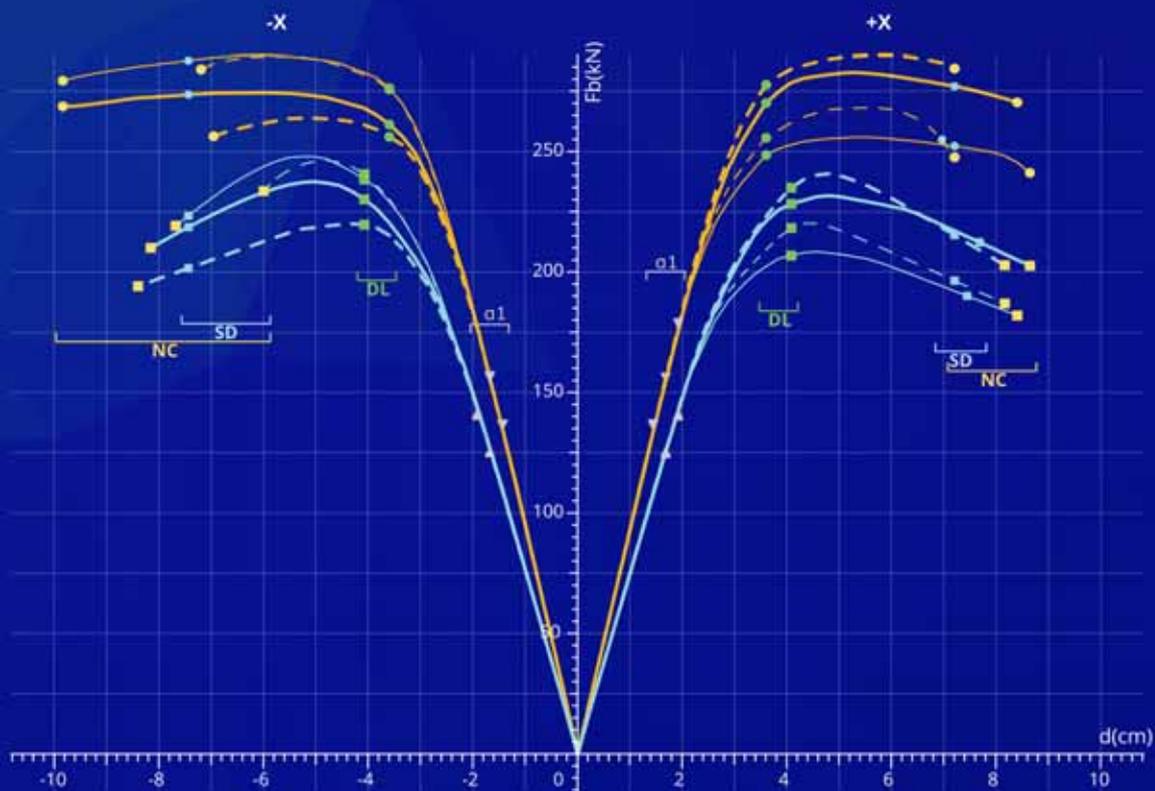


Εγχειρίδιο επαλήθευσης στοχευόμενης μετακίνησης ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Παράδειγμα αποτίμησης
Κτίριο SPEAR



Fespa 17

For Windows

Εγχειρίδιο επαλήθευσης στοχευόμενης
μετακίνησης (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

Παράδειγμα Αποτίμησης

Κτίριο SPEAR



Αθήνα, Απρίλιος 2017

Version 1.0.8

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	3
1.1	Στόχος	3
2	Κτίριο SREAR	4
2.1	Ο φορέας του παραδείγματος	4
2.2	Περιγραφή του φορέα.....	6
2.3	Σεισμική ένταση.....	9
3	Συγκριτικά αποτελέσματα.....	11
3.1	Διαγράμματα μελών	11
3.2	Καμπύλες αντίστασης	13
3.3	Στοχευόμενη μετακίνηση	18
4	Βιβλιογραφία	21

1

Εισαγωγή

1.1 Στόχος

Στο παρόν εγχειρίδιο πραγματοποιείται εφαρμογή της μεθόδου αποτίμησης Pushover στο κτίριο SPEAR (Seismic Performance Assessment and Rehabilitation) και τα παραγόμενα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα δημοσιευμένα αποτελέσματα των Stratan και Fajfar [1]. Το κτίριο SPEAR αποτέλεσε ερευνητικό αντικείμενο μελέτης στα πλαίσια του προγράμματος της Ε.Ε. “Seismic Performance Assessment and Rehabilitation” και έχει εξεταστεί ψευδοδυναμικά στο Ινστιτούτο ELSA (European Laboratory for Structural Assessment) στην περιοχή Ispra της Ιταλίας.

Σκοπός της σύγκρισης είναι η τεκμηρίωση της ακρίβειας και της αποδοτικότητας της αριθμητικής ανάλυσης Pushover ως προς την σεισμική αποτίμηση της επάρκειας υφιστάμενων κατασκευών. Συνεπώς, κύριο μέλημα του εγχειριδίου δεν είναι τόσο η αυστηρή εφαρμογή του ΚΑΝ.ΕΠΕ. όσο η σωστή προσομοίωση και αριθμητική περιγραφή των συγκεκριμένων δεδομένων για το κτίριο όπως αυτά διατίθενται από τους Stratan και Fajfar [1].

2

Κτίριο SPEAR

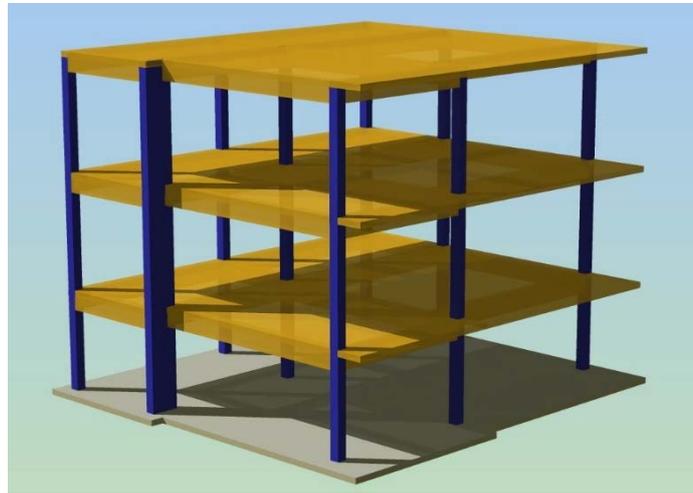
2.1 Ο φορέας του παραδείγματος

Το κτίριο SPEAR (<http://library.upt.ro/pub.edocs/69837/index.pdf>) σχεδιάστηκε από τον Φαρδή [2] και αναπαριστάει μία πραγματική τριώροφη κατασκευή, αντιπροσωπευτική παλαιότερων κατασκευαστικών πρακτικών στην Ελλάδα και στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, χωρίς αντισεισμική προστασία. Το κτίριο, λοιπόν, έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για φορτία βαρύτητας, χρησιμοποιώντας τον κανονισμό σκυροδέματος του '54 με τις αντίστοιχες ποιότητες υλικών της εποχής.

