

Ενότητα: Συμπεριφορά - Μηχανισμοί αντοχής παραδοσιακής τοιχοποιίας

Εύχρηστα Εργαλεία για την Αποτίμηση/Ανασχεδιασμό

➤ ένταση προσπάθειας: $f(\alpha\beta\epsilon\beta\alpha\dot{\gamma}\eta\tau\alpha\delta\eta\alpha)$



Μερικά συνήθη χαρακτηριστικά σε παλαιότερες κατασκευές ΦΤ πριν την εισαγωγή σχετικού κανονισμού:

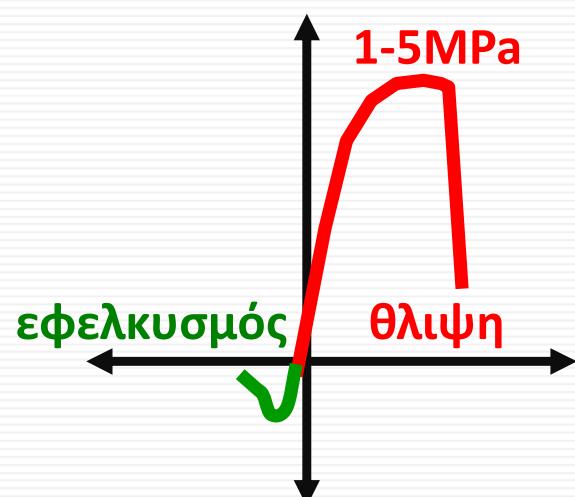
Απουσία διαφραγματικής λειτουργίας → αστοχίες κυρίως από εκτός επιπέδου δράση

Μάζα κατανεμημένη καθ'ύψος στους τοίχους - όχι στις στάθμες των διαφραγμάτων,

Ψαθυρότητα Υλικών – μηδαμινή εφελκυστική αντοχή **Τούβλα, λίθοι, κονίαμα**

Πλαστιμότητα, αν υπάρχει, οφείλεται κυρίως στην λειτουργία του συστήματος ως σύνολο

Μεγάλη αβεβαιότητα ως προς τις ιδιότητες των υλικών και τη συμπεριφορά της τοιχοπ.



Πανταζοπούλου, 2019 (prΚΑΔΕΤ2019)

Ενότητα: Συμπεριφορά - Μηχανισμοί αντοχής παραδοσιακής τοιχοποιίας

Εύχρηστα Εργαλεία για την Αποτίμηση/Ανασχεδιασμό

➤ ένταση προσπάθειας: $f(\text{αβεβαιότητα για τα δεδομένα})$



Μερικά συνήθη χαρακτηριστικά σε παλαιότερες κατασκευές ΦΤ πριν την εισαγωγή σχετικού κανονισμού:

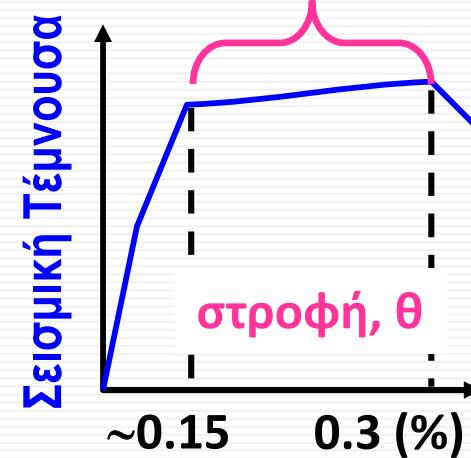
Απουσία διαφραγματικής λειτουργίας → αστοχίες κυρίως από εκτός επιπέδου δράση

Μάζα κατανεμημένη καθ' ύψος στους τοίχους - όχι στις στάθμες των διαφραγμάτων,

Ψαθυρότητα Υλικών – μηδαμινή εφελκυστική αντοχή

Πλαστιμότητα, αν υπάρχει, οφείλεται κυρίως στην λειτουργία του συστήματος ως σύνολο

Μεγάλη αβεβαιότητα ως προς τις ιδιότητες των υλικών και τη συμπεριφορά της τοιχοπ.



Πανταζοπούλου, 2019 (prΚΑΔΕΤ2019)

Η κατανάλωση σεισμικής ενέργειας συμβαίνει κατά την εξέλιξη της βλάβης:

- εντός διεπιφανειών ρηγμάτωσης
- λόγω ολισθήσεων και λικνισμού μεταξύ μελών

➤ Κυρίαρχος Μηχανισμός: Τριβή

Ενότητα: Συμπεριφορά - Μηχανισμοί αντοχής παραδοσιακής τοιχοποιίας

Εύχρηστα Εργαλεία για την Αποτίμηση/Ανασχεδιασμό

➤ ένταση προσπάθειας: $f(\text{αβεβαιότητα για τα δεδομένα})$



Μερικά συνήθη χαρακτηριστικά σε παλαιότερες κατασκευές ΦΤ πριν την εισαγωγή σχετικού κανονισμού:

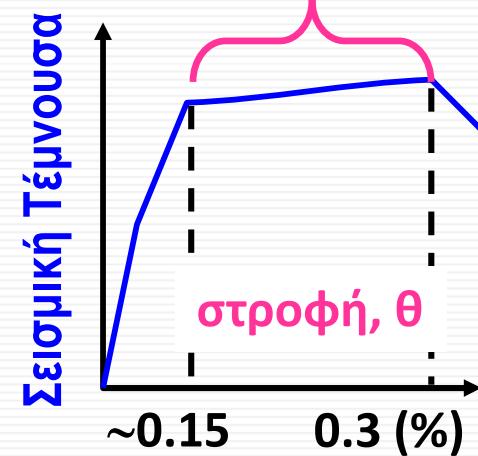
Απουσία διαφραγματικής λειτουργίας → αστοχίες κυρίως από εκτός επιπέδου δράση

Μάζα κατανεμημένη καθ' ύψος στους τοίχους - όχι στις στάθμες των διαφραγμάτων,

Ψαθυρότητα Υλικών – μηδαμινή εφελκυστική αντοχή

Πλαστιμότητα, αν υπάρχει, οφείλεται κυρίως στην λειτουργία του συστήματος ως σύνολο

Μεγάλη αβεβαιότητα ως προς τις ιδιότητες των υλικών και τη συμπεριφορά της τοιχοπ.



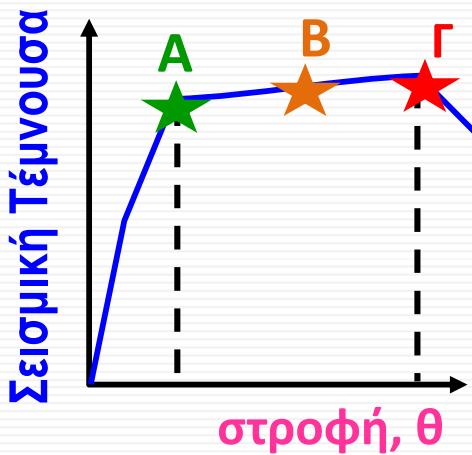
Πανταζοπούλου, 2019 (prΚΑΔΕΤ2019)

Η πλαστιμότητα είναι αυξημένη ($>0.3\%$) όταν:

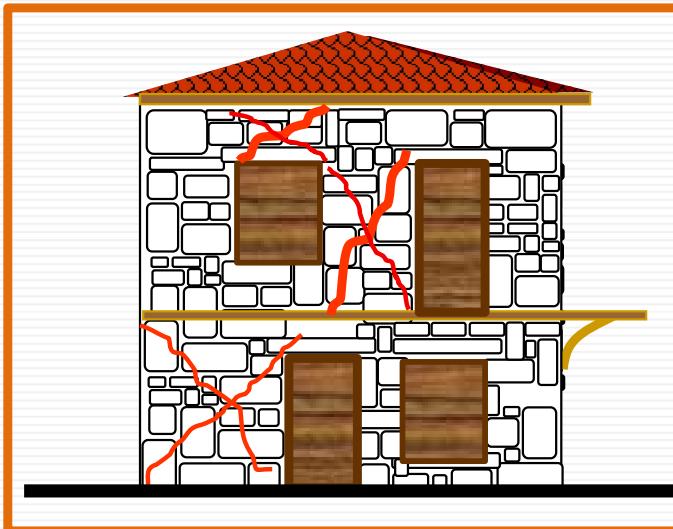
- Η τοιχοποιία φέρει «οπλισμό» (π.χ. διαζώματα, ξυλόπηκτη)
- Όταν λειτουργεί ως box-type (π.χ. εκλυστήρες, περίδεση, διάφραγμα)

Εύχρηστα Εργαλεία για την Αποτίμηση

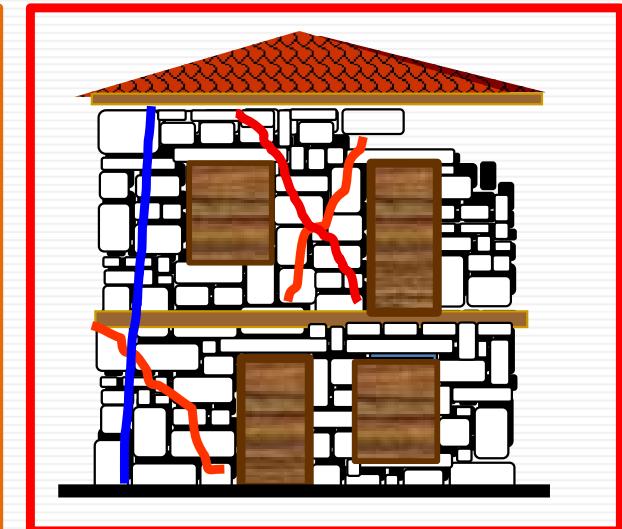
➤ ένταση προσπάθειας: $f(\text{αβεβαιότητα για τα δεδομένα})$



A: Περιορισμένες βλάβες



B: Σημαντικές βλάβες



Γ. Οιονεί κατάρρευση

A: Περιορισμένες βλάβες (ελαστική συμπεριφορά)

Αναμένεται ότι καμιά λειτουργία του κτιρίου δεν διακόπτεται κατά τη διάρκεια και μετά τον σεισμό, εκτός ενδεχομένως από δευτερεύουσας σημασίας λειτουργίες.

- Ως αντίστοιχες βλάβες αναφέρονται ενδεικτικώς οι ακόλουθες:

Τριχοειδείς ρωγμές στους φέροντες τοίχους και πιθανώς ευρύτερες στους υπέρθυρους δίσκους. Τοπικές αποκολλήσεις επιχρισμάτων.

Τα μη-φέροντα στοιχεία, όπως για παράδειγμα τα διαχωριστικά, ενδέχεται να παρουσιάζουν κατανεμημένη ρηγμάτωση. Δεν αναμένεται σοβαρός τραυματισμός ατόμων εξαιτίας των βλαβών.



συμπεριφορά)

**κόπτεται κατά τη διάρκεια και μετά των
ασίας λειτουργίες.**



B: Σημαντικές βλάβες

Δεν αναμένεται σοβαρός τραυματισμός ατόμων εξαιτίας των βλαβών.

- Ως αντίστοιχες βλάβες αναφέρονται ενδεικτικώς οι ακόλουθες:

Σοβαρές καμπτικές ή διατμητικές ρηγματώσεις τοίχων και υπέρθυρων δίσκων, χωρίς αποδιοργάνωση της τοιχοποιίας. Ρηγματώσεις σε διασταυρώσεις τοίχων.



Περιορισμένες ολισθήσεις μεταξύ οριζόντιου και κατακόρυφου φέροντος οργανισμού. Εκτεταμένες αποκολλήσεις ή καταπτώσεις επιχρισμάτων.

Εκτροπές από την κατακόρυφο ή και καταπτώσεις μερικών προσαρτημάτων (στηθαία, καμινάδες, αετώματα). Τα μη-φέροντα στοιχεία έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες.



Γ. Οιονεί κατάρρευση

Δεν αποκλείονται ακόμη και τραυματισμοί ατόμων λόγω βλαβών η πτώσης στοιχείων του μη-φέροντος οργανισμού ή αντικειμένων.

-Ο όρος μη-επισκευάσιμες βλάβες, αναφέρεται σε σοβαρές ή βαριές βλάβες, έναντι των οποίων απαιτείται ενίσχυση (και όχι απλή επισκευή) ή αντικατάσταση ή υποκατάσταση του δομικού στοιχείου ή του δομήματος στο σύνολό του.

- Ως αντίστοιχες βλάβες αναφέρονται ενδεικτικώς οι ακόλουθες:

Σοβαρές και εκτεταμένες ρωγμές, τοπικές αποδιοργανώσεις ή και τοπικές καταπτώσεις τοίχων και υπέρθυρων δίσκων.

Αποχωρισμός των όψεων και τοπικές καταρρεύσεις σε τρίστρωτες τοιχοποιίες. Αποκολλήσεις σε διασταυρώσεις τοίχων.

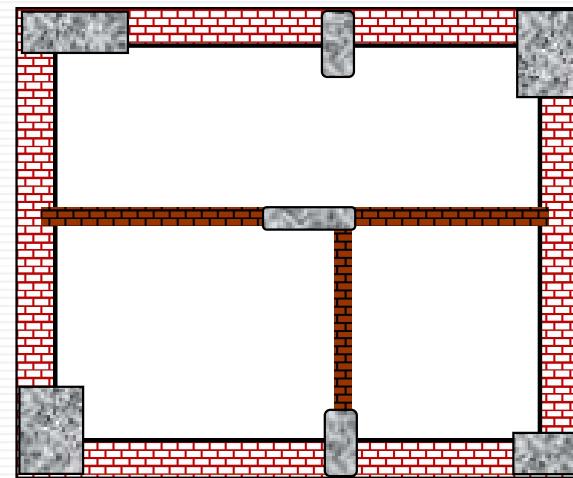
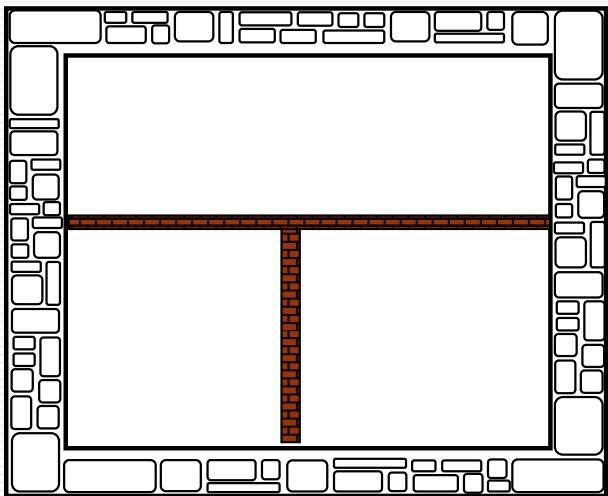
Σοβαρές ολισθήσεις μεταξύ οριζόντιου και κατακόρυφου φέροντος οργανισμού, χωρίς εκτεταμένες καταρρεύσεις πατωμάτων ή στεγών. Καταπτώσεις προσαρτημάτων (στηθαία, καμινάδες, αετώματα).

Τα περισσότερα μη-φέροντα στοιχεία έχουν καταρρεύσει.



