

Ανάλυση χρονοϊστορίας με την μέθοδο των τοπικών δεικτών πλαστιμότητας, m

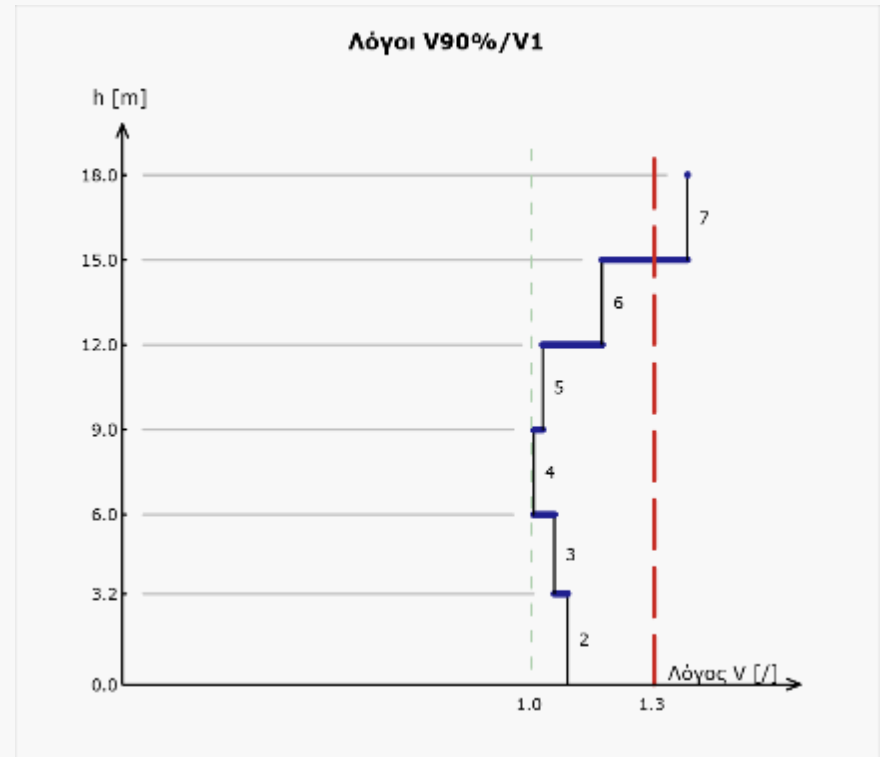
Ηλίας Γκιμούσης

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MSc,
Υποψήφιος Διδάκτωρ

Δυναμική ελαστική μέθοδος

➤ Πότε απαιτείται ελαστική δυναμική ανάλυση?

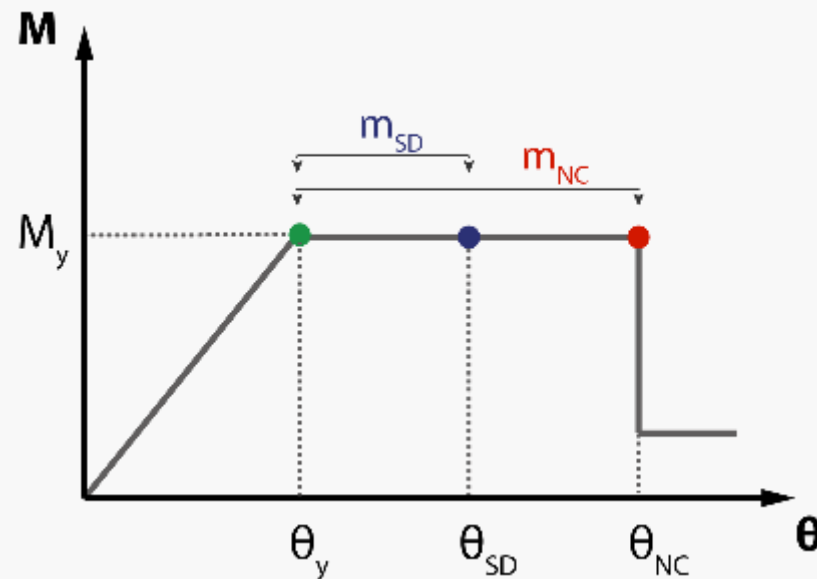
- Χαμηλή Σ.Α.Δ. (Ανεκτή)
- Επιρροή ανώτερων ιδιομορφών
- Στρεπτική ευαισθησία



Μέθοδος τοπικών δεικτών πλαστιμότητας m

➤ Βασικές αρχές της μεθόδου

- Τοπικοί δείκτες m στις κρίσιμες περιοχές μελών.
- Πλαστιμότητα μελών από διαγράμματα $M-\theta$ ανάλογα με τη αξονική δύναμη N και τη γωνία των δρώντων ροπών φ_M .
- Αντοχές μελών με μέσες τιμές των υλικών.
- Η δυσκαμψία αναφέρεται στο σημείο διαρροής.



$$m_{DL} = \frac{\theta_y}{\theta_y} = 1$$

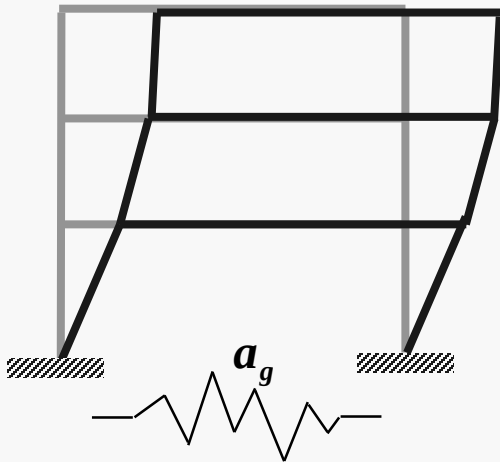
$$m_{SD} = \frac{\theta_{SD}}{\theta_y}$$

$$m_{NC} = \frac{\theta_{NC}}{\theta_y}$$

$$\lambda = \frac{M_G + \frac{M_E}{m}}{M_{Rd}}$$

Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας

$$M \cdot \ddot{U} + C \cdot \dot{U} + K \cdot U = -M \cdot a_g$$



➤ Πλεονεκτήματα επιλογής

- Άμεση αναπαράσταση σεισμικού φορτίου και απόσβεσης
- Φυσικές σεισμικές καταγραφές
- Ενσωμάτωση όλων των ιδιομορφών