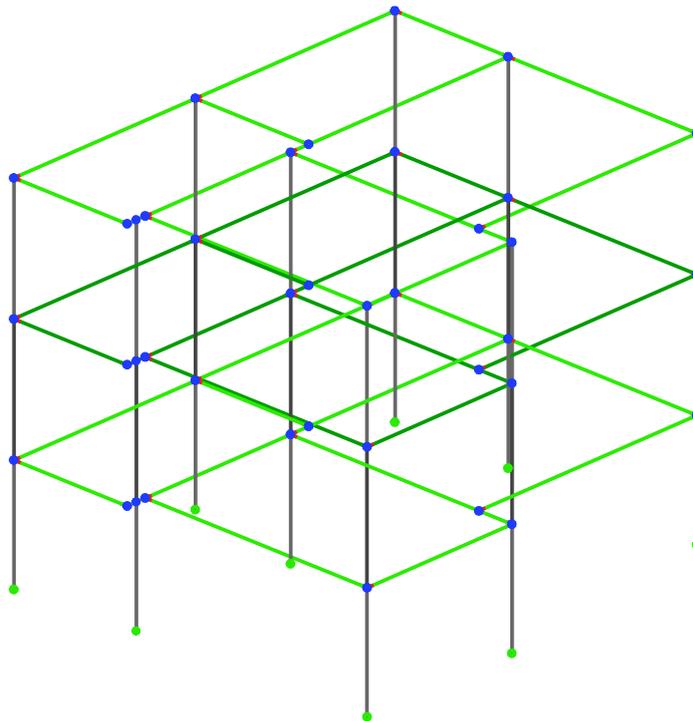
Τα κύρια μειονεκτήματα του κτιρίου SPEAR ως προς τον αντισεισμικό σχεδιασμό είναι τα εξής:

- Λείοι ράβδοι οπλισμού
- Λεπτά υποστυλώματα με αραιούς συνδετήρες
- Ματίσεις διαμηκών οπλισμών σε πιθανές θέσεις πλαστικών αρθρώσεων
- Έλλειψη εγκάρσιου οπλισμού στους κόμβους
- Ανεπαρκής αγκύρωση των συνδετήρων
- Μη κανονικότητα σε κάτοψη

Η μοντελοποίηση του κτιρίου στο Fespa παρέχει την τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα όπως αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.1 ενώ το μαθηματικό γραμμικό στατικό προσομοίωμα απεικονίζεται στην Εικόνα 2.2.



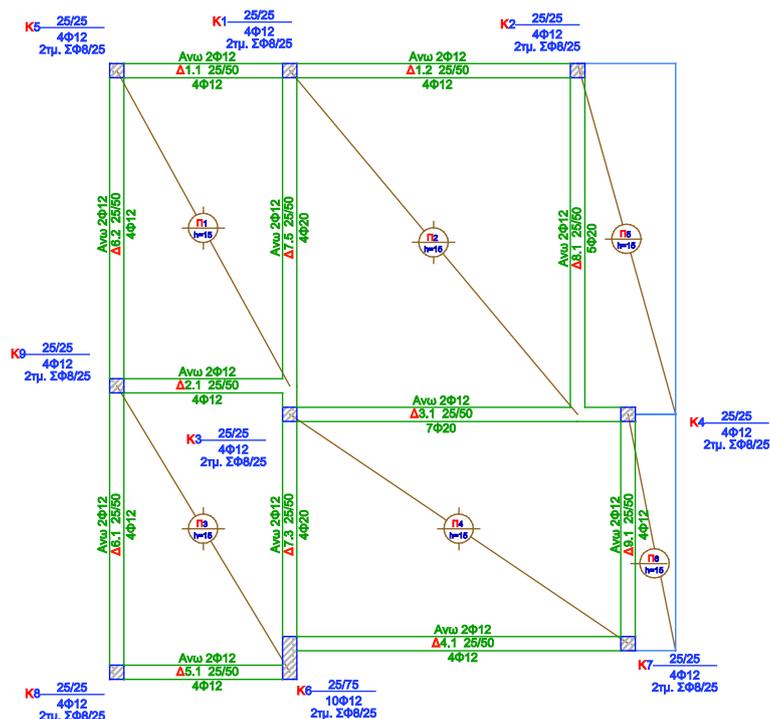
Εικόνα 2.1: Τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση κτιρίου



Εικόνα 2.2: Γραμμικό τρισδιάστατο προσομοίωμα (3DV)

2.2 Περιγραφή του φορέα

Οι διαστάσεις της κάτοψης του φορέα, καθώς και οι διατομές με τους οπλισμούς των υποστυλωμάτων και δοκών παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3: Κάτοψη κτιρίου SPEAR

Επιπρόσθετα, το ύψος των ορόφων είναι 3m, με 2.5m καθαρό ύψος υποστυλωμάτων ανάμεσα στις δοκούς. Οι πλάκες της κατασκευής έχουν πάχος 15 cm και οπλίζονται με $\varnothing 8/20$, ενώ τα μόνιμα φορτία που αναλαμβάνουν είναι $G=0.50 \text{ kN/m}^2$ και τα κινητά $Q=2.0 \text{ kN/m}^2$. Ο διαμήκης οπλισμός των υποστυλωμάτων αποτελείται από λείες ράβδους $\varnothing 12$ οι οποίες επικαλύπτονται σε κάθε όροφο με μήκος μάτισης τα 40 cm. Παράλληλα, ο εγκάρσιος οπλισμός των υποστυλωμάτων αποτελείται από επίσης λείους συνδετήρες $\varnothing 8/25$ ομοιόμορφα τοποθετημένους και κλειστούς με άγκιστρα 90 μοιρών, χωρίς ωστόσο να εισχωρούν στις περιοχές των κόμβων. Αντίθετα, οι δοκοί διαθέτουν διαμήκη άνω και κάτω οπλισμό $2\varnothing 12$ αγκυρωμένο με άγκιστρα 180 μοιρών στην εξωτερική παρειά των υποστυλωμάτων και επιπλέον άλλα $2\varnothing 12$ ως κάτω οπλισμό ο οποίος κάμπτεται διαγώνια άνω κοντά στις στηρίξεις. Οι τελευταίες δύο ράβδοι αγκυρώνονται καμπτόμενες προς τα κάτω στους εξωτερικούς κόμβους, ενώ

συνεχίζουν στο επόμενο άνοιγμα στους εσωτερικούς. Επίσης, στην περίπτωση όπου οι δοκοί αναλαμβάνουν μεγάλο κατακόρυφο φορτίο, όπως οι δοκοί Δ3.1, Δ7.3-Δ7.5, Δ8.1 τοποθετείται αυξημένο ποσοστό κάτω οπλισμού με σίδερα μεγαλύτερης διαμέτρου Ø20. Τέλος οι δοκοί οπλίζονται επίσης με εγκάρσιους κλειστούς συνδετήρες Ø8/20 με αγκύρωση 90 μοιρών.

