

26°

ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ

ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ & ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, ΠΑΤΡΑ 2020



Το Ειδικό μη Γραμμικό Μέλος για την Αποτίμηση Φέρουσας Τοιχοποιίας

Ηλίας Γκιμούσης, Δρ. Πολ. Μηχ. ΕΜΠ,
Τμήμα Έρευνας & Ανάπτυξης ΛΗ Λογισμική

ΛΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΗ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Αποτίμηση Φέρουσας Τοιχοποιίας

- **Κανονιστικό πλαίσιο**

EC8-3, EC6 (σε ισχύ σήμερα, 2020)

ΚΑΝΕΠΕ, ΚΑΔΕΤ

EC8-3 (2023)

- **FespaT**

Μέθοδος επίλυσης χωρικού πλαισίου

Pushover

Ελαστική ανάλυση με μέθοδο m

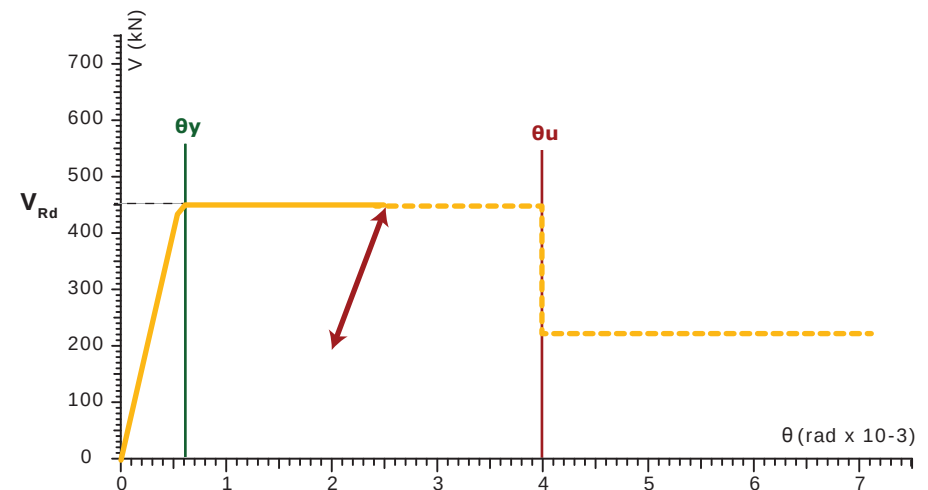
Ελαστική ανάλυση με μέθοδο q

Η ΛΗ Λογισμική, έχει ενσωματώσει όλους τους πιο πάνω κανονισμούς αναπτύσσοντας το νέο πρόγραμμα **FespaT**.

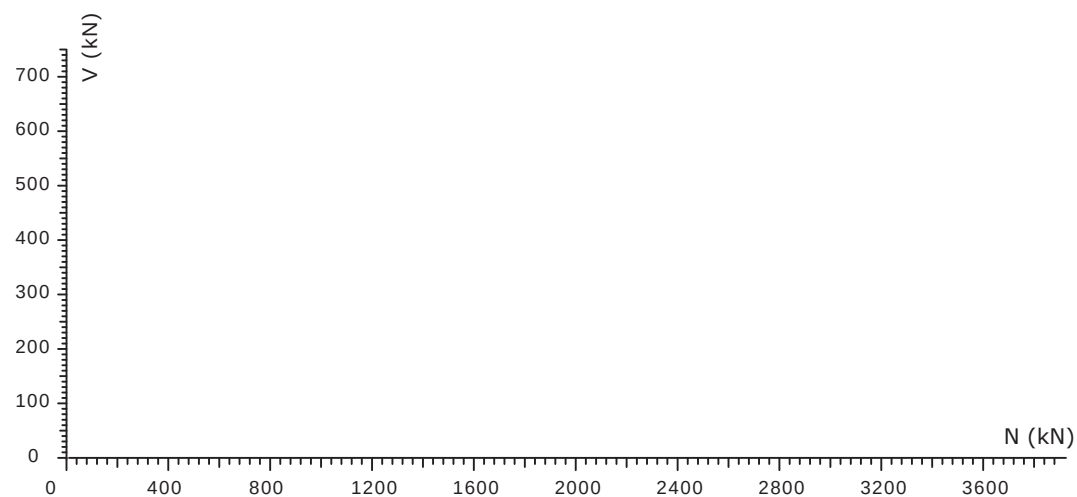
Πλεονεκτήματα και δυνατότητες Fespa^T

Σύντομη περιγραφή του **ειδικού μέλος**
μη γραμμικής ανάλυσης Φέρουσας τοιχοποιίας:

- εκφράζεται σε όρους **$V-\theta_e$**
- διαθέτει την **κατάλληλη ελαστική δυσκαμψία**
- ακολουθεί τον πλαστικό κλάδο έπειτα από τη **διατμητική ελευθέρωση** (shear hinge)
- προσομοιώνει την αστοχία της τοιχοποιίας με **πτώση αντοχής**
- περιγράφει τον σύντομο κλάδο **αποφόρτισης - επαναφόρτισης** (short reversal)

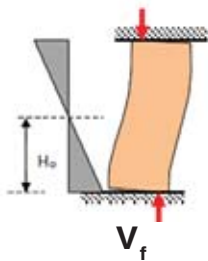
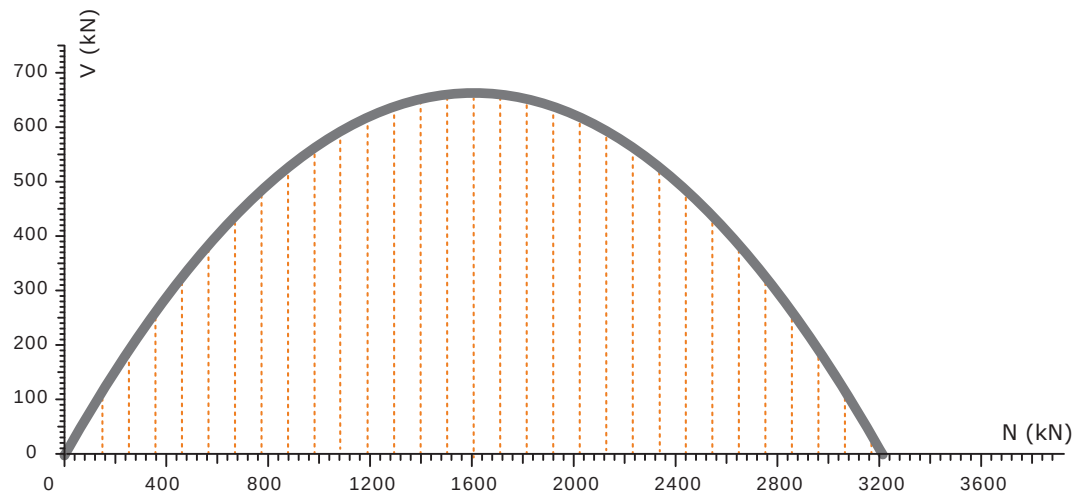


Έλεγχος επάρκειας πεσσού (εντός επιπέδου)



Χώρος αντοχής V-N πεσσοῦ (εντός επιπέδου)

— V_f : καμπτική αστοχία

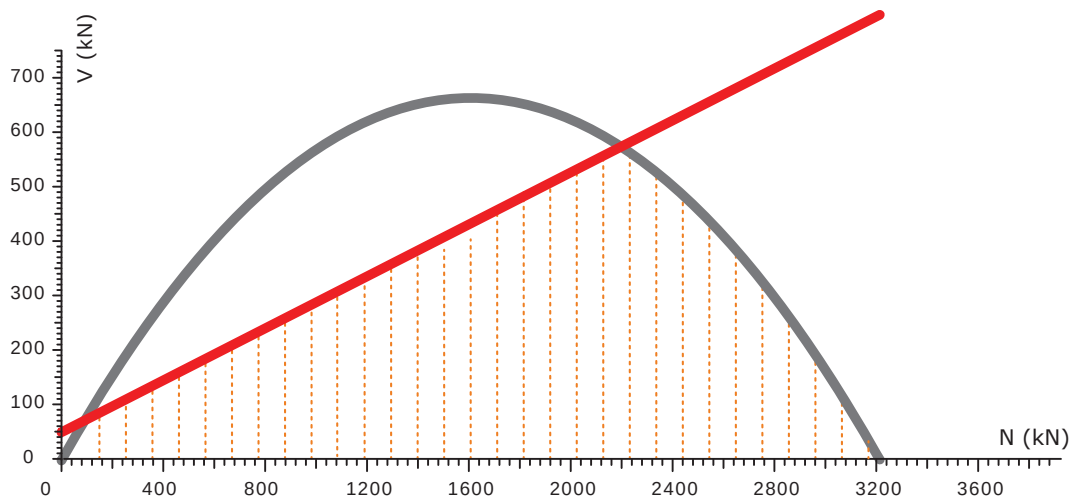


Σε εντός επιπέδου δράση ο πεσσός
ελέγχεται σε 3 μορφές αστοχίας.

1) Καμπτική αστοχία

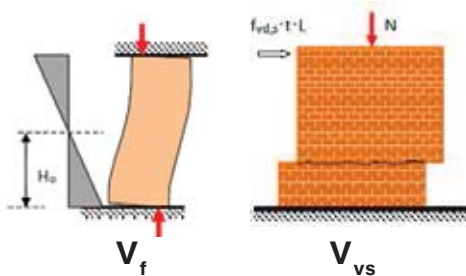
Χώρος αντοχής V-N πεσσού (εντός επιπέδου)

— V_f : καμπτική αστοχία
— V_{vs} : διατμητική ολίσθηση

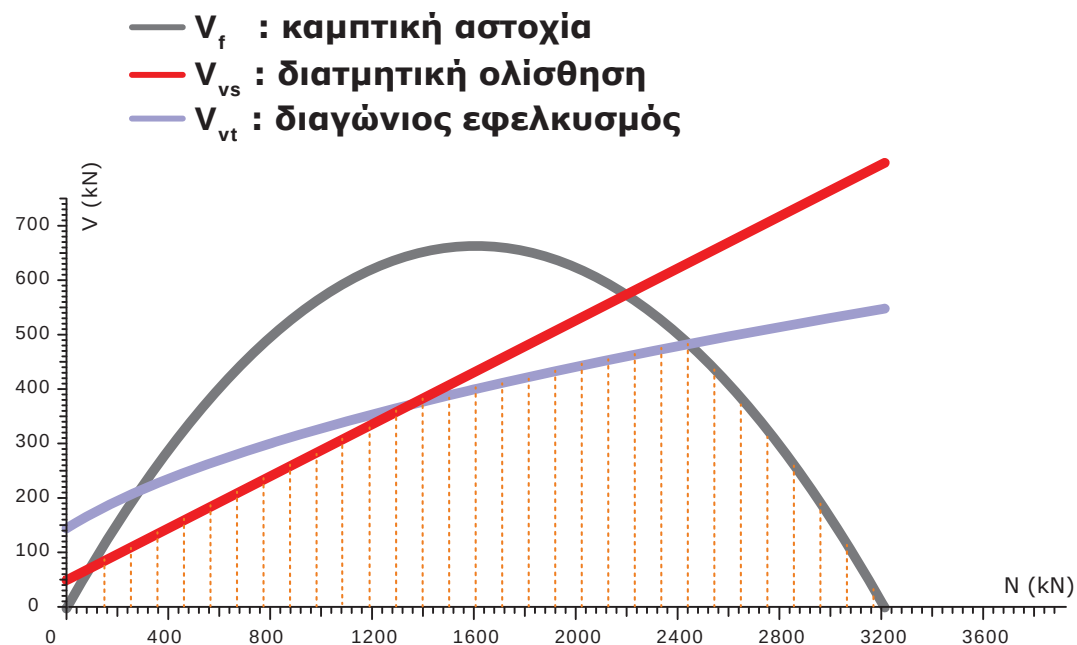


Σε εντός επιπέδου δράση ο πεσσός
ελέγχεται σε 3 μορφές αστοχίας.

