλινων, μεταλλικών ή από σπλισμένο σκυρόδεμα στοιχείων, ανάλογα με τον βαθμό αγκύρωσής τους εκατέρωθεν της αναμενόμενης διατμητικής ρωγμής.



Σχ. 7.2: Η συμβολή των οριζόντιων διαζωμάτων

Ως τιμή της  $u_{b,tier}$  μπορεί να ληφθεί το γινόμενο του συντελεστή τριβής επί την θλιπτική τάση, η οποία ασκείται στην στάθμη όπου είναι τοποθετημένο το ξύλινο ή μεταλλικό στοιχείο.

Ελλείψει άλλων δεδομένων ως συντελεστής τριβής θα λαμβάνεται η τιμή  $\mu=0.4$ .

Αυτές οι ροπές προκύπτουν από την εκτός επιπέδου δράση του σεισμού ή από τον άνεμο.

Ειδικότερα, η συμβολή των οριζόντιων στοιχείων (μεμονωμένων, είτε από οπλισμένο σκυρόδεμα, ή υπό την μορφή ξυλοδεσιών ή μεταλλικού διαζώματος) θα λαμβάνεται υπόψη στην διαμόρφωση της φέρουσας ικανότητας στοιχείων έναντι τέμνουσας, ως εξής: Κάθε στοιχείο το οποίο τέμνεται από μίαν ιδεατή ρωγμή με κλίση ίση με  $45^\circ$ , συμβάλλει στην διατμητική αντίσταση του στοιχείου με δύναμη  $V_{tier}$  (βλ. Σχήμα 7.2), η οποία υπολογίζεται από την Σχέση (7.5) (και πάντως όχι μεγαλύτερη από την εφελκυστική αντοχή του στοιχείου):

$$V_{tier} = u_{b,tier} \cdot p_{tier} \cdot L_{b,t} \quad (7.5)$$

Όπου:

- $u_{b,tier}$  η τάση συνάφειας μεταξύ του διαζώματος και της άοπλης φέρουσας τοιχοποιίας
- $p_{tier}$  η περίμετρος επαφής μεταξύ του διαζώματος και της άοπλης φέρουσας τοιχοποιίας
- $L_{b,t}$  το ελάχιστο μήκος επαφής του διαζώματος με την τοιχοποιία μετρούμενο αριστερά ή δεξιά του επιπέδου της διαγώνιας ρωγμής.

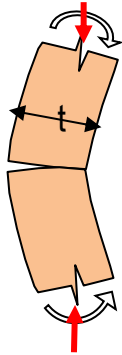
### 7.3 ΤΟΙΧΟΙ ΥΠΟΒΑΛΛΟΜΕΝΟΙ ΣΕ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΚΑΜΨΗ ΥΠΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΑΞΟΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Η φέρουσα ικανότητα ενός στοιχείου υποβαλλόμενου σε εκτός επιπέδου κάμψη υπολογίζεται για δυο πιθανούς τρόπους αστοχίας, δηλαδή, παράλληλα και κάθετα προς τους οριζόντιους αρμούς κονιάματος της τοιχοποιίας, σύμφωνα με τις σχέσεις που ακολουθούν.

**α)** Εκτός επιπέδου ροπή κάμψεως περί οριζόντιο άξονα:

Γίνονται οι κατωτέρω παραδοχές:





Σχ. Σ 7.6: Υπολογισμός αντοχής τοίχου σε κάμψη (εκτός επιπέδου δράση) σύμφωνα με την θεώρηση ανενεργού περιοχής.

Σε περιπτώσεις ιδιαίτερα επιμήκων τοίχων, η ροπή ελέγχου που προκύπτει από τις οριζόντιες σεισμικές ωθήσεις (βλ. Κεφ. 5-B), αλλά και η αντοχή σε κάμψη που εκτιμάται από τις Σχέση 7.6, μπορεί να υπολογίζονται ανά μονάδα μήκους ή ύψους του τοίχου (σε kN-m/m). Αντίστοιχα δίδονται ανά μονάδα μήκους του τοίχου και τα αποτελέσματα από αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων. Για την περίπτωση αυτή οι Εξισώσεις (7.6) τροποποιούνται ως εξής:

$$\bar{M}_{Rd1,o} = \frac{1}{2} t_w^2 \sigma_0 \left( 1 - \frac{\sigma_0}{f_d} \right) \quad (\text{σε kN-m/m μήκους}) \quad (\Sigma.7.4\alpha)$$

$$\bar{M}_{Rd2,o} = \frac{1}{6} f_{wt,d} \cdot t^2 \quad (\text{σε kN-m/m ύψους}) \quad (\Sigma.7.4\beta)$$

