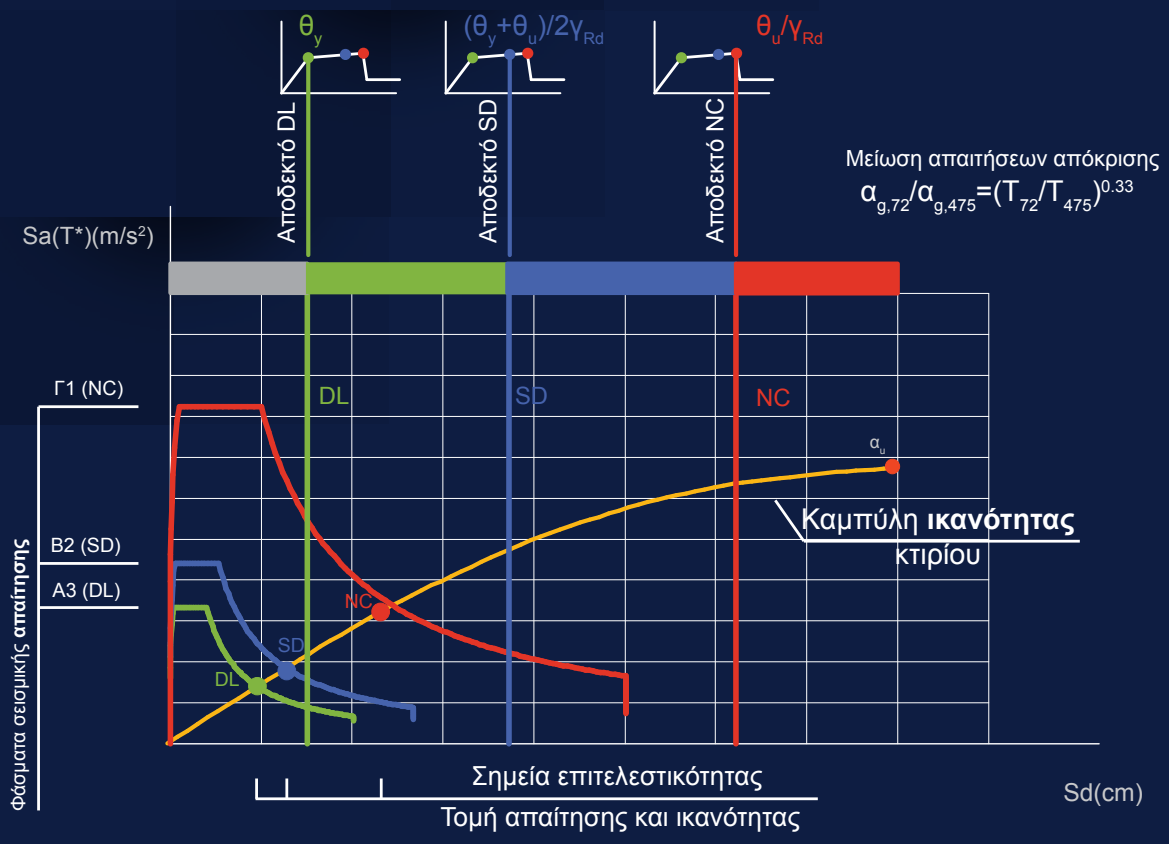
Όταν έρθει η ώρα για ενισχύσεις

μόνο μία μέθοδος υπάρχει

FESPA R

ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ PUSHOVER

Διαβάστε τους 7 λόγους υπεροχής της



Διάγραμμα - απαίτησης ικανότητας δομήματος

Fespa R

For Windows

Οι 7 λόγοι υπεροχής της Pushover

Αθήνα, Απρίλιος 2019

Version 1.0.5

Το τεράστιο πλεονέκτημα της Pushover

Από τη φύση της και σε συμφωνία με το όνομά της, η ελαστική ανάλυση δεν μπορεί να δώσει καμία πληροφορία για την κατανομή των μετελαστικών καταπονήσεων σε μία κατασκευή, ενώ παρέχει μόνο περιορισμένη πληροφόρηση για το μέγεθος (μ_φ) της όποιας πλαστικής παραμόρφωσης μπορεί να δημιουργηθεί. Το καλύτερο που μπορεί να ελπίζει κάποιος μέσω μιας ελαστικής ανάλυσης, είναι να επιτύχει τον καθορισμό της αντοχής της κατασκευής σε μία τόσο υψηλή τιμή ώστε να περιοριστούν οι μετελαστικές παραμορφώσεις σε αποδεκτά επίπεδα. Όμως, οι περισσότερες δομικές αστοχίες κατά τη διάρκεια των σεισμών δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της εξάντλησης της ικανότητας των μελών για απόκριση σε παραμορφώσεις πέρα από το όριο διαρροής τους. Η μη γραμμική ανάλυση Pushover προσφέρει τη δυνατότητα του υπολογισμού απ' ευθείας των μετελαστικών παραμορφώσεων. Η δυνατότητα αυτή **αποτελεί ένα τεράστιο πλεονέκτημα**.

…και οι 7 λόγοι υπεροχής της έναντι της ελαστικής ανάλυσης