**2) Διατμητική αστοχία σε ολίσθηση
κατά μήκος οριζόντιων αρμών**

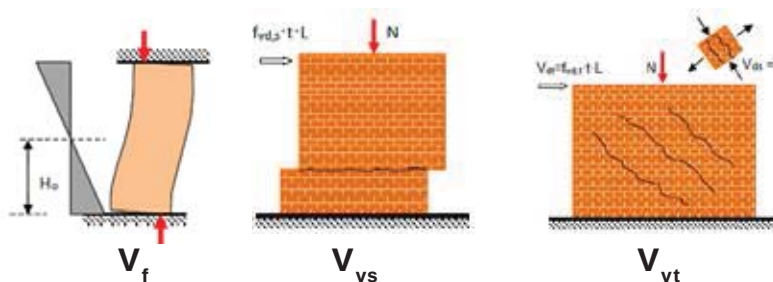


Χώρος αντοχής V-N πεσσού (εντός επιπέδου)

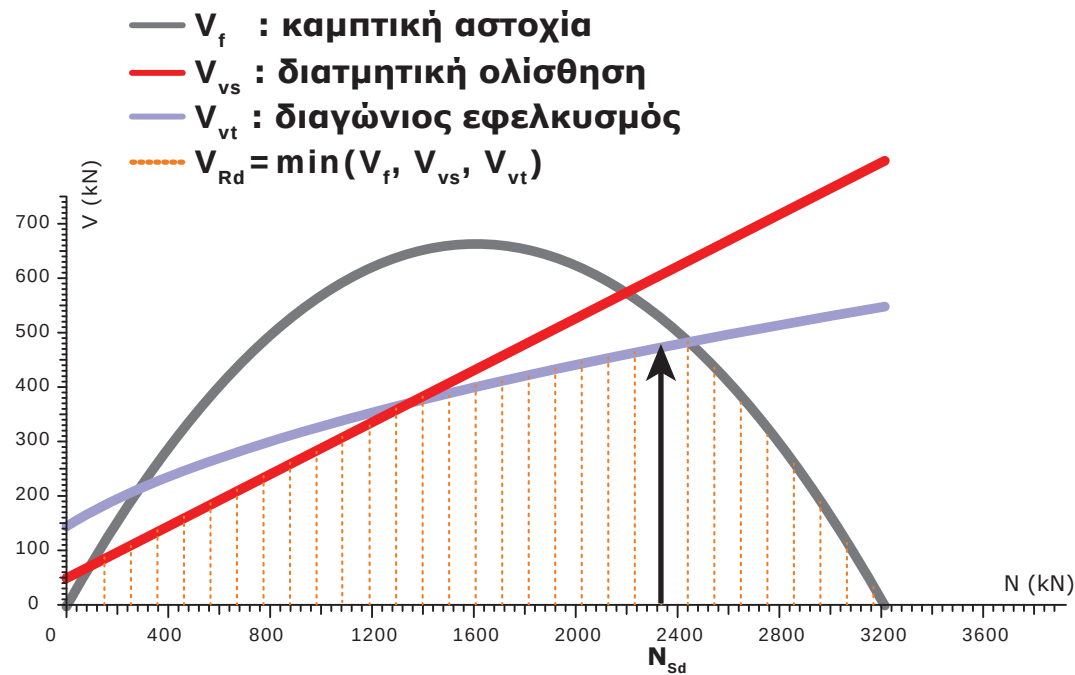


Σε εντός επιπέδου δράση ο πεσσός
ελέγχεται σε 3 μορφές αστοχίας.

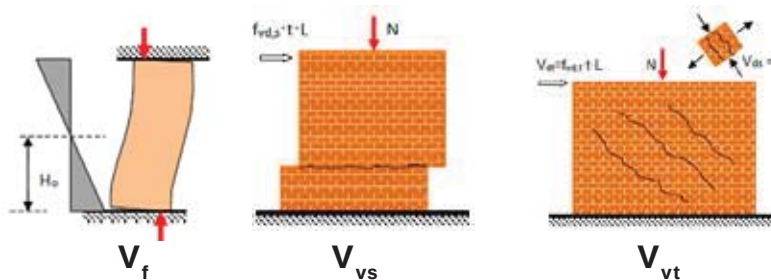
**3) Διατμητική αστοχία λόγω
διαγώνιας ρηγμάτωσης**



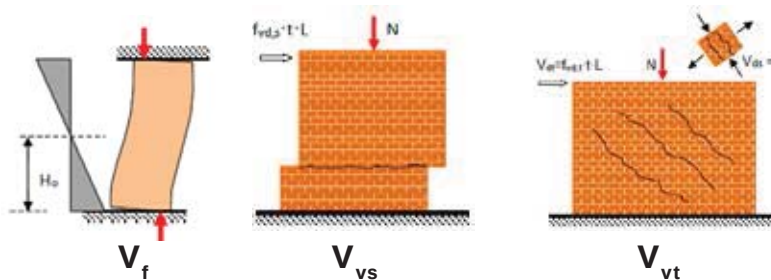
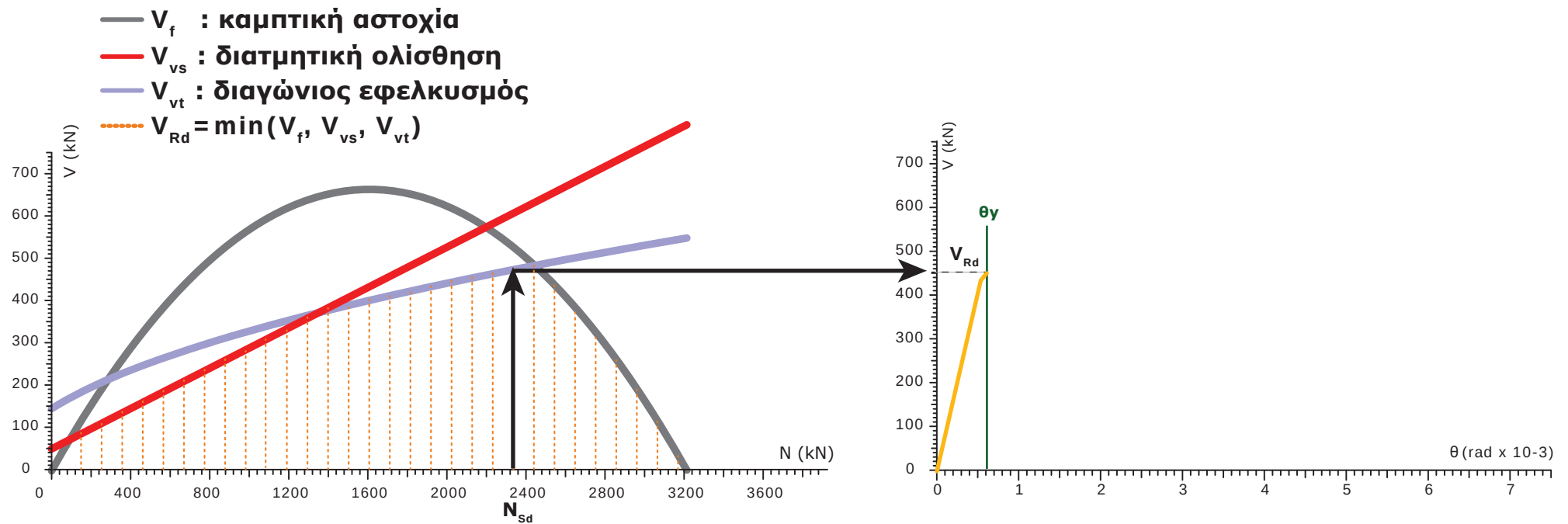
Χώρος αντοχής V-N πεσσοῦ (εντός επιπέδου)



Η αντοχή διαρροής V_{Rd} του πεσσοῦ ορίζεται ως η ελάχιστη αντοχή των τριών μηχανισμών αστοχίας για το δεδομένο αξονικό της ανάλυσης N_{Sd}

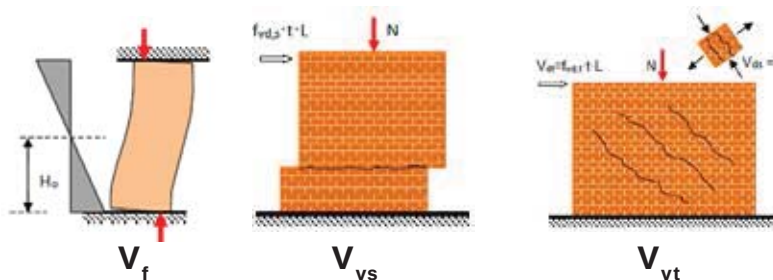
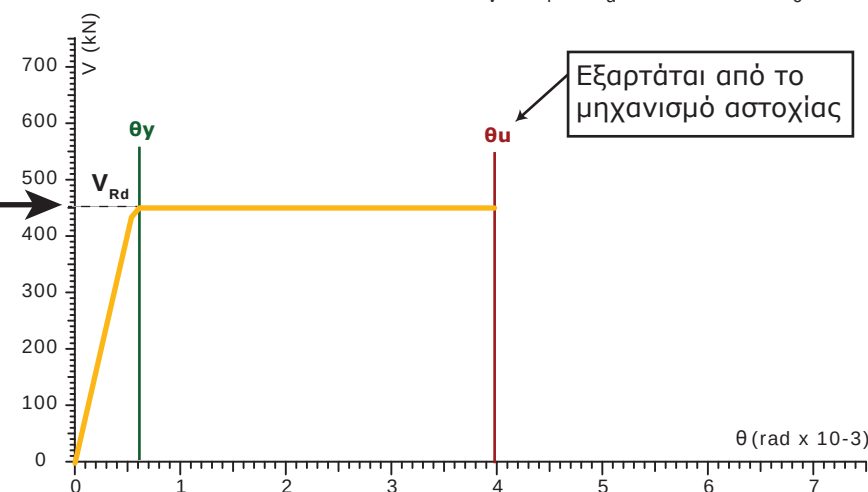
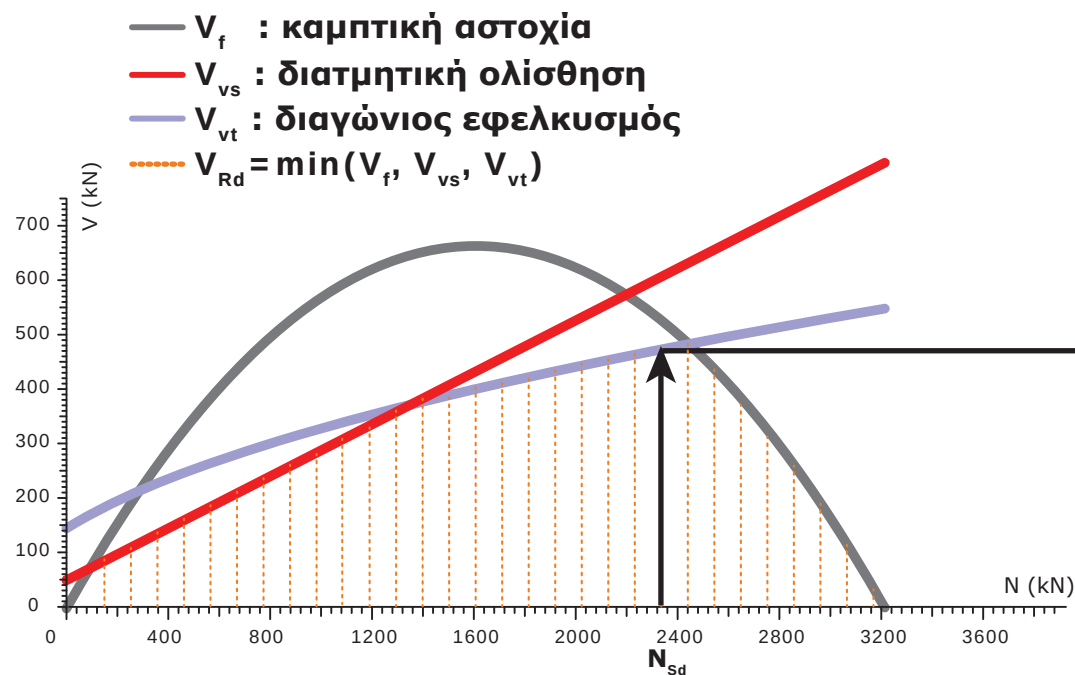


Σκελετικό διάγραμμα V-θ πεσμού (εντός επιπέδου)



Τη στιγμή της διαρροής V_{Rd}
η γωνία στροφής χορδής είναι θ_y .

Σκελετικό διάγραμμα V-θ πεσσού (εντός επιπέδου)