Εφόσον υπάρχουν ξύλινα ή μεταλλικά στοιχεία ή άλλα είδη οπλισμού επαρκώς αγκυρωμένα πέραν της κρίσιμης διατομής, τα οποία είναι τοποθετημένα κατά τρόπο ώστε να διατέμνουν το επίπεδο ρηγματώσεως,

Η εφελκυστική αντοχή της μονόστρωτης ή δίστρωτης με διάτονα λιθοσώματα τοιχοποιίας αμελείται, γίνεται παραδοχή αδρανούς περιοχής, η δε ροπή κάμψεως την οποία μπορεί να αναλάβει η διατομή ελέγχου εξαρτάται από την θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας και από την τιμή του (ευμενούς) αξονικού φορτίου, κατά την ακόλουθη σχέση:

$$M_{Rd1,o} = \frac{1}{2} l t_w^2 \sigma_0 \left( 1 - \frac{\sigma_0}{f_d} \right) \quad (7.6\alpha)$$

όπου,

$\sigma_0$  ( $=N_{sd}/l t_w$ ) η θλιπτική τάση λόγω αξονικής δράσεως στην διατομή ελέγχου,  
 $l$  και  $t_w$  το μήκος και το πάχος της διατομής και  
 $f_d$  η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας.

**β)** Εκτός επιπέδου ροπή κάμψεως περί κατακόρυφο άξονα:

Σ' αυτήν την περίπτωση, η ροπή κάμψεως την οποία μπορεί να αναλάβει η κρίσιμη διατομή εκτιμάται με βάση την αντίστοιχη εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας:

$$M_{Rd2,o} = \frac{1}{6} f_{wt,d} \cdot t^2 l \quad (7.6\beta)$$

όπου,

$l$  και  $t_w$  το μήκος και το πάχος της καμπτόμενης διατομής του στοιχείου αντίστοιχως, εν προκειμένω το  $l$  αντιστοιχεί στο ύψος του τοίχου.  
 $f_{wt,d}$  η αντιπροσωπευτική εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας (ίση προς  $f_{wt}/\gamma_w$ ).

Η ικανοτική τέμνουσα,  $F_y$  σε εκτός επιπέδου κάμψη υπολογίζεται από τον λόγο της αντίστοιχης ροπής (Σχέση 7.6(α), και 7.6(β)) δια το μήκος διάτμησης του τοίχου,  $H_o$ ,

τότε η συμβολή τους στην αντοχή του στοιχείου έναντι εκτός επιπέδου κάμψεως μπορεί να λαμβάνεται υπόψη κατόπιν τεκμηριωμένης αιτιολόγησης.

Η στροφή υπολογίζεται κατόπιν αναγωγής προς την απόσταση  $H_0$ , και μπορεί να ορισθεί με αναφορά την σχετική μετακίνηση σημείων τα οποία βρίσκονται είτε στην ίδια κατακόρυφη ευθεία είτε στην ίδια διατομή του τοίχου (βλ. Σχήμα και Σ.7.7(α) και (β), αντιστοίχως) και μετράται σε σχέση με την εφαπτομένη του παραμορφωμένου στοιχείου στις στηρίξεις (Σ.7.2(β)).

Ο μελετητής μπορεί να λαμβάνει υπόψη του την ύπαρξη οριζοντίων διαζωμάτων ή άλλων στοιχείων οπλισμού εφόσον υπάρχουν, κατά την κρίση του με βάση έγκριτη βιβλιογραφία.

Ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, μπορεί να γίνεται χρήση των ακόλουθων τιμών, κατά περίπτωση:

**α)** Η ικανότητα ενός τοίχου από άοπλη τοιχοποιία η οποία ελέγχεται από την κάμψη (Σχήμα Σ 7.1(α)) μπορεί να εκφράζεται σε όρους σχετικής μετατόπισης και λαμβάνεται από τις σχέσεις (Σ 7.5)

$$d_u = 0,008 \cdot H_0 / L \text{ για πρωτεύοντες σεισμικούς τοίχους, } (\Sigma 7.5\alpha)$$

και με

$$d_u = 0,012 \cdot H_0 / L \text{ για τους δευτερεύοντες, } (\Sigma 7.5\beta)$$

όπου:

ήτοι την απόσταση από την κρίσιμη διατομή όπου αναπτύσσεται η μέγιστη ροπή, μέχρι το σημείο μηδενισμού της ροπής (Σχήμα Σ 7.9).