Πετρόκτιστη Τοιχοποιία -vs- Οπλισμένο Σκυρόδεμα

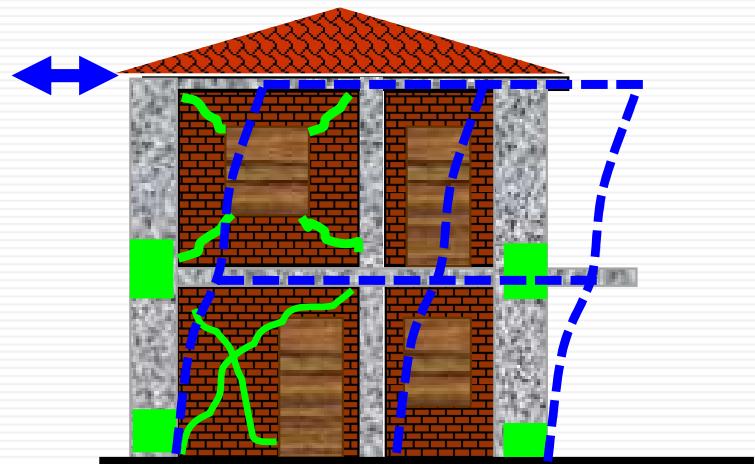
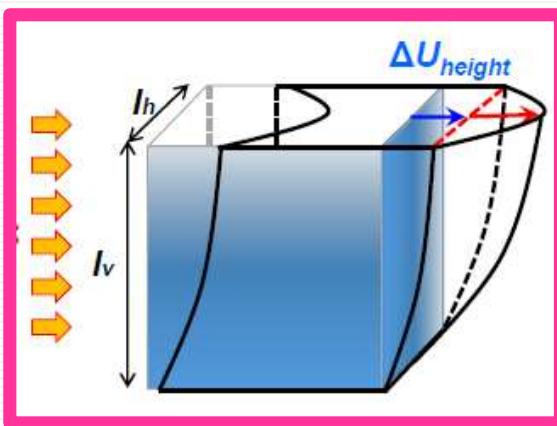
Εμβαδόν φερόντων στοιχείων ΠΤ >> Εμβαδόν φερόντων στοιχείων Ο.Σ.



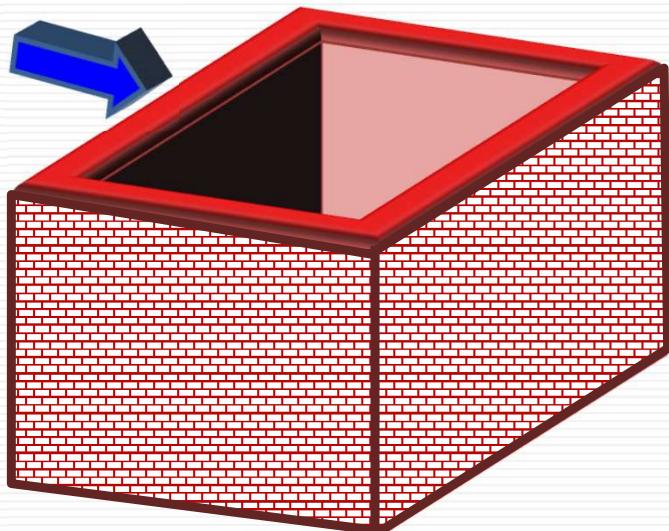
Καμπτο-Διατμητική
απόκριση

Διαγώνια ρηγμάτωση
vs
ρηγμάτωση στήλων

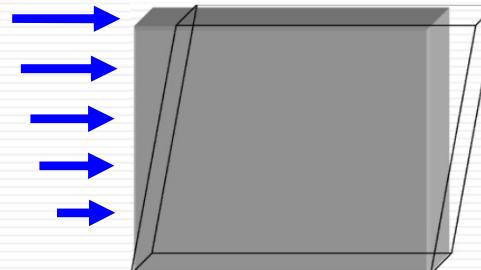
Καμπτική απόκριση
υποστηλωμάτων



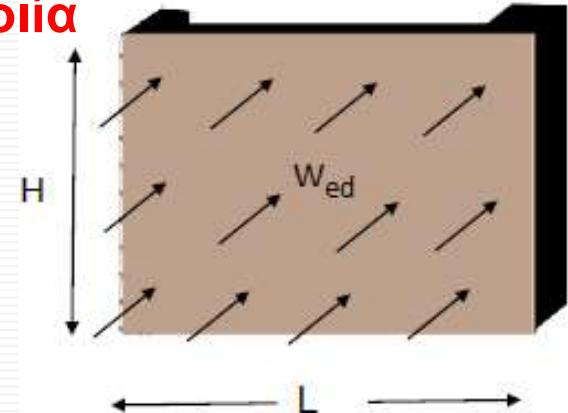
Συμπεριφορά παραδ. τοιχοποιίας σε οριζόντια φόρτιση (σεισμός):



Σεισμός //
τοιχοποιία



Σεισμός ⊥
τοιχοποιία



Εντός επιπέδου Καμπτο-
διατμητική απόκριση

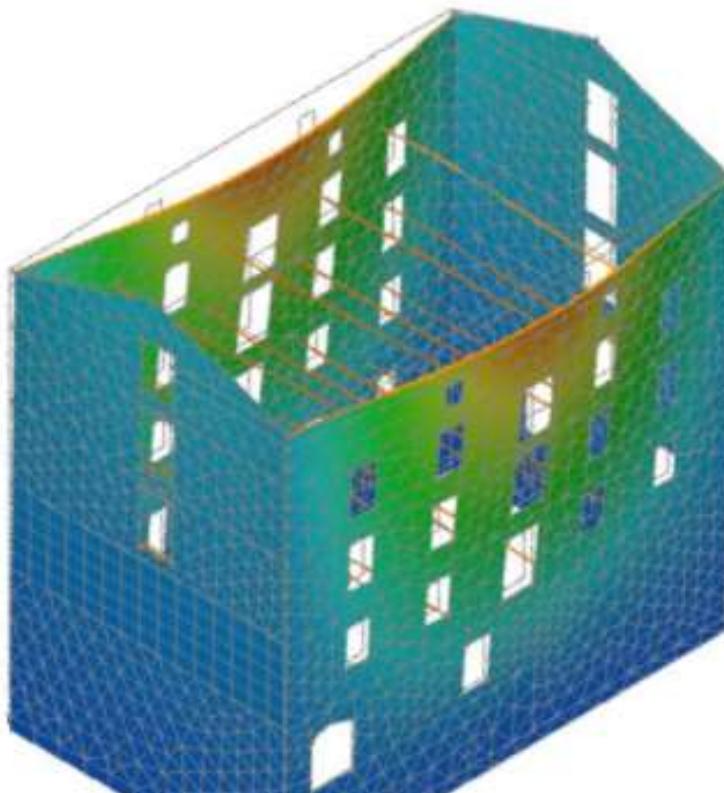
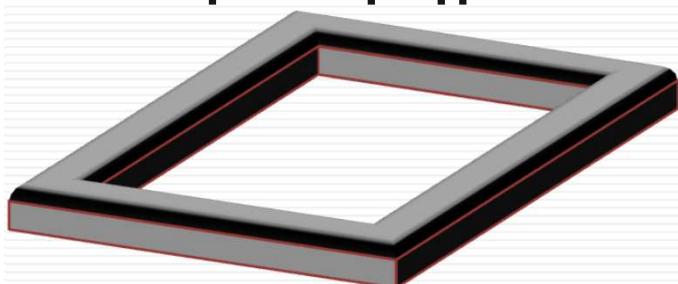
Εκτός επιπέδου
κάμψη

(σημασία έχουν οι
συνοριακές
συνθήκες
στήριξης από
εγκάρσιους
τοίχους και
διαφράγματα)
Η τοιχοποιία έχει
φτωχή
συμπεριφορά σε
κάμψη

Όταν δεν υπάρχει:



διάφραγμα



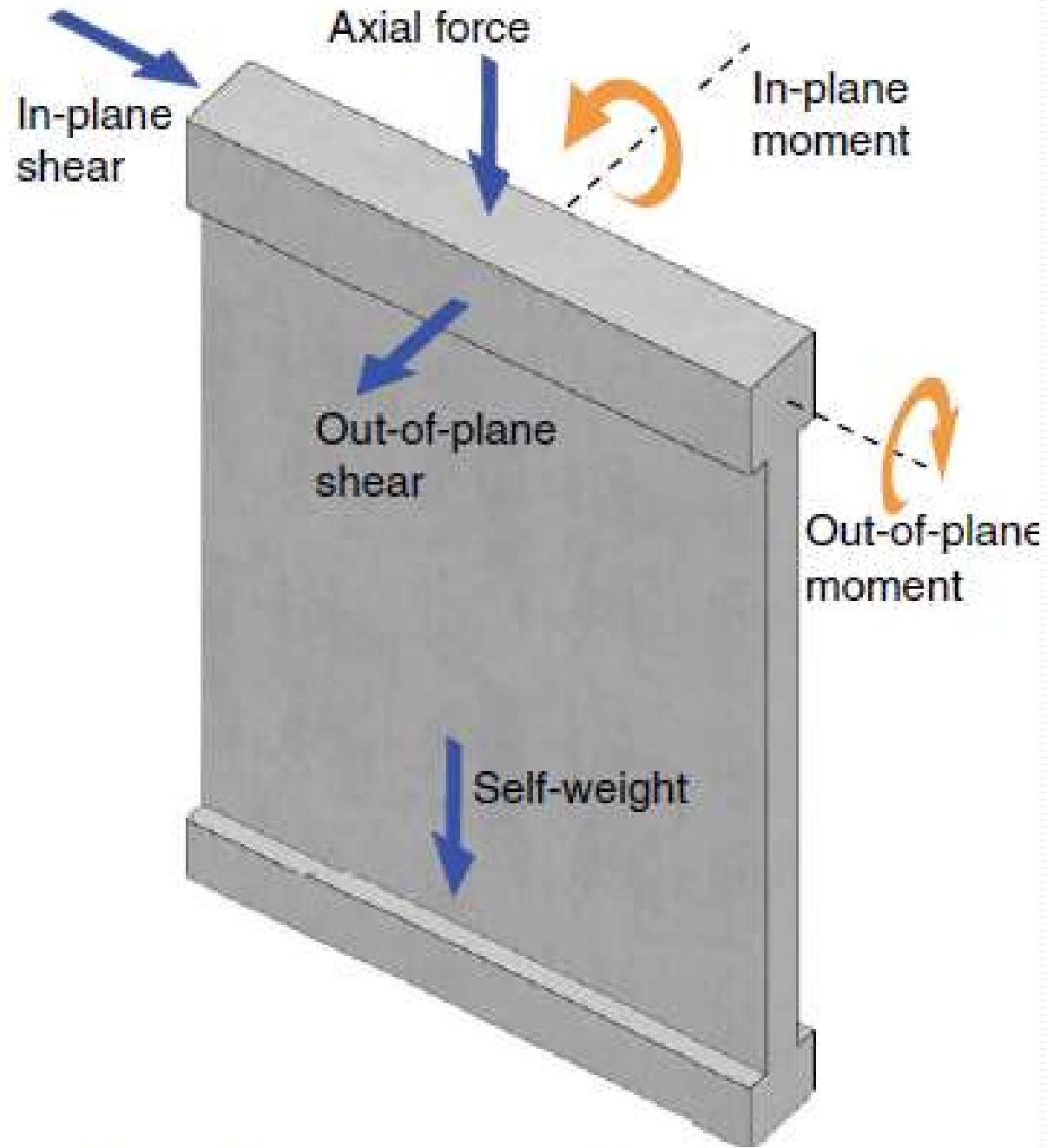
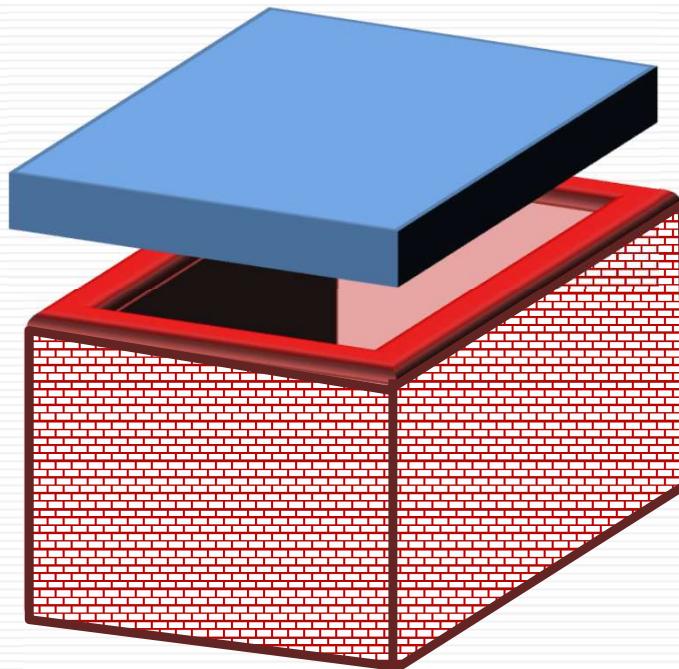
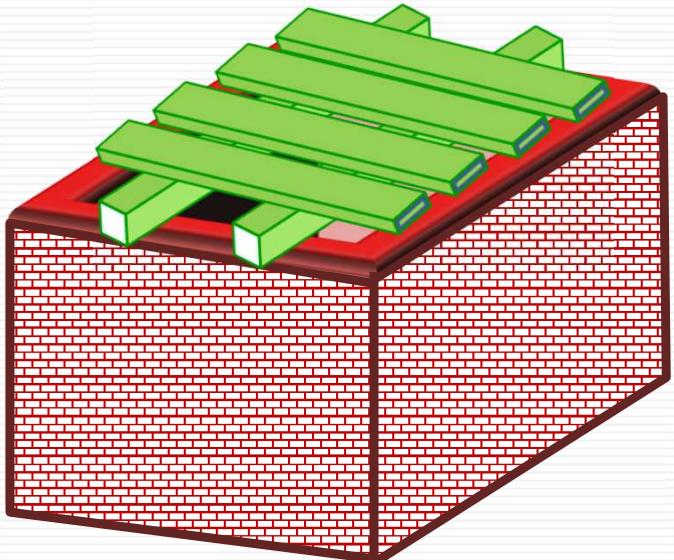


Fig. R11.4.1.3—In-plane and out-of-plane forces.

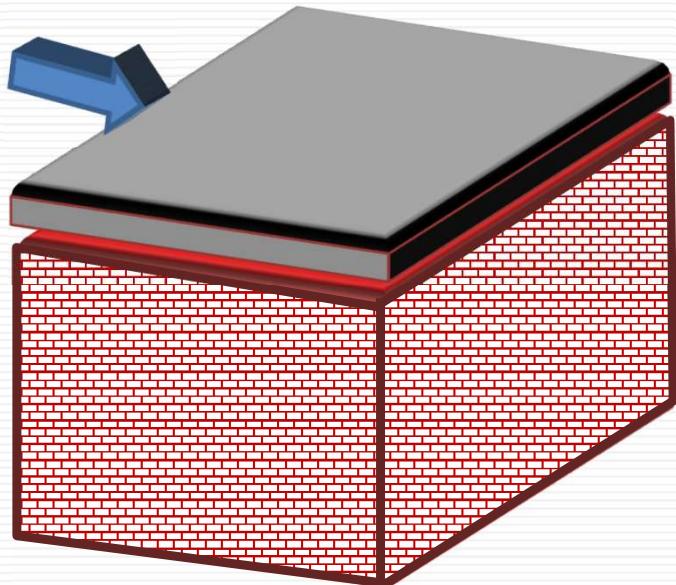
Διαφραγματική λειτουργία: ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Δυσκαμψία ξύλινων δαπέδων << Δυσκαμψία πλάκας Ο.Σ.