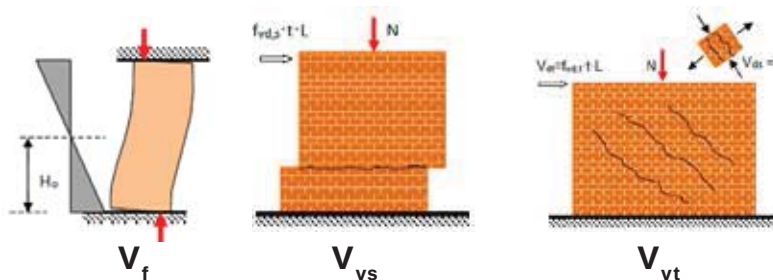
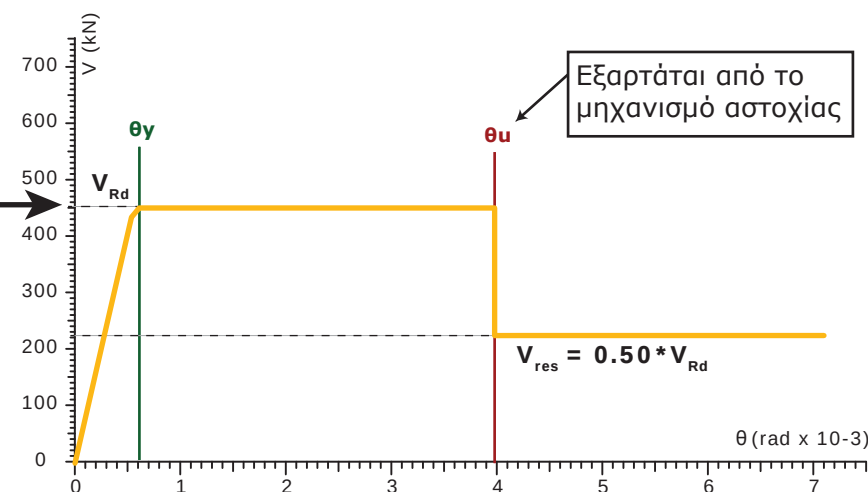
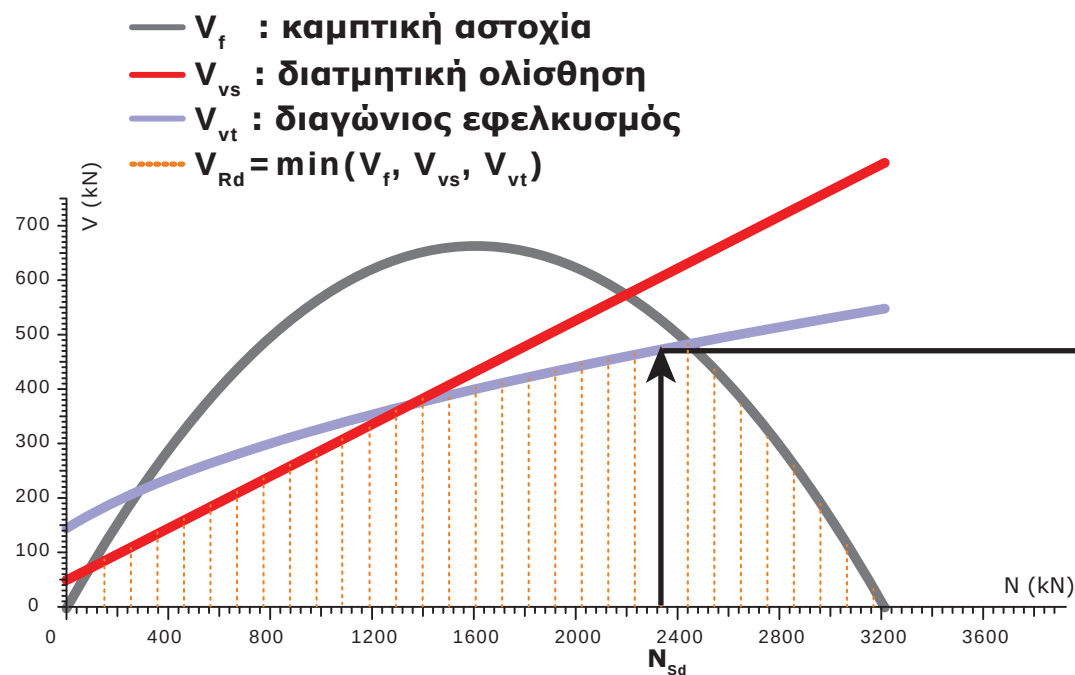
Μετά τη διαρροή ο πεσσός συνεχίζει να παραμορφώνεται στην **πλαστική περιοχή** έως ότου η γωνία στροφής χορδής του λάβει την οριακή τιμή θ_u .

Σκελετικό διάγραμμα V-θ πεσσού (εντός επιπέδου)

Πρωτεύοντες τοίχοι

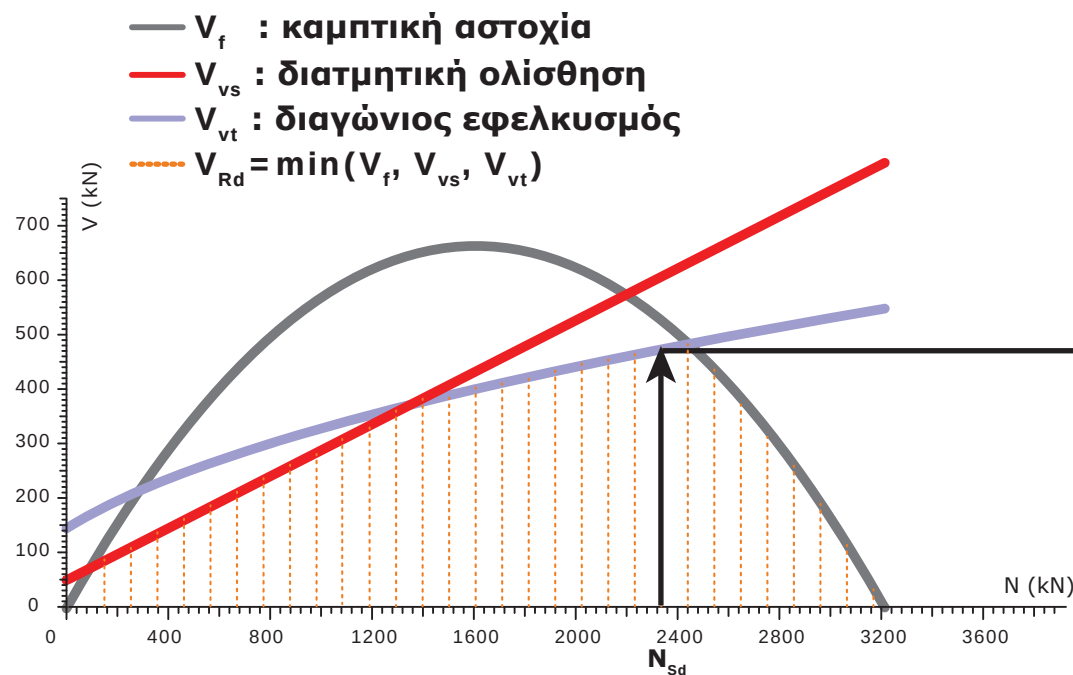
$$V_v < V_f : \theta_u = 0.004$$

$$V_v > V_f : \theta_u = 0.008 \cdot H_0/L$$

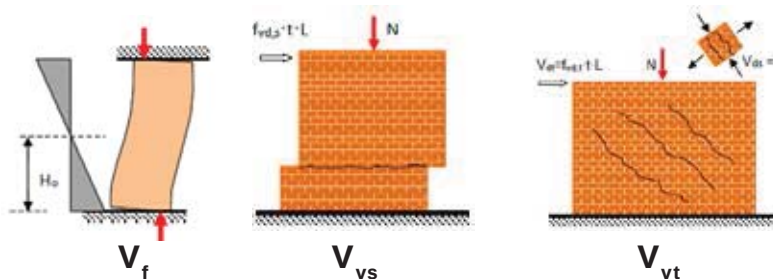
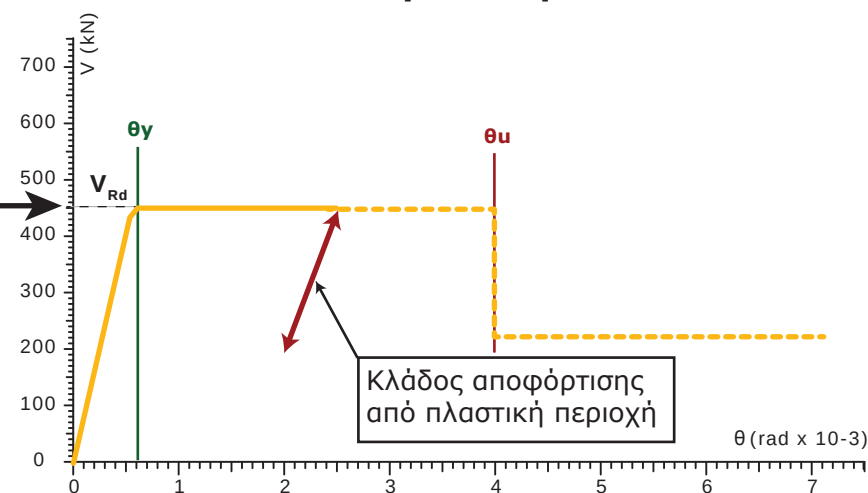


Στη συνέχεια ο πεσσός αστοχεί εντελώς και χάνει το 50% της ικανότητας ανάληψης δύναμης.

Σκελετικό διάγραμμα V-θ πεσσού (εντός επιπέδου) - Αποφόρτιση/Επαναφόρτιση

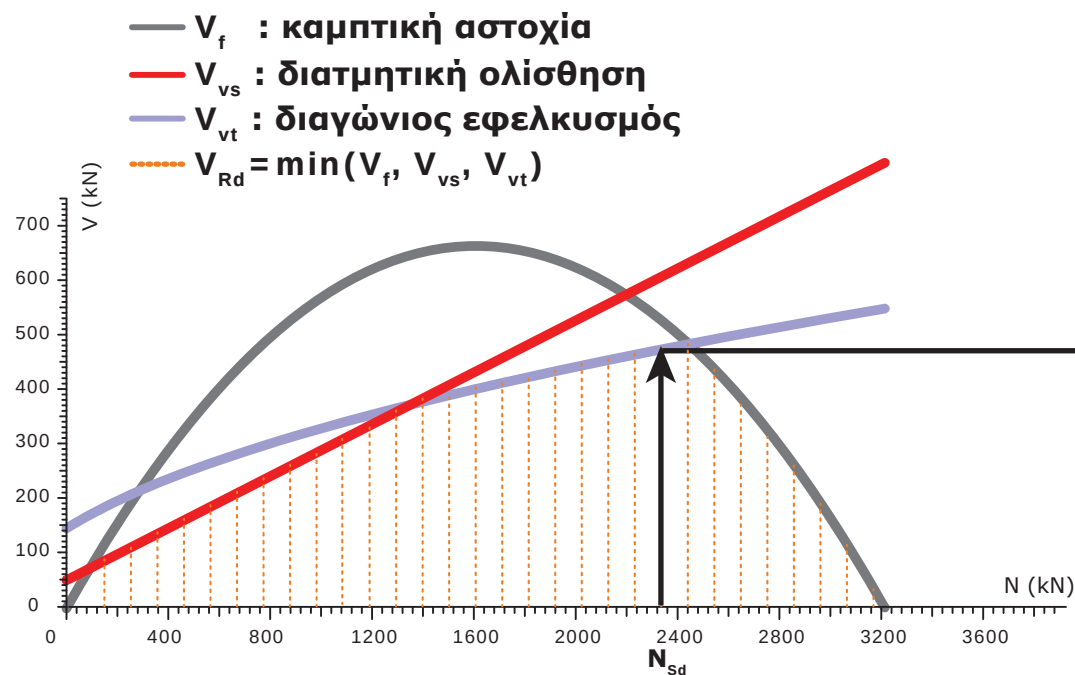


Β περίπτωση



Λόγω των έντονων ανακατανομών έντασης, ο πεσσός ενδέχεται να αποφορτιστεί. Δημιουργείται έτσι ένας σύντομος **κλάδος αποφόρτισης - επαναφόρτισης**

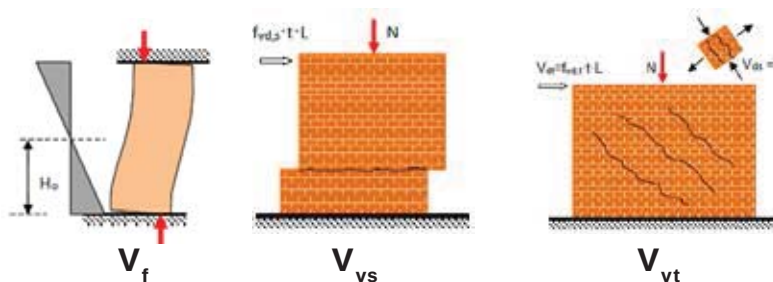
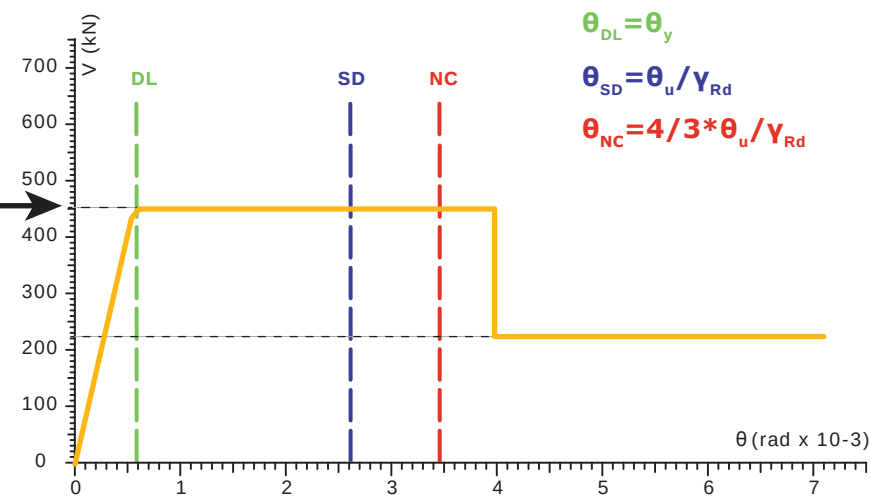
Σκελετικό διάγραμμα V-θ πεσμού (εντός επιπέδου) - Στάθμες επιτελεστικότητας



