

ΡΑΦ

ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗΣ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΟΑΣΠ



ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΟΙΚΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
www.tol.com.gr

Ιούνιος 2009



ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΟΙΚΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Καρτερού 60, 71201 Ηράκλειο - Τηλ.: 2810.332684
www.tol.com.gr info@tol.com.gr

Copyright © 2008-2009

Απαγορεύεται οποιαδήποτε μερική ή ολική ανατύπωση, αναδημοσίευση, φωτοτύπηση ή αναπαραγωγή με άλλο τρόπο ολόκληρου του παρόντος ή μέρους του, χωρίς την σύμφωνη γνώμη και την γραπτή άδεια του εκδότη.

Το περιεχόμενο του κειμένου, αντιστοιχεί στην τελική έκδοση του προϊόντος λογισμικού που συνοδεύει, όποτε αυτό είναι δυνατό. Το περιεχόμενο του τεύχους αυτού είναι δυνατό να αλλάξει από τον εκδότη χωρίς προειδοποίηση. Ο εκδότης δεν φέρει καμία ευθύνη για την πληρότητα ή και την ορθότητα του κειμένου και δεν φέρει καμία ευθύνη για τυχόν ζημία ή απώλεια οποιουδήποτε είδους που οφείλεται στο περιεχόμενο αυτού του τεύχους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2	4
2.1	Δεδομένα – Σκαριφήματα φορέα	5
2.2	Παραδοχές	7
2.2.1	Παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ).....	7
2.2.2	Προκαθορισμένες (default) παραδοχές ΡΑΦ	8
2.3	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης	11
2.3.1	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης λόγω στατικών φορτίων $G+\psi_2Q$	11
2.3.2	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου (ΔΦΜ)	13
2.3.3	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου (ΑΦΜ).....	16
2.4	Συγκρίσεις ελέγχων αντοχής	21
2.4.1	Έλεγχος Αντοχής Δοκού	21
2.4.2	Έλεγχος Αντοχής Υποστυλώματος	26
3	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10	39
3.1	Δεδομένα – Σκαριφήματα φορέα	40
3.2	Παραδοχές	43
3.2.1	Παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ).....	43
3.2.2	Προκαθορισμένες (default) παραδοχές ΡΑΦ	45
3.3	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης	48
3.3.1	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης λόγω στατικών φορτίων $G+\psi_2Q$	48
3.3.2	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου (ΔΦΜ)	50
3.3.3	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου (ΑΦΜ).....	55
4	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11	61
4.1	Δεδομένα – Σκαριφήματα φορέα	61
4.2	Παραδοχές	65
4.2.1	Παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ).....	65
4.2.2	Προκαθορισμένες (default) παραδοχές ΡΑΦ	66
4.3	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης	71
4.3.1	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης λόγω στατικών φορτίων $G+\psi_2Q$	71
4.3.2	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου (ΔΦΜ)	73
4.3.3	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου (ΑΦΜ).....	78
4.4	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ελέγχων αντοχής	82
4.4.1	Έλεγχος Αντοχής Δοκού	82
4.4.2	Έλεγχος Αντοχής Υποστυλωμάτων	90
4.4.3	Έλεγχος Αντοχής Τοιχώματος.....	103

5	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14	113
5.1	Δεδομένα – Σκαριφήματα φορέα	114
5.2	Παραδοχές	117
5.2.1	Παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ).....	117
5.2.2	Προκαθορισμένες (default) παραδοχές ΡΑΦ	119
5.3	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης	123
5.3.1	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης λόγω στατικών φορτίων $G+\psi_2Q$	123
5.3.2	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου (ΔΦΜ)	125
6	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 16	136
6.1	Δεδομένα – Σκαριφήματα φορέα	137
6.2	Παραδοχές	139
6.2.1	Παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ).....	139
6.2.2	Προκαθορισμένες (default) παραδοχές ΡΑΦ	140
6.3	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης	144
6.3.1	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης λόγω στατικών φορτίων $G+\psi_2Q$	144
6.3.2	Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου (ΔΦΜ)	145

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ΤΟΛ με το παρόν εγχειρίδιο, στοχεύει στην σαφή επιβεβαίωση της ποιότητας των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ, τόσο για την στατική και την αντισεισμική ανάλυση, όσο και για τον έλεγχο επάρκειας των δομικών στοιχείων.

Για την συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ, έγινε η επιλογή των «Πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων του ΟΑΣΠ» για την ορθή εφαρμογή του ΕΑΚ και τον έλεγχο προγραμμάτων Η/Υ'.

Τα παραδείγματα αυτά αφορούν την στατική και αντισεισμική ανάλυση διαφόρων παραδειγμάτων κτιρίων, όλα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Εκτός από τα πρότυπα παραδείγματα ανάλυσης, στο εργαστήριο στατικής και δυναμικής των κατασκευών του τμήματος πολιτικών μηχανικών του ΑΠΘ, έχουν δημοσιευθεί οι «Έλεγχοι διαστασιολόγησης των δομικών στοιχείων», για ορισμένα από τα παραδείγματα αυτά.

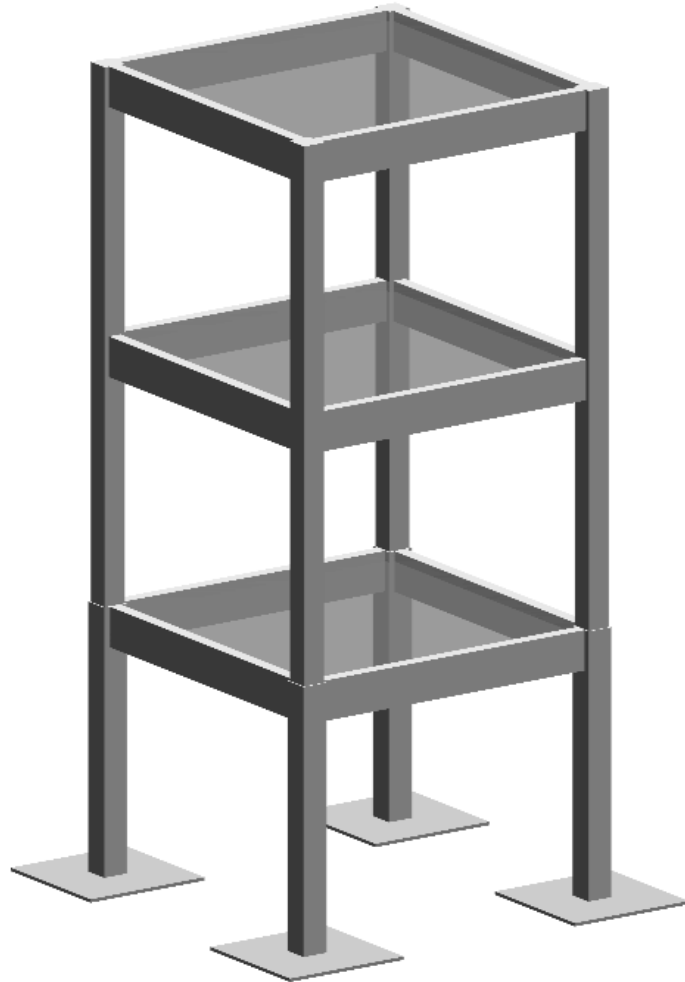
Ο ΤΟΛ επέλεξε ορισμένα παραδείγματα κτιρίων, όπου έγινε αρχικά, μια σύγκριση των παραδοχών των πρότυπων παραδειγμάτων του ΟΑΣΠ με τις παραδοχές του ΡΑΦ.

Στην συνέχεια γίνεται μια λεπτομερής, βήμα προς βήμα, σύγκριση των αποτελεσμάτων της στατικής και αντισεισμικής ανάλυσης των πρότυπων παραδειγμάτων του ΟΑΣΠ, με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του ΡΑΦ. Επίσης έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων ελέγχου επάρκειας αντοχής των δομικών στοιχείων, μεταξύ των δημοσιευθέντων από το εργαστήριο στατικής και δυναμικής του ΑΠΘ και αυτών του προγράμματος ΡΑΦ.

Για τα παραδείγματα κτιρίων αυτού του εγχειριδίου, ο ΤΟΛ διαθέτει προς το αναγνωστικό κοινό, τα αρχεία δεδομένων τους για το πρόγραμμα ΡΑΦ. Είναι διαθέσιμα στην ιστοσελίδα του ΤΟΛ εδώ: http://www.tol.com.gr/products/RAF/raf_verification.htm

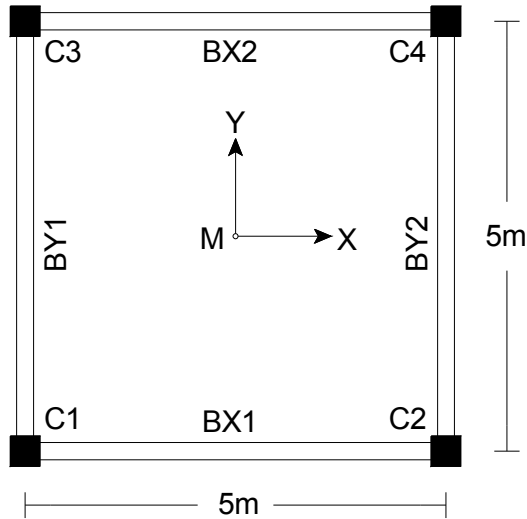
2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2**

Τριώροφος πλαίσιακός φορέας με τετραπλή συμμετρία – Μόνον ανωδομή



2.1 Δεδομένα – Σκαριφήματα φορέα

- Υλικό: Οπλισμένο σκυρόδεμα ($E=2.9 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0.2$, $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$)
- Δεδομένα ανωδομής:

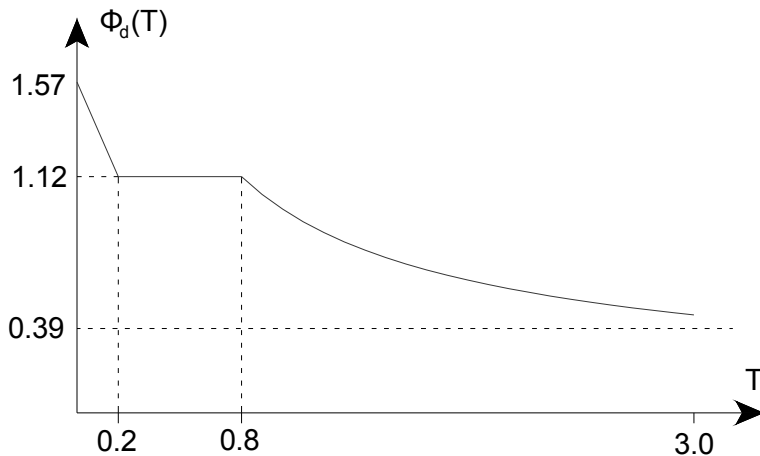


Όροφος	Υποστυλώματα C_i ($i=1 - 4$)	Δοκοί BX_i, BY_i ($i=1 - 2$)
1 ^{ος}	40/40	20/60
2 ^{ος} – 3 ^{ος}	35/35	20/60

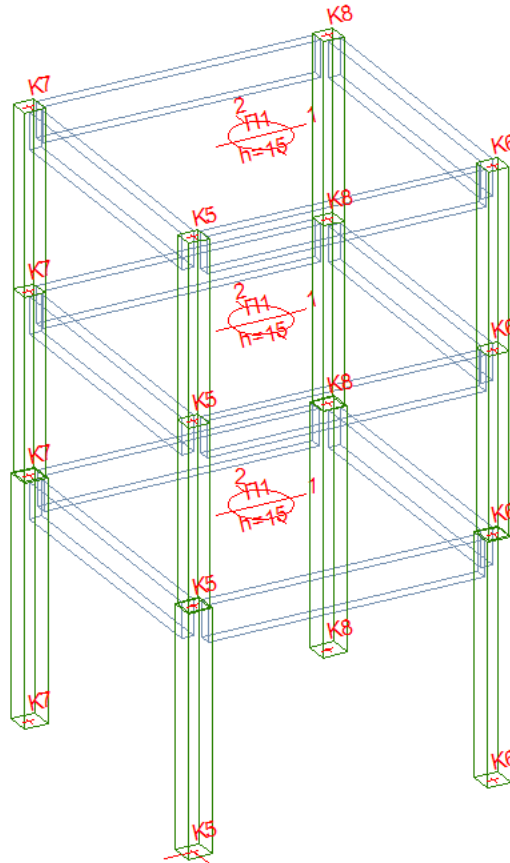
Πάχος πλάκας $d=15 \text{ cm}$.

Σχήμα 0. Κάτοψη

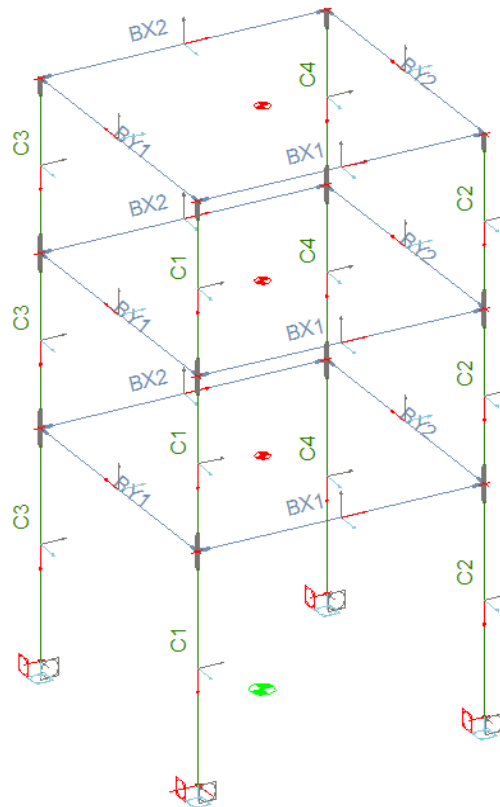
- Ύψη ορόφων: 1^{ος}: 4m, 2^{ος} – 3^{ος}: 3m
- Περιμετρικά το κτίριο έχει μπατική τοιχοποιία (3.6 kN/m^2).
- Στο δώμα σε όλη την περίμετρο υπάρχει στηθαίο από μπατική τοιχοποιία ύψους 1m.
- Τα δάπεδα έχουν επίστρωση (επικάλυψη) βάρους 1.3 kN/m^2 .
- Το ωφέλιμο φορτίο (κινητό φορτίο) ελήφθη ίσο με $Q=2 \text{ kN/m}^2$.
- Δεδομένα Φάσματος σχεδιασμού: ΕΑΚ/2000



- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: I
- Κατηγορία εδάφους: Γ
- $\theta=1$
- $q=3.5$
- Κατηγορία σπουδαιότητας: Σ_2
- Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης: $\zeta=5\%$



Τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα



Διακριτοποίηση φορέα. Αρίθμηση και τοπικοί άξονες στοιχείων

2.2 Παραδοχές

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται:

- Οι παραδοχές με τις οποίες έγινε η προσομοίωση του φορέα στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς (Αναλύσεις ΟΑΣΠ – Πρότυπα Αριθμητικά Παραδείγματα: Αβραμίδης Ι., 2005).
- Οι προκαθορισμένες (default) παραδοχές που γίνονται αυτόματα από το πρόγραμμα για τη μόρφωση του υπολογιστικού προσομοιώματος.

2.2.1 Παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ)

(α) Παραδοχές για την προσομοίωση του φορέα

(α1) Διαφραγματική λειτουργία πλακών: Θεώρηση ατενούς διαφράγματος στις στάθμες που ορίζονται στο σχήμα 1.

(α2) Συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκών: $b_{ef}=b_w+(1/5)l_o$, $l_o=0.85l$.

Όπου l =το θεωρητικό – καθαρό – άνοιγμα της δοκού και b_w =το πλάτος της δοκού.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα συνεργαζόμενα πλάτη όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης:

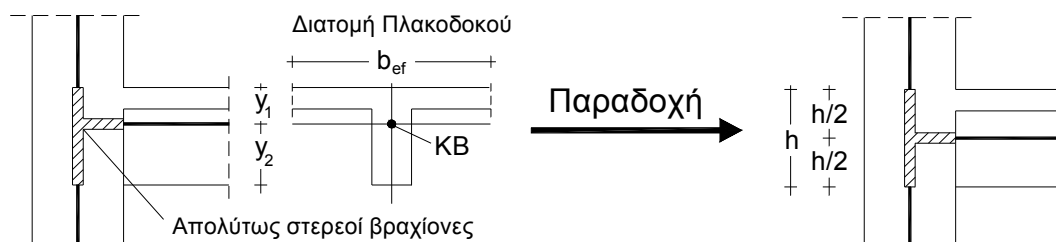
ΔΟΚΟΣ	BX1	BX2	BY1	BY2
Συνεργαζόμενο Πλάτος	1.03	1.03	1.03	1.03

(α3) Οι δυσκαμψίες και οι δυστρεψίες των διατομών ελήφθησαν μειωμένες σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (§3.2.3[2]).

(α4) Ελήφθησαν υπόψη καμπτικές, διατμητικές, αξονικές και στρεπτικές παραμορφώσεις.

(α5) Κατά τη μόρφωση του μοντέλου αγνοήθηκαν οι εκκεντρότητες των αξόνων των κατακόρυφων στοιχείων ως προς τους άξονες των δοκών, αλλά κατά τα λοιπά θεωρήθηκαν στους κόμβους απολύτως στερεά τμήματα (βλ. σχήμα 1).

(α6) Δεν ελήφθησαν υπόψη ανοίγματα στις τοιχοποιίες.



Σχήμα 1. Λεπτομέρεια προσομοίωσης των πλαισιακών κόμβων

(β) Παραδοχές για την προσομοίωση των κατακόρυφων φορτίων

(β1) Κατανομή φορτίων πλακών με τον κανόνα 45° ή 60° σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ (και χωρίς ομοιομορφοποίηση).

(β2) Το ίδιο βάρος των υποστυλωμάτων ελήφθη υπόψη ως κατανεμημένο ομοιόμορφο αξονικό φορτίο.

(β3) Ίδια βάρη δοκών και τοιχοποιιών επί αυτών, ελήφθησαν υπόψη ως ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία.

(γ) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των μαζών

(γ1) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου θεωρήθηκε συγκεντρωμένη στο γεωμετρικό κέντρο βάρους M του αντίστοιχου ατενούς διαφράγματος.

(γ2) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου συντίθεται από:

- τη μάζα των πλακών και των δοκών του ορόφου συμπεριλαμβανομένων και των επιστρώσεων,
- τη μάζα των τοιχοποιιών οι οποίες εδράζονται επί αυτών (η μάζα του στηθαίου προστίθεται στη μάζα του τελευταίου διαφράγματος),
- τη μάζα των υποκείμενων και των υπερκείμενων υποστυλωμάτων μέχρι το μέσον του ύψους τους και,
- τη μάζα που αντιστοιχεί στο 30% του ωφέλιμου φορτίου

(γ3) Οι μάζες της πλάκας δαπέδου του ισογείου και της τοιχοποιίας του ισογείου δεν συμπεριλαμβάνονται στην ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής.

2.2.2 Προκαθορισμένες (default) παραδοχές ΡΑΦ

(α) Παραδοχές για την προσομοίωση του φορέα

(α1) Ισχύει η παραδοχή της ανάλυσης αναφοράς (α1) για την διαφραγματική λειτουργία των πλακών.

(α2) Για τον υπολογισμό των συνεργαζόμενων πλατών των δοκών χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$\text{Διατομές Τ: } b_{\text{eff}} = b_0 + \frac{1}{5} \cdot (0.7 \cdot L)$$

$$\text{Διατομές Γ: } b_{\text{eff}} = b_0 + \frac{1}{10} \cdot (0.7 \cdot L)$$

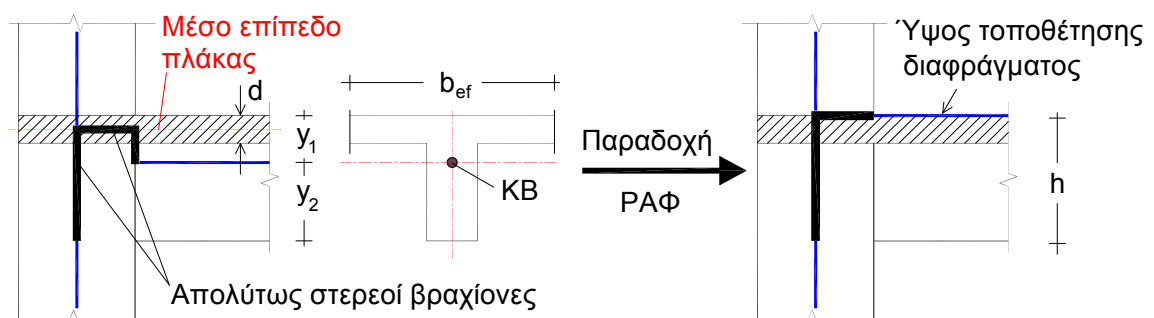
Όπου L είναι το μήκος του καθαρού ανοίγματος της δοκού (χωρίς τους στερεούς βραχίονες).

(α3) Ισχύει η παραδοχή (α3) της ανάλυσης αναφοράς για την μείωση των δυσκαμψιών και των δυστρεψιών σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (§3.2.3[2]).

(α4) Ισχύει η παραδοχή (α4) της ανάλυσης αναφοράς για την θεώρηση των καμπτικών, διατμητικών, αξονικών και στρεπτικών παραμορφώσεων.

(α5) Ισχύει η παραδοχή (α5) της ανάλυσης αναφοράς για την αγνόηση των εκκεντροτήτων των αξόνων των κατακόρυφων στοιχείων ως προς τους άξονες των δοκών, και για την θεώρηση απολύτων στερεών βραχιόνων στα άκρα των δομικών στοιχείων με τις εξής διαφοροποιήσεις:

- Το ύψος τοποθέτησης των διαφραγμάτων δεν συμπίπτει με το ύψος τοποθέτησης που παρουσιάζεται στο σχήμα σχήμα 1. Το ύψος στο οποίο τοποθετούνται από το ΡΑΦ τα διαφράγματα παρουσιάζεται στο σχήμα 2 (βλ. και εγχειρίδιο τεκμηρίωσης ΡΑΦ, §8.2.3):



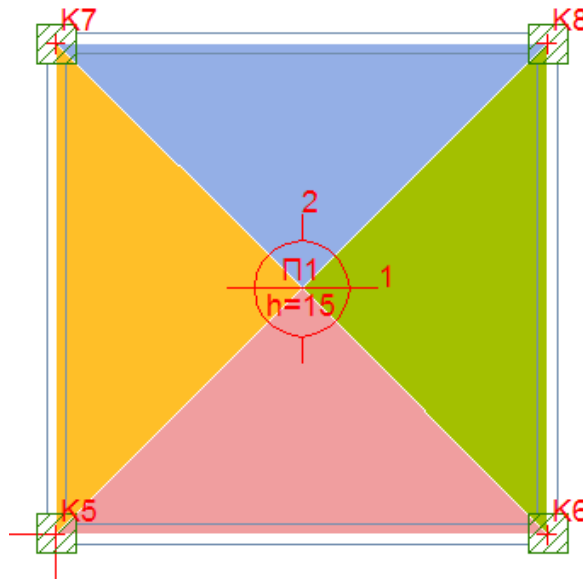
Σχήμα 2. Παραδοχή του ΡΑΦ για το ύψος τοποθέτησης των διαφραγμάτων.

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα υποστυλώματα δεν έχουν στερεούς βραχίονες στους κόμβους πέρατος τους, όπως προκύπτει από την προσομοίωση με τις παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς, και επιπλέον οι στερεοί βραχίονες των κόμβων αρχής τους έχουν διπλάσιο μήκος.

(α6) Δεν ελήφθησαν υπόψη ανοίγματα στις τοιχοποιίες.

(β) Παραδοχές για την προσομοίωση των κατακόρυφων φορτίων

Ισχύουν οι ίδιες παραδοχές με αυτές που γίνονται και για την ανάλυση αναφοράς (βλ. σχήμα 3):



Σχήμα 3. Αυτόματη κατανομή των φορτίων των πλακών στις δοκούς με τον κανόνα 45° ή 60° σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ

(γ) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των μαζών

(γ1) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου θεωρήθηκε συγκεντρωμένη στο κέντρο μάζας το οποίο υπολογίζεται με βάση τη διάταξη όλων των φορτίων του ορόφου, και όχι στο γεωμετρικό κέντρο μάζας.

(γ2) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου συντίθεται όπως ακριβώς στην περίπτωση της ανάλυσης αναφοράς.

(γ3) Οι μάζες της πλάκας δαπέδου του ισογείου και της τοιχοποιίας του ισογείου δεν συμπεριλαμβάνονται στην ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής.

Στον παρακάτω πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μάζες και τα σημεία στα οποία τοποθετούνται, τόσο στα πλαίσια της μόρφωσης του προσομοιώματος αναφοράς όσο στα πλαίσια της προσομοίωσης με τις προκαθορισμένες παραδοχές του ΡΑΦ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Θέσεις και τιμές των μαζών σύμφωνα με την ανάλυση αναφοράς και το ΡΑΦ

	X _m		Y _m		m	
	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1^{ος} όροφος	2.5	2.5	2.5	2.5	40.41	40.66
2^{ος} όροφος	2.5	2.5	2.5	2.5	39.09	39.50

3^{ος} όροφος	2.5	2.5	2.5	2.5	28.17	28.07
------------------------------	-----	-----	-----	-----	-------	-------

Συνοψίζοντας την σύγκριση των μεταξύ των βασικών παραδοχών των αναλύσεων αναφοράς και των βασικών παραδοχών του ΡΑΦ μπορεί να συνταχθεί ο παρακάτω πίνακας:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Συγκεντρωτική παρουσίαση των κοινών και των μη κοινών παραδοχών των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ) και του ΡΑΦ.

	Παραδοχή	ΟΑΣΠ / ΡΑΦ
(α1)	Διαφραγματική λειτουργία	Κοινή
(α2)	Συνεργαζόμενο πλάτος	Διαφορετική
(α3)	Απομείωση δυσκαμψιών	Κοινή
(α4)	Θεώρηση καμπτικών, διατμητικών, αξονικών και στρεπτικών παραμορφώσεων	Κοινή
(α5)	Προσομοίωση στερεών βραχιόνων / θέση τοποθέτησης διαφραγμάτων	Διαφορετική
(α6)	Θεώρηση ανοιγμάτων στις τοιχοποιίες	Κοινή
(β1)	Κατανομή φορτίων πλακών	Κοινή
(β2)	Προσομοίωση ίδιου βάρους υποστυλωμάτων	Κοινή
(β3)	Προσομοίωση ιδίων βαρών δοκών και τοιχοποιιών	Κοινή
(γ1)	Υπολογισμός θέσης κέντρου βάρους ορόφου	Διαφορετική
(γ2)	Υπολογισμός μάζας ορόφου	Κοινή
(γ3)	Θεώρηση μαζών πλάκας δαπέδου ισογείου και τοιχοποιίας ισογείου	Κοινή

2.3 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης

Στις ακόλουθες παραγράφους θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις αναλύσεις αναφοράς του ΟΑΣΠ (παρουσιάζονται στο βιβλίο των Πρότυπων Αριθμητικών Παραδειγμάτων, Αβραμίδης Ι., 2005) με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις με το ΡΑΦ. Για να είναι αντικειμενικές οι συγκρίσεις, προσαρμόστηκαν οι παραδοχές των αναλύσεων που έγιναν με το ΡΑΦ, με τις παραδοχές των Πρότυπων Αριθμητικών Παραδειγμάτων (αναλύσεις αναφοράς). Θα πρέπει να τονιστεί ότι λέγοντας προσαρμογή των παραδοχών, εννοείται ειδικά η προσαρμογή των παραδοχών που παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Έτσι έγιναν οι εξής επεμβάσεις στο αρχικό (και αυτόματα μορφομένο από το ΡΑΦ) προσομοίωμα με τη βοήθεια του γραφικού περιβάλλοντος του προγράμματος:

- Προσαρμόστηκαν τα συνεργαζόμενα πλάτη των δοκών.
- Προσαρμόστηκαν τα μήκη των στερεών βραχιόνων των στοιχείων.
- Εισήχθησαν οι τιμές των μαζών και των μαζικών ροπών αδράνειας που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις αναφοράς.

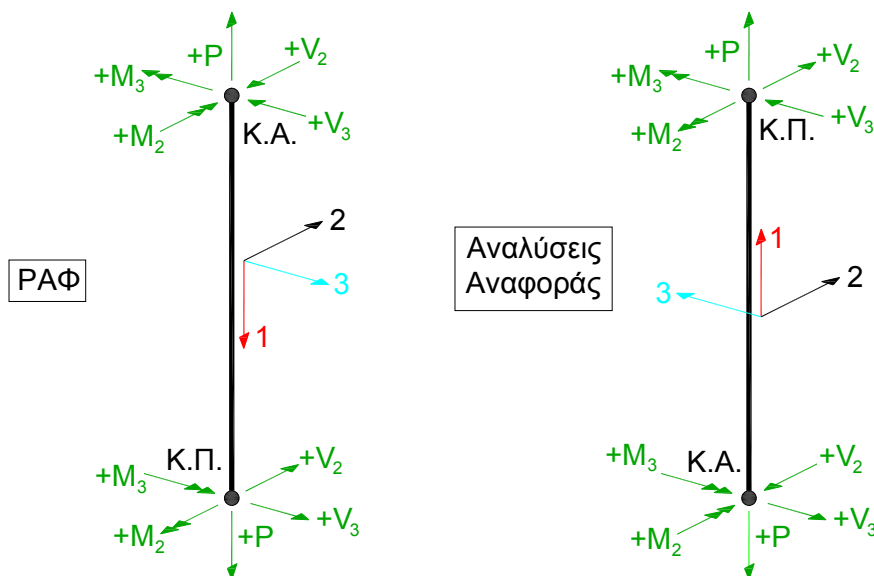
Παρά τις παραπάνω προσαρμογές δεν είναι δυνατή η πλήρης (100%) ταύτιση των παραδοχών επίλυσης, διότι δεν υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής των συντεταγμένων των κέντρων μάζας που υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Θα πρέπει επίσης να καταστεί σαφές ότι δεν μπορούν να αποκλειστούν κάποιοι παράγοντες απόκλισης των αποτελεσμάτων οι οποίοι πηγάζουν από τις διαφορετικές τεχνολογίες των μεταγλωτιστών με τους οποίους μεταγλωτίστηκε το ΡΑΦ και το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς του ΟΑΣΠ. Αποκλίσεις στα αποτελέσματα δημιουργούνται επίσης και από τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των τεχνικών επίλυσης του ΡΑΦ και του προγράμματος με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς (π.χ. αλγόριθμοι σχηματισμού μητρώων δυσκαμψίας, υπολογισμού ιδιοπεριόδων κ.τ.λ.). Επομένως είναι πρακτικά αδύνατη η πλήρης ταύτιση των συγκρινόμενων αποτελεσμάτων. Σε κάθε περίπτωση πάντως παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τρόπο που ο χρήστης μπορεί να αξιολογήσει με την κρίση του την επάρκεια και την αξιοπιστία του ΡΑΦ, ενώ όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο παρατίθενται και βοηθητικά σχόλια.

Τέλος, όσον αφορά στις συγκρίσεις των αποτελεσμάτων των ελέγχων αντοχής, αυτές έγιναν με βάση τα αποτελέσματα τα οποία διατίθενται στα «Πρότυπα Αριθμητικά Παραδείγματα διαστασιολόγησης κατασκευών» (Αβραμίδης Ι.Ε., Σέξτος Α.:

<http://www.ekosdesignexamples.gr/>).

2.3.1 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης λόγω στατικών φορτίων $G+\psi_2Q$

Στον παρακάτω πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών έντασης του υποστυλώματος C3 και του τοιχώματος T1 στο ισόγειο. Λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού του τοπικού συστήματος αναφοράς των στοιχείων που χρησιμοποιείται από το ΡΑΦ και από το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς, στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών έντασης προσαρμοσμένες με βάση το παρακάτω σχήμα 4 έτσι ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμες.



Σχήμα 4. Ορισμός των συμβατικά θετικών τιμών των μεγεθών έντασης των κατακορύφων στοιχείων από το ΡΑΦ και από το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Εντασιακά μεγέθη δομικών στοιχείων του κτιρίου στο ισόγειο

Στοιχείο/ Θέση	P		M2		M3		
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
C1	κάτω	-276.48	-269.50	-7.17	-7.31	-7.17	-7.31
	άνω	-261.68	-254.70	13.22	13.47	13.22	13.47
C2	κάτω	-276.48	-269.50	-7.17	-7.31	7.17	7.31
	άνω	-261.68	-254.70	13.22	13.47	-13.22	-13.47
BX1	αρχή	0.00	0.00	0.00	0.00	-26.65	-27.48
	μέσο	0.00	0.00	0.00	0.00	26.54	27.21
	τέλος	0.00	0.00	0.00	0.00	-26.65	-27.48
BY1	αρχή	0.00	0.00	0.00	0.00	-26.65	-27.48
	μέσο	0.00	0.00	0.00	0.00	26.54	27.21
	τέλος	0.00	0.00	0.00	0.00	-26.65	-27.48
Στοιχείο/ Θέση	T		V2		V3		
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
C1	κάτω	0.00	0.00	-5.51	-5.62	-5.51	-5.62
	άνω	0.00	0.00	-5.51	-5.62	-5.51	-5.62
C2	κάτω	0.00	0.00	5.51	5.62	-5.51	-5.62
	άνω	0.00	0.00	5.51	5.62	-5.51	-5.62
BX1	αρχή	0.00	0.00	-41.47	-42.59	0.00	0.00
	μέσο	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	τέλος	0.00	0.00	41.47	42.59	0.00	0.00
BY1	αρχή	0.00	0.00	-41.47	-42.59	0.00	0.00
	μέσο	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	τέλος	0.00	0.00	41.47	42.59	0.00	0.00

Απο τον παραπάνω πίνακα εξάγεται το γενικό συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα του ΡΑΦ συγκλίνουν σε πάρα πολύ ικανοποιητικό βαθμό με τα αποτελέσματα αναφοράς (ΟΑΣΠ). Η εμ-

φάνιση των έστω και πολύ μικρών αυτών αποκλίσεων στην απλή αυτή κάτοψη μπορεί να αιτιολογηθεί με βάση το γεγονός ότι δεν επιχειρήθηκε η 100% ταύτιση της μορφολογίας των τραπεζοειδών και τριγωνικών φορτίων των δοκών από τις πλάκες (παρά το γεγονός ότι η κατανομή των κατακορύφων φορτίων των πλακών γίνεται από το ΡΑΦ με τις ίδιες παραδοχές όπως και οι αναλύσεις αναφοράς (Παραδοχές (β)), δεν είναι δυνατή η απόλυση ταύτιση των τιμών και της μορφής των τραπεζοειδών φορτίων). Πέραν της αιτιολόγησης των αποκλίσεων θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι οι σχετικά μικρές τιμές των αποκλίσεων αυτών είναι αδύνατο να οδηγήσουν σε ανασφαλή και αναξιόπιστα αποτελέσματα ελέγχων αντοχής.

2.3.2 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου (ΔΦΜ)

(Α) Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης

Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών των 9 πρώτων ιδιοπεριόδων ταλάντωσης του κτιρίου, και στον πίνακα 5 τα αθροιστικά ποσοστά συμμετοχής των μαζών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Ιδιοπερίοδοι (με τη μάζα στα μετατοπισμένα ΚΜ)

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος (sec)							
	Θέση 1		Θέση 2		Θέση 3		Θέση 4	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.425	0.425	0.425	0.425	0.425	0.425	0.425	0.425
2	0.424	0.423	0.424	0.423	0.424	0.423	0.424	0.423
3	0.251	0.252	0.251	0.252	0.251	0.252	0.251	0.252
4	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129
5	0.129	0.128	0.129	0.128	0.129	0.128	0.129	0.128
6	0.076	0.077	0.076	0.077	0.076	0.077	0.076	0.077
7	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071
8	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071
9	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Αθροιστικά ποσοστά συμμετοχής των μαζών (%)

Ιδιομορφή	Θέση 1				Θέση 2			
	Διέγερση x		Διέγερση y		Διέγερση x		Διέγερση y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.00	0.00	92.71	92.77	0.00	0.00	92.71	92.77
2	93.11	93.15	92.71	92.77	93.11	93.15	92.71	92.77
3	93.11	93.15	93.11	93.15	93.11	93.15	93.11	93.15
4	93.11	93.15	99.19	99.19	93.11	93.15	99.19	99.19
5	99.21	99.22	99.19	99.19	99.21	99.22	99.19	99.19
6	99.21	99.22	99.21	99.21	99.21	99.22	99.21	99.21
7	99.21	99.22	100.00	100.00	99.21	99.22	100.00	100.00
8	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
9	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Ιδιομορφή	Θέση 3				Θέση 4			
	Διέγερση x		Διέγερση y		Διέγερση x		Διέγερση y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	92.71	92.77	0.00	0.00	92.71	92.77	0.00	0.00
2	92.71	92.77	93.11	93.15	92.71	92.77	93.11	93.15
3	93.11	93.15	93.11	93.15	93.11	93.15	93.11	93.15
4	99.19	99.19	93.11	93.15	99.19	99.19	93.11	93.15
5	99.19	99.19	99.21	99.22	99.19	99.19	99.21	99.22
6	99.21	99.21	99.21	99.22	99.21	99.21	99.21	99.22
7	100.00	100.00	99.21	99.22	100.00	100.00	99.21	99.22
8	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
9	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

(B) Μεγέθη έντασης

Στον παρακάτω πίνακα δα παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ (δηλαδή των μεγεθών έντασης με τα οποία εκτελείται ο έλεγχος σε διαξονική κάμψη με ορθή δύναμη) λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου για το υποστύλωμα C1 στο ισόγειο. Στον πίνακα δβ παρουσιάζονται οι αντίστοιχες αποκλίσεις για την δοκό ΒΧ1 στον πρώτο όροφο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6α. Ακραίες τιμές των μεγεθών έντασης του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο

	Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
C1	1	κάτω	81.24	81.27	65.93	65.79	61.61	61.60
		άνω	81.24	81.27	46.11	46.06	43.05	43.09
	2	κάτω	81.24	81.27	56.42	56.58	61.61	61.60
		άνω	81.24	81.27	39.38	39.54	43.05	43.09
	3	κάτω	81.24	81.27	61.61	61.60	56.42	56.58
		άνω	81.24	81.27	43.05	43.09	39.38	39.54
	4	κάτω	81.24	81.27	61.61	61.60	65.93	65.79
		άνω	81.24	81.27	43.05	43.09	46.11	46.06

ΠΙΝΑΚΑΣ 6β. Ακραίες τιμές των μεγεθών έντασης της δοκού ΒΧ1 στον πρώτο όροφο

	Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	V2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
ΒΧ1	1	αρχή	31.96	31.97	73.51	73.52
		μέσο	31.96	31.97	0.00	0.00
		τέλος	31.96	31.97	73.51	73.52
	2	αρχή	31.96	31.97	73.51	73.52
		μέσο	31.96	31.97	0.00	0.00
		τέλος	31.96	31.97	73.51	73.52
	3	αρχή	29.26	29.35	67.30	67.51
		μέσο	29.26	29.35	0.00	0.00
		τέλος	29.26	29.35	67.30	67.51
	4	αρχή	34.21	34.15	78.68	78.54
		μέσο	34.21	34.15	0.00	0.00
		τέλος	34.21	34.15	78.68	78.54

Οι αποκλίσεις που εμφανίζονται στους δύο παραπάνω πίνακες είναι αμελητέες.

Στον πίνακα 7 παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων και ταυτόχρονων τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου. Οι συγκρίσεις αφορούν την ανάλυση με τις μάζες των ορόφων τοποθετημένες στη θέση 1 που ορίζει ο ΕΑΚ/2000.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Ακραίες και ταυτόχρονες τιμές των μεγεθών έντασης του στοιχείου C1 στο ισόγειο

C1 κάτω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
exP=	81.24	81.27	M _{2,P} =	46.12	46.03	M _{3,P} =	39.81	39.92
P _{,M2} =	56.84	56.86	exM ₂ =	65.93	65.79	M _{3,M2} =	-4.80	-4.65
P _{,M3} =	52.50	52.66	M _{2,M3} =	-5.13	-4.96	exM ₃ =	61.61	61.60

C1 άνω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
exP=	81.24	81.3	M _{2,P} =	-32.15	-32.12	M _{3,P} =	-27.69	-27.79
P _{,M2} =	-56.65	-56.67	exM ₂ =	46.11	46.06	M _{3,M2} =	-3.40	-3.23
P _{,M3} =	-52.25	-52.42	M _{2,M3} =	-3.64	-3.52	exM ₃ =	43.05	43.09

Οι αποκλίσεις που εμφανίζονται στον παραπάνω πίνακα είναι γενικά πολύ μικρές. Παρόλα αυτά θα πρέπει να σημειωθεί ότι η υπολογιστική διαδικασία προσδιορισμού των πιθανών ταυτόχρονων τιμών είναι μία σύνθετη διαδικασία. Τα πιθανώς ταυτόχρονα μεγέθη δεν είναι πρωτογενή εξαγόμενα των αναλύσεων αλλά προκύπτουν από σύνθετη επεξεργασία ιδιομορφικών μεγεθών (βλ. παρ. 9.2.3. εγχειριδίου τεκμηρίωσης ΡΑΦ). Συνεπώς είναι δυνατό οι αποκλίσεις των πιθανώς ταυτόχρονων τιμών να είναι σε μερικές περιπτώσεις λίγο μεγαλύτερες από τις αποκλίσεις των πρωτογενών εξαγομένων των αναλύσεων.