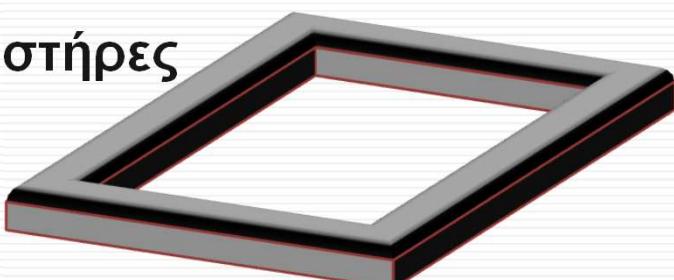


Σεισμός \perp τοιχοποιία \rightarrow Κάμψη ΕΚΤΟΣ επιπέδου

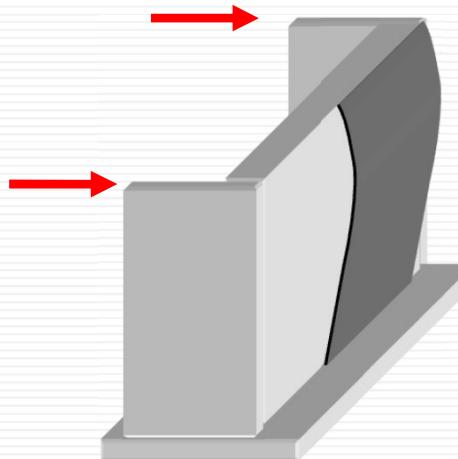
Όταν υπάρχει: διάφραγμα



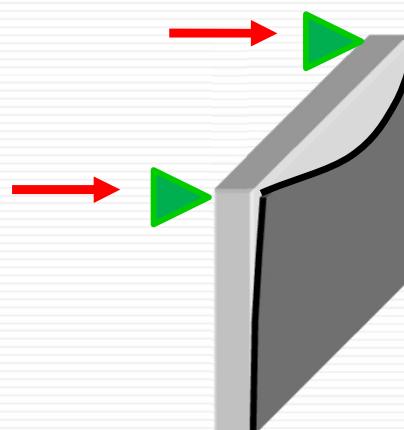
Όταν υπάρχει: περίδεση ή εκλυστήρες



ΚΟΙΝΗ παραμόρφωση **ΣΕ ΟΛΗ ΤΗΝ ΣΤΕΨΗ** των τοίχων



ΚΟΙΝΗ παραμόρφωση **ΣΤΙΣ ΓΩΝΙΕΣ ΤΗΣ ΣΤΕΨΗΣ** των τοίχων

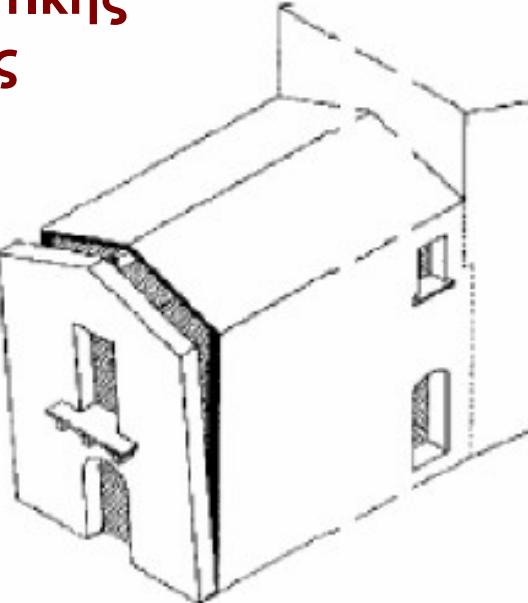


Παραδείγματα απουσίας διαφραγματικής λειτουργίας ή ανεπαρκούς σύνδεσης



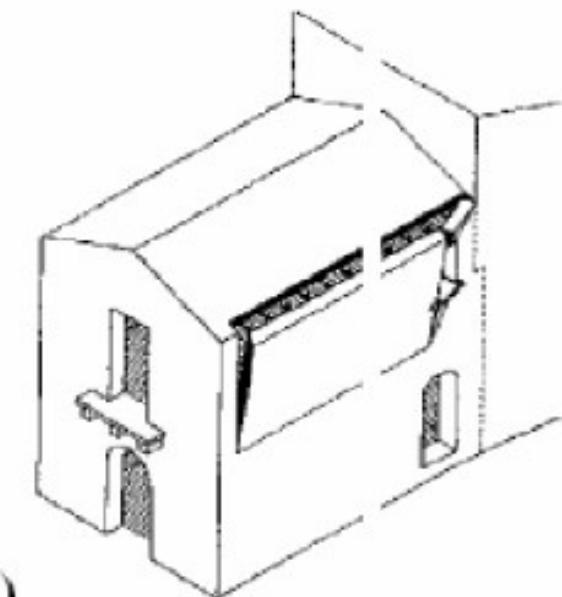
a)

Απουσία διαζώματος και πλημμελής αγκύρωση της στέγης

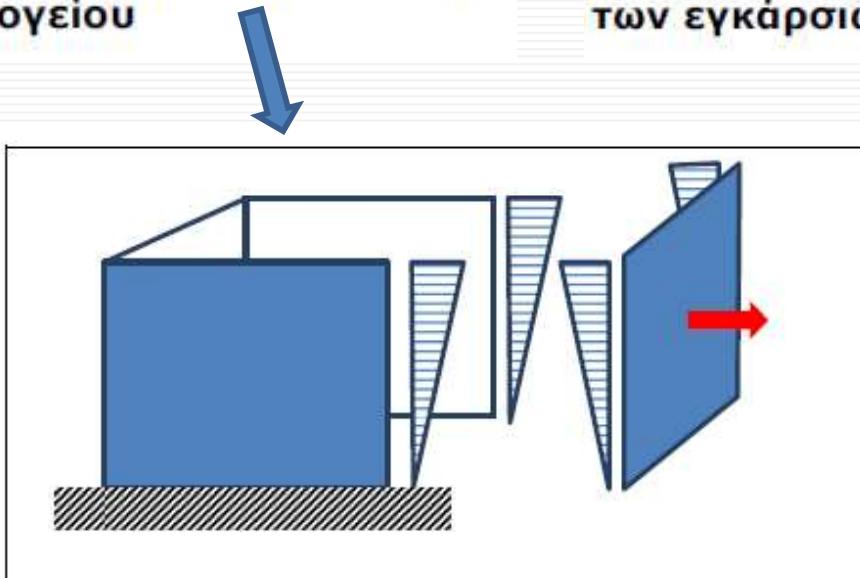


b)

Λίαν ευπαραμόρφωτο διάφραγμα στην οροφή ισογείου



Ανεπαρκής αλληλεμπλοκή/συρραφή των εγκάρσιων τοίχων



Ο εφελκυσμός των \perp τοίχων μπορεί να προκαλέσει αποκόλληση τοίχων στις γωνίες

ΠΕΡΙΔΕΣΗ στέψης (περιμετρική δοκός – γρεπίδα)



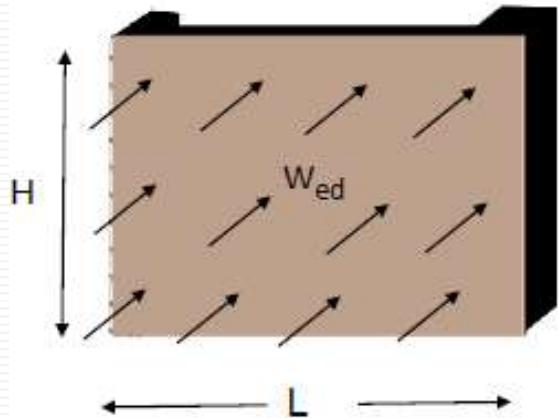
ΕΚΛΥΣΤΗΡΕΣ



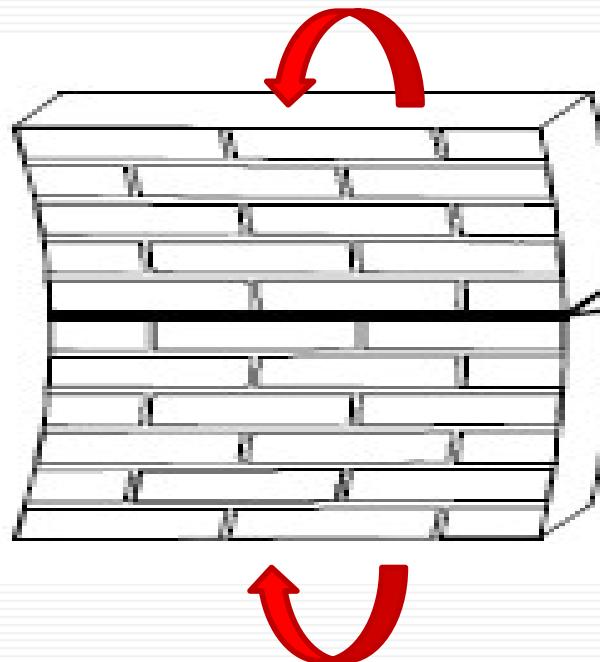
Η αγκύρωση των ελκυστήρων βασίζεται σε μηχανικά μέσα και όχι στην συνάφεια

Ανάλογα την ιστορικότητα του κτιρίου ΜΕΣΗΣ στάθμης παρέμβαση είναι η κατασκευή περιμετρικής δοκού (γρεπίδα) από οπλισμένο σκυρόδεμα στο ύψος της στέγης

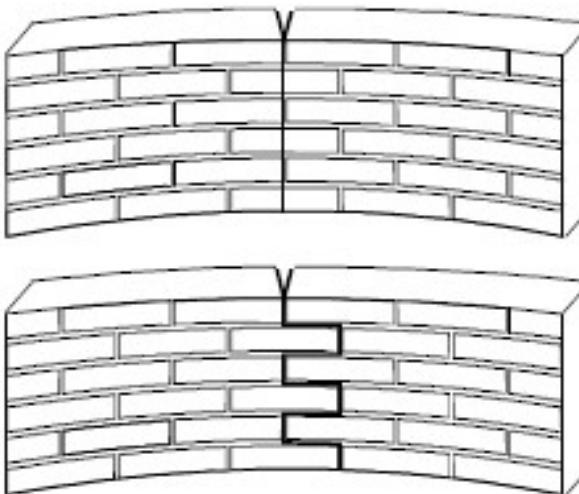
Σεισμός \perp τοιχοποιία → Κάμψη ΕΚΤΟΣ επιπέδου



**Εκτός επιπέδου
κάμψη
(σημασία έχουν οι
συνοριακές
συνθήκες
στήριξης από
εγκάρσιους
τοίχους και
διαφράγματα)
Η τοιχοποιία έχει
φτωχή
συμπεριφορά σε
κάμψη**



**Ρηγμάτωση
παράλληλα
στον αρμό**



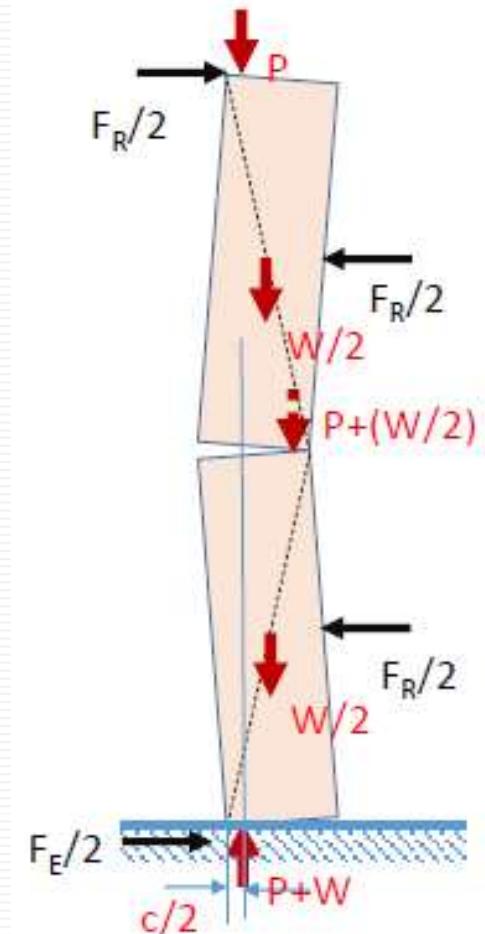
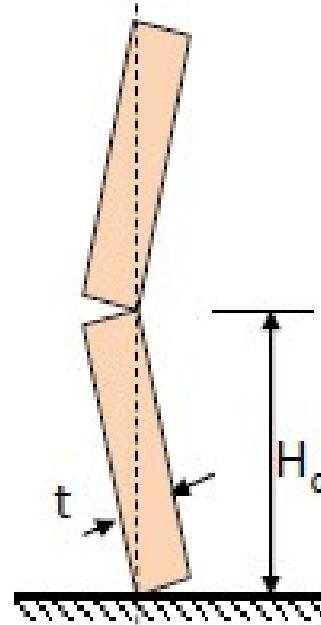
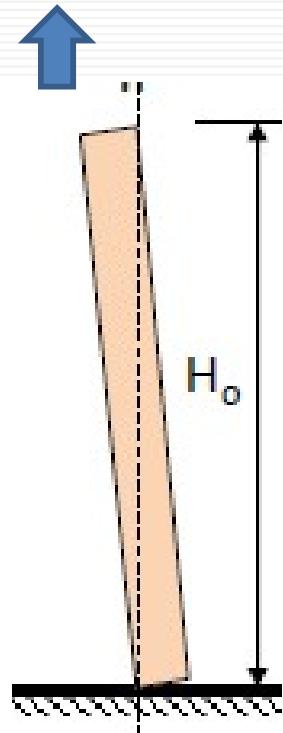
**Ρηγμάτωση κάθετα
στον αρμό**

- Δια μέσω των λιθοσωμάτων
- δια μέσω του αρμού (ζιγκ-ζαγκ)



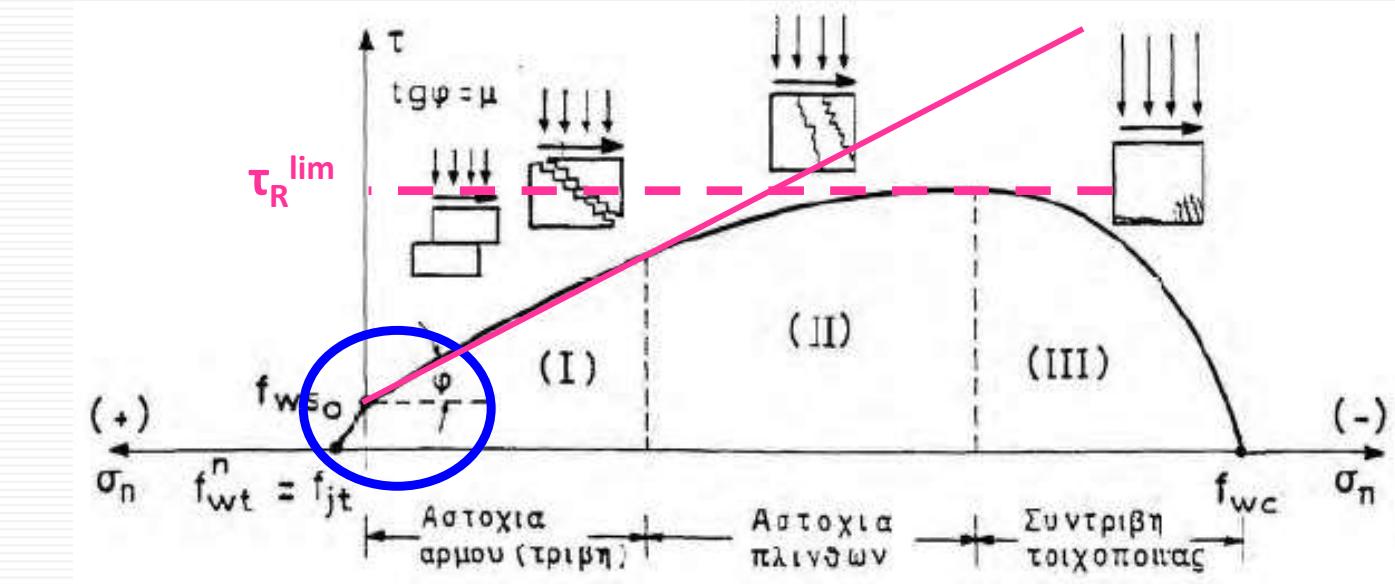
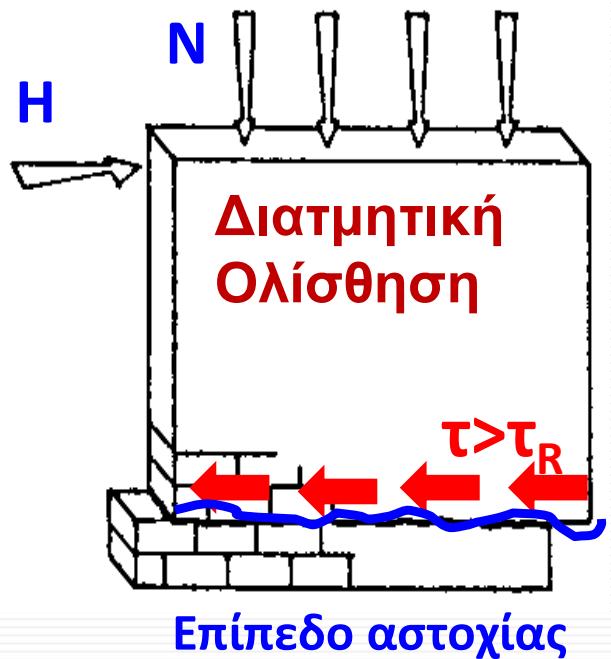
Σεισμός \perp τοιχοποιία \rightarrow Κάμψη ΕΚΤΟΣ επιπέδου

- Αν δεν υπάρχει επαρκής στήριξη στην στέψη τότε ρηγμάτωση συμβαίνει στην βάση με έντονη την συμπεριφορά σε λικνισμό (κίνδυνος ανατροπής, ασταθείς συνθήκες).