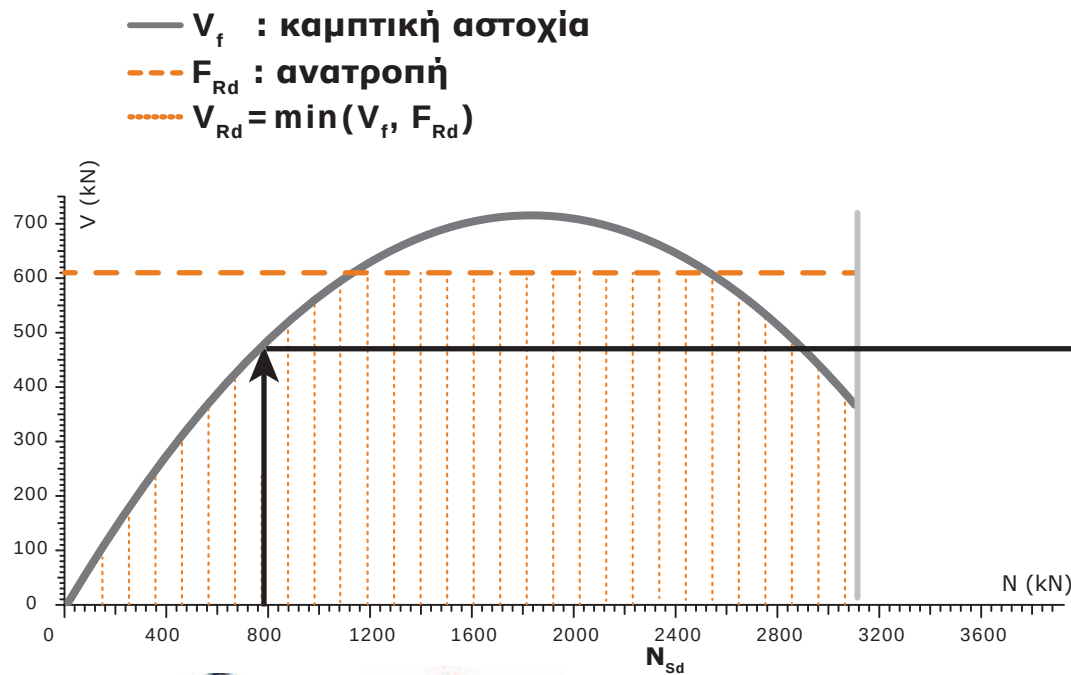
Πρωτεύοντες τοίχοι

$$V_v < V_f : \theta_u = 0.004$$

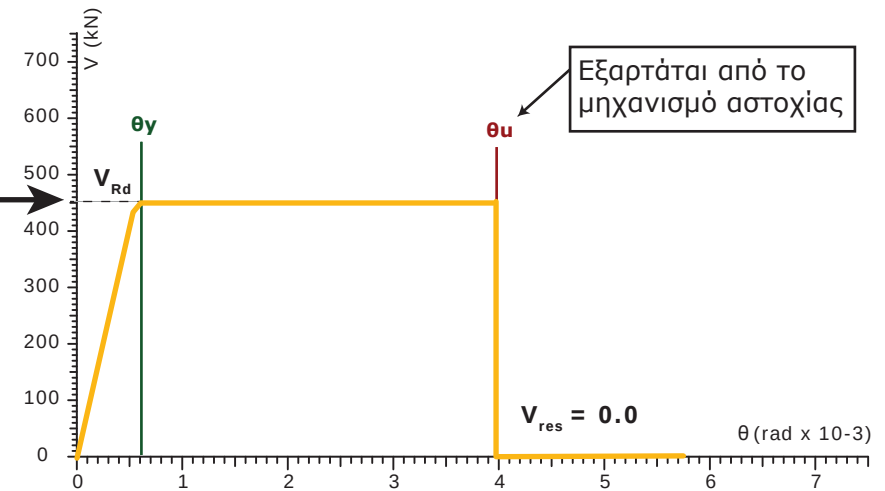
$$V_v > V_f : \theta_u = 0.008 * H_0 / L$$



Σκελετικό διάγραμμα V-θ πεσσοῦ (εκτός επιπέδου)

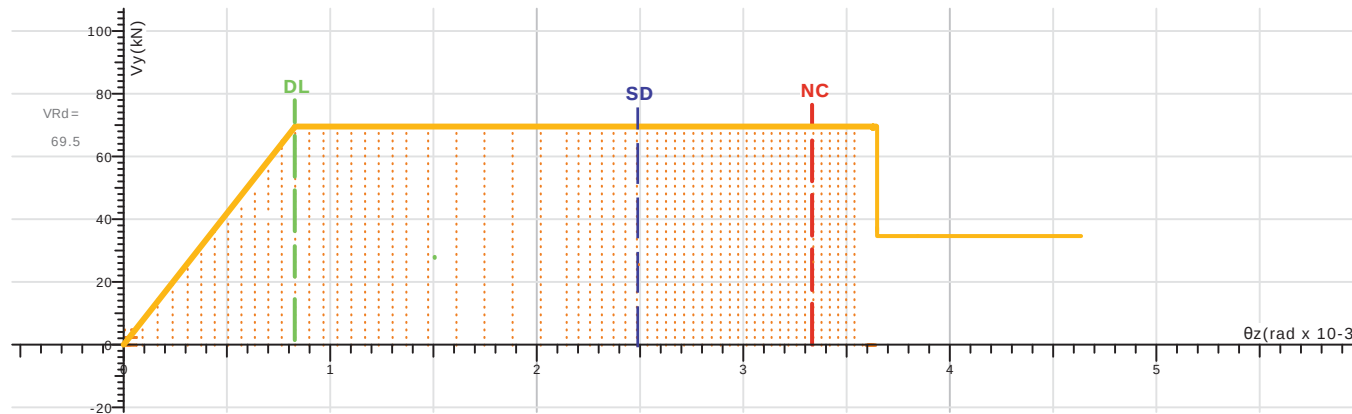


$$\theta_u = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.003 \cdot H_0 / t \\ t / H_0 \cdot (1 - V_{Rd} / F_{Rd}) \end{array} \right.$$



Έλεγχος εκτός επιπέδου σε **κάμψη** κατά μήκος των οριζόντιων αρμών και σε **ανατροπή** στο μέσον του πεσσοῦ.
 Κατά την παραμόρφωση εκτός επιπέδου ο πεσσός αστοχεί εντελώς ($V_{res} = 0$)