(Γ) Μεγέθη μετακίνησης

Στον παρακάτω πίνακα 8 παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών μετακίνησης exU_x , exU_y και exR_z λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, στην κορυφή του στο σημείο που βρίσκεται η κεφαλή του υποστυλώματος C1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Ακραίες τιμές των μετακινήσεων στην κορυφή του κτιρίου λόγω ταυτόχρονης δράσης του σεισμού σε δύο οριζόντιες διευθύνσεις

Θέση μάζας	$q \cdot exU_x$ (m)		$q \cdot exU_y$ (m)		$q \cdot exR_z$ (rad)	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.0222	0.0221	0.0237	0.0236	0.00071	0.00070
2	0.0222	0.0221	0.0204	0.0204	0.00071	0.00070
3	0.0204	0.0204	0.0222	0.0221	0.00071	0.00070
4	0.0237	0.0236	0.0222	0.0221	0.00071	0.00070

Και εδώ οι αποκλίσεις είναι πάρα πολύ μικρές (μικρότερες του $\pm 1\%$).

2.3.3 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου (ΑΦΜ)

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου, αλλά και τα αποτελέσματα του ελέγχου στρεπτικής ευαισθησίας. Η παράθεση των αποτελεσμάτων ξεκινά από την παρουσίαση των βασικών εξαγόμενων της μεθόδου και καταλήγει στην παρουσίαση των μεγεθών έντασης και μετακίνησης στα ίδια στοιχεία και κόμβους όπου έγινε η παρουσίαση για την Δυναμική Φασματική Μέθοδο.

(Α) Βασικά εξαγόμενα Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Βασικά εξαγόμενα Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

Συντεταγμένες πόλου στροφής			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
X_{P0}	Y_{P0}	X_{P0}	Y_{P0}
2.5	2.5	2.5	2.5
Γωνία κλίσης κύριου συστήματος			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
Υπολογιστικά	Απροσδιόριστη	Υπολογιστικά	Απροσδιόριστη
Κατά ΕΑΚ/2000 (3.3.3[4])	$\alpha=0^\circ$	Κατά ΕΑΚ/2000 (3.3.3[4])	$\alpha=0^\circ$
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ			
Ακτίνες δυστρεψίας ως προς το ελαστικό κέντρο P_0			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$\rho_x=$	3.594	$\rho_x=$	3.593
$\rho_y=$	3.594	$\rho_y=$	3.593
Ακτίνα αδράνειας ορόφου			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$r_i=$	2.123	$r_i=$	2.139
Ακτίνες δυστρεψίας ως προς το κέντρο μάζας			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$\rho_{mX,i}=$	3.594	$\rho_{mX,i}=$	3.593
$\rho_{mY,i}=$	3.594	$\rho_{mY,i}=$	3.593
$\rho_{mX,i}>r_i$		$\rho_{mX,i}>r_i$	
Το κτίριο δεν είναι στρεπτικά ευαίσθητο		Το κτίριο δεν είναι στρεπτικά ευαίσθητο	
ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΕΣ			
$e_{0,Xi}=$	0.00	$e_{0,Yi}=$	0.00
$e_{0,Yi}=$	0.00	$e_{0,Xi}=$	0.00
ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ			
$\max(e_{X,i})=$	0.26	$\max(e_{X,i})=$	0.25
$\max(e_{Y,i})=$	0.26	$\max(e_{Y,i})=$	0.25
$\min(e_{X,i})=$	-0.26	$\min(e_{X,i})=$	-0.25
$\min(e_{Y,i})=$	-0.26	$\min(e_{Y,i})=$	-0.25
ΑΣΥΖΕΥΚΤΕΣ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΙ			
$T_x=$	0.4238	$T_x=$	0.4233
$T_y=$	0.4238	$T_y=$	0.4233

Απο τη μελέτη του παραπάνω πίνακα προκύπτει το γενικό συμπέρασμα της πολύ ικανοποιητικής σύγκλισης των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ και των αποτελεσμάτων των αναλύσεων αναφοράς.

Η απόκλιση που παρατηρείται στον υπολογισμό των εκκεντροτήτων κατά τον άξονα X και κατά τον άξονα Y μπορεί να αιτιολογηθεί ως εξής: Η κάτοψη είναι συμμετρική κατά τον άξονα X (και Y) και αυτό σημαίνει ότι οι εκκεντρότητες σχεδιασμού $e_{X,i}$ ($e_{Y,i}$) είναι ίσες με τις αντίστοιχες τυχηματικές εκκεντρότητες $e_{TX,i}$ ($e_{TY,i}$) οι οποίες είναι ίσες με $0.05 \cdot L_x$ ($0.05 \cdot L_y$). Έτσι η απόκλιση της τιμής της $e_{X,i}$ ($e_{Y,i}$) οφείλεται αποκλειστικά στην διαφορετική παραδοχή για τον υπολογισμό

του μήκους L_x (L_y): Κατά τις αναλύσεις αναφοράς, το μήκος αυτό λαμβάνεται μετρούμενο από τις εξωτερικές παριές των δοκών ΒΥ1 και ΒΥ2 (βλ. σχήμα 0) και έτσι προκύπτει ίσο με $5.0+0.2=5.2m$, και επομένως $e_{Tx,i}=0.05 \cdot 5.2=0.26m$ (αντίστοιχο είναι το σκεπτικό υπολογισμού της τυχηματικής εκκεντρότητας $e_{Ty,i}$). Κατά τις αναλύσεις με το ΡΑΦ το συγκεκριμένο μήκος λαμβάνεται μετρούμενο με βάση τις συντεταγμένες (τετμημένες x) των πιο ακραίων κόμβων του προσομοιώματος (κόμβοι Κ5 και Κ6, βλέπε σκαρίφημα κτιρίου) και έτσι προκύπτει ίσο με $5.0m$, και κατά συνέπεια $e_{Tx,i}=0.05 \cdot 5.0=0.25m$. Αντίστοιχη είναι και η διαφοροποίηση που προκύπτει για τις εκκεντρότητες σχεδιασμού κατά τον άξονα Y .

ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Τελική κατανομή οριζοντίων δυνάμεων

ΟΡΟΦΟΣ	ΟΑΣΠ				ΡΑΦ			
1		27.22		27.22		27.21		27.21
2	$F_x=$	46.07	$F_y=$	46.07	$F_x=$	46.07	$F_y=$	46.07
3		47.43		47.43		47.43		47.43

(B) Μεγέθη έντασης

Στον πίνακα 11α παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών των μεγεθών P , M_2 , M_3 του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο, λόγω των τεσσάρων μεμονωμένων στατικών επιλύσεων με τις ισοδύναμες σεισμικές οριζόντιες δυνάμεις (βλ. πίνακα 10) εφαρμοσμένες σε έκκεντρες ως προς τα ΚΜ των ορόφων θέσεις, όπως προβλέπει ο ΕΑΚ/2000 στην παράγραφο 3.3.3. Στον πίνακα 11β παρουσιάζεται η αντίστοιχη σύγκριση για τα εντασιακά μεγέθη της δοκού ΒΧ1 στον πρώτο όροφο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11α. Τιμές των μεγεθών έντασης του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο λόγω των τεσσάρων μεμονωμένων επιλύσεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

ΑΙΤΙΟ	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3		
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
C1	F_x (mine _y)	κάτω	64.19	64.20	-3.38	-3.24	69.31	69.15
		άνω	64.19	64.20	2.38	2.28	-48.10	-48.03
	F_x (maxe _y)	κάτω	64.19	64.20	3.38	3.24	62.56	62.67
		άνω	64.19	64.20	-2.38	-2.28	-43.35	-43.47
	F_y (mine _x)	κάτω	64.19	64.20	69.31	69.15	-3.38	-3.24
		άνω	64.19	64.20	-48.10	-48.03	2.38	2.28
F_y (maxe _x)	κάτω	64.19	64.20	62.56	62.67	3.38	3.24	
	άνω	64.19	64.20	-43.35	-43.47	-2.38	-2.28	

Από τον πίνακα 11α καθίσταται σαφής η πολύ καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ με τα αποτελέσματα αναφοράς τους ΟΑΣΠ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11β. Τιμές των μεγεθών έντασης της δοκού ΒΧ1 στον πρώτο όροφο λόγω των τεσσάρων μεμονωμένων επιλύσεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

	ΑΙΤΙΟ	Θέση στο στοιχείο	V2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
ΒΧ1	F_x (mine _y)	αρχή	36.47	36.40	83.87	83.71
		τέλος	36.47	36.40	-83.87	-83.71
	F_x (maxe _y)	αρχή	32.90	32.97	75.68	75.84
		τέλος	32.90	32.97	-75.68	-75.84
	F_y (mine _x)	αρχή	-1.78	-1.71	-4.10	-3.94
		τέλος	-1.78	-1.71	4.10	3.94
	F_y (maxe _x)	αρχή	1.78	1.71	4.10	3.94
		τέλος	1.78	1.71	-4.10	-3.94

Είναι σαφής η πολύ καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων των δύο αναλύσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12. Ακραίες και ταυτόχρονες τιμές των μεγεθών έντασης του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο – Συνδυασμός ΕΧ1-ΕΥ3

C1 κάτω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
exP=	90.78	90.79	M _{2,P} =	46.62	46.60	M _{3,P} =	46.62	46.6
P, M ₂ =	60.99	61.12	exM ₂ =	69.39	69.23	M _{3,M₂} =	-6.75	-6.48
P, M ₃ =	60.99	61.12	M _{2,M₃} =	-6.75	-6.48	exM ₃ =	69.39	69.23

C1 άνω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
exP=	90.78	90.79	M _{2,P} =	-32.33	-32.35	M _{3,P} =	-32.33	-32.35
P, M ₂ =	-60.94	-61.08	exM ₂ =	48.16	48.09	M _{3,M₂} =	-4.75	-4.56
P, M ₃ =	-60.94	-61.08	M _{2,M₃} =	-4.75	-4.56	exM ₃ =	48.16	48.09

Οι αποκλίσεις είναι πολύ μικρές και σε αποδεκτό επίπεδο.

(Γ) Μεγέθη μετακίνησης

Στον παρακάτω πίνακα 13 παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών μετακίνησης exU_x, exU_y και exR_z λόγω ταυτόχρονης δράσης των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου, στην κορυφή του κτιρίου στο σημείο που βρίσκεται η κεφαλή του υποστυλώματος C1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13. Ακραίες τιμές των μετακινήσεων στην κορυφή του κτιρίου λόγω ταυτόχρονης δράσης του σεισμού σε δύο οριζόντιες διευθύνσεις

ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ	exU _x (m)		exU _y (m)		exR _z (rad)	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
EX1-EY3	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.00020	0.00020
EX1-EY4	0.0073	0.0073	0.0067	0.0066	0.00020	0.00020
EX2-EY3	0.0067	0.0066	0.0073	0.0073	0.00020	0.00020
EX2-EY4	0.0067	0.0066	0.0067	0.0066	0.00020	0.00020

Παρατηρούνται γενικώς πολύ αμελητέες αποκλίσεις.

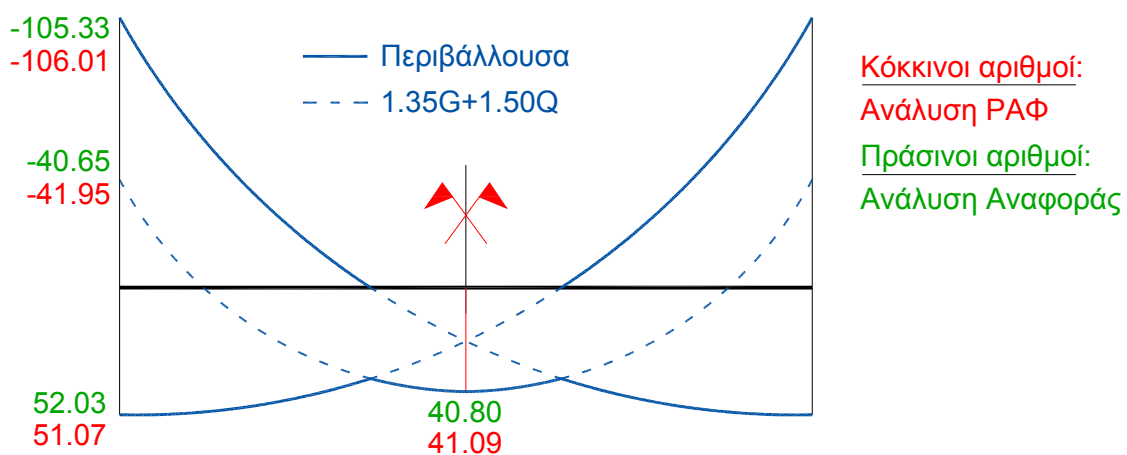
2.4 Συγκρίσεις ελέγχων αντοχής

Η αξιολόγηση της αξιοπιστίας των ελέγχων αντοχής που εκτελεί το ΡΑΦ – μέσω της υπομονάδας ΥΚΟΣ – θα γίνει με τη βοήθεια της εργασίας «Πρότυπα Αριθμητικά Παραδείγματα διαστασιολόγησης κατασκευών» (Αβραμίδης, Σέξτος: <http://www.ekosdesignexamples.gr/>). στην οποία υπάρχει και το παράδειγμα 2. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης της δοκού ΒΧ1 και του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο (λόγω τετραπλής συμμετρίας όλες οι δοκοί και οι στύλοι έχουν τις ίδιες απαιτήσεις όπλισης). Δεδομένου του ότι η φιλοσοφία του ΡΑΦ συνίσταται στον έλεγχο οπλισμένων διατομών και όχι στην διαστασιολόγηση τους, ο έλεγχος θα γίνει εισάγοντας στο πρόγραμμα τον οπλισμό όπως αυτός υπολογίζεται στα πλαίσια της εργασίας των πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων διαστασιολόγησης, και ελέγχοντας τους εξαγόμενους λόγους εξάντλησης. Επιπλέον θα συγκριθούν και τιμές συγκεκριμένων μεγεθών που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία εκτέλεσης των ελέγχων. Οι έλεγχοι γίνονται μόνον με αποτελέσματα από τη Δυναμική.

2.4.1 Έλεγχος Αντοχής Δοκού

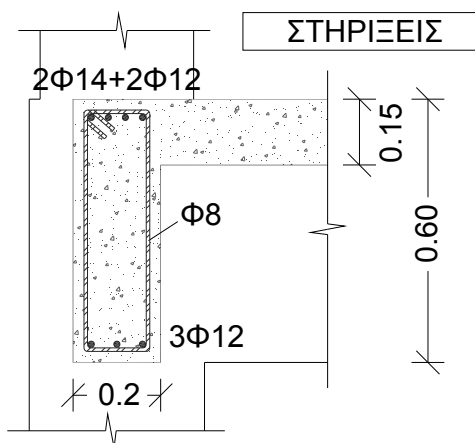
Δοκός ΒΧ2 → Πλάτος: $b_w=0.20\text{m}$, Ύψος: $h=0.60\text{m}$

Διαστασιολόγηση σε κάμψη



Σχήμα 5. Περιβάλλουσα ροπών κάμψης M δοκού ΒΧ1

Με βάση την διαδικασία διαστασιολόγησης που παρουσιάζεται στο παράδειγμα 2 των πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων διαστασιολόγησης, η όπλιση των διατομών των άκρων της δοκού είναι λόγω συμμετρίας αυτή που δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6. Λεπτομέρειες όπλισης των δύο ακραίων διατομών της δοκού – Ανάλυση Αναφοράς
Ο έλεγχος αντοχής σε κάμψη για τη διατομή του σχήματος 6 από το ΡΑΦ δίνει τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 14. Αποτελέσματα ελέγχου κάμψης της δοκού ΒΧ1 από το ΡΑΦ

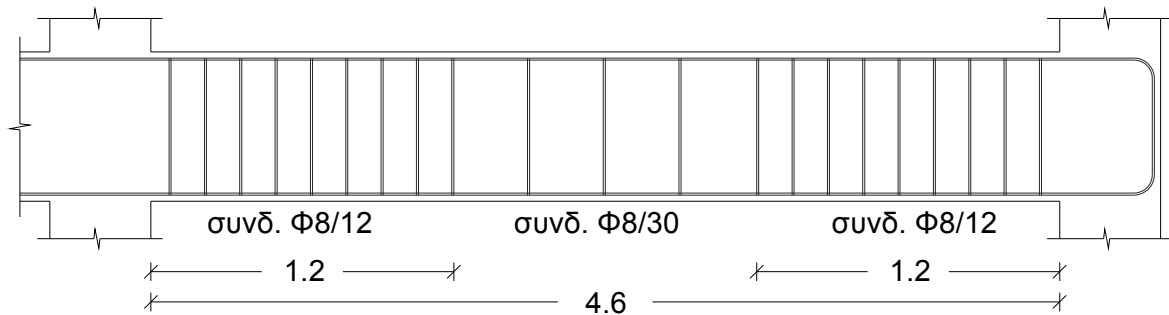
ΚΑΜΨΗ		ΡΟΠΗ ΑΡΝΗΤΙΚΗ				ΡΟΠΗ ΘΕΤΙΚΗ		
x	Θ.Μ.	NSd	MSd	MRd	CR	MSd	MRd	CR
0.00	1	0.0	-106.0	-122.1	0.87	51.1	82.0	0.62
2.30	1	0.0	0.0	-71.5	0.00	41.9	81.9	0.51
4.60	1	0.0	-106.0	-122.1	0.87	51.1	82.0	0.62

Από τη μελέτη του πίνακα 14 εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Οι διαμήκεις οπλισμοί των άκρων της δοκού, όπως αυτές υπολογίστηκαν στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς, προκύπτουν και από το ΡΑΦ επαρκείς.
- Οι λόγοι εξάντλησης των ροπών αντοχής για αρνητικές ροπές είναι $CR=0.87$ και όχι κοντά στη μονάδα όπως είναι το αναμενόμενο κατά τη διαδικασία της διαστασιολόγησης. Αυτό οφείλεται:
 - (α) στο ότι οπιοθετήθηκε περισσότερος οπλισμός άνω από τον υπολογιστικά απαιτούμενο ($2\Phi 12+4\Phi 14 \rightarrow 5.34\text{cm}^2$ έναντι 4.82cm^2), και
 - (β) στο ότι ο υπολογισμός των ροπών αντοχής από το ΡΑΦ γίνεται με αλγόριθμο που λαμβάνει υπόψη και την επιρροή του θλιβόμενου (ανάλογα με τη φορά της ροπής σχεδιασμού) οπλισμού.
- Οι λόγοι εξάντλησης για τις θετικές ροπές είναι $CR=0.62$ για τους ίδιους λόγους στους οποίους έγινε αναφορά πιο πάνω.

Διαστασιολόγηση σε διάτμηση

Με βάση την διαδικασία διαστασιολόγησης που παρουσιάζεται στο παράδειγμα 2 των πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων διαστασιολόγησης, η όπλιση της δοκού ΒΧ1 έναντι διάτμησης είναι αυτή που δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 7. Οπλισμός διάτμησης δοκού ΒΧ1 – Ανάλυση Αναφοράς

Ο οπλισμός αυτός υπολογίστηκε με βάση τον ικανοτικό σχεδιασμό. Δηλαδή οι τέμνουσες σχεδιασμού είναι οι ικανοτικές τέμνουσες.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου σε διάτμηση με τις τέμνουσες ικανοτικού σχεδιασμού όπως προκύπτουν από το ΡΑΦ δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 15. Αποτελέσματα ικανοτικού ελέγχου διάτμησης της δοκού ΒΧ1 από το ΡΑΦ

ΔΙΑΤΜΗΣΗ - ΙΚΑΝΟΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ									
x	Θ.Μ.	V _{cd}	ζ	Δ1σδ	V _{wd}	VRd3	VRd2r	VCD	CR
0.00	1	12.0	-0.17	ΟΧΙ	184.0	196.0	403.9	90.8	0.46
1.20	1	39.7			73.6	113.3		71.2	0.63
3.40	1	39.7			73.6	113.3		71.2	0.63
4.60	1	12.0	-0.17	ΟΧΙ	184.0	196.0	403.9	90.8	0.46

Παρατηρήσεις – Συγκρίσεις

A) Υπολογισμός της τέμνουσας ικανοτικού σχεδιασμού:

Η τέμνουσα ικανοτικού σχεδιασμού υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$V_{CD,b} = V_{0,b} + \Delta V_{CD,b} \tag{1\alpha}$$

Όπου:

$$\Delta V_{CD,b} = \frac{1.20 \cdot (M_{R,b1} + M_{R,b2})}{L_b} \leq \frac{q \cdot V_{E,b}}{1.20} \tag{1\beta}$$

Η εφαρμογή των παραπάνω από το ΡΑΦ γίνεται ως εξής:

ΑΚΡΟ Α

$$V_{0,b}^A = \frac{(g_b + 0.3 \cdot q_b) \cdot L_b}{2} = \frac{(15.50 + 0.3 \cdot 2.72) \cdot 4.6}{2} = 37.53 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{CD,b}^A = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1.20 \cdot (M_{R,bA}^- + M_{R,bB}^+)}{L_b} = \frac{1.20 \cdot (|-122.1| + 82)}{4.60} = 53.24 \\ \frac{q \cdot V_{E,b}}{1.20} = \frac{3.5 \cdot 31.97}{1.20} = 93.24 \end{array} \right\} = 53.24 \text{ kN} \quad (2)$$

$$V_{CD,b}^A = 37.53 + 53.24 = 90.77 \text{ kN}$$

ΑΚΡΟ Β

$$V_{CD,b}^B = V_{CD,b}^A = 90.76 \text{ kN} \quad (\text{Λόγω συμμετρίας})$$

(Οι ροπές αντοχής των ακραίων διατομών της δοκού που χρησιμοποιούνται στην παραπάνω σχέση προκύπτουν από τον πίνακα 14. Επίσης $V_{E,b}=31.97$ είναι η σεισμική τέμνουσα της δοκού ΒΧ1 όπως προκύπτει από την ανάλυση για τις μάζες των σταθμών στη θέση 1).

B) Τέμνουσα αντοχής λόγω λοξής θλίψης κορμού:

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z = \frac{1}{2} \cdot \left(0.70 - \frac{20}{200}\right) \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1.5} \cdot 0.2 \cdot (0.9 \cdot 0.56) = 403.2 \text{ kN} \quad (3)$$

Γ1) Έλεγχος οπλισμού διάτμησης εντός του κρίσιμου μήκους ($L_{cr}=2 \cdot h=2 \cdot 0.6=1.2\text{m}$):

$$V_{cd} = 0.3 \cdot V_{Rd1} = 0.3 \cdot [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40 \cdot \rho_\lambda)] \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0.3 \cdot \left[(0.26 \cdot 10^3) \cdot (1.6 - 0.56) \cdot \left(1.20 + 40 \cdot \frac{3.39}{(20 \cdot 56)} \right) \right] \cdot 0.20 \cdot 0.56 = 12.0 \text{ kN} \quad (4\alpha)$$

$$V_{wd} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \cdot 0.90 \cdot d \cdot f_{ywd} = \left(\frac{2 \cdot 0.503}{0.12} \right) \cdot 0.9 \cdot 0.56 \cdot \left(\frac{500}{1.15} \right) \cdot 10^{-1} = 183.7 \text{ kN} \quad (4\beta)$$

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 12.0 + 183.7 = 195.7 \text{ kN} \quad (4\gamma)$$

(Η τιμή 3.39 που εισάγεται στην 4α για τον υπολογισμό του ρ_λ αφορά στο εμβαδό του διαμήκους οπλισμού που τοποθετείται στην κάτω ίνα στα άκρα της δοκού. Όπως τονίζεται και στο εγχειρίδιο τεκμηρίωσης του ΥΚΟΣ –παρ. 5.3.2.2.– επειδή ο σεισμός προκαλεί ανακυκλιζόμενη φόρτιση οι οπλισμοί της άνω και κάτω ίνας των ακραίων διατομών της δοκού λειτουργούν είτε ως θλιβόμενοι είτε ως εφελκυσμένοι. Έτσι ως εφελκυσμένοι λαμβάνεται ο ελάχιστος της άνω και κάτω ίνας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση λαμβάνεται ο οπλισμός της κάτω ίνας ο οποίος είναι σύμφωνα με το σχήμα 6, 3Φ12 \rightarrow 3.39)

Παρατηρούμε ότι οι τιμές που προκύπτουν από τις παραπάνω σχέσεις, ταυτίζονται σχεδόν με αυτές του πίνακα 15. Από τον συγκεκριμένο πίνακα προκύπτει επίσης το συμπέρασμα ότι η

διατομή με τον οπλισμό διάτμησης που υπολογίστηκε στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς είναι επαρκής έναντι διάτμησης εντός των κρίσιμων μηκών όπως άλλωστε θα έπρεπε.

Γ2) Έλεγχος οπλισμού διάτμησης εκτός του κρίσιμου μήκους ($L_{cr}=2\cdot h=2\cdot 0.6=1.2m$):

$$V_{cd} = V_{Rd1} = 0.3 \cdot [T_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40 \cdot \rho_\lambda)] \cdot b_w \cdot d$$

$$= \left[(0.26 \cdot 10^3) \cdot (1.6 - 0.56) \cdot \left(1.20 + 40 \cdot \frac{3.39}{(20 \cdot 56)} \right) \right] \cdot 0.20 \cdot 0.56 = 40.0 \text{ kN} \quad (5\alpha)$$

$$V_{wd} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \cdot 0.90 \cdot d \cdot f_{ywd} = \left(\frac{2 \cdot 0.503}{0.30} \right) \cdot 0.9 \cdot 0.56 \cdot \left(\frac{500}{1.15} \right) \cdot 10^{-1} = 73.5 \text{ kN} \quad (5\beta)$$

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 40.0 + 73.5 = 113.5 \text{ kN} \quad (5\gamma)$$

(Η τιμή 3.39 που εισάγεται στη 5α για τον υπολογισμό του ρ_λ αφορά το εμβαδό του διαμήκους οπλισμού που τοποθετείται στην κάτω ίνα στο μέσον της δοκού)

Δ) Συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ΡΑΦ και αναλύσεων αναφοράς.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι τιμές μεγεθών σχεδιασμού και αντοχής που υπεισέρχονται στον έλεγχο διάτμησης:

ΠΙΝΑΚΑΣ 16. Συγκριτική παρουσίαση μεγεθών σχεδιασμού και αντοχής που υπεισέρχονται στον έλεγχο διάτμησης

	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
$V_{CD,b}^A$	97.68	90.76
$V_{CD,b}^B$	97.68	90.76
V_{Rd2}	396	403.9
$V_{cd,crit}$	12.56	12.00

Παρατηρείται γενικώς η πολύ καλή σύγκλιση των συγκρινόμενων τιμών. Ωστόσο και για τις μικρές αυτές αποκλίσεις μπορούν να δοθούν τα αίτια που τις προκαλούν:

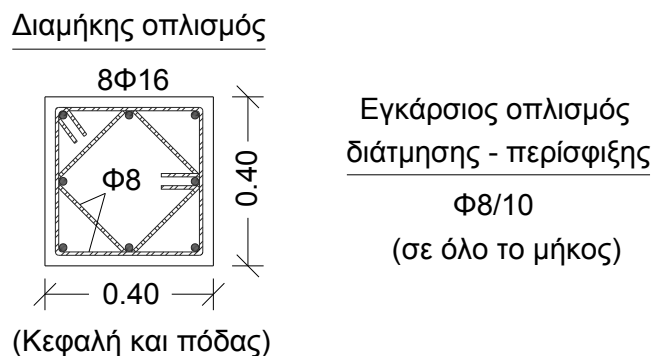
- Οι μικρότερες τιμές που προκύπτουν από το ΡΑΦ για τις τέμνουσες ικανοτικού σχεδιασμού οφείλονται στο ότι – σε αντίθεση με τους ελέγχους των αναλύσεων αναφοράς – ΔΕΝ λαμβάνονται υπόψη οι οπλισμοί των πλακών που βρίσκονται εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της δοκού. Έτσι προκύπτουν μικρότερες τιμές ροπών καμπτικής αντοχής, και επομένως μικρότερες τέμνουσες ικανοτικού σχεδιασμού. Βεβαίως ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσθέσει και τις ράβδους της πλάκας οι οποίες βρίσκονται εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της δοκού. Επίσης η τέμνουσα της ομόλογης αμφιέριστης δοκού $V_{b,0}$ υπολογίζεται από το ΡΑΦ κατόπιν ομοιομορφοποίησης του φορτίου $G+\psi_2Q$, ενώ στα πλαίσια του πρότυπου παραδείγματος δεν γίνεται ομοιομορφοποίηση.
- Η απόκλιση που παρατηρείται στην τιμή της τέμνουσας αντοχής V_{Rd2} οφείλεται στον ελαφρώς διαφορετικό υπολογισμό της τιμής του στατικού ύψους d (0.56m για το ΡΑΦ, 0.55m για τη ανάλυση αναφοράς).

- Η απόκλιση που παρατηρείται στην τιμή της τέμνουσας αντοχής $V_{cd,crit}$ οφείλεται αφενώς στον διαφορετικό υπολογισμό της τιμής του στατικού ύψους d , και αφετέρου στο διαφορετικό υπολογισμό του ποσοστού εφελκόμενου οπλισμού ρ_λ . Πιο συγκεκριμένα στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς ως εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού στην στήριξη λαμβάνεται το εμβαδόν του οπλισμού της άνω ίνας ($2\Phi 12+2\Phi 14 \rightarrow A_s=5.34\text{cm}^2 \rightarrow \rho_\lambda=5.34/(20\cdot 55)=0.00485$), (βλ. σχήμα 6). Αντίθετα, σύμφωνα με τις παραδοχές του ΡΑΦ (βλ. εγχειρίδιο θεωρητικής τεκμηρίωσης ΥΚΟΣ, Παρ. 5.3.2.2) ως εμβαδό του εφελκόμενου οπλισμού λαμβάνεται το ελάχιστο από τους οπλισμούς της άνω και της κάτω ίνας. Ο λόγος είναι ότι θεωρείται πως με την ανακυκλιζόμενη σεισμική φόρτιση εφελκόμενος είναι είτε ο οπλισμός της άνω ίνας είτε της κάτω. Έτσι με βάση το σχήμα 6: $A_s=\min(5.34;3.39)=3.39\text{cm}^2$. Επομένως: $\rho_\lambda=3.39/(20\cdot 56)=0.003$.

2.4.2 Έλεγχος Αντοχής Υποστυλώματος

Υποστύλωμα C1 $\rightarrow b=0.40\text{m}$, $h=0.40\text{m}$

Από την διαδικασία διαστασιολόγησης που παρουσιάζεται στα πρότυπα αριθμητικά παραδείγματα διαστασιολόγησης, προκύπτουν για το υποστύλωμα C1 ο διαμήκης και ο εγκάρσιος οπλισμός του παρακάτω σχήματος:



Σχήμα 8. Διαμήκης και εγκάρσιος οπλισμός υποστυλώματος C1 – Ανάλυση Αναφοράς

Διαστασιολόγηση σε κάμψη

Ο έλεγχος αντοχής των υποστυλωμάτων σε κάμψη από το ΡΑΦ γίνεται με χρήση των πιθανών μέγιστων και ταυτόχρονων τιμών της αξονικής δύναμης P και των ροπών M_2 και M_3 . Οι τιμές αυτές επαλληλίζονται με τις αντίστοιχες τιμές των μεγεθών λόγω του συνδυασμού $G+\psi_2Q$ και έτσι προκύπτουν τελικώς 24 συνδυασμοί δράσεων σχεδιασμού (6 για κάθε μία από τις τέσσερις θέσεις μάζας που επιβάλλει ο ΕΑΚ/2000). Πέραν των συνδυασμών αυτών οι κρίσιμες διατομές των υποστυλωμάτων ελέγχονται και στα πλαίσια του ικανοτικού σχεδιασμού (βλ. παράγραφο 5.4.2.1.1. του εγχειριδίου τεκμηρίωσης του ΥΚΟΣ). Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του δυσμενέστερου ικανοτικού ελέγχου αντοχής που εκτελεί το ΡΑΦ στην κεφαλή και στον πόδα του υποστυλώματος C1. Η επιλογή για την παρουσίαση του ικανοτικού ελέγχου στηρίζεται στο γεγονός ότι από αυτόν προέκυψε ο οπλισμός του σχήματος 8.

Στον πίνακα 17 παρουσιάζονται οι δυσμενέστεροι συνδυασμοί του ικανοτικού ελέγχου κάμψης για την κεφαλή και τον πόδα του υποστυλώματος όπως υπολογίζονται από το ΡΑΦ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 17. Δυσμενέστεροι συνδυασμοί ικανοτικού ελέγχου κάμψης για την κεφαλή και τον πόδα του υποστυλώματος C1 από το ΡΑΦ

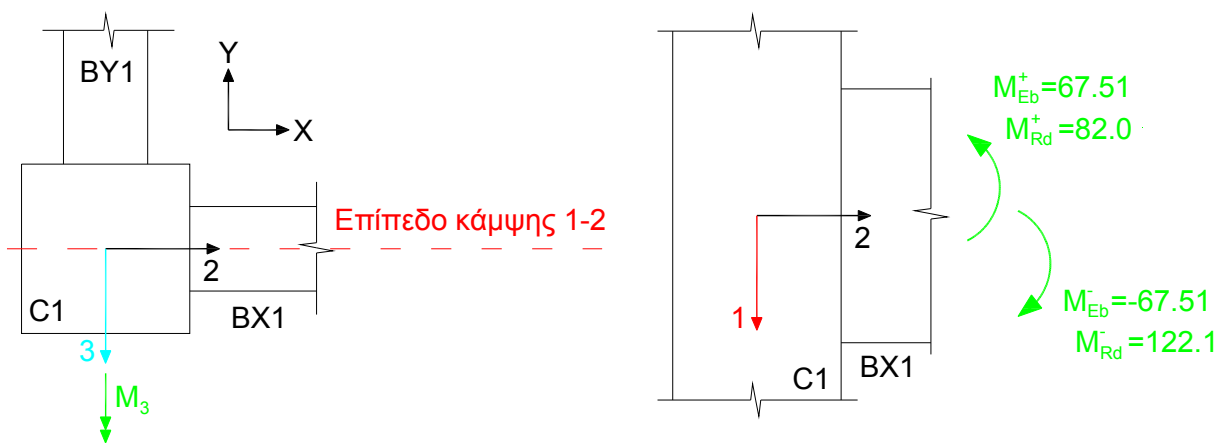
ΚΑΜΨΗ ΜΕ ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ - ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΒΑΣΗΣ - ΙΚΑΝΟΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ											
Θ.Μ.	Θ.Ελχ.	ΤΑ.	acd,+	acd,-	NSd	MSd,2	MCD,3	NRd	MRd,2	MRd,3	CR
3	ΚΕΦ.	3	2.53	1.70	-311.3	-16.7	100.1	-459.8	-24.7	147.8	0.68
Θ.Μ.	Θ.Ελχ.	ΤΑ.	acd,+	acd,-	NSd	MSd,2	MCD,3	NRd	MRd,2	MRd,3	CR
4	ΠΟΔ.	3	1.35	1.35	-212.6	12.0	88.8	-343.6	19.3	143.5	0.62

Ακολούθως θα γίνει ανάλυση των εξαγόμενων του παραπάνω πίνακα σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των πρότυπων αναλύσεων αναφοράς.

Κεφαλή υποστυλώματος

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα 17, ο δυσμενέστερος συνδυασμός δράσεων για την κεφαλή του υποστυλώματος προκύπτει από την ανάλυση του κτιρίου με τις μάζες των διαφραγμάτων στην θέση 3 (Θ.Μ. 3) σε συνδυασμό με ικανοτικό έλεγχο για κάμψη του υποστυλώματος εντός του τοπικού του επιπέδου 1-2 (βλ. σχήμα 9).

[Σημείωση: Ο τίτλος ΤΑ.=3 στον πίνακα των αποτελεσμάτων σημαίνει ότι η ροπή ανάλυσης που πρόκειται να αντικατασταθεί από την ροπή ικανοτικού σχεδιασμού, είναι η ροπή με διάνυσημα παράλληλο με τον τοπικό άξονα 3 της διατομής, δηλαδή η ροπή που αναπτύσσεται όταν το υποστυλωμα κάμπτεται εντός του τοπικού επιπέδου 1-2].



Σχήμα 9. Δεδομένα του δυσμενέστερου ικανοτικού ελέγχου κάμψης στην κεφαλή του υποστυλώματος C1 από το ΡΑΦ

Όπως είναι γνωστό, όταν εκτελείται ικανότικος έλεγχος σε υποστυλώματα που ανήκουν σε πλαίσια τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους (όπως συμβαίνει και στην περίπτωση του υποστυλώματος C1) η διαδικασία είναι η εξής:

Ξεκινώντας από την τριάδα των μεγεθών έντασης που προκύπτει από την ανάλυση, αντικαθίστανται διαδοχικά οι ροπές κάμψης τα διανύσματα των οποίων βρίσκονται εντός των επιπέδων των πλαισίων στα οποία ανήκει το υποστυλωμα, από τις ροπές ικανοτικού σχεδιασμού (βλ. εδάφιο 4.1.4.1[6] του ΕΑΚ/2000, και παράγραφο 5.4.2.1.1. εγχειριδίου τεκμηρίωσης του ΥΚΟΣ).

Εντός του πλαισίου της ως άνω περιγραφόμενης διαδικασίας, ο δυσμενέστερος ικανοτικός έλεγχος που εκτελεί το ΡΑΦ στην κεφαλή του υποστυλώματος C1 εντός του τοπικού επιπέδου 1-2 (δηλ. κατά την διεύθυνση του καθολικού άξονα X, βλ. σχήμα 9) γίνεται ως εξής:

Η τριάδα των μεγεθών έντασης που προκύπτουν από την ανάλυση είναι:

$$P=-311.3\text{kN} \quad M_2=-16.70\text{kNm} \quad M_3=53.01\text{kNm}$$

(Η συγκεκριμένη τριάδα ανήκει στον συνδυασμό δράσεων: $G+\psi_2Q+exM_3$ για τη θέση μάζας 3) Σύμφωνα με την παράγραφο 4.1.4.1 του ΕΑΚ/2000 η ροπή ικανοτικού σχεδιασμού προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις:

$$M_{CD,c} = \alpha_{CD} \cdot M_{Ec} \quad [\text{Σχέση (4.5), ΕΑΚ/2000}] \quad (6\alpha)$$

$$\alpha_{CD} = \gamma_{Rd} \cdot \left[\frac{\sum M_{Rd}}{\sum M_{Eb}} \right] \quad [\text{Σχέση (4.6), ΕΑΚ/2000}] \quad (6\beta)$$

Δεδομένου ότι ο συγκεκριμένος ικανοτικός έλεγχος εκτελείται εντός του τοπικού επιπέδου 1-2 αυτό σημαίνει ότι για τον υπολογισμό του α_{cd} χρησιμοποιούνται δεδομένα της δοκού BX1 όπως φαίνεται και στο σχήμα 9. Επιπλέον, επειδή η δυσμενέστερη τριάδα του ικανοτικού σχεδιασμού προκύπτει από το συνδυασμό $G+\psi_2Q+exM_3$ (δηλαδή για τη συμβατικώς θετική φορά της σεισμικής ροπής του υποστυλώματος) ο υπολογισμός του α_{CD} (α_{CD3}) θα πρέπει να γίνει – σύμφωνα με την σύμβαση του ΥΚΟΣ, βλ. εγχειρίδιο τεκμηρίωσης παράγραφος 5.4.2.1.1., σχέση 5.19 – με βάση την αρνητική ροπή αντοχής της δοκού BX1 (δηλ. με βάση τους συμβολισμούς της σχέσης 5.19 του εγχειριδίου τεκμηρίωσης, τη ροπή αντοχής M_{RT}). Άρα:

$$\alpha_{CD3}(+) = 1.4 \cdot \left[\frac{|-122.1|}{|-67.51|} \right] = 2.53 \quad (7\alpha)$$

Έτσι η αντικατάσταση της ροπής $M_2=53.01\text{kNm}$ θα γίνει από την ροπή ικανοτικού σχεδιασμού:

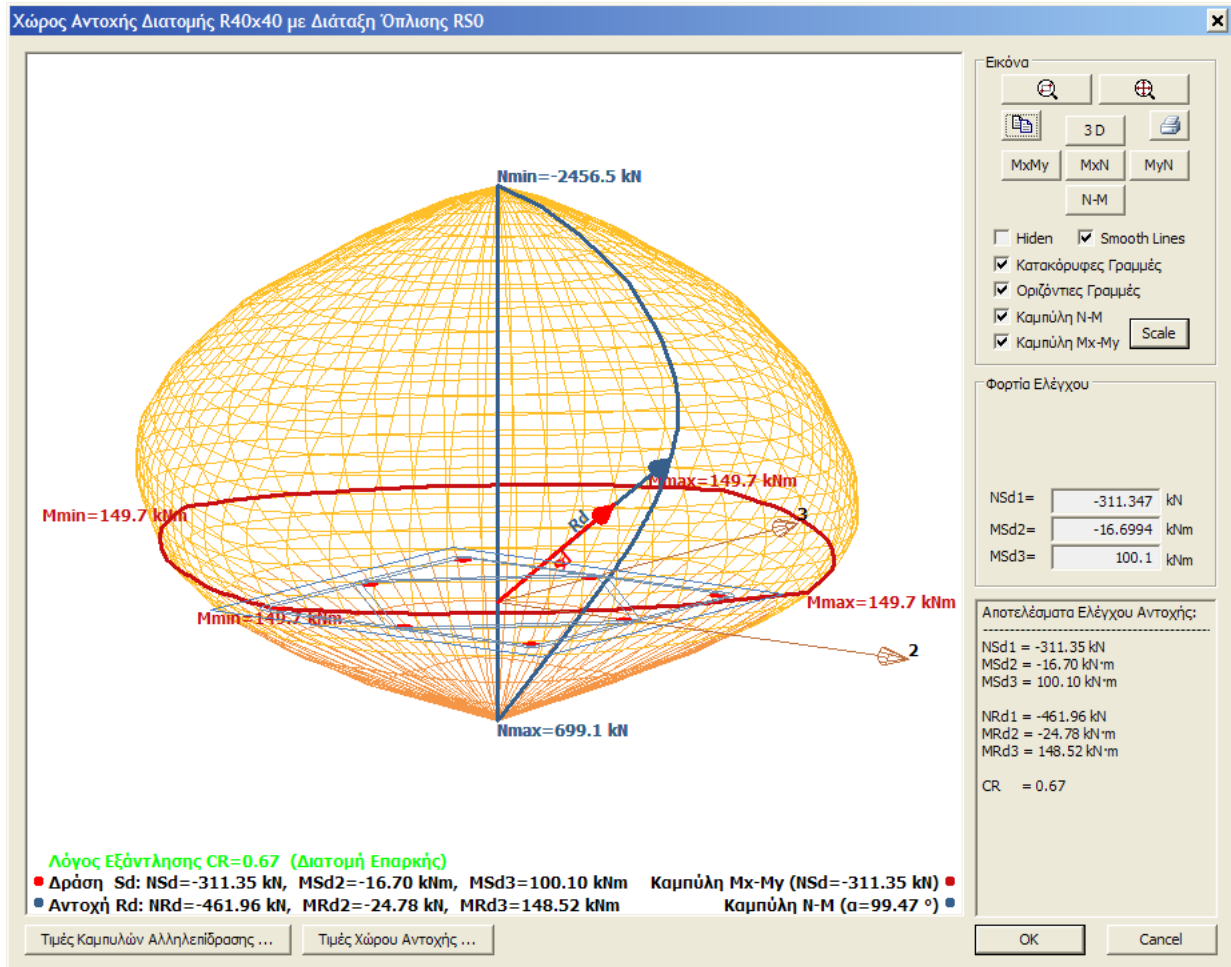
$$M_{CD,c} = 2.53 \cdot (39.54) = 100.1\text{kNm} \quad (7\beta)$$

(Όπου, όπως μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί από τις σχετικές κάρτες του προγράμματος, 39.54kNm είναι η πιθανή ακραία (με θετικό πρόσημο) τιμή της σεισμικής ροπής στην κεφαλή του υποστυλώματος C1 για τη θέση μάζας 3).