Έλεγχοι

- Ταυτόχρονα εντατικά μεγέθη
- Έλεγχος επάρκειας σε κάθε βήμα

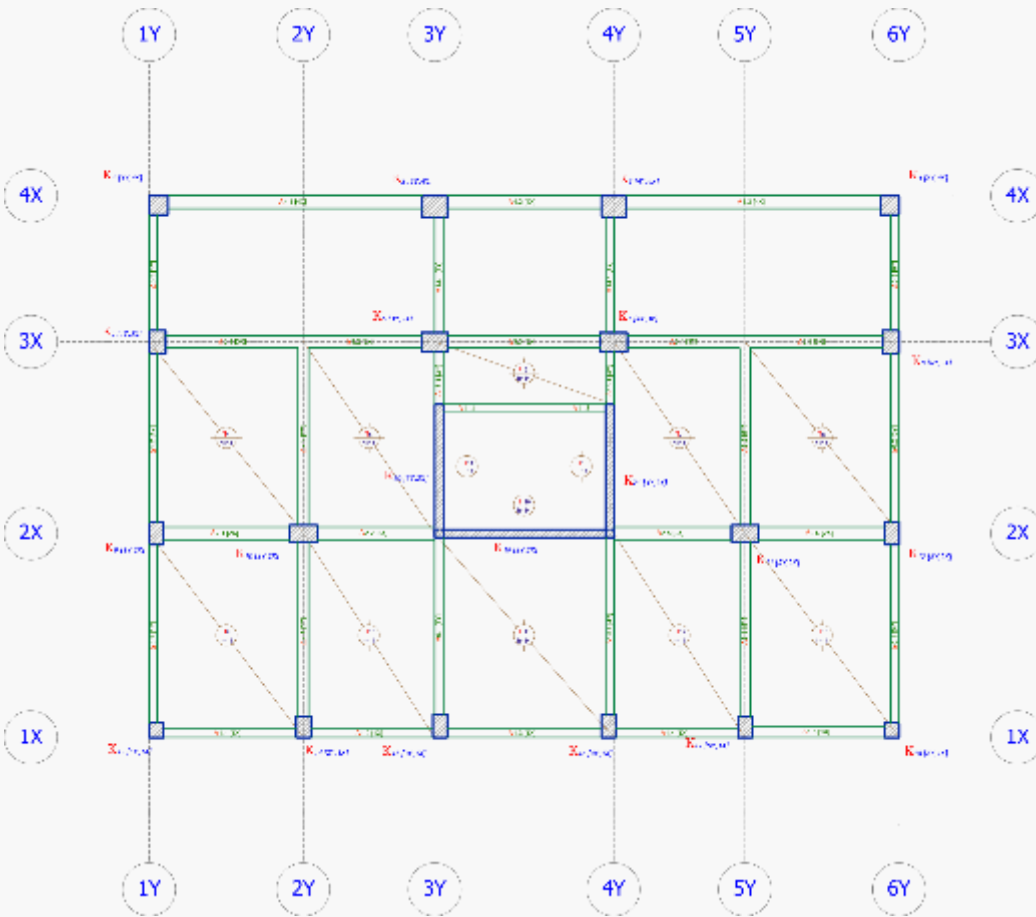
$$\lambda = \frac{M_G + \frac{M_E}{m}}{M_{Rd}}$$

$M_E(N, M_y, M_z)$
 $M_{Rd}(N, \varphi_M)$

Παράδειγμα εφαρμογής (ΙΤΣΑΚ)

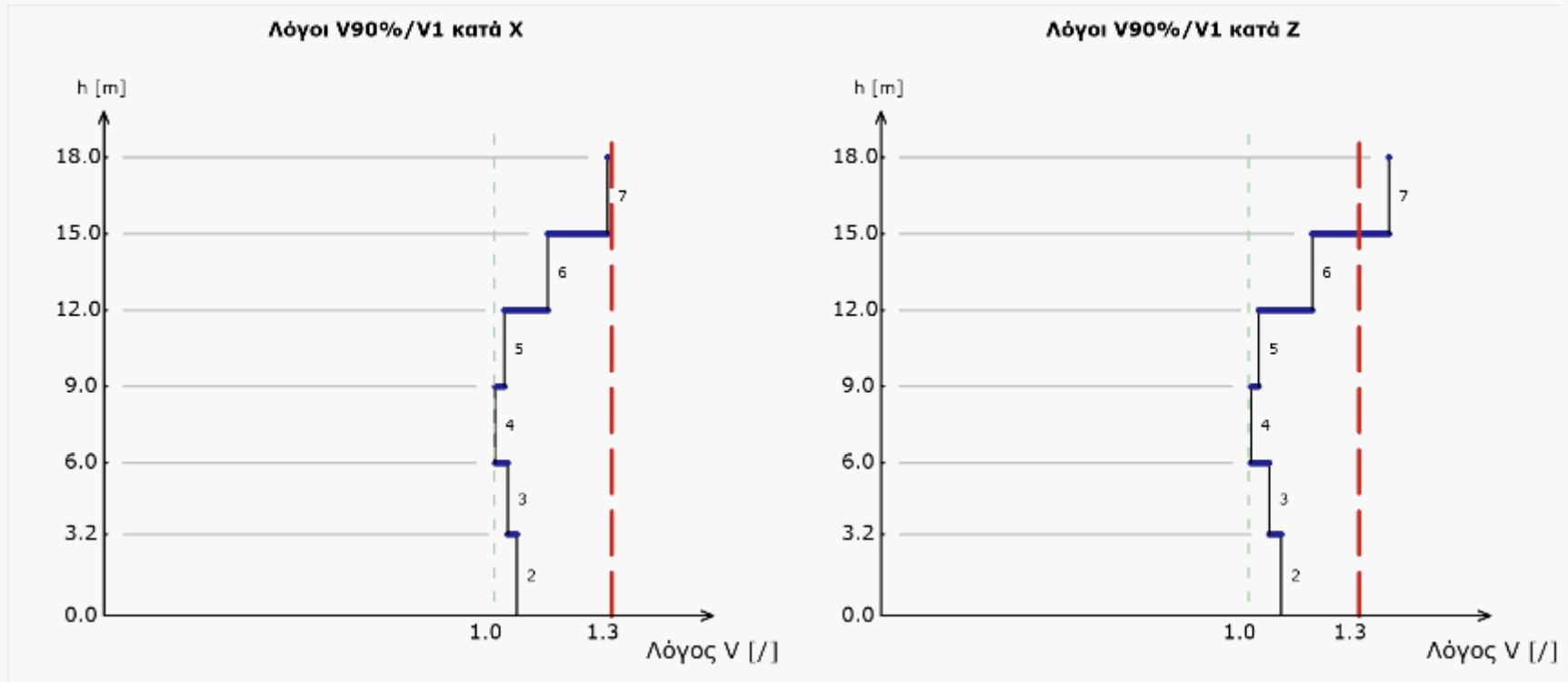
➤ Κτίριο ΙΤΣΑΚ (Αναγνωστόπουλος, Λεκίδης 1986)

- Ισχυρός πυρήνας στο κέντρο
- Στρεπτικά ευαίσθητο
- Ευαίσθητο σε ανώτερες ιδιομορφές