Όσον αφορά τα υλικά, οι επιμέρους αντοχές του σκυροδέματος και του χάλυβα οπλισμού παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 2.1.

Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος, f_c	37.5 MPa
Τάση διαρροής χάλυβα, f_y	352 MPa
Οριακή παραμόρφωση σκυροδέματος, ϵ_{cu}	0.0037
Οριακή παραμόρφωση χάλυβα, ϵ_{su}	0.05

Πίνακας 2.1: Ιδιότητες υφιστάμενων υλικών

Σημειώνεται επίσης ότι η ανάλυση είναι ανεξάρτητη από τους συντελεστές της Σ.Α.Δ. και τους επιμέρους συντελεστές των υλικών. Όλα τα παραπάνω δίνονται στην καρτέλα «Κτίριο > Υλικά-Αποτίμηση > Υφιστάμενο σκυρόδεμα & Οπλισμός» και «Κτίριο > Υλικά-Αποτίμηση > Επίπεδο γνώσης (Σ.Α.Δ) υφιστάμενων υλικών-Συντ. ασφαλείας»

Υφιστάμενο σκυρόδεμα & Οπλισμός	
Μέση αντοχή σκυροδέματος f_{cm} [MPa]	37.5
Μέση αντοχή χάλυβα f_{ym} [MPa]	352.0
Οριακή παραμόρφωση υφιστάμενου οπλισμού ϵ_{su} [%]	5.000
Μέση αντοχή χάλυβα συνδετήρων f_{ym} [MPa]	352.0
Επίπεδο γνώσης (Σ.Α.Δ.) υφιστμένων υλικών - Συντ. ασφαλείας	
Επίπεδο γνώσης (Σ.Α.Δ.) σκυροδέματος	KL3 - Πλήρης (Υψηλή)
Συντελεστής εμπιστοσύνης χαρακτηριστικών σκυροδέματος C	1.000
Συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος γ_c	1.350
Επίπεδο γνώσης (Σ.Α.Δ.) χάλυβα οπλισμού	KL3 - Πλήρης (Υψηλή)
Συντελεστής εμπιστοσύνης χαρακτηριστικών χάλυβα CFs	1.000
Συντελεστής ασφαλείας χάλυβα γ_s	1.050

Εικόνα 2.4: Εισαγωγή παραμέτρων ιδιοτήτων υλικών και συντελεστές Σ.Α.Δ.

Επιπρόσθετα, η ανεπαρκής αγκύρωση των διαμήκων ράβδων των δοκών στους κόμβους λήφθηκε υπόψιν μειώνοντας την τάση διαρροής των οπλισμών αναλογικά με το λόγο του διαθέσιμου προς το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης [1]:

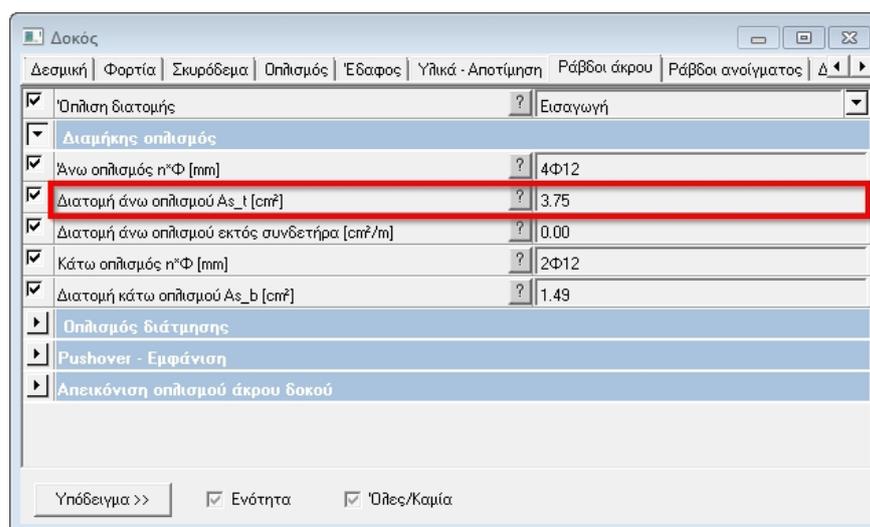
$$f_{y,eq} = f_y \cdot \frac{l_{b,av}}{l_{b,req}} \quad (1)$$

Συνεπώς, καταλήγουμε στον Πίνακας 2.2 όπου υπολογίζεται η ισοδύναμη τάση διαρροής για κάθε διάμετρο οπλισμού λόγω του φαινομένου της ολίσθησης.

d_b (mm)	$l_{b,av}$ (mm)	$l_{b,req}$ (mm)	$f_{y,eq}$ (MPa)	$f_{y,eq}/f_y$
12	220	336	231	0.66
20	220	560	138	0.39

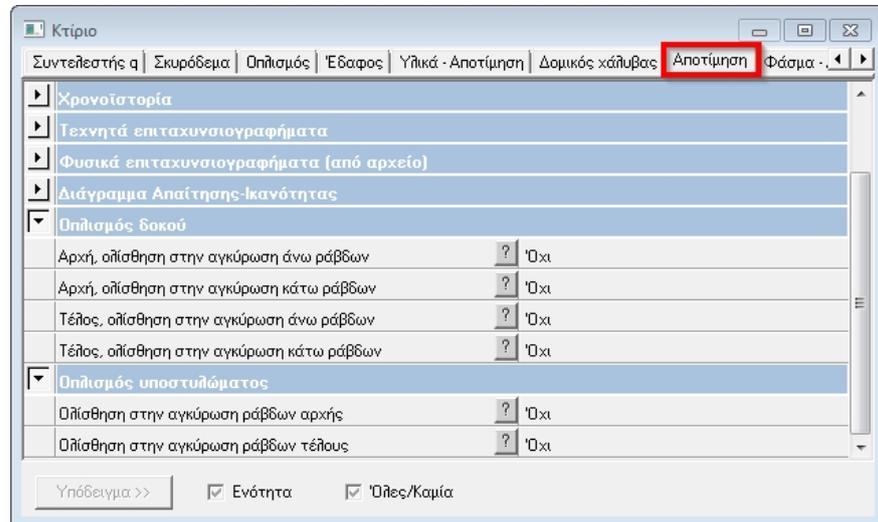
Πίνακας 2.2: Ισοδύναμη τάση διαρροής ράβδου συνεκτιμώντας την ολίσθηση.