#### 7.4 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η ονομαστική ικανότητα παραμόρφωσης,  $d_u$ , τοίχου από τοιχοποιία, αναφέρεται στο σημείο Σ2 του διαγράμματος του Σχήματος Σ 7.2 (α).

##### 7.4.1 ΤΟΙΧΟΙ ΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΟΥΣ

Η ικανότητα παραμόρφωσης ενός φέροντος στοιχείου το οποίο αστοχεί λόγω εντός επιπέδου κάμψεως εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως ο τρόπος δομήσεως της τοιχοποιίας, η παρουσία στοιχείων «οπλισμού» στο σώμα της τοιχοποιίας, κ.λπ. επομένως, η εκτίμηση των κατάλληλων τιμών ικανότητας παραμόρφωσης μπορεί να βασίζεται σε κατάλληλα πειραματικά αποτελέσματα.

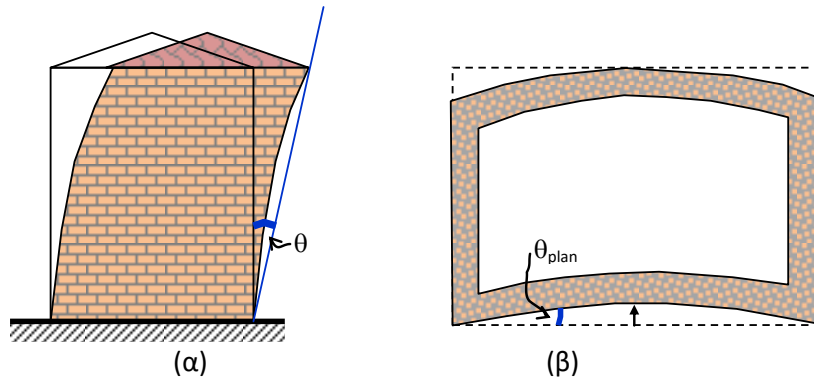
$L$ : είναι η οριζόντια εντός επιπέδου διάσταση του τοίχου (μήκος),  
 $H_0$ : είναι η απόσταση μεταξύ της διατομής στην οποία επιτυγχάνεται η  
καμπτική ικανότητα και του σημείου μηδενισμού των ροπών (βλ. Σχήμα  
Σ 7.3(β) και (γ)).

**β)** Η ικανότητα ενός τοίχου από άοπλη τοιχοποιία που ελέγχεται από την  
τέμνουσα (Σχήμα Σ 7.1(β)), μπορεί να εκφράζεται σε όρους σχετικής με-  
τατόπισης και να λαμβάνεται ίση με:

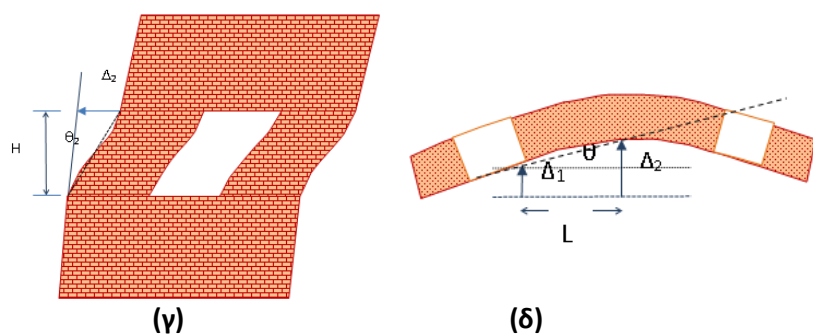
$$d_u = 0,004 \text{ για πρωτεύοντες σεισμικούς τοίχους} \quad (\Sigma 7.6\alpha)$$

$$d_u = 0,006 \text{ για δευτερεύοντες} \quad (\Sigma 7.6\beta)$$

Η σχετική στρόφη ορίζεται ως η απόκλιση της χορδής που ενώνει δύο  
σημεία στην παραμορφωμένη κατάσταση του στοιχείου, έναντι της ευ-  
θείας που ενώνει τα δυο αυτά σημεία πριν από την επιβολή οποιασδή-  
ποτε παραμόρφωσης (Σχήμα Σ 7.7(α)). (Για τον ορισμό αυτής της ευθείας  
αναφοράς λαμβάνεται υπόψη η στρόφη των στηρίξεων όπως φαίνεται  
στο Σχήμα Σ 7.7(β)).