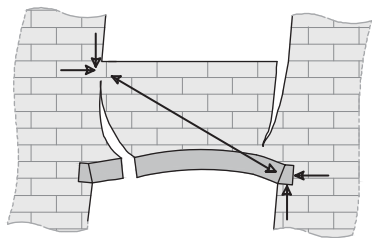
Σκελετικό διάγραμμα V-θ υπερθύρου



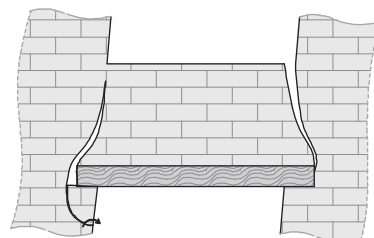
Ανελαστική συμπεριφορά

Με/χωρίς ανώφλι

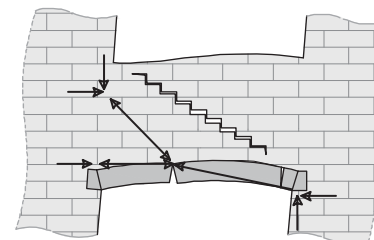
Έλεγχος σε κάμψη - διάτμηση



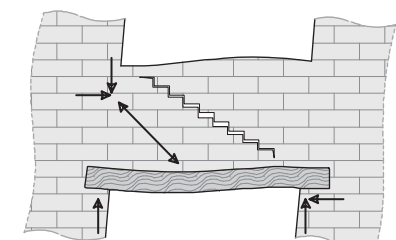
Έλεγχος σε κάμψη
χωρίς ανώφλι



Έλεγχος σε κάμψη
με ανώφλι

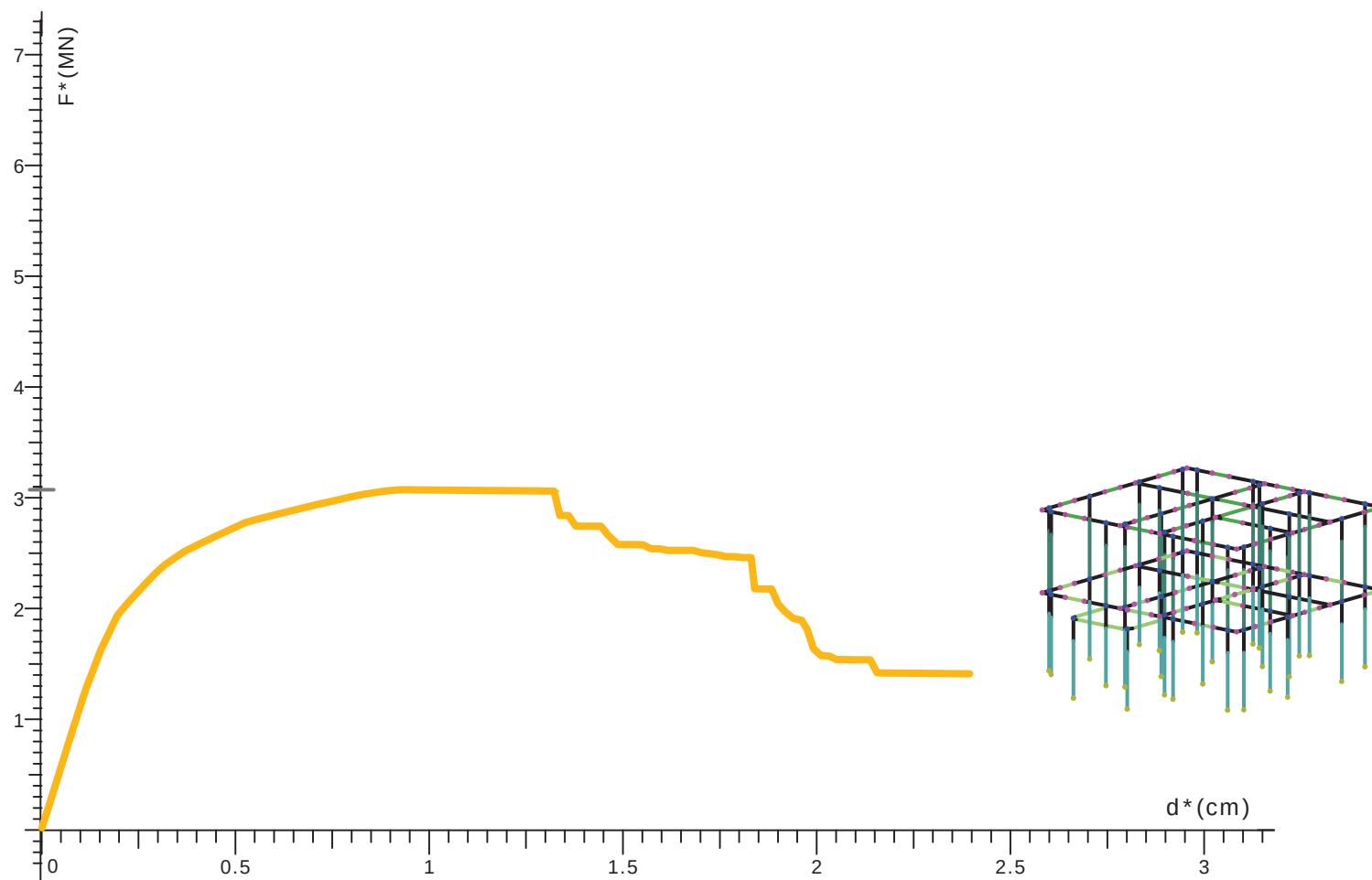


Έλεγχος σε διάτμηση
χωρίς ανώφλι

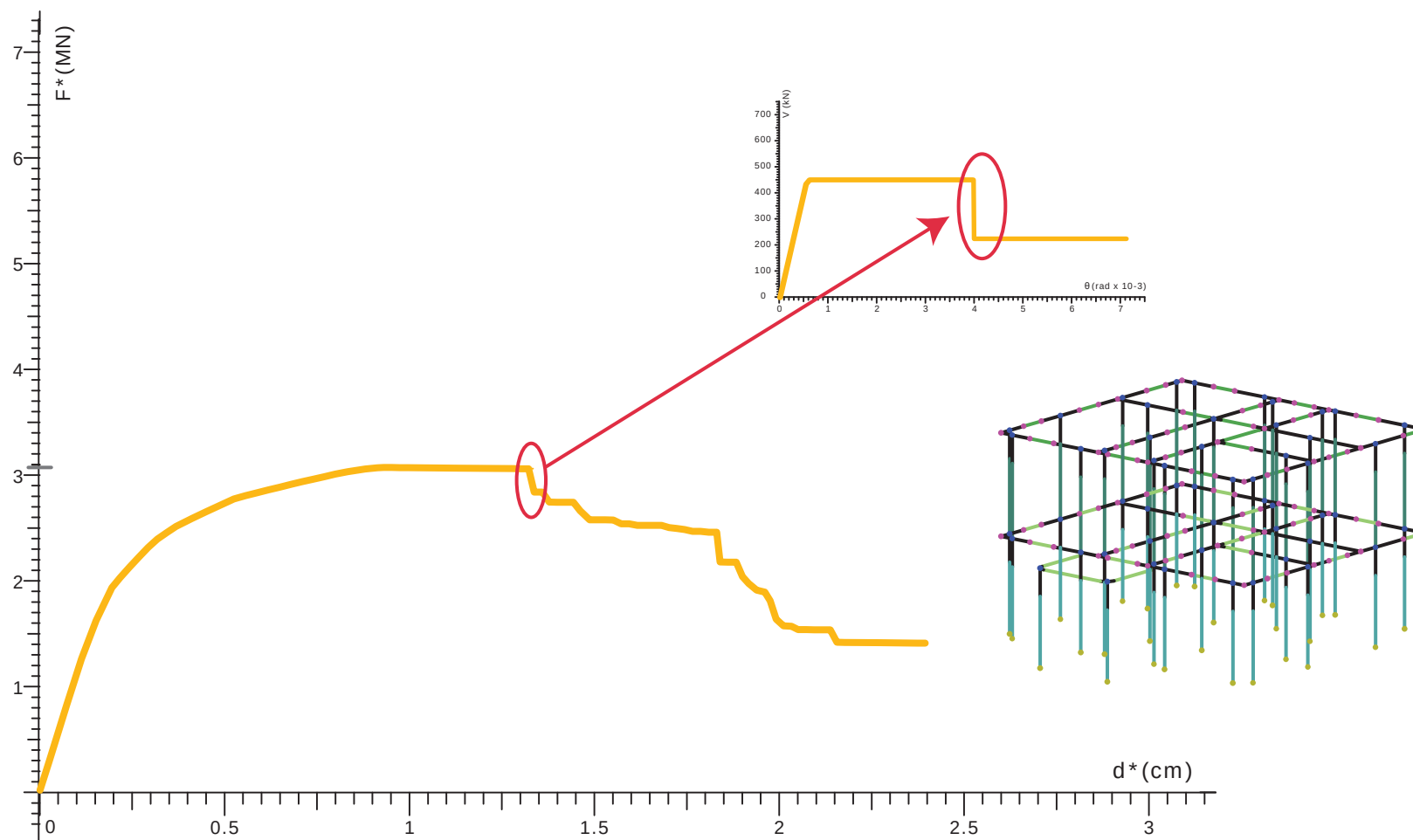


Έλεγχος σε διάτμηση
με ανώφλι

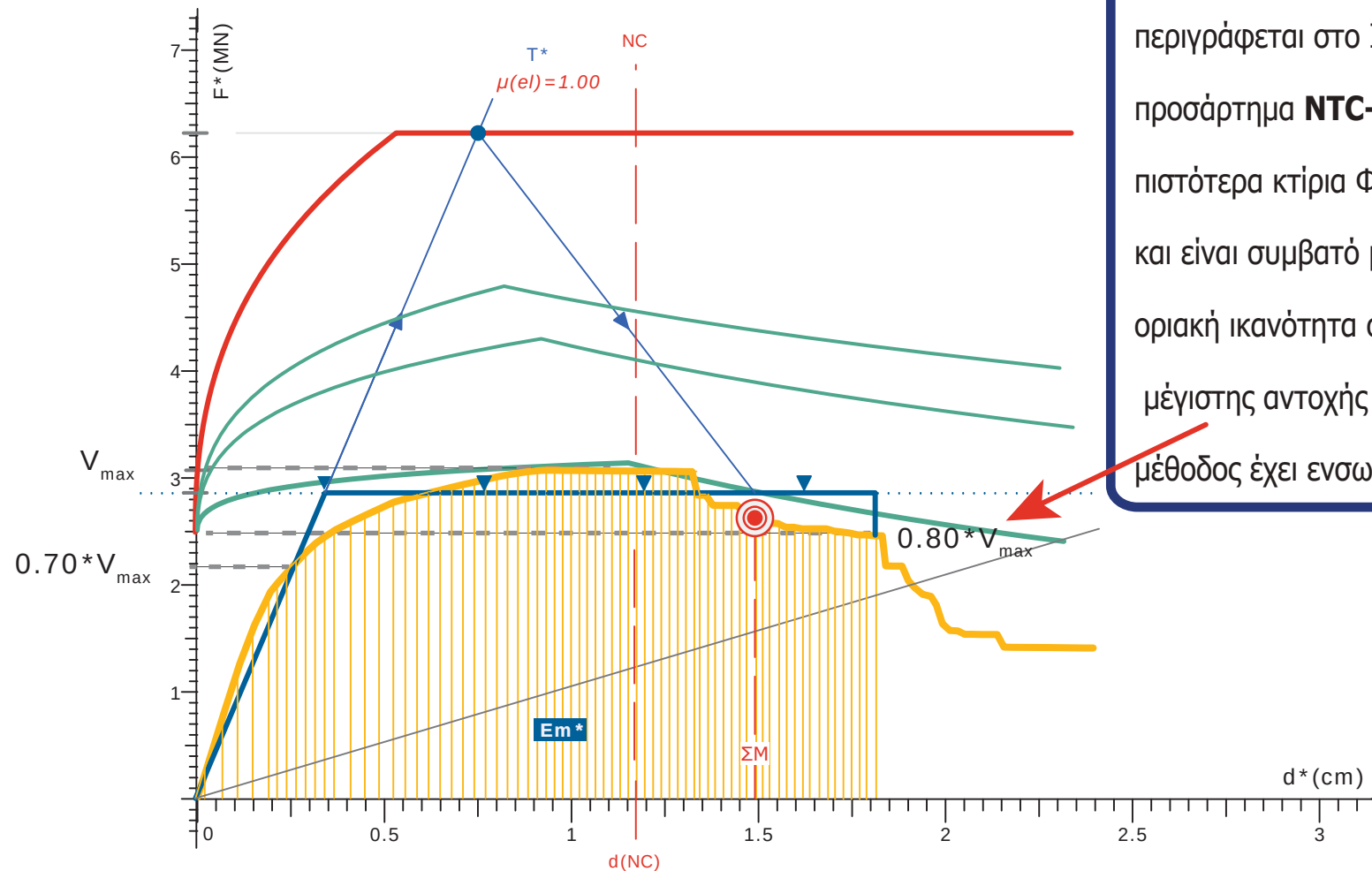
Καμπύλη ικανότητας κτιρίου - πτωτικοί κλάδοι



Καμπύλη ικανότητας κτιρίου - πτωτικοί κλάδοι

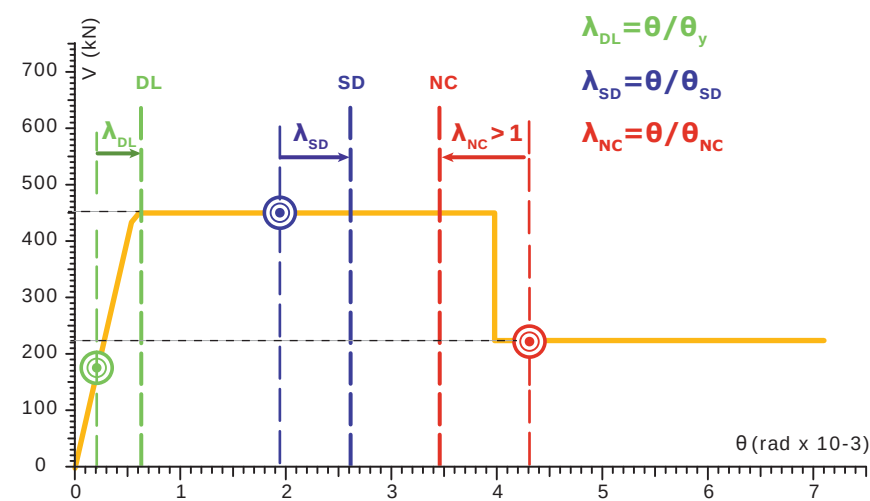
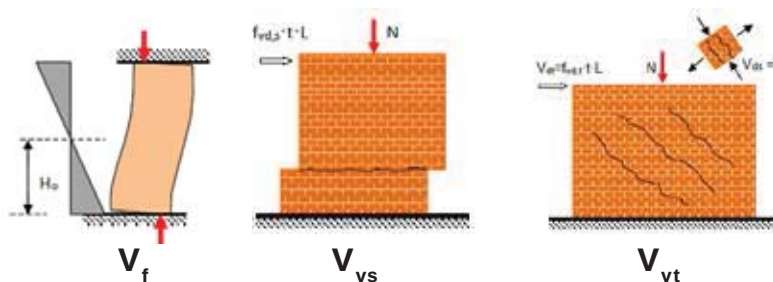
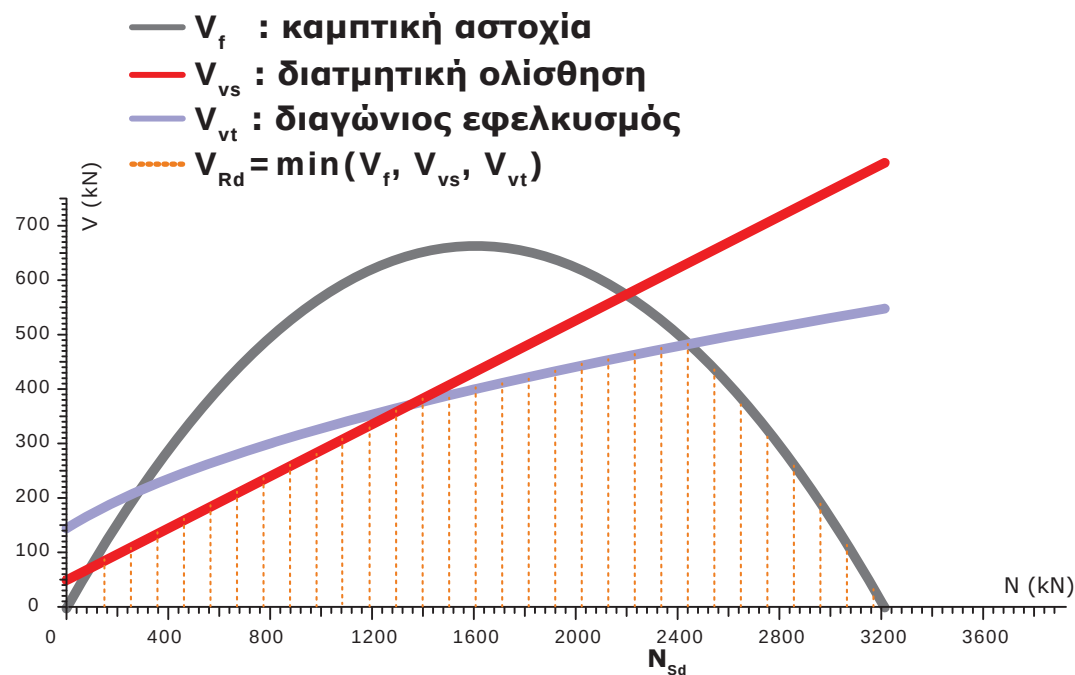


Στοχευόμενη μετακίνηση (FespaT → Διαγράμματα απαίτησης - ικανότητας → Στάθμη NC)



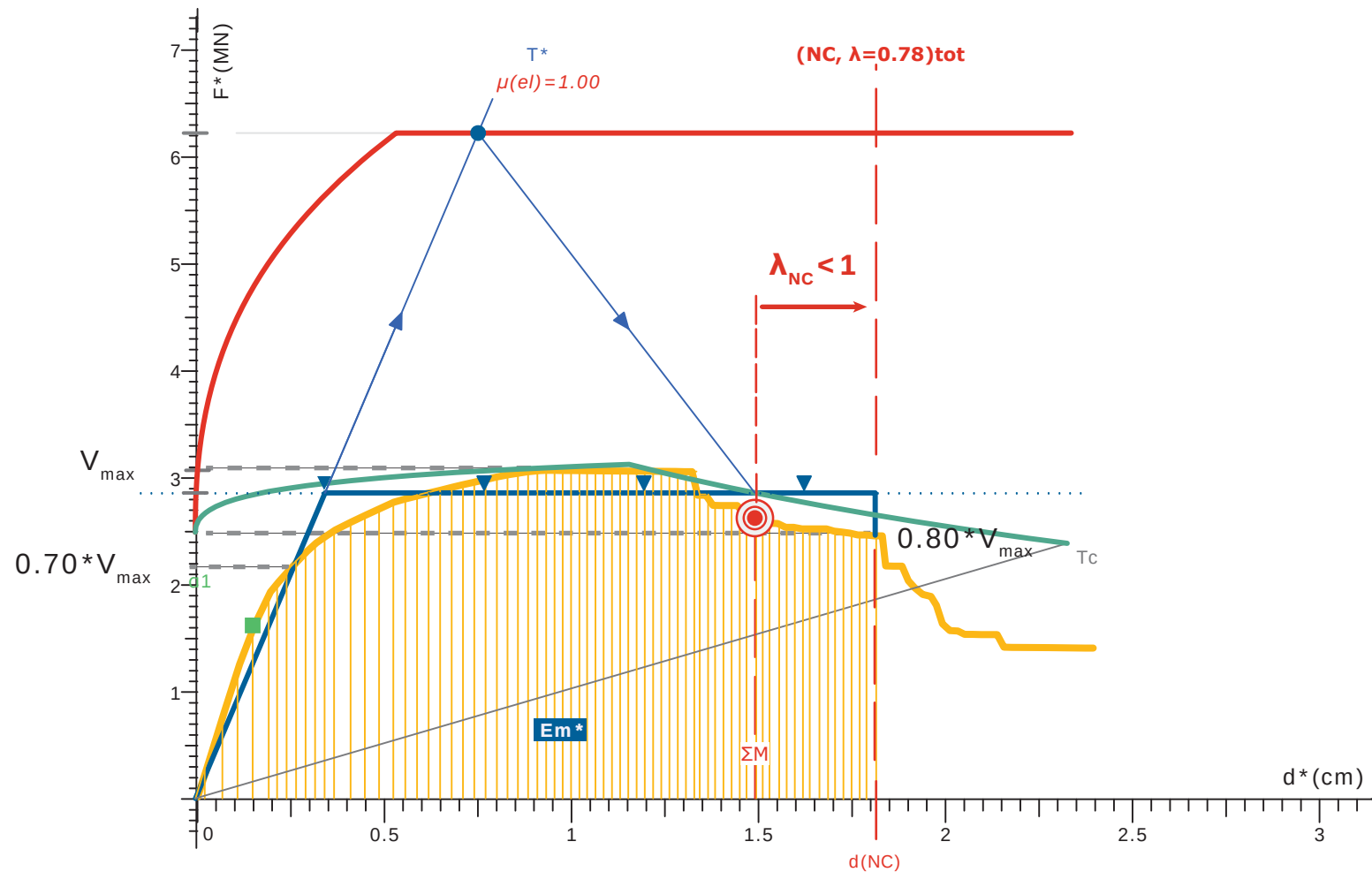
Η διγραμμικοποίηση, όπως περιγράφεται στο Ιταλικό εθνικό προσάρτημα **NTC-18** προσεγγίζει πιστότερα κτίρια Φέρουσας Τοιχοποιίας και είναι συμβατό με τον EC8-3 που η οριακή ικανότητα ορίζεται στο 80% της μέγιστης αντοχής V_{max} . Η ακριβής αυτή μέθοδος έχει ενσωματωθεί στο FespaT.