Στη συνέχεια εισάγεται στο πρόγραμμα το ισοδύναμο απομειωμένο εμβαδόν των άνω ράβδων οπλισμού σύμφωνα με τον αντίστοιχο λόγο $f_{y,eq}/f_y$ της κάθε ράβδου («Δοκός > Ράβδοι Άκρου > Διατομή άνω οπλισμού As_t [cm²]).



Εικόνα 2.5: Εισαγωγή ισοδύναμου εμβαδού ράβδων οπλισμού.

Η μέθοδος αυτή συνυπολογισμού της ολίσθησης διαφέρει από την αντίστοιχη του ΚΑΝ.ΕΠΕ. καθώς ενσωματώνει το φαινόμενο στην καμπυλότητα διαρροής ϕ_y . Συνεπώς, για να αποφύγουμε τη θεώρηση του φαινομένου δύο φορές, απενεργοποιούμε την επιρροή της ολίσθησης στην καρτέλα «Κτίριο > Αποτίμηση > Οπλισμός δοκού > Αρχή, ολίσθηση στην αγκύρωση άνω ράβδων» > Όχι».



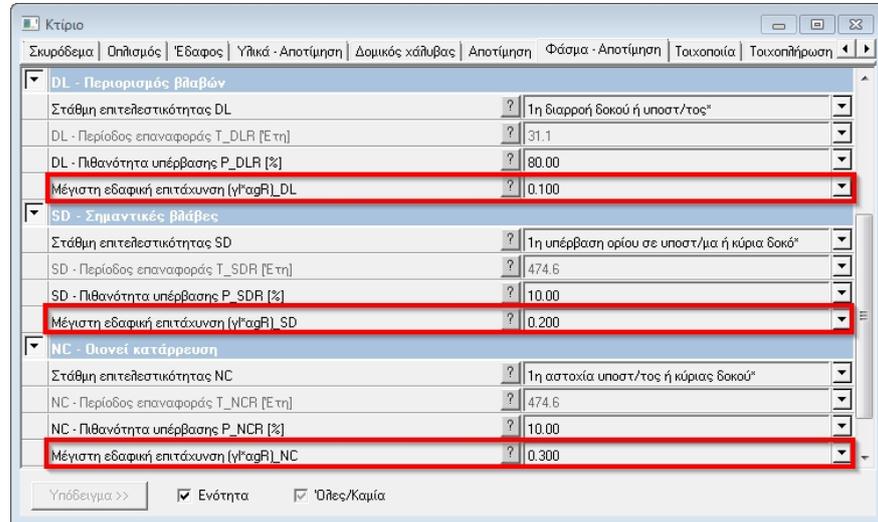
Εικόνα 2.6: Απενεργοποίηση της ολίσθησης των διαμήκων ράβδων.

2.3 Σεισμική ένταση

Θεωρούνται τρία επίπεδα σεισμικής έντασης που αντιστοιχούν στις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας σε όρους εδαφικών επιταχύνσεων ως εξής:

- DL: $a_g = 0.1g$
- SD: $a_g = 0.2g$
- NC: $a_g = 0.3g$

Οι παραπάνω μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις εισάγονται σε καθεμία από τις τρεις επιτελεστικότητες στην καρτέλα «Κτίριο > Φάσμα-Αποτίμηση> Υφιστάμενο σκυρόδεμα & Οπλισμός».



Εικόνα 2.7: Εισαγωγή σεισμικών επιταχύνσεων επιτελεστικότητας.

Επίσης, οι αντίστοιχες μάζες στους ορόφους προκύπτουν από το σεισμικό συνδυασμό $G+\varphi \cdot 0.3 \cdot Q$, όπου $\varphi=0.8$ για τους ορόφους 0, 1 ενώ $\varphi=1.0$ για τον τελευταίο όροφο 2. Συνεπώς, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας για τις μάζες του κτιρίου όπως αυτός τυπώνεται στο Τεύχος του προγράμματος (Εικόνα 2.8) «Τεύχος > Αποτελέσματα επίλυσης > Επίλυση σεισμικών φορτίσεων».

Βάρος και μάζα κτιρίου

Επίπεδο	Υψόμετρο [m]	Συνολικό βάρος υπερκείμενων επιπέδων [kN]	Μάζα επιπέδου [ton]
3	8.75	0.628E+03	0.640E+02
2	5.75	0.128E+04	0.655E+02
1-βάση	2.75	0.194E+04	0.655E+02

ECS-1 §3.2.4:

Το βάρος προκύπτει από την φόρτιση $G+\psi 2 \cdot Q$

Η μάζα προκύπτει από την φόρτιση $G+\varphi \cdot \psi 2 \cdot Q$

Εικόνα 2.8: Εκτύπωση πίνακα μαζών στο Τεύχος.