- Αν υπάρχει στήριξη τότε η ρηγμάτωση στο μέσον του ύψους.

Σεισμός // τοιχοποιία → Κάμψη/διάτμηση ΕΝΤΟΣ επιπέδου



Σχ. 2.4: Τυπική μορφή καμπύλης αστοχίας (τ , σ_n) τοιχοποιίας

- κακή συνοχή αρμού σε συνδυασμό με χαμηλές θλιπτικές τάσεις
- Συμβαίνει στα ανώτερα τμήματα λιθοδομής όπου οι σεισμικές επιταχύνσεις είναι αυξημένες

$$\text{Ορθή τάση } \sigma_o = N/A_w$$

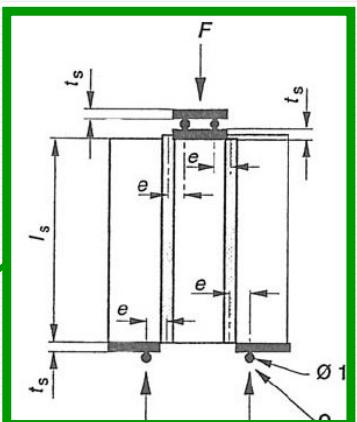
$$\text{Οριζόντια διατμητική τάση } \tau = H/A_w$$

Πρόσφυση αρμού c (για $\sigma_o=0$, $c=0.1-0.2 \text{ MPa}$)
συντελεστής τριβής μ (0.4)

$$\tau_R = c + \mu \cdot \sigma_o$$

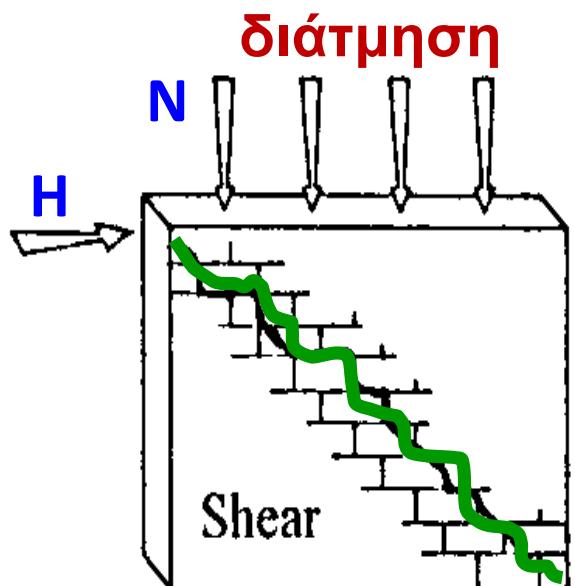
$$\tau_R^{\text{lim}} = 0.065 f_{c,b}$$

$f_{c,b}$ = θλ. αντοχή λιθοσωμάτων



Διατμητική αντοχή τοιχοποιίας τ_R αυξάνει παρουσία θλιπτικού φορτίου (αν εφαρμοσθεί εφελκυστικό φορτίο, τότε είναι μηδενική)

Σεισμός // τοιχοποιία → Κάμψη/διάτμηση ΕΝΤΟΣ επιπέδου



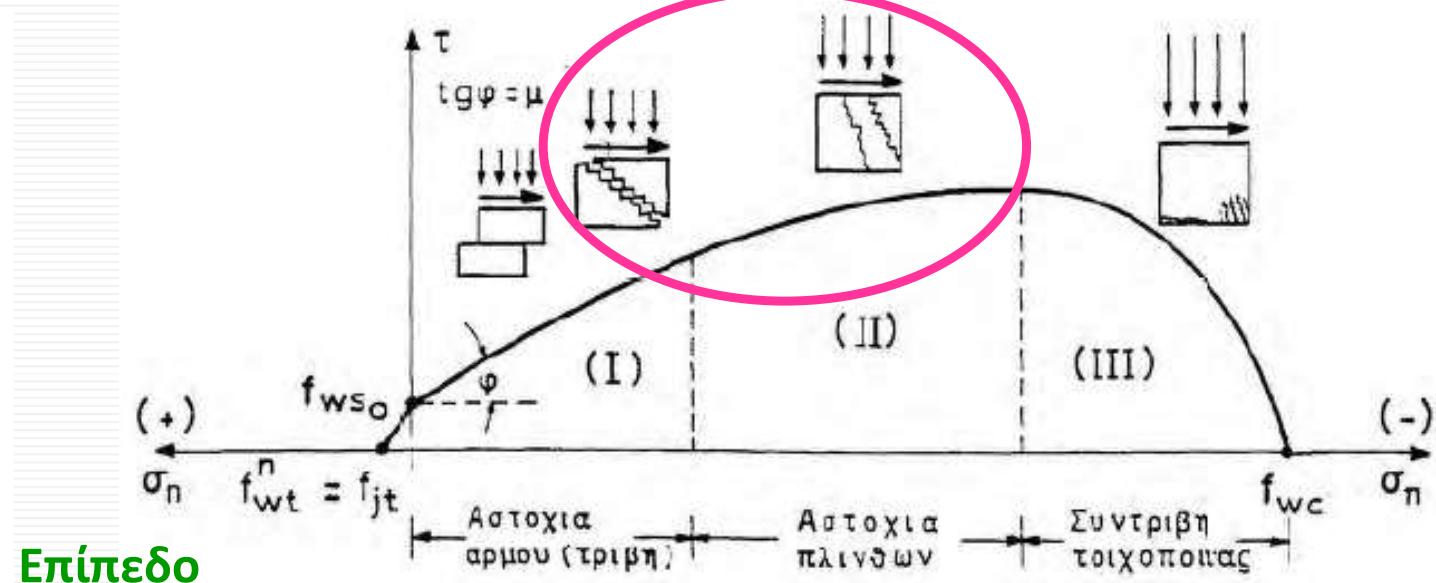
Επίπεδο αστοχίας

Ρηγμάτωση από διαγώνιο εφελκυσμό

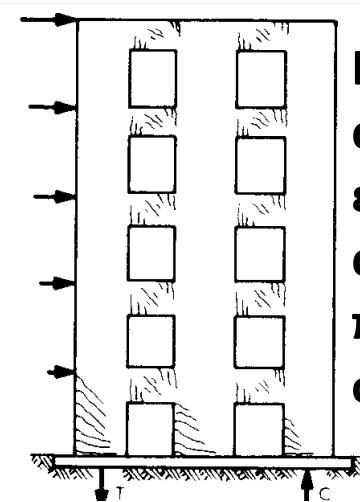
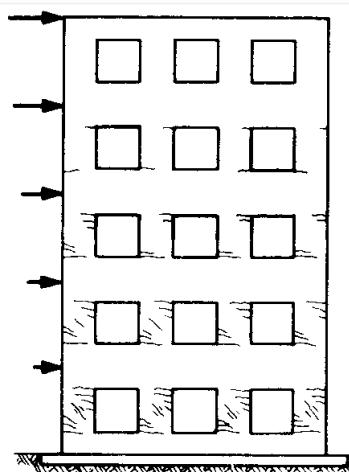
Ανάλογα την σχέση αντοχής κονιάματος / λίθου-πλίνθου η ρωγμή μπορεί να:

- ακολουθεί τον αρμό (ζικ-ζακ)
→ ασθενές κονίαμα
- να διαπερνά τον λίθο
→ ισχυρό κονίαμα

Η κλίση της ρωγμής εξαρτάται από την γεωμετρία του τοίχου



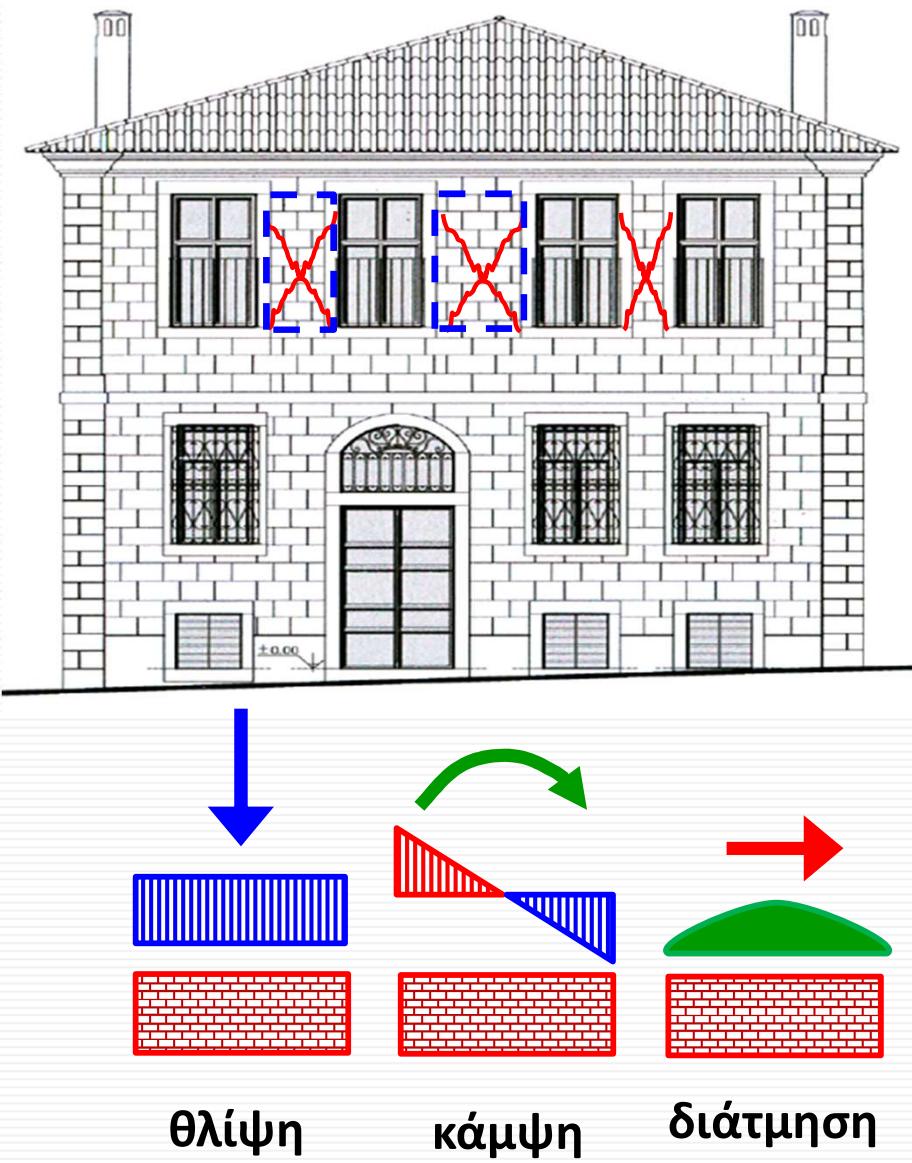
Σχ. 2.4: Τυπική μορφή καμπύλης αστοχίας (τ , σ_n) τοιχοποιίας



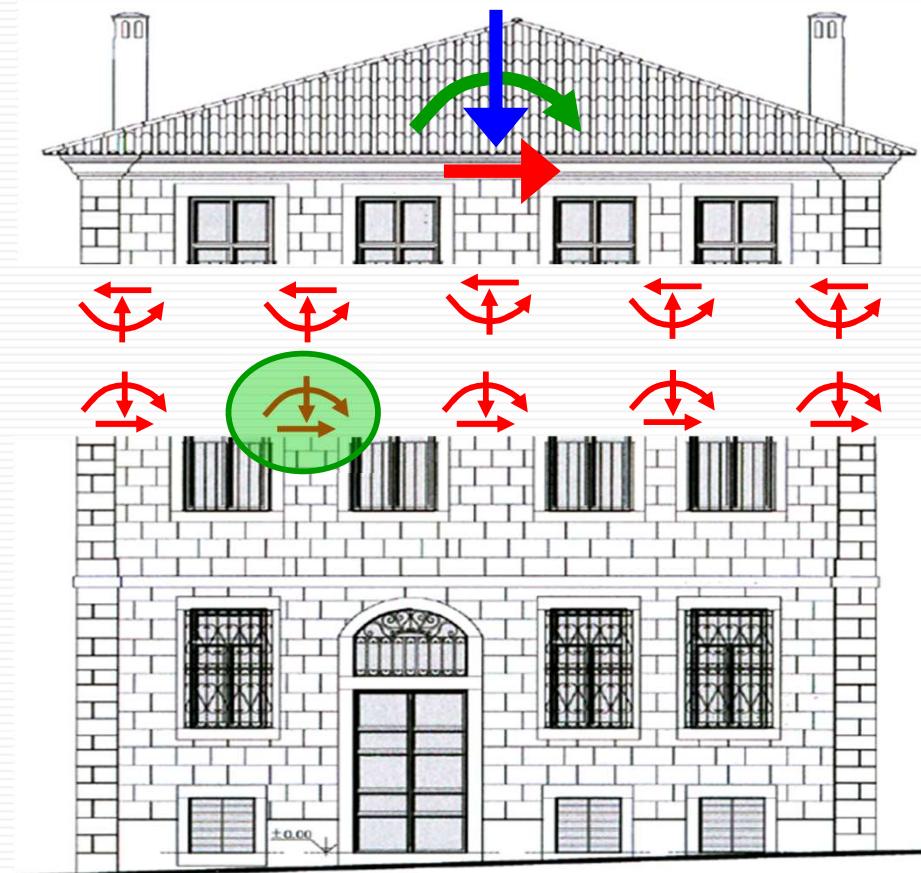
Η διάταξη των ανοιγμάτων επηρεάζει την αστοχία των περιβαλλόντων στοιχείων:

- Εμβαδόν υπέρθυρων δίσκων > εμβαδόν των πεσσών → ασθενείς οι πεσσοί
- Αν αντίστροφα → ασθενείς οι υπέρθυροι δίσκοι