Έτσι η τελική – και δυσμενέστερη σύμφωνα με τον πίνακα 17 – τριάδα ικανοτικού σχεδιασμού στην κεφαλή του υποστυλώματος C1 είναι:

$$P=-311.3\text{kN} \quad M_2=-16.70\text{kNm} \quad M_3=100.1\text{kNm}$$

Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα 17, για την συγκεκριμένη τριάδα μεγεθών έντασης, ο λόγος εξάντλησης είναι $CR=0.67$ (βλ. ακόλουθο σχήμα):



Σχήμα 10. Αποτελέσματα ικανοτικού ελέγχου αντοχής στην κεφαλή του υποστυλώματος C1

Η αντίστοιχη αλληλουχία υπολογισμών που εκτελείται στα πλαίσια των πρότυπων παραδειγμάτων διαστασιολόγησης είναι:

- Δυσμενέστερος εκ των 24 συνδυασμών ο συνδυασμός $G+\psi_2Q+exM_3$ από την ανάλυση για τη θέση μάζας 3:

$$P=-322.82kN \quad M_2=16.27kNm \quad M_3=56.27kNm$$

(Τα πρόσημα των ροπών είναι με βάση το τοπικό σύστημα του στοιχείου κατά την επίλυση αναφοράς: βλ. σχήμα 4).

Έτσι ο ικανοτικός έλεγχος θα γίνει για κάμψη του υποστυλώματος εντός του τοπικού επιπέδου του 1-2 (κατά την οποία αναπτύσσονται ροπές με διάνυσμα παράλληλο με τον τοπικό άξονα 3, δηλ. M_3). Επομένως θα γίνει χρήση των δεδομένων της δοκού ΒΧ1.

- Τα δεδομένα της δοκού ΒΧ1 είναι: $M_{Eb}=\pm 67.30kNm$ και $M_{Rd}=143.69kNm$
- Η ροπή ικανοτικού σχεδιασμού είναι:

$$\alpha_{CD3} = 1.4 \cdot \left[\frac{|-143.69|}{|-67.3|} \right] = 2.989 \tag{8a}$$

$$M_{CD,c} = 2.989 \cdot (43.047) = 128.67kNm \tag{8b}$$

- Η τελική τριάδα μεγεθών σχεδιασμού είναι:

$$P=-322.82\text{kN} \quad M_2=16.27\text{kNm} \quad M_3=128.67\text{kNm}$$

Από την τριάδα αυτή – και με βάση πίνακες διαστασιολόγησης – προκύπτει απαίτηση για οπλισμό $A_s=15.20\text{cm}^2$ ο οποίος είναι μικρότερος του ελάχιστου επιτρεπτού. Έτσι τοποθετείται ο οπλισμός του σχήματος 8.

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων του πίνακα 17 με τα αποτελέσματα των πρότυπων αναλύσεων προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο δυσμενέστερος συνδυασμός είναι και στις δύο εξεταζόμενες περιπτώσεις ο ίδιος. Η διαφορά που εμφανίζεται στον υπολογισμό του α_{CD} (2.989 από την πρότυπη επίλυση, και 2.53 από την επίλυση με το ΡΑΦ) προέρχεται από την διαφορετική τιμή της ροπής αντοχής της δοκού ΒΧ1 η οποία στα πλαίσια της πρότυπης επίλυσης υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη και τον οπλισμό της πλάκας εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της δοκού ενώ στην περίπτωση της επίλυσης με το ΡΑΦ ο οπλισμός αυτός αγνοήθηκε. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η χρησιμοποιούμενη τιμή της ροπής αντοχής να είναι μικρότερη στην περίπτωση της επίλυσης με το ΡΑΦ (122.1kNm έναντι 143.69kNm).

Πόδας υποστυλώματος

Ο ικανοτικός έλεγχος στους πόδες των υποστυλωμάτων στις θέσεις πάκτωσης γίνεται σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (εδάφιο 4.1.4.2[2]) με τη ροπή:

$$M_{CD,c} = 1.35 \cdot M_{Ec} \geq M_{G+\psi_2 Q \pm E} \quad (9)$$

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 17 ο δυσμενέστερος ικανοτικός έλεγχος στον πόδα του υποστυλώματος – σύμφωνα με το ΡΑΦ – στηρίζεται στα μεγέθη ανάλυσης που προκύπτουν από τον σεισμικό συνδυασμό για την μάζα στη θέση 4 (Θ.Μ. 4) και εκτελείται εντός του τοπικού επιπέδου 1-2 (ΤΑ.=3). Η διαδικασία του ελέγχου είναι συνοπτικά η εξής:

- Δυσμενέστερος εκ των 24 συνδυασμών ο συνδυασμός $G+\psi_2 Q+exM_3$ από την ανάλυση για τη θέση μάζας 4:

$$P=-212.64\text{kN} \quad M_2=11.96\text{kNm} \quad M_3=58.48\text{kNm}$$

Έτσι ο ικανοτικός έλεγχος θα γίνει για κάμψη του υποστυλώματος εντός του τοπικού επιπέδου του 1-2 (κατά την οποία αναπτύσσονται ροπές με διάνυσμα παράλληλο με τον τοπικό άξονα 3, δηλ. M_3).

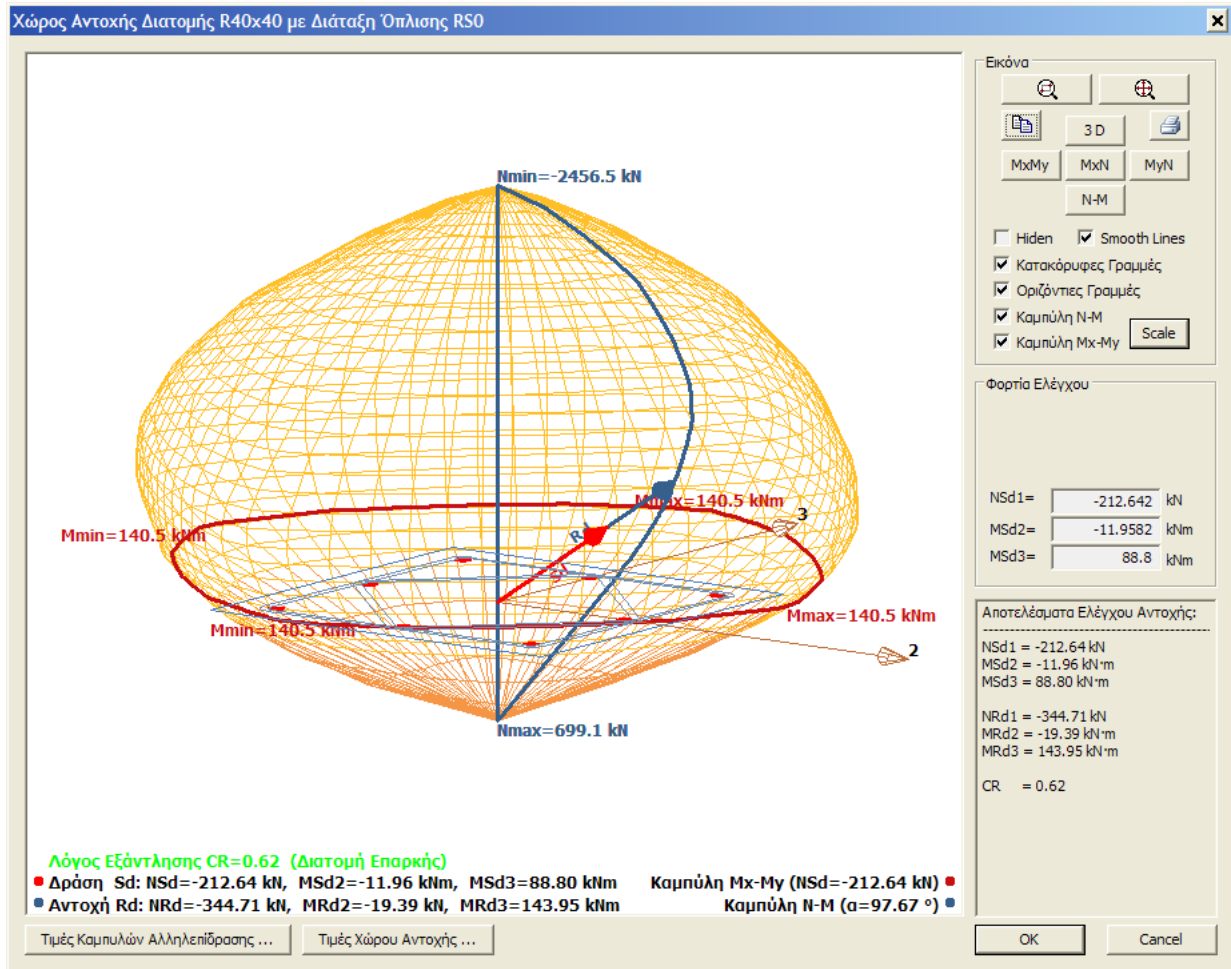
- Η ροπή ικανοτικού σχεδιασμού είναι:

$$M_{CD,c} = 1.35 \cdot (65.79) = 88.82\text{kNm} \quad (10)$$

- Η τελική τριάδα μεγεθών σχεδιασμού είναι:

$$P=-212.64\text{kN} \quad M_2=11.96\text{kNm} \quad M_3=88.8\text{kNm}$$

Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα 17, για την συγκεκριμένη τριάδα μεγεθών έντασης, ο λόγος εξάντλησης είναι $CR=0.62$, δηλαδή η διατομή είναι επαρκής (βλ. ακόλουθο σχήμα):



Σχήμα 11. Αποτελέσματα ικανοτικού ελέγχου αντοχής στον πόδα του υποστυλώματος C1

Η αντίστοιχη αλληλουχία υπολογισμών που εκτελείται στα πλαίσια των πρότυπων παραδειγμάτων διαστασιολόγησης είναι:

- Δυσμενέστερος εκ των 24 συνδυασμών ο συνδυασμός $G+\psi_2Q+exM_2$ από την ανάλυση για τη θέση μάζας 1:

$$P=-219.65\text{kN} \quad M_2=58.76\text{kNm} \quad M_3=-11.97 \text{ kNm}$$

(Τα πρόσημα των ροπών είναι με βάση το τοπικό σύστημα του στοιχείου κατά την επίλυση αναφοράς: βλ. σχήμα 4).

Έτσι ο ικανοτικός έλεγχος θα γίνει για κάμψη του υποστυλώματος εντός του τοπικού επιπέδου του 1-3 (κατά την οποία αναπτύσσονται ροπές με διάνυσμα παράλληλο με τον τοπικό άξονα 2, δηλ. M_2).

- Η ροπή ικανοτικού σχεδιασμού είναι:

$$M_{CD,c} = 1.35 \cdot (65.93) = 89.0\text{kNm} \tag{11}$$

- Η τελική τριάδα μεγεθών σχεδιασμού είναι:

$$P=-219.65\text{kN} \quad M_2=89.0\text{kNm} \quad M_3=-11.97 \text{ kNm}$$

Από την τριάδα αυτή – και με βάση πίνακες διαστασιολόγησης – προκύπτει απαίτηση για οπλισμό $A_s=8.58\text{cm}^2$ ο οποίος είναι μικρότερος του ελάχιστου επιτρεπτού. Έτσι τοποθετείται ο οπλισμός του σχήματος 9.

Το γεγονός ότι ο ικανοτικός έλεγχος με το ΡΑΦ στον πόδα του υποστυλώματος γίνεται εντός του τοπικού επιπέδου 1-2, ενώ ο πρότυπος έλεγχος γίνεται εντός του τοπικού επιπέδου 1-3 οφείλεται στο ότι στα πλαίσια του πρότυπου ελέγχου επελέγει λόγω συμμετρίας το συγκεκριμένο επίπεδο ελέγχου, χωρίς να ελεγχθεί αν όντως είναι το δυσμενέστερο.

Διαστασιολόγηση σε διάτμηση

Έπειδη τόσο η διατομή όσο και ο οπλισμός της είναι συμμετρική (βλ. σχήμα 8) θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του ελέγχου διάτμησης για μόνο μία διεύθυνση (για τη διεύθυνση του τοπικού άξονα 2: Δ.Ελ.=2). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δυσμενέστερα αποτελέσματα του ελέγχου διάτμησης του υποστυλώματος C1 όπως προκύπτουν από την ανάλυση με το ΡΑΦ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 18. Δυσμενέστεροι συνδυασμοί ικανοτικού ελέγχου διάτμησης για την κεφαλή και τον πόδα του υποστυλώματος C1 από το ΡΑΦ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ - ΙΚΑΝΟΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ								
Θ.Μ.	Δ.ΕΛ.	ΠΕΡ.	Vcd	Vwd	VRd3	VRd2r	VCD	CR
4	2	ΚΡ	77.3	237.9	315.2	509.8	105.8	0.34
4	2	ΜΚ	85.9	237.9	323.8	509.8	105.8	0.33
1	3	ΚΡ	77.3	237.9	315.2	509.8	105.8	0.34
1	3	ΜΚ	85.9	237.9	323.8	509.8	105.8	0.33

Α) Υπολογισμός της τέμνουσας ικανοτικού σχεδιασμού:

Η τέμνουσα ικανοτικού σχεδιασμού υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$V_{CD,c} = 1.40 \cdot \left(\frac{M_{R,c1} + M_{R,c2}}{L_c} \right) \leq q \cdot V_{E,c} \quad (12)$$

Στην παραπάνω σχέση υπεισέρχονται οι ροπές αντοχής του υποστυλώματος στην κεφαλή και στον πόδα του. Όπως είναι γνωστό αυτές οι ροπές αντοχής είναι ροπές αντοχής σε μονοαξονική κάμψη με αξονική δύναμη. Οι αξονικές δυνάμεις που προκύπτουν από τον σεισμικό συνδυασμό δράσεων $G+\psi_2 Q \pm E$ για μία θέση μάζας είναι 6. Από τις 6 αυτές αξονικές δυνάμεις προκύπτουν 12 τιμές για τις ροπές αντοχής (6 για ροπή-δράση με θετικό πρόσημο και 6 για ροπή-δράση με αρνητικό πρόσημο ως προς το τοπικό σύστημα αναφοράς του στοιχείου) στην κεφαλή του υποστυλώματος και άλλες 12 τιμές για τον πόδα. Έτσι για το υποστυλώμα C1 το ΡΑΦ εμφανίζει τον ακόλουθο πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 19. Μονοαξονικές ροπές κάμψης κεφαλής και πόδα υποστυλώματος C1 για τις 6 τιμές των αξονικών δυνάμεων του σεισμικού συνδυασμού δράσεων για τη θέση μάζας 4.

* ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ							
ΚΟΜΒΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ :							
NSd (G+ψ2*Q+E (ακN1))	NSd=	-173.4	MRd2+=	135.4	MRd2=-	-135.4	MRd3+= 135.4 MRd3=- -135.4
NSd (G+ψ2*Q+E (ακM2))	NSd=	-202.3	MRd2+=	139.2	MRd2=-	-139.2	MRd3+= 139.2 MRd3=- -139.2
NSd (G+ψ2*Q+E (ακM3))	NSd=	-311.4	MRd2+=	149.7	MRd2=-	-149.7	MRd3+= 149.7 MRd3=- -149.7
NSd (G+ψ2*Q-E (ακN1))	NSd=	-336.0	MRd2+=	150.8	MRd2=-	-150.8	MRd3+= 150.8 MRd3=- -150.8
NSd (G+ψ2*Q-E (ακM2))	NSd=	-307.1	MRd2+=	149.5	MRd2=-	-149.5	MRd3+= 149.5 MRd3=- -149.5
NSd (G+ψ2*Q-E (ακM3))	NSd=	-198.0	MRd2+=	138.6	MRd2=-	-138.6	MRd3+= 138.6 MRd3=- -138.6
ΚΟΜΒΟΣ ΠΟΔΑ :							
NSd (G+ψ2*Q+E (ακN1))	NSd=	-188.2	MRd2+=	137.4	MRd2=-	-137.4	MRd3+= 137.4 MRd3=- -137.4
NSd (G+ψ2*Q+E (ακM2))	NSd=	-322.2	MRd2+=	150.2	MRd2=-	-150.2	MRd3+= 150.2 MRd3=- -150.2
NSd (G+ψ2*Q+E (ακM3))	NSd=	-212.6	MRd2+=	140.3	MRd2=-	-140.3	MRd3+= 140.3 MRd3=- -140.3
NSd (G+ψ2*Q-E (ακN1))	NSd=	-350.8	MRd2+=	151.5	MRd2=-	-151.5	MRd3+= 151.5 MRd3=- -151.5
NSd (G+ψ2*Q-E (ακM2))	NSd=	-216.8	MRd2+=	140.7	MRd2=-	-140.7	MRd3+= 140.7 MRd3=- -140.7
NSd (G+ψ2*Q-E (ακM3))	NSd=	-326.4	MRd2+=	150.4	MRd2=-	-150.4	MRd3+= 150.4 MRd3=- -150.4

Από τις τιμές του παραπάνω πίνακα επιλέγονται οι μέγιστες ροπές αντοχής της κεφαλής και του πόδα. Έτσι για τον έλεγχο σε τέμνουσα κατά τη διεύθυνση του τοπικού άξονα 2 γίνεται χρήση της τιμής $M_{Rd3}=150.8\text{kNm}$ στην κεφαλή του υποστυλώματος και της τιμής $M_{Rd3}=151.5\text{kNm}$ στον πόδα. Με τις τιμές αυτές προκύπτει η ακόλουθη τιμή της τέμνουσας ικανοτικού σχεδιασμού κατά την διεύθυνση του τοπικού άξονα 2:

$$V_{CD,c} = \min \left\{ \frac{1.40 \cdot (M_{R,c1} + M_{R,c1})}{L_b} = \frac{1.40 \cdot (150.8 + 151.5)}{3.70} = 114.4 \right\} = 105.8\text{kN} \quad (13\alpha)$$

$$q \cdot V_{E,c} = 3.5 \cdot 30.23 = 105.8$$

Η αντίστοιχη τιμή των αναλύσεων αναφοράς είναι:

$$V_{CD,c} = \min \left\{ \frac{1.40 \cdot (M_{R,c1} + M_{R,c1})}{L_b} = \frac{1.40 \cdot (149.33 + 151.04)}{4.00} = 105.13 \right\} = 105.13\text{kN} \quad (13\beta)$$

$$q \cdot V_{E,c} = 3.5 \cdot 30.28 = 105.98$$

Παρατηρούμε ότι υπάρχει ελάχιστη απόκλιση στις τιμές της ικανοτικής τέμνουσας.

B) Τέμνουσα αντοχής λόγω λοξής θλίψης κορμού:

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z = \frac{1}{2} \cdot \left(0.70 - \frac{20}{200} \right) \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1.5} \cdot 0.4 \cdot (0.9 \cdot 0.354) = 509.80\text{kN} > 105.8\text{kN} \quad (14)$$

Η αντίστοιχη τιμή της τέμνουσας που υπολογίζεται στα πλαίσια των πρότυπων αναλύσεων αναφοράς είναι $V_{Rd2}=504\text{kN}$ και είναι πρακτικώς ίση με την τιμή που υπολογίζεται από το ΡΑΦ.

Γ) Έλεγχος σπλισμού διάτμησης

Υπολογίζεται αρχικά η ανηγμένη αξονική δύναμη του υποστυλώματος προκειμένου να προσδιοριστεί αν το υποστυλωμα είναι στοιχείο κυρίως καμπτόμενο ή στοιχείο υπό κάμψη με θλιπ-

τική δύναμη σύμφωνα με την παράγραφο 11.2.3.2β του ΕΚΟΣ/2000. Για τον υπολογισμό αυτό σύμφωνα με την συγκεκριμένη παράγραφο του κανονισμού χρησιμοποιείται η τιμή της αξονικής δύναμης που προκύπτει από την επίδραση των οιονεί μονίμων φορτίων $G+\psi_2Q$. Από τις τιμές της αξονικής δύναμης στην κεφαλή και στον πόδα του υποστυλώματος, το ΡΑΦ κάνει χρήση της τιμής της κεφαλής. Έτσι για το υποστύλωμα C1: $N_{sd}=-254.70\text{kN}$ (βλ. πίνακα 3). Επομένως:

$$V_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-254.70}{0.4 \cdot 0.4 \cdot (20 \cdot 10^3 / 1.5)} = -0.119 < -0.10 \rightarrow \text{κάμψη με θλιπτική δύναμη} \quad (15)$$

Στοιχείο υπό κάμψη με θλιπτική δύναμη

Επομένως σύμφωνα με την παράγραφο 11.2.3.3β(ii) του ΕΚΟΣ/2000 η τέμνουσα που παραλαμβάνει το σκυρόδεμα V_{cd} προκύπτει από την τέμνουσα V_{Rd1} με πολλαπλασιασμό με το συντελεστή 0.9. Έτσι οι υπολογισμοί του ΡΑΦ γίνονται ως εξής:

$$V_{Rd1} = [T_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40 \cdot \rho_\lambda) + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad (16)$$

$$k = 1.60 - d = 1.60 - 0.354 = 1.246 > 1.00.$$

$$\rho_\lambda = \frac{A_{sl}}{(b_w \cdot d)} = \frac{3 \cdot 2.01}{40 \cdot 35.4} = \frac{6.03}{1416} = 4.26 \cdot 10^{-3} \leq 0.02 \quad (17)$$

[Ο αριθμητής στην παραπάνω σχέση αντιστοιχεί στο εμβαδό του εφελκόμενου οπλισμού της διατομής. Στην περίπτωση του υποστυλώματος C1 (βλ. σχήμα 8) ο εφελκόμενος οπλισμός είναι ίσος με το 3Φ16 $\rightarrow A_{sl}=6.03\text{cm}^2$].

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{sd}}{A_c} = \frac{|-173.43|}{0.4 \cdot 0.4} = \frac{|-173.43|}{0.16} = 1083.94 \text{ kN/m}^2 \quad (18)$$

Η αξονική δύναμη σχεδιασμού N_{sd} (θετική κατά την εισαγωγή στην σχέση υπολογισμού του V_{Rd1} όταν είναι θλιπτική, ενώ από τους υπολογισμούς εξάγεται ως αρνητική) προκύπτει από τον σεισμικό συνδυασμό $G+\psi_2Q \pm E$. Από τους έξι επι μέρους συνδυασμούς για κάθε θέση μάζας επιλέγεται η μικρότερη κατ' απόλυτη τιμή θλιπτική δύναμη, ή η μέγιστη εφελκυστική δύναμη (εισάγεται ως αρνητική στην σχέση υπολογισμού του V_{Rd1}) που αναπτύσσεται στην κεφαλή του υποστυλώματος. Ο λόγος για τον οποίο επιλέγεται η συγκεκριμένη τιμή της αξονικής δύναμης N_{sd} είναι να εισαχθεί στον υπολογισμό του V_{cd} η τιμή εκείνη της αξονικής δύναμης η οποία την ελαχιστοποιεί. Δηλαδή στόχος είναι να γίνουν οι έλεγχοι με την μικρότερη πιθανή τιμή της συγκεκριμένης αντοχής.

$$V_{Rd1} = [(0.26 \cdot 10^3) \cdot 1.246 \cdot (1.20 + 40 \cdot 4.26 \cdot 10^{-3}) + 0.15 \cdot 1083.94] \cdot 0.4 \cdot 0.354 = 85.9 \text{ kN} \quad (19\alpha)$$

$$V_{cd} = 0.9 \cdot V_{Rd1} = 0.9 \cdot 85.9 = 77.3 \text{ kN} \quad (19\beta)$$

Και τέλος:

$$V_{wd} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \cdot 0.90 \cdot d \cdot f_{ywd} = 17.173 \cdot 0.9 \cdot 0.354 \cdot \left(\frac{500}{1.15} \right) \cdot 10^{-1} = 237.9 \text{ kN} \quad (20\alpha)$$

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 77.3 + 237.9 = 315.2 \text{ kN} \quad (20\beta)$$

Η τιμή του λόγου $A_{sw}/s=17.173\text{cm}^2/\text{m}$ προκύπτει ως εξής:

Όπως φαίνεται στο σχήμα 8, αν γίνει μία νοητή τομή στη διατομή κάθετα στην διεύθυνση του τοπικού άξονα 2, τέμνονται 2 οριζόντια σκέλη συνδετήρα και 2 λοξά. Λόγω του γεγονότος ότι η διατομή του υποστυλώματος είναι τετραγωνική η γωνία των λοξών συνδετηρών ως προς τον τοπικό άξονα 2 είναι ίση με 45° . Η διατομή του κάθε σκέλους είναι $\Phi 8$ κάτι που σημαίνει ότι το εμβαδόν όλων των σκελών είναι ίσο με $A_{σκέλ\ sw}=0.503\text{cm}^2$. Θεωρώντας ότι η τέμνουσα που παραλαμβάνουν οι λοξοί συνδετήρες κατά την διεύθυνση του τοπικού άξονα 2 είναι ανάλογη της προβολής της επιφάνειας τους στον τοπικό άξονα 2, υπολογίζεται η ισοδύναμη επιφάνεια των λοξών συνδετηρών πολλαπλασιάζοντας την πραγματική τους επιφάνεια με $\cos 45^\circ$. Έτσι η συνολική επιφάνεια των 4 σκελών (των δύο οριζοντίων και των δύο λοξών) είναι ίση με:

$$A_{sw} = 2 \cdot 0.503 + 2 \cdot 0.503 \cdot \cos 45^\circ = 1.006 + 0.7113 = 1.7173 \text{ cm}^2$$

Δεδομένου όμως ότι η απόσταση των συνδετηρών είναι 10cm προκύπτει τελικά:
 $A_{sw}/s=17.173\text{cm}^2/\text{m}$

Δ) Συγκεντρωτική συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ΡΑΦ και αναλύσεων αναφοράς. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι τιμές μεγεθών σχεδιασμού και αντοχής που υπεισέρχονται στον έλεγχο διάτμησης:

ΠΙΝΑΚΑΣ 20. Συγκριτική παρουσίαση μεγεθών σχεδιασμού και αντοχής που υπεισέρχονται στον έλεγχο διάτμησης του υποστυλώματος C1.

	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
$V_{CD,c}$	105.13	105.8
V_{Rd1}	81.13	85.9
V_{Rd2}	504.00	509.80

Παρατηρούνται γενικώς πολύ μικρές και αποδεκτές αποκλίσεις.

Έλεγχος σε περίσφιξη

(Α) Έλεγχος από το ΡΑΦ

Ο έλεγχος περίσφιξης των υποστυλωμάτων περιγράφεται αναλυτικά στο εγχειρίδιο του ΥΚΟΣ (παράγραφος 5.4.2.5.). Εδώ θα παρουσιάσουμε συνοπτικά τα αποτελέσματα του ελέγχου.

1) Επιφάνεια σκυροδέματος:

$$A_c = 0.4 \cdot 0.4 = 0.16 \text{ m}^2 \quad (21)$$

2) Επιφάνεια περισφιγμένου πυρήνα:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= b_0 \cdot d_0 \\ b_0 = d_0 &= b - 2 \cdot (c + \Phi_w) = 0.4 - 2 \cdot (0.03 + 0.008) = 0.324 \text{ m} \end{aligned} \right\} \rightarrow A_0 = 0.324^2 = 0.105 \text{ m}^2 \quad (22)$$

3) Συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης:

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s \quad (23)$$

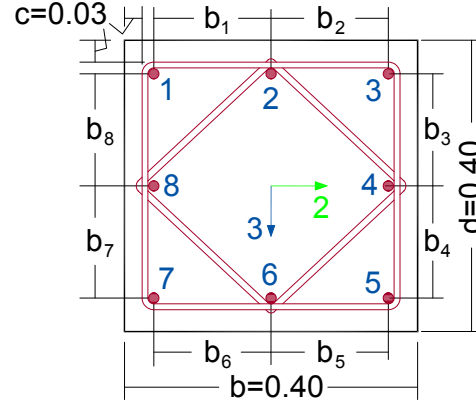
3α) Συντελεστής αποδοτικότητας λόγω διάταξης συνδετήρων: α_n

$$b_i = \frac{(b - 2 \cdot (c + \Phi_w) - \Phi_L)}{2}$$

$$= \frac{0.4 - 2 \cdot (0.03 + 0.008) - 0.016}{2} = 0.154$$

$$\alpha_n = 1 - \left(\frac{1}{6 \cdot A_0} \right) \cdot \sum_{i=1}^8 (b_i^2)$$

$$= 1 - \left(\frac{1}{6 \cdot 0.105} \right) \cdot \sum (8 \cdot 0.154^2) = 0.699$$



3β) Συντελεστής αποδοτικότητας λόγω απόστασης συνδετήρων: α_s

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s'}{2 \cdot b_0} \right)^2 = \left(1 - \frac{s - \Phi_w}{2 \cdot b_0} \right)^2 = \left(1 - \frac{0.1 - 0.008}{2 \cdot 0.324} \right)^2 = 0.7362 \quad (24)$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0.699 \cdot 0.7362 = 0.514 \quad (25)$$

4) Υπολογισμός μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περίσφιξης:

$$\omega_{wd, \text{τοπ.}} = (\rho_x + \rho_y) \cdot [f_{yd} / f_{cd}] = 2 \cdot \min(\rho_x, \rho_y) \cdot [f_{yd} / f_{cd}] = \rho_{\text{τοπ.}} \cdot [f_{yd} / f_{cd}] \quad (26)$$

$$\rho_x = \rho_y = \frac{2 \cdot A_{sw}(\Phi_8) \cdot (1 + \cos 45)}{[d - 2 \cdot c] \cdot s} = \frac{2 \cdot 0.503 \cdot (1 + 0.7071)}{[40 - 2 \cdot 3] \cdot 10} = \frac{1.7162}{340} = 5.05 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{\text{τοπ.}} = 2 \cdot \min(\rho_x, \rho_y) = 2 \cdot \min(5.05 \cdot 10^{-3}, 5.05 \cdot 10^{-3}) = 2 \cdot 5.05 \cdot 10^{-3} = 0.01$$

$$\omega_{wd, \text{τοπ.}} = \rho_{\text{τοπ.}} \cdot \left[\frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right] = 0.01 \cdot \left[\frac{434.782}{13.333} \right] = 0.326$$

5) Υπολογισμός απαιτούμενου μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περίσφιξης:

$$\alpha \cdot \omega_{wd, \text{απαιτ.}} = 0.85 \cdot v_d \cdot \left(0.35 \cdot \frac{A_c}{A_0} + 0.15 \right) - 0.035 \quad (27)$$

$$v_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{|\min N_{G+\psi 2Q \pm E}|}{0.16 \cdot (13.333 \cdot 10^3)} = \frac{350.77}{2133.33} = 0.164 \quad (28)$$

Ο υπολογισμός του v_d (ανηγμένη αξονική δύναμη) είναι το μοναδικό σημείο του ελέγχου περίσφιξης στο οποίο υπεισέρχονται αποτελέσματα από την ανάλυση. Το ΡΑΦ για τον υπολογισμό του v_d ανιχνεύει την μέγιστη κατ' απόλυτη τιμή θλιπτικής αξονικής δύναμης του υποστυλώματος. Η ανίχνευση της τιμής αυτής γίνεται για κάθε θέση μάζας και τα αποτελέσματα του ελέγχου περίσφιξης τυπώνονται ξεχωριστά. Στα συνοπτικά όμως αποτελέσματα τυπώνονται τα αποτελέσματα της θέσης μάζας που

οδηγεί στην μέγιστη απαίτηση οπλισμού περίσφιξης. Έτσι για το υποστύλωμα C3 τυπώνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη θέση μάζας 3 (για την οποία η μέγιστη κατ' απόλυτη τιμή της θλιπτικής αξονικής δύναμης είναι $N_{sd} = -350.77 \text{ kN}$).

$$0.514 \cdot \omega_{wd, απαιτ.} = 0.85 \cdot 0.164 \cdot \left(0.35 \cdot \frac{0.16}{0.105} + 0.15 \right) - 0.035 \Rightarrow \omega_{wd, απαιτ.} = 0.12 \quad (29)$$

Τα αποτελέσματα του ελέγχου τυπώνονται στα αναλυτικά αποτελέσματα για τη θέση μάζας 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 21. Αναλυτική εκτύπωση αποτελεσμάτων ελέγχου περίσφιξης υποστυλώματος C1 για τη θέση μάζας 4, από το ΡΑΦ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ			
ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	$f_{cd} =$	13333.33	
ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΧΑΛΥΒΑ	$f_{yd} =$	434782.61	
ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	$N_{sd} =$	-350.77	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ	$a =$	0.51	
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ	$\rho =$	0.10E-01	
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ	$\omega_{wd_υπ} =$	0.329	
ΑΝΗΓΜΕΝΟ ΑΞΟΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	$v_d =$	0.164	
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ	$\omega_{wd_απ} =$	0.118	

Τα αποτελέσματα αυτά τυπώνονται όμως και στο πλαίσιο των συνοπτικών αποτελεσμάτων, καθώς είναι τα πιο δυσμενή από τα αποτελέσματα των τεσσάρων θέσεων μάζας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 22. Συνοπτική εκτύπωση των δυσμενεστέρων αποτελεσμάτων ελέγχου περίσφιξης του υποστυλώματος C1 από το ΡΑΦ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ								
Θ.Μ.	Θέση	N_{sd}	v_d	α	ρ	$\omega_{wd, υπαρχ}$	$\omega_{wd, απαιτ}$	CR
4	Πόδαξ	-350.8	0.16	0.51	0.0101	0.33	0.12	0.36

(B) Έλεγχος πρότυπου παραδείγματος

1) Επιφάνεια σκυροδέματος:

$$A_c = 0.4 \cdot 0.4 = 0.16 \text{ m}^2 \quad (30)$$

2) Επιφάνεια περισφιγμένου πυρήνα:

$$A_0 = 0.09 \text{ m}^2 \quad (31)$$

3) Συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιξης:

$$\alpha_n = 1 - \left(\frac{1}{6 \cdot A_0} \right) \cdot \sum_{i=1}^8 (b_i^2) = 1 - \left(\frac{8 \cdot 0.15^2}{6 \cdot 0.09} \right) = 0.6667 \quad (32)$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s'}{2 \cdot b_0} \right)^2 = \left(1 - \frac{s - \Phi_w}{2 \cdot b_0} \right)^2 = \left(1 - \frac{0.1 - 0.008}{2 \cdot 0.30} \right)^2 = 0.7168$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0.6667 \cdot 0.7168 = 0.478 \quad (33)$$

4) Υπολογισμός μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περίσφιξης:

$$\rho_x = \rho_y = \frac{3 \cdot A_{sw}(\Phi_8)}{d_0 \cdot s} = \frac{3 \cdot 0.503}{30 \cdot 10} = \frac{1.7162}{300} = 5.03 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{\text{τοπ}} = 2 \cdot \min(\rho_x, \rho_y) = 2 \cdot \min(5.03 \cdot 10^{-3}, 5.03 \cdot 10^{-3}) = 2 \cdot 5.03 \cdot 10^{-3} = 0.01$$

$$\omega_{\text{wd,τοπ}} = \rho_{\text{τοπ}} \cdot \left[\frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right] = 0.01 \cdot \left[\frac{434.782}{13.333} \right] = 0.326$$

5) Υπολογισμός απαιτούμενου μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περίσφιξης:

$$v_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{|\min N_{G+\psi 2Q \pm E}|}{0.16 \cdot (13.333 \cdot 10^3)} = \frac{357.72}{2133.33} = 0.167 \quad (34)$$

$$0.478 \cdot \omega_{\text{wd, απαιτ.}} = 0.85 \cdot 0.167 \cdot \left(0.35 \cdot \frac{0.16}{0.09} + 0.15 \right) - 0.035 \Rightarrow \omega_{\text{wd, απαιτ.}} = 0.156$$

Γ) Συγκεντρωτική συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ΡΑΦ και αναλύσεων αναφοράς.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι τιμές μεγεθών που υπεισέρχονται στον έλεγχο περίσφιξης:

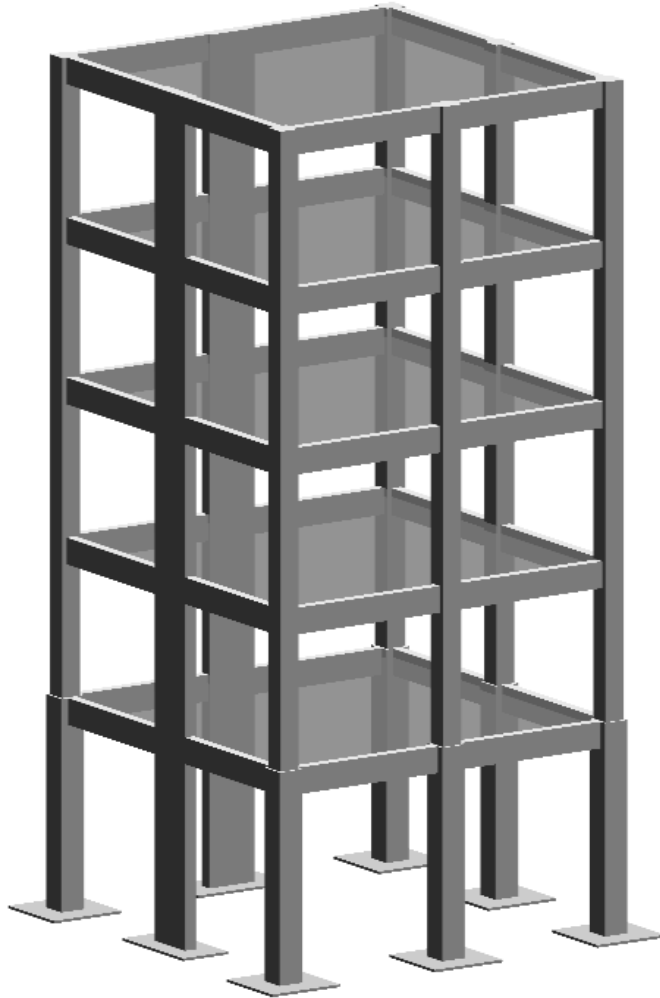
ΠΙΝΑΚΑΣ 23. Συγκριτική παρουσίαση μεγεθών που υπεισέρχονται στον έλεγχο περίσφιξης του υποστυλώματος C1

	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
α_n	0.667	0.699
α_s	0.717	0.736
α	0.48	0.51
v_d	0.168	0.164
$\omega_{\text{wd, απαιτ}}$	0.16	0.12
$\omega_{\text{wd, υπάρχων}}$	0.33	0.33

Από τη μελέτη του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε την γενικώς πολύ καλή σύγκλιση των τιμών των βασικών παραμέτρων του ελέγχου: α , $\omega_{\text{wd, υπάρχων}}$ και v_d . Λίγο μεγαλύτερη είναι απόκλιση που παρατηρείται στο βασικό εξαγώμενο του ελέγχου δηλαδή το $\omega_{\text{wd, απαιτ}}$. Για την απόκλιση αυτή μπορεί να δοθεί η εξήγηση ότι οφείλεται στις διαφορετικές τιμές του α και του εμβαδού του περισφιγμένου πυρήνα A_0 . Η τιμή που προκύπτει από το ΡΑΦ για το A_0 είναι $A_0=0.105\text{m}^2$, ενώ από την ανάλυση αναφοράς $A_0=0.09\text{m}^2$. Όπως αποδεικνύεται η τιμή του $\omega_{\text{wd, απαιτ}}$ είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στην μεταβολή των τιμών των παραμέτρων αυτών, η διαφοροποίηση των οποίων μεταξύ του ΡΑΦ και του πρότυπου παραδείγματος οφείλεται αποκλειστικά στις διαφορετικές παραδοχές που γίνονται για τον υπολογισμό τους.