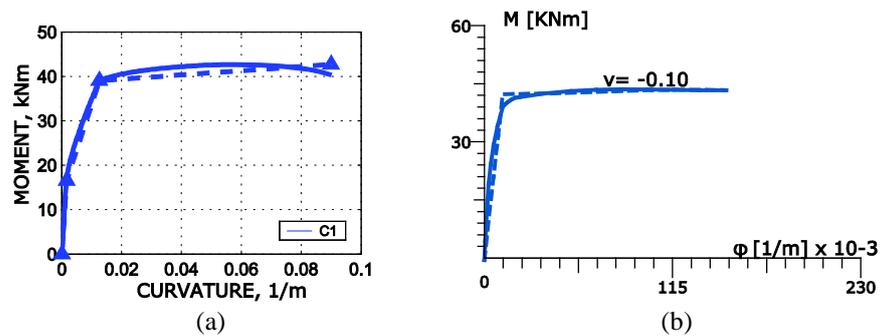
3

Συγκριτικά Αποτελέσματα

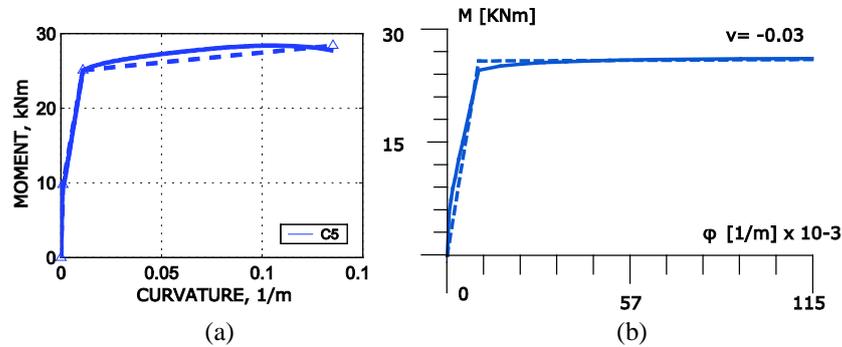
3.1 Διαγράμματα μελών

Αρχικά η σύγκριση των αποτελεσμάτων γίνεται σε επίπεδο μέλους και πιο συγκεκριμένα αφορά τα διαγράμματα μελών σε όρους ροπών καμπυλοτήτων $M-\phi$. Η σύγκριση αφορά μόνο την περίπτωση των ροπών-καμπυλοτήτων καθώς στην ανάλυση των Stratan και Fajfar [1] δεν συμπεριλαμβάνεται η συνεισφορά της διατμητικής παραμόρφωσης στον υπολογισμό του σκελετικού διαγράμματος σε όρους ροπών-γωνιών στροφής χορδής $M-\theta$. Αντίθετα, το Fespa ενσωματώνει τα έργα λόγω διάτμησης μέσω του υπολογισμού της γωνίας στροφής χορδής στη διαρροή μέσω τη σχέσης Σ.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§7.2.2).

Ακολούθως, η σύγκριση πραγματοποιείται για τα υποστυλώματα K1(0) και K5(0) στη βάση τους και οι αντίστοιχες μη-γραμμικές καμπύλες μαζί με τις διγραμμικοποιημένες απλοποιήσεις τους παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.1 και στην Εικόνα 3.2.

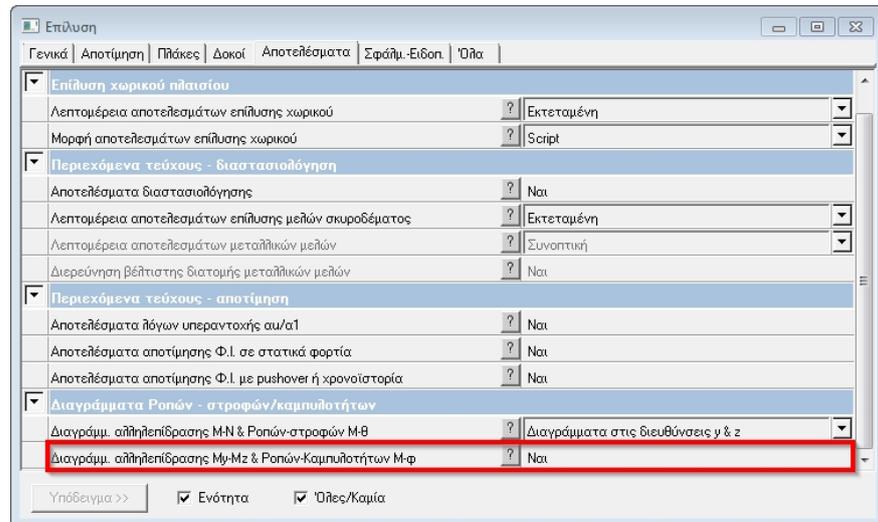


Εικόνα 3.1: Σύγκριση διαγραμμάτων $M-\phi$ για το υποστώμα K1(0), (a) Fajfar, (b) Fespa



Εικόνα 3.2: Σύγκριση διαγραμμάτων M-φ για το υποστώμα K5(0), (a) Fajfar, (b) Fespa

Παρατηρείται γενικά σχεδόν ταύτιση των παραγόμενων αποτελεσμάτων τόσο ως προς το σημείο διαρροής όσο και ως προς το μεταελαστικό κλάδο πλαστιμότητας. Θυμίζεται ότι για να είναι δυνατή η προβολή των διαγραμμάτων M-φ πρέπει να ενεργοποιηθεί η παράμετρος «Επίλυση > Αποτελέσματα > Διαγραμ. Αλληλεπίδρασης My-Mz & Ρολών-Καμπυλοτήτων M-φ = Ναι» (Εικόνα 3.3).

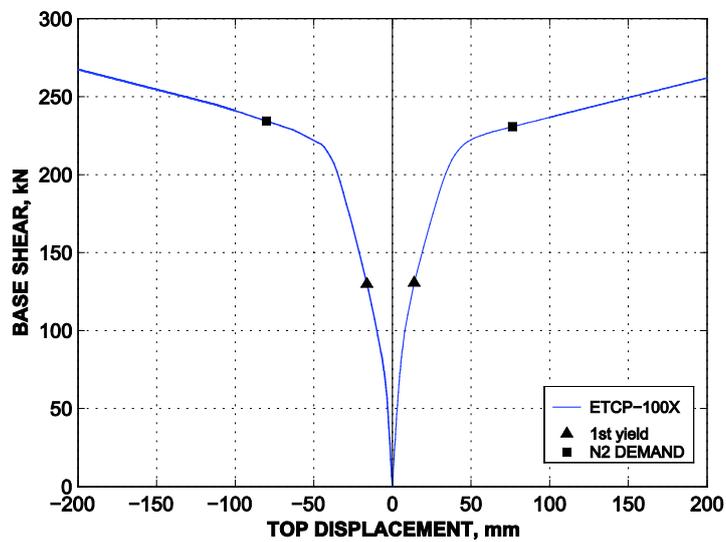


Εικόνα 3.3: Ενεργοποίηση προβολής διαγραμμάτων M-φ μελών.

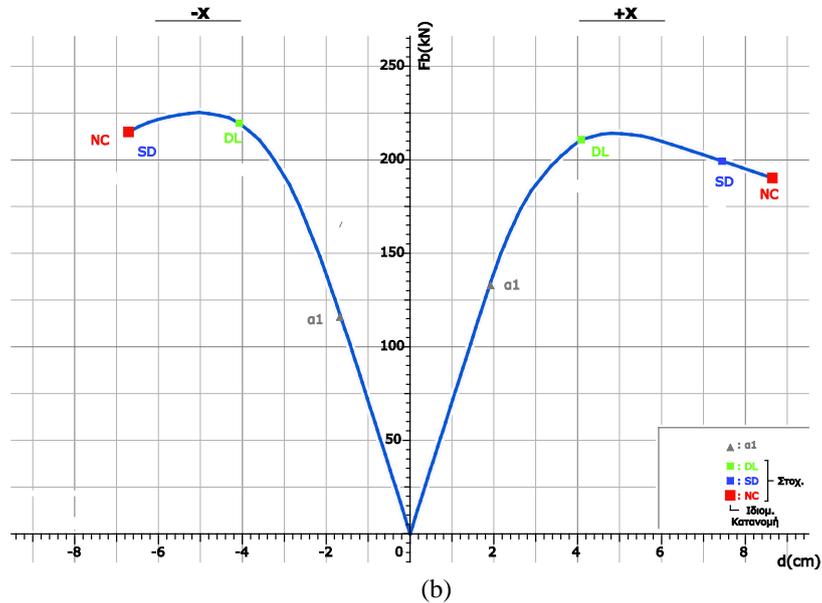
Γενικά, η προβολή των διαγραμμάτων M-φ στο Τεύχος είναι δυνατή στην Εκτεταμένη εκτύπωση στη θέση «Διαγράμματα αντοχής μελών > Υποστυλωμάτων».