Επιρροή ανώτερων ιδιομορφών

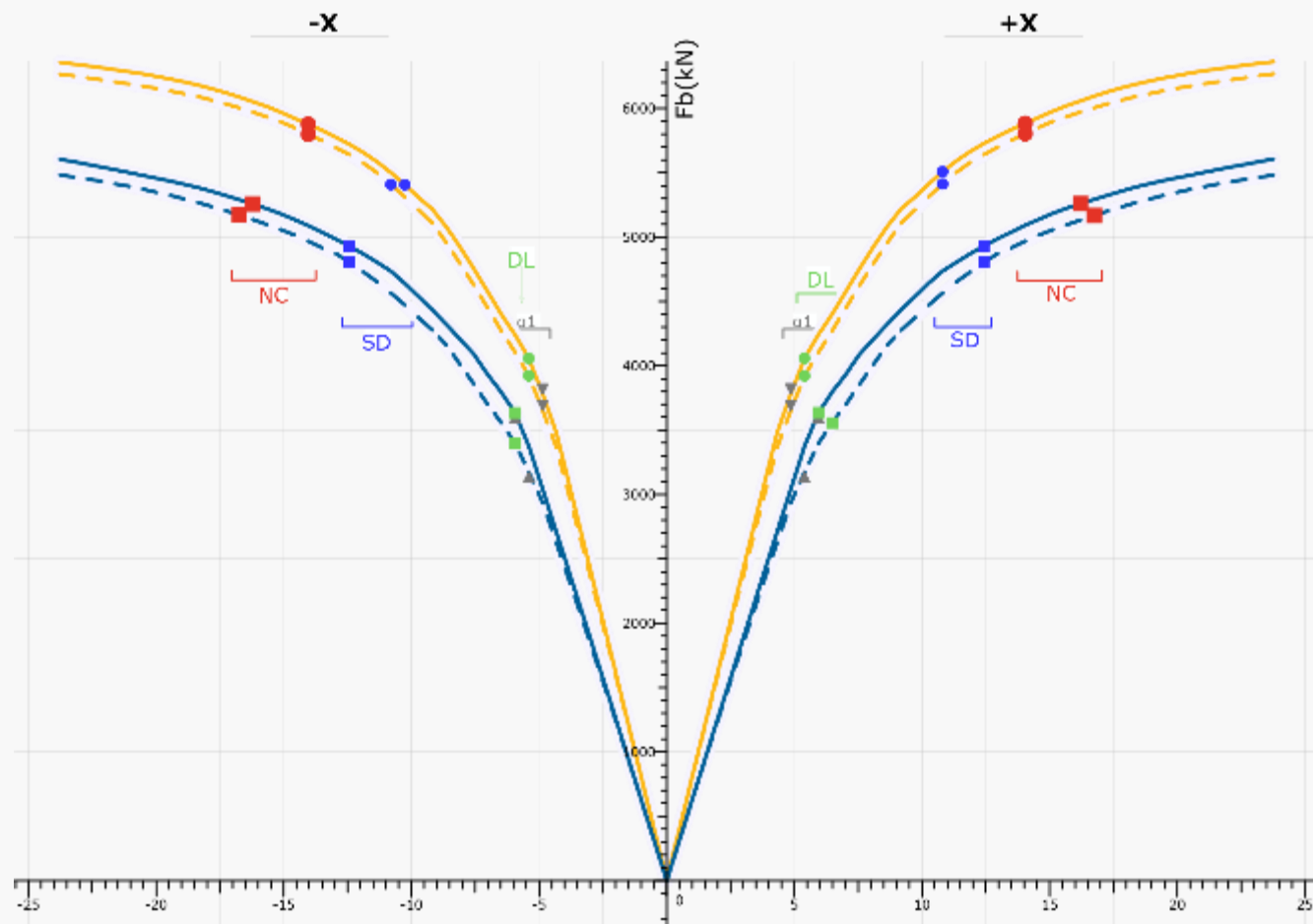
➤ Προϋπόθεση εφαρμογής ανάλυσης Pushover



2 αναλύσεις: ΡΟ+ΤΗ

1^η ανάλυση: Pushover

➤ Συγκεντρωτικά διαγράμματα



2^η ανάλυση: Χρονοϊστορία (παράμετροι)

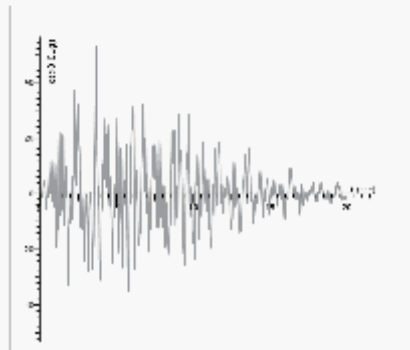
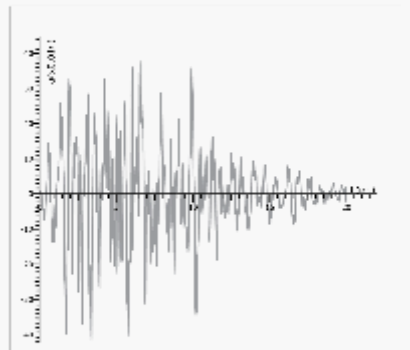
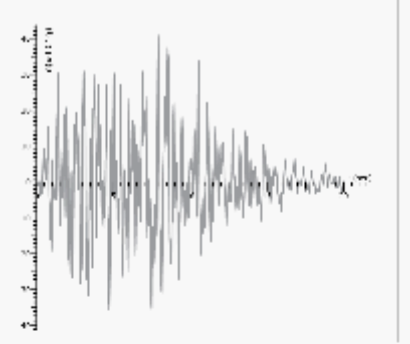
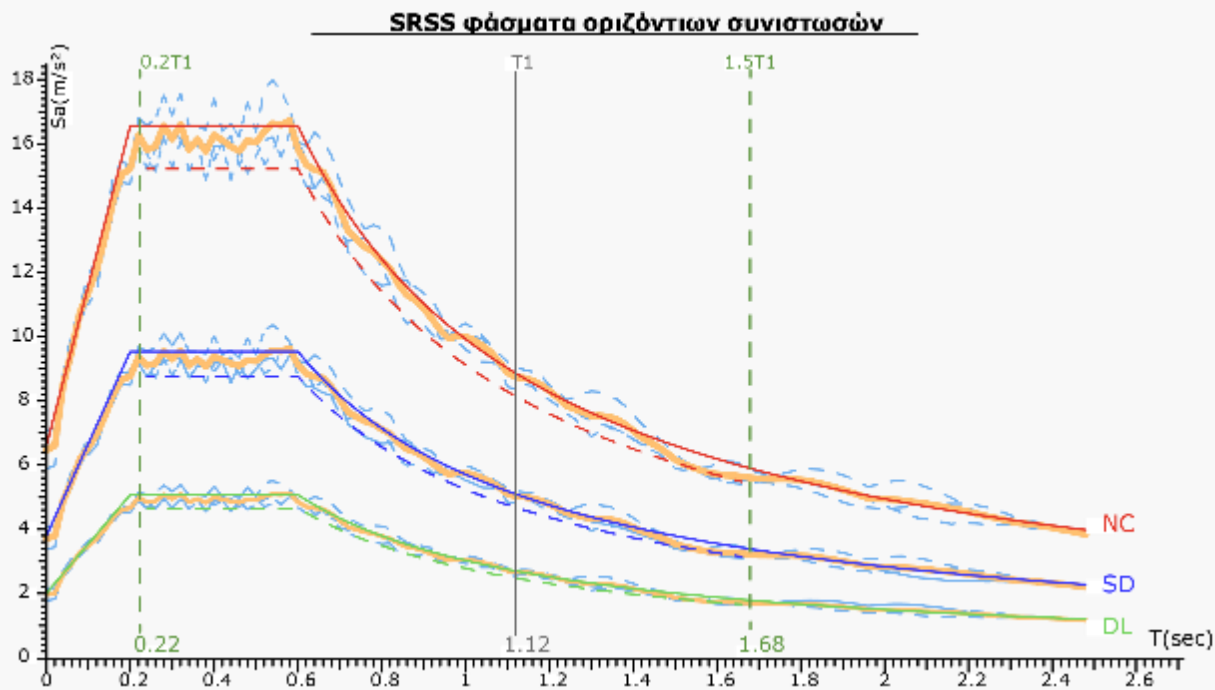
➤ Εισαγωγή δεδομένων

- Πλήθος σεισμικών διεγέρσεων
- Παραγωγή τεχνητών ή επιλογή φυσικών σεισμικών καταγραφών
- Ορισμός συντελεστή προσαύξησης (1.25)
- Ορισμός καθολικών συντελεστών συμπεριφοράς q και συντελεστών υπεραντοχής q_u (όρια δεικτών m)
- Παράμετροι αλγορίθμου επίλυσης χρονοϊστορίας