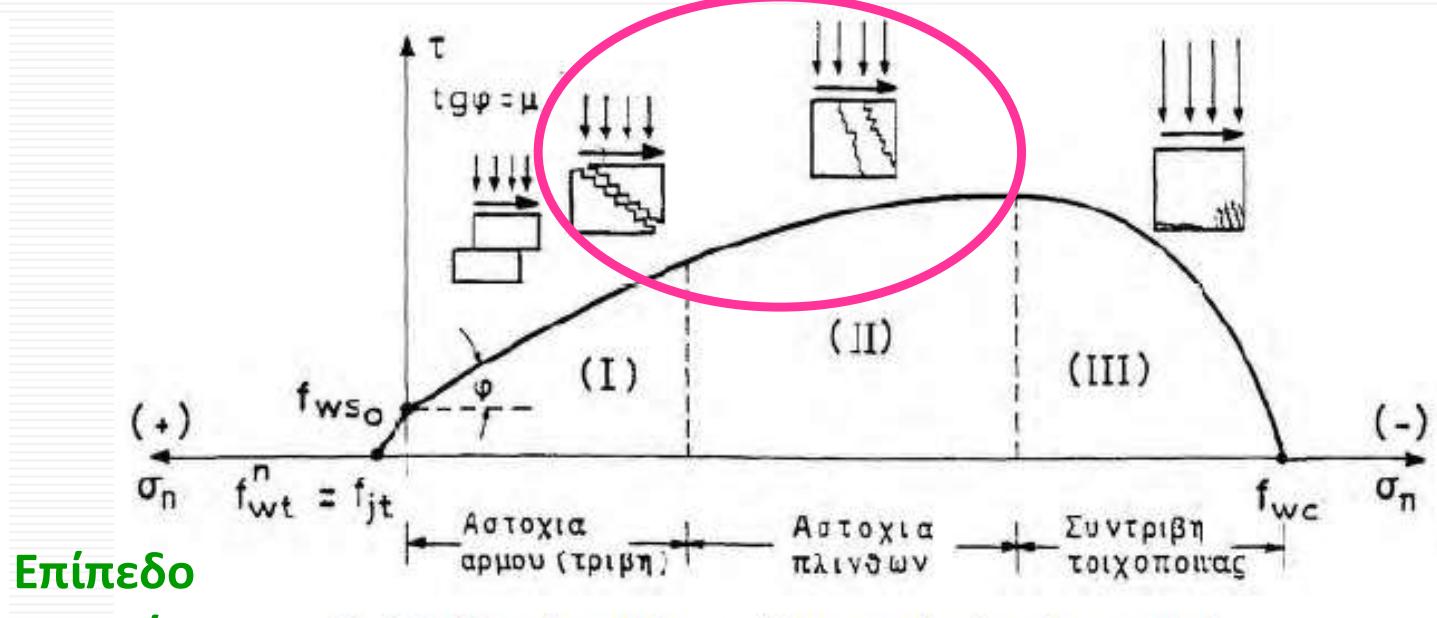
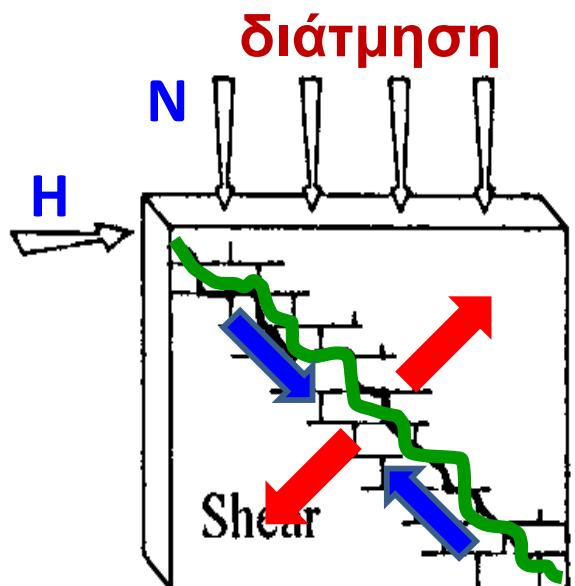
ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ τοιχοποιίας με ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ



Μεταξύ των ανοιγμάτων
δημιουργούνται ΠΕΣΣΟΙ ≈ «κοντά
υποστηλώματα»



Σεισμός // τοιχοποιία → Κάμψη/διάτμηση ΕΝΤΟΣ επιπέδου



Ρηγμάτωση από διαγώνιο εφελκυσμό

$$\sigma_p = \sqrt{\left(\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + (b\tau)^2} \pm \frac{\sigma_0}{2},$$

> εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας f_t (η f_t συνήθως δεν επηρεάζεται από την αντοχή των λιθοσωμάτων)
→ ρηγμάτωση

Κύριες τάσεις (εφελκυσμός - , θλίψη +)

Ορθή τάση $\sigma_o = N/A_w$

Οριζόντια διατμητική τάση $\tau = H/A_w$

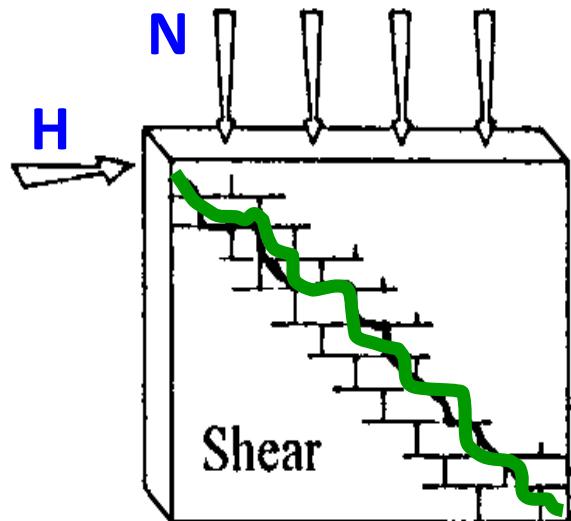
$b =$ γεωμετρία τοιχίσκου

(σχέση ύψους - μήκους)

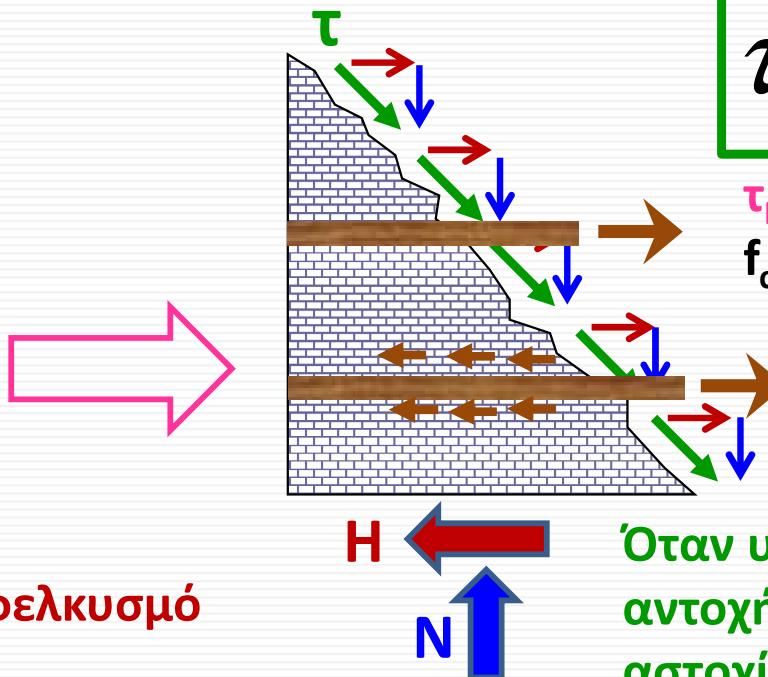
Μία ρωγμή σημαίνει και αστοχία του δομικού στοιχείου;

Normalized compressive strength of unit f_b (MPa)	Mean compressive strength of mortar f_m (MPa)	Tensile strength of masonry	
		f_t (MPa)	f_{tk} (MPa)
20.7	4.7	0.23	0.19
13.0	5.0	0.24	0.20
14.6	5.4	0.20	0.17
12.2	5.0	0.26	0.22
30.3	2.8	0.23	0.19

Μετά την υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας (ρηγμάτωση), η διάτμηση (αλληλεμπλοκή) και πάλι αναλαμβάνει να ισορροπήσει την φόρτιση:



Ρηγμάτωση από διαγώνιο εφελκυσμό



$$\tau_R = c + \mu \cdot \sigma_o$$

$$\tau_R^{\text{lim}} = 0.065 f_{c,b}$$

$f_{c,b}$ = θλ. αντοχή λιθοσωμάτων

Όταν υπερβληθεί η διατμητική αντοχή τ_R ($\tau_R < \tau$), τότε θα συμβεί αστοχία από σχετική ολίσθηση των δύο τμημάτων

Αν υπάρχουν διαζώματα (ξυλοδεσιές σε επαρκείς στάθμες) τότε μέρος της H αναλαμβάνεται από αυτά (ανακούφιση)

➔ ενίσχυση της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας

$$v_R = c + \mu \cdot \sigma_o + v_b$$

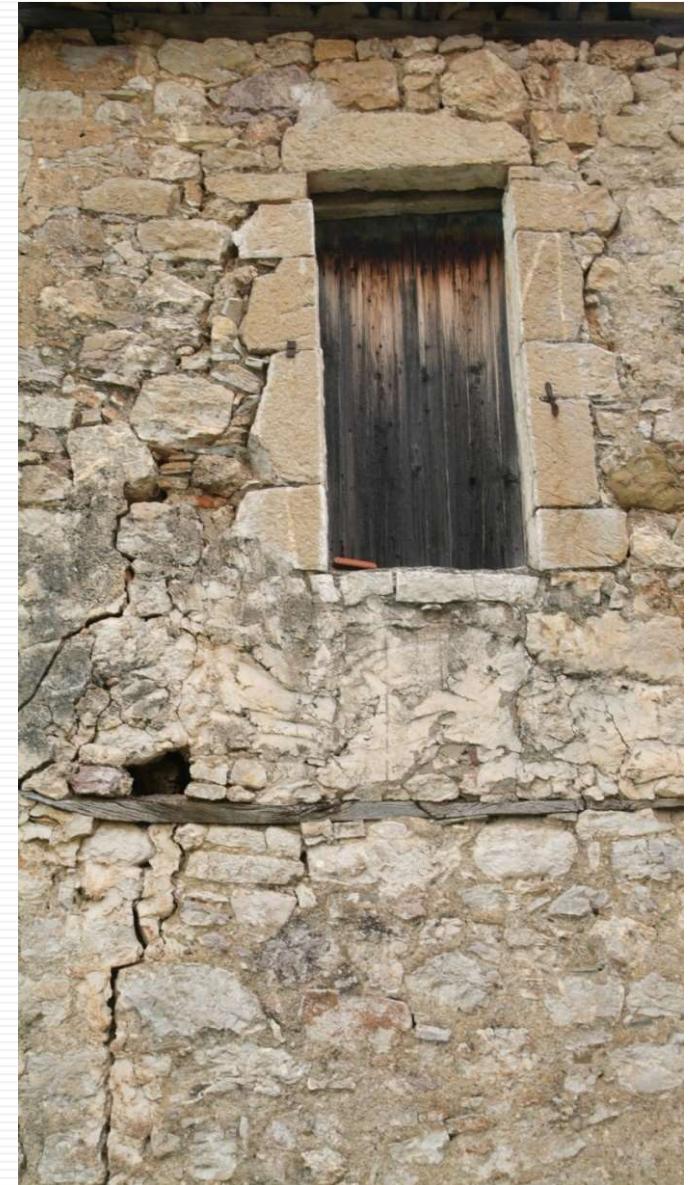
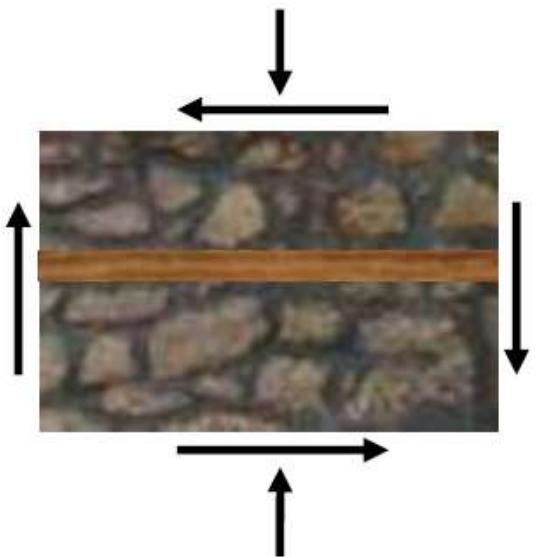
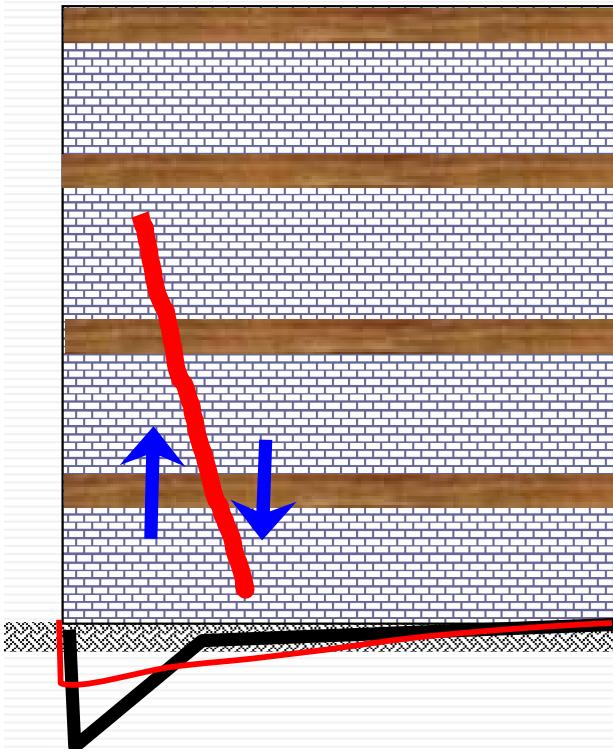
$$V_b = \sum_{i=1}^n A_b f_i$$

Αξονική δύναμη διαζωμάτων

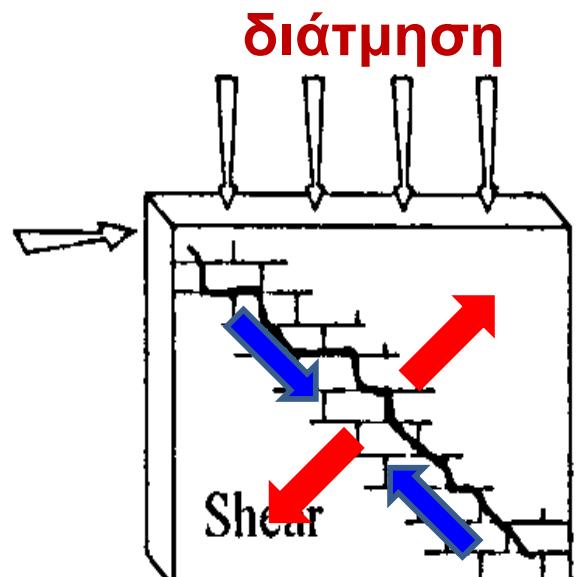
... σε ισορροπία με δύναμη συνάφειας

$$V_b = \sum_{i=1}^n A_b f_i = \sum_{i=1}^n (u_b P_{\sigma \epsilon \nu \alpha \zeta} \cdot L_{bi})$$