3.2 Καμπύλες αντίστασης

Έπειτα, εκτελείται η ανάλυση Pushover και υπολογίζεται η στοχευόμενη μετακίνηση της κατασκευής εφαρμόζοντας τη μέθοδο N2. Αρχικά γίνεται η σύγκριση στο επίπεδο των καμπύλων αντίστασης όπως αυτές προκύπτουν από την ανάλυση Pushover. Συνεπώς, στην Εικόνα 3.4 και στην Εικόνα 3.5 συγκρίνονται οι καμπύλες της Pushover σε όρους τέμνουσας βάσης - μετακίνησης κόμβου ελέγχου για τις δύο κύριες διευθύνσεις X, Z σύμφωνα με την ιδιομορφική κατανομή των πλευρικών σεισμικών δυνάμεων.



(a)

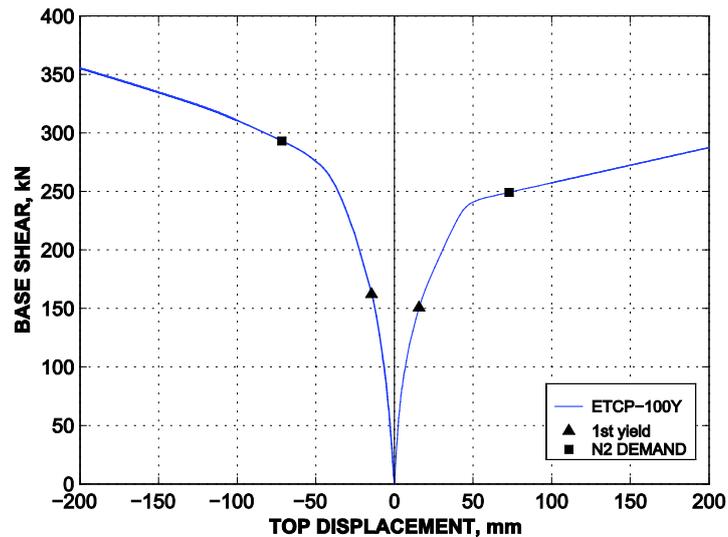


Εικόνα 3.4: Σύγκριση καμπύλων Pushover στη διεύθυνση X, (a) Fajfar, (b) Fespa

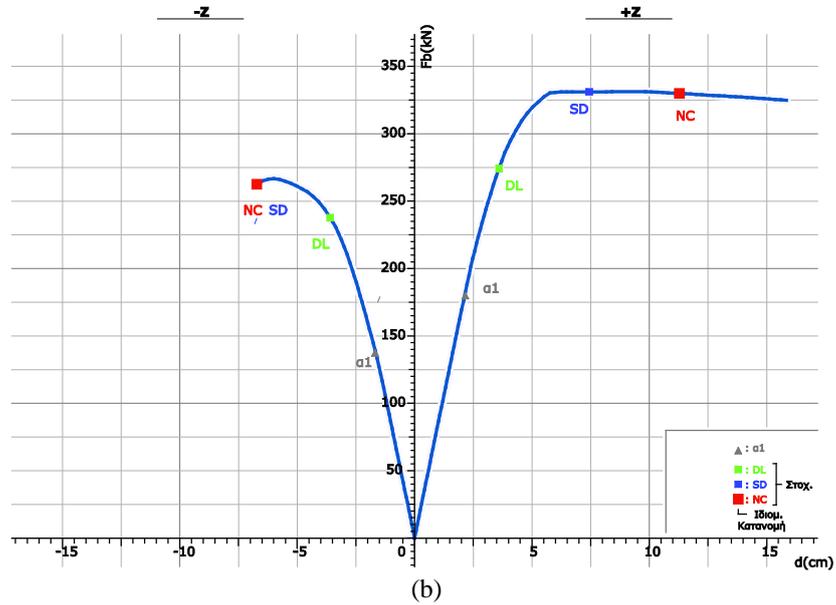
Η σήμανση της στοχευόμενης μετακίνησης στα διαγράμματα των Stratan και Fajfar αναφέρεται στην επιτελεσματικότητα SD για επίπεδο σεισμικών δυνάμεων $a_g=0.2g$. Παρατηρείται γενικά ότι η σύγκριση των καμπύλων Pushover του Fespa και της ανάλυσης των Stratan και Fajfar [1] είναι άκρως ικανοποιητική μέχρι το σημείο της μέγιστης φέρουσας ικανότητας της κατασκευής. Έπειτα, η ενσωμάτωση των φαινομένων P-Δ στην ανάλυση από το Fespa προκαλεί κλάδο αρνητικής δυσκαμψίας ο οποίος καταλήγει στον τερματισμό της ανάλυσης λόγω εμφάνισης μηχανισμού ορόφου. Αντίθετα, η ανάλυση των Stratan και Fajfar δεν περιέχει τα φαινόμενα P-Δ και συνεπώς προβλέπεται συνεχής αύξηση της αντοχής λόγω της κρατυνόμενης συμπεριφοράς των υλικών. Φανερώνεται, λοιπόν, έκδηλα η αναγκαιότητα ενσωμάτωσης των φαινομένων της γεωμετρικής μη γραμμικότητας στην ανάλυση καθώς διαφορετικά υπερεκτιμάται αισθητά η αντοχή κατά της ασφαλείας.

Πιο συγκεκριμένα, στη διεύθυνση X το Fespa υπολογίζει επιτυχώς την πρώτη διαρροή κύριου μέλους για μετακίνηση του κόμβου ελέγχου περίπου 2 cm, ενώ η ισοδύναμη γενικευμένη διαρροή της κατασκευής προκύπτει για μετακίνηση 4 cm. Έπειτα, ακολουθεί πτωτικός κλάδος αρνητικής δυσκαμψίας, ενώ κατά την επιτελεσματικότητα SD προκύπτει μετακίνηση του κόμβου ελέγχου ίση με περίπου 7.5 με 8.0 cm.