➤ Καρτέλες παραμέτρων

Μέθοδος m, q		
Αποτίμηση με ελαστική ανάλυση	?	Μέθοδος συντελεστών m
Αύξηση m, q	?	Ναι
Συντελεστής αύξησης m, q	?	1.250
Συντ. υπεραντοχής q_{DL}	?	1.000
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς q_{DL}	?	1.000
Συντ. υπεραντοχής q_{SD}	?	1.100
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς q_{SD}	?	1.300
Συντ. υπεραντοχής q_{NC}	?	1.100
Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς q_{NC}	?	1.400
Μέγιστη τιμή συντελεστών $m, m_{max} q^k, k=...$	?	1.150
Έλεγχος διάτμησης υποστ./των, τοιχ./των	?	Όχι
Έλεγχος διάτμησης δοκών	?	Όχι
Λόγος $C1 = d_{inel}/d_{el}$	?	1.000
Χρονοϊστορία		
Κατοίκρυψη συνιστώσα	?	Όχι
Τοκαπήλκωσεις ενεργές	?	Όχι
Τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα		
Αριθμός τεχνητών σεισμικών διεγέρσεων	?	3
Χρονικό βήμα Δt (sec)	?	0.010
Διάρκεια T_{dur} (sec)	?	20.000
Φυσικά επιταχυνσιογραφήματα (από αρχείο)		
Σεισμικές διεγέρσεις από αρχείο	?	Όχι
Διαβάθμιση βάσει φάσματος	?	Ναι

Επιταχυνσιογραφήματα (έλεγχος κλιμάκωσης)

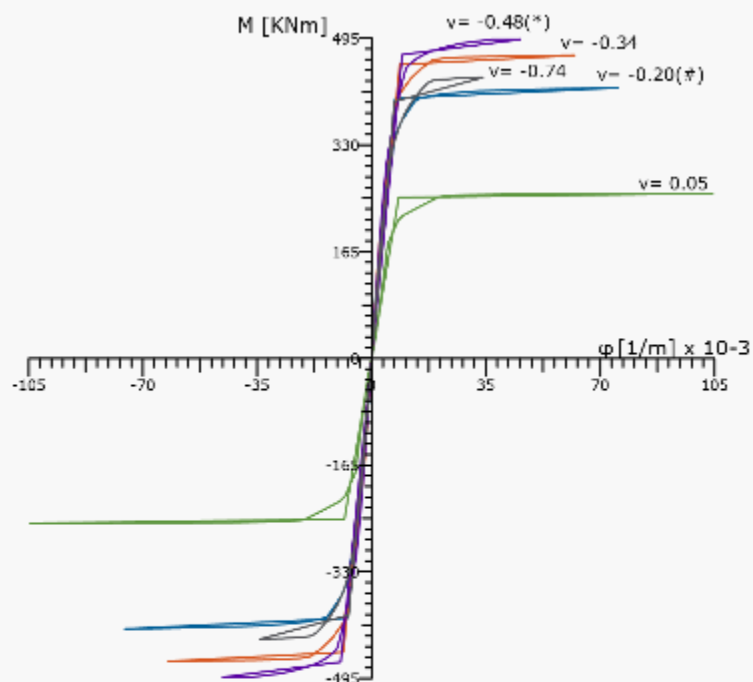


➤ Κριτήρια κλιμάκωσης (SRSS φασμάτων)

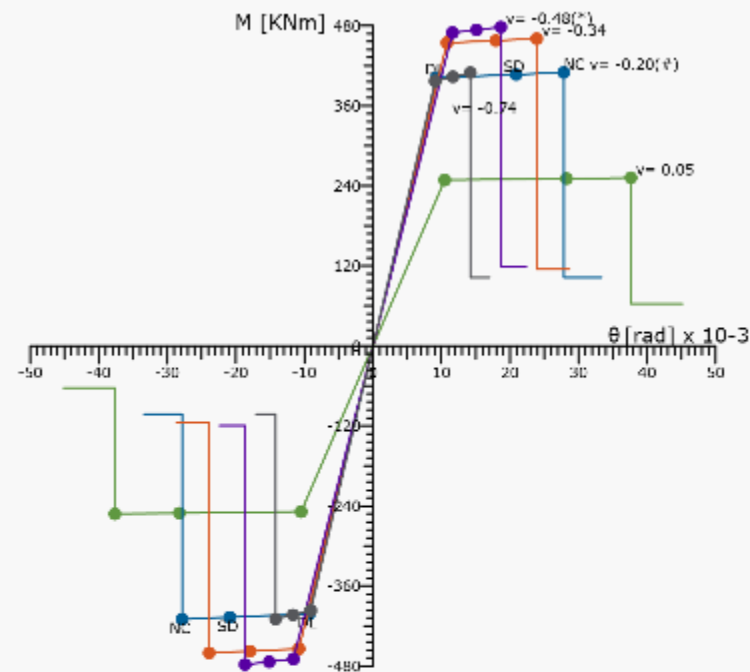
- Εύρος κλιμάκωσης: $0.2T_1 - 1.5T_1$
- Όριο κλιμάκωσης: $\sqrt{2} \cdot 0.9 \cdot S_e = 1.3 \cdot S_e$

Δυσκαμψίες μελών

M-φ

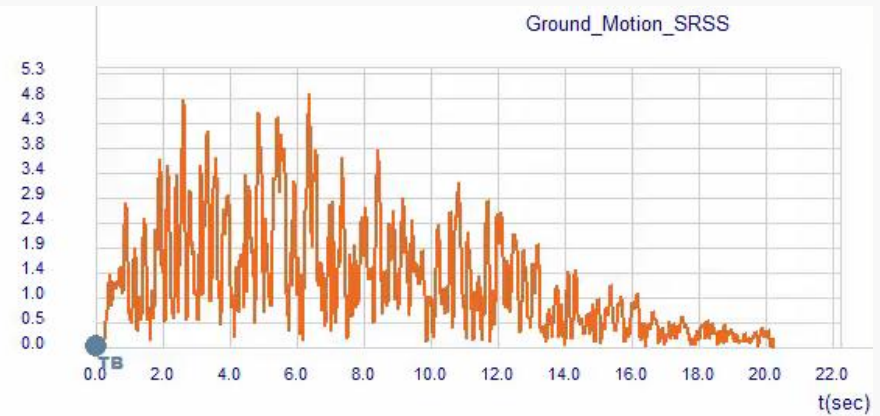
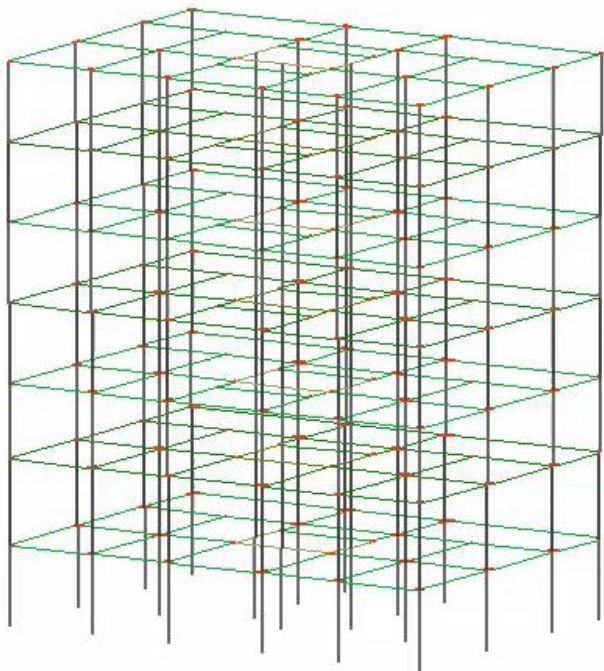