Τοπικοί έλεγχοι επάρκειας λ_i (FespaT → Αποτίμηση μελών → Pushover, Φ. Τοιχοποιίας)

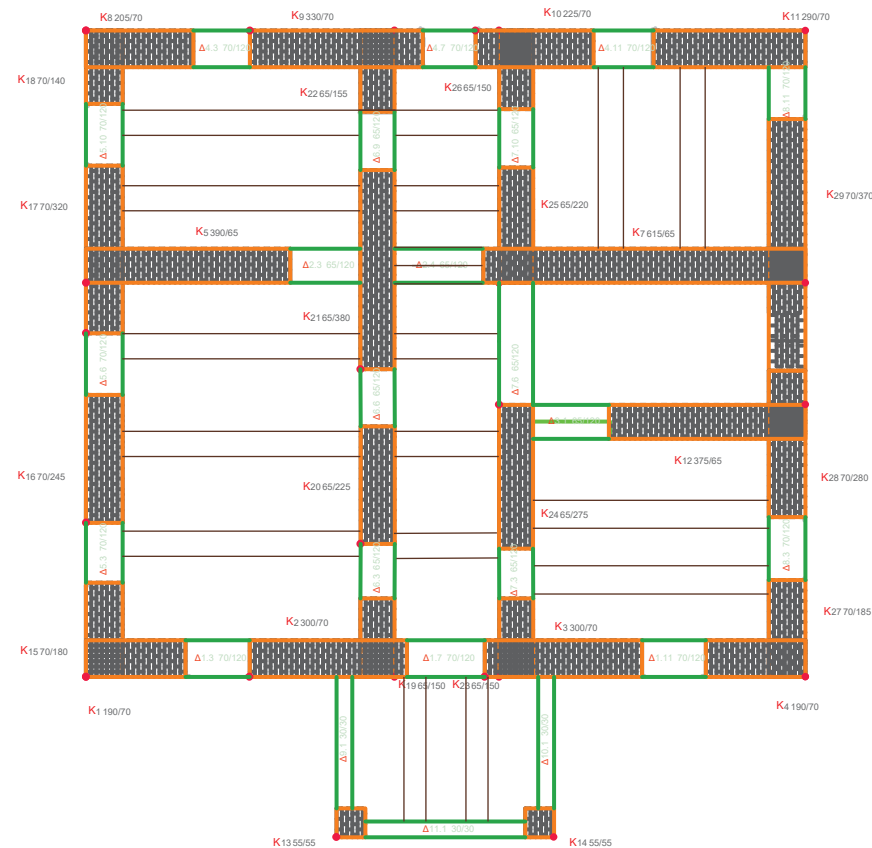


Έπειτα, με βάση τις γωνίες στροφής
χορδής θ που επιδρούν στα μέλη
τη στιγμή της στοχευόμενης
μετακίνησης, ορίζονται οι **λόγοι**
ανεπάρκειας λ_i για κάθε στάθμη.

Συνολικοί έλεγχοι επάρκειας (EC8-3) (Fespa^T → Διαγράμματα απαίτησης - ικανότητας)

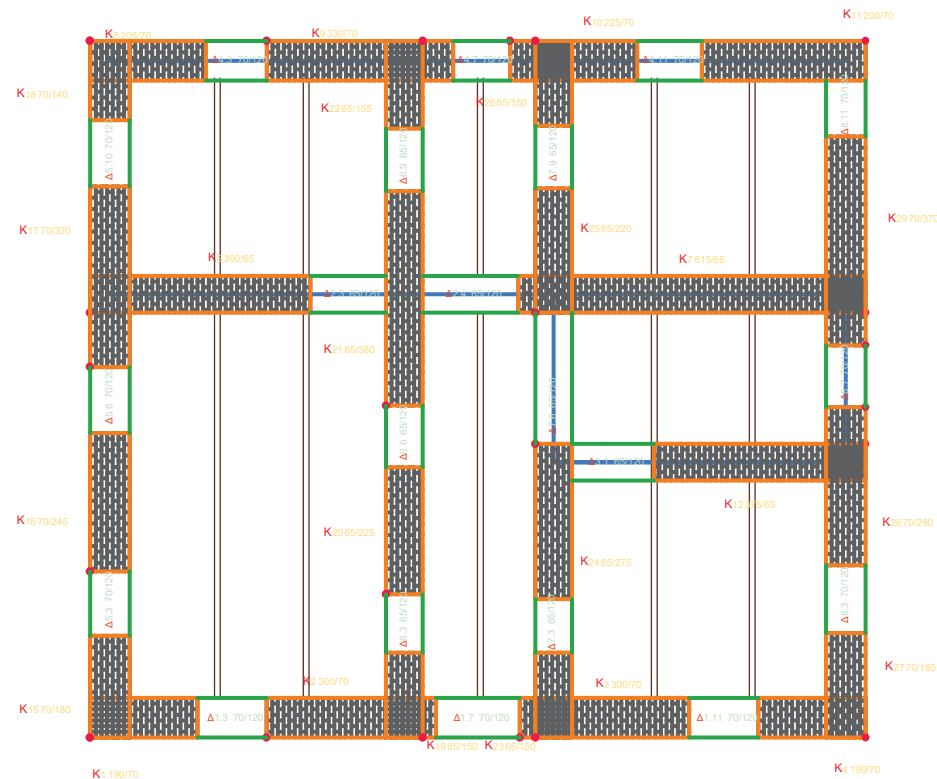
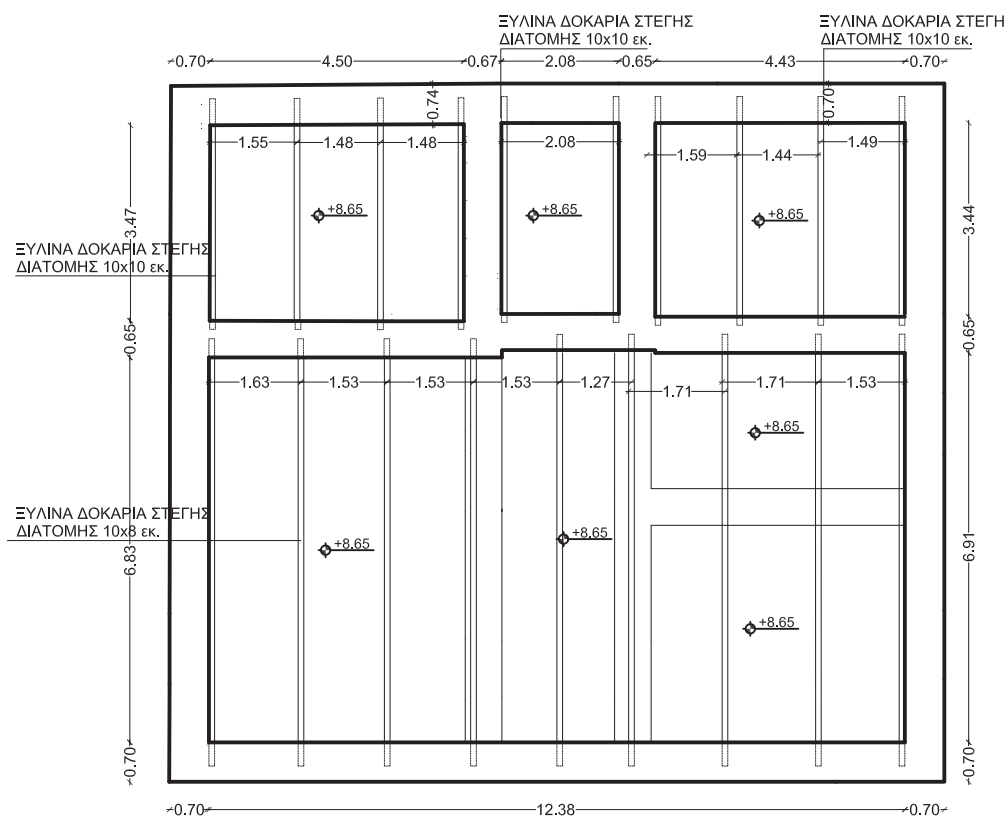