Σχ. Σ 7.7: (συνεχίζεται)



Σχ. Σ 7.7: (α) Ορισμός απόκλισης στην κατακόρυφο έννοια (β) Ορισμός απόκλισης σημείων σε οριζόντια ευθεία. (γ) Κατακόρυφη απόκλιση σε επιμέρους τμήματα της κατασκευής (δ) Οριζόντια απόκλιση μεταξύ σημείων.

Αυτή η αστοχία οφείλεται στην δράση του σεισμού καθέτως προς το επίπεδο του φέροντος στοιχείου, κατά τα επόμενα:

$$w_{Ed} (=S_e(T) \cdot t \cdot \gamma \cdot C_m \cdot S \cdot \eta / g), \quad (\text{βλ. και Σχέση 5B.1 (α)})$$

όπου  $\gamma$  το ειδικό βάρος της τοιχοποιίας ( $\text{kN/m}^3$ ),  $t$  το πάχος του τοίχου και  $S_e(T)$  η φασματική επιτάχυνση (βλ. Κεφ. 5, § 5.3.4).

Εφόσον στον τοίχο που ελέγχεται για εκτός επιπέδου κάμψη στηρίζονται και δοκοί πατωμάτων (βλ. Σχήμα Σ5-B.1), για την εκτίμηση των μεγεθών ελέγχου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι συγκεντρωμένες δράσεις,  $F_{Ed}$ , που ασκούν αυτές οι δοκοί καθώς μεταφέρουν τις αδρανειακές δυνάμεις των επιμεριζόμενων σε αυτές μάζες των πατωμάτων (βλ. Σχέση 5B.1 β). Εναλλακτικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην θέση του  $F_{Ed}$  στην Σχέση Σ 7.7, το κατακόρυφο αξονικό φορτίο  $N$  που προκύπτει από την ανάλυση  $G+0.3Q$  κατόπιν αναγωγής προς την επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g$ ) πολλαπλασιαζόμενο με την σεισμική επιτάχυνση.

#### 7.4.2 ΤΟΙΧΟΙ ΥΠΟ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΚΑΜΨΗ

Η ικανότητα παραμόρφωσης ενός φέροντος στοιχείου το οποίο αστοχεί λόγω εκτός επιπέδου κάμψεως εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως ο τρόπος δομήσεως της τοιχοποιίας, οι συνθήκες στηρίξεως στην βάση, στην οροφή και στις κατακόρυφες ακμές του τοίχου, η παρουσία ανοιγμάτων, η παρουσία στοιχείων «οπλισμού» στο σώμα της τοιχοποιίας, κ.λπ. επομένως, η εκτίμηση των κατάλληλων τιμών ικανότητας παραμόρφωσης μπορεί να βασίζεται σε κατάλληλα πειραματικά αποτελέσματα.

Λαμβάνοντας υπόψη της συνθήκης στήριξης του τοίχου, η συνισταμένη δύναμη  $F_{Ed,tot}$  που καταπονεί τον τοίχο σε εκτός επιπέδου δράση λαμβάνεται ως:

$$F_{Ed,tot} = \lambda \cdot (w_{Ed}A_{L,w} + F_{Ed}) \quad (\Sigma 7.7)$$

Όπου:

$A_{L,w}$  η επιφάνεια του τοίχου καθέτως προς την διεύθυνση της σεισμικής δράσης

$\lambda=2$  για τοίχο με συνθήκες πάκτωσης πάνω και κάτω, ή αριστερά και δεξιά,

$\lambda=1$  για όλες τις άλλες περιπτώσεις.

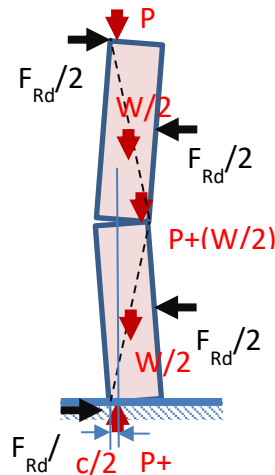
Ορισμός καμπύλης αντίστασης τοίχου που κάμπτεται σε εκτός επιπέδου δράση.

Η περιβάλλουσα δύναμης-στροφής του εκτός επιπέδου καμπτόμενου μέλους φαίνεται στο Σχήμα Σ 7.3.