M-θ



[deg]	N [kN]	EI_{eff}/EI_{gross}
0	202,91	9,8%
	-798,46(#)	17,9%
	-1360,27	17,4%
	-1922,08(*)	16,7%
	-2961,93	18,1%

Πραγματοποίηση της ανάλυσης



Αποτελέσματα (Προϋποθέσεις εφαρμογής)

Προϋποθέσεις εφαρμογής ελαστικής δυναμικής ανάλυσης, ($m=1$, $ag(10\%/50)=0.240$)

Έλεγχος μορφολογικής κανονικότητας [KAN.ΕΠΕ. §5.5.1.2.γ]

Όροφος k	Υψόμετρο	λ_k	λ_k/λ_{k-1}	[/]	Όριο	λ_k/λ_{k-1}	[/]	Όριο
[/]	[m]	[/]	[/]		[/]	[/]		[/]
2	3.20	1.95	-	-	-	1.41	<	1.50
3	6.00	1.38	1.41	<	1.50	1.13	<	1.50
4	9.00	1.23	1.13	<	1.50	1.44	<	1.50
5	12.00	0.85	($\lambda_k < 1$)	-	-	($\lambda_k < 1$)	-	-
6	15.00	0.78	($\lambda_k < 1$)	-	-	($\lambda_k < 1$)	-	-
7	18.00	0.56	($\lambda_k < 1$)	-	-	($\lambda_k < 1$)	-	-

Σημείωση: Το κτίριο δεν περιέχει καμπτοδιατμητικούς ασθενή όροφους. Για τον έλεγχο μορφολογικής κανονικότητας πρέπει να εξεταστούν και οι συνθήκες α,β,δ (KAN.ΕΠΕ. §5.5.1.2)

Έλεγχος προϋποθέσεων εφαρμογής ελαστικής δυναμικής ανάλυσης [KAN.ΕΠΕ. §5.6.1]

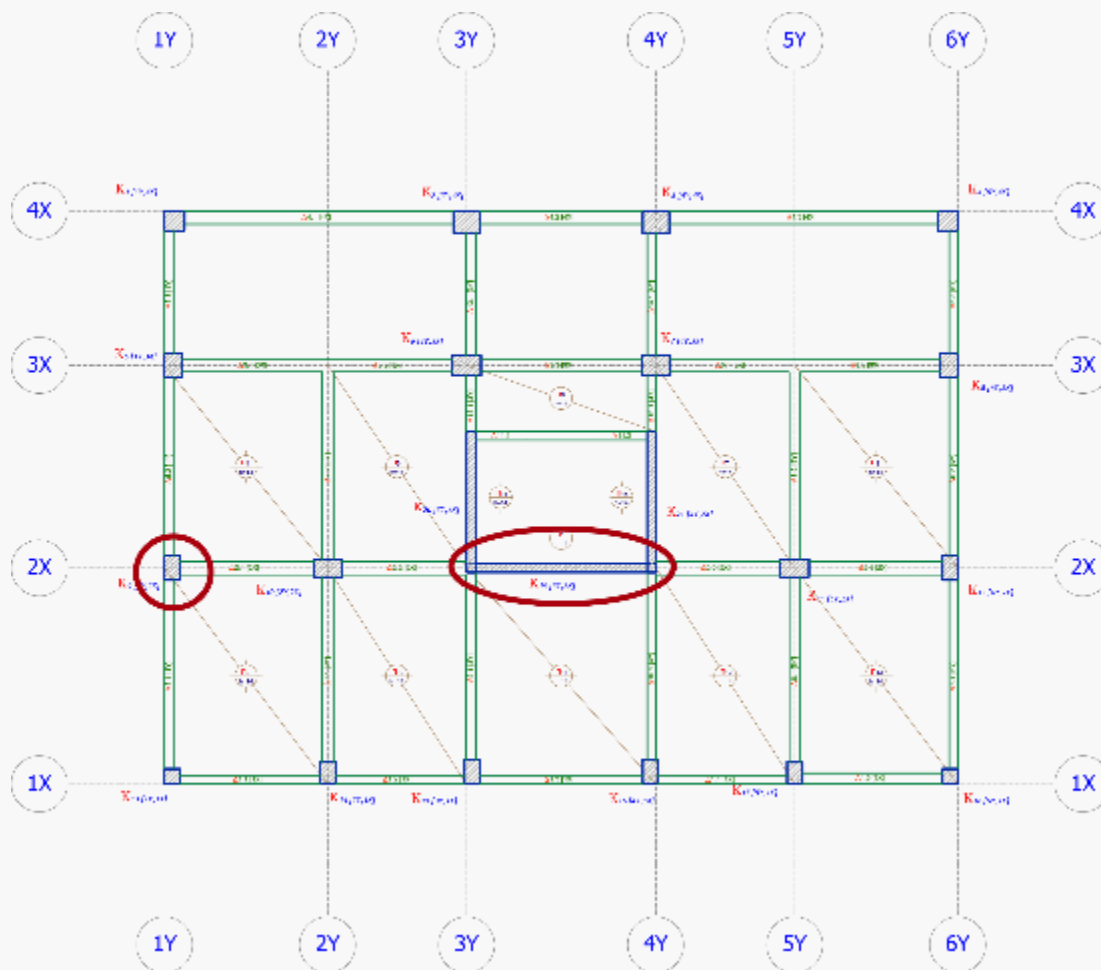
Όροφος k	Υψόμετρο	Υποστ.	Υποστ.	Δοκοί	Δοκοί	Σύνολο	Σύνολο
[/]	[m]	[$\lambda < 2.5$]	[$\lambda > 2.5$]	[$\lambda < 2.5$]	[$\lambda > 2.5$]	[$\lambda < 2.5$]	[$\lambda > 2.5$]
1	0.00	21 100.0%	0 0.0%	19 100.0%	0 0.0%	40 100.0%	0 0.0%
2	3.20	21 100.0%	0 0.0%	33 100.0%	0 0.0%	54 100.0%	0 0.0%
3	6.00	21 100.0%	0 0.0%	36 100.0%	0 0.0%	57 100.0%	0 0.0%
4	9.00	21 100.0%	0 0.0%	36 100.0%	0 0.0%	57 100.0%	0 0.0%
5	12.00	21 100.0%	0 0.0%	36 100.0%	0 0.0%	57 100.0%	0 0.0%
6	15.00	21 100.0%	0 0.0%	36 100.0%	0 0.0%	57 100.0%	0 0.0%
7	18.00	21 100.0%	0 0.0%	36 100.0%	0 0.0%	57 100.0%	0 0.0%
Σύνολο	-	147 100.0%	0 0.0%	232 100.0%	0 0.0%	379 100.0%	0 0.0%

➤ Έλεγχος προϋποθέσεων δυναμικής ανάλυσης

- Στάθμη σεισμικής έντασης ελέγχου: 10%, 50 έτη

- Έλεγχος καμπτοδιατμητικώς ασθενούς ορόφου: $\bar{\lambda}_{k+1} / \bar{\lambda}_k \leq 1.5$, $\bar{\lambda}_k = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i V_{si}}{\sum_{i=1}^n V_{si}}$
- Έλεγχος $\lambda_{el} \leq 2.5$