1ος Όροφος

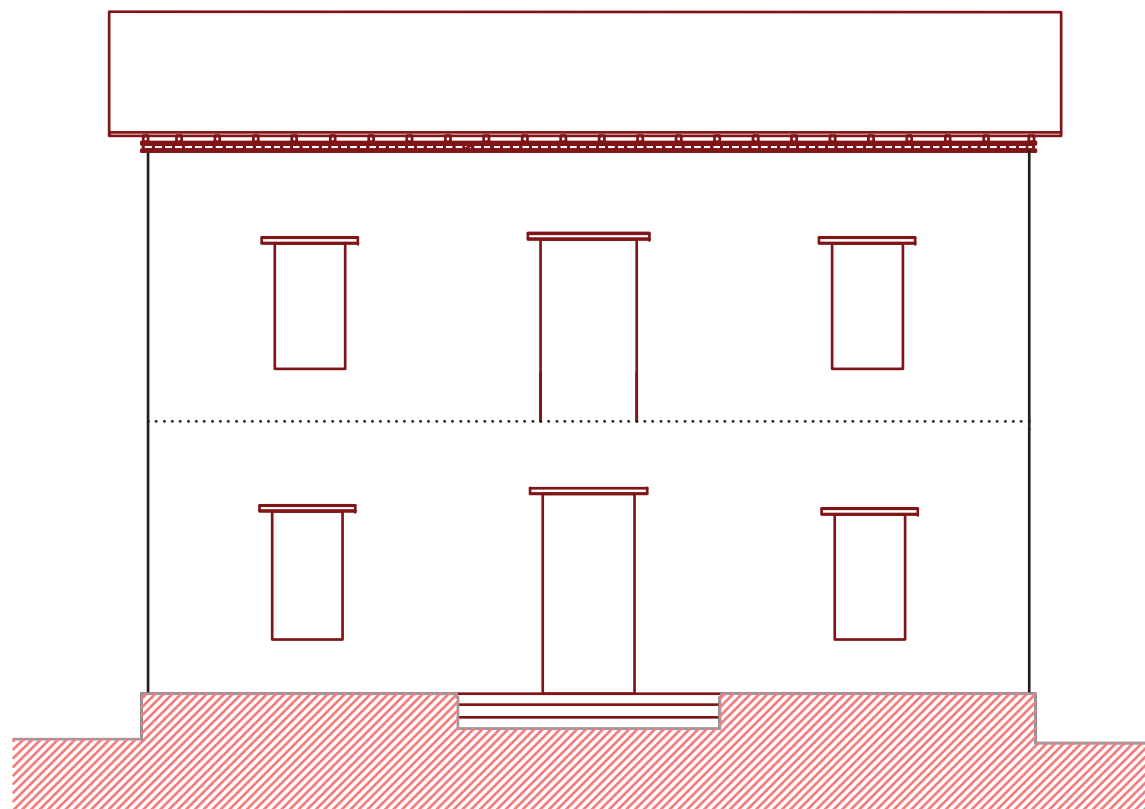


Παράδειγμα: 2όροφο κτίριο από φέρουσα τοιχοποιία

2ος Όροφος

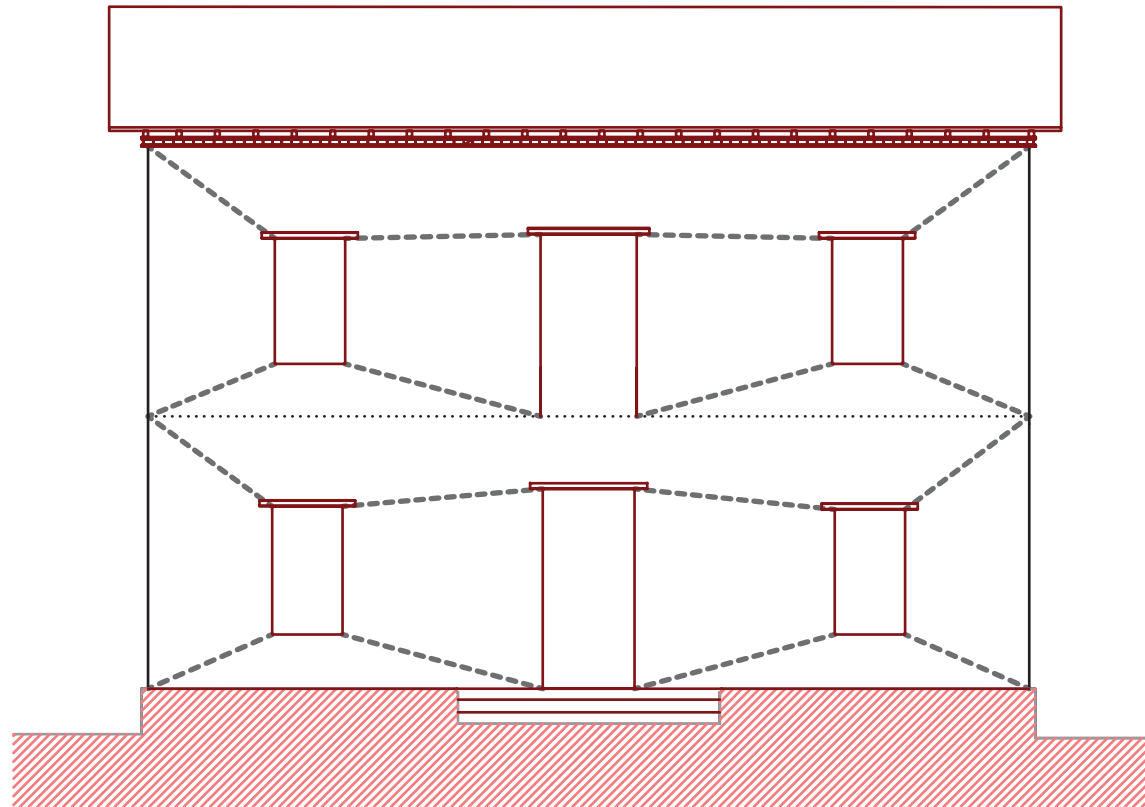


Υπολογιστικό προσομοίωμα ισοδύναμου πλαισίου

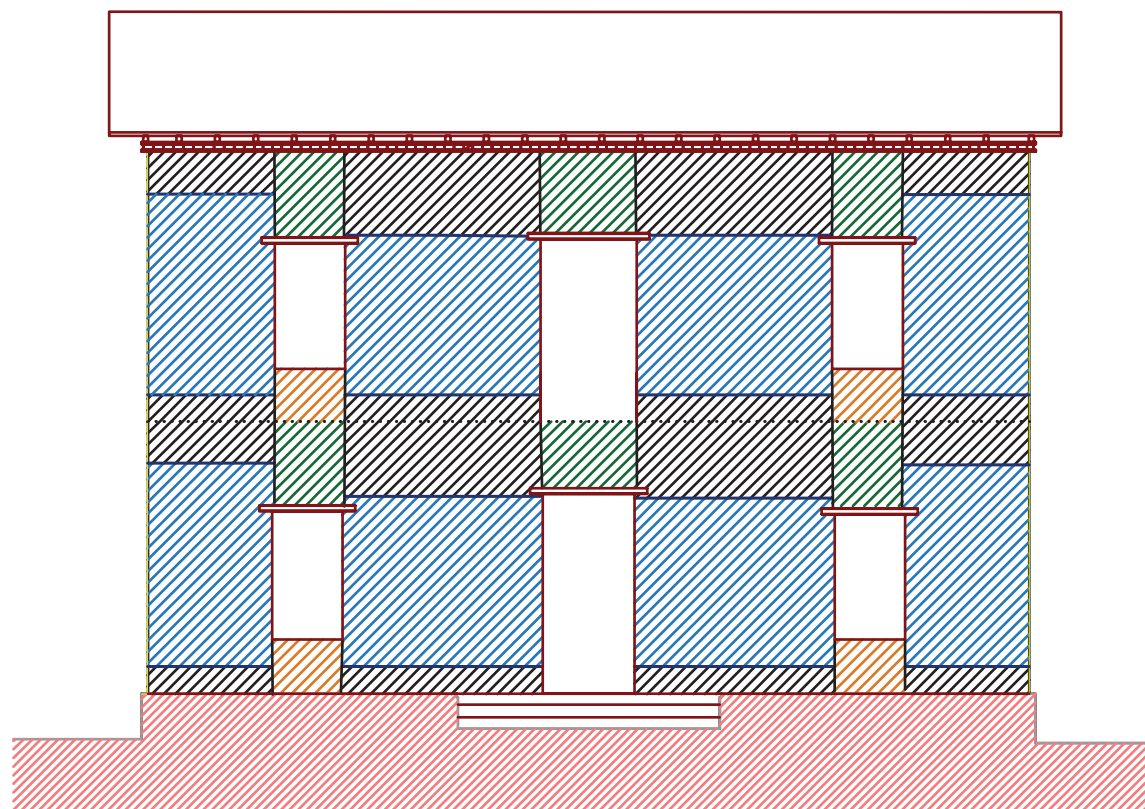


Υπολογιστικό προσομοίωμα ισοδύναμου πλαισίου

Κανόνες διαχωρισμού πεσών - υπερθύρων - δύσκαμπτων περιοχών αυτόματα από το FespaT
ΚΑΔΕΤ §5.3.3.3.



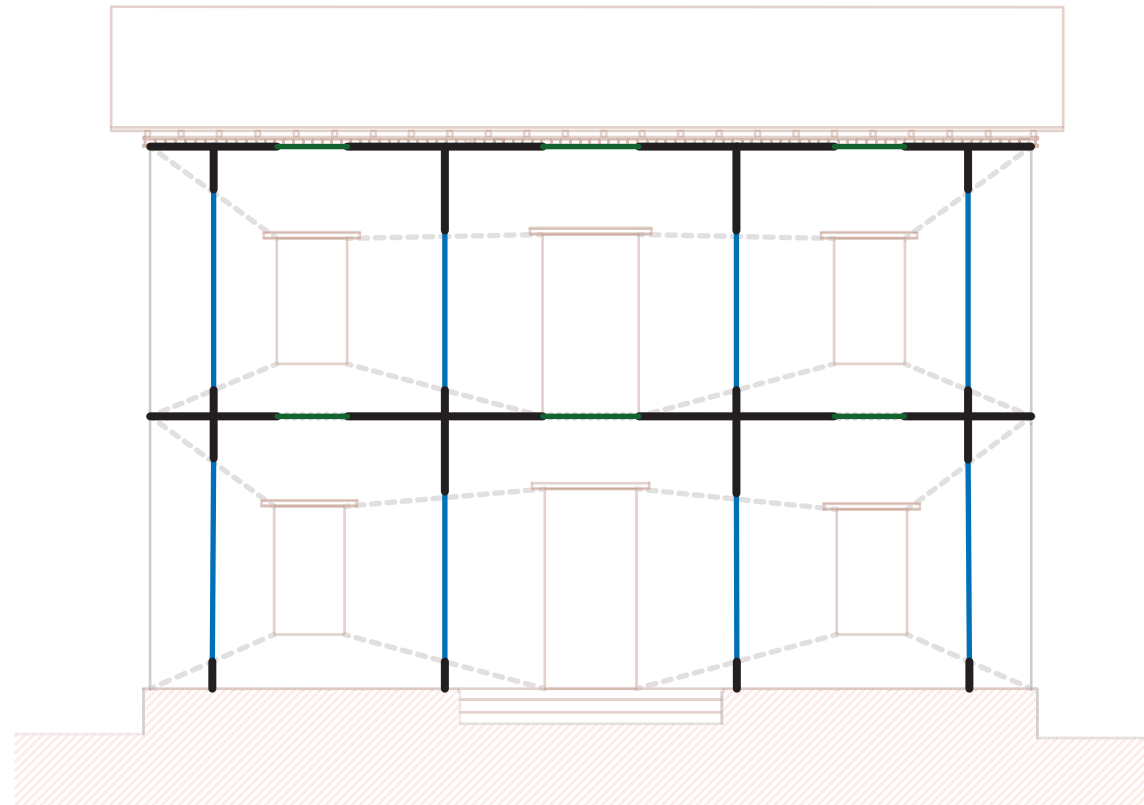
Υπολογιστικό προσομοίωμα ισοδύναμου πλαισίου



-  **Πεσσοί**
-  **Υπέρθυρα**
-  **Ποδιές**
-  **Δύσκαμπτες ζώνες**

Υπολογιστικό προσομοίωμα ισοδύναμου πλαισίου

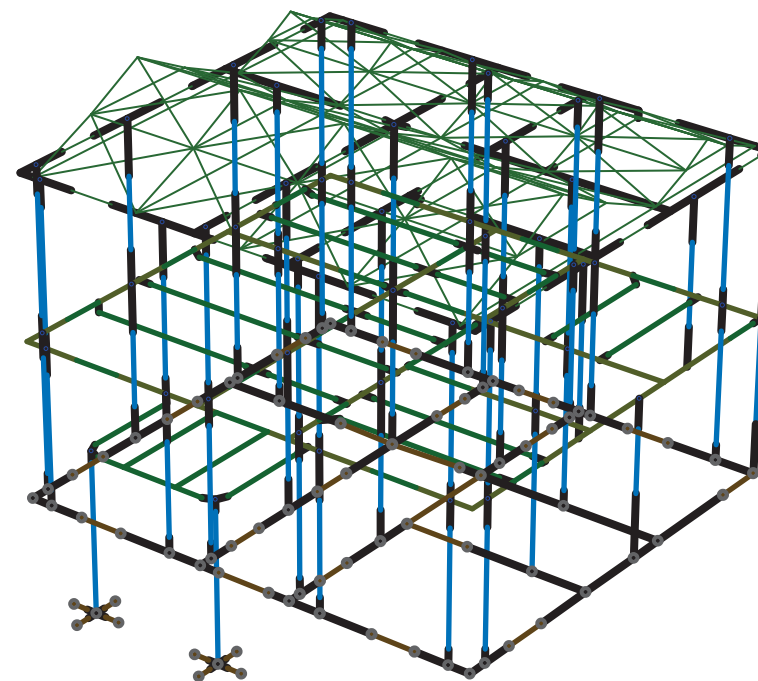
Κανόνες διαχωρισμού πεσσών - υπερθύρων - δύσκαμπτων περιοχών αυτόματα από το FespaT,
Τελικό αποτέλεσμα



- Πεσσοί
- Υπέρθυρα
- Δύσκαμπτες ζώνες

Υπολογιστικό προσομοίωμα ισοδύναμου πλαισίου

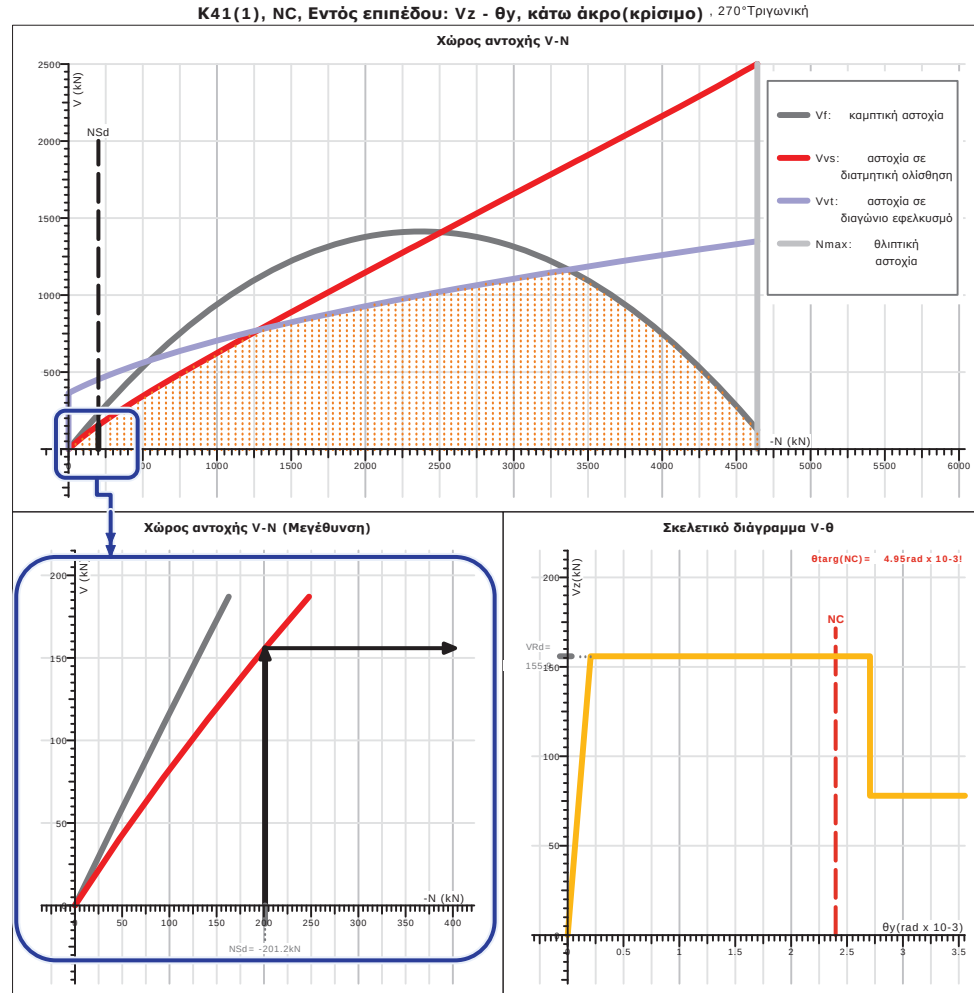
Υπολογιστικό προσομοίωμα 3DV



Ανάλυση Pushover (3DV) - κόμβος σύγκλισης (γαλάζιο χρώμα)



Ανάλυση Pushover (Αναλυτική εκτύπωση πεσσοῦ, ὅπως τυπώνεται στο Τεύχος του FespaT)



Παρουσιάζεται η τεκμηρίωση του ελέγχου επάρκειας του πεσσοῦ τόσο γραφικά ὅσο και αναλυτικά παραθέτοντας το τυπολόγιο του ΚΑΔΕΤ και του EC8-3.