Παράλληλα, η Pushover παρουσιάζει, ένα πλήθος σημαντικών πλεονεκτημάτων έναντι της ελαστικής ανάλυσης, όπως περιγράφονται παρακάτω:

1. Δεν απαιτείται ικανοτικός έλεγχος

Παραδείγματος χάρη, σύμφωνα με το κεφάλαιο 9 του ΚΑΝΕΠΕ ο έλεγχος σε διάτμηση, ανάλογα με τη μέθοδο ανάλυσης, γίνεται ως εξής:

- Στην **ελαστική** ανάλυση με τη μέθοδο του καθολικού δείκτη συμπεριφοράς **q** (§9.3.2), με βάση τον ικανοτικό σχεδιασμό.
- Στην **ελαστική** ανάλυση με τη μέθοδο των τοπικών δεικτών πλαστιμότητας **m** (§9.3.3), με βάση τον ικανοτικό σχεδιασμό.
- Στην **Pushover, χωρίς** ικανοτικό σχεδιασμό (§9.3.1).

Ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης	***Pushover***
Η δρώσα τέμνουσα $V_{CD,el}$ προκύπτει ικανοτικά	Η δρώσα τέμνουσα $V_{Sd,PO}$ προκύπτει από την ανάλυση μέσω ισορροπίας των ροπών M_{Ed} στο μέλος. Οι ροπές M_{Ed} στην Pushover είναι μικρότερες ή ίσες από τις ροπές διαρροής M_{Rd}
$V_{CD,el} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left(M_{Rd,1} + M_{Rd,2}\right)}{L}$ $\gamma_{Rd} = 1.40$	$\left.\begin{array}{c} V_{Sd,PO} = \frac{M_{Ed,1} + M_{Ed,2}}{L} \\ M_{Ed,1} \le M_{Rd,1} \\ M_{Ed,2} \le M_{Rd,2} \end{array}\right\} \Rightarrow V_{Sd,PO} < \frac{\gamma_{Rd} \cdot \left(M_{Rd,1} + M_{Rd,2}\right)}{L}$ $\boxed{V_{Sd,PO} < V_{CD,el}}$

Πίνακας 1: *Συσχέτιση της δρώσας τέμνουσας της Pushover με των αντίστοιχων ελαστικών μεθόδων*