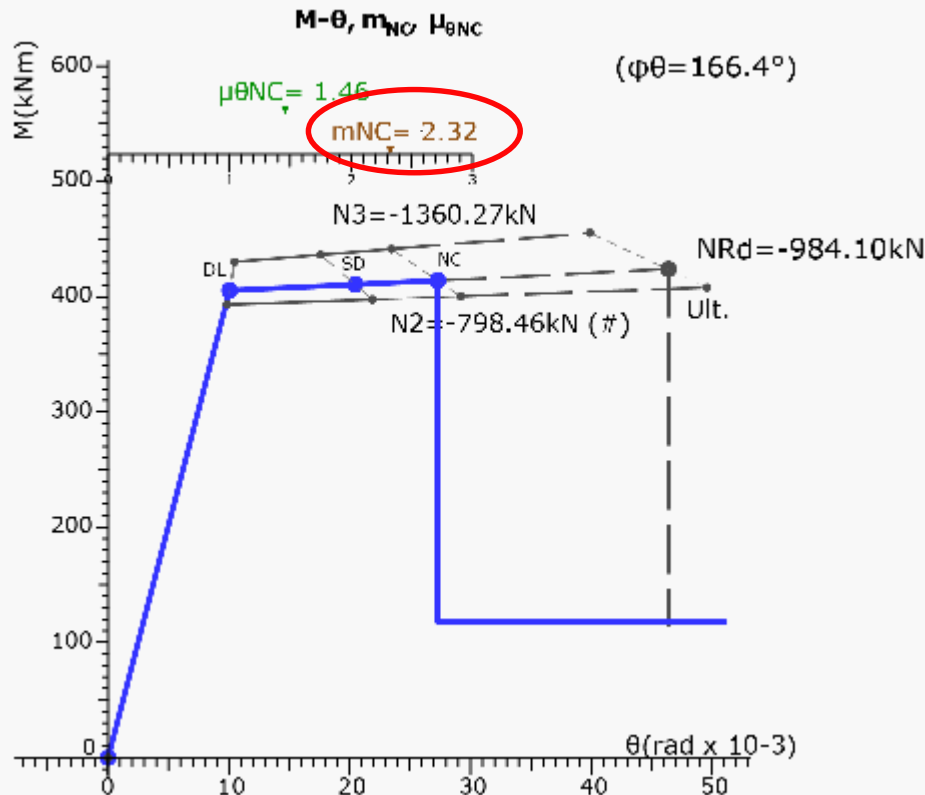
Αποτελέσματα (έλεγχοι επάρκειας)



- Υποστύλωμα K9(1)
επάρκεια
- Τοίχωμα K19(1)
αστοχία

Αποτελέσματα (έλεγχοι επάρκειας)

➤ 1) Υπολογισμός τοπικού δείκτη πλαστιμότητας m , K9(1)

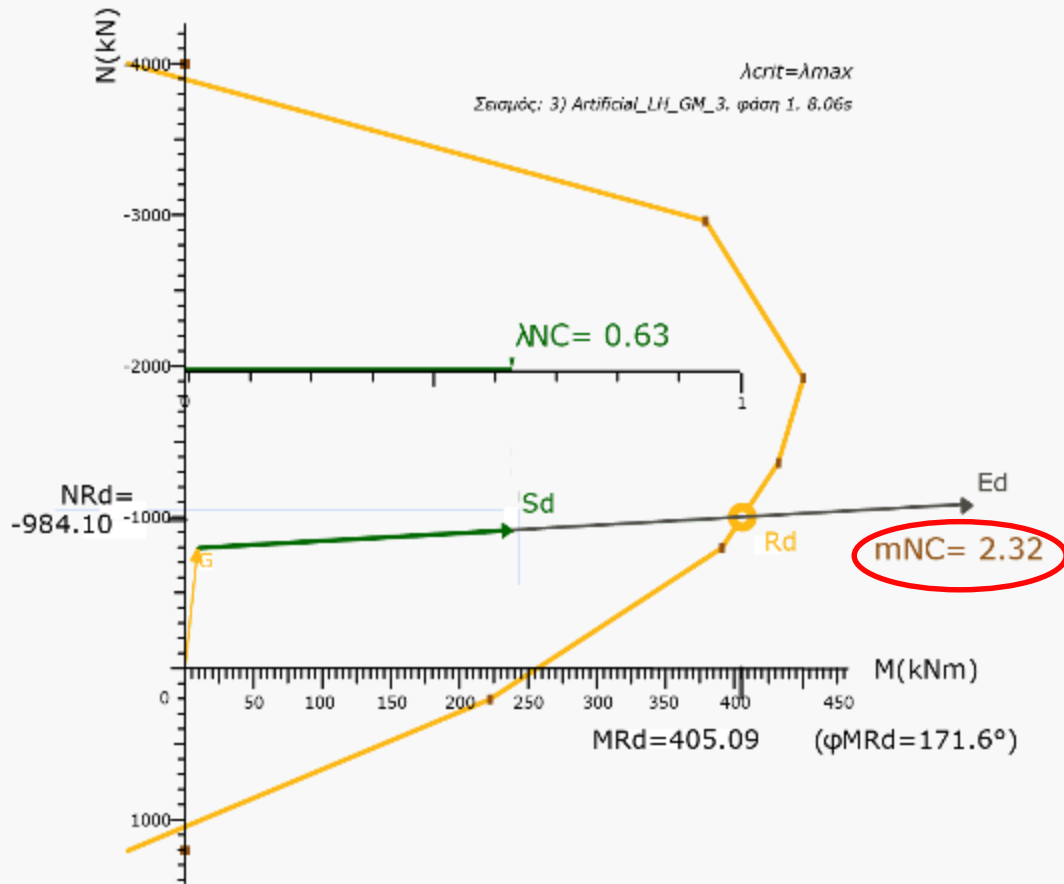


- Εύρεση φ_θ και N_{Rd}
- Τοπικός δείκτης $m_{NC} = \frac{\theta_{NC}}{\theta_y}$
- Περιορισμός τοπικού δείκτη m
 - Δείκτης πλαστιμότητας $q_\pi = \frac{q}{q_v}$
 - $\mu_\delta = \begin{cases} q_\pi & T > T_C \\ 1 + \left(\frac{T_C}{T}\right)(q_\pi - 1) & T < T_C \end{cases}$
 - Όριο του m : $m_{\max} \leq \frac{\lambda_{el,SD,\max}}{\lambda_{el,SD,i}} \cdot \mu_\delta \cdot k$
- Τελικός δείκτης m : $m = \min[m, m_{\max}]$