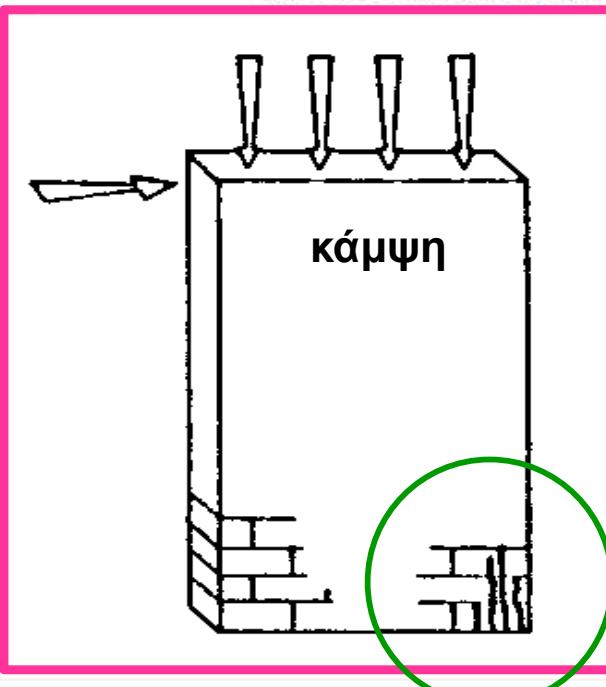
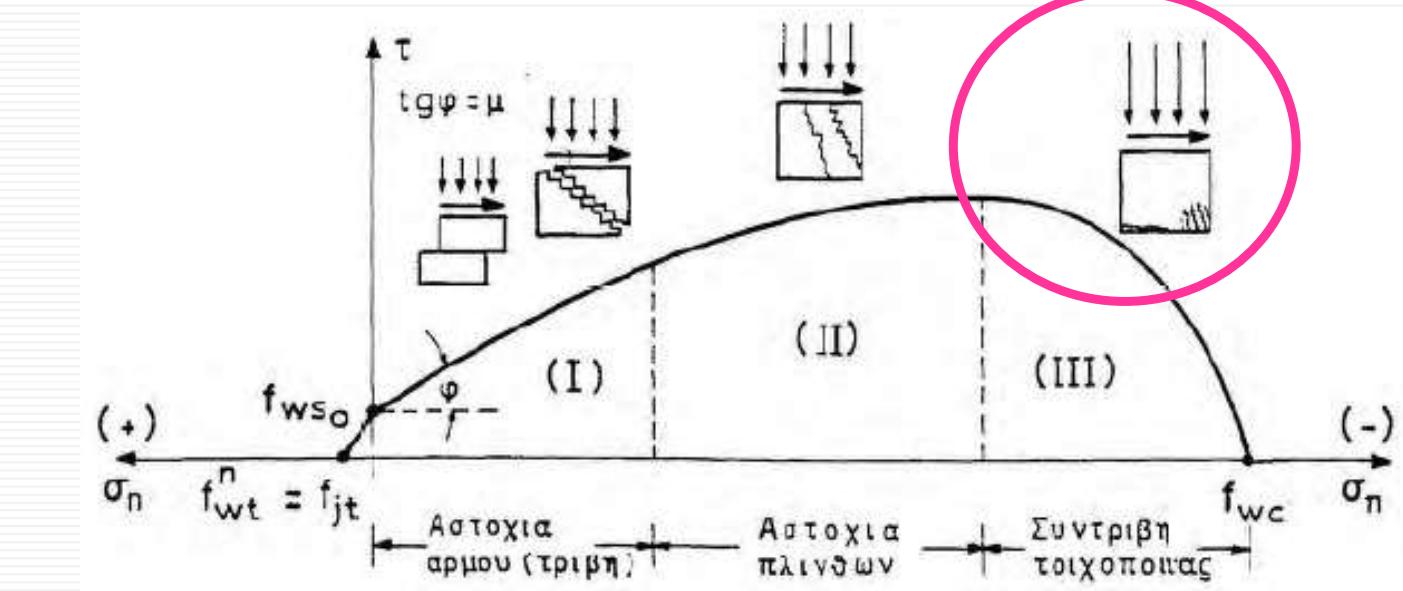
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΛΟΓΩ ΚΑΘΙΣΗΣΗΣ: ΣΥΜΒΟΛΗ ΔΙΑΖΩΜΑΤΩΝ



Σεισμός // τοιχοποιία → Κάμψη/διάτμηση ΕΝΤΟΣ επιπέδου



Διαγώνιος εφελκυσμός



καθαρά καμπτική απόκριση
Αστοχία από σύνθλιψη βάσης
→ έλεγχος με την θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας (τυπικό εύρος 1-3 MPa)
→ Άλλα και έλεγχος του εδάφους που δέχεται τοπικά αυτές τις τάσεις

Παράδειγμα κατά ΚΑΔΕΤ '22: ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Έστω μονοόροφο σπίτι από λιθοδομή κάτοψης $6 \text{ m} \times 12 \text{ m}$. Ο ένας εξωτερικός εγκάρσιος τοίχος φέρει αξονικό φορτίο από την στέγη $N_{\text{roof}}=20 \text{kN}$.

Η λιθοδομή: $\rho=18 \text{kN/m}^3$, θλιπτική αντοχή $f_{\text{cw}}=1 \text{ MPa}$ (θλιπτική αντοχή λίθων $f_b=20 \text{ MPa}$), εφελκυστική αντοχή $f_{\text{tw}}=0.2 \text{ MPa}$ και συνοχή κονιάματος $c=0.1 \text{ MPa}$. Κρίσιμη διατομή: η βάση

Εμβαδόν διατομής $A_w=6*0.5=3 \text{ m}^2$

Βάρος στοιχείου: $N_o=18*0.5*3.5*6=189 \text{kN}$

$N_{\text{tot}}=N_{\text{roof}}+N_o=209 \text{kN}$ (στην βάση, $z=0$)

Ποια είναι η διαθέσιμη αντοχή σε Τέμνουσα;

Καμπτική αντοχή M_R

$$M_R = N_{\text{tot}}(1 - 1.15\nu)L/2$$

$$M_R = 209 \times (1 - 1.15 \times 0.07) \times 6/2 = 577 \text{kNm}$$

$$\text{Όπου } \nu=N_{\text{tot}}/(L \cdot t \cdot f_{\text{cw}}) = 209 \times 1000 / (6000 \times 500 \times 1) = 0.07$$

Η εκκεντρότητα είναι $M_R/N_{\text{tot}}=2.76 \text{ m} < 0.5L=3 \text{ m}$

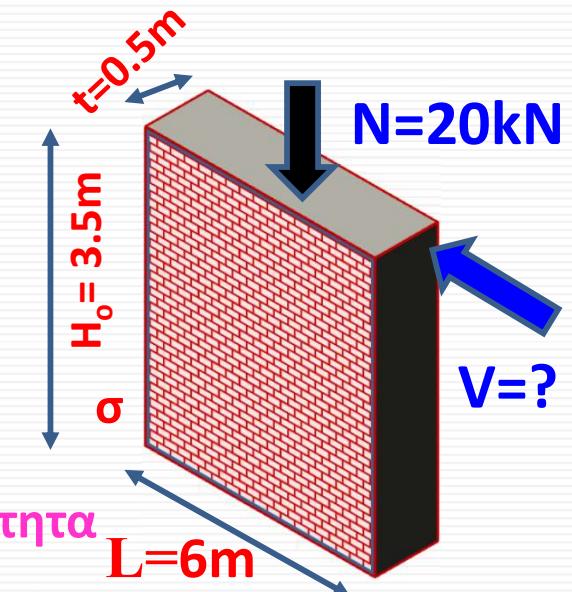
Αν $0.5L=e+0.2c \Rightarrow c=1.20 \text{ m}$ (η L' κατά ΚΑΔΕΤ)

Τέμνουσα από καμπτική ροπή (ο τοίχος θεωρείται μονόπακτος):

$$V_f=M_R/H_o=577/3.5=165 \text{kN} \quad (\text{αν αμφίπακτος } V_f=M_R/(0.5H_o)=330 \text{kN})$$

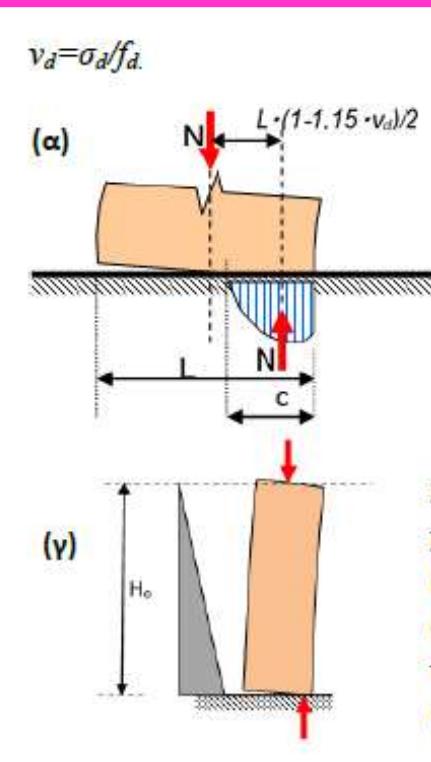
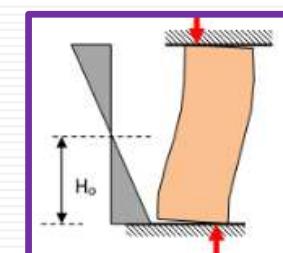
Αυτή μπορεί να αναπτύξει λόγω κάμψης! Για να μπορεί πρέπει η διαθέσιμη διατμητική αντοχή V_v να είναι μεγαλύτερη!

Διατμητική αντοχή: $V_v=c \text{ (ή } L') \times t \times f_{vd}$



Για την εκκεντρότητα
βάσει ΚΑΔΕΤ 22:

Το στερεό των τάσεων από παραβολικό λαμβάνεται πρισματικό με μήκος $0.4c$



Παράδειγμα κατά ΚΑΔΕΤ '22: ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

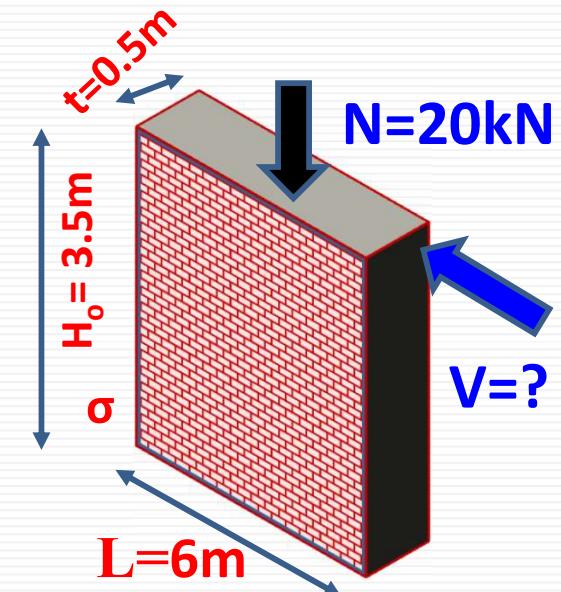
Έστω μονοόροφο σπίτι από λιθοδομή κάτοψης $6 \text{ m} \times 12 \text{ m}$. Ο ένας εξωτερικός εγκάρσιος τοίχος φέρει αξονικό φορτίο από την στέγη $N_{\text{roof}}=20 \text{kN}$.

Η λιθοδομή: $\rho=18 \text{kN/m}^3$, θλιπτική αντοχή $f_{\text{cw}}=1 \text{ MPa}$, (θλιπτική αντοχή λίθων $f_b=20 \text{ MPa}$), εφελκυστική αντοχή $f_{\text{tw}}=0.2 \text{ MPa}$ και συνοχή κονιάματος $c=0.1 \text{ MPa}$. Κρίσιμη διατομή: η βάση

Εμβαδόν διατομής $A_w=6*0.5=3 \text{ m}^2$

Βάρος στοιχείου: $N_o=18*0.5*3.5*6=189 \text{kN}$

$N_{\text{tot}}=N_{\text{roof}}+N_o=209 \text{kN}$ (στην βάση, $z=0$)



Διατμητική αντοχή: $V_v=c (\text{ή } L') \times t \times f_v \quad c=L'=1.20 \text{ m}$

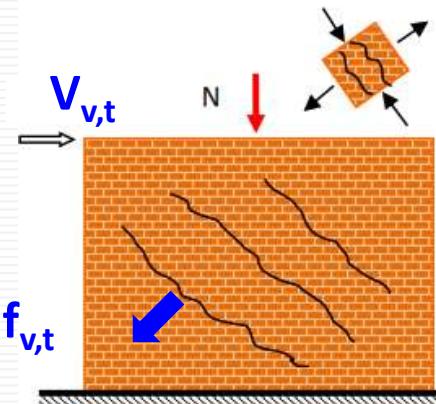
$$f_{v,t}=\sqrt{f_{tw} \cdot (f_{tw} + v f_{cw})}$$

$$f_{v,s}=c + 0.4 N_{\text{tot}} / (L' \times t) < 0.065 f_b = 1.3 \text{ MPa}$$

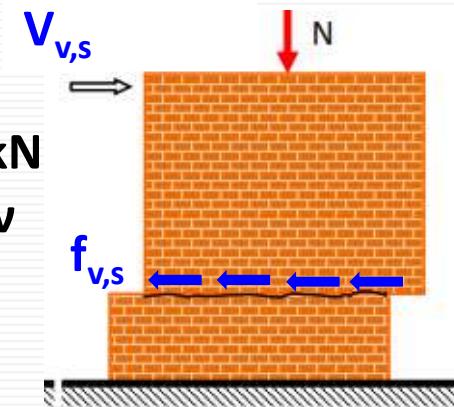
$$f_{v,s}=0.1+0.4 \times 209 / (1.2 \times 0.5)=0.24 \text{ MPa}$$

Όπου $v=N_{\text{tot}}/(L \cdot t \cdot f_{cw}) = 209 \times 1000 / (6000 \times 500 \times 1) = 0.07$

$$f_{v,t}=[0.2 \times (0.2+0.07 \times 1)]^{0.5}=0.23 \text{ MPa} \rightarrow V_{v,t}=140 \text{ kN} \rightarrow V_{v,s}=144 \text{ kN}$$



Επειδή $\eta V_f=165 \text{kN}$ (ή $V_f=330 \text{kN}$) $> \min (V_{v,t}, V_{v,s})=140 \text{kN}$
 $V_f > V_v$ η συμπεριφορά του τοίχου ελέγχεται από την τέμνουσα $V_v=140 \text{kN}$ και αυτή θα συγκριθεί με την σεισμική τέμνουσα.



Παράδειγμα κατά ΚΑΔΕΤ '22: ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Έστω μονοόροφο σπίτι από λιθοδομή κάτοψης $6 \text{ m} \times 12 \text{ m}$. Ο ένας εξωτερικός εγκάρσιος τοίχος φέρει αξονικό φορτίο από την στέγη $N_{\text{roof}}=20 \text{kN}$.