Αντοχή - ικανότητα παραμόρφωσης τοιχοποιίας

Στη διαρροή: $N_{Sd} = -201.2 \text{ kN}$, $V_{Rd} = 155.9 \text{ kN}$

$$V_{Rd} = \min(V_f, V_{vt}, V_{vs}) = V_{vs} = 155.9 \text{ kN}$$

$$\rightarrow V_f = \frac{L \cdot N}{2 \cdot H_{021}} \cdot (1 - 1.15 \cdot v_d) \cdot r_{Rd} = 229.4 \text{ kN} \quad [\text{ΚΑΔΕΤ, (7.2β)}]$$

$$\rightarrow V_{vt} = \sqrt{f_{wt} \cdot (f_{wt} + v_d \cdot f_d)} \cdot L \cdot t \cdot r_{Rd} = 453.6 \text{ kN} \quad [\text{ΚΑΔΕΤ, (Σ7.2)}]$$

$$\rightarrow V_{vs} = \min(0.5 \cdot f_{vm0} \cdot L' \cdot t + \mu \cdot N, 0.045 \cdot f_d \cdot L' \cdot t) \cdot r_{Rd} = 155.9 \text{ kN} \quad [\text{ΚΑΔΕΤ, (7.3β)}]$$

$$\lambda_{NC} = \frac{\theta_{NC, \text{targ}}}{\theta_{NC, \text{cap}}} = \frac{4.95 \text{ ‰}}{2.40 \text{ ‰}} = 2.06$$

$$\theta_{NC, \text{cap}} = 1.33 \cdot \theta_u / \gamma_{Rd} = 2.40 \text{ ‰} \quad (\mu_\theta > 1.5)$$

$$\rightarrow \theta_u = 2.70 \text{ ‰} \quad (V) \quad [\text{EC8-3, Γ.4.3.1(2)}]$$

$$\rightarrow \gamma_{Rd} = 1.50$$

Ενισχύσεις Φέρουσας Τοιχοποιίας

- **Ενισχύσεις - αποκαταστάσεις - ανασυλώσεις**

Κατασκευή - ενίσχυση διαφραγμάτων

Οπλισμένα επιχρίσματα - μανδύες

Αρμολογήματα

Ομογενοποίηση μάζας με ενέματα

Προσθήκη ελκυστήρων

Εισαγωγή νέων τοίχων

- **Μικτά συστήματα**

Προσθήκη μελών χάλυβα ή σκυροδέματος.

Εσωτερικός σκελετός από χάλυβα ή σκυρόδεμα.

Έλεγχος κάθε υλικού με τον κανονισμό του.

Ενισχύσεις Φέρουσας Τοιχοποιίας

- **Ενισχύσεις - αποκαταστάσεις - ανασυλώσεις**

Κατασκευή - ενίσχυση διαφραγμάτων

Οπλισμένα επιχρίσματα - μανδύες

Αρμολογήματα

Ομογενοποίηση μάζας με ενέματα

Προσθήκη ελκυστήρων

Εισαγωγή νέων τοίχων

- **Μικτά συστήματα**

Προσθήκη μελών χάλυβα ή σκυροδέματος.

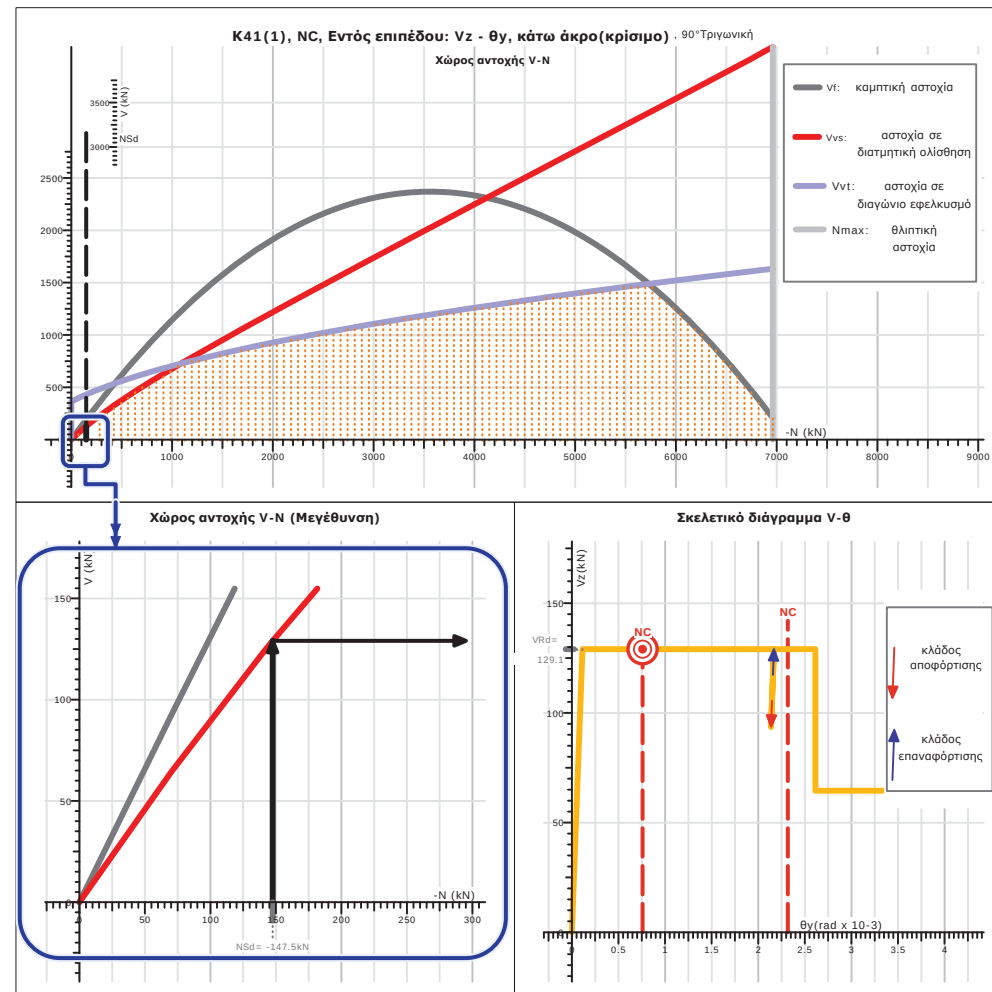
Εσωτερικός σκελετός από χάλυβα ή σκυρόδεμα.

Έλεγχος κάθε υλικού με τον κανονισμό του.

Ανάλυση Pushover (3DV) - Ενισχυμένος φορέας



Ανάλυση Pushover (Αναλυτική εκτύπωση πεσσού, όπως τυπώνεται στο Τεύχος του FespaT)



Αντοχή - ικανότητα παραμόρφωσης τοιχοποιίας

Στη διαρροή: $N_{sd} = -147.5 \text{ kN}$, $V_{Rd} = 129.1 \text{ kN}$

$$V_{Rd} = \min(V_t, V_{vt}, V_{vs}) = V_{vs} = 129.1 \text{ kN}$$

$$\rightarrow V_t = \frac{L}{2} \cdot \frac{N}{H_{0zi}} \cdot (1 - 1.15 \cdot v_d) \cdot r_{Rd} = 192.2 \text{ kN} \quad [\text{ΚΑΔΕΤ, (7.2β)}]$$

$$\rightarrow V_{vt} = \sqrt{f_{wt} \cdot (f_{wt} + v_d f_d)} \cdot L \cdot t \cdot r_{Rd} = 431.5 \text{ kN} \quad [\text{ΚΑΔΕΤ, (Σ7.2)}]$$

$$\rightarrow V_{vs} = \min(0.5 f_{vm0} L' t + \mu N, 0.045 f_b L' t) \cdot r_{Rd} = 129.1 \text{ kN} \quad [\text{ΚΑΔΕΤ, (7.3β)}]$$

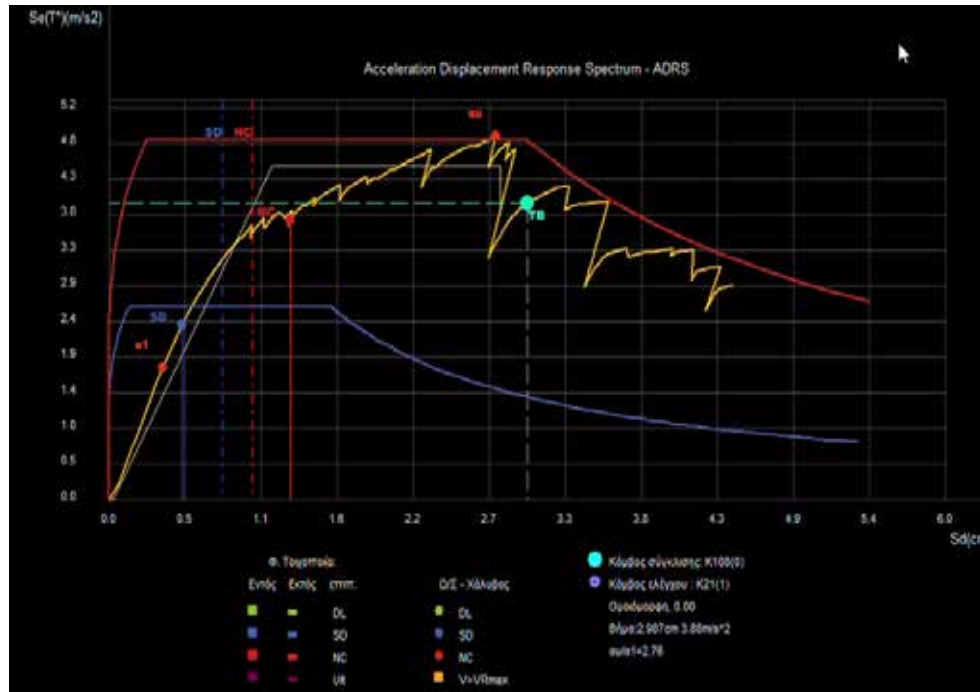
$$\lambda_{NC} = \frac{\theta_{NC, \text{targ}}}{\theta_{NC, \text{cap}}} = \frac{0.76 \text{ ‰}}{2.32 \text{ ‰}} = 0.33$$

$$\theta_{NC, \text{cap}} = 1.33 \cdot \theta_u / \gamma_{Rd} = 2.32 \text{ ‰} \quad (\mu_\theta > 1.5)$$

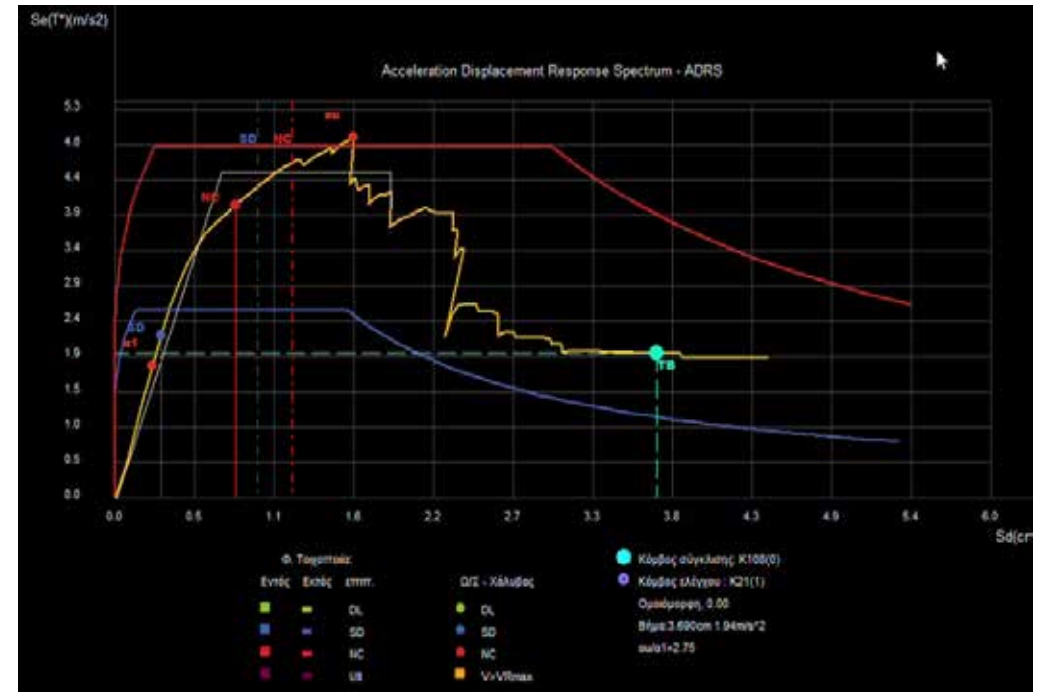
$$\rightarrow \theta_u = 2.61 \text{ ‰} \quad (V) \quad [\text{EC8-3, Γ.4.3.1(2)}]$$

$$\rightarrow \gamma_{Rd} = 1.50$$

Ανάλυση Pushover (Σύγκριση πριν και μετά την ενίσχυση)



χωρίς διάφραγμα



με διάφραγμα

Ευχαριστώ πολύ