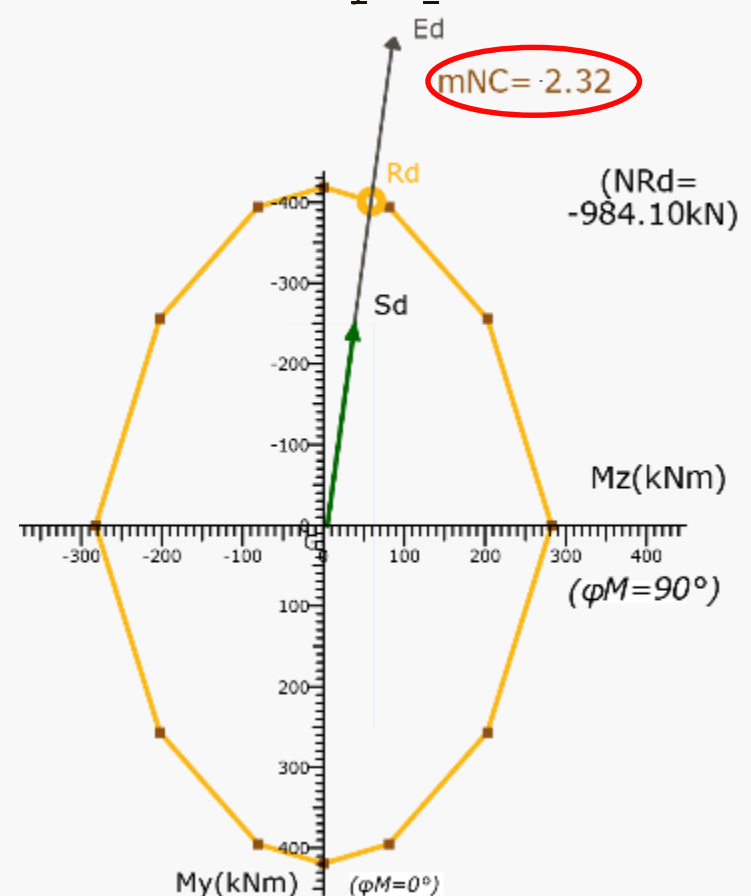
Αποτελέσματα (έλεγχοι επάρκειας)

➤ 2) Υπολογισμός λόγου επάρκειας λ, K9(1)

N-M

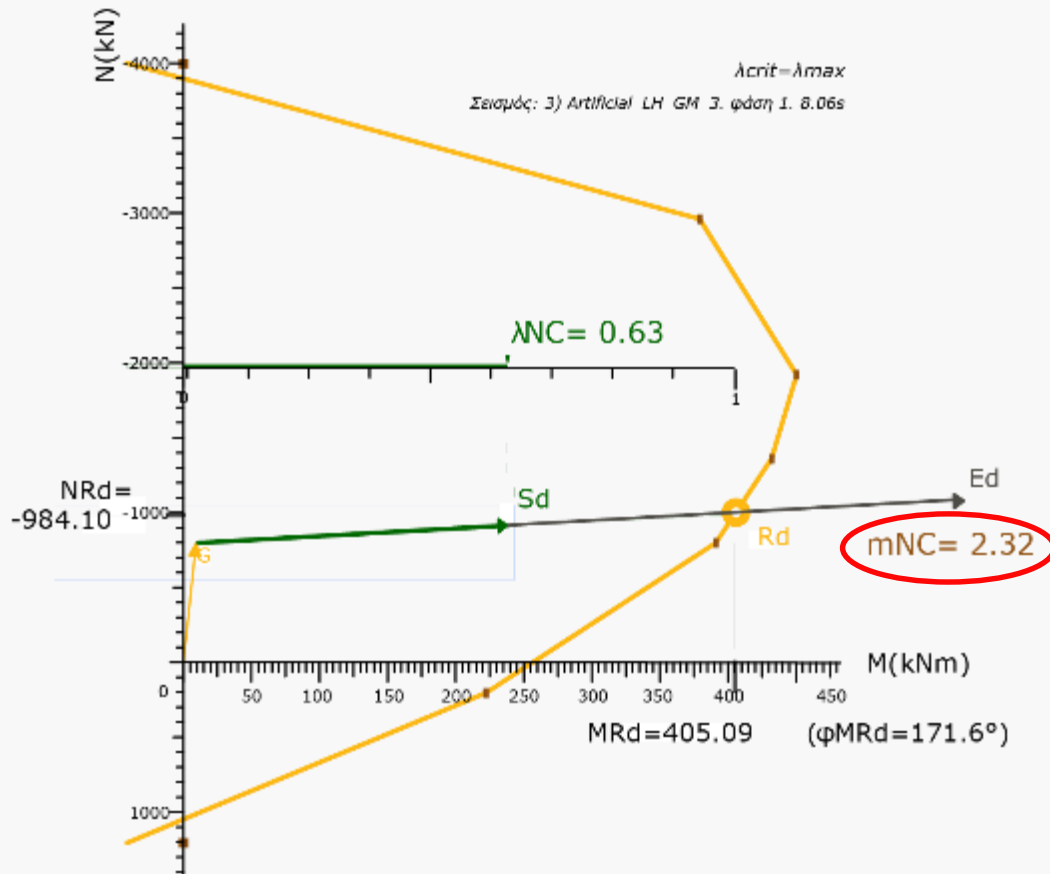


$M_y - M_z$



Αποτελέσματα (έλεγχοι επάρκειας)

➤ 2) Υπολογισμός λόγου επάρκειας λ , K9(1)



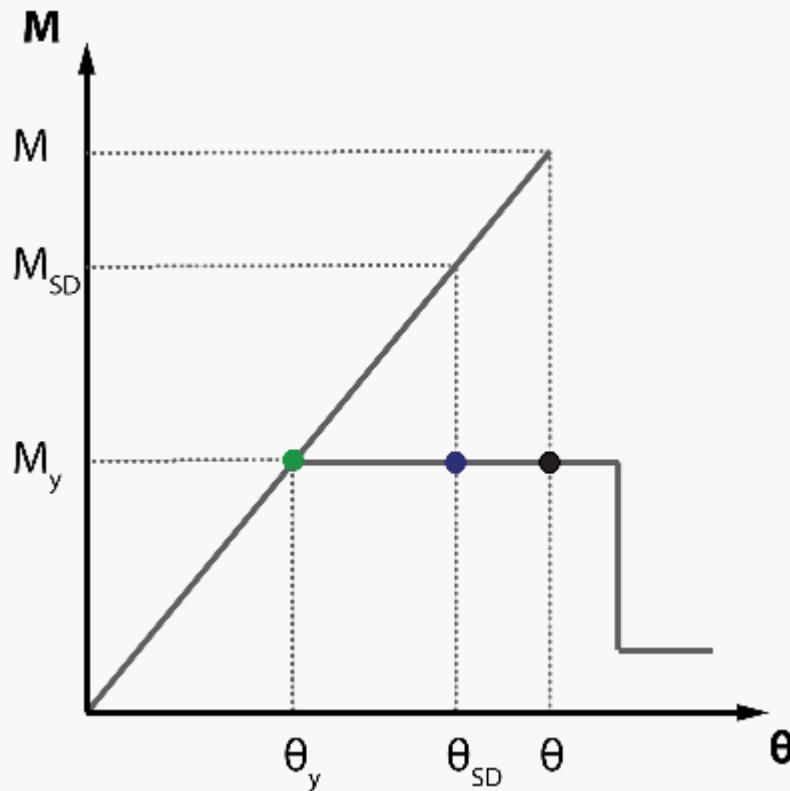
$$m_{NC} = 2.32$$

$$M_{Sd} = M_G + \frac{M_E}{m_{NC}}$$

$$\lambda = \frac{S_d}{R_d} = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} = \frac{\sqrt{M_{y,Sd}^2 + M_{z,Sd}^2}}{\sqrt{M_{y,Rd}^2 + M_{z,Rd}^2}}$$