Η λιθοδομή: $\rho=18 \text{kN/m}^3$, θλιπτική αντοχή $f_{\text{cw}}=1 \text{ MPa}$, (θλιπτική αντοχή λίθων $f_b=20 \text{ MPa}$), εφελκυστική αντοχή $f_{\text{tw}}=0.2 \text{ MPa}$ και συνοχή κονιάματος $c=0.1 \text{ MPa}$. Κρίσιμη διατομή: η βάση

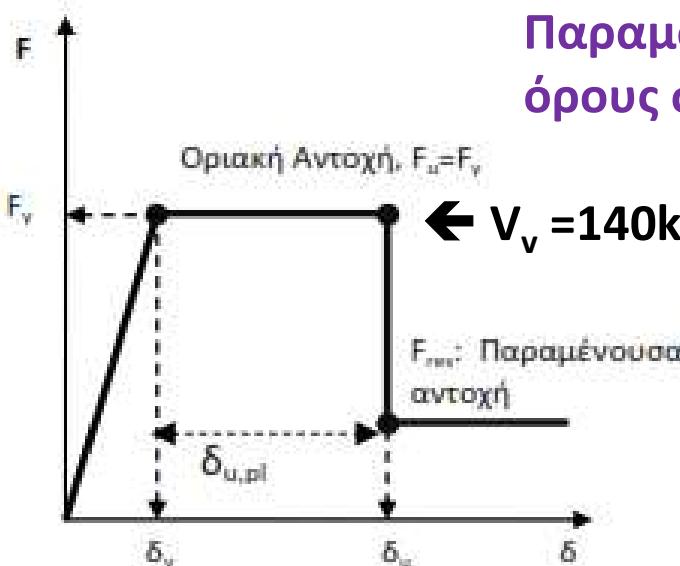
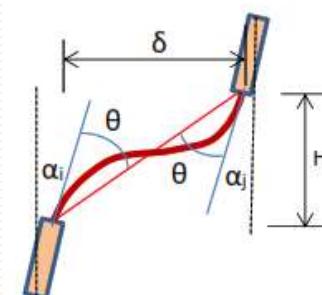
Εμβαδόν διατομής $A_w=6*0.5=3 \text{ m}^2$

Βάρος στοιχείου: $N_o=18*0.5*3.5*6=189 \text{kN}$

$N_{\text{tot}}=N_{\text{roof}}+N_o=209 \text{kN}$ (στην βάση, $z=0$)

Πόση παραμόρφωση μπορεί να έχει ο τοίχος;

Παραμόρφωση στοιχείου σε όρους στροφής χορδής: $\theta=\delta/H$



παραμόρφωση διαρροής

$$\theta_y=0.0015$$

οριακή παραμόρφωση

$$\theta_u=0.004$$

Πλαστιμότητα:
 $\mu_\theta=\theta_u/\theta_y = 2.7$
(ή 1.53)

Αν ίσχυε $V_f < V_v \rightarrow \theta_u=0.008H_o/L = 0.004$

(ή $\theta_u=0.008(0.5H_o)/L = 0.0023$)

Επειδή $V_f > V_v \rightarrow \theta_u=0.004$

Επειδή η $V_f=165 \text{kN}$ (ή $V_f=330 \text{kN}$) $> \min(V_{v,t}, V_{v,s})=140 \text{kN}$
 $V_f > V_v$ η συμπεριφορά του τοίχου ελέγχεται από την τέμνουσα $V_v=140 \text{kN}$ και αυτή θα συγκριθεί με την σεισμική τέμνουσα.

Παράδειγμα κατά ΚΑΔΕΤ '22: ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Έστω μονοόροφο σπίτι από λιθοδομή κάτοψης $6 \text{ m} \times 12 \text{ m}$. Ο ένας εξωτερικός εγκάρσιος τοίχος φέρει αξονικό φορτίο από την στέγη $N_{\text{roof}}=20 \text{kN}$.

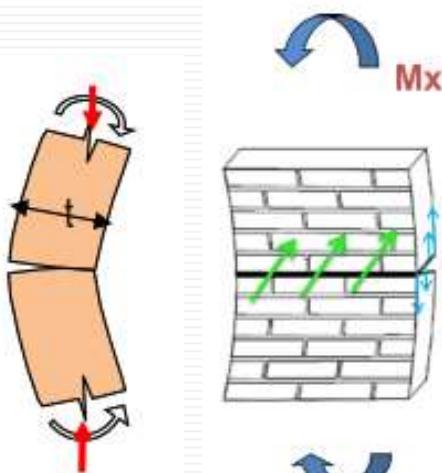
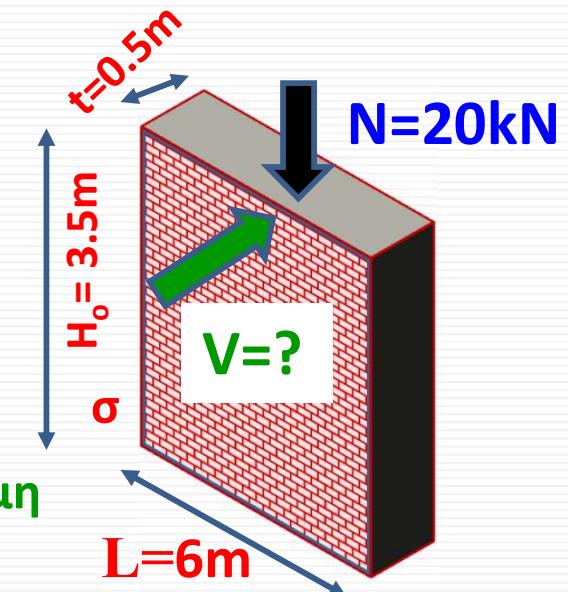
Η λιθοδομή: $\rho=18 \text{kN/m}^3$, θλιπτική αντοχή $f_{\text{cw}}=1 \text{ MPa}$, (θλιπτική αντοχή λίθων $f_b=20 \text{ MPa}$), εφελκυστική αντοχή $f_{\text{tw}}=0.2 \text{ MPa}$ και συνοχή κονιάματος $c=0.1 \text{ MPa}$. Κρίσιμη διατομή: η βάση

Εμβαδόν διατομής $A_w=6*0.5=3 \text{ m}^2$

Βάρος στοιχείου: $N_o=18*0.5*3.5*6=189 \text{kN}$

$N_{\text{tot}}=N_{\text{roof}}+N_o=209 \text{kN}$ (στην βάση, $z=0$)

Ποια είναι η διαθέσιμη αντοχή σε Τέμνουσα;



Διατομή σε κάμψη $\ell \times t$, όπου $\ell=L$

$$M_{Rd,l,o} = \frac{1}{2} \ell t_w^2 \sigma_0 \left(1 - \frac{\sigma_0}{f_d} \right)$$

$$M_{Rx}=0.5 \times 6 \times 0.5^2 \times 0.07 \times (1-0.07/1)=48.6 \text{kNm}$$

M_{Rx}= 48.6 kNm η ροπή κάμψης που μπορεί να παραλάβει η διατομή περί οριζόντιο άξονα

$$\text{Όπου } \sigma_0=N_{\text{tot}}/(L \cdot t) = \\ 209 \times 1000 / (6000 \times 500) = 0.07 \text{ MPa}$$

Παράδειγμα κατά ΚΑΔΕΤ '22: ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

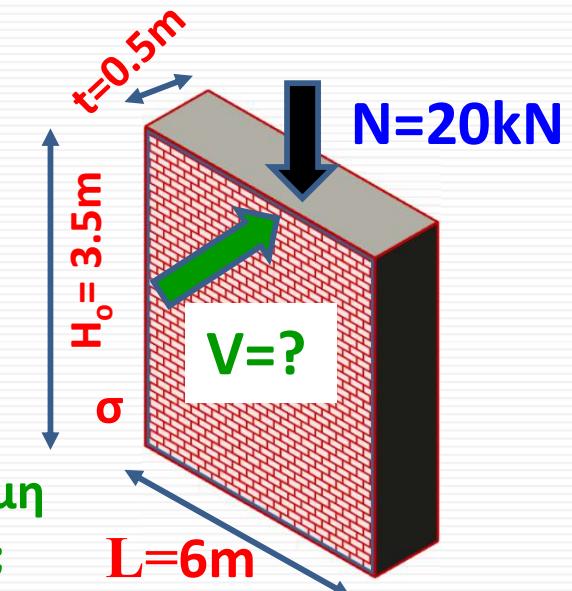
Έστω μονοόροφο σπίτι από λιθοδομή κάτοψης $6 \text{ m} \times 12 \text{ m}$. Ο ένας εξωτερικός εγκάρσιος τοίχος φέρει αξονικό φορτίο από την στέγη $N_{\text{roof}}=20 \text{kN}$.

Η λιθοδομή: $\rho=18 \text{kN/m}^3$, θλιπτική αντοχή $f_{cw}=1 \text{ MPa}$, (θλιπτική αντοχή λίθων $f_b=20 \text{ MPa}$), Εφελκυστική αντοχή $f_{tw}=0.2 \text{ MPa}$ και συνοχή κονιάματος $c=0.1 \text{ MPa}$. Κρίσιμη διατομή: η βάση

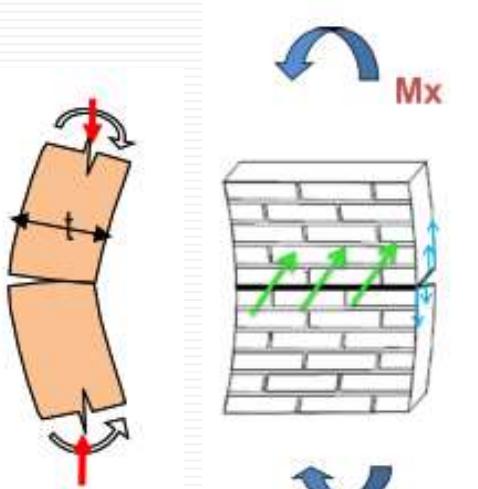
Εμβαδόν διατομής $A_w=6*0.5=3 \text{ m}^2$

Βάρος στοιχείου: $N_o=18*0.5*3.5*6=189 \text{kN}$

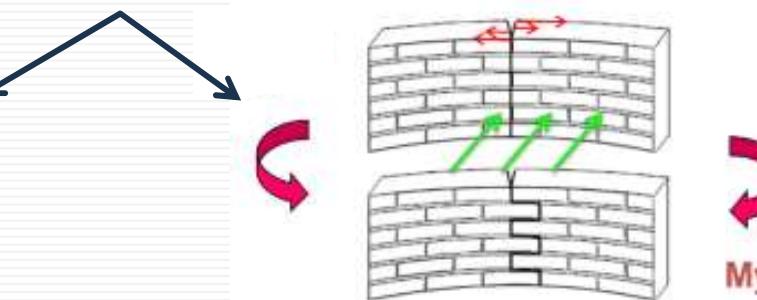
$N_{\text{tot}}=N_{\text{roof}}+N_o=209 \text{kN}$ (στην βάση, $z=0$)



Ποια είναι η διαθέσιμη αντοχή σε Τέμνουσα;



$M_{Rx}=48.6 \text{kNm}$ η ροπή κάμψης που μπορεί να παραλάβει η διατομή περί κατακόρυφο άξονα
 $M_{Ry}=29.2 \text{kNm}$ η ροπή κάμψης που μπορεί να παραλάβει η διατομή περί οριζόντιου άξονα



$$M_{Ry}=1/6 \times 0.2 \times 0.5^2 \times 3.5=29.2 \text{kNm}$$

$M_{Ry}=29.2 \text{kNm}$ η ροπή κάμψης που μπορεί να παραλάβει η διατομή περί κατακόρυφο άξονα

$$\min(M_{Rx}, M_{Ry})=29.2 \text{kNm} \rightarrow V_f=M_R/H_o=29.2/3.5=8.3 \text{kN}$$

$$(\text{ή } V_f=M_R/(0.5H_o)=16.7 \text{kN})$$

Η $V_f=8.3 \text{kN}$ (ή 16.7kN) είναι η τέμνουσα που μπορεί να αναλάβει ο τοίχος σε κάμψη εκτός επιπέδου.

$$\text{Άρα } V_f^{\text{in plane}} / V_f^{\text{out of plane}} = 140 \text{kN} / 8.3 \text{kN} \approx 17 \text{ (ή 8.4)}$$

Παράδειγμα κατά ΚΑΔΕΤ '22: ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

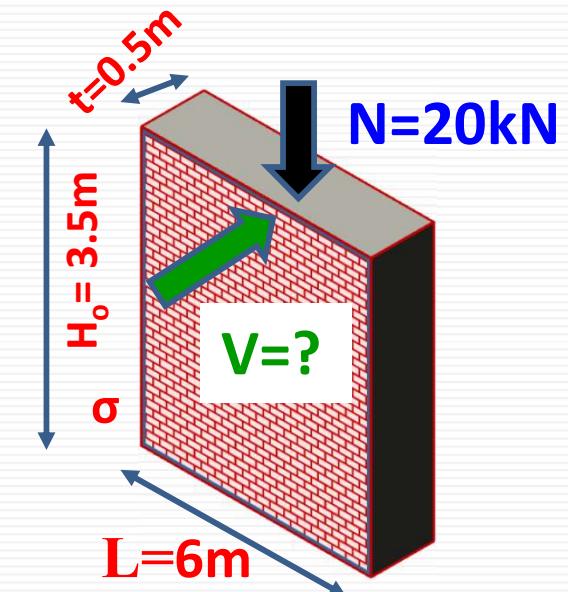
Έστω μονοόροφο σπίτι από λιθοδομή κάτοψης $6 \text{ m} \times 12 \text{ m}$. Ο ένας εξωτερικός εγκάρσιος τοίχος φέρει αξονικό φορτίο από την στέγη $N_{\text{roof}}=20 \text{kN}$.

Η λιθοδομή: $\rho=18 \text{kN/m}^3$, θλιπτική αντοχή $f_{cw}=1 \text{ MPa}$, (θλιπτική αντοχή λίθων $f_b=20 \text{ MPa}$), εφελκυστική αντοχή $f_{tw}=0.2 \text{ MPa}$ και συνοχή κονιάματος $c=0.1 \text{ MPa}$. Κρίσιμη διατομή: η βάση

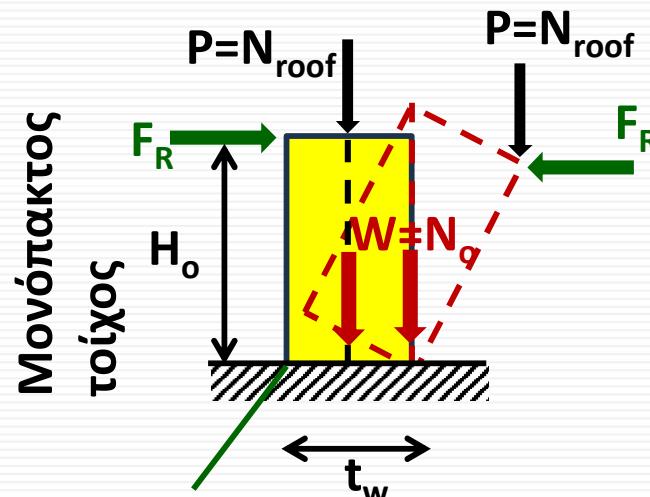
Εμβαδόν διατομής $A_w=6*0.5=3 \text{ m}^2$

Βάρος στοιχείου: $N_o=18*0.5*3.5*6=189 \text{kN}$

$N_{\text{tot}}=N_{\text{roof}}+N_o=209 \text{kN}$ (στην βάση, $z=0$)

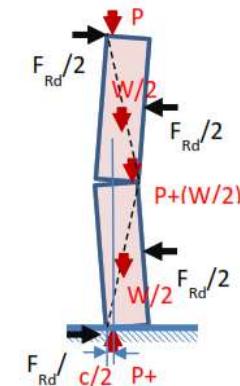
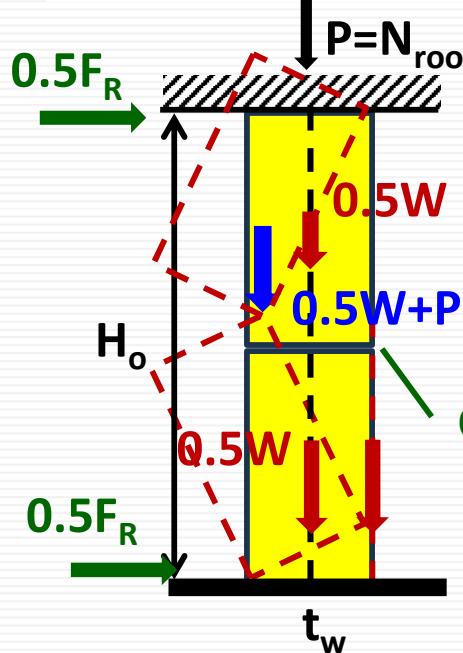


Όμως υπάρχει και η τέμνουσα δύναμη που μπορεί να παραλάβει ο τοίχος έναντι ανατροπής F_R :



Θέση εξίσωσης ροπών του στραμμένου τοίχου: $F_R H_o = W \times t_w + P \times 2t_w$

Αμφίπακτος τοίχος



Θέση εξίσωσης ροπών του στραμμένου τοίχου:
 $0.5F_R H_o / 2 = (0.5W + P) \times t_w$

Παράδειγμα κατά ΚΑΔΕΤ '22: ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

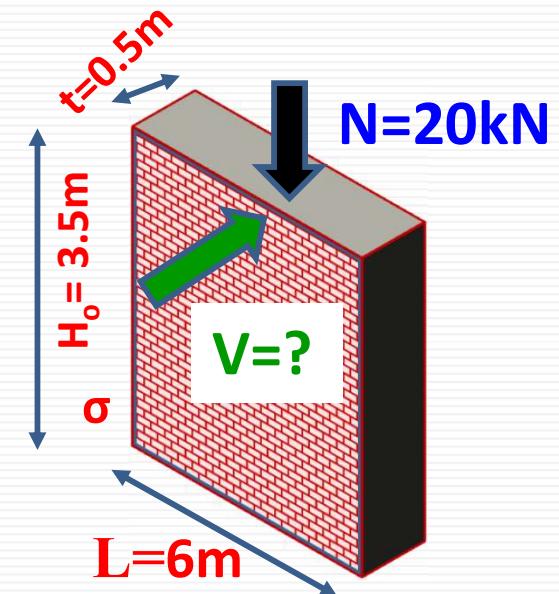
Έστω μονοόροφο σπίτι από λιθοδομή κάτοψης $6 \text{ m} \times 12 \text{ m}$. Ο ένας εξωτερικός εγκάρσιος τοίχος φέρει αξονικό φορτίο από την στέγη $N_{\text{roof}}=20 \text{kN}$.