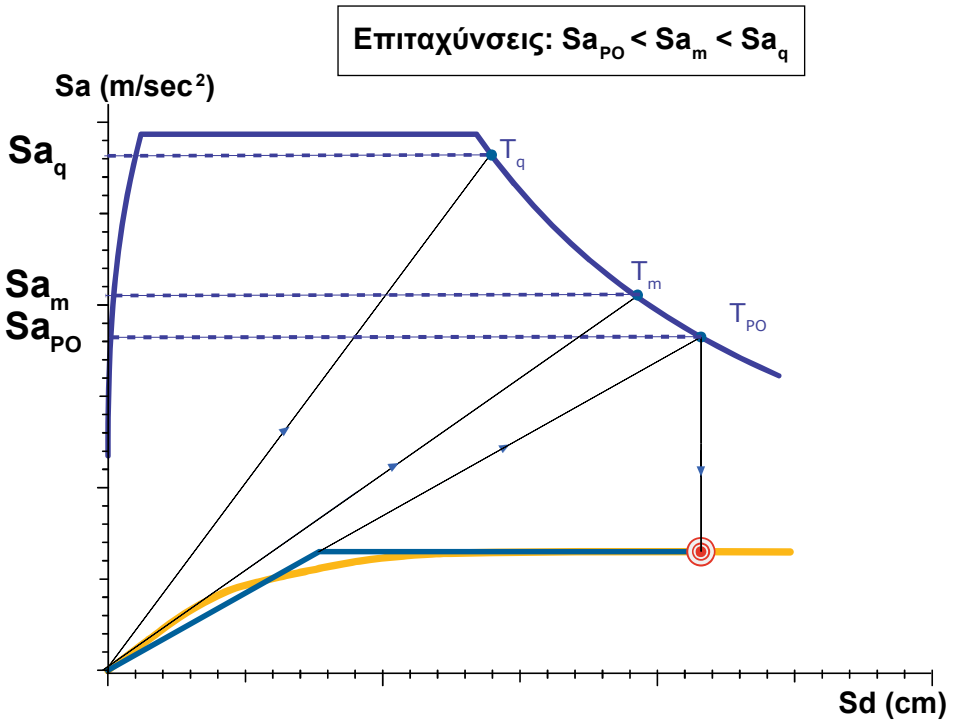
Στον Πίνακα 1 φαίνεται γιατί η δρώσα τέμνουσα $V_{sd,PO}$ στην ανελαστική ανάλυση είναι μικρότερη σε κάθε περίπτωση από την αντίστοιχη ικανοτική $V_{CD,el}$ της ελαστικής μεθόδου.

2. Μείωση σεισμικών δυνάμεων

Οι δυσκαμψίες που χρησιμοποιούνται σε κάθε μέθοδο ανάλυσης είναι οι εξής:

- Στην **ελαστική** ανάλυση με τη μέθοδο του καθολικού δείκτη συμπεριφοράς **q** χρησιμοποιούνται οι δυσκαμψίες που αντιστοιχούν στη ρηγματωμένη διατομή.
- Στην **ελαστική** ανάλυση με τη μέθοδο των τοπικών δεικτών πλαστιμότητας **m** χρησιμοποιούνται οι δυσκαμψίες που αντιστοιχούν στο σημείο διαρροής των μελών. Είναι συνήθως το 15% με 30% των αντίστοιχων της μεθόδου q.
- Στην **Pushover** χρησιμοποιούνται ομοίως οι δυσκαμψίες που αντιστοιχούν στο σημείο διαρροής των μελών. Ωστόσο η τελική δυσκαμψία του ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή προκύπτει ακόμα μικρότερη από αυτή της μεθόδου m λόγω της διγραμμικοποίησης με τα ίσα εμβαδά (Σχήμα 1).

Αυτό έχει ως συνέπεια οι επιβαλλόμενες σεισμικές δυνάμεις στην Pushover να προκύπτουν μικρότερες από τις αντίστοιχες των άλλων δύο ελαστικών μεθόδων, όπως προκύπτει από το Σχήμα 1.