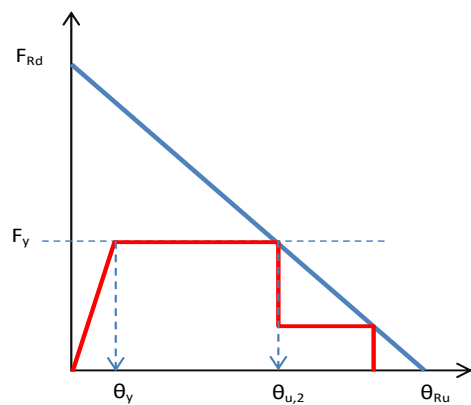
Ως  $F_y$  ορίζεται η φέρουσα ικανότητα του στοιχείου έναντι εκτός επιπέδου κάμψεως, κατά την πρόβλεψη της Παραγράφου 7.3).

Ως  $F_{Rd}$  ορίζεται η αντοχή του στοιχείου έναντι ανατροπής. Αυτή υπολογίζεται με αναφορά στο Σχήμα Σ 7.8(α) από την Σχέση Σ.7.8.

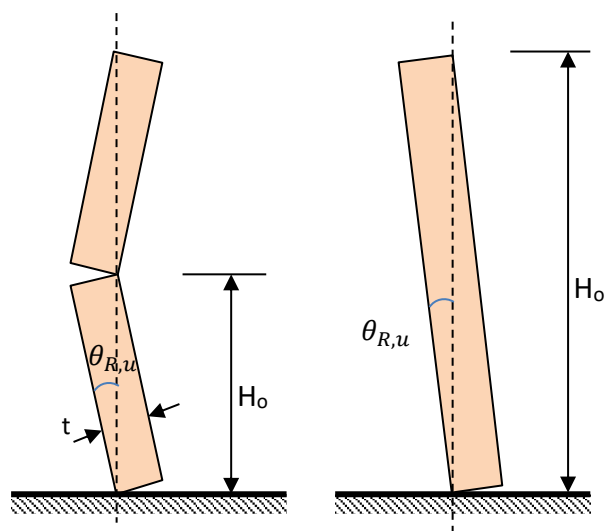
$$F_{Rd} = \lambda \cdot W \cdot (1 + \Psi) \cdot \frac{t_w}{H_o}; \quad \Psi = \frac{2P}{W} \quad (\Sigma 7.8)$$



Σχ. Σ 7.8(α): Αντοχή ανατροπής πεσσού,  $F_R$ , σε εκτός επιπέδου αστοχία (c το υψος της θλιβόμενης ζώνης).



Σχ. Σ 7.8(β): Ορισμός των σημείων περιβάλλουσας αντοχής τοίχου σε εκτός επιπέδου αστοχία.



Σχ. Σ 7.9: Κριτήρια ορισμού οριακής στροφής  $\theta_{R,u}$

Όταν η σχετική οριζόντια μετάθεση από το σημείο στήριξης μέχρι την μέγιστη εκτός επιπέδου μετακίνηση υπερβαίνει το πάχος του τοίχου,  $t$ , επέρχεται οιονεί κατάρρευση.

Άρα η στροφή ανατροπής τμήματος του τοίχου που κάμπτεται περί άξονα, λαμβάνεται ως

$$\theta_{R,u} = t/H_0 \quad (\Sigma 7.9)$$

Όπου:

$H_0$  είναι η απόσταση του σημείου μέγιστης μετακίνησης από την ακμή αστοχίας.

Η διαθέσιμη ικανότητα παραμόρφωσης προκύπτει από το σημείο τομής της περιβάλλουσας με την οριζόντια ευθεία, σε τιμή  $F_y$ .

Ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, μπορεί να γίνεται χρήση των ακόλουθων τιμών, κατά περίπτωση:

**α)** Για τοίχους που ελέγχονται από την κάμψη σε εκτός επιπέδου δράση, ορίζεται η ικανότητα παραμόρφωσης ως εξής:  
Ως στροφή αστοχίας θα λαμβάνεται η ελάχιστη των τιμών

$$\theta_{u,1} = 0.003 \cdot \frac{H_0}{t} \quad (\Sigma 7.10(\alpha))$$

$$\theta_{u,2} = \theta_{R,u} \cdot \left(1 - \frac{F_y}{F_{Rd}}\right) \quad (\Sigma 7.10(\beta))$$

**β)** Για τους ορόφους όπου υπάρχουν άκαμπτα διαφράγματα, όπου δηλαδή, ορίζεται τέμνουσα ορόφου, (βλ. και σχόλια στην § 7.2.2) μπορούν να χρησιμοποιούνται τα κάτωθι όρια για την σχετική οριζόντια μετακίνηση ορόφου από φέρουσα άοπλη τοιχοποιία, με κριτήριο τον τρόπο δόμησης της τοιχοποιίας:

- 0.7% για τοιχοποιία με συμπαγείς πλίνθους,
- 0.45% για τοιχοποιία με διάτρητους πλίνθους,
- 0.6% για τοιχοποιία από αργολιθοδομή.