Όσον αφορά τη διεύθυνση Z, αξίζει να υπενθυμίσουμε ότι η φορά του θετικού άξονα Z στο Fespa είναι η αντίθετη του αντίστοιχου άξονα που θεωρήθηκε στην ανάλυση των Stratan και Fajfar [1]. Συνεπώς, η καμπύλη Pushover για τη διεύθυνση +Z στο Fespa αντιστοιχεί στην καμπύλη για -Z στην ανάλυση των Stratan και Fajfar και αντίστροφα.



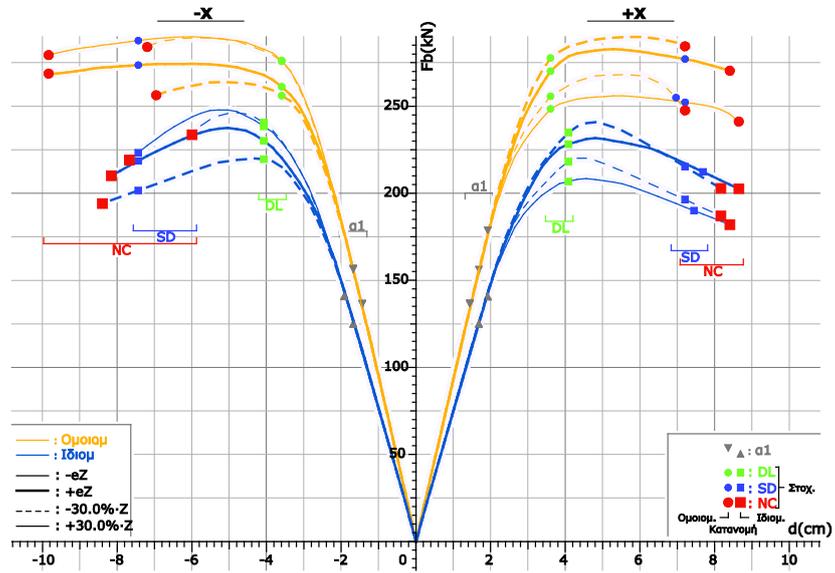
(a)



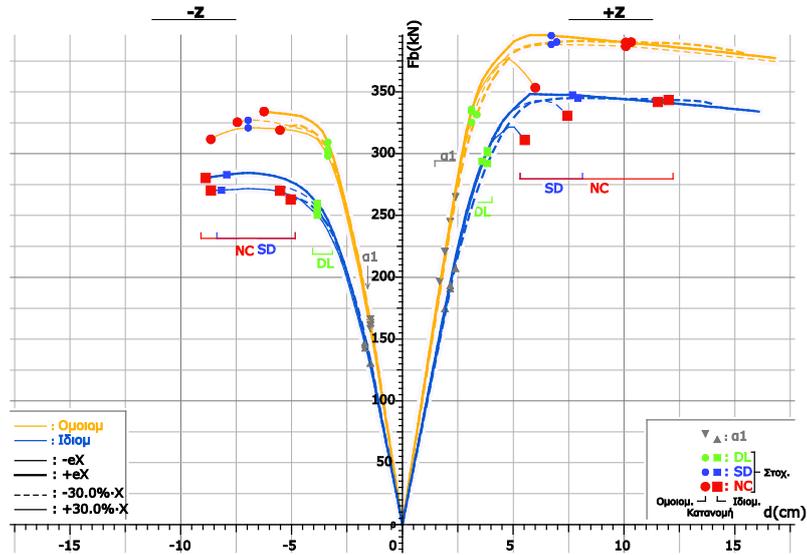
Εικόνα 3.5: Σύγκριση καμπύλων Pushover στη διεύθυνση Z, (a) Fajfar, (b) Fespa

Παρόμοιο επίπεδο ικανοποιητικής σύγκρισης προκύπτει και κατά τη διεύθυνση Z. Τα αποτελέσματα του Fespa συμφωνούν με τα αντίστοιχα του Fajfar καθώς και τα δύο αναπαράγουν τη μειωμένη αντοχή του κτιρίου κατά την παραμόρφωση προς τα πάνω (-Z στο Fespa, +Z στον Fajfar). Επίσης, τόσο η πρώτη διαρροή μέλους και η γενικευμένη διαρροή του κτιρίου, όσο και οι στοχευόμενες μετακινήσεις προκύπτουν για το ίδιο εύρος μετακινήσεων του κόμβου ελέγχου.

Οι προηγούμενες συγκρίσεις αφορούν μηδενική τυχηματική εκκεντρότητα και ιδιομορφική κατανομή σεισμικών δυνάμεων. Στη γενική περίπτωση όμως, όταν συμπεριληφθεί ο παράγοντας της τυχηματικής εκκεντρότητας και προστεθεί η ομοιόμορφη κατανομή προκύπτουν οι 8 καμπύλες για κάθε διεύθυνση (32 σύνολο) και παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.6 και στην Εικόνα 3.7. («Τεύχος > Διαγράμματα Απαιτήσης-Ικανότητας > Συγκεντρωτικά αποτελέσματα > Συγκεντρωτικά διαγράμματα F-d»). Τέλος, οι έλεγχοι προκύπτουν βάση των δυσμενέστερων λόγων επάρκειας όλων των συνδυασμών ανάλυσης.



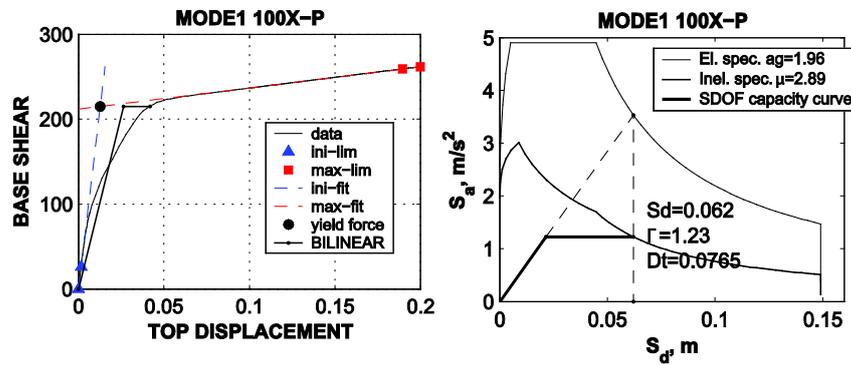
Εικόνα 3.6: Συγκενρωτικά αποτελέσματα στο Fespa για όλο το πλήθος των 32 αναλύσεων στη X διεύθυνση