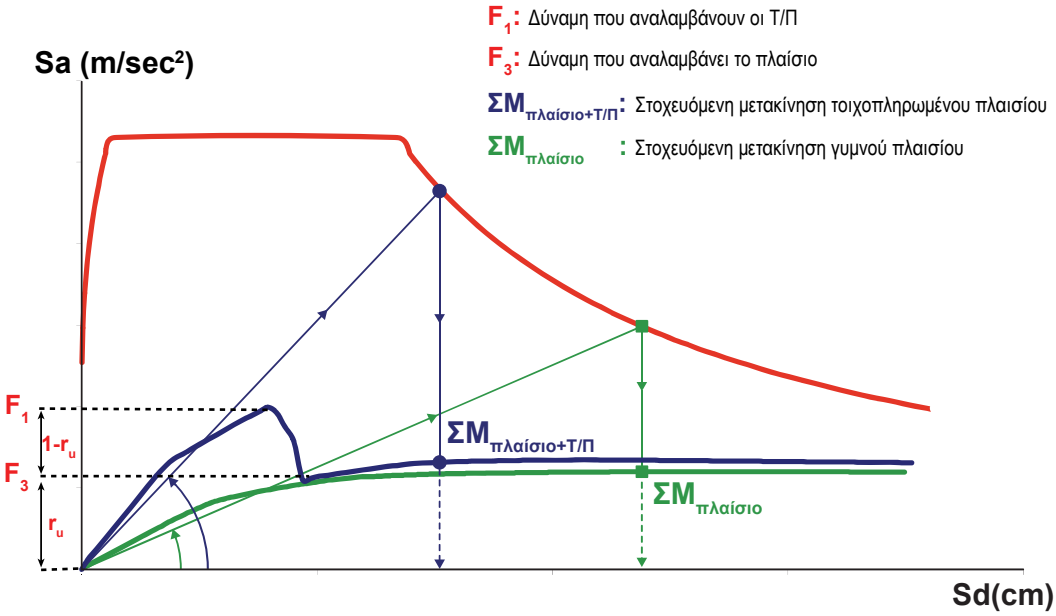


Σχήμα 1: *Σύγκριση φασματικών επιταχύνσεων ελαστικών αναλύσεων (Sa_q, Sa_m) και Pushover (Sa_{PO})*

3. Ευμενής παρουσία τοιχοπληρώσεων

Στην Pushover λαμβάνεται υπόψη τόσο η ευμενής όσο και η δυσμενής επιρροή των τοιχοπληρώσεων καθώς το Fespa τις αφαιρεί αυτόματα μία προς μία μετά την αστοχία τους. Αντίθετα, στην ελαστική ανάλυση των μεθόδων m και q λαμβάνεται υπόψη μόνο η δυσμενής επιρροή (δυσμενής παρουσία ή απουσία) τους, καθώς δε μπορεί να μελετηθεί ο κλάδος εξασθένισης της αντοχής τους μετά τη θραύση.

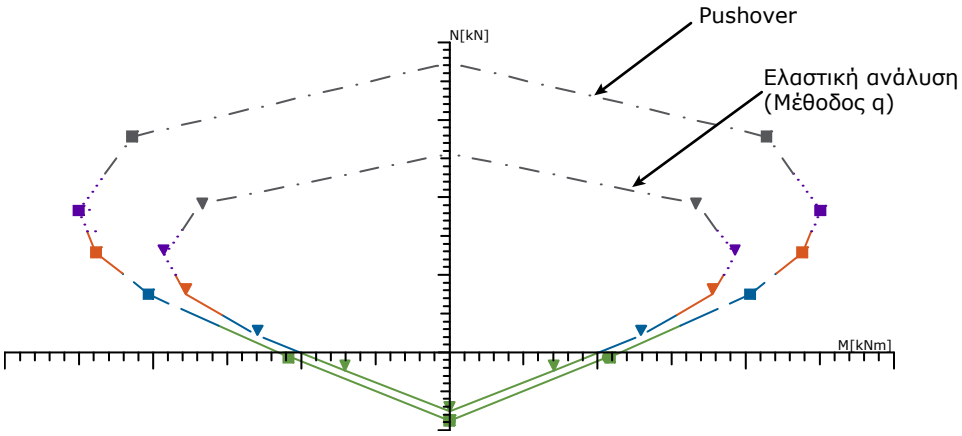
Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η ευμενής επιρροή των τοιχοπληρώσεων μέσω της μείωσης της στοχευόμενης μετακίνησης στο φορέα. Πράγματι, το γυμνό πλαίσιο αναλαμβάνει το ποσοστό $r_u = \frac{F_3}{F_1}$ της τέμνουσας βάσης, ενώ οι τοιχοπληρώσεις το υπόλοιπο ποσοστό $(1 - r_u)$. Η μείωση των οριζόντιων δυνάμεων που αναλαμβάνουν τα πλαίσια καταλήγει στην περαιτέρω μείωση της στοχευόμενης μετακίνησης (ΣΜ) και άρα των λόγων ανεπάρκειας λ.