Οι ροπές εκτός επιπέδου κάμψης προκύπτουν από την εκτός επιπέδου δράση του σεισμού ή από τον άνεμο (βλ. Παράρτημα 5-B).

Η εφελκυστική δύναμη προκύπτει από την εκτός επιπέδου δράση του σεισμού, εξ αιτίας της οποίας ο ένας από τους δυο συναντώμενους τοίχους τείνει να αποκολληθεί από τον εγκάρσιό του (βλ. Σχήμα Σ5.6).

### 7.4.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΦΕΡΟΝΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ

Η φέρουσα ικανότητα των συνδέσεων μεταξύ τοίχων είναι πολύ σημαντική για την συμπεριφορά ολόκληρου του κτηρίου, και πρέπει να ελέγχεται έναντι διαφόρων συνδυασμών δράσεων, κατά τα ακόλουθα:

**α)** Έναντι ροπής περί κατακόρυφο άξονα: Αυτός ο έλεγχος μπορεί να γίνεται με τα προβλεπόμενα στην § 6.5β.



Δεδομένου ότι η εφελκυστική δύναμη είναι μεγαλύτερη στην στέψη του τοίχου και μειώνεται προς την βάση του, ο έλεγχος πρέπει να πραγματοποιείται εντός κατάλληλου τμήματος του συνολικού ύψους του τοίχου.

Ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, μπορεί να λαμβάνεται ως κρίσιμο μήκος γι' αυτόν τον έλεγχο, το άνω τέταρτο του ύψους του τοίχου.

Αν υπάρχουν οριζόντια διαζώματα που διασταυρώνονται πάνω από τους τοίχους ή σε άλλη στάθμη, η συνεισφορά τους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την κρίση του μελετητή.

Σε υπάρχουσες κατασκευές, η κατάσταση των τοίχων (υλικά και βαθμός αποσύνθεσης) χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των  $F_y$ ,  $\delta_y$  και  $K$  σύμφωνα με τα προσομοιώματα που δίνονται στο παρόν κεφάλαιο.

Για τις επισκευές και ενισχύσεις, είναι δυνατός ο υπολογισμός των  $F_y$ ,  $\delta_y$  και  $K$  με τον ίδιο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη τις βελτιωμένες ιδιότητες των υλικών και την αποκατάσταση της δομικής ακεραιότητας των συνδέσεων και επιμέρους στοιχείων, βλ. Κεφ. 8.

Κατά μέσον όρο, η τιμή 50% της δυσκαμψίας του αρηγμάττωτου στοιχείου δίνει μια ρεαλιστική εκτίμηση της οιονεί ελαστικής δυσκαμψίας για την εκτίμηση των μετακινήσεων και των παραμορφώσεων.

**β)** Έναντι κατακόρυφης διατμητικής δύναμης:

**γ)** Έναντι οριζόντιου εφελκυσμού: Ο έλεγχος μπορεί να πραγματοποιείται μέσω των προβλεπόμενων στην § 6.4 και στο Σχήμα Σ 5.6.

#### 7.4.4 ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ ΤΟΙΧΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η οιονεί ελαστική δυσκαμψία  $K$  των τοίχων που χρησιμοποιείται στην ανάλυση του δομικού συστήματος ορίζεται με αναφορά στο Σχήμα 7.1.1 και υπολογίζεται ως:

$$K = F_y / \Delta_y \quad (7.7)$$

Ο υπολογισμός της οιονεί ελαστικής δυσκαμψίας  $K$  βασίζεται στις μέσες τιμές ι-διοτήτων των υλικών (βλ. Κεφ. 4, § 4.4.1.4). Οι δυσκαμψίες κατά την παρούσα παράγραφο αφορούν την συμπεριφορά μεμονωμένων δομικών στοιχείων, δηλ. πεσσών η υπέρθυρων δίσκων.

Η τιμή των  $F_y$ ,  $\delta_y$  και  $K$  επιτρέπεται να καθορίζεται αγνοώντας την επιρροή της σεισμικής δράσης στην τιμή της αξονικής δύναμης του δομικού στοιχείου, δηλαδή με βάση την τιμή της αξονικής δύναμης λόγω των κατακορύφων δράσεων και μόνον (βεβαίως, υπό τον σεισμικό συνδυασμό).