Η λιθοδομή: $\rho=18 \text{kN/m}^3$, θλιπτική αντοχή $f_{\text{cw}}=1 \text{ MPa}$, (θλιπτική αντοχή λίθων $f_b=20 \text{ MPa}$), εφελκυστική αντοχή $f_{\text{tw}}=0.2 \text{ MPa}$ και συνοχή κονιάματος $c=0.1 \text{ MPa}$. Κρίσιμη διατομή: η βάση

Εμβαδόν διατομής $A_w=6*0.5=3 \text{ m}^2$

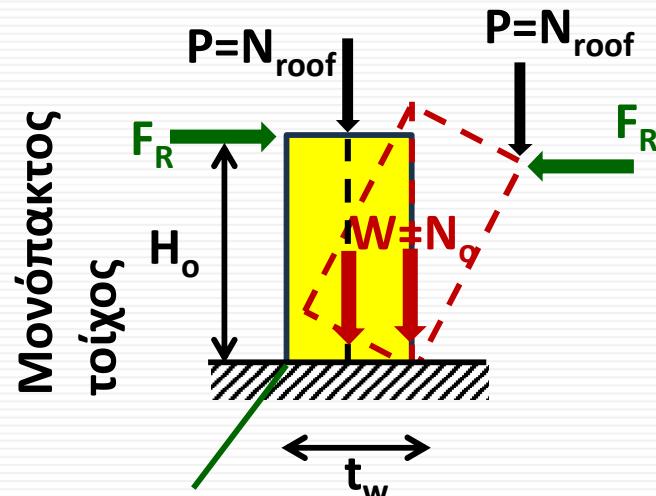
Βάρος στοιχείου: $N_o=18*0.5*3.5*6=189 \text{kN}$

$N_{\text{tot}}=N_{\text{roof}}+N_o=209 \text{kN}$ (στην βάση, $z=0$)



Όμως υπάρχει και η τέμνουσα δύναμη που μπορεί να παραλάβει ο τοίχος έναντι ανατροπής F_R :

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



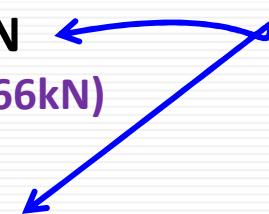
$\lambda=1$ για μονόπακτο στοιχείο,

$W=N_o=189 \text{kN}$ (βάρος του τοίχου)

$P=N_{\text{roof}}=20 \text{kN} \rightarrow \Psi=2P/W=2*20/189 \rightarrow \Psi=0.21$

$F_R=1*189*(1+0.21)*0.5/3.5 \rightarrow F_R=32.7 \text{kN}$

(ή $\lambda=2$ και $F_R=2*189*(1+0.21)*0.5/3.5 \rightarrow F_R=66 \text{kN}$)

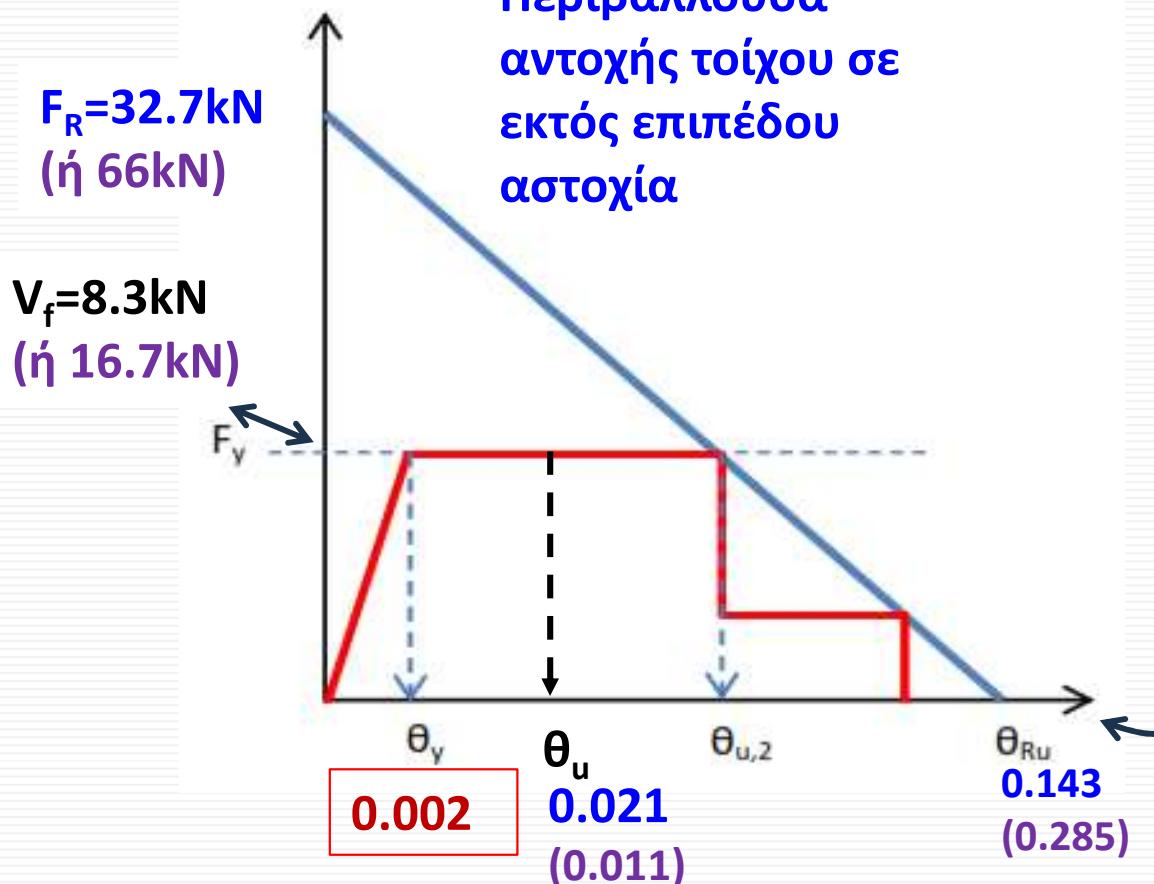


Η $V_f=8.3 \text{kN}$ (ή 16.7kN) είναι η τέμνουσα που μπορεί να αναλάβει ο τοίχος σε κάμψη εκτός επιπέδου.

Θέση εξίσωσης ροπών του στραμμένου τοίχου: $F_R H_o = W x t_w + P \times 2t_w$

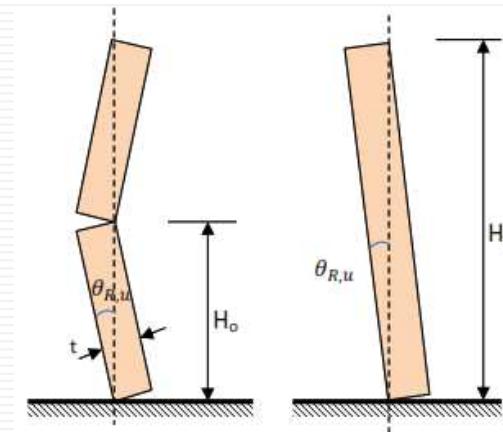
Παράδειγμα κατά ΚΑΔΕΤ '22: ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

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



Η $F_R = 32.7 \text{ kN}$ (ή 66 kN) είναι η τέμνουσα δύναμη που μπορεί να παραλάβει ο τοίχος έναντι ανατροπής F_R

Η $V_f = 8.3 \text{ kN}$ (ή 16.7 kN) είναι η τέμνουσα που μπορεί να αναλάβει ο τοίχος σε κάμψη εκτός επιπέδου.



$$\theta_{R,u} = t/H_0$$

Στροφή ανατροπής

$$\theta_{R,u} = t/H_0 = 0.5/3.5 = 0.143$$

[ή $0.5/(0.5 \times 3.5) = 0.285$]

θ_u = η ελάχιστη των παρακάτω τιμών:

$$\theta_{u,1} = 0.003 \cdot \frac{H_0}{t}$$

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

Όμοια τρίγωνα

$$\theta_{u,1} = 0.003 \cdot 3.5 / 0.5 = 0.021 \text{ (ή } 0.011\text{)}$$

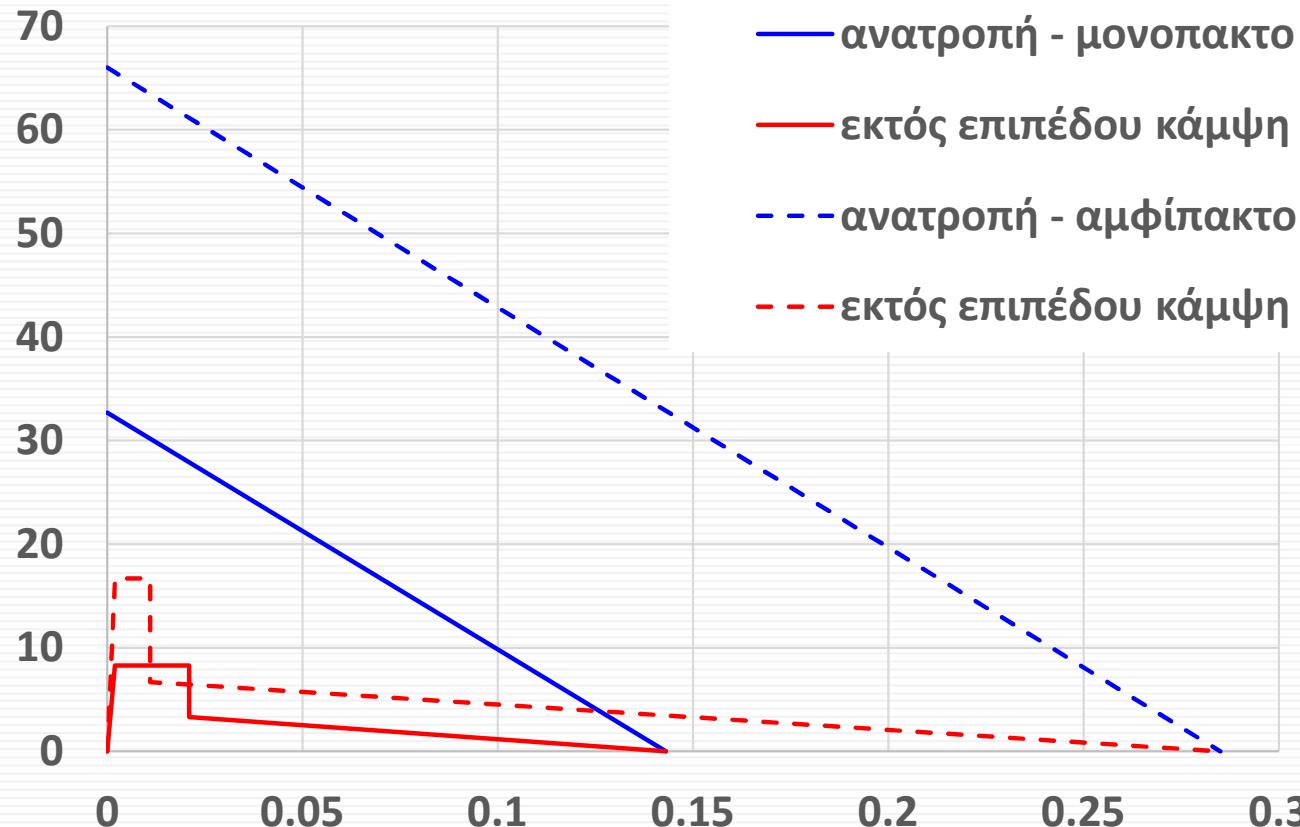
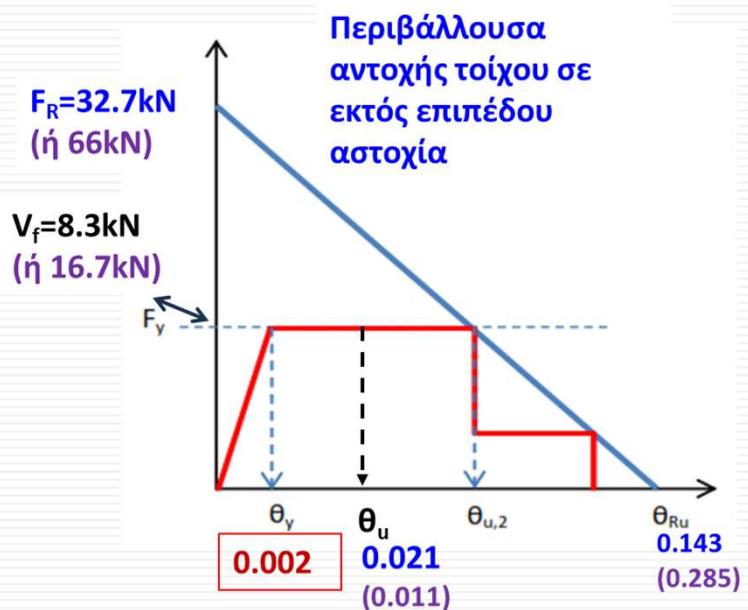
$$\theta_{u,2} = 0.143 \cdot (1 - 8.3 / 32.7) = 0.107$$

[ή $0.285 \cdot (1 - 16.7 / 66) = 0.212$]

$$\theta_u = \min (0.021, 0.107) = 0.021$$

[ή $\min (0.011, 0.212) = 0.011$]

Παράδειγμα κατά ΚΑΔΕΤ '22: ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ



Άσκηση:
Να επιλυθεί παραπλήσια περίπτωση τοίχου γεωμετρίας $L=6\text{m}$ & $H_0=6\text{m}$ για περίπτωση α) μονόπακτου και β) αμφίπακτου τοίχου.