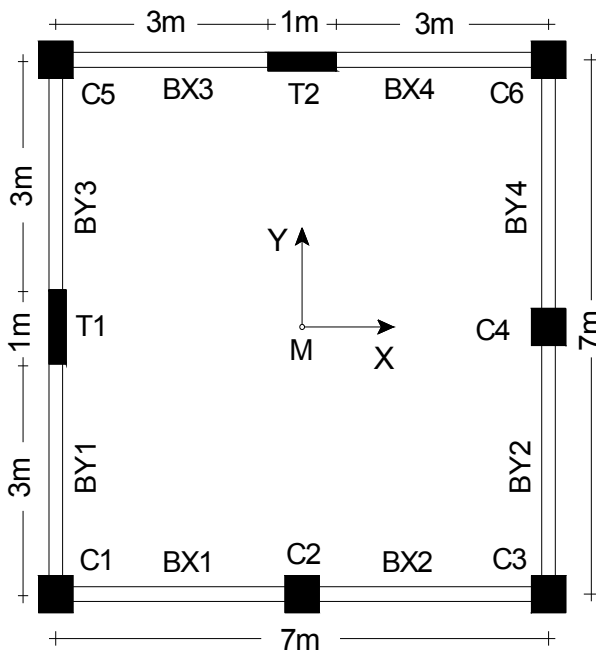
3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10**

Πενταώροφος μικτός φορέας με απλή διαγώνια συμμετρία
(με δύο περιμετρικά τοιχώματα)



3.1 Δεδομένα – Σκαριφήματα φορέα

- Υλικό: Οπλισμένο σκυρόδεμα ($E=2.9 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0.2$, $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$)
- Δεδομένα ανωδομής:

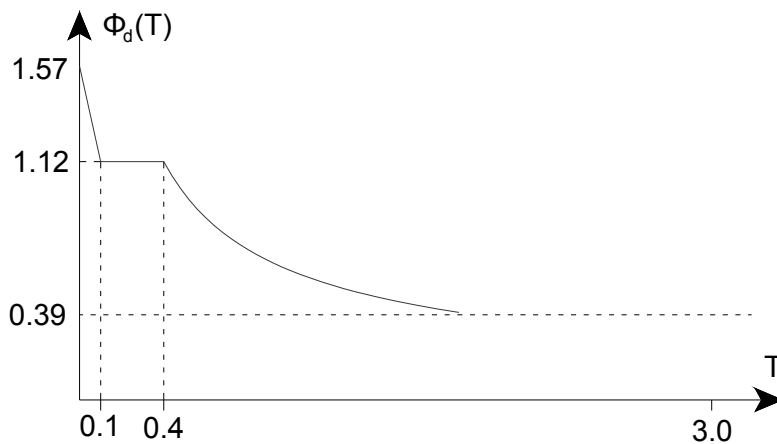


Όροφος	Υποστυλώματα C_i ($i=1 - 6$)	Δοκοί BX_i, BY_i ($i=1 - 4$)
1 ^{ος}	50/50	20/50
2 ^{ος} – 5 ^{ος}	40/40	20/50

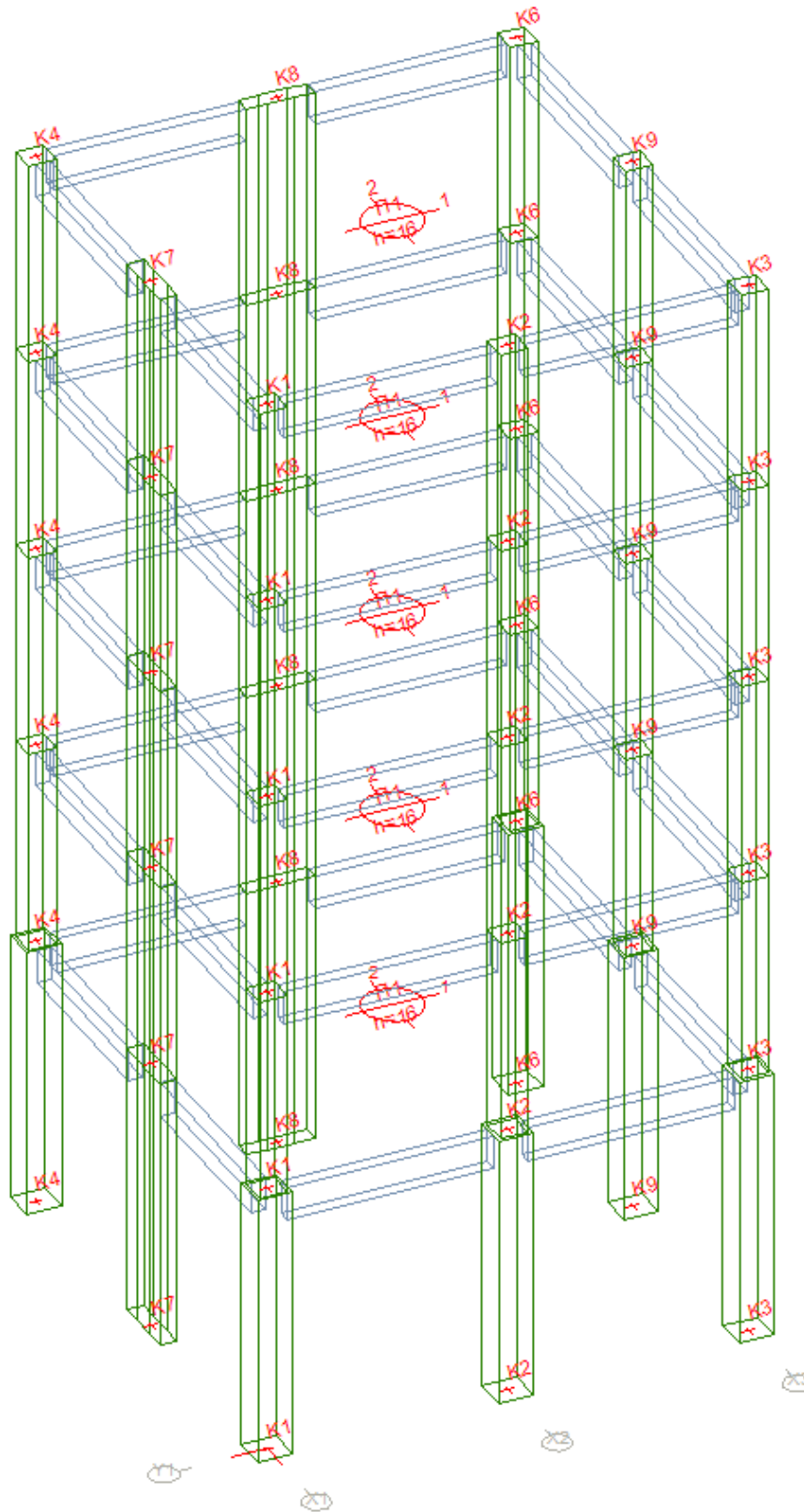
Πάχος πλάκας $d=16 \text{ cm}$.
 Πάχος τοιχώματων $t=25 \text{ cm}$.

Σχήμα 0. Τυπική κάτοψη ορόφων

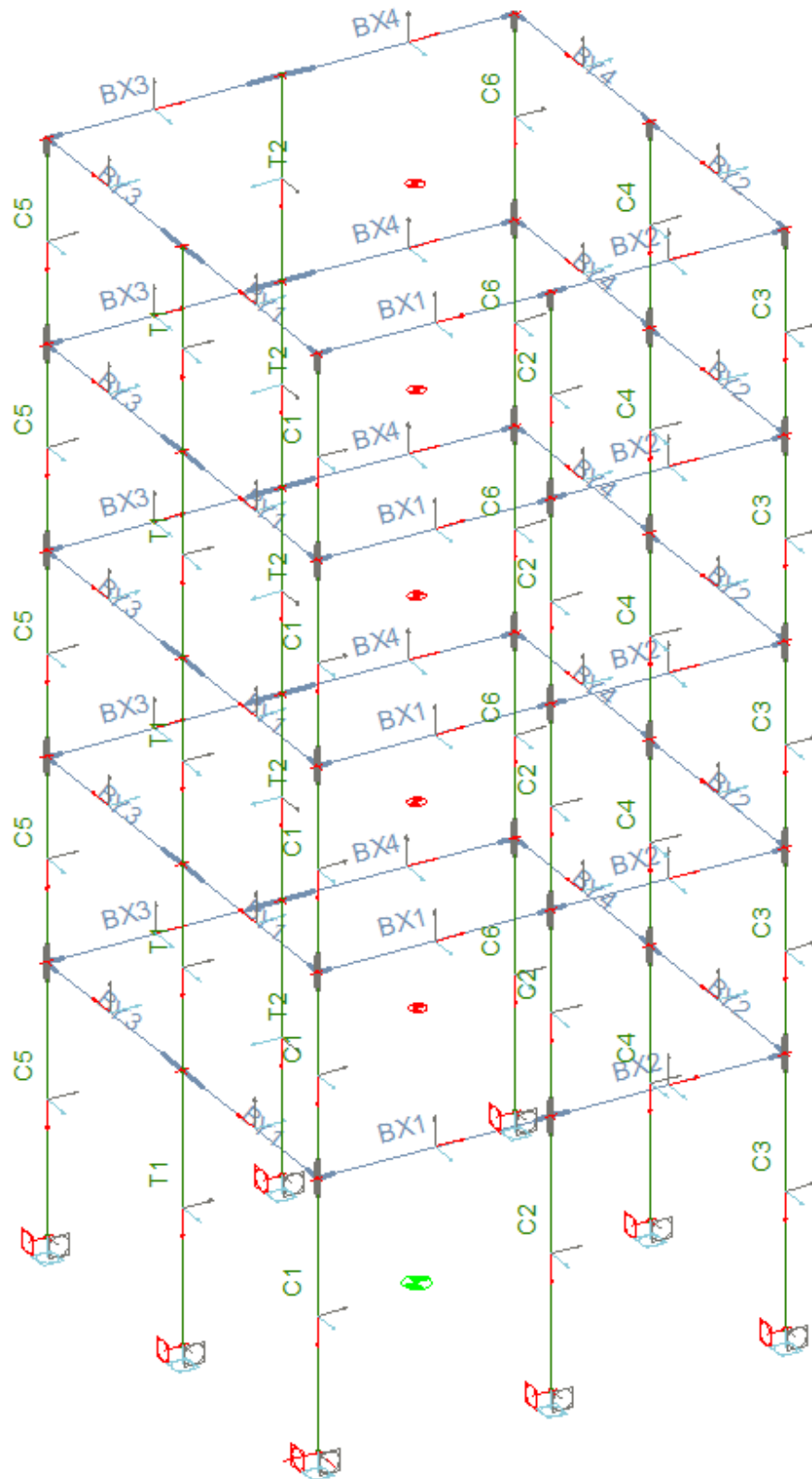
- Ύψη ορόφων: 1^{ος}: 4m, 2^{ος} – 5^{ος}: 3m
- Περιμετρικά το κτίριο έχει μπατική τοιχοποιία (3.6 kN/m^2).
- Στο δώμα σε όλη την περίμετρο υπάρχει στηθαίο από μπατική τοιχοποιία ύψους 1m.
- Τα δάπεδα έχουν επίστρωση (επικάλυψη) βάρους 1.3 kN/m^2 .
- Το ωφέλιμο φορτίο (κινητό φορτίο) ελήφθη ίσο με $Q=2 \text{ kN/m}^2$.
- Δεδομένα Φάσματος σχεδιασμού: ΕΑΚ/2000



- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: I
- Κατηγορία εδάφους: A
- $\theta=1$
- $q=3.5$
- Κατηγορία σπουδαιότητας: Σ_2
- Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης: $\zeta=5\%$



Τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα



Διακριτοποίηση φορέα. Αρίθμηση και τοπικοί άξονες στοιχείων

3.2 Παραδοχές

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται:

- Οι παραδοχές με τις οποίες έγινε η προσομοίωση του φορέα στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς (Αναλύσεις ΟΑΣΠ – Πρότυπα Αριθμητικά Παραδείγματα: Αβραμίδης Ι., 2005).
- Οι προκαθορισμένες (default) παραδοχές που γίνονται αυτόματα από το πρόγραμμα για τη μόρφωση του υπολογιστικού προσομοιώματος.

3.2.1 Παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ)

(α) Παραδοχές για την προσομοίωση του φορέα

(α1) Διαφραγματική λειτουργία πλακών: Θεώρηση ατενούς διαφράγματος στις στάθμες που ορίζονται στο σχήμα 1.

(α2) Συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκών: $b_{ef}=b_w+(1/5)l_o$, $l_o=0.85l$.

Όπου l =το θεωρητικό – καθαρό – άνοιγμα της δοκού και b_w =το πλάτος της δοκού.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα συνεργαζόμενα πλάτη όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης:

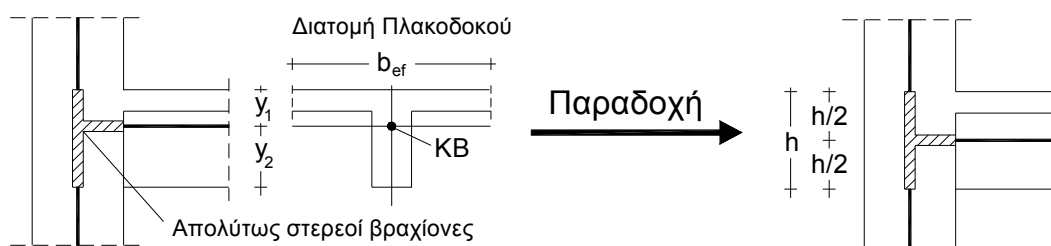
ΔΟΚΟΣ	BX1	BX2	BX3	BX4	BY1	BY2	BY3	BY4
Συνεργαζόμενο Πλάτος	0.774	0.774	0.7	0.7	0.7	0.774	0.7	0.774

(α3) Οι δυσκαμψίες και οι δυστρεπίες των διατομών ελήφθησαν μειωμένες σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (§3.2.3[2]).

(α4) Ελήφθησαν υπόψη καμπτικές, διατμητικές, αξονικές και στρεπτικές παραμορφώσεις.

(α5) Κατά τη μόρφωση του μοντέλου αγνοήθηκαν οι εκκεντρότητες των αξόνων των κατακορύφων στοιχείων ως προς τους άξονες των δοκών, αλλά κατά τα λοιπά θεωρήθηκαν στους κόμβους απολύτως στερεά τμήματα (βλ. σχήμα 1).

(α6) Δεν ελήφθησαν υπόψη ανοίγματα στις τοιχοποιίες.

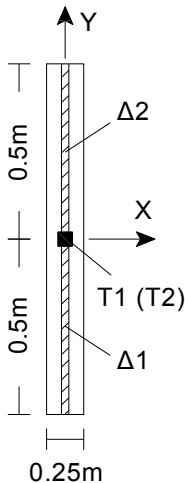


Σχήμα 1. Λεπτομέρεια προσομοίωσης των πλαισιακών κόμβων

(β) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των τοιχωμάτων T1 και T2

Η προσομοίωση των δύο μικρών τοιχωμάτων T1 και T2 έγινε σύμφωνα με την λογική του "ισοδύναμου πλαισίου". (βλ. π.χ.: (1) Αβραμίδης Ι.Ε., "Κριτική του μοντέλου του ισοδύναμου πλαισίου για τοιχεία και πυρήνες πολυώροφων κτιρίων Ο/Σ", ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, Επιστημ. Περιοχή Α, τόμος 13/3, 1993, και (2) Αβραμίδης, Ι.Ε., Τριαματάκη, Μ. και Ξενίδης, Χ., "Συγκριτική αξιολόγηση προσομοιωμάτων για πυρήνες κτιρίων από Ο/Σ υπό στατική και δυναμική φόρτιση", ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, Σειρά Ι, τόμος 18/3, 1998). Σύμφωνα με αυτήν, το τοίχωμα αντικαθίσταται από έναν ισοδύναμο στύλο στο κέντρο βάρους της διατομής του. Η σύνδεση των συντρεχουσών στο τοίχωμα δοκών στις στάθμες των ορόφων με τον ισοδύναμο αυτόν στύλο γίνεται μέσω απολύτως στε-

ρεών βραχιόνων (δοκοί Δ1, Δ2), που εκτείνονται από τον ισοδύναμο στύλο μέχρι τις παρειές του τοιχώματος, όπου συντρέχουν οι δοκοί. Η σύνδεση των βραχιόνων αυτών με τον ισοδύναμο στύλο και με τα άκρα των συντρεχουσών δοκών είναι μονολιθική, έτσι ώστε να μεταφέρονται ροπές, τέμνουσες και αξονικές δυνάμεις. Οι γεωμετρικές ιδιότητες των διατομών των ισοδυνάμων στύλων είναι οι εξής:



T1 (T2)					
F	I _{xx}	I _{yy}	J _T	F' _x	F' _y
0.25•1.0	(0.25•1.0 ³)/12	(0.25 ³ •1.0)/12	α•0.25 ³ •1.0	(5/6)•F	(5/6)•F

- Οι ιδιότητες του ισοδύναμου στύλου μειώθηκαν σύμφωνα με τον ΕΑΚ (§3.2.3[2]).
- Στις στάθμες των ορόφων υπάρχουν απολύτως στερεοί δοκοί (Δοκοί Δ1, Δ2). Για την προσομοίωση των δοκών αυτών χρησιμοποιήθηκαν απολύτως στερεά τμήματα στα άκρα των γραμμικών στοιχείων, με μήκη ίσα με 0.5 m.
- Ο συντελεστής α που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της δυστρεψιάς J_T προκύπτει από την παρακάτω σχέση και είναι εδώ ίσος με 0.281.

$$\alpha = \frac{1}{3} \cdot \left[1 - \left(\frac{192 \cdot t}{\pi^5 \cdot h} \right) \cdot \tanh \left(\frac{\pi \cdot h}{2 \cdot t} \right) \right] \quad \text{(Η σχέση αυτή ισχύει για ορθογωνικές διατομές)}$$

Σχήμα 2. Πλαισιακή προσομοίωση του τοιχώματος T1

(γ) Παραδοχές για την προσομοίωση των κατακόρυφων φορτίων

- (γ1) Κατανομή φορτίων πλακών με τον κανόνα 45° ή 60° σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ/2000 (και χωρίς ομοιομορφοποίηση).
- (γ2) Το ίδιο βάρος των υποστυλωμάτων ελήφθη υπόψη ως κατανεμημένο ομοιόμορφο αξονικό φορτίο.
- (γ3) Ίδια βάρη δοκών και τοιχοποιιών επί αυτών, ελήφθησαν υπόψη ως ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία.

(δ) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των μαζών

- (δ1) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου θεωρήθηκε συγκεντρωμένη στο γεωμετρικό κέντρο βάρους M του αντίστοιχου ατενούς διαφράγματος.
- (δ2) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου συντίθεται από:
 - τη μάζα των πλακών και των δοκών του ορόφου συμπεριλαμβανομένων και των επιστρώσεων,
 - τη μάζα των τοιχοποιιών οι οποίες εδράζονται επί αυτών (η μάζα του στηθαίου προστίθεται στη μάζα του τελευταίου διαφράγματος),
 - τη μάζα των υποκείμενων και των υπερκείμενων υποστυλωμάτων μέχρι το μέσον του ύψους τους και,
 - τη μάζα που αντιστοιχεί στο 30% του ωφέλιμου φορτίου
- (δ3) Οι μάζες της πλάκας δαπέδου του ισογείου και της τοιχοποιίας του ισογείου δεν συμπεριλαμβάνονται στην ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής.

3.2.2 Προκαθορισμένες (default) παραδοχές ΡΑΦ

(α) Παραδοχές για την προσομοίωση του φορέα

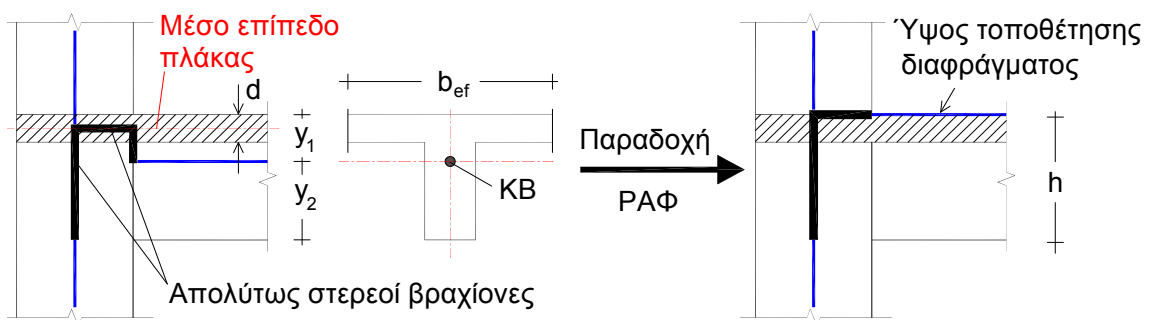
- (α1) Ισχύει η παραδοχή της ανάλυσης αναφοράς (α1) για την διαφραγματική λειτουργία των πλάκων.
- (α2) Για τον υπολογισμό των συνεργαζόμενων πλατών των δοκών χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$\text{Διατομές Τ: } b_{\text{eff}} = b_0 + \frac{1}{5} \cdot (0.7 \cdot L)$$

$$\text{Διατομές Γ: } b_{\text{eff}} = b_0 + \frac{1}{10} \cdot (0.7 \cdot L)$$

Όπου L είναι το μήκος του καθαρού ανοίγματος της δοκού (χωρίς τους στερεούς βραχίονες).

- (α3) Ισχύει η παραδοχή (α3) της ανάλυσης αναφοράς για την μείωση των δυσκαμψιών και των δυστρεψιών σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (§3.2.3[2]).
- (α4) Ισχύει η παραδοχή (α4) της ανάλυσης αναφοράς για την θεώρηση των καμπτικών, διατμητικών, αξονικών και στρεπτικών παραμορφώσεων.
- (α5) Ισχύει η παραδοχή (α5) της ανάλυσης αναφοράς για την αγνόηση των εκκεντροτήτων των αξόνων των κατακόρυφων στοιχείων ως προς τους άξονες των δοκών, και για την θεώρηση απολύτως στερεών βραχιόνων στα άκρα των δομικών στοιχείων με τις εξής διαφοροποιήσεις:
- Το ύψος τοποθέτησης των διαφραγμάτων δεν συμπίπτει με το ύψος τοποθέτησης που παρουσιάζεται στο σχήμα σχήμα 1. Το ύψος στο οποίο τοποθετούνται από το ΡΑΦ τα διαφράγματα παρουσιάζεται στο σχήμα 3 (βλ. και εγχειρίδιο τεκμηρίωσης ΡΑΦ, §8.2.3):

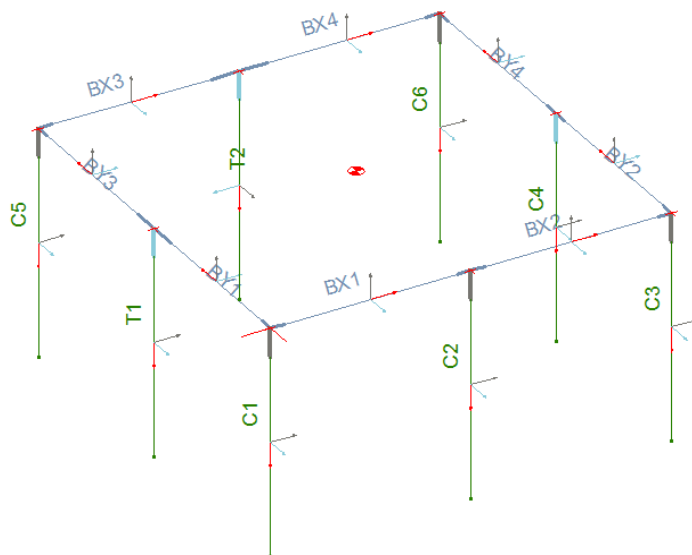


Σχήμα 3. Παραδοχή του ΡΑΦ για το ύψος τοποθέτησης των διαφραγμάτων.

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα υποστυλώματα δεν έχουν στερεούς βραχίονες στους κόμβους πέρατος τους, όπως προκύπτει από την προσομοίωση με τις παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς, και επιπλέον οι στερεοί βραχίονες των κόμβων αρχής τους έχουν διπλάσιο μήκος.

- Στα πλαίσια της προσομοίωσης με τις προκαθορισμένες παραδοχές του ΡΑΦ, τα υποστυλώματα C2, C4 και τα τοιχώματα T1, T2 προσομοιώνονται με εφαρμογή της ενσωματωμένης δυνατότητας του προγράμματος για την θεώρηση «διπλών» αξονικών στερεών βραχιόνων (βλ. εγχειρίδιο θεωρητικής τεκμηρίωσης ΡΑΦ). Έτσι επειδή τα συγκεκριμένα στοιχεία συντρέχουν σε κόμβους στους οποίους υπάρχουν

δοκοί μόνον κατά την διεύθυνση του ενός από τους δύο άξονες της διατομής τους, το πρόγραμμα τοποθετεί αυτοματα αξονικούς στερεούς βραχίονες οι οποίοι ενεργοποιούνται μόνον κατά την κάμψη εντός του τοπικού επιπέδου στο οποίο υπάρχουν οι δοκοί, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (οι συγκεκριμένοι βραχίονες έχουν γαλάζιο χρώμα):



Σχήμα 4. Αυτόματη τοποθέτηση «διπλών» αξονικών στερεών βραχιόνων στα υποστυλώματα C2, C4 και στα τοίχωματα T1, T2.

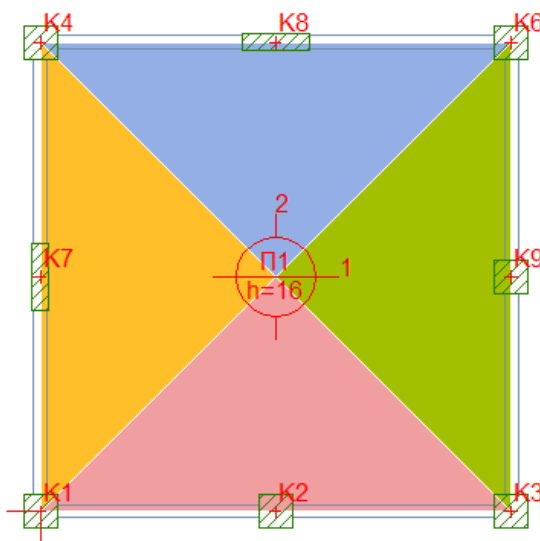
(α6) Δεν ελήφθησαν υπόψη ανοίγματα στις τοιχοποιίες.

(β) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των τοιχωμάτων T1 και T2

Η αυτόματη προσομοίωση των τοιχωμάτων από το ΡΑΦ γίνεται με βάση τις ίδιες ακριβώς παραδοχές με τις οποίες γίνεται η προσομοίωση τους κατά την ανάλυση αναφοράς.

(γ) Παραδοχές για την προσομοίωση των κατακόρυφων φορτίων

Ισχύουν οι ίδιες παραδοχές με αυτές που γίνονται και για την ανάλυση αναφοράς (βλ. σχήμα 5):



Σχήμα 5. Αυτόματη κατανομή των φορτίων των πλακών στις δοκούς με τον κανόνα 45° ή 60° σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ

(δ) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των μαζών

- (δ1) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου θεωρήθηκε συγκεντρωμένη στο κέντρο μάζας το οποίο υπολογίζεται με βάση τη διάταξη όλων των φορτίων του ορόφου, και όχι στο γεωμετρικό κέντρο μάζας.
- (δ2) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου συντίθεται όπως ακριβώς στην περίπτωση της ανάλυσης αναφοράς.
- (δ3) Οι μάζες της πλάκας δαπέδου του ισογείου και της τοιχοποιίας του ισογείου δεν συμπεριλαμβάνονται στην ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής.

Στον παρακάτω πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μάζες και τα σημεία στα οποία τοποθετούνται, τόσο στα πλαίσια της μόρφωσης του προσομοιώματος αναφοράς όσο στα πλαίσια της προσομοίωσης με τις προκαθορισμένες παραδοχές του ΡΑΦ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Θέσεις και τιμές των μαζών σύμφωνα με την ανάλυση αναφοράς και το ΡΑΦ

	X_m		Y_m		m	
	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1^{ος} όροφος	3.5	3.49	3.5	3.51	71.15	71.27
2^{ος} όροφος	3.5	3.5	3.5	3.5	66.64	67.34
3^{ος} όροφος	3.5	3.5	3.5	3.5	66.64	67.34
4^{ος} όροφος	3.5	3.5	3.5	3.5	66.64	67.34
5^{ος} όροφος	3.5	3.5	3.5	3.5	49.70	48.76

Συνοψίζοντας την σύγκριση των μεταξύ των βασικών παραδοχών των αναλύσεων αναφοράς και των βασικών παραδοχών του ΡΑΦ μπορεί να συνταχθεί ο παρακάτω πίνακας:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Συγκεντρωτική παρουσίαση των κοινών και των μη κοινών παραδοχών των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ) και του ΡΑΦ.

Παραδοχή		ΟΑΣΠ / ΡΑΦ
(α1)	Διαφραγματική λειτουργία	Κοινή
(α2)	Συνεργαζόμενο πλάτος	Διαφορετική
(α3)	Απομείωση δυσκαμψιών	Κοινή
(α4)	Θεώρηση καμπτικών, διατμητικών, αξονικών, στρεπτικών παραμορφώ-	Κοινή
(α5)	Προσομοίωση στερεών βραχιόνων / θέση τοποθέτησης διαφραγμάτων	Διαφορετική
(α6)	Θεώρηση ανοιγμάτων στις τοιχοποιίες	Κοινή
(β)	Ισοδύναμη πλαισιακή προσομοίωση τοιχώματος	Κοινή
(γ1)	Κατανομή φορτίων πλακών	Κοινή
(γ2)	Προσομοίωση ίδιου βάρους υποστυλωμάτων	Κοινή
(γ3)	Προσομοίωση ιδίων βαρών δοκών και τοιχοποιιών	Κοινή
(δ1)	Υπολογισμός θέσης κέντρου βάρους ορόφου	Διαφορετική
(δ2)	Υπολογισμός μάζας ορόφου	Κοινή
(δ3)	Θεώρηση μαζών πλάκας δαπέδου ισογείου και τοιχοποιίας ισογείου	Κοινή

3.3 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης

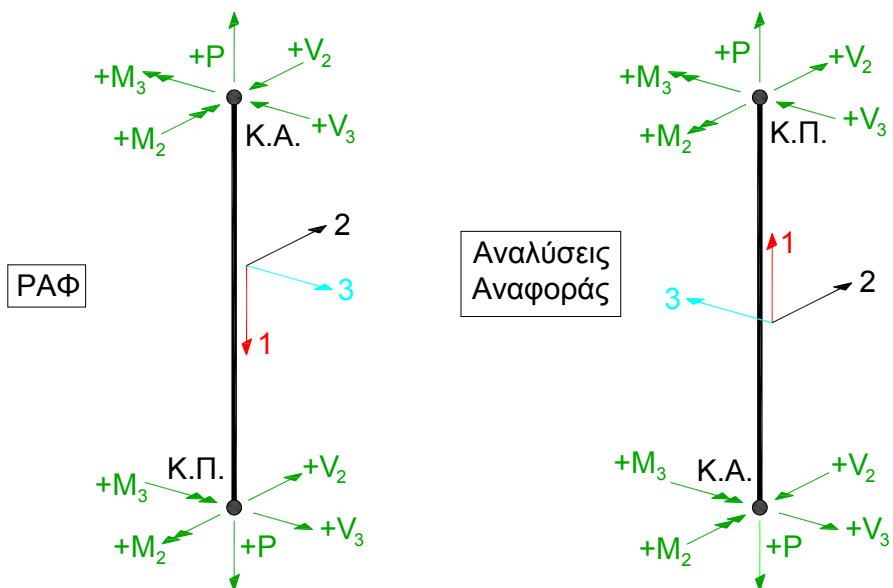
Στις ακόλουθες παραγράφους θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις αναλύσεις αναφοράς του ΟΑΣΠ (παρουσιάζονται στο βιβλίο των Πρότυπων Αριθμητικών Παραδειγμάτων, Αβραμίδης Ι., 2005) με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις με το ΡΑΦ. Για να είναι αντικειμενικές οι συγκρίσεις, προσαρμόστηκαν οι παραδοχές των αναλύσεων που έγιναν με το ΡΑΦ, με τις παραδοχές των Πρότυπων Αριθμητικών Παραδειγμάτων (αναλύσεις αναφοράς). Θα πρέπει να τονιστεί ότι λέγοντας προσαρμογή των παραδοχών, εννοείται ειδικά η προσαρμογή των παραδοχών που παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Έτσι έγιναν οι εξής επεμβάσεις στο αρχικό (και αυτόματα μορφωμένο από το ΡΑΦ) προσομοίωμα με τη βοήθεια του γραφικού περιβάλλοντος του προγράμματος:

- Προσαρμόστηκαν τα συνεργαζόμενα πλάτη των δοκών.
- Προσαρμόστηκαν τα μήκη των στερεών βραχιόνων των στοιχείων.
- Εισήχθησαν οι τιμές των μαζών και των μαζικών ροπών αδράνειας που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις αναφοράς.

Παρά τις παραπάνω προσαρμογές δεν είναι δυνατή η πλήρης (100%) ταύτιση των παραδοχών επίλυσης, διότι δεν υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής των συντεταγμένων των κέντρων μάζας που υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Θα πρέπει επίσης να καταστεί σαφές ότι δεν μπορούν να αποκλειστούν κάποιοι παράγοντες απόκλισης των αποτελεσμάτων οι οποίοι πηγάζουν από τις διαφορετικές τεχνολογίες των μεταγλωτιστών με τους οποίους μεταγλωτίστηκε το ΡΑΦ και το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς του ΟΑΣΠ. Αποκλίσεις στα αποτελέσματα δημιουργούνται επίσης και από τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των τεχνικών επίλυσης του ΡΑΦ και του προγράμματος με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς (π.χ. αλγόριθμοι σχηματισμού μητρώων δυσκαμψίας, υπολογισμού ιδιοπεριόδων κ.τ.λ.). Επομένως είναι πρακτικά αδύνατη η πλήρης ταύτιση των συγκρινόμενων αποτελεσμάτων. Σε κάθε περίπτωση πάντως παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τρόπο που ο χρήστης μπορεί να αξιολογήσει με την κρίση του την επάρκεια και την αξιοπιστία του ΡΑΦ, ενώ όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο παρατίθενται και βοηθητικά σχόλια.

3.3.1 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης λόγω στατικών φορτίων $G+\psi_2Q$

Στον παρακάτω πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών έντασης δομικών στοιχείων του κτιρίου στο ισόγειο. Λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού του τοπικού συστήματος αναφοράς των στοιχείων που χρησιμοποιείται από το ΡΑΦ και από το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς, στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών έντασης προσαρμοσμένες με βάση το παρακάτω σχήμα 6 έτσι ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμες.



Σχήμα 6. Ορισμός των συμβατικά θετικών τιμών των μεγεθών έντασης των κατακορύφων στοιχείων από το ΡΑΦ και από το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Εντασιακά μεγέθη δομικών στοιχείων του κτιρίου στο ισόγειο

Στοιχείο/ Θέση		P		M2		M3	
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
C1	κάτω	-329.54	-321.67	-4.06	-4.3	-4.26	-4.47
	άνω	-306.10	-297.70	7.51	8.05	8.26	8.57
C3	κάτω	-350.73	-333.13	-4.39	-4.53	4.39	4.53
	άνω	-327.29	-309.70	8.13	8.50	-8.13	-8.50
T1	κάτω	-514.52	-493.53	0.00	≈0	-0.02	≈0
	άνω	-489.52	-468.53	-0.03	-0.10	-0.02	≈0
BX1	αρχή	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.5	-13.09
	μέσο	0.00	0.00	0.00	0.00	8.31	8.77
	τέλος	0.00	0.00	0.00	0.00	-15.63	-16.68
BY3	αρχή	0.00	0.00	0.00	0.00	-10.3	-11.67
	μέσο	0.00	0.00	0.00	0.00	6.61	7.27
	τέλος	0.00	0.00	0.00	0.00	-11.18	-12.14
Στοιχείο/ Θέση		T		V2		V3	
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
C1	κάτω	0.00	0.00	-3.34	-3.47	-3.09	-3.29
	άνω	0.00	0.00	-3.34	-3.47	-3.09	-3.29
C3	κάτω	0.00	0.00	3.34	3.48	-3.34	-3.48
	άνω	0.00	0.00	3.34	3.48	-3.34	-3.48
T1	κάτω	0.00	0.00	0.008	0.01	0.008	≈0
	άνω	0.00	0.00	0.008	0.01	0.008	≈0
BX1	αρχή	0.03	0.03	-24.49	-25.92	0.00	0.00
	μέσο	0.03	0.03	-1.1	-1.02	0.00	0.00
	τέλος	0.03	0.03	35.17	37.16	0.00	0.00
BY3	αρχή	0.02	0.03	-28.52	-31.45	0.00	0.00
	μέσο	0.02	0.03	2.12	2.02	0.00	0.00
	τέλος	0.02	0.03	21.94	24.35	0.00	0.00

Απο τον παραπάνω πίνακα εξάγεται το γενικό συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα του ΡΑΦ συγκλίνουν σε πάρα πολύ ικανοποιητικό βαθμό με τα αποτελέσματα αναφοράς (ΟΑΣΠ). Ωστόσο λίγο μεγαλύτερη (αλλά σε καμμία περίπτωση μη αποδεκτή) διαφοροποίηση παρουσιάζουν οι τιμές των αξονικών δυνάμεων των κατακορύφων στοιχείων C1, C3 και T1. Επίσης λίγο μεγαλύτερη διαφοροποίηση εμφανίζουν και οι τιμές των ροπών M3 και των τεμνουσών V2 των οριζοντίων στοιχείων (δοκών) BX1 και BY3.

Η εμφάνιση των διαφοροποιήσεων αυτών (δηλαδή των αξονικών δυνάμεων των κατακορύφων στοιχείων και των εντασιακών μεγεθών των δοκών) μπορεί να αιτιολογηθεί με βάση το γεγονός ότι δεν επιχειρήθηκε η 100% ταύτιση της μορφολογίας των τραπεζοειδών και τριγωνικών φορτίων των δοκών που προέρχονται από τις πλάκες (παρά το γεγονός ότι η κατανομή των κατακορύφων φορτίων των πλακών γίνεται από το ΡΑΦ με τις ίδιες παραδοχές όπως και οι αναλύσεις αναφοράς (Παραδοχές (γ)), δεν είναι δυνατή η απόλυση ταύτιση των τιμών και της μορφής των τραπεζοειδών φορτίων). Οι τιμές των εντασιακών μεγεθών των δοκών είναι αρκετά πιο ευαίσθητες στις μεταβολές της μορφής και των τιμών των τραπεζοειδών και τριγωνικών φορτίων που προέρχονται από τις πλάκες.

Τέλος, πέραν της αιτιολόγησης των αποκλίσεων θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι οι σχετικά μικρές τιμές τους είναι αδύνατο να οδηγήσουν σε ανασφαλή και αναξιόπιστα αποτελέσματα ελέγχων αντοχής.

3.3.2 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου (ΔΦΜ) (Α) Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης

Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών των 9 πρώτων ιδιοπεριόδων ταλάντωσης του κτιρίου, και στον πίνακα 5 τα αθροιστικά ποσοστά συμμετοχής των μαζών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Ιδιοπερίοδοι (με τη μάζα στα μετατοπισμένα ΚΜ)

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος (sec)							
	Θέση 1		Θέση 2		Θέση 3		Θέση 4	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.555	0.552	0.569	0.565	0.555	0.552	0.569	0.565
2	0.547	0.546	0.548	0.546	0.547	0.546	0.548	0.546
3	0.323	0.285	0.315	0.279	0.323	0.285	0.315	0.279
4	0.175	0.174	0.180	0.179	0.175	0.174	0.180	0.179
5	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172
6	0.102	0.094	0.100	0.097	0.102	0.094	0.100	0.097
7	0.095	0.092	0.098	0.092	0.095	0.092	0.098	0.092
8	0.092	0.089	0.092	0.087	0.092	0.089	0.092	0.087
9	0.061	0.061	0.064	0.063	0.061	0.061	0.064	0.063

Οι αποκλίσεις του παραπάνω πίνακα είναι γενικώς πολύ μικρές και αποδεκτές. Ακόμα και αυτές όμως μπορούν να αποδοθούν σε αριθμητικούς παράγοντες που οφείλονται κατά κανόνα στον διαφορετικό αλγόριθμο υπολογισμού των ιδιοπεριόδων, αλλά και στην διαφορετική τεχνολογία προσομοίωσης των απολύτως στερεών βραχιόνων η οποία καθίσταται περισσότερο κρίσιμη όταν στον φορέα υπάρχουν βραχίονες μεγάλου μήκους (όπως οι βραχίονες των δο-

κών που συντρέχουν στα τοιχώματα T1 και T2), σε συνδυασμό με την υψηλή συμμετοχή στρεπτικών επιρροών στην ιδιομορφή (βλ. π.χ. Ιδιομορφή Νο3).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Αθροιστικά ποσοστά συμμετοχής των μαζών (%)

Ιδιομορφή	Θέση 1				Θέση 2			
	Διέγερση x		Διέγερση y		Διέγερση x		Διέγερση y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	73.25	73.11	10.48	11.17	22.84	23.44	59.04	59.63
2	83.91	84.40	84.78	84.94	84.07	84.48	82.77	83.65
3	84.95	85.06	84.97	85.07	84.95	85.06	84.92	85.05
4	93.65	93.64	86.71	86.89	87.97	88.12	92.12	92.22
5	95.44	95.51	95.58	95.61	95.47	95.53	95.28	95.40
6	95.60	97.92	95.63	96.32	95.52	96.51	95.37	97.49
7	97.95	98.61	96.28	98.68	96.55	98.60	97.59	98.46
8	98.62	98.65	98.68	98.69	98.64	98.65	98.57	98.61
9	99.42	99.44	98.93	98.95	98.97	99.00	99.24	99.31

Ιδιομορφή	Θέση 3				Θέση 4			
	Διέγερση x		Διέγερση y		Διέγερση x		Διέγερση y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	10.48	11.17	73.25	73.11	59.04	59.63	22.84	23.44
2	84.78	84.94	83.91	84.40	82.77	83.65	84.07	84.48
3	84.97	85.07	84.95	85.06	84.92	85.05	84.95	85.06
4	86.71	86.89	93.65	93.64	92.12	92.22	87.97	88.12
5	95.58	95.61	95.44	95.51	95.28	95.40	95.47	95.53
6	95.63	96.32	95.60	97.92	95.37	97.49	95.52	96.51
7	96.28	98.68	97.95	98.61	97.59	98.46	96.55	98.60
8	98.68	98.69	98.62	98.65	98.57	98.61	98.64	98.65
9	98.93	98.95	99.42	99.44	99.24	99.31	98.97	99.00

Οι αποκλίσεις των τιμών του παραπάνω πίνακα είναι γενικώς πολύ μικρές.