#### 7.5 ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ $q$ , ΛΟΓΟΣ $R = V_{ei} / V_y$ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Οι Σχέσεις (7.8) ισχύουν για συστήματα με διγραμμική μονοτονική καμπύλη δύναμης (τέμνουσας βάσης) – μετακίνησης (κορυφής), δηλ. για ελαστική δυσκαμψία ίση με την επιβατική δυσκαμψία (δυσκαμψία χορδής) στη συνολική διαρροή του συστήματος (Σχήμα Σ 7. 2).

Η φασματική μετακίνηση αναφέρεται στο προσομοίωμα του δομήματος ως ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα (βλ. Κεφ. 5).

Σημείο ελέγχου CN (control node) στο μονοβάθμιο σύστημα είναι το σημείο του οποίου η μετάθεση λαμβάνεται ως μονάδα κατά την κανονικοποίηση της ιδιομορφής ως προς την οποία γίνεται ο μετασχηματισμός του πολυβαθμίου σε μονοβάθμιο (βλ. Κεφ. 5).

Είναι δυνατόν να γίνει ακριβέστερη κατανομή των μετακινήσεων υπό οριζόντια φορτία, αν η μετακίνηση  $\Delta_{CN}$  κατανεμηθεί σύμφωνα με την θεμελιώδη μεταθετική ιδιομορφή του κτίσματος (βλ. Κεφ. 5 για τον υπολογισμό της). Δηλαδή, στην στάθμη  $i$  η οριζόντια μετακίνηση εκτιμάται ως:  $\Delta_i = \Phi(x_i, y_i, z_i) \cdot \Delta_{CN}$ .

Σημειώνεται ότι η  $\Phi$  μπορεί είτε να προκύψει από ιδιομορφική ανάλυση, είτε να προσδιοριστεί εμπειρικά από το προφίλ των μετακινήσεων του δομήματος που προκαλεί η οριζόντια σεισμική φόρτιση, κατόπιν αναγωγής με την μετακίνηση που αναπτύσσει για την εν λόγω ανάλυση το σημείο ελέγχου, είτε να υπολογισθεί αναλυτικά σύμφωνα με την §5.4 του Κεφ. 5 (δηλαδή κατόπιν ανάλυσης του κτιρίου με τα φορτία βαρύτητας να ασκούνται στην διεύθυνση του σεισμού και αναγωγή του προφίλ των μετακινήσεων ως προς την μέγιστη τιμή. Η θέση που αναπτύσσεται η

**α)** Ο δείκτης συμπεριφοράς  $q$ , ορίζεται σύμφωνα με τα διαλαμβανόμενα στην § 4.6.

**β)** Ο λόγος  $R = V_{el}/V_y$  συνδέεται με την τιμή του δείκτη πλαστιμότητας συνολικής οριζόντιας μετάθεσης του κτιρίου,  $\mu_\delta$ , αναφερομένου στην κορυφή του κτιρίου ή στο σημείο εφαρμογής της συνισταμένης ολικής οριζόντιας σεισμικής δύναμης:

$$R = 1 + \frac{T}{T_C} (\mu_\delta - 1) \Rightarrow \mu_\delta = (R - 1) \cdot \frac{T_C}{T} + 1 \quad \text{αν } T \leq T_C \quad (7.8\alpha)$$

Όπου:

$T$  η φαινόμενη θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου στην υπόψη διεύθυνση (εκτιμώμενη κατά το Κεφ. 5).

$T_C$  η περίοδος στην αρχή του φθίνοντος κλάδου του φάσματος επιταχύνσεων (δηλ. στο τέλος της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης). Ενώ για  $T > T_C$ .

$$R = \mu_\theta = \mu_\delta \quad (7.8\beta)$$

**γ)** Η ανελαστική μετακίνηση στο σημείο ελέγχου του κτιρίου, (CN) δίδεται από την φασματική μετακίνηση,  $S_\delta(T)$  κατόπιν πολλαπλασιασμού με το λόγο  $\mu_\delta/R$

$$\Delta_{CN} = S_\delta(T) \cdot \frac{\mu_\delta}{R} = S_e(T) \cdot \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot \frac{\mu_\delta}{R} \approx S_e(T) \cdot \frac{T^2}{40} \cdot \frac{\mu_\delta}{R} \quad (7.9)$$

Η  $\Delta_{CN}$  ανάγεται προς το ύψος του κτιρίου, είτε ως προς την απόσταση από το πλησιέστερο σημείο στήριξης του τοίχου στην οριζόντια κατεύθυνση προκειμένου να υπολογισθούν οι απαιτούμενες τιμές στροφής χορδής στα σημεία ελέγχου.