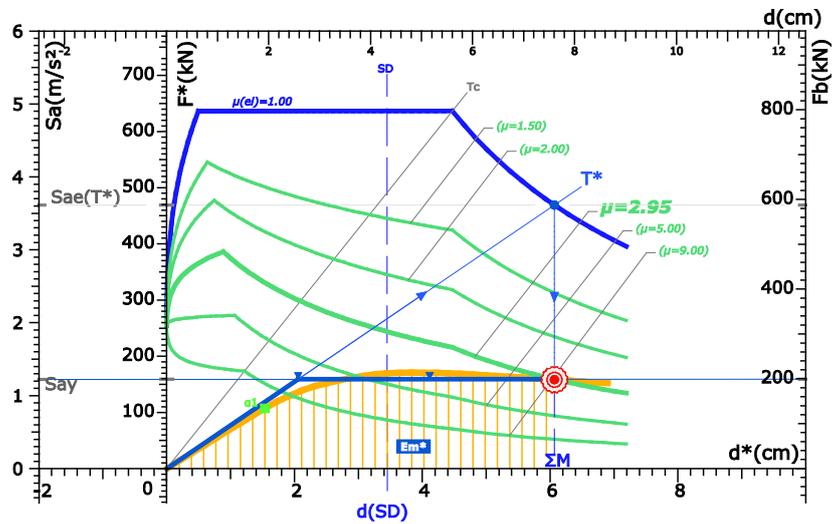
Εικόνα 3.7: Συγκενρωτικά αποτελέσματα στο Fespa για όλο το πλήθος των 32 αναλύσεων στη Z διεύθυνση

3.3 Στοχευόμενη μετακίνηση

Στο τελευταίο στάδιο η σύγκριση πραγματοποιείται ως προς τον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης σύμφωνα με τη μέθοδο N2 [3] η οποία υιοθετείται στον Ευρωκώδικα 8-1 στο Παράρτημα Β. Σημειώνεται ότι αναλυτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται εκτενώς για το επίπεδο έντασης $ag=0.2g$. Στην Εικόνα 3.8 παρουσιάζεται η διαδικασία εύρεσης της στοχευόμενης μετακίνησης κατά τους Stratan και Fajfar [1] και στο Fespa για τη διεύθυνση φόρτισης +X.



(α)



(b)

Εικόνα 3.8: Σύγκριση υπολογισμού στοχευόμενης μετακίνησης, (a) Fajfar, (b) Fespa

Αρχικά υπολογίζεται ο συντελεστής Γ μετατροπής σε μονοβάθμιο σύστημα και η καμπύλη αντίστασης μετατρέπεται σε όρους φασματικής επιτάχυνσης-φασματικής μετακίνησης ($S_a \cdot d^*$). Έπειτα υπολογίζεται επαναληπτικά η στοχευόμενη μετακίνηση του μονοβαθμίου συστήματος d^* θεωρώντας ότι η διαθέσιμη πλαστιμότητα μ_d του μονοβαθμίου ταλαντωτή και η απαιτούμενη πλαστιμότητα του ανελαστικού φάσματος θα πρέπει να είναι ίσες [6]. Τέλος η στοχευόμενη μετακίνηση της πραγματικής κατασκευής προκύπτει απλά ($d = \Gamma \cdot d^*$).

Τα αποτελέσματα της παραπάνω μεθοδολογίας τυπώνονται αναλυτικά στο Τεύχος («Τεύχος > Στάθμη SD > Κατεύθυνση: 0°»), όπως στην Εικόνα 3.9.

1.	Μάζα m^* και περίοδος T^* μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας q_u	$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_b}{F^*}$	$m^* = 129.8tn$, $\Gamma = 1.25$
		$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* dy^*}{Fy^*}} = 2\pi \sqrt{\frac{dy^*}{Say}}$	$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{2.06cm}{1.23 \cdot 10^2 cm/s^2}} = 0.81s$
		$q_u = q_n = R = \frac{S_{sa}(T^*)}{S_{ay}}$	$q_u = \frac{3.61m/s^2}{1.23m/s^2} = 2.95$
2.	Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας μ_d.	$T^* > T_c = 0.60s$ $\mu_d = q_u$	$\mu_d = 2.95$
3.	Στοχευόμενη μετατόπιση dt.	$dy^* = 2 \left(d_m^* - \frac{E_m^*}{F_m^*} \right)$ $C_1 = \mu_d / q_u$ $d_{et}^* = S_s(T^*) \left[\frac{T^*}{2\pi} \right]^2$ $dt^* = \mu_d / q_u \cdot d_{et}^*$ $dy = \Gamma \cdot dy^*, \quad dt = \Gamma \cdot dt^*$	$dy^* = 2 \left(5.94cm - \frac{781.8cm \cdot kN}{159.09kN} \right) = 2.06cm$ $C_1 = \mu_d / q_u = 2.95 / 2.95 = 1.00$ $d_{et}^* = 3.61m/s^2 \cdot \left[\frac{0.81s}{2\pi} \right]^2 = 6.07cm$ $dt^* = 1.00 \cdot 6.07cm = 6.07cm$ $dy = 2.58cm, \quad dt = 7.60cm$
4.	Μέγιστη επιτάχυνση $\max a_s$ για $\lambda_{max} = 1$ και επιπεδοτικότητα SD.	$\max a_s = 0.105 < 0.200$ (!)	
5.	Παράγοντας υπεραντοχής q_s.	$q_s = q_u = \frac{S_{ay}}{S_{a1}} > 1.0$	$q_s = \frac{1.23m/s^2}{0.83m/s^2} = 1.48$

Εικόνα 3.9: Εκτύπωση αποτελεσμάτων της μεθόδου N2 στο Τεύχος

Συνεπώς, εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία για όλες τις διευθύνσεις φόρτισης προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

Φόρτιση	Γ		μd		d* (cm)		d (cm)	
	Fespa	Fajfar	Fespa	Fajfar	Fespa	Fajfar	Fespa	Fajfar
+X (0°)	1.25	1.23	2.95	2.89	6.07	6.20	7.60	7.65
-X (180°)	1.25	1.23	2.61	2.70	6.35	6.50	7.96	8.01
+Z (90°)	1.26	1.26	1.76	2.32	6.01	5.69	7.57	7.15
-Z (170°)	1.26	1.26	2.19	2.76	6.12	5.81	7.71	7.30

Πίνακας 3.1: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδου N2

4

Βιβλιογραφία

- [1] Stratan A. and Fajfar P. (2003). "Seismic Assessment of the Spear Test Structure". IKPIR Report, Ljubljana
(<http://library.upt.ro/pub.edocs/69837/index.pdf>)
- [2] Fardis, M.N (2002). "Design of an Irregular Building for the SPEAR Project".
- [3] Fajfar P (2000). "A nonlinear analysis method for performance-based seismic design", Earthquake Spectra; 6: 573-592.
- [4] ΕΛΟΤ EN 1998-1, Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών - Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια.
- [5] ΟΑΣΠ. (2013). «Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)», Αθήνα.
- [6] LH Λογισμική (2016). «Υπολογισμός στοχευόμενης μετατόπισης & μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, θεωρία και παραδείγματα»