(B) Μεγέθη έντασης

Στους παρακάτω πίνακες δα και δβ παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ (δηλαδή των μεγεθών έντασης με τα οποία εκτελείται ο έλεγχος σε διαξονική κάμψη με ορθή δύναμη) λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, για το υποστύλωμα C1 και το τοίχωμα T1 στο ισόγειο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6α. Ακραίες τιμές των μεγεθών έντασης του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο

	Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
C1	1	κάτω	197.61	200.39	80.56	80.81	89.49	88.64
		άνω	197.61	200.39	36.21	36.37	33.88	33.59
	2	κάτω	189.24	193.95	67.49	69.23	90.32	89.37
		άνω	189.24	193.95	30.06	30.90	34.07	33.74
	3	κάτω	196.54	199.62	73.00	74.41	83.93	83.48
		άνω	196.54	199.62	32.60	33.32	31.54	31.42
	4	κάτω	190.95	195.23	75.73	76.28	94.35	93.37
		άνω	190.95	195.23	33.97	34.26	35.81	35.45

Οι αποκλίσεις που εμφανίζονται στον παραπάνω πίνακα είναι όλες μικρότερες του $\pm 2.5\%$.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6β. Ακραίες τιμές των μεγεθών έντασης του τοιχώματος T1 στο ισόγειο

	Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
T1	1	κάτω	26.57	24.03	10.56	10.62	191.57	192.18
		άνω	26.57	24.03	0.83	0.83	79.00	79.46
	2	κάτω	26.64	24.06	10.58	10.62	160.40	164.57
		άνω	26.64	24.06	0.84	0.82	65.21	67.19
	3	κάτω	27.01	24.32	10.61	10.63	173.66	177.03
		άνω	27.01	24.32	0.84	0.83	71.12	72.83
	4	κάτω	25.95	23.60	10.43	10.53	179.95	181.31
		άνω	25.95	23.60	0.82	0.82	73.79	74.54

(Θα πρέπει να διευκρινηστεί ότι πέραν του διαφορετικού ορισμού των συμβατικά θετικών τιμών των μεγεθών έντασης που παρουσιάζονται στο σχήμα 6, υφίσταται και διαφορετικός προσανατολισμός των τοπικών αξόνων της διατομής του τοιχώματος T1 στο προσομοίωμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις με το ΡΑΦ και στο προσομοίωμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς. Οι αναλύσεις με το ΡΑΦ πραγματοποιήθηκαν με τη θεώρηση ότι ο κύριος άξονας του τοιχώματος T1 είναι ο τοπικός άξονας 3 ενώ οι αναλύσεις αναφοράς με τη θεώρηση ότι ο άξονας αυτός είναι ο τοπικός άξονας 2. Επομένως οι ροπές M3 που εμφανίζονται στην οθόνη του ΡΑΦ για το τοίχωμα T1 θα πρέπει να συγκριθούν με τις ροπές M2 των πρότυπων αναλύσεων. Η προσαρμογή αυτή έγινε στον παραπάνω πίνακα).

Από τον πίνακα 6β εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Λίγο μεγαλύτερες από το μέσο όρο – των υπολοίπων μεγεθών – αποκλίσεις των αξονικών δυνάμεων P που όμως οφείλονται στην διαφορετική τεχνολογία προσομοίωσης των στερεών βραχιόνων από το ΡΑΦ, η οποία έχει πολύ σημαντικότερη επιρροή στα τοιχώματα όπου το μήκος των βραχιόνων των εκατέρωθεν δοκών BY1, BY3 (ίσο με 0.5m) είναι μεγαλύτερο από αυτό των δοκών που συντρέχουν στα υποστυλώματα.
- Πολύ κανονποιητική σύγκλιση των τιμών των ροπών κάμψης M₂ και M₃.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6γ. Ακραίες τιμές των μεγεθών έντασης της δοκού ΒΧ1 στον πρώτο όροφο

	Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	V2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
ΒΧ1	1	αρχή	45.40	44.98	71.40	70.73
		μέσο	45.40	44.98	3.29	3.26
		τέλος	45.40	44.98	64.81	64.21
	2	αρχή	45.75	45.29	71.96	71.24
		μέσο	45.75	45.29	3.34	3.30
		τέλος	45.75	45.29	65.30	64.64
	3	αρχή	42.54	42.33	66.90	66.57
		μέσο	42.54	42.33	3.10	3.08
		τέλος	42.54	42.33	60.71	60.41
	4	αρχή	47.82	47.34	75.21	74.45
		μέσο	47.82	47.34	3.47	3.44
		τέλος	47.82	47.34	68.27	67.58

Οι αποκλίσεις που εμφανίζονται στον παραπάνω πίνακα είναι όλες μικρότερες του ±1.0%.

(Με βάση τις πολύ μικρές αυτές αποκλίσεις προκύπτει μία ακόμα τεκμηρίωση του γεγονότος ότι οι αποκλίσεις των μεγεθών έντασης της δοκού ΒΧ1 λόγω κατακορύφων φορτίων (πίνακας 3) οφείλονται στην διαφορετική μορφή των φορτίων που προέρχονται από τις πλάκες).

Στον πίνακα 7 παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων και ταυτόχρονων τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο, λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου. Οι συγκρίσεις αφορούν την ανάλυση με τις μάζες των ορόφων τοποθετημένες στη θέση 1 που ορίζει ο ΕΑΚ/2000.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Ακραίες και ταυτόχρονες τιμές των μεγεθών έντασης του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο

C1 κάτω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
exP=	197.61	200.39	M _{2,P} =	58.94	59.81	M _{3,P} =	51.84	51.47
P _{,M2} =	144.59	148.32	exM ₂ =	80.55	80.81	M _{3,M2} =	-8.61	-7.23
P _{,M3} =	114.46	116.37	M _{2,M3} =	-7.75	-6.59	exM ₃ =	89.49	88.64

C1 άνω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
exP=	197.61	200.4	M _{2,P} =	-25.91	-26.39	M _{3,P} =	-18.16	-18.06
P _{,M2} =	-141.45	-145.37	exM ₂ =	36.19	36.37	M _{3,M2} =	-4.97	-4.38
P _{,M3} =	-105.90	-107.71	M _{2,M3} =	-5.31	-4.74	exM ₃ =	33.88	33.59

Οι αποκλίσεις του παραπάνω πίνακα είναι γενικά μικρές. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η υπολογιστική διαδικασία προσδιορισμού των πιθανών ταυτόχρονων τιμών είναι μία σύνθετη διαδικασία. Τα πιθανώς ταυτόχρονα μεγέθη δεν είναι πρωτογενή εξαγόμενα των αναλύσεων αλλά προκύπτουν από σύνθετη επεξεργασία των ιδιομορφικών μεγεθών (βλ. παρ. 9.2.3. εγχειριδίου τεκμηρίωσης ΡΑΦ). Συνεπώς είναι δυνατό οι αποκλίσεις των πιθανώς ταυτόχρονων

τιμών να είναι σε μερικές περιπτώσεις μεγαλύτερες από τις αποκλίσεις των πρωτογενών εξαγομένων των αναλύσεων.

(Γ) Μεγέθη μετακίνησης

Στον παρακάτω πίνακα 8 παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών μετακίνησης exU_x , exU_y και exR_z λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, στην κορυφή του στο σημείο που βρίσκεται η κεφαλή του υποστυλώματος C1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Ακραίες τιμές των μετακινήσεων στην κορυφή του κτιρίου λόγω ταυτόχρονης δράσης του σεισμού σε δύο οριζόντιες διευθύνσεις

Θέση μάζας	$q \cdot exU_x$ (m)		$q \cdot exU_y$ (m)		$q \cdot exR_z$ (rad)	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.0358	0.0353	0.0304	0.0302	0.00136	0.00124
2	0.0361	0.0356	0.0258	0.0262	0.00218	0.00194
3	0.0338	0.0335	0.0278	0.0280	0.00136	0.00124
4	0.0375	0.0370	0.0287	0.0287	0.00218	0.00194

Παρατηρούνται γενικώς μικρές αποκλίσεις.

(Δ) Έλεγχος γωνιακής παραμόρφωσης

Τα αποτελέσματα του ελέγχου γωνιακής παραμόρφωσης που προκύπτουν από την επίλυση με το ΡΑΦ δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα με τα διαθέσιμα αποτελέσματα από τις αναλύσεις αναφοράς. Ο λόγος είναι ότι η φιλοσοφία υπολογισμού της γωνιακής παραμόρφωσης γ που ακολουθείται από το ΡΑΦ – βλ. παράγραφο 10.3 του εγχειριδίου τεκμηρίωσης – είναι διαφορετική από αυτήν που παρουσιάζεται στα πλαίσια των αποτελεσμάτων αναφοράς. Πιο συγκεκριμένα: Με βάση τη διαδικασία υπολογισμού από το ΡΑΦ υπολογίζονται σε κάθε όροφο οι τιμές του γ για κάθε κόμβο του προσομοιώματος, και τελικά εκτυπώνονται οι μέγιστες τιμές κατά X και κατά Y (X, Y οι άξονες του καθολικού συστήματος αναφοράς). Αντίθετα τα αποτελέσματα των αναλύσεων αναφοράς αναφέρονται στον υπολογισμό του συντελεστή γ σε συγκεκριμένες κομβοσειρές του κτιρίου. Έπειδή όμως οι εκτυπούμενες από το ΡΑΦ τιμές του γ – οι οποίες είναι οι μέγιστες του κάθε ορόφου – ενδέχεται να αντιστοιχούν σε κομβοσειρές διαφορετικές από αυτές που έχουν επιλεγεί για εμφάνιση από τα αποτελέσματα αναφοράς, δεν είναι δυνατό να γίνει άμεση σύγκριση.

Ωστόσο, στον πίνακα που ακολουθεί γίνεται μία συγκριτική παράθεση των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ με τα αποτελέσματα των αναλύσεων αναφοράς απλά και μόνον για να δοθεί μία εικόνα της σύμπτωσης της τάξης μεγέθους των αποτελεσμάτων των δύο αναλύσεων:

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Ενδεικτικές τιμές της γωνιακής παραμόρφωσης γ όπως προκύπτει από την επίλυση για την θέση μάζας 1.

ΟΡΟΦΟΣ	γ_x		γ_y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.00084	0.00099	0.00074	0.00093
2	0.00012	0.00142	0.00104	0.00135
3	0.00111	0.00126	0.00093	0.00119
4	0.00082	0.00093	0.00070	0.00088
5	0.00049	0.00055	0.00043	0.00052

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι:

- Οι λίγο μεγαλύτερες τιμές που προκύπτουν από το ΡΑΦ είναι προς την ασφαλή πλευρά.
- Το τελικό συμπέρασμα και επομένως τελικό ζητούμενο του ελέγχου είναι κοινό και για τις δύο αναλύσεις: ο συντελεστής γ είναι μικρότερος από την οριακά επιτρεπόμενη τιμή $\gamma_{op}=0.005$.

3.3.3 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου (ΑΦΜ)

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου, αλλά και τα αποτελέσματα του ελέγχου στρεπτικής ευαισθησίας. Η παράθεση των αποτελεσμάτων ξεκινά από την παρουσίαση των βασικών εξαγόμενων της μεθόδου και καταλήγει στην παρουσίαση των μεγεθών έντασης και μετακίνησης στα ίδια στοιχεία και κόμβους όπου έγινε η παρουσίαση για την Δυναμική Φασματική Μέθοδο.

(Α) Βασικά εξαγόμενα Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

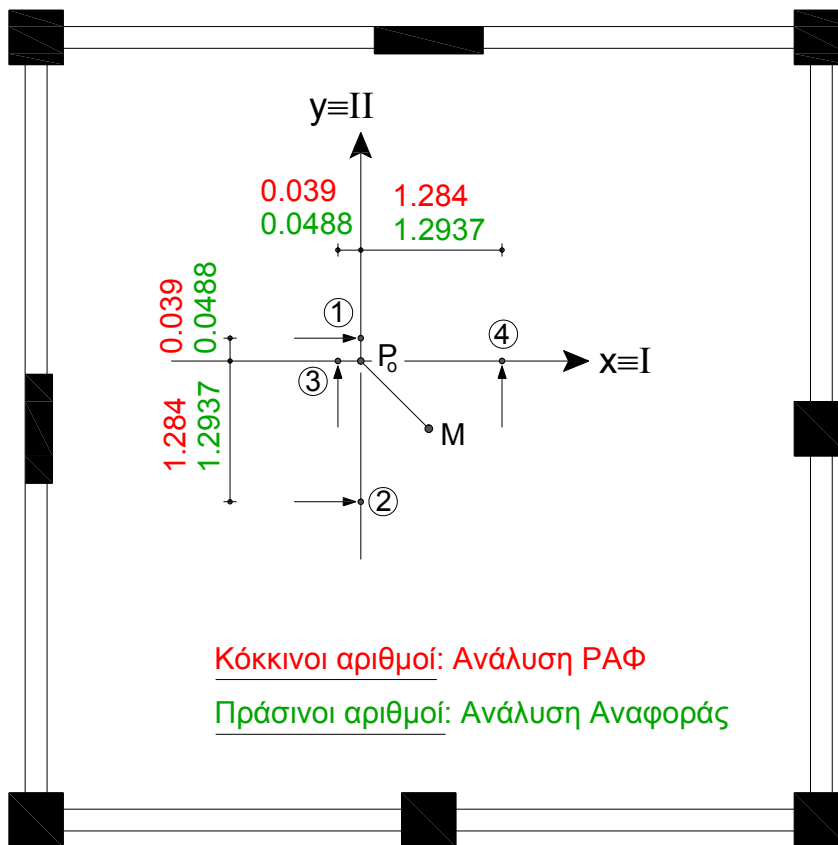
ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Βασικά εξαγόμενα Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

Συντεταγμένες πόλου στροφής			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
X_{P0}	Y_{P0}	X_{P0}	Y_{P0}
2.8775	4.1225	2.877	4.1229
Γωνία κλίσης κύριου συστήματος			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
Υπολογιστικά	$\alpha=45^\circ$	Υπολογιστικά	$\alpha=45^\circ$
Κατά ΕΑΚ/2000 (3.3.3[4])	$\alpha=0^\circ$	Κατά ΕΑΚ/2000 (3.3.3[4])	$\alpha=0^\circ$
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ			
Ακτίνες δυστρεψίας ως προς το ελαστικό κέντρο P_0			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$\rho_x=$	4.96	$\rho_x=$	4.95
$\rho_y=$	4.96	$\rho_y=$	4.95
Ακτίνα αδράνειας ορόφου			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$r_i=$	2.962	$r_i=$	2.46
Ακτίνες δυστρεψίας ως προς το κέντρο μάζας			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$\rho_{mX,i}=$	4.999	$\rho_{mX,i}=$	4.99
$\rho_{mY,i}=$	4.999	$\rho_{mY,i}=$	4.99
$\rho_{mX,i}>r_i$		$\rho_{mX,i}>r_i$	
Το κτίριο δεν είναι στρεπτικά ευαίσθητο		Το κτίριο δεν είναι στρεπτικά ευαίσθητο	
ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΕΣ			
$e_{0,Xi}=$	0.622	$e_{0,Yi}=$	0.622
$e_{0,Yi}=$	0.622	$e_{0,Xi}=$	0.622
ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ			
$\max(e_{X,i})=$	1.2937	$\max(e_{X,i})=$	1.284
$\max(e_{Y,i})=$	-0.0488	$\max(e_{Y,i})=$	-0.039
$\min(e_{X,i})=$	1.2937	$\min(e_{X,i})=$	1.284
$\min(e_{Y,i})=$	-0.0488	$\min(e_{Y,i})=$	-0.039
ΑΣΥΖΕΥΚΤΕΣ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΙ			
$T_x=$	0.5471	$T_x=$	0.546
$T_y=$	0.5471	$T_y=$	0.546

Απο τη μελέτη του παραπάνω πίνακα προκύπτει το γενικό συμπέρασμα της πολύ ικανοποιητικής σύγκλισης των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ και των αποτελεσμάτων των αναλύσεων αναφοράς.

Η απόκλιση που παρατηρείται στον υπολογισμό των εκκεντροτήτων σχεδιασμού μπορεί να αιτιολογηθεί ως εξής: Οι εκκεντρότητες σχεδιασμού $e_{X,i}$ ($e_{Y,i}$) εξαρτώνται και από τις αντίστοιχες τυχηματικές εκκεντρότητες $e_{TX,i}$ ($e_{TY,i}$) οι οποίες είναι ίσες με $0.05 \cdot L_X$ ($0.05 \cdot L_Y$). Έτσι η απόκλιση της τιμής της $e_{X,i}$ ($e_{Y,i}$) οφείλεται (εφόσον οι στατικές εκκεντρότητες $e_{0,X}$ και $e_{0,Y}$ είναι σύμφωνα με τον πίνακα 10, ίδιες και για τις δύο αναλύσεις) στην διαφορετική παραδοχή για τον υπολογισμό του μήκους L_X (L_Y). Κατά τις αναλύσεις αναφοράς, το μήκος L_X λαμβάνεται μετρούμενο από τις εξωτερικές παριές των δοκών ΒΥ1 και ΒΥ2 (βλ. σχήμα 0) και έτσι προκύπτει ίσο με

7+0.2=7.2m, και επομένως $e_{TX,i}=0.05 \cdot 7.2=0.36m$ (αντίστοιχο είναι το σκεπτικό υπολογισμού της τυχηματικής εκκεντρότητας $e_{TY,i}$). Κατά τις αναλύσεις με το ΡΑΦ το συγκεκριμένο μήκος λαμβάνεται μετρούμενο με βάση τις συντεταγμένες (τετμημένες x) των πιο ακραίων κόμβων του προσομοιώματος (κόμβοι Κ1 και Κ3, βλέπε σκαρίφημα κτιρίου) και έτσι προκύπτει ίσο με 7.0m, και κατά συνέπεια $e_{TX,i}=0.05 \cdot 7.0=0.35m$ (τα αντίστοιχα ισχύουν και για την τυχηματική εκκεντρότητα $e_{TY,i}$).



ΠΙΝΑΚΑΣ 11. Τελική κατανομή οριζοντίων δυνάμεων

ΟΡΟΦΟΣ	ΟΑΣΠ				ΡΑΦ			
1		29.98		29.98		27.03		27.03
2		44.22		44.22		44.3		44.3
3	$F_x=$	63.17	$F_y=$	63.17	$F_x=$	63.28	$F_y=$	63.28
4		82.12		82.12		82.27		82.27
5		75.38		75.38		75.51		75.51

(B) Μεγέθη έντασης

Στον πίνακα 12α παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών των μεγεθών P , M_2 , M_3 των στοιχείων C1 και T1 στο ισόγειο, λόγω των τεσσάρων μεμονωμένων στατικών επιλύσεων με τις ισοδύναμες σεισμικές οριζόντιες δυνάμεις (βλ. πίνακα 11) εφαρμοσμένες σε έκκεντρες ως προς τα ΚΜ των ορόφων θέσεις, όπως προβλέπει ο ΕΑΚ/2000 στην παράγραφο 3.3.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12α. Τιμές των μεγεθών έντασης των στοιχείων C1 και T1 στο ισόγειο λόγω των τεσσάρων μεμονωμένων επιλύσεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

	ΑΙΤΙΟ	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
C1	F_x (mine _y)	κάτω	137.1	138.5	1.6	1.5	89.9	90.1
		άνω	137.1	138.5	-0.6	-0.6	-33.4	-33.6
	F_x (maxe _y)	κάτω	137.4	138.9	-15.4	-15.2	111.7	111.6
		άνω	137.4	138.9	7.5	7.4	-42.0	-42.1
	F_y (mine _x)	κάτω	194.0	195.9	98.6	98.6	-3.4	-3.3
		άνω	194.0	195.9	-44.1	-44.2	3.0	3.0
	F_y (maxe _x)	κάτω	194.3	196.2	81.6	81.9	18.5	18.3
		άνω	194.3	196.2	-36.0	-36.2	-5.6	-5.5
	ΑΙΤΙΟ	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
T1	F_x (mine _y)	κάτω	32.13	28.92	-12.26	-12.28	5.22	4.98
		άνω	32.13	28.92	0.51	0.53	-4.44	-4.31
	F_x (maxe _y)	κάτω	32.13	28.92	-12.61	-12.62	-35.20	-34.80
		άνω	32.13	28.92	0.46	0.48	13.76	13.61
	F_y (mine _x)	κάτω	0.36	0.27	0.06	0.06	234.54	234.55
		άνω	0.36	0.27	-0.03	-0.03	-96.05	-96.34
	F_y (maxe _x)	κάτω	0.36	0.27	-0.29	-0.29	194.12	194.77
		άνω	0.36	0.27	-0.08	-0.08	-77.86	-78.41

(Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι πέραν του διαφορετικού ορισμού των συμβατικά θετικών τιμών των μεγεθών έντασης που παρουσιάζονται στο σχήμα 6, υφίσταται και διαφορετικός προσανατολισμός των τοπικών αξόνων της διατομής του τοιχώματος T1 στο προσομοίωμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις με το ΡΑΦ και στο προσομοίωμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς. Οι αναλύσεις με το ΡΑΦ πραγματοποιήθηκαν με τη θεώρηση ότι ο κύριος άξονας του τοιχώματος T1 είναι ο τοπικός άξονας 3 ενώ οι αναλύσεις αναφοράς με τη θεώρηση ότι ο άξονας αυτός είναι ο τοπικός άξονας 2. Επομένως οι ροπές M3 που εμφανίζονται στην οθόνη του ΡΑΦ για το τοιχώμα T1 θα πρέπει να συγκριθούν με τις ροπές M2 των πρότυπων αναλύσεων. Η προσαρμογή αυτή έγινε στον παραπάνω πίνακα).

Από τον πίνακα 12α καθίσταται σαφής η πολύ καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ με τα αποτελέσματα αναφοράς τους ΟΑΣΠ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12β. Τιμές των μεγεθών έντασης της δοκού ΒΧ1 στον πρώτο όροφο λόγω των τεσσάρων μεμονωμένων επιλύσεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

	ΑΙΤΙΟ	Θέση στο στοιχείο	V2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
ΒΧ1	F _x (mine _y)	αρχή	45.73	45.85	71.89	72.08
		τέλος	45.73	45.85	-65.28	-65.46
	F _x (maxe _y)	αρχή	56.79	56.73	89.29	89.20
		τέλος	56.79	56.73	-81.08	-81.00
	F _y (mine _x)	αρχή	-2.47	-2.33	-3.69	-3.47
		τέλος	-2.47	-2.33	3.73	3.52
F _y (maxe _x)	αρχή	8.60	8.56	13.71	13.65	
	τέλος	8.60	8.56	-12.07	-12.02	

Είναι σαφής η πολύ καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων των δύο αναλύσεων.

Στον παρακάτω πίνακα 13 παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων και ταυτόχρονων τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης των οριζόντιων στατικών δυνάμεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, στη βάση του υποστυλώματος C1 και του τοιχώματος T1 στο ισόγειο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13. Ακραίες και ταυτόχρονες τιμές των μεγεθών έντασης των στοιχείων C1 και T1 στο ισόγειο – Συνδυασμός ΕΧ1-ΕΥ3

C1 κάτω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
exP=	237.52	240.0	M _{2,P} =	81.44	81.38	M _{3,P} =	49.11	49.36
P, M ₂ =	196.15	198.02	exM ₂ =	98.61	98.61	M _{3,M₂} =	-1.94	-1.88
P, M ₃ =	129.68	131.37	M _{2,M₃} =	-2.13	-2.06	exM ₃ =	89.94	90.16

T1 κάτω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
exP=	32.13	28.92	M _{2,P} =	-12.26	-12.28	M _{3,P} =	7.87	7.14
P, M ₂ =	-32.13	-28.92	exM ₂ =	12.26	12.28	M _{3,M₂} =	-4.06	-3.87
P, M ₃ =	1.08	0.88	M _{2,M₃} =	-0.21	-0.20	exM ₃ =	234.60	234.60

(Για τις πιθανές ταυτόχρονες και πιθανές μέγιστες τιμές των ροπών M₂ και M₃ καθώς και για τις πιθανές ταυτόχρονες τιμές της αξονικής δύναμης P λόγω μεγιστοποίησης των ροπών αυτών, ισχύουν οι μεταρροπές οι οποίες έγιναν και για τα αντίστοιχα μεγέθη του τοιχώματος T1 στους πίνακες 6β και 12α. Πιο συγκεκριμένα, λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού των τοπικών αξόνων του τοιχώματος T1 στο προσομοίωμα του ΡΑΦ και στο προσομοίωμα των αναλύσεων αναφοράς, οι τιμές που εμφανίζονται στην οθόνη του ΡΑΦ μετασχηματίστηκαν κατάλληλα έτσι ώστε να μπορούν να είναι συγκρίσιμες με τις αντίστοιχες τιμές αναφοράς. Έτσι έγιναν οι εξής μετασχηματισμοί:

$$M2^{ΡΑΦ}_{,ΠΙΝΑΚΑΣ_{13}}=M3^{ΡΑΦ}_{,ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ} \text{ και } M3^{ΡΑΦ}_{,ΠΙΝΑΚΑΣ_{13}}=M2^{ΡΑΦ}_{,ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ}$$

Και από τον πίνακα 13 προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ από τα αποτελέσματα αναφοράς, είναι μικρές και σε αποδεκτό επίπεδο.

(Γ) Μεγέθη μετακίνησης

Στον παρακάτω πίνακα 14 παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών μετακίνησης exU_x , exU_y και exR_z λόγω ταυτόχρονης δράσης των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου, στην κορυφή του κτιρίου στο σημείο που βρίσκεται η κεφαλή του υποστυλώματος C1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14. Ακραίες τιμές των μετακινήσεων στην κορυφή του κτιρίου λόγω ταυτόχρονης δράσης του σεισμού σε δύο οριζόντιες διευθύνσεις

ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ	exU_x (m)		exU_y (m)		exR_z (rad)	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
EX1-EY3	0.0106	0.0105	0.0107	0.0107	0.00003	0.00003
EX1-EY4	0.0108	0.0108	0.0091	0.0091	0.00055	0.00054
EX2-EY3	0.0129	0.0129	0.0108	0.0108	0.00055	0.00054
EX2-EY4	0.0131	0.0130	0.0092	0.0092	0.00078	0.00076

Παρατηρούνται γενικώς πολύ μικρές αποκλίσεις.

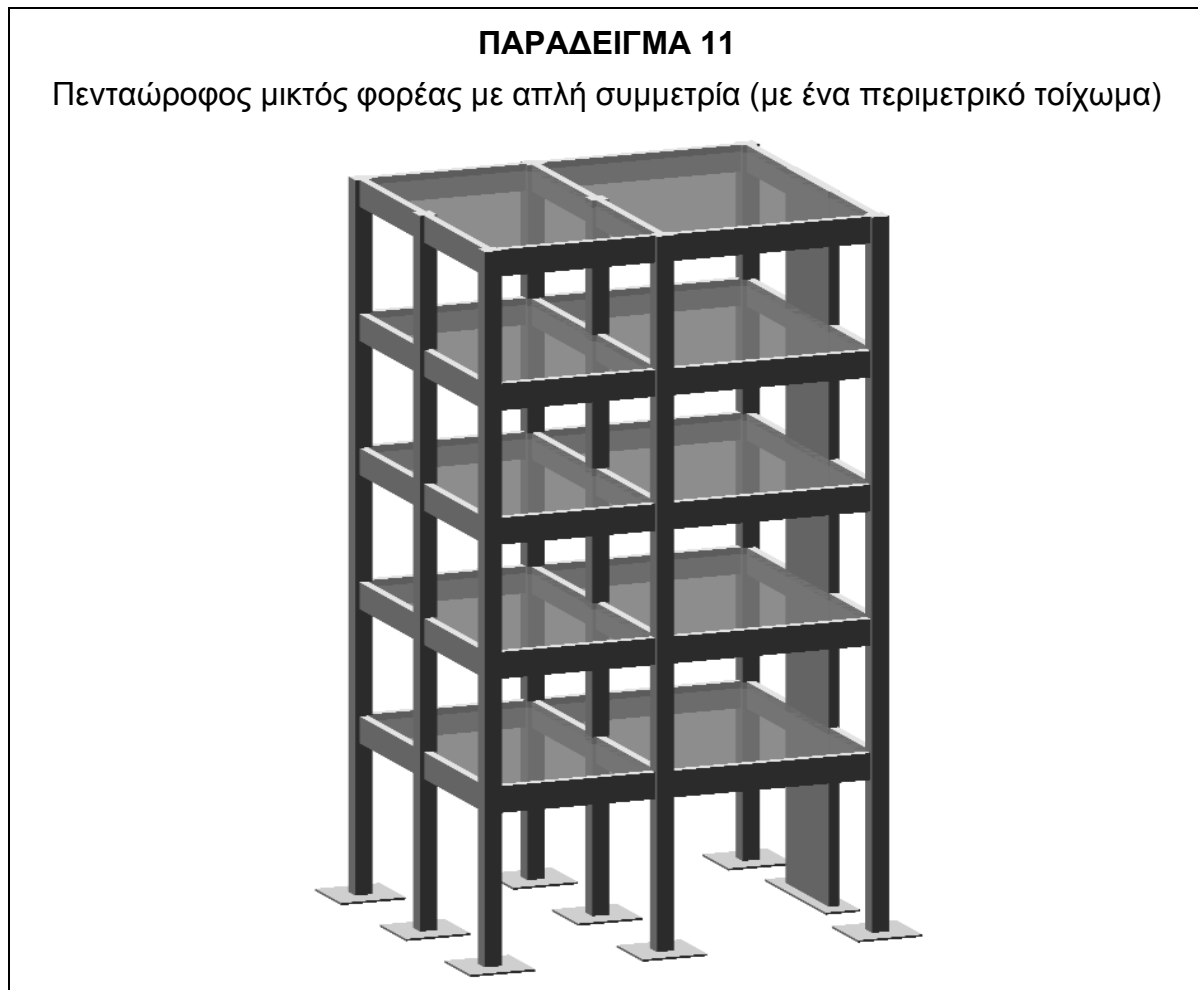
(Δ) Έλεγχος γωνιακής παραμόρφωσης

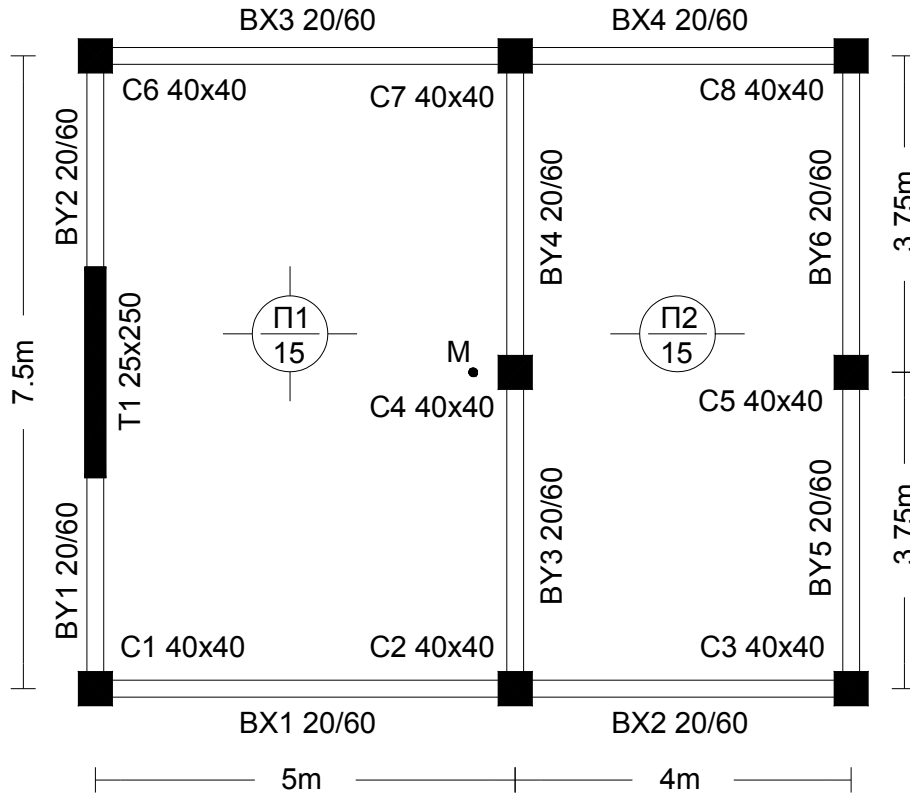
Τα αποτελέσματα που εξάγει το ΡΑΦ για τον έλεγχο γωνιακής παραμόρφωσης στα πλαίσια της απλοποιημένης φασματικής μεθόδου, αναφέρονται στον δυσμενέστερο από τους τέσσερις συνδυασμούς δράσεων της μεθόδου. Υπό την έννοια αυτή τα εξαγόμενα του ΡΑΦ δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του πρότυπου παραδείγματος τα οποία αναφέρονται μόνον στον συνδυασμό δράσεων (EX1-EY3). Πέραν όμως τούτου τα αποτελέσματα του ελέγχου γωνιακής παραμόρφωσης από το ΡΑΦ δεν μπορούν να συγκριθούν με τα αποτελέσματα του πρότυπου παραδείγματος και λόγω του γεγονότος που αναλύθηκε στην παράγραφο 3.2(Δ).

4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11

4.1 Δεδομένα – Σκαριφήματα φορέα

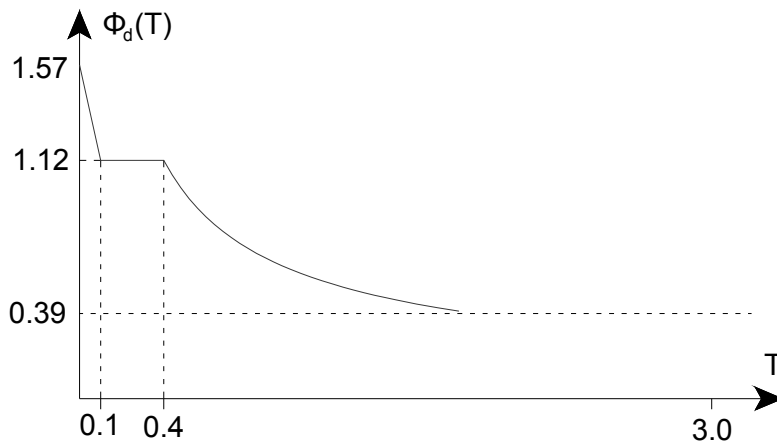
- Υλικό: Οπλισμένο σκυρόδεμα ($E=2.9 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0.2$, $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$)
- Δεδομένα ανωδομής:



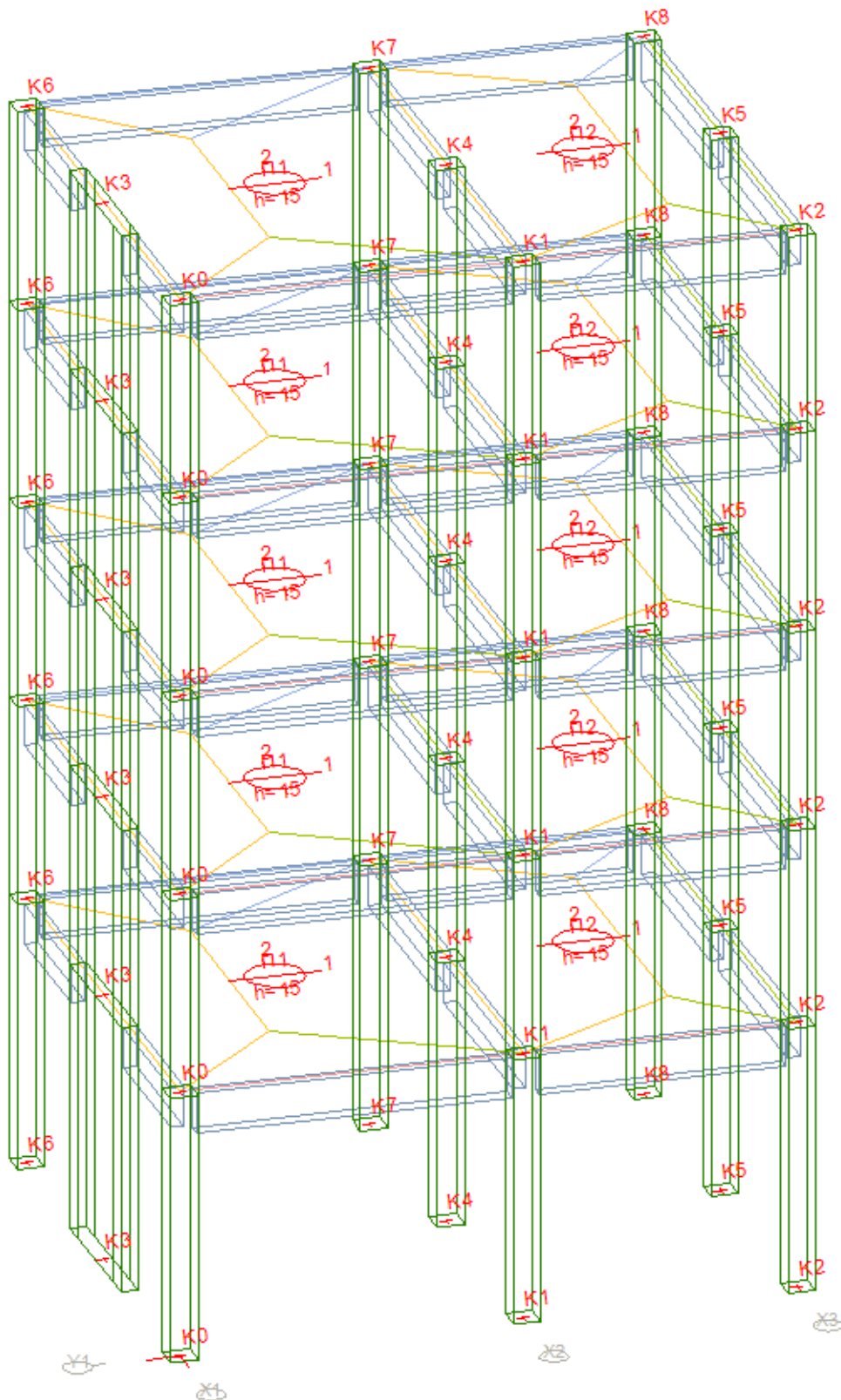


Σχήμα 0. Τυπική κάτοψη ορόφων

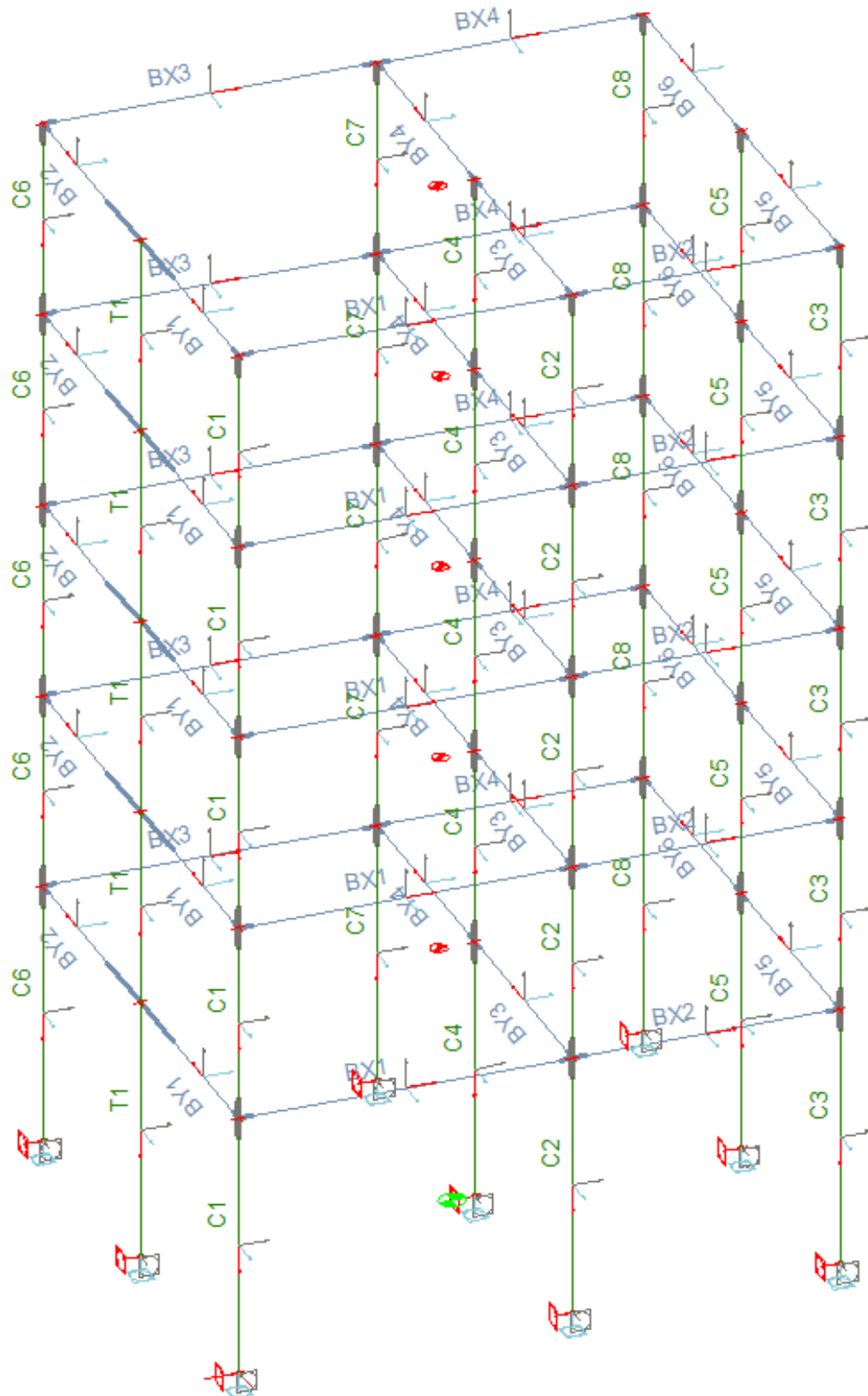
- Ύψη ορόφων: 1^{ος}: 4m, 2^{ος} – 5^{ος}: 3m
- Περιμετρικά το κτίριο έχει μπατική τοιχοποιία (3.6 kN/m²).
- Κατά μήκος των δοκών ΒΥ3, ΒΥ4 υπάρχει δρομική τοιχοποιία (2.1kN/m²) σε όλους τους ορόφους.
- Στο δώμα σε όλη την περίμετρο υπάρχει στηθαίο από μπατική τοιχοποιία ύψους 1m.
- Τα δάπεδα έχουν επίστρωση (επικάλυψη) βάρους 1.3 kN/m².
- Το ωφέλιμο φορτίο (κινητό φορτίο) ελήφθη ίσο με Q=2kN/m².
- Δεδομένα Φάσματος σχεδιασμού: ΕΑΚ/2000



- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: I
- Κατηγορία εδάφους: A
- $\theta=1$
- $q=3.5$
- Κατηγορία σπουδαιότητας: Σ_2
- Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης: $\zeta=5\%$



Τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα



Διακριτοποίηση φορέα. Αρίθμηση και τοπικοί άξονες στοιχείων

4.2 Παραδοχές

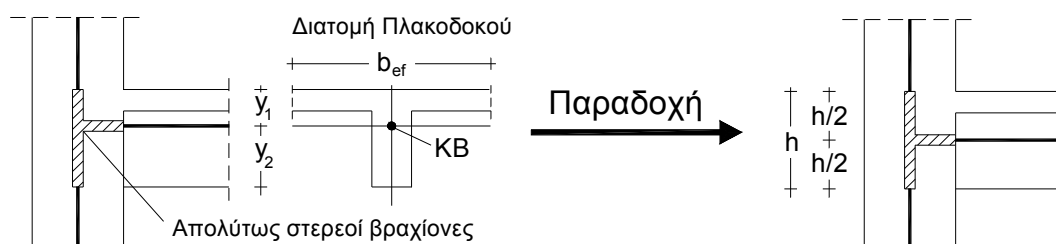
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται:

- Οι παραδοχές με τις οποίες έγινε η προσομοίωση του φορέα στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς (Αναλύσεις ΟΑΣΠ – Πρότυπα Αριθμητικά Παραδείγματα: Αβραμίδης Ι., 2005).
- Οι προκαθορισμένες (default) παραδοχές που γίνονται αυτόματα από το πρόγραμμα για τη μόρφωση του υπολογιστικού προσομοιώματος.