μέγιστη μετακίνηση μπορεί να θεωρείται ως το σημείο ελέγχου σε αυτή την περίπτωση).

Η επιρροή της βλάβης στα μηχανικά χαρακτηριστικά του στοιχείου, της κρίσιμης περιοχής ή της σύνδεσης στοιχείων μπορεί να εκτιμηθεί με τη βοήθεια μειωτικών συντελεστών  $r_K$ ,  $r_R$ ,  $r_{\delta u}$ , εφαρμοζομένων επί των μεγεθών  $K$ ,  $F_y$  και  $\delta_u$ , αντιστοίχως, τα οποία ισχύουν στο άνευ βλάβης στοιχείο.

Γενικώς, οι τιμές των  $r_K$ ,  $r_R$ ,  $r_{\delta u}$  ακολουθούν τη σχέση:

$$r_K \leq r_R \leq r_{\delta u}, \quad (\Sigma 7.11)$$

και κυμαίνονται από 1.0, στην ουσιαστικώς άνευ βλάβης κατάσταση, μέχρι 0.0 στην κατάσταση ουσιαστικής αστοχίας του στοιχείου. Η εκτίμηση των παραπάνω τιμών, γίνεται κατά περίπτωση, μετά από κατάλληλη τεκμηρίωση, με βάση τα δεδομένα της βιβλιογραφίας και άλλες σχετικές αποφάσεις της Δημοσίας Αρχής που αφορούν την απώλεια της ικανότητας των δομικών στοιχείων μετά από βλάβες. Σε κάθε περίπτωση ενδεικτικές τιμές των μειωτικών συντελεστών μπορούν να ορίζονται με απόφαση της Δημόσιας Αρχής.

## 7.6 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΒΛΑΜΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗ

**α)** Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι γενικώς η καμπύλη F-δ ενός δομικού στοιχείου, μιας κρίσιμης περιοχής ή μιας σύνδεσης στοιχείων, που έχει υποστεί βλάβες και εντείνεται εκ νέου χωρίς να έχει επισκευασθεί ή ενισχυθεί, είναι υποβαθμισμένη (δηλ. έχει μικρότερες τεταγμένες F) και χαρακτηρίζεται από υψηλότερη παραμόρφωση διαρροής,  $\delta_y$ , και μικρότερη παραμόρφωση αστοχίας,  $\delta_u$ , σε σχέση με την αρχική (χωρίς βλάβες) κατάσταση.

Αυτές οι διαφορές σε σχέση με την καμπύλη F-δ του στοιχείου, της κρίσιμης περιοχής ή της σύνδεσης στοιχείων τοίχων πριν απ' τις βλάβες, μπορούν να περιγραφούν ποσοτικά ως μείωση της οιονεί-ελαστικής δυσκαμψίας,  $K$ , της δύναμης διαρροής,  $F_y$ , και της παραμόρφωσης αστοχίας  $\delta_u$ .

Γενικώς η μείωση της οιονεί-ελαστικής δυσκαμψίας είναι μεγαλύτερη από τη μείωση της δύναμης διαρροής, ενώ η μείωση της δύναμης διαρροής είναι μεγαλύτερη απ' τη μείωση της παραμόρφωσης αστοχίας.

Η μείωση των ανωτέρω μηχανικών χαρακτηριστικών αυξάνεται με τον βαθμό βλάβης (από τις ασήμαντες βλάβες μέχρι την πλήρη αστοχία) του δομικού στοιχείου, της κρίσιμης περιοχής ή της σύνδεσης στοιχείων.

**β)** Λόγω της εγγενούς αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει τη δυσκαμψία, την αντοχή και την παραμόρφωση αστοχίας βλαμμένων στοιχείων, οι εκτιμώμενες αντιπροσωπευτικές τιμές των μεγεθών αυτών θα πρέπει να εισέρχονται στους υπολογισμούς διαιρεμένες με συντελεστή  $\gamma_{Rd}$ , με τιμές μεγαλύτερες του 1, εφόσον η επιρροή των χαρακτηριστικών αυτών είναι δυσμενής, ή μικρότερες του 1, αν είναι ευμενής.