Σχήμα 2: *Ευμενής παρουσία τοιχοπληρώσεων στην Pushover*

4. Μέσες τιμές αντοχών

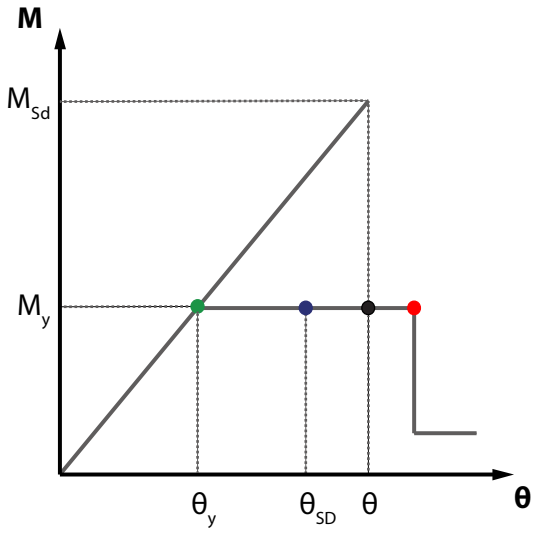
Στην **Pushover,** το σκυρόδεμα και ο χάλυβας οπλισμού, συμμετέχουν στις αντοχές των μελών με τις **μέσες τιμές** τους (ΚΑΝΕΠΕ, Παράρτημα 9Α, §4.3(β)). Αντίθετα, στην **ελαστική ανάλυση με τη μέθοδο q** συμμετέχουν με τις **χαρακτηριστικές** (μέση **μείον** μία τυπική απόκλιση) (Παράρτημα 9Α, §2(β)). Αυτό έχει ως συνέπεια να υποεκτιμάται σημαντικά η συνολική αντοχή των μελών, κάτι που υποδηλώνεται και στο Σχήμα 3. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείστε τον τρόπο που η καμπύλη αλληλεπίδρασης (M,N) της Pushover στα υποστυλώματα περιβάλλει την αντίστοιχη καμπύλη της μεθόδου q.



Σχήμα 3: *Διαγράμματα αλληλεπίδρασης M-N στην Pushover και στην ελαστική ανάλυση με τη μέθοδο q*

5. Ενσωμάτωση διατάξεων υπέρ της ασφαλείας του ΚΑΝΕΠΕ στις ελαστικές μεθόδους

Μία από τις διατάξεις υπέρ της ασφαλείας είναι ότι στη μέθοδο m ο τοπικός δείκτης πλαστιμότητας m διαιρεί μόνο τις σεισμικές δυνάμεις στον τύπο υπολογισμού του συντελεστή ανεπάρκειας λ. (ΚΑΝΕΠΕ, §9.3.2). Αποδεικνύεται ότι εξαιτίας αυτού του γεγονότος, ο συντελεστής ανεπάρκειας της Pushover προκύπτει μικρότερος από τον αντίστοιχο της μεθόδου m (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: *Συσχέτιση λόγου ανεπάρκειας Pushover με μέθοδο m*

Σύμφωνα με το Σχήμα 4 προκύπτει: $m = \dfrac{\theta_{SD}}{\theta_y}$:

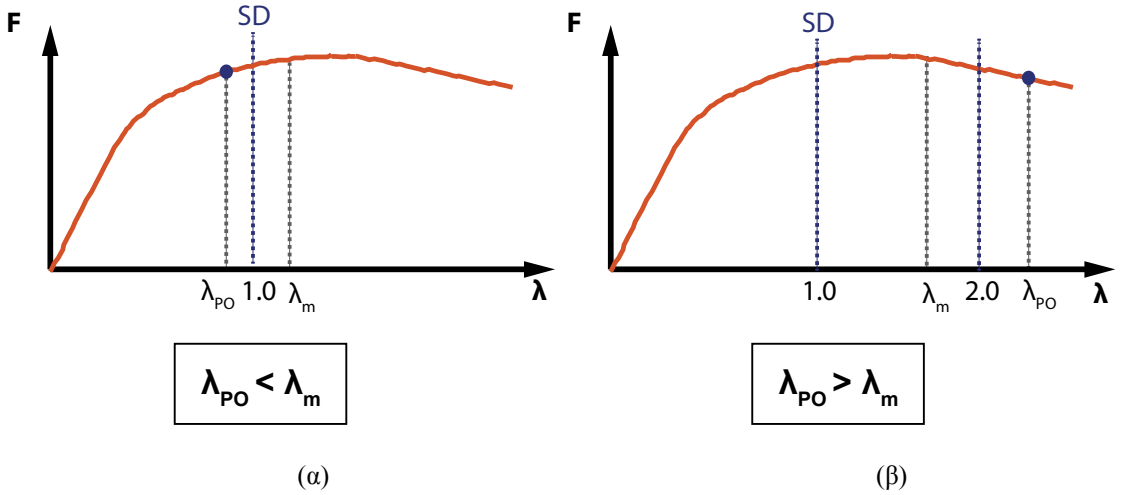
$$\left.\begin{array}{l} \text{Μέθοδος m:}\ \ \lambda_m = \dfrac{\boldsymbol{M_G} + \dfrac{\boldsymbol{M_E}}{\boldsymbol{m}}}{M_{Rd}} \\[2ex] \text{Pushover:}\ \ \lambda_{push} = \dfrac{\theta}{\theta_{SD}} = \dfrac{\theta}{\theta_y}\cdot\dfrac{1}{m} = \dfrac{\dfrac{M_{Sd}}{m}}{M_{Rd}} = \dfrac{\dfrac{\boldsymbol{M_G} + \boldsymbol{M_E}}{\boldsymbol{m}}}{M_{Rd}} \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{\boldsymbol{\lambda_{PO} \le \lambda_m}}$$

6. Αύξηση του τοπικού συντελεστή m κατά 1.25

Ο ίδιος ο ΚΑΝΕΠΕ παραδέχεται τα ευνοϊκότερα αποτελέσματα της Pushover καθώς όταν απαιτούνται και οι δύο αναλύσεις, π.χ. λόγω της επιρροής ανωτέρων ιδιομορφών στο φορέα, επιτρέπει την αύξηση των δεικτών m ή q κατά 25% ώστε τα αποτελέσματα τους να γίνουν ανταγωνιστικά της Pushover (§9.1.3(γ)).

7. Η Pushover προβλέπει τον ακριβή αριθμό μελών προς ενίσχυση

Η Pushover ανιχνεύει επακριβώς το βαθμό της επάρκειας των κτιρίων, ενώ δεν απαιτεί περιττές ενισχύσεις, επειδή περιγράφει ρεαλιστικά το μη γραμμικό κλάδο απόκρισης των μελών (Σχήμα 5α). Επιπρόσθετα, προβλέπει πιστότερα τα μέλη που αστοχούν σε περιπτώσεις γενικευμένης ανεπάρκειας (Σχήμα 5β). Όταν, δηλαδή, εμφανίζονται λόγοι ανεπάρκειας λ>2.0 η Pushover είναι, ορθώς, δυσμενέστερη της ελαστικής ανάλυσης, αναδεικνύοντας ανεπάρκειες σε περισσότερα μέλη, καθώς αυτά καλούνται να αναλάβουν τις επιπλέον δυνάμεις των μελών που έχουν ήδη διαρρεύσει. Σε κάθε περίπτωση ο μελετητής που χρησιμοποιεί την Pushover είναι σε θέση να γνωρίζει τον ακριβή αριθμό των μελών τα οποία θα πρέπει να ενισχυθούν.



Σχήμα 5: *Σύγκριση λόγων ανεπάρκειας ελαστικής ανάλυσης μεθόδου m, λm και Pushover λPO για την περίπτωση (α) όπου το κτίριο εμφανίζει μικρές ανεπάρκειες και (β) όπου το κτίριο εμφανίζει μεγάλες ανεπάρκειες.*