4.2.1 Παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ)

(α) Παραδοχές για την προσομοίωση του φορέα

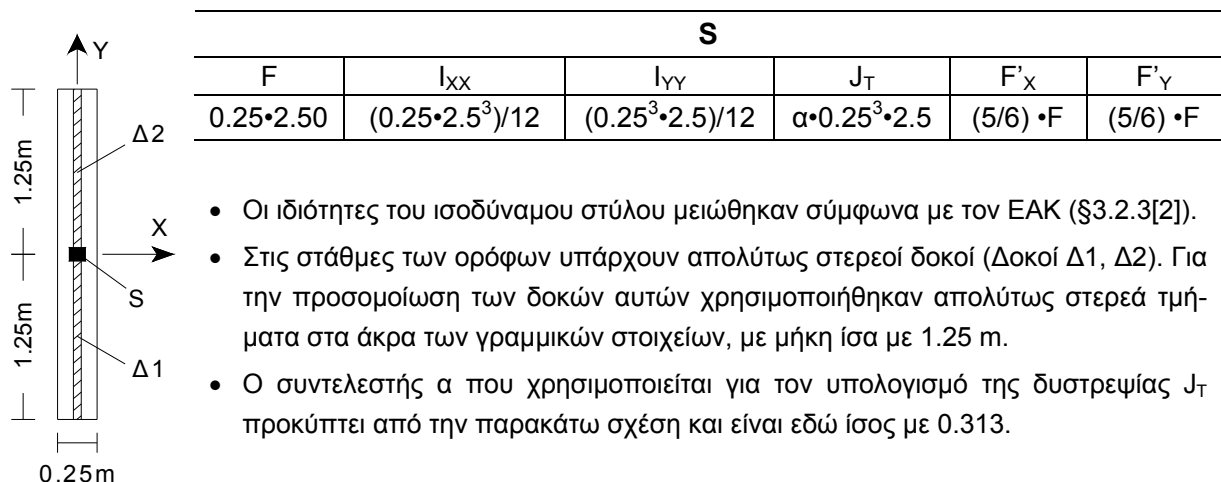
- (α1) Διαφραγματική λειτουργία πλακών: Θεώρηση ατενούς διαφράγματος στις στάθμες που ορίζονται στο σχήμα 1.
- (α2) Συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκών: $b_{ef}=b_w+(1/5)l_o$, $l_o=0.85l$.
Όπου l =το θεωρητικό – καθαρό – άνοιγμα της δοκού και b_w =το πλάτος της δοκού.
- (α3) Οι δυσκαμψίες και οι δυστρεψίες των διατομών ελήφθησαν μειωμένες σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (§3.2.3[2]).
- (α4) Ελήφθησαν υπόψη καμπτικές, διαμητικές, αξονικές και στρεπτικές παραμορφώσεις.
- (α5) Κατά τη μόρφωση του μοντέλου θεωρήθηκαν στους κόμβους απολύτως στερεά τμήματα (βλ. σχήμα 1).
- (α6) Δεν ελήφθησαν υπόψη ανοίγματα στις τοιχοποιίες.



Σχήμα 1. Λεπτομέρεια προσομοίωσης των πλαισιακών κόμβων

(β) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση του τοιχώματος T1

Η προσομοίωση του τοιχώματος έγινε με έναν ισοδύναμο στύλο S στο κέντρο βάρους της διατομής του. Οι γεωμετρικές ιδιότητες της διατομής αυτής δίνονται στο Σχήμα 2.



$$\alpha = \frac{1}{3} \cdot \left[1 - \left(\frac{192 \cdot t}{\pi^5 \cdot h} \right) \cdot \tanh \left(\frac{\pi \cdot h}{2 \cdot t} \right) \right] \quad (\text{Η σχέση αυτή ισχύει για ορθογωνικές διατομές})$$

Σχήμα 2. Πλαισιακή προσομοίωση του τοιχώματος T1

(γ) Παραδοχές για την προσομοίωση των κατακόρυφων φορτίων

- (γ1) Κατανομή φορτίων πλακών με τον κανόνα 45° ή 60° σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ (και χωρίς ομοιομορφοποίηση).
- (γ2) Το ίδιο βάρος των υποστυλωμάτων ελήφθη υπόψη ως κατανεμημένο ομοιόμορφο αξονικό φορτίο.
- (γ3) Ίδια βάρη δοκών και τοιχοποιιών επί αυτών, ελήφθησαν υπόψη ως ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία.

(δ) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των μαζών

- (δ1) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου θεωρήθηκε συγκεντρωμένη στο γεωμετρικό κέντρο βάρους M του αντίστοιχου ατενούς διαφράγματος.
- (δ2) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου συντίθεται από:
- τη μάζα των πλακών και των δοκών του ορόφου συμπεριλαμβανομένων και των επιστρώσεων,
 - τη μάζα των τοιχοποιιών οι οποίες εδράζονται επί αυτών (η μάζα του σπηθαίου προστίθεται στη μάζα του τελευταίου διαφράγματος),
 - τη μάζα των υποκείμενων και των υπερκείμενων υποστυλωμάτων μέχρι το μέσον του ύψους τους και,
 - τη μάζα που αντιστοιχεί στο 30% του ωφέλιμου φορτίου
- (δ3) Οι μάζες της πλάκας δαπέδου του ισογείου και της τοιχοποιίας του ισογείου δεν συμπεριλαμβάνονται στην ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής.

4.2.2 Προκαθορισμένες (default) παραδοχές ΡΑΦ

(α) Παραδοχές για την προσομοίωση του φορέα

- (α1) Ισχύει η παραδοχή της ανάλυσης αναφοράς (α1) για την διαφραγματική λειτουργία των πλακών.
- (α2) Για τον υπολογισμό των συνεργαζόμενων πλατών των δοκών χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$\text{Διατομές T: } b_{\text{eff}} = b_0 + \frac{1}{5} \cdot (0.7 \cdot L)$$

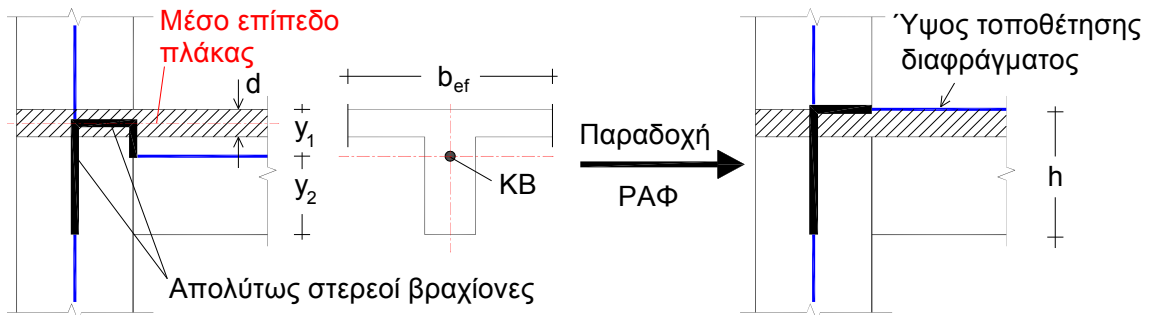
$$\text{Διατομές Γ: } b_{\text{eff}} = b_0 + \frac{1}{10} \cdot (0.7 \cdot L)$$

Όπου L είναι το μήκος του καθαρού ανοίγματος της δοκού (χωρίς τους στερεούς βραχίονες).

- (α3) Ισχύει η παραδοχή (α3) της ανάλυσης αναφοράς για την μείωση των δυσκαμψιών και των δυστρεπιών σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (§3.2.3[2]).
- (α4) Ισχύει η παραδοχή (α4) της ανάλυσης αναφοράς για την θεώρηση των καμπτικών, διατμητικών, αξονικών και στρεπτικών παραμορφώσεων.

(α5) Ισχύει η παραδοχή (α5) της ανάλυσης αναφοράς για την θεώρηση απολύτων στερεών βραχιόνων στα άκρα των δομικών στοιχείων με τις εξής διαφοροποιήσεις:

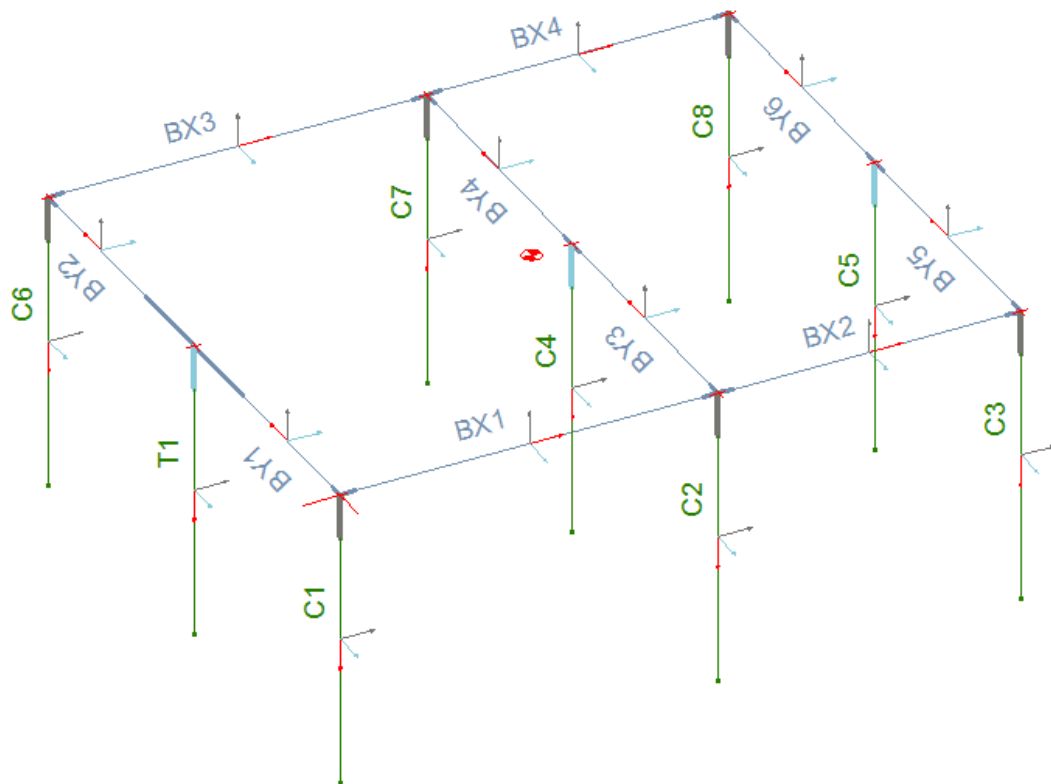
- Το ύψος τοποθέτησης των διαφραγμάτων δεν συμπίπτει με το ύψος τοποθέτησης που παρουσιάζεται στο σχήμα σχήμα 1. Το ύψος στο οποίο τοποθετούνται από το ΡΑΦ τα διαφράγματα παρουσιάζεται στο σχήμα 3 (βλ. και εγχειρίδιο τεκμηρίωσης ΡΑΦ, §8.2.3):



Σχήμα 3. Παραδοχή του ΡΑΦ για το ύψος τοποθέτησης των διαφραγμάτων.

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα υποστυλώματα δεν έχουν στερεούς βραχίονες στους κόμβους πέρατος τους, όπως προκύπτει από την προσομοίωση με τις παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς, και επιπλέον οι στερεοί βραχίονες των κόμβων αρχής τους έχουν διπλάσιο μήκος.

- Στα πλαίσια της προσομοίωσης με τις προκαθορισμένες παραδοχές του ΡΑΦ, τα υποστυλώματα C4, C5 και το τοίχωμα T1 προσομοιώνονται με εφαρμογή της ενσωματωμένης δυνατότητας του προγράμματος για την θεώρηση «διπλών» αξονικών στερεών βραχιόνων (βλ. εγχειρίδιο θεωρητικής τεκμηρίωσης ΡΑΦ). Έτσι επειδή τα συγκεκριμένα στοιχεία συντρέχουν σε κόμβους στους οποίους υπάρχουν δοκοί μόνον κατά την διεύθυνση του τοπικού άξονα 3 της διατομής τους, το πρόγραμμα τοποθετεί αυτοματα αξονικούς στερεούς βραχίονες οι οποίοι ενεργοποιούνται μόνον κατά την κάμψη εντός του τοπικού επιπέδου τους 1-3, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (οι συγκεκριμένοι βραχίονες έχουν γαλάζιο χρώμα):



Σχήμα 4. Αυτόματη τοποθέτηση «διπλών» αξονικών στερεών βραχιόνων στα υποστυλώματα C3, C4 και στο τοίχωμα T1.

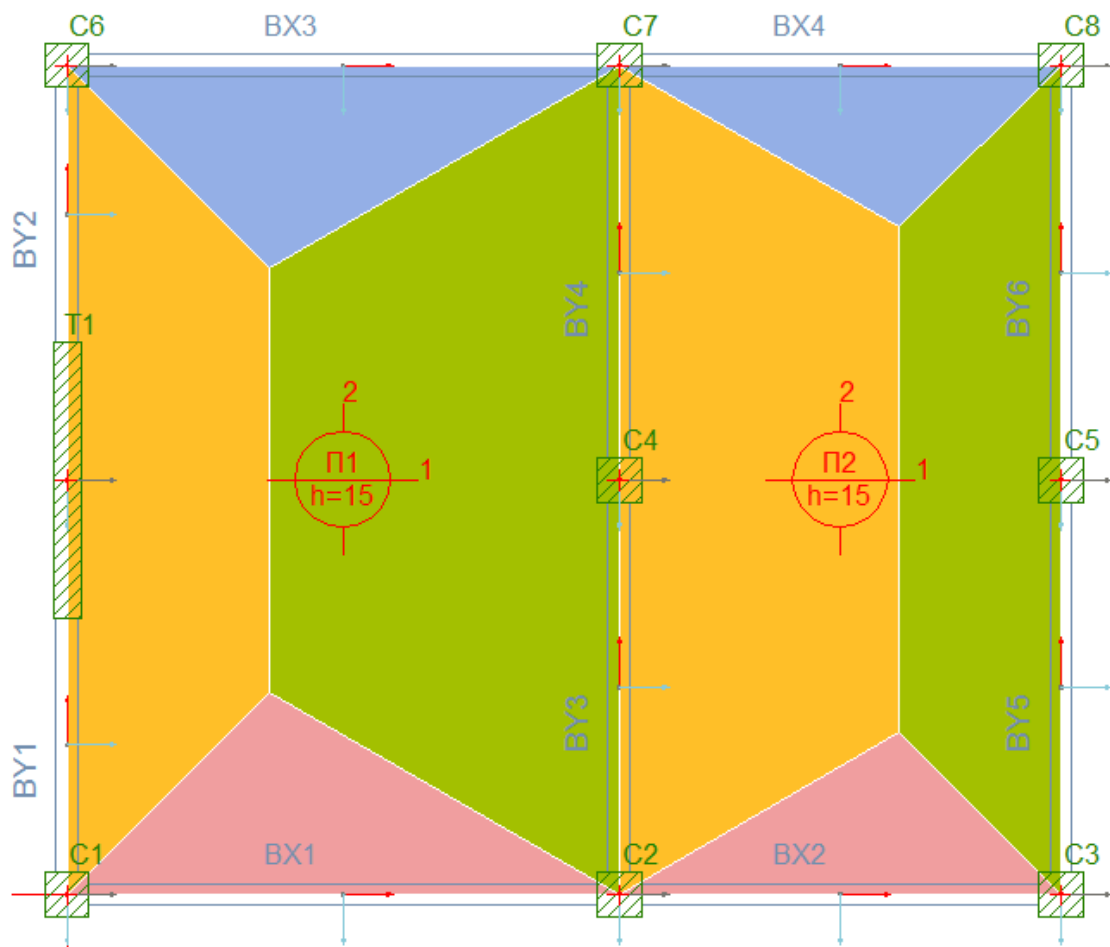
(α6) Δεν ελήφθησαν υπόψη ανοίγματα στις τοιχοποιίες.

(β) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση του τοιχώματος T1

Η αυτόματη προσομοίωση του τοιχώματος από το ΡΑΦ γίνεται με βάση τις ίδιες ακριβώς παραδοχές με τις οποίες γίνεται η προσομοίωση του κατά την ανάλυση αναφοράς.

(γ) Παραδοχές για την προσομοίωση των κατακόρυφων φορτίων

Ισχύουν οι ίδιες παραδοχές με αυτές που γίνονται και για την ανάλυση αναφοράς (βλ. σχήμα 5):



Σχήμα 5. Αυτόματη κατανομή των φορτίων των πλακών στις δοκούς με τον κανόνα 45° ή 60° σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ

(δ) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των μαζών

- (δ1) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου θεωρήθηκε συγκεντρωμένη στο κέντρο μάζας το οποίο υπολογίζεται με βάση τη διάταξη όλων των φορτίων του ορόφου, και όχι στο γεωμετρικό κέντρο μάζας.
- (δ2) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου συντίθεται όπως ακριβώς στην περίπτωση της ανάλυσης αναφοράς.
- (δ3) Οι μάζες της πλάκας δαπέδου του ισογείου και της τοιχοποιίας του ισογείου δεν συμπεριλαμβάνονται στην ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής.

Στον παρακάτω πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μάζες και τα σημεία στα οποία τοποθετούνται, τόσο στα πλαίσια της μόρφωσης του προσομοιώματος αναφοράς όσο στα πλαίσια της προσομοίωσης με τις προκαθορισμένες παραδοχές του ΡΑΦ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Θέσεις και τιμές των μαζών σύμφωνα με την ανάλυση αναφοράς και το ΡΑΦ

	X_m		Y_m		m	
	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1 ^{ος} όροφος	4.5	4.46	3.75	3.75	91.37	92.66
2 ^{ος} όροφος	4.5	4.49	3.75	3.75	88.95	90.23
3 ^{ος} όροφος	4.5	4.49	3.75	3.75	88.95	90.23
4 ^{ος} όροφος	4.5	4.49	3.75	3.75	88.95	90.23
5 ^{ος} όροφος	4.5	4.49	3.75	3.75	66.3	65.3

Συνοψίζοντας την σύγκριση των μεταξύ των βασικών παραδοχών των αναλύσεων αναφοράς και των βασικών παραδοχών του ΡΑΦ μπορεί να συνταχθεί ο παρακάτω πίνακας:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Συγκεντρωτική παρουσίαση των κοινών και των μη κοινών παραδοχών των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ) και του ΡΑΦ.

	Παραδοχή	ΟΑΣΠ / ΡΑΦ
(α1)	Διαφραγματική λειτουργία	Κοινή
(α2)	Συνεργαζόμενο πλάτος	Διαφορετική
(α3)	Απομείωση δυσκαμψιών	Κοινή
(α4)	Θεώρηση καμπτικών, διατμητικών, αξονικών και στρεπτικών παραμορφώσεων	Κοινή
(α5)	Προσομοίωση στερεών βραχιόνων / θέση τοποθέτησης διαφραγμάτων	Διαφορετική
(α6)	Θεώρηση ανοιγμάτων στις τοιχοποιίες	Κοινή
(β)	Ισοδύναμη πλαισιακή προσομοίωση τοιχώματος	Κοινή
(γ1)	Κατανομή φορτίων πλακών	Κοινή
(γ2)	Προσομοίωση ίδιου βάρους υποστυλωμάτων	Κοινή
(γ3)	Προσομοίωση ιδίων βαρών δοκών και τοιχοποιιών	Κοινή
(δ1)	Υπολογισμός θέσης κέντρου βάρους ορόφου	Διαφορετική
(δ2)	Υπολογισμός μάζας ορόφου	Κοινή
(δ3)	Θεώρηση μαζών πλάκας δαπέδου ισογείου και τοιχοποιίας ισογείου	Κοινή

4.3 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης

Στις ακόλουθες παραγράφους θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις αναλύσεις αναφοράς του ΟΑΣΠ (παρουσιάζονται στο βιβλίο των Πρότυπων Αριθμητικών Παραδειγμάτων, Αβραμίδης Ι., 2005) με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις με το ΡΑΦ. Για να είναι αντικειμενικές οι συγκρίσεις, προσαρμόστηκαν οι παραδοχές των αναλύσεων που έγιναν με το ΡΑΦ, με τις παραδοχές των Πρότυπων Αριθμητικών Παραδειγμάτων (αναλύσεις αναφοράς). Θα πρέπει να τονιστεί ότι λέγοντας προσαρμογή των παραδοχών, εννοείται ειδικά η προσαρμογή των παραδοχών που παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Έτσι έγιναν οι εξής επεμβάσεις στο αρχικό (και αυτόματα μορφωμένο από το ΡΑΦ) προσομοίωμα με τη βοήθεια του γραφικού περιβάλλοντος του προγράμματος:

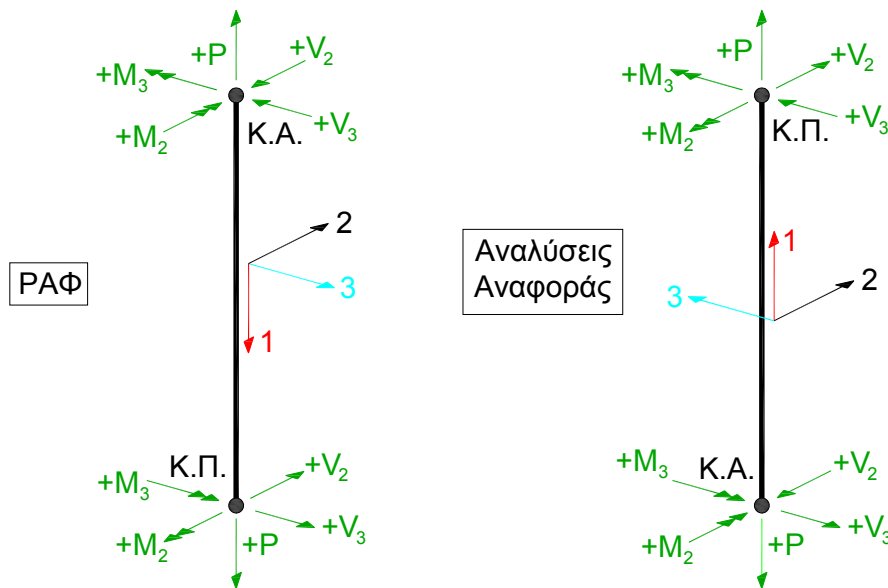
- Προσαρμόστηκαν τα συνεργαζόμενα πλάτη των δοκών.
- Προσαρμόστηκαν τα μήκη των στερεών βραχιόνων των στοιχείων.
- Εισήχθησαν οι τιμές των μαζών και των μαζικών ροπών αδράνειας που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις αναφοράς.

Παρά τις παραπάνω προσαρμογές δεν είναι δυνατή η πλήρης (100%) ταύτιση των παραδοχών επίλυσης, διότι δεν υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής των συντεταγμένων των κέντρων μάζας που υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Θα πρέπει επίσης να καταστεί σαφές ότι δεν μπορούν να αποκλειστούν κάποιοι παράγοντες απόκλισης των αποτελεσμάτων οι οποίοι πηγάζουν από τις διαφορετικές τεχνολογίες των μεταγλωτιστών με τους οποίους μεταγλωτίστηκε το ΡΑΦ και το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς του ΟΑΣΠ. Αποκλίσεις στα αποτελέσματα δημιουργούνται επίσης και από τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των τεχνικών επίλυσης του ΡΑΦ και του προγράμματος με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς (π.χ. αλγόριθμοι σχηματισμού μητρώων δυσκαμψίας, υπολογισμού ιδιοπεριόδων κ.τ.λ.). Επομένως είναι πρακτικά αδύνατη η πλήρης ταύτιση των συγκρινόμενων αποτελεσμάτων. Σε κάθε περίπτωση πάντως παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τρόπο που ο χρήστης μπορεί να αξιολογήσει με την κρίση του την επάρκεια και την αξιοπιστία του ΡΑΦ, ενώ όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο παρατίθενται και βοηθητικά σχόλια.

Τέλος, όσον αφορά στις συγκρίσεις των αποτελεσμάτων των ελέγχων αντοχής, αυτές έγιναν με βάση τα αποτελέσματα τα οποία διατίθενται στα «Πρότυπα Αριθμητικά Παραδείγματα διαστασιολόγησης κατασκευών» (Αβραμίδης Ι.Ε., Σέξτος Α.: <http://www.ekosdesignexamples.gr/>).

4.3.1 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης λόγω στατικών φορτίων $G+\psi_2Q$

Στον παρακάτω πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών έντασης του υποστυλώματος C3 και του τοιχώματος T1 στο ισόγειο. Λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού του τοπικού συστήματος αναφοράς των στοιχείων που χρησιμοποιείται από το ΡΑΦ και από το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς, στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών έντασης προσαρμοσμένες με βάση το παρακάτω σχήμα 6 έτσι ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμες.



Σχήμα 6. Ορισμός των συμβατικά θετικών τιμών των μεγεθών έντασης των κατακορύφων στοιχείων από το ΡΑΦ και από το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Εντασιακά μεγέθη του υποστυλώματος C3 και του τοιχώματος T1 στο ισόγειο

Στοιχείο/ Θέση		P		M2		M3	
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
T1	κάτω	-709.75	-698.04	-0.005	≈0	0.22	0.20
	άνω	-646.08	-635.54	-0.005	≈0	≈0	≈0
C3	κάτω	-353.98	-341.78	-2.31	-2.41	3.19	3.25
	άνω	-338.90	-326.98	4.25	4.44	-5.41	-5.54
Στοιχείο/ Θέση		T		V2		V3	
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
T1	κάτω	≈0	≈0	0.038	≈0	≈0	≈0
	άνω	≈0	≈0	0.038	≈0	≈0	≈0
C3	κάτω	≈0	≈0	2.32	2.38	-1.77	-1.85
	άνω	≈0	≈0	2.32	2.38	-1.77	-1.85

Απο τον παραπάνω πίνακα εξάγεται το γενικό συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα του ΡΑΦ συγκλίνουν σε πάρα πολύ ικανοποιητικό βαθμό με τα αποτελέσματα αναφοράς (ΟΑΣΠ). Ωστόσο λίγο μεγαλύτερη (αλλά σε καμία περίπτωση μη αποδεκτή) διαφοροποίηση παρουσιάζουν οι τιμές των αξονικών δυνάμεων. Η εμφάνιση αυτών διαφοροποιήσεων αυτών μπορεί να αιτιολογηθεί με βάση το γεγονός ότι δεν επιχειρήθηκε η 100% ταύτιση της μορφολογίας των τραπεζοειδών και τριγωνικών φορτίων των δοκών από τις πλάκες (παρά το γεγονός ότι η κατανομή των κατακορύφων φορτίων των πλακών γίνεται από το ΡΑΦ με τις ίδιες παραδοχές όπως και οι αναλύσεις αναφοράς (Παραδοχές (γ)), δεν είναι δυνατή η απόλυση ταύτιση των τιμών και της μορφής των τραπεζοειδών φορτίων).

Πέραν της αιτιολόγησης των αποκλίσεων θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι οι σχετικά μικρές τιμές των αποκλίσεων αυτών είναι αδύνατο να οδηγήσουν σε ανασφαλής και αναξιόπιστα αποτελέσματα ελέγχων αντοχής.

4.3.2 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου (ΔΦΜ) (Α) Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης

Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών των 9 πρώτων ιδιοπεριόδων ταλάντωσης του κτιρίου, και στον πίνακα 5 τα αθροιστικά ποσοστά συμμετοχής των μαζών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Ιδιοπερίοδοι (με τη μάζα στα μετατοπισμένα ΚΜ)

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος (sec)							
	Θέση 1		Θέση 2		Θέση 3		Θέση 4	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.700	0.699	0.700	0.699	0.702	0.701	0.702	0.701
2	0.478	0.470	0.537	0.553	0.506	0.496	0.506	0.496
3	0.272	0.266	0.243	0.226	0.256	0.250	0.256	0.250
4	0.216	0.216	0.216	0.216	0.217	0.216	0.217	0.216
5	0.147	0.144	0.165	0.170	0.155	0.152	0.155	0.152
6	0.114	0.114	0.114	0.114	0.115	0.115	0.115	0.115
7	0.082	0.080	0.090	0.093	0.085	0.083	0.085	0.083
8	0.076	0.074	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073
9	0.073	0.073	0.069	0.065	0.073	0.071	0.073	0.071

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Αθροιστικά ποσοστά συμμετοχής των μαζών (%)

Ιδιομορφή	Θέση 1				Θέση 2			
	Διέγερση x		Διέγερση y		Διέγερση x		Διέγερση y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	90.49	90.55	0	0	90.49	90.55	0	0
2	90.49	90.55	66.93	67.93	90.49	90.55	69.31	71.26
3	90.49	90.55	85.90	86.30	90.49	90.55	86.08	86.28
4	97.90	97.91	85.90	86.30	97.90	97.91	86.08	86.28
5	97.90	97.91	93.05	93.33	97.90	97.91	93.95	94.50
6	99.46	99.46	93.05	93.33	99.46	99.46	93.95	94.50
7	99.46	99.46	93.46	93.63	99.46	99.46	94.36	95.06
8	99.46	99.46	98.09	98.16	99.90	99.90	94.36	95.06
9	99.90	99.90	98.09	98.16	99.90	99.90	98.42	98.65

Ιδιομορφή	Θέση 3				Θέση 4			
	Διέγερση x		Διέγερση y		Διέγερση x		Διέγερση y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	90.15	90.26	≈0	≈0	90.15	90.26	0	≈0
2	90.46	90.52	68.20	69.06	90.46	90.52	68.20	69.06
3	90.49	90.55	86.07	86.48	90.49	90.55	86.07	86.48
4	97.88	97.89	86.08	86.48	97.88	97.89	86.08	86.48
5	97.90	97.90	93.54	93.78	97.90	97.90	93.54	93.78
6	99.45	99.45	93.54	93.78	99.45	99.45	93.54	93.78
7	99.46	99.46	93.68	93.95	99.46	99.46	93.68	93.95
8	99.89	99.90	93.87	93.96	99.89	99.90	93.87	93.96
9	99.90	99.90	98.26	98.32	99.90	99.90	98.26	98.32

Οι αποκλίσεις των τιμών των δύο παραπάνω πινάκων είναι γενικά πάρα πολύ μικρές και θεωρούνται αποδεκτές.

(B) Μεγέθη έντασης

Στον παρακάτω πίνακα 6 παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ (δηλαδή των μεγεθών έντασης με τα οποία εκτελείται ο έλεγχος σε διαξονική κάμψη με ορθή δύναμη) λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, για το υποστύλωμα C3 και το τοίχωμα T1 στο ισόγειο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Ακραίες τιμές των μεγεθών έντασης των στοιχείων C3 και T1 στο ισόγειο

	Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
C3	1	κάτω	179.16	180.83	78.80	78.90	86.78	86.85
		άνω	179.16	180.83	57.25	57.54	59.07	59.18
	2	κάτω	181.00	183.36	85.18	87.87	87.93	88.52
		άνω	181.00	183.36	61.96	64.18	59.95	60.46
	3	κάτω	182.24	183.72	82.30	82.30	85.23	85.40
		άνω	182.24	183.72	59.80	60.02	58.05	58.23
	4	κάτω	177.70	179.44	82.35	82.34	89.21	89.21
		άνω	177.70	179.44	59.89	60.10	60.81	60.87

	Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
T1	1	κάτω	56.67	51.34	561.64	557.26	60.41	60.54
		άνω	56.67	51.34	36.83	33.93	19.71	19.87
	2	κάτω	56.67	51.34	452.19	402.77	60.41	60.54
		άνω	56.67	51.34	32.21	26.92	19.71	19.87
	3	κάτω	56.56	51.25	508.23	503.97	60.29	60.43
		άνω	56.56	51.25	35.29	32.21	19.67	19.83
	4	κάτω	56.56	51.25	508.23	503.97	60.29	60.43
		άνω	56.56	51.25	35.29	32.21	19.67	19.83

Στα πλαίσια των υπολογισμών οι τιμές του πίνακα λαμβάνονται και με αρνητικό πρόσημο.

Από την μελέτη του παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Για το υποστύλωμα C3:

- Πολύ καλή σύγκλιση των αξονικών δυνάμεων P.
- Γενικώς πολύ καλή σύγκλιση των ροπών κάμψης M_2 , M_3 (με εξαίρεση τη ροπή M_2 από την επίλυση για την μάζα στη θέση 2, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι και στην περίπτωση αυτή οι αποκλίσεις δεν μπορούν να θεωρηθούν αποδεκτές).

Για το τοίχωμα T1:

- Λίγο μεγαλύτερες από το μέσο όρο – των υπολοίπων μεγεθών – αποκλίσεις των αξονικών δυνάμεων P που όμως οφείλονται στην διαφορετική τεχνολογία προσομοίωσης των στερεών βραχιόνων από το ΡΑΦ, η οποία έχει πολύ σημαντικότερη επιρροή στα τοιχώματα όπου το μήκος των βραχιόνων των εκατέρωθεν δοκών BY1, BY2 (ίσο με 1.25m) είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό των δοκών που συντρέχουν στα υποστυλώματα.
- Ικανοποιητική σύγκλιση των τιμών των ροπών κάμψης M_2 και M_3 στην βάση. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις της ροπής M_2 στην κεφαλή οφείλονται στα ίδια αίτια με τις αποκλίσεις των αξονικών δυνάμεων.

Στον πίνακα 7 παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων και ταυτόχρονων τιμών των μεγεθών P, M_2 , M_3 λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, στη βάση του υποστυλώματος C3 και του τοιχώματος T1 στο ισόγειο. Οι

συγκρίσεις αφορούν την ανάλυση με τις μάζες των ορόφων τοποθετημένες στη θέση 1 που ορίζει ο ΕΑΚ/2000.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Ακραίες και ταυτόχρονες τιμές των μεγεθών έντασης των στοιχείων C3 και T1 στο ισόγειο

C3 κάτω	P		M ₂			M ₃		
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
exP=	179.16	180.83	M _{2,P} =	41.38	41.07	M _{3,P} =	-50.92	-51.5
P _{,M2} =	94.09	94.12	exM ₂ =	78.79	78.9	M _{3,M2} =	30.92	30.82
P _{,M3} =	-105.16	-107.23	M _{2,M3} =	28.08	28	exM ₃ =	86.76	86.85

T1 κάτω	P		M ₂			M ₃		
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
exP=	56.67	51.3	M _{2,P} =	0.00	0.00	M _{3,P} =	58.70	58.9
P _{,M2} =	0.00	0.00	exM ₂ =	558.10	557.26	M _{3,M2} =	0.00	0.00
P _{,M3} =	55.09	49.95	M _{2,M3} =	0.00	0.00	exM ₃ =	60.39	60.54

Με εξαίρεση τις τιμές των αξονικών δυνάμεων του τοιχώματος T1 (που αιτιολογούνται με βάση τα σχόλια του πίνακα 6), οι αποκλίσεις είναι γενικά πολύ μικρές. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η υπολογιστική διαδικασία προσδιορισμού των πιθανών ταυτόχρονων τιμών είναι μία σύνθετη διαδικασία. Τα πιθανώς ταυτόχρονα μεγέθη δεν είναι πρωτογενή εξαγόμενα των αναλύσεων αλλά προκύπτουν από σύνθετη επεξεργασία ιδιομορφικών μεγεθών (βλ. παρ. 9.2.3. εγχειριδίου τεκμηρίωσης ΡΑΦ). Συνεπώς είναι δυνατό οι αποκλίσεις των πιθανώς ταυτόχρονων τιμών να είναι σε μερικές περιπτώσεις λίγο μεγαλύτερες από τις αποκλίσεις των πρωτογενών εξαγομένων των αναλύσεων.

(Γ) Μεγέθη μετακίνησης

Στον παρακάτω πίνακα 8 παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών μετακίνησης exU_x, exU_y και exR_z λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, στην κορυφή του στο σημείο που βρίσκεται η κεφαλή του υποστυλώματος C3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Ακραίες τιμές των μετακινήσεων στην κορυφή του κτιρίου λόγω ταυτόχρονης δράσης του σεισμού σε δύο οριζόντιες διευθύνσεις

Θέση μάζας	q-exU _x (m)		q-exU _y (m)		q-exR _z (rad)	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.0441	0.0439	0.0340	0.0336	0.00319	0.0031
2	0.0445	0.0445	0.0366	0.0371	0.00358	0.0037
3	0.0432	0.0430	0.0354	0.0349	0.00340	0.0033
4	0.0452	0.0450	0.0354	0.0349	0.00340	0.0033

Παρατηρούνται γενικώς πολύ μικρές αποκλίσεις.

(Δ) Έλεγχος γωνιακής παραμόρφωσης

Τα αποτελέσματα του ελέγχου γωνιακής παραμόρφωσης που προκύπτουν από την επίλυση με το ΡΑΦ δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα με τα διαθέσιμα αποτελέσματα από τις αναλύσεις αναφοράς. Ο λόγος είναι ότι η φιλοσοφία υπολογισμού της γωνιακής παραμόρφωσης γ που ακολουθείται από το ΡΑΦ – βλ. παράγραφο 10.3 του εγχειριδίου τεκμηρίωσης – είναι διαφορετική από αυτήν που παρουσιάζεται στα πλαίσια των αποτελεσμάτων αναφοράς. Πιο συγκεκριμένα: Με βάση τη διαδικασία υπολογισμού από το ΡΑΦ υπολογίζονται σε κάθε όροφο οι τιμές του γ για κάθε κόμβο του προσομοιώματος, και τελικά εκτυπώνονται οι μέγιστες τιμές κατά Χ και κατά Υ (Χ, Υ οι άξονες του καθολικού συστήματος αναφοράς). Αντίθετα τα αποτελέσματα των αναλύσεων αναφοράς αναφέρονται στον υπολογισμό του συντελεστή γ σε συγκεκριμένες κομβοσειρές του κτιρίου. Έπειδή όμως οι εκτυπούμενες από το ΡΑΦ τιμές του γ – οι οποίες είναι οι μέγιστες του κάθε ορόφου – ενδέχεται να αντιστοιχούν σε κομβοσειρές διαφορετικές από αυτές που έχουν επιλεγεί για εμφάνιση από τα αποτελέσματα αναφοράς, δεν είναι δυνατό να γίνει άμεση σύγκριση.

Ωστόσο, στον πίνακα που ακολουθεί γίνεται μία συγκριτική παράθεση των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ με τα αποτελέσματα των αναλύσεων αναφοράς απλά και μόνον για να δοθεί μία εικόνα της σύμπτωσης της τάξης μεγέθους των αποτελεσμάτων των δύο αναλύσεων:

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Ενδεικτικές τιμές της γωνιακής παραμόρφωσης γ όπως προκύπτει από την επίλυση για την θέση μάζας 1.