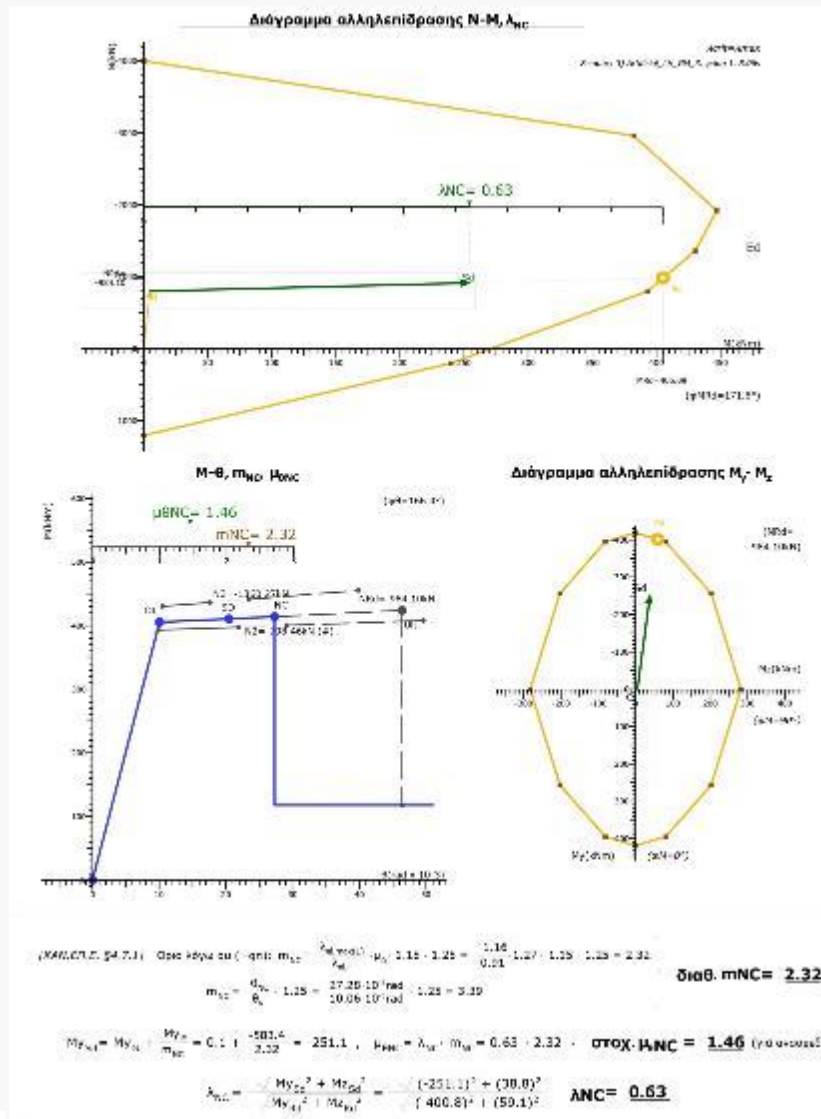
Αποτελέσματα (έλεγχοι επάρκειας)

- 3) Υπολογισμός απαιτούμενης πλαστιμότητας μ_θ , K9(1)



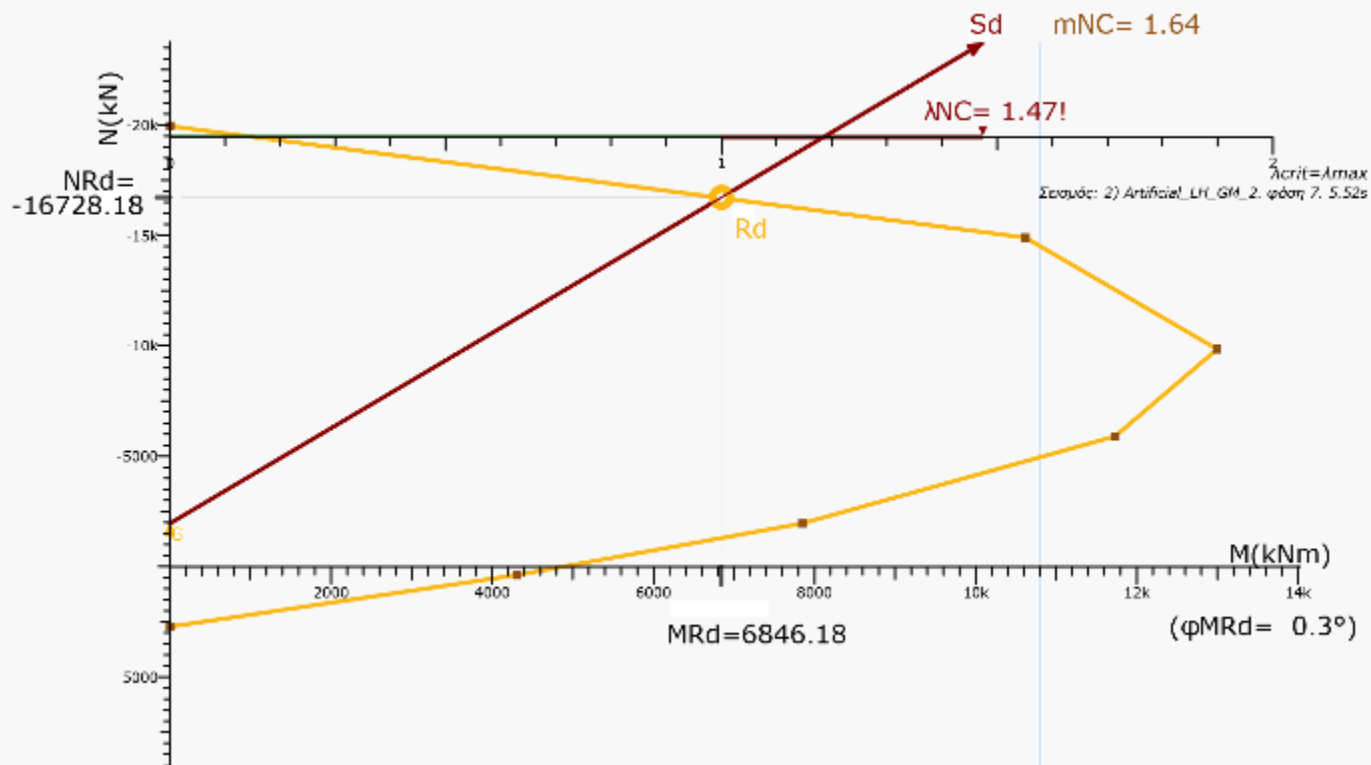
$$\mu_\theta = \frac{\theta}{\theta_y} = \frac{\theta}{\theta_{SD}} \cdot \frac{\theta_{SD}}{\theta_y} \approx \lambda \cdot m$$

Αναλυτικά Αποτελέσματα



Αποτελέσματα (έλεγχοι επάρκειας)

➤ Υπολογισμός λόγου επάρκειας λ, K19(1)



Συμπεράσματα

- Ελαστική δυναμική ανάλυση ως αυτόνομη ή συνοδευτική της Pushover.
- Συνδυασμός της Pushover με μία ανάλυση εξίσου υψηλού επιπέδου χωρίς παραδοχές υπέρ της ασφαλείας.
- Συνεργασία των δύο μεθόδων. Εύρεση των καθολικών δεικτών q από την Pushover.
- Πλήρως αυτοματοποιημένη Ανάλυση Χρονοϊστορίας στο Fespa. (παραγωγή τεχνητών σεισμών, επίλυση, διενέργεια ελέγχων.



Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!!!