ΟΡΟΦΟΣ	γ_x		γ_y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.00160	0.00183	0.00139	0.00160
2	0.00143	0.00164	0.00102	0.00115
3	0.00112	0.00127	0.00080	0.00090
4	0.00080	0.00091	0.00058	0.00064
5	0.00046	0.00053	0.00032	0.00036

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι:

- Οι λίγο μεγαλύτερες τιμές που προκύπτουν από το ΡΑΦ είναι προς την ασφαλή πλευρά.
- Το τελικό συμπέρασμα και επομένως τελικό ζητούμενο του ελέγχου είναι κοινό και για τις δύο αναλύσεις: ο συντελεστής γ είναι μικρότερος από την οριακά επιτρεπόμενη τιμή $\gamma_{op}=0.005$.

4.3.3 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου (ΑΦΜ)

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου, αλλά και τα αποτελέσματα του ελέγχου στρεπτικής ευαισθησίας. Η παράθεση των αποτελεσμάτων ξεκινά από την παρουσίαση των βασικών εξαγόμενων της μεθόδου και καταλήγει στην παρουσίαση των μεγεθών έντασης και μετακίνησης στα ίδια στοιχεία και κόμβους όπου έγινε η παρουσίαση για την Δυναμική Φασματική Μέθοδο.

(Α) Βασικά εξαγόμενα Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

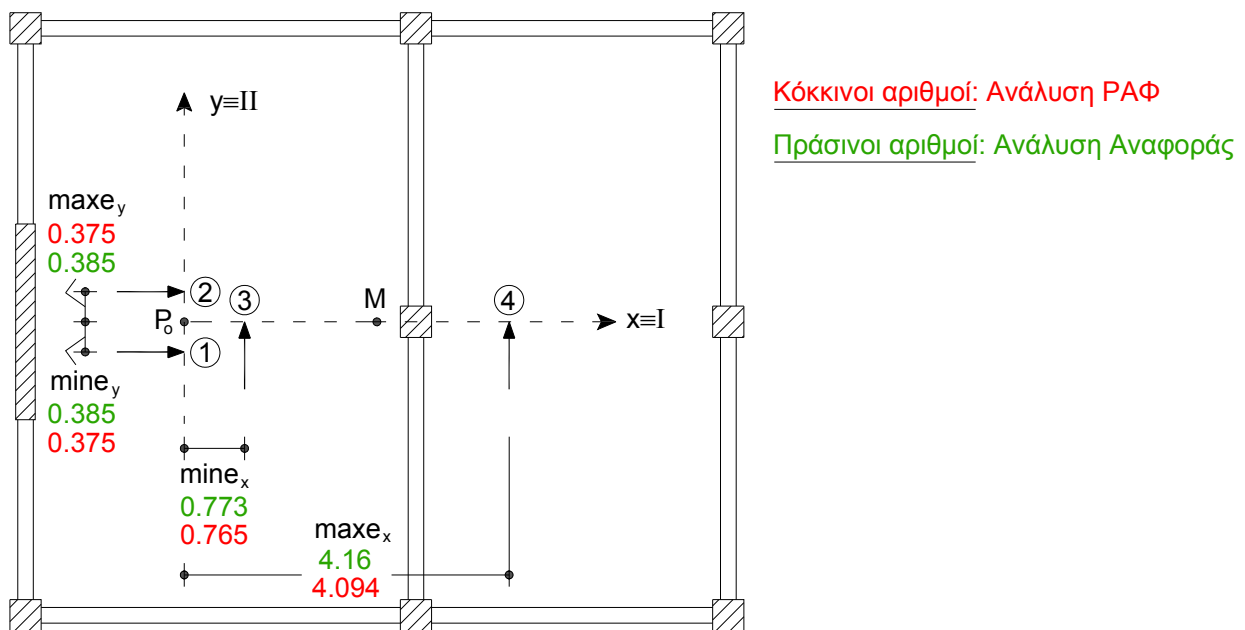
ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Βασικά εξαγόμενα Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

Συντεταγμένες πόλου στροφής			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
X_{P0}	Y_{P0}	X_{P0}	Y_{P0}
2.033	3.75	2.056	3.75
Γωνία κλίσης κύριου συστήματος			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$\alpha=0^\circ$		$\alpha=0^\circ$	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ			
Ακτίνες δυστροπίας ως προς το ελαστικό κέντρο P_0			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$\rho_x=$	4.053	$\rho_x=$	4.01
$\rho_y=$	7.278	$\rho_y=$	7.29
Ακτίνα αδράνειας ορόφου			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$r_i=$	3.463	$r_i=$	3.382
Ακτίνες δυστροπίας ως προς το κέντρο μάζας			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$\rho_{mX,i}=$	4.74	$\rho_{mX,i}=$	4.70
$\rho_{mY,i}=$	7.28	$\rho_{mY,i}=$	7.30
$\rho_{mX,i} > r_i$		$\rho_{mX,i} > r_i$	
Το κτίριο δεν είναι στρεπτικά ευαίσθητο		Το κτίριο δεν είναι στρεπτικά ευαίσθητο	
ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ			
$\max(e_{X,i})=$	4.16	$\max(e_{X,i})=$	4.094
$\max(e_{Y,i})=$	0.385	$\max(e_{Y,i})=$	0.375
$\min(e_{X,i})=$	0.773	$\min(e_{X,i})=$	0.765
$\min(e_{Y,i})=$	-0.385	$\min(e_{Y,i})=$	-0.375
ΑΣΥΖΕΥΚΤΕΣ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΙ			
$T_x=$	0.7	$T_x=$	0.7
$T_y=$	0.377	$T_y=$	0.371

Απο τη μελέτη του παραπάνω πίνακα προκύπτει το γενικό συμπέρασμα της πολύ ικανοποιητικής σύγκλισης των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ και των αποτελεσμάτων των αναλύσεων αναφοράς.

Η απόκλιση που παρατηρείται στον υπολογισμό των εκκεντροτήτων κατά τον άξονα Y μπορεί να αιτιολογηθεί ως εξής: Η κάτοψη είναι συμμετρική κατά τον άξονα X και αυτό σημαίνει ότι οι

εκκεντρότητες σχεδιασμού $e_{y,i}$ είναι ίσες με τις αντίστοιχες τυχηματικές εκκεντρότητες $e_{TY,i}$ οι οποίες είναι ίσες με $0.05 \cdot L_y$. Έτσι η απόκλιση της τιμής της $e_{y,i}$ οφείλεται αποκλειστικά στην διαφορετική παραδοχή για τον υπολογισμό του μήκους L_y : Κατά τις αναλύσεις αναφοράς, το μήκος αυτό λαμβάνεται μετρούμενο από τις εξωτερικές παριές των δοκών ΒΧ1 και ΒΧ3 (βλ. σχήμα 1) και έτσι προκύπτει ίσο με $7.5+0.2=7.7m$, και επομένως $e_{y,i}=e_{TY,i}=0.05 \cdot 7.7=0.385m$. Κατά τις αναλύσεις με το ΡΑΦ το συγκεκριμένο μήκος λαμβάνεται μετρούμενο με βάση τις συντεταγμένες (τεταγμένες y) των πιο ακραίων κόμβων του προσομοιώματος (κόμβοι Κ0 και Κ6, βλέπε σκαρίφημα κτιρίου) και έτσι προκύπτει ίσο με $7.5m$, και κατά συνέπεια $e_{y,i}=e_{TY,i}=0.05 \cdot 7.5=0.375m$. Αντίστοιχη είναι και η διαφοροποίηση που προκύπτει για τις εκκεντρότητες σχεδιασμού κατά τον άξονα Χ.



ΠΙΝΑΚΑΣ 11. Τελική κατανομή οριζοντίων δυνάμεων

ΟΡΟΦΟΣ	ΟΑΣΠ				ΡΑΦ			
	$F_x=$		$F_y=$		$F_x=$		$F_y=$	
1		29.45		42.48		29.28		42.48
2		49.82		72.37		49.88		72.37
3		71.17		103.39		71.25		103.39
4		92.53		134.4		92.63		134.41
5		84.88		123.3		84.97		123.3

(B) Μεγέθη έντασης

Στον πίνακα 12 παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών των μεγεθών P , M_2 , M_3 λόγω των τεσσάρων μεμονωμένων στατικών επιλύσεων με τις ισοδύναμες σεισμικές οριζόντιες δυνάμεις (βλ. πίνακα 11) εφαρμοσμένες σε έκκεντρες ως προς τα ΚΜ των ορόφων θέσεις, όπως προβλέπει ο ΕΑΚ/2000 στην παράγραφο 3.3.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12. Τιμές των μεγεθών έντασης των στοιχείων C3 και T1 στο ισόγειο λόγω των τεσσάρων μεμονωμένων επιλύσεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

ΑΙΤΙΟ	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3		
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
C3	F _x (mine _y)	κάτω	-168.8	-171.4	6.1	5.9	92.0	92.0
		άνω	-168.8	-171.4	-5.1	-4.9	-61.4	-61.5
	F _x (maxe _y)	κάτω	-178.1	-180.5	-5.0	-4.9	86.7	86.9
		άνω	-178.1	-180.5	3.0	3.0	-57.7	-57.9
	F _y (mine _x)	κάτω	114.5	111.9	61.2	60.7	17.0	16.9
		άνω	114.5	111.9	-43.7	-43.6	-13.8	-13.7
F _y (maxe _x)	κάτω	174.3	170.2	132.5	130.1	50.8	49.8	
	άνω	174.3	170.2	-95.6	-94.3	-37.5	-36.8	

ΑΙΤΙΟ	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3		
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
T1	F _x (mine _y)	κάτω	66.15	59.90	-46.1	-45.16	66.40	66.51
		άνω	66.15	59.90	0.2	0.16	-20.95	-21.12
	F _x (maxe _y)	κάτω	66.15	59.90	46.1	45.16	66.40	66.51
		άνω	66.15	59.90	-0.2	-0.16	-20.95	-21.12
	F _y (mine _x)	κάτω	0.00	0.00	1209.8	1193.3	0.00	0.00
		άνω	0.00	0.00	25.6	13.67	0.00	0.00
F _y (maxe _x)	κάτω	0.00	0.00	621.0	613.85	0.00	0.00	
	άνω	0.00	0.00	28.1	15.78	0.00	0.00	

Στα πλαίσια των υπολογισμών οι τιμές του πίνακα λαμβάνονται και με αρνητικό πρόσημο.

Από τον παραπάνω πίνακα καθίσταται σαφής η πολύ καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ με τα αποτελέσματα αναφοράς τους ΟΑΣΠ.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων και ταυτόχρονων τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης τωνς οριζόντιων στατικών δυνάμεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, στη βάση του υποστυλώματος C3 και του τοιχώματος T1 στο ισόγειο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13. Ακραίες και ταυτόχρονες τιμές των μεγεθών έντασης των στοιχείων C3 και T1 στο ισόγειο – Συνδυασμός EX1-EY4

C3 κάτω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
exP=	242.63	241.6	M _{2,P} =	90.93	87.46	M _{3,P} =	-27.49	-30.19
P, M ₂ =	166.34	162.24	exM ₂ =	132.64	130.23	M _{3,M2} =	54.99	53.93
P, M ₃ =	-63.47	-69.73	M _{2,M3} =	69.42	67.14	exM ₃ =	105.08	104.59

T1 κάτω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
exP=	66.15	59.9	M _{2,P} =	-46.09	-45.16	M _{3,P} =	66.40	66.51
P, M ₂ =	-4.90	-4.39	exM ₂ =	622.71	615.5	M _{3,M2} =	-4.91	-4.88
P, M ₃ =	66.15	59.9	M _{2,M3} =	-46.09	-45.16	exM ₃ =	66.40	66.51

Οι αποκλίσεις είναι μικρές και σε αποδεκτό επίπεδο.

(Γ) Μεγέθη μετακίνησης

Στον παρακάτω πίνακα 14 παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών μετακίνησης exU_x , exU_y και exR_z λόγω ταυτόχρονης δράσης των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου, στην κορυφή του κτιρίου στο σημείο που βρίσκεται η κεφαλή του υποστυλώματος C3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14. Ακραίες τιμές των μετακινήσεων στην κορυφή του κτιρίου λόγω ταυτόχρονης δράσης του σεισμού σε δύο οριζόντιες διευθύνσεις

ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ	exU_x (m)		exU_y (m)		exR_z (rad)	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
EX1-EY3	0.0143	0.0135	0.0084	0.0081	0.00026	0.00026
EX1-EY4	0.0154	0.0146	0.0172	0.0166	0.00154	0.00149
EX2-EY3	0.0136	0.0143	0.0084	0.0081	0.00026	0.00026
EX2-EY4	0.0147	0.0153	0.0172	0.0166	0.00154	0.00149

Παρατηρούνται γενικώς πολύ μικρές αποκλίσεις.

(Δ) Έλεγχος γωνιακής παραμόρφωσης

Τα αποτελέσματα που εξάγει το ΡΑΦ για τον έλεγχο γωνιακής παραμόρφωσης στα πλαίσια της απλοποιημένης φασματικής μεθόδου αναφέρονται στον δυσμενέστερο από τους τέσσερις συνδυασμούς δράσεων της μεθόδου. Υπο την έννοια αυτή τα εξαγόμενα του ΡΑΦ δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του πρότυπου παραδείγματος τα οποία αναφέρονται μόνον στον συνδυασμό δράσεων (EX1-EY3). Πέραν όμως τούτου τα αποτελέσματα του ελέγχου γωνιακής παραμόρφωσης από το ΡΑΦ δεν μπορούν να συγκριθούν με τα αποτελέσματα του πρότυπου παραδείγματος και λόγω του γεγονότος που αναλύθηκε στην παράγραφο 3.2(Δ).

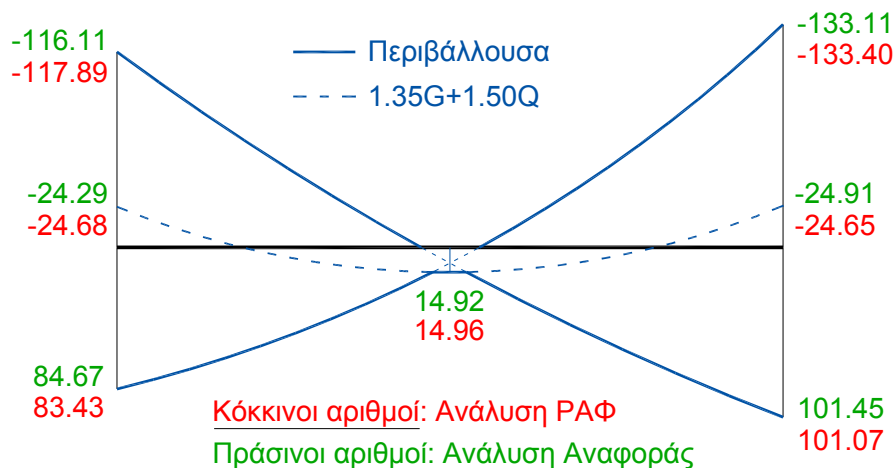
4.4 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ελέγχων αντοχής

Η αξιολόγηση της αξιοπιστίας των ελέγχων αντοχής που εκτελεί το ΡΑΦ – μέσω της υπομονάδας ΥΚΟΣ – θα γίνει με τη βοήθεια της εργασίας «Πρότυπα Αριθμητικά Παραδείγματα διαστασιολόγησης κατασκευών» (Αβραμίδης, Σέξτος: <http://www.ekosdesignexamples.gr/>). στην οποία υπάρχει και το παράδειγμα 11. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης των δοκών ΒΧ2, ΒΥ5, του υποστυλώματος C3, και του τοιχώματος T1 στο ισόγειο. Δεδομένου του γεγονότος ότι η φιλοσοφία του ΡΑΦ συνίσταται στον έλεγχο οπλισμένων διατομών και όχι στην διαστασιολόγηση τους, ο έλεγχος θα γίνει εισάγοντας στο πρόγραμμα τον οπλισμό όπως αυτός υπολογίζεται στα πλαίσια της εργασίας των πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων διαστασιολόγησης, και ελέγχοντας τους εξαγόμενους λόγους εξάντλησης. Επιπλέον θα συγκριθούν και τιμές συγκεκριμένων μεγεθών που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία εκτέλεσης των ελέγχων. Οι έλεγχοι γίνονται μόνον με αποτελέσματα από τη Δυναμική Φασματική Μέθοδο.

4.4.1 Έλεγχος Αντοχής Δοκού

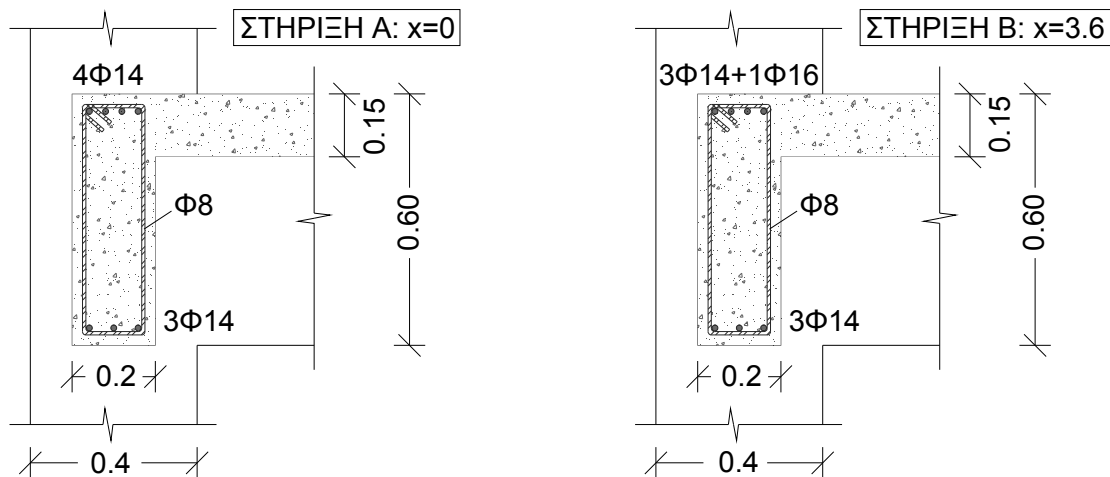
Δοκός ΒΧ2 → Πλάτος: $b_w=0.20m$, Ύψος: $h=0.60m$

Διαστασιολόγηση σε κάμψη



Σχήμα 7. Περιβάλλουσα ροπών κάμψης M δοκού ΒΧ2

Με βάση την διαδικασία διαστασιολόγησης που παρουσιάζεται στο παράδειγμα 11 των πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων διαστασιολόγησης, η όπλιση των διατομών των άκρων της δοκού είναι αυτή που δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 8. Λεπτομέρειες όπλισης των δύο ακραίων διατομών της δοκού – Ανάλυση Αναφοράς
 Ο έλεγχος αντοχής σε κάμψη για τις δύο διατομές του σχήματος 8 από το ΡΑΦ δίνει τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 16. Αποτελέσματα ελέγχου κάμψης της δοκού ΒΧ2 από το ΡΑΦ

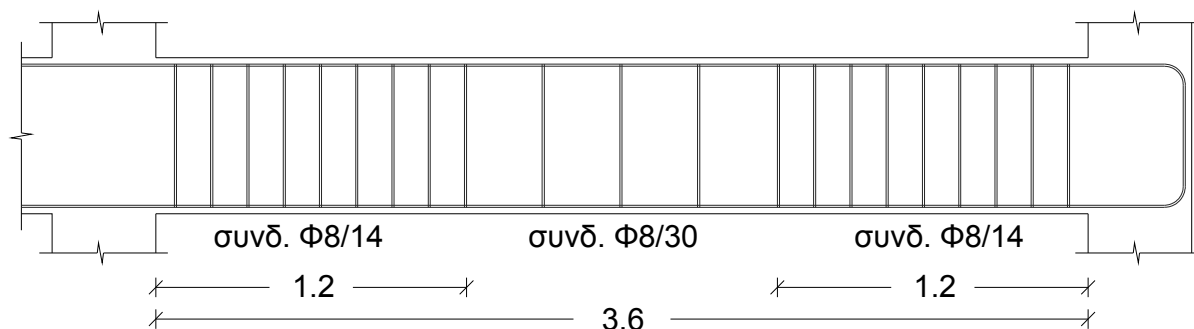
ΚΑΜΨΗ		ΡΟΠΗ ΑΡΝΗΤΙΚΗ				ΡΟΠΗ ΘΕΤΙΚΗ		
x	Θ.Μ.	NSd	MSd	MRd	CR	MSd	MRd	CR
0.00	1	0.0	-117.9	-140.6	0.84	83.4	109.6	0.76
1.80	1	0.0	-1.4	-71.5	0.02	21.5	109.7	0.20
3.60	1	0.0	-133.4	-150.8	0.88	101.1	109.9	0.92

Από τη μελέτη του παραπάνω πίνακα εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Οι διαμήκεις οπλισμοί των άκρων της δοκού, όπως αυτές υπολογίστηκαν στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς, προκύπτουν και από το ΡΑΦ επαρκείς.
- Οι λόγοι εξάντλησης των ροπών αντοχής είναι για αρνητικές ροπές περίπου CR=0.85-0.88 και όχι κοντά στη μονάδα όπως είναι το αναμενόμενο κατά τη διαδικασία της διαστασιολόγησης. Αυτό οφείλεται:
 - (α) στο ότι οποθετήθηκε περισσότερος οπλισμός από τον υπολογιστικά απαιτούμενο (4Φ14 → 6.16cm² άνω έναντι 5.41cm² και 3Φ14 → 4.62cm² κάτω έναντι 3.72cm² στην στήριξη Α), και
 - (β) στο ότι ο υπολογισμός των ροπών αντοχής από το ΡΑΦ γίνεται με αλγόριθμο που λαμβάνει υπόψη και την επιρροή του θλιβόμενου (ανάλογα με τη φορά της ροπής σχεδιασμού) οπλισμού.
- Οι λόγοι εξάντλησης για τις θετικές ροπές είναι CR=0.76 και CR=0.92 για τους ίδιους λόγους στους οποίους έγινε αναφορά πιο πάνω.

Διαστασιολόγηση σε διάτμηση

Με βάση την διαδικασία διαστασιολόγησης που παρουσιάζεται στο παράδειγμα 11 των πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων διαστασιολόγησης, η όπλιση της δοκού έναντι διάτμησης είναι αυτή που δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 9. Οπλισμός διάτμησης δοκού ΒΧ2 – Ανάλυση Αναφοράς

Ο οπλισμός αυτός υπολογίστηκε με βάση τον ικανοτικό σχεδιασμό. Δηλαδή οι τέμνουσες σχεδιασμού είναι οι ικανοτικές τέμνουσες.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου σε διάτμηση με τις τέμνουσες ικανοτικού σχεδιασμού όπως προκύπτουν από το ΡΑΦ δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 17. Αποτελέσματα ικανοτικού ελέγχου διάτμησης της δοκού ΒΧ2 από το ΡΑΦ

ΔΙΑΤΜΗΣΗ - ΙΚΑΝΟΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ									
x	Θ.Μ.	V _{cd}	ζ	Δισδ	V _{wd}	VRd3	VRd2r	VCD	CR
0.00	1	12.4	-0.59	ΟΧΙ	157.5	169.9	403.2	107.3	0.63
1.20	1	39.7			73.5	113.2		91.5	0.81
2.40	1	39.7			73.5	113.2		94.8	0.84
3.60	1	12.4	-0.54	ΟΧΙ	157.5	169.9	403.2	110.6	0.65

Παρατηρήσεις – Συγκρίσεις

A) Υπολογισμός της τέμνουσας ικανοτικού σχεδιασμού:

Η τέμνουσα ικανοτικού σχεδιασμού υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$V_{CD,b} = V_{0,b} + \Delta V_{CD,b} \tag{1\alpha}$$

Όπου:

$$\Delta V_{CD,b} = \frac{1.20 \cdot (M_{R,b1} + M_{R,b2})}{L_b} \leq \frac{q \cdot V_{E,b}}{1.20} \tag{1\beta}$$

Η εφαρμογή των παραπάνω από το ΡΑΦ γίνεται ως εξής:

ΑΚΡΟ Α

$$V_{0,b}^A = \frac{(g_b + 0.3 \cdot q_b) \cdot L_b}{2} = \frac{(12.75 + 0.3 \cdot 1.63) \cdot 3.6}{2} = 23.83 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{CD,b}^A = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1.20 \cdot (M_{R,bA}^- + M_{R,bB}^+)}{L_b} = \frac{1.20 \cdot (|-140.6| + 109.9)}{3.60} = 83.5 \\ \frac{q \cdot V_{E,b}}{1.20} = \frac{3.5 \cdot 55.32}{1.20} = 161.35 \end{array} \right\} = 83.5 \text{ kN}$$

$$V_{CD,b}^A = 23.83 + 83.5 = 107.3 \text{ kN}$$

(2)

ΑΚΡΟ Β

$$V_{0,b}^B = \frac{(g_b + 0.3 \cdot q_b) \cdot L_b}{2} = \frac{(12.75 + 0.3 \cdot 1.63) \cdot 3.6}{2} = 23.83 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{CD,b}^B = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1.20 \cdot (M_{R,bA}^+ + M_{R,bB}^-)}{L_b} = \frac{1.20 \cdot (109.6 + |-150.8|)}{3.60} = 86.8 \\ \frac{q \cdot V_{E,b}}{1.20} = \frac{3.5 \cdot 55.32}{1.20} = 161.35 \end{array} \right\} = 86.8 \text{ kN}$$

$$V_{CD,b}^B = 23.83 + 86.8 = 110.6 \text{ kN}$$

(Οι ροπές αντοχής των ακραίων διατομών της δοκού που χρησιμοποιούνται στην παραπάνω σχέση προκύπτουν από τον πίνακα 16).

B) Τέμνουσα αντοχής λόγω λοξής θλίψης κορμού:

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z = \frac{1}{2} \cdot \left(0.70 - \frac{20}{200} \right) \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1.5} \cdot 0.2 \cdot (0.9 \cdot 0.56) = 403.2 \text{ kN} \quad (3)$$

Γ1) Έλεγχος οπλισμού διάτμησης εντός του κρίσιμου μήκους ($L_{cr} = 2 \cdot h = 2 \cdot 0.6 = 1.2 \text{ m}$):

$$\begin{aligned} V_{cd} &= 0.3 \cdot V_{Rd1} = 0.3 \cdot [T_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40 \cdot \rho_\lambda)] \cdot b_w \cdot d \\ &= 0.3 \cdot \left[(0.26 \cdot 10^3) \cdot (1.6 - 0.56) \cdot \left(1.20 + 40 \cdot \frac{4.62}{(20 \cdot 56)} \right) \right] \cdot 0.20 \cdot 0.56 = 12.4 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4\alpha)$$

$$V_{wd} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \cdot 0.90 \cdot d \cdot f_{ywd} = \left(\frac{2 \cdot 0.503}{0.14} \right) \cdot 0.9 \cdot 0.56 \cdot \left(\frac{500}{1.15} \right) \cdot 10^{-1} = 157.4 \text{ kN} \quad (4\beta)$$

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 12.4 + 157.4 = 169.8 \text{ kN} \quad (4\gamma)$$

Παρατηρούμε ότι οι τιμές που προκύπτουν από τις παραπάνω σχέσεις, ταυτίζονται με αυτές του πίνακα 17. Από τον συγκεκριμένο πίνακα προκύπτει επίσης το συμπέρασμα ότι η διατομή

με τον οπλισμό διάτμησης που υπολογίστηκε στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς είναι επαρκής έναντι διάτμησης εντός των κρίσιμων μηκών όπως άλλωστε θα έπρεπε.

Γ2) Έλεγχος οπλισμού διάτμησης εκτός του κρίσιμου μήκους ($L_{cr}=2\cdot h=2\cdot 0.6=1.2m$):

$$V_{cd} = V_{Rd1} = 0.3 \cdot [T_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40 \cdot \rho_\lambda)] \cdot b_w \cdot d$$

$$= \left[(0.26 \cdot 10^3) \cdot (1.6 - 0.56) \cdot \left(1.20 + 40 \cdot \frac{3.08}{(20 \cdot 56)} \right) \right] \cdot 0.20 \cdot 0.56 = 39.7 \text{ kN} \quad (5\alpha)$$

$$V_{wd} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \cdot 0.90 \cdot d \cdot f_{ywd} = \left(\frac{2 \cdot 0.503}{0.30} \right) \cdot 0.9 \cdot 0.56 \cdot \left(\frac{500}{1.15} \right) \cdot 10^{-1} = 73.5 \text{ kN} \quad (5\beta)$$

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 39.7 + 73.5 = 113.2 \text{ kN} \quad (5\gamma)$$

(Η τιμή 3.08 που εισάγεται στη για τον υπολογισμό του ρ_λ αφορά το εμβαδό του διαμήκους οπλισμού που τοποθετείται στην κάτω ίνα στο μέσον της δοκού)

Δ) Συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ΡΑΦ και αναλύσεων αναφοράς.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι τιμές μεγεθών σχεδιασμού και αντοχής που υπεισέρχονται στον έλεγχο διάτμησης:

ΠΙΝΑΚΑΣ 18. Συγκριτική παρουσίαση μεγεθών σχεδιασμού και αντοχής που υπεισέρχονται στον έλεγχο διάτμησης

	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
$V_{CD,b}^A$	114.08	107.3
$V_{CD,b}^B$	118.25	110.6
V_{Rd2}	396	403.2
$V_{cd,crit}$	12.83	12.4

Παρατηρείται γενικώς η πολύ καλή σύγκλιση των συγκρινόμενων τιμών. Ωστόσο και για τις μικρές αυτές αποκλίσεις μπορούν να δοθούν τα αίτια που τις προκαλούν:

- Οι μικρότερες τιμές που προκύπτουν από το ΡΑΦ για τις τέμνουσες ικανοτικού σχεδιασμού οφείλονται στο ότι – σε αντίθεση με τους ελέγχους των αναλύσεων αναφοράς – ΔΕΝ λαμβάνονται υπόψη οι οπλισμοί των πλακών που βρίσκονται εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της δοκού. Έτσι προκύπτουν μικρότερες τιμές ροπών καμπτικής αντοχής, και επομένως μικρότερες τέμνουσες ικανοτικού σχεδιασμού. Βεβαίως ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσθέσει και τις ράβδους της πλάκας οι οποίες βρίσκονται εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της δοκού. Επίσης η τέμνουσα της ομόλογης αμφιέριστης δοκού $V_{b,0}$ υπολογίζεται από το ΡΑΦ κατόπιν ομοιομορφοποίησης του φορτίου $G+\psi_2Q$, ενώ στα πλαίσια του πρότυπου παραδείγματος δεν γίνεται ομοιομορφοποίηση.
- Η απόκλιση που παρατηρείται στην τιμή της τέμνουσας αντοχής V_{Rd2} οφείλεται στον ελαφρώς διαφορετικό υπολογισμό της τιμής του στατικού ύψους d (0.56m για το ΡΑΦ, 0.55m για τη ανάλυση αναφοράς).

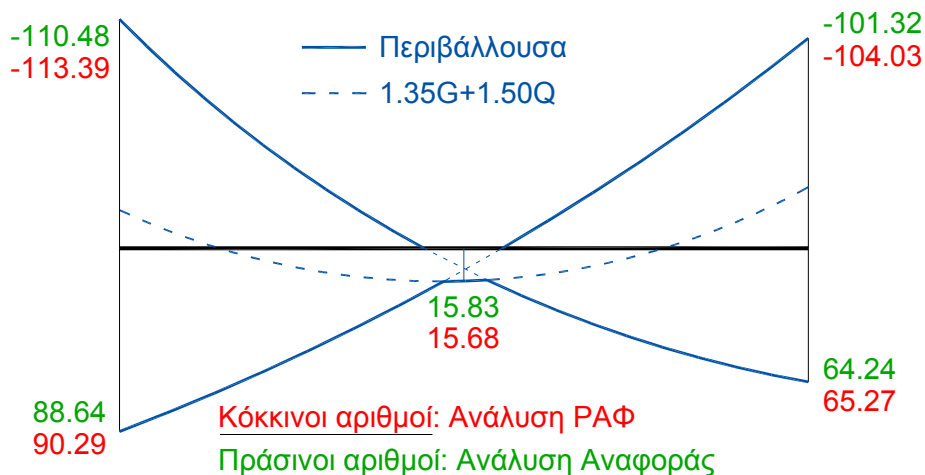
➤ Η απόκλιση που παρατηρείται στην τιμή της τέμνουσας αντοχής $V_{cd,crit}$ οφείλεται αφενώς στον διαφορετικό υπολογισμό της τιμής του στατικού ύψους d , και αφετέρου στο διαφορετικό υπολογισμό του ποσοστού εφελκόμενου οπλισμού ρ_λ . Πιο συγκεκριμένα στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς ως εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού στην στήριξη λαμβάνεται το εμβαδόν του οπλισμού της άνω ίνας ($4\Phi 14 \rightarrow A_s=6.16\text{cm}^2 \rightarrow \rho_\lambda=6.16/(20\cdot 55)=0.0056$), (βλ. σχήμα 8). Αντίθετα, σύμφωνα με τις παραδοχές του ΡΑΦ (βλ. εγχειρίδιο θεωρητικής τεκμηρίωσης ΥΚΟΣ, Παρ. 5.3.2.2) ως εμβαδό του εφελκόμενου οπλισμού λαμβάνεται το ελάχιστο από τους οπλισμούς της άνω και της κάτω ίνας. Ο λόγος είναι ότι θεωρείται πως με την ανακυκλιζόμενη σεισμική φόρτιση εφελκόμενος είναι είτε ο οπλισμός της άνω ίνας είτε της κάτω. Έτσι με βάση το σχήμα 8:

$$A_s = \min(6.16; 4.62) = 4.62\text{cm}^2. \text{ Επομένως: } \rho_\lambda = 4.62 / (20 \cdot 56) = 0.0041.$$

Δοκός ΒΥ5 → Πλάτος: $b_w=0.20\text{m}$, Ύψος: $h=0.60\text{m}$

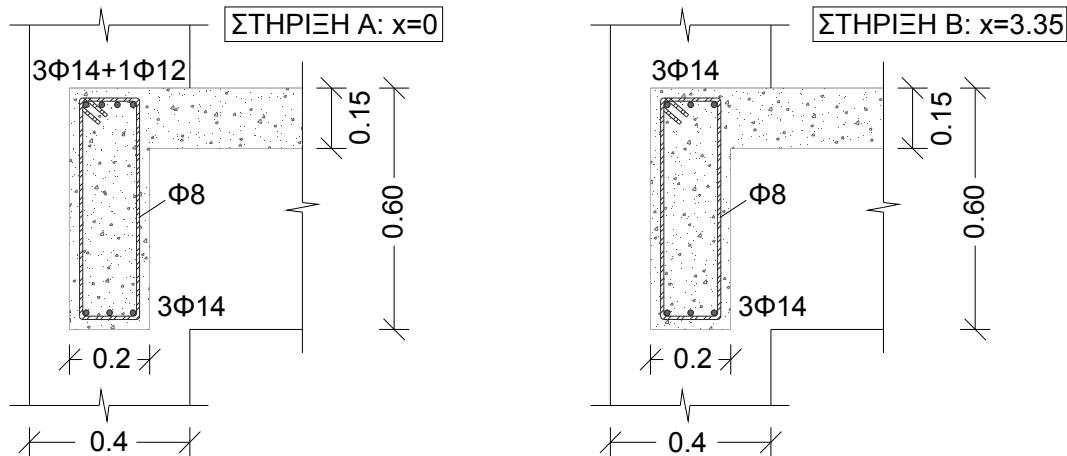
Οι διαστάσεις και τα γενικά χαρακτηριστικά έντασης και όπλισης της δοκού ΒΥ5 δεν διαφέρουν ουσιαστικά από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της δοκού ΒΧ2. Έτσι η συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί θα είναι πιο συνοπτική.

Διαστασιολόγηση σε κάμψη



Σχήμα 10. Περιβάλλουσα ροπών κάμψης Μ δοκού ΒΥ5

Με βάση την διαδικασία διαστασιολόγησης που παρουσιάζεται στο παράδειγμα 11 των πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων διαστασιολόγησης, η όπλιση των διατομών των άκρων της δοκού είναι αυτή που δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 11. Λεπτομέρειες όπλισης των δύο ακραίων διατομών της δοκού – Ανάλυση Αναφοράς

Ο έλεγχος αντοχής σε κάμψη για τις δύο διατομές του σχήματος 11 από το ΡΑΦ δίνει τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 19. Αποτελέσματα ελέγχου κάμψης της δοκού ΒΥ5 από το ΡΑΦ

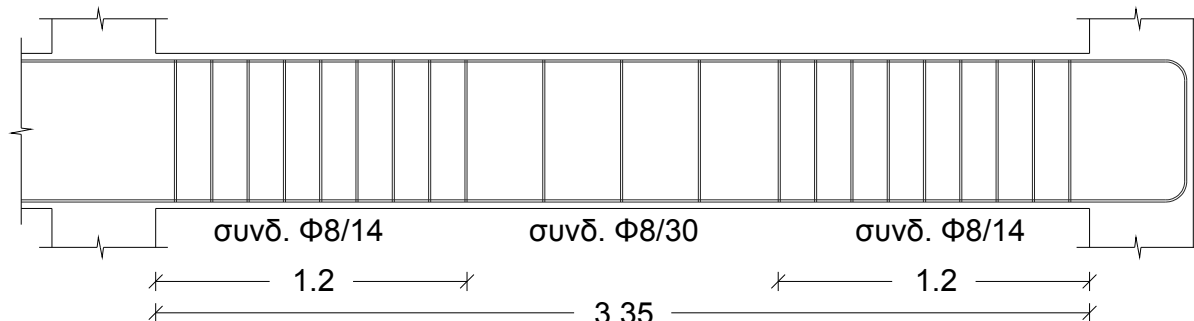
ΚΑΜΨΗ		ΡΟΠΗ ΑΡΝΗΤΙΚΗ				ΡΟΠΗ ΘΕΤΙΚΗ		
x	Θ.Μ.	NSd	MSd	MRd	CR	MSd	MRd	CR
0.00	1	0.0	-113.4	-131.7	0.86	90.3	109.5	0.82
1.67	1	0.0	0.0	-71.5	0.00	16.3	109.9	0.15
3.35	1	0.0	-104.0	-105.9	0.98	65.3	109.7	0.59

Παρατηρούμε ότι ο οπλισμός των ακραίων διατομών όπως αυτός προέκυψε από την διαδικασία διαστασιολόγησης των πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων, είναι σύμφωνα και με τον έλεγχο που εκτελέστηκε από το ΡΑΦ επαρκής.

Κατά τα άλλα, ισχύουν οι παρατηρήσεις που έχουν καταγραφεί για τον έλεγχο σε κάμψη της δοκού ΒΧ2. Ένα όμως ιδιαίτερα χαρακτηριστικό σημείο του ελέγχου της δοκού ΒΥ5 είναι ο λόγος εξάντλησης τη διατομής της δοκού στη στήριξη Β (x=3.35m) για την αρνητική ροπή. Πιο συγκεκριμένα, ο λόγος εξάντλησης του οπλισμού της διατομής αυτής προκύπτει από το ΡΑΦ ίσος με CR=0.98. Δηλαδή πολύ κοντά στη μονάδα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την διαστασιολόγηση που έγινε στα πλαίσια των πρότυπων παραδειγμάτων, σύμφωνα με την οποία το απαιτούμενο εμβαδό οπλισμού είναι 4.62cm² και τοποθετήθηκαν 3Φ14 που έχουν ακριβώς το ίδιο εμβαδόν. Επιπλέον η ροπή σχεδιασμού του πρότυπου παραδείγματος είναι M_{sd}=-101.32kNm και είναι λίγο μικρότερη της ροπής σχεδιασμού που προκύπτει από την ανάλυση με το ΡΑΦ. Επομένως υπάρχει πολύ καλή προσέγγιση των δύο επιλύσεων τόσο όσον αφορά στη ροπή σχεδιασμού όσο και στη ροπή αντοχής.

Διαστασιολόγηση σε διάτμηση

Με βάση την διαδικασία διαστασιολόγησης που παρουσιάζεται στο παράδειγμα 11 των πρό- τυπων αριθμητικών παραδειγμάτων διαστασιολόγησης, η όπλιση της δοκού έναντι διάτμησης είναι αυτή που δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 12. Οπλισμός διάτμησης δοκού ΒΥ5 – Ανάλυση Αναφοράς

Ο οπλισμός αυτός υπολογίστηκε με βάση τον ικανοτικό σχεδιασμό.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου σε διάτμηση με τις τέμνουσες ικανοτικού σχεδιασμού όπως προκύπτουν από το ΡΑΦ δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 20. Αποτελέσματα ικανοτικού ελέγχου διάτμησης της δοκού ΒΥ5 από το ΡΑΦ

ΔΙΑΤΜΗΣΗ - ΙΚΑΝΟΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ									
x	Θ.Μ.	V _{cd}	ζ	Δισδ	V _{wd}	V _{Rd3}	V _{Rd2r}	V _{CD}	CR
0.00	1	12.4	-0.44	ΟΧΙ	157.5	169.9	403.2	113.4	0.67
1.20	1	39.7			73.5	113.2		94.1	0.83
2.15	1	39.7			73.5	113.2		84.8	0.75
3.35	1	12.4	-0.57	ΟΧΙ	157.5	169.9	403.2	104.1	0.61

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει το συμπέρασμα ότι η διατομή με τον οπλισμό διάτμησης που υπολογίστηκε στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς είναι επαρκής έναντι διάτμησης και εντός και εκτός των κρίσιμων μηκών όπως άλλωστε θα έπρεπε.

Δεδομένου ότι οι σχέσεις υπολογισμού των τεμνουσών ικανοτικού σχεδιασμού και των αντοχών σε τέμνουσα παρουσιάστηκαν αναλυτικά στα πλαίσια της παρουσίασης του ελέγχου διάτμησης της δοκού ΒΧ2 (σχέσεις (1)-(5)), θα παρουσιαστούν εδώ μόνον οι συγκρίσεις των τιμών χαρακτηριστικών μεγεθών που υπεισέρχονται στον έλεγχο.

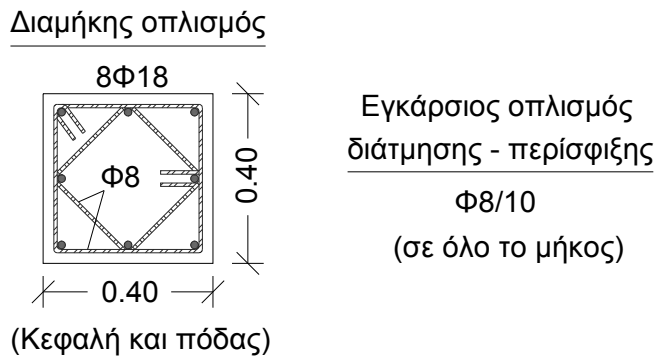
ΠΙΝΑΚΑΣ 21. Συγκριτική παρουσίαση μεγεθών σχεδιασμού και αντοχής που υπεισέρχονται στον έλεγχο διάτμησης

	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
V ^A _{CD,b}	119.28	113.4
V ^B _{CD,b}	115.83	104.1
V _{Rd2}	396	403.2
V _{cd,crit}	12.7	12.4

Παρατηρούνται γενικώς μικρές και αποδεκτές αποκλίσεις. Η αιτιολόγηση των αποκλίσεων αυτών μπορεί να στηριχθεί στα όσα εκτέθηκαν στα σχόλια του πίνακα 18.

4.4.2 Έλεγχος Αντοχής Υποστυλωμάτων
Υποστύλωμα C3 → $b=0.40m, h=0.40m$

Από την διαδικασία διαστασιολόγησης που παρουσιάζεται στα πρότυπα αριθμητικά παραδείγματα διαστασιολόγησης, προκύπτουν για το υποστύλωμα C3 ο διαμήκης και ο εγκάρσιος οπλισμός του παρακάτω σχήματος:



Σχήμα 13. Διαμήκης και εγκάρσιος οπλισμός υποστυλώματος C3 – Ανάλυση Αναφοράς

Διαστασιολόγηση σε κάμψη

Ο έλεγχος αντοχής των υποστυλωμάτων σε κάμψη από το ΡΑΦ γίνεται με χρήση των πιθανών μέγιστων και ταυτόχρονων τιμών της αξονικής δύναμης P και των ροπών M_2 και M_3 . Οι τιμές αυτές επαλληλίζονται με τις αντίστοιχες τιμές των μεγεθών λόγω του συνδυασμού $G+\psi_2Q$ και έτσι προκύπτουν τελικώς 24 συνδυασμοί δράσεων σχεδιασμού (6 για κάθε μία από τις τέσσερις θέσεις μάζας που επιβάλλει ο ΕΑΚ/2000). Πέραν των συνδυασμών αυτών οι κρίσιμες διατομές των υποστυλωμάτων ελέγχονται και στα πλαίσια του ικανοτικού σχεδιασμού (βλ. παράγραφο 5.4.2.1.1. του εγχειριδίου τεκμηρίωσης του ΥΚΟΣ). Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του δυσμενέστερου ικανοτικού ελέγχου αντοχής που εκτελεί το ΡΑΦ στην κεφαλή και στον πόδα του υποστυλώματος C3. Η επιλογή για την παρουσίαση του ικανοτικού ελέγχου στηρίζεται στο γεγονός ότι από αυτόν προέκυψε ο οπλισμός του σχήματος 13.

Στον πίνακα 22 παρουσιάζονται οι δυσμενέστεροι συνδυασμοί του ικανοτικού ελέγχου κάμψης για την κεφαλή και τον πόδα του υποστυλώματος όπως υπολογίζονται από το ΡΑΦ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 22. Δυσμενέστεροι συνδυασμοί ικανοτικού ελέγχου κάμψης για την κεφαλή και τον πόδα του υποστυλώματος C3 από το ΡΑΦ

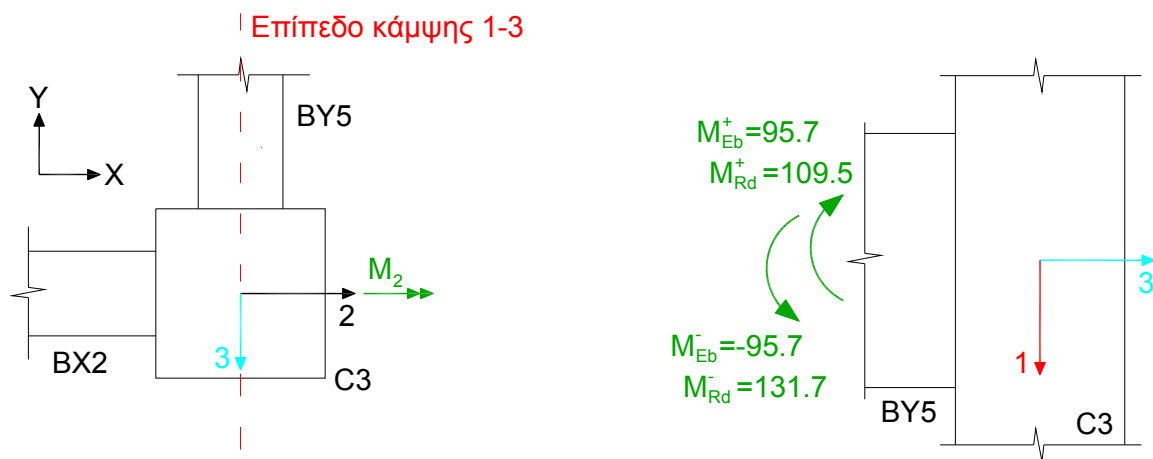
ΚΑΜΨΗ ΜΕ ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ - ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΒΑΣΗΣ - ΙΚΑΝΟΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ											
Θ.Μ.	Θ.Ελχ.	ΤΑ.	acd,+	acd,-	NSd	MCD,2	MSd,3	NRd	MRd,2	MRd,3	CR
4	ΚΕΦ.	2	1.60	1.93	-414.0	-115.8	21.7	-610.6	-170.7	32.1	0.68
Θ.Μ.	Θ.Ελχ.	ΤΑ.	acd,+	acd,-	NSd	MSd,2	MCD,3	NRd	MRd,2	MRd,3	CR
4	ΠΟΔ.	3	1.35	1.35	-239.5	36.2	-120.4	-300.5	45.4	-151.1	0.80

Ακολούθως θα γίνει ανάλυση των εξαγόμενων του παραπάνω πίνακα σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των πρότυπων αναλύσεων αναφοράς.

Κεφαλή υποστυλώματος

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα 22, ο δυσμενέστερος συνδυασμός δράσεων για την κεφαλή του υποστυλώματος προκύπτει από την ανάλυση του κτιρίου με τις μάζες των διαφραγμάτων στην θέση 4 (Θ.Μ. 4) σε συνδυασμό με ικανοτικό έλεγχο για κάμψη του υποστυλώματος εντός του τοπικού του επιπέδου 1-3 (βλ. σχήμα 14).

[Σημείωση: Ο τίτλος TA.=2 στον πίνακα των αποτελεσμάτων σημαίνει ότι η ροπή ανάλυσης που πρόκειται να αντικατασταθεί από την ροπή ικανοτικού σχεδιασμού, είναι η ροπή με διάνυσημα παράλληλο με τον τοπικό άξονα 2 της διατομής, δηλαδή η ροπή που αναπτύσσεται όταν το υποστυλόμε κάμπτεται εντός του τοπικού επιπέδου 1-3].



Σχήμα 14. Δεδομένα του δυσμενέστερου ικανοτικού ελέγχου κάμψης στην κεφαλή του υποστυλώματος C3 από το ΡΑΦ

Όπως είναι γνωστό, όταν εκτελείται ικανοτικός έλεγχος σε υποστυλώματα που ανήκουν σε πλαίσια τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους (όπως συμβαίνει και στην περίπτωση του υποστυλώματος C3) η διαδικασία είναι η εξής:

Ξεκινώντας από την τριάδα των μεγεθών έντασης που προκύπτει από την ανάλυση, αντικαθίστανται διαδοχικά οι ροπές κάμψης τα διανύσματα των οποίων βρίσκονται εντός των επιπέδων των πλαισίων στα οποία ανήκει το υποστυλόμε, από τις ροπές ικανοτικού σχεδιασμού (βλ. εδάφιο 4.1.4.1[6] του ΕΑΚ/2000, και παράγραφο 5.4.2.1.1. εγχειριδίου τεκμηρίωσης του ΥΚΟΣ).

Εντός του πλαισίου της ως άνω περιγραφόμενης διαδικασίας, ο δυσμενέστερος ικανοτικός έλεγχος που εκτελεί το ΡΑΦ στην κεφαλή του υποστυλώματος C3 εντός του τοπικού επιπέδου 1-3 (δηλ. κατά την διεύθυνση του καθολικού άξονα Y, βλ. σχήμα 14) γίνεται ως εξής:

Η τριάδα των μεγεθών έντασης που προκύπτουν από την ανάλυση είναι:

$$P=-414.04\text{kN} \quad M_2=-64.55\text{kNm} \quad M_3=21.75\text{kNm}$$

(Η συγκεκριμένη τριάδα ανήκει στον συνδυασμό δράσεων: $G+\psi_2Q-exM_2$)

Σύμφωνα με την παράγραφο 4.1.4.1 του ΕΑΚ/2000 η ροπή ικανοτικού σχεδιασμού προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις:

$$M_{CD,c} = \alpha_{CD} \cdot M_{Ec} \quad [\text{Σχέση (4.5), ΕΑΚ/2000}] \tag{6a}$$

$$\alpha_{CD} = \gamma_{Rd} \cdot \left[\frac{\sum M_{Rd}}{\sum M_{Eb}} \right] \quad [\text{Σχέση (4.6), ΕΑΚ/2000}] \quad (6\beta)$$

Δεδομένου ότι ο συγκεκριμένος ικανοτικός έλεγχος εκτελείται εντός του τοπικού επιπέδου 1-3 αυτό σημαίνει ότι για τον υπολογισμό του α_{cd} χρησιμοποιούνται δεδομένα της δοκού ΒΥ5 όπως φαίνεται και στο σχήμα 14. Επιπλέον, επειδή η δυσμενέστερη τριάδα του ικανοτικού σχεδιασμού προκύπτει από το συνδυασμό $G+\psi_2Q-exM_2$ (δηλαδή για αρνητική φορά της σεισμικής ροπής του υποστυλώματος) ο υπολογισμός του α_{CD} (α_{CD2}) θα πρέπει να γίνει με βάση την αρνητική ροπή αντοχής της δοκού ΒΥ5. Δηλαδή:

$$\alpha_{CD2}(-) = 1.4 \cdot \left[\frac{|-131.7|}{|-95.7|} \right] = 1.93 \quad (7\alpha)$$

Έτσι η αντικατάσταση της ροπής $M_2=-64.57\text{kNm}$ θα πρέπει να γίνει από την ροπή ικανοτικού σχεδιασμού:

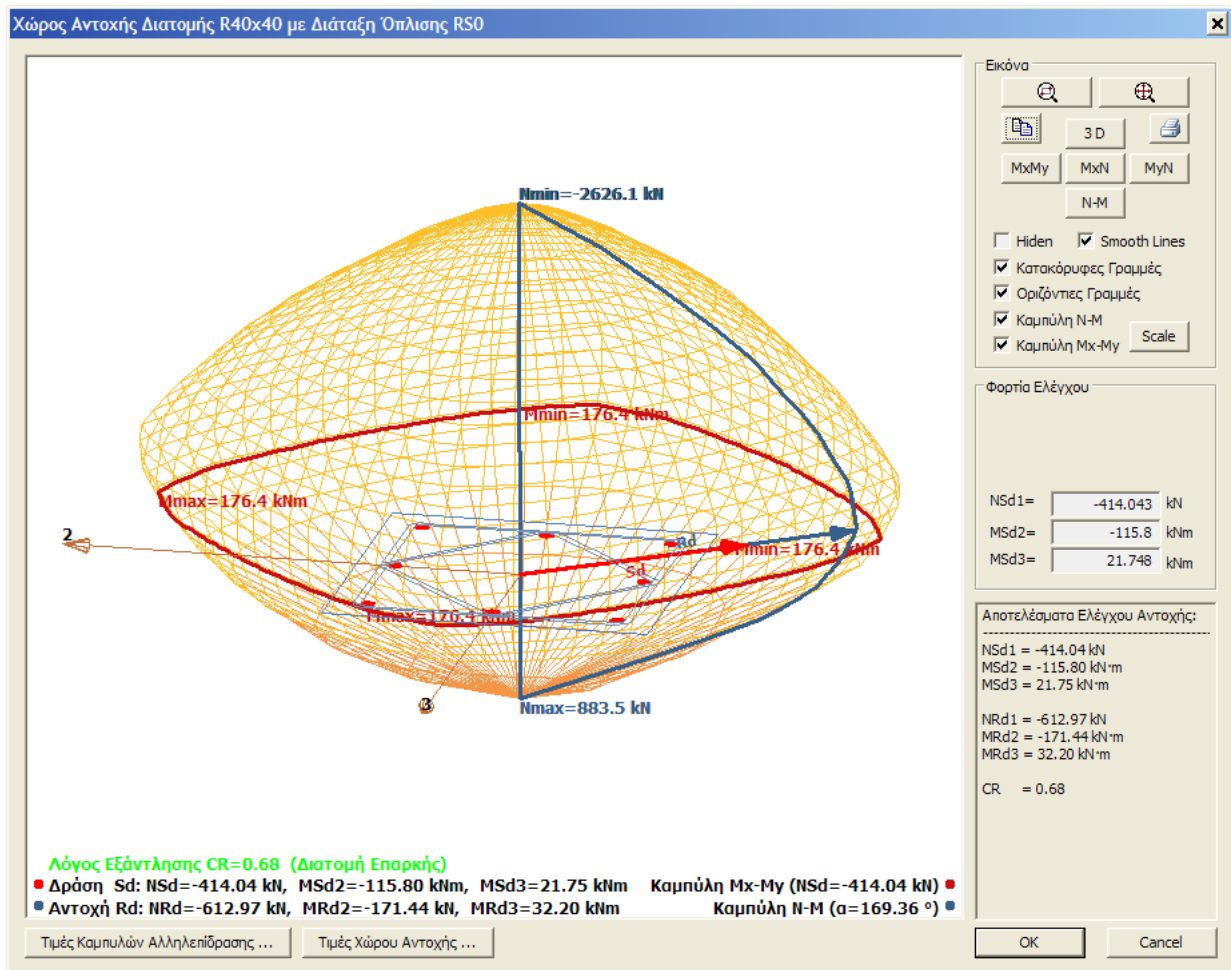
$$M_{CD,c} = 1.93 \cdot (-60.12) = -116.0\text{kNm} \quad (7\beta)$$

(Όπου, όπως μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί από τις σχετικές κάρτες του προγράμματος, -60.13kNm είναι η πιθανή ακραία (με αρνητικό πρόσημο) τιμή της σεισμικής ροπής στην κεφαλή του υποστυλώματος C3 για τη θέση μάζας 4).

Έτσι η τελική – και δυσμενέστερη σύμφωνα με τον πίνακα 22 – τριάδα ικανοτικού σχεδιασμού στην κεφαλή του υποστυλώματος C3 είναι:

$$P=-414.0\text{kN} \quad M_2=-115.8 \approx -116\text{kNm} \quad M_3=21.75\text{kNm}$$

Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα 22, για την συγκεκριμένη τριάδα μεγεθών έντασης, ο λόγος εξάντλησης είναι $CR=0.68$ (βλ. ακόλουθο σχήμα):



Σχήμα 15. Αποτελέσματα ικανοτικού ελέγχου αντοχής στην κεφαλή του υποστυλώματος C3
 Η αντίστοιχη αλληλουχία υπολογισμών που εκτελείται στα πλαίσια των πρότυπων παραδειγμάτων διαστασιολόγησης είναι:

- Δυσμενέστερος εκ των 24 συνδυασμών ο συνδυασμός $G+\psi_2Q+exM_2$ από την ανάλυση για τη θέση μάζας 4:

$$P=-425.80\text{kN} \quad M_2=+64.14\text{kNm} \quad M_3=+22.07\text{kNm}$$

(Τα πρόσημα των ροπών είναι με βάση το τοπικό σύστημα του στοιχείου κατά την επίλυση αναφοράς: βλ. σχήμα 6).

Έτσι ο ικανοτικός έλεγχος θα γίνει για κάμψη του υποστυλώματος εντός του τοπικού επιπέδου του 1-3 (κατά την οποία αναπτύσσονται ροπές με διάνυσμα παράλληλο με τον τοπικό άξονα 2, δηλ. M_2). Επομένως θα γίνει χρήση των δεδομένων της δοκού ΒΧ2.

- Τα δεδομένα της δοκού ΒΧ2 είναι: $M_{Eb}=\pm 94.48\text{kNm}$ και $M_{Rd}=151.05\text{kNm}$
- Η ροπή ικανοτικού σχεδιασμού είναι:

$$\alpha_{CD2}(-) = 1.4 \cdot \left[\frac{|-151.01|}{|-96.48|} \right] = 2.191 \tag{8\alpha}$$

$$M_{CD,c} = 2.191 \cdot (59.8887) = 131.21\text{kNm} \tag{8\beta}$$

- Η τελική τριάδα μεγεθών σχεδιασμού είναι:

$$P=-425.80\text{kN} \quad M_2=+131.21\text{kNm} \quad M_3=+22.07\text{kNm}$$

Από την τριάδα αυτή – και με βάση πίνακες διαστασιολόγησης – προκύπτει απαίτηση για οπλισμό $A_s=14.72\text{cm}^2$ ο οποίος είναι μικρότερος του ελάχιστου επιτρεπτού. Έτσι τοποθετείται ο οπλισμός του σχήματος 13.

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων του πίνακα 22 με τα αποτελέσματα των πρότυπων αναλύσεων προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο δυσμενέστερος συνδυασμός είναι και στις δύο εξεταζόμενες περιπτώσεις ο ίδιος. Η διαφορά που εμφανίζεται στον υπολογισμό του α_{CD} (2.191 από την πρότυπη επίλυση, και 1.93 από την επίλυση με το ΡΑΦ) προέρχεται από την διαφορετική τιμή της ροπής αντοχής της δοκού ΒΥ5 η οποία στα πλαίσια της πρότυπης επίλυσης υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη και τον οπλισμό της πλάκας εντός του συνεργαζόμενου πλάτους της δοκού ενώ στην περίπτωση της επίλυσης με το ΡΑΦ ο οπλισμός αυτός αγνοήθηκε. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η χρησιμοποιούμενη τιμή της ροπής αντοχής να είναι μικρότερη στην περίπτωση της επίλυσης με το ΡΑΦ (131.7kNm έναντι 151.01kNm).

Πόδας υποστυλώματος

Ο ικανοτικός έλεγχος στους πόδες των υποστυλωμάτων στις θέσεις πάκτωσης γίνεται σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (εδάφιο 4.1.4.2[2]) με τη ροπή:

$$M_{CD,c} = 1.35 \cdot M_{Ec} \geq M_{G+\psi_2 Q \pm E} \quad (9)$$

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 22 ο δυσμενέστερος ικανοτικός έλεγχος στον πόδα του υποστυλώματος – σύμφωνα με το ΡΑΦ – στηρίζεται στα μεγέθη ανάλυσης που προκύπτουν από τον σεισμικό συνδυασμό για την μάζα στη θέση 4 (Θ.Μ. 4) και εκτελείται εντός του τοπικού επιπέδου 1-2 (ΤΑ.=3). Η διαδικασία του ελέγχου είναι συνοπτικά η εξής:

- Δυσμενέστερος εκ των 24 συνδυασμών ο συνδυασμός $G+\psi_2 Q - exM_3$ από την ανάλυση για τη θέση μάζας 4:

$$P=-239.55\text{kN} \quad M_2=36.17\text{kNm} \quad M_3=-85.96\text{kNm}$$

Έτσι ο ικανοτικός έλεγχος θα γίνει για κάμψη του υποστυλώματος εντός του τοπικού επιπέδου του 1-2 (κατά την οποία αναπτύσσονται ροπές με διάνυσμα παράλληλο με τον τοπικό άξονα 3, δηλ. M_3).

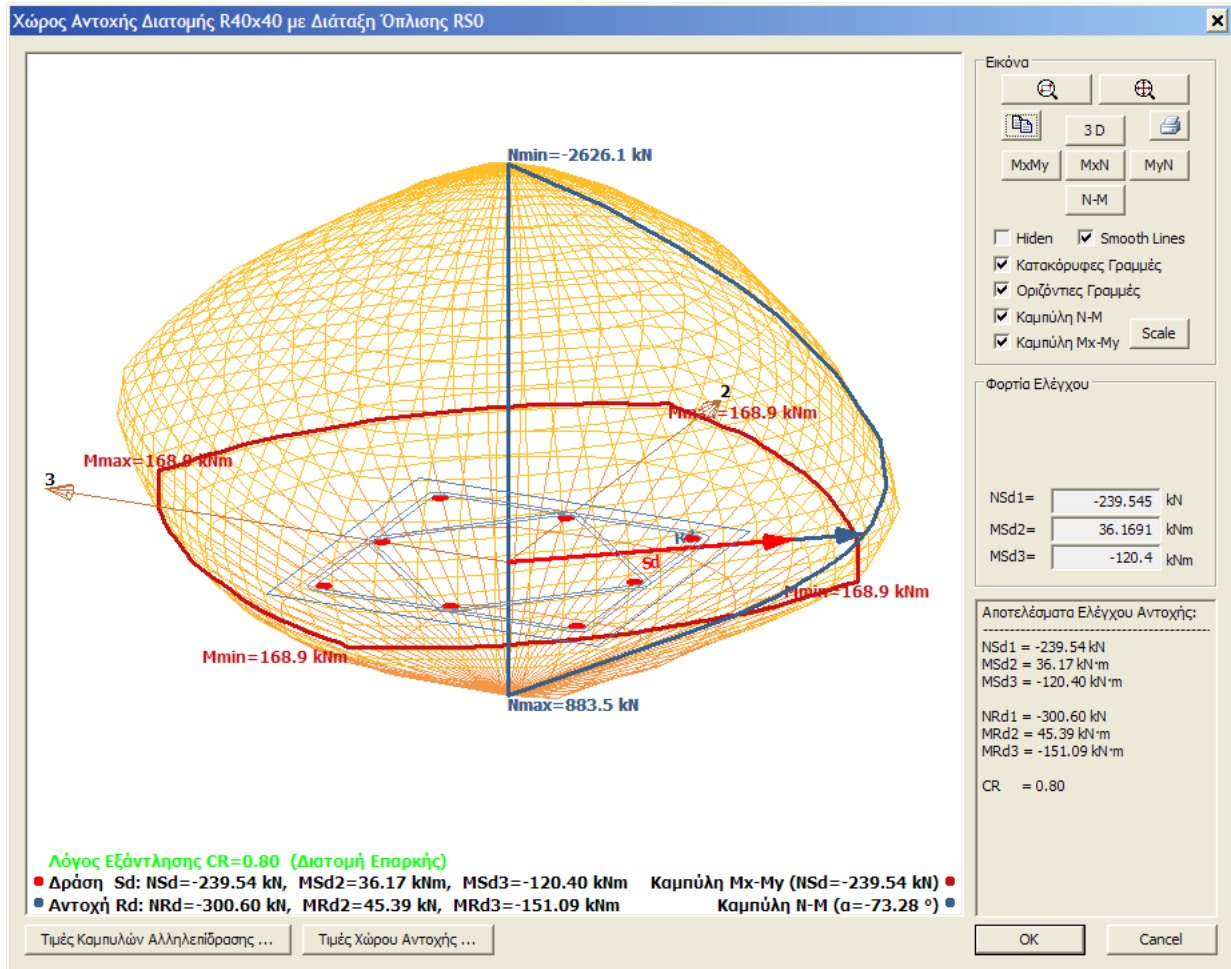
- Η ροπή ικανοτικού σχεδιασμού είναι:

$$M_{CD,c} = 1.35 \cdot (-89.21) = -120.4\text{kNm} \quad (10)$$

- Η τελική τριάδα μεγεθών σχεδιασμού είναι:

$$P=-239.55\text{kN} \quad M_2=36.17\text{kNm} \quad M_3=-120.4\text{kNm}$$

Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα 22, για την συγκεκριμένη τριάδα μεγεθών έντασης, ο λόγος εξάντλησης είναι $CR=0.80$, δηλαδή η διατομή είναι επαρκής (βλ. ακόλουθο σχήμα):



Σχήμα 16. Αποτελέσματα ικανοτικού ελέγχου αντοχής στον πόδα του υποστυλώματος C3

Η αντίστοιχη αλληλουχία υπολογισμών που εκτελείται στα πλαίσια των πρότυπων παραδειγμάτων διαστασιολόγησης είναι:

- Δυσμενέστερος εκ των 24 συνδυασμών ο συνδυασμός $G+\psi_2Q-exM_3$ από την ανάλυση για τη θέση μάζας 4:

$$P=-254.10\text{kN} \quad M_2=-36.38\text{kNm} \quad M_3=-86\text{kNm}$$

(Τα πρόσημα των ροπών είναι με βάση το τοπικό σύστημα του στοιχείου κατά την επίλυση αναφοράς: βλ. σχήμα 6).

Έτσι ο ικανοτικός έλεγχος θα γίνει για κάμψη του υποστυλώματος εντός του τοπικού επιπέδου του 1-2 (κατά την οποία αναπτύσσονται ροπές με διάνυσμα παράλληλο με τον τοπικό άξονα 3, δηλ. M_3).

- Η ροπή ικανοτικού σχεδιασμού είναι:

$$M_{CD,c} = 1.35 \cdot (-89.19) = -120.4\text{kNm} \quad (11)$$

- Η τελική τριάδα μεγεθών σχεδιασμού είναι:

$$P=-254.10\text{kN} \quad M_2=-36.38\text{kNm} \quad M_3=-120.4\text{kNm}$$

Από την τριάδα αυτή – και με βάση πίνακες διαστασιολόγησης – προκύπτει απαίτηση για οπλισμό $A_s=16.67\text{cm}^2$ ο οποίος είναι ελάχιστα μεγαλύτερος του ελάχιστου επιτρεπτού. Έτσι τοποθετείται ο οπλισμός του σχήματος 13.

Παρατηρούμε ότι για τον πόδα του υποστυλώματος υπάρχει πολύ καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ με τα αποτελέσματα αναφοράς σχετικά με την τελική τριάδα εντασιακών μεγεθών ελέγχου.

Διαστασιολόγηση σε διάτμηση

Έπειδη τόσο η διατομή όσο και ο οπλισμός της είναι συμμετρική (βλ. σχήμα 13) θα παρουσιάσουν τα αποτελέσματα του ελέγχου διάτμησης για μόνο μία διεύθυνση (για τη διεύθυνση του τοπικού άξονα 2: Δ.Ελ.=2). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δυσμενέστερα αποτελέσματα του ελέγχου διάτμησης του υποστυλώματος C3 όπως προκύπτουν από την ανάλυση με το ΡΑΦ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 23. Δυσμενέστεροι συνδυασμοί ικανοτικού ελέγχου διάτμησης για την κεφαλή και τον πόδα του υποστυλώματος C3 από το ΡΑΦ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ - ΙΚΑΝΟΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ								
Θ.Μ.	Δ.ΕΛ.	ΠΕΡ.	Vcd	Vwd	VRd3	VRd2r	VCD	CR
2	2	ΚΡ	75.5	237.2	312.7	508.3	136.5	0.44
2	2	ΜΚ	83.9	237.2	321.1	508.3	136.5	0.43
2	3	ΚΡ	75.5	237.2	312.7	508.3	136.5	0.44
2	3	ΜΚ	83.9	237.2	321.1	508.3	136.5	0.43

Α) Υπολογισμός της τέμνουσας ικανοτικού σχεδιασμού:

Η τέμνουσα ικανοτικού σχεδιασμού υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$V_{CD,c} = 1.40 \cdot \left(\frac{M_{R,c1} + M_{R,c2}}{L_c} \right) \leq q \cdot V_{E,c} \quad (12)$$

Στην παραπάνω σχέση υπεισέρχονται οι ροπές αντοχής του υποστυλώματος στην κεφαλή και στον πόδα του. Όπως είναι γνωστό αυτές οι ροπές αντοχής είναι ροπές αντοχής σε μονοαξονική κάμψη με αξονική δύναμη. Οι αξονικές δυνάμεις που προκύπτουν από τον σεισμικό συνδυασμό δράσεων $G+\psi_2 Q \pm E$ για μία θέση μάζας είναι 6. Από τις 6 αυτές αξονικές δυνάμεις προκύπτουν 12 τιμές για τις ροπές αντοχής (6 για ροπή-δράση με θετικό πρόσημο και 6 για ροπή-δράση με αρνητικό πρόσημο ως προς το τοπικό σύστημα αναφοράς του στοιχείου) στην κεφαλή του υποστυλώματος και άλλες 12 τιμές για τον πόδα. Έτσι για το υποστυλώμα C3 το ΡΑΦ εμφανίζει τον ακόλουθο πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 24. Μονοαξονικές ροπές κάμψης κεφαλής και πόδα υποστυλώματος C3 για τις 6 τιμές των αξονικών δυνάμεων του σεισμικού συνδυασμού δράσεων για τη θέση μάζας 2.

* ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ										
ΚΟΜΒΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ :										
NSd (G+ψ2*Q+E (ακN1))	NSd=	-143.7	MRd2+=	157.7	MRd2=-	-157.7	MRd3+=	157.7	MRd3=-	-157.7
NSd (G+ψ2*Q+E (ακM2))	NSd=	-229.7	MRd2+=	167.3	MRd2=-	-167.3	MRd3+=	167.3	MRd3=-	-167.3
NSd (G+ψ2*Q+E (ακM3))	NSd=	-234.6	MRd2+=	167.6	MRd2=-	-167.6	MRd3+=	167.6	MRd3=-	-167.6
NSd (G+ψ2*Q-E (ακN1))	NSd=	-510.3	MRd2+=	180.1	MRd2=-	-180.1	MRd3+=	180.1	MRd3=-	-180.1
NSd (G+ψ2*Q-E (ακM2))	NSd=	-424.2	MRd2+=	176.8	MRd2=-	-176.8	MRd3+=	176.8	MRd3=-	-176.8
NSd (G+ψ2*Q-E (ακM3))	NSd=	-419.4	MRd2+=	176.6	MRd2=-	-176.6	MRd3+=	176.6	MRd3=-	-176.6
ΚΟΜΒΟΣ ΠΟΔΑ :										
NSd (G+ψ2*Q+E (ακN1))	NSd=	-158.5	MRd2+=	159.5	MRd2=-	-159.5	MRd3+=	159.5	MRd3=-	-159.5
NSd (G+ψ2*Q+E (ακM2))	NSd=	-440.7	MRd2+=	177.5	MRd2=-	-177.5	MRd3+=	177.5	MRd3=-	-177.5
NSd (G+ψ2*Q+E (ακM3))	NSd=	-440.0	MRd2+=	177.4	MRd2=-	-177.4	MRd3+=	177.4	MRd3=-	-177.4
NSd (G+ψ2*Q-E (ακN1))	NSd=	-525.1	MRd2+=	180.7	MRd2=-	-180.7	MRd3+=	180.7	MRd3=-	-180.7
NSd (G+ψ2*Q-E (ακM2))	NSd=	-242.9	MRd2+=	168.0	MRd2=-	-168.0	MRd3+=	168.0	MRd3=-	-168.0
NSd (G+ψ2*Q-E (ακM3))	NSd=	-243.5	MRd2+=	168.1	MRd2=-	-168.1	MRd3+=	168.1	MRd3=-	-168.1

Από τις τιμές του παραπάνω πίνακα επιλέγονται οι μέγιστες ροπές αντοχής της κεφαλής και του πόδα. Έτσι για τον έλεγχο σε τέμνουσα κατά τη διεύθυνση του τοπικού άξονα 2 γίνεται χρήση της τιμής $M_{Rd3}=180.1\text{kNm}$ στην κεφαλή του υποστυλώματος και της τιμής $M_{Rd3}=180.7\text{kNm}$ στον πόδα. Με τις τιμές αυτές προκύπτει η ακόλουθη τιμή της τέμνουσας ικανοτικού σχεδιασμού κατά την διεύθυνση του τοπικού άξονα 2:

$$V_{CD,c} = \min \left\{ \frac{1.40 \cdot (M_{R,c1} + M_{R,c1})}{L_b} = \frac{1.40 \cdot (180.1 + 180.7)}{3.70} = 136.5 \right. \quad (13\alpha)$$

$$\left. q \cdot V_{E,c} = 3.5 \cdot 40.26 = 140.91 \right\} = 136.5\text{kN}$$

Η αντίστοιχη τιμή των αναλύσεων αναφοράς είναι:

$$V_{CD,c} = \min \left\{ \frac{1.40 \cdot (M_{R,c1} + M_{R,c1})}{L_b} = \frac{1.40 \cdot (179.2 + 183.47)}{4.00} = 126.93 \right. \quad (13\beta)$$

$$\left. q \cdot V_{E,c} = 3.5 \cdot 40.54 = 141.89 \right\} = 126.93\text{kN}$$

Παρατηρούμε ότι υπάρχει μία απόκλιση της τάξης του 7% στις τιμές της ικανοτικής τέμνουσας. Αυτή η απόκλιση δεν οφείλεται στις διαφορετικές τιμές των ροπών αντοχής του υποστυλώματος, οι οποίες άλλωστε ελάχιστα διαφέρουν. Η απόκλιση οφείλεται στο ότι το μήκος του υποστυλώματος που λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς με το ΡΑΦ είναι το καθαρό μήκος του οποίο προκύπτει μετά την αφαίρεση του στερεού του βραχίονα ($L_c=4.0-0.3=3.7\text{m}$). Αντίθετα, κατά τον υπολογισμό που γίνεται στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς, το μήκος του υποστυλώματος λαμβάνεται ίσο με 4.0m.

B) Τέμνουσα αντοχής λόγω λοξής θλίψης κορμού:

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z = \frac{1}{2} \cdot \left(0.70 - \frac{20}{200} \right) \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1.5} \cdot 0.4 \cdot (0.9 \cdot 0.353) = 508.32\text{kN} > 136.5\text{kN} \quad (14)$$

Η αντίστοιχη τιμή της τέμνουσας που υπολογίζεται στα πλαίσια των πρότυπων αναλύσεων αναφοράς είναι $V_{Rd2}=504\text{kN}$ και είναι πρακτικώς ίση με την τιμή που υπολογίζεται από το ΡΑΦ.

Γ) Έλεγχος οπλισμού διάτμησης

Υπολογίζεται αρχικά η ανηγμένη αξονική δύναμη του υποστυλώματος προκειμένου να προσδιοριστεί αν το υποστυλόμετρο είναι στοιχείο κυρίως καμπτόμενο ή στοιχείο υπό κάμψη με θλιπτική δύναμη σύμφωνα με την παράγραφο 11.2.3.2β του ΕΚΟΣ/2000. Για τον υπολογισμό αυτό σύμφωνα με την συγκεκριμένη παράγραφο του κανονισμού χρησιμοποιείται η τιμή της αξονικής δύναμης που προκύπτει από την επίδραση των οιονεί μονίμων φορτίων $G+\psi_2Q$. Από τις τιμές της αξονικής δύναμης στην κεφαλή και στον πόδα του υποστυλώματος, το ΡΑΦ κάνει χρήση της τιμής της κεφαλής. Έτσι για το υποστυλόμετρο C3: $N_{Sd}=-327.0\text{kN}$ (βλ. πίνακα 3). Επομένως:

$$v_d = \frac{N_{Sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-327.0}{0.4 \cdot 0.4 \cdot (20 \cdot 10^3 / 1.5)} = -0.153 < -0.10 \rightarrow \text{κάμψη με θλιπτική δύναμη}$$

Στοιχείο υπό κάμψη με θλιπτική δύναμη (15)

Επομένως σύμφωνα με την παράγραφο 11.2.3.3β(ii) του ΕΚΟΣ/2000 η τέμνουσα που παραλαμβάνει το σκυρόδεμα V_{cd} προκύπτει από την τέμνουσα V_{Rd1} με πολλαπλασιασμό με το συντελεστή 0.9. Έτσι οι υπολογισμοί του ΡΑΦ γίνονται ως εξής:

$$V_{Rd1} = \left[\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40 \cdot \rho_\lambda) + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad (16)$$

$$k = 1.60 - d = 1.60 - 0.353 = 1.247 > 1.00.$$

$$\rho_\lambda = \frac{A_{sl}}{(b_w \cdot d)} = \frac{3 \cdot 2.54}{40 \cdot 35.3} = \frac{7.62}{1412} = 5.4 \cdot 10^{-3} \leq 0.02 \quad (17)$$

[Ο αριθμητής στην παραπάνω σχέση αντιστοιχεί στο εμβαδό του εφελκυσμένου οπλισμού της διατομής. Στην περίπτωση του υποστυλώματος C3 (βλ. σχήμα 13) ο εφελκυσμένος οπλισμός είναι ίσος με το 3Φ18 $\rightarrow A_{sl}=7.62\text{cm}^2$].

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Sd}}{A_c} = \frac{-143.8}{0.4 \cdot 0.4} = \frac{-143.8}{0.16} = 898.75 \text{ kN/m}^2 \quad (18)$$

Η αξονική δύναμη σχεδιασμού N_{Sd} (θετική κατά την εισαγωγή στην σχέση υπολογισμού του V_{Rd1} όταν είναι θλιπτική, ενώ από τους υπολογισμούς εξάγεται ως αρνητική) προκύπτει από τον σεισμικό συνδυασμό $G+\psi_2Q \pm E$. Από τους έξι επι μέρους συνδυασμούς για κάθε θέση μάζας επιλέγεται η μικρότερη κατ' απόλυτη τιμή θλιπτική δύναμη, ή η μέγιστη εφελκυστική δύναμη (εισάγεται ως αρνητική στην σχέση υπολογισμού του V_{Rd1}) που αναπτύσσεται στην κεφαλή του υποστυλώματος. Ο λόγος για τον οποίο επιλέγεται η συγκεκριμένη τιμή της αξονικής δύναμης N_{Sd} είναι να εισαχθεί στον υπολογισμό του V_{cd} η τιμή εκείνη της αξονικής δύναμης η οποία την ελαχιστοποιεί. Δηλαδή στόχος είναι να γίνουν οι έλεγχοι με την μικρότερη πιθανή τιμή της συγκεκριμένης αντοχής.

$$V_{Rd1} = \left[(0.26 \cdot 10^3) \cdot 1.247 \cdot (1.20 + 40 \cdot 5.4 \cdot 10^{-3}) + 0.15 \cdot 898.75 \right] \cdot 0.40 \cdot 0.353 = 83.86 \text{ kN} \quad (19\alpha)$$

$$V_{cd} = 0.9 \cdot V_{Rd1} = 0.9 \cdot 83.86 = 75.47 \text{ kN} \quad (19\beta)$$

Και τέλος:

$$V_{wd} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \cdot 0.90 \cdot d \cdot f_{ywd} = 17.173 \cdot 0.9 \cdot 0.353 \cdot \left(\frac{500}{1.15} \right) \cdot 10^{-1} = 237.2 \text{ kN} \quad (20\alpha)$$

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 75.47 + 237.2 = 312.7 \text{ kN} \quad (20\beta)$$

Η τιμή του λόγου $A_{sw}/s=17.173 \text{ cm}^2/\text{m}$ προκύπτει ως εξής:

Όπως φαίνεται στο σχήμα 13, αν γίνει μία νοητή τομή στη διατομή κάθετα στην διεύθυνση του τοπικού άξονα 2, τέμνονται 2 οριζόντια σκέλη συνδετήρα και 2 λοξά. Λόγω του γεγονότος ότι η διατομή του υποστυλώματος είναι τετραγωνική η γωνία των λοξών συνδετήρων ως προς τον τοπικό άξονα 2 είναι ίση με 45° . Η διατομή του κάθε σκέλους είναι $\Phi 8$ κάτι που σημαίνει ότι το εμβαδόν όλων των σκελών είναι ίσο με $A_{skel_{sw}}^{σκέλ} = 0.503 \text{ cm}^2$. Θεωρώντας ότι η τέμνουσα που παραλαμβάνουν οι λοξοί συνδετήρες κατά την διεύθυνση του τοπικού άξονα 2 είναι ανάλογη της προβολής της επιφάνειας τους στον τοπικό άξονα 2, υπολογίζεται η ισοδύναμη επιφάνεια των λοξών συνδετήρων πολλαπλασιάζοντας την πραγματική τους επιφάνεια με $\cos 45^\circ$. Έτσι η συνολική επιφάνεια των 4 σκελών (των δύο οριζοντίων και των δύο λοξών) είναι ίση με:

$$A_{sw} = 2 \cdot 0.503 + 2 \cdot 0.503 \cdot \cos 45^\circ = 1.006 + 0.7113 = 1.7173 \text{ cm}^2$$

Δεδομένου όμως ότι η απόσταση των συνδετήρων είναι 10cm προκύπτει τελικά: $A_{sw}/s=17.173 \text{ cm}^2/\text{m}$

Δ) Συγκεντρωτική συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ΡΑΦ και αναλύσεων αναφοράς. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι τιμές μεγεθών σχεδιασμού και αντοχής που υπεισέρχονται στον έλεγχο διάτμησης:

ΠΙΝΑΚΑΣ 25. Συγκριτική παρουσίαση μεγεθών σχεδιασμού και αντοχής που υπεισέρχονται στον έλεγχο διάτμησης του υποστυλώματος C3.

	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
$V_{CD,c}$	126.93	136.5
V_{Rd1}	85.06	83.86
V_{Rd2}	504	508.32

Παρατηρούνται γενικώς πολύ μικρές και αποδεκτές αποκλίσεις.

Έλεγχος σε περίσφιγξη

(Α) Έλεγχος από το ΡΑΦ

Ο έλεγχος περίσφιγξης των υποστυλωμάτων περιγράφεται αναλυτικά στο εγχειρίδιο του ΥΚΟΣ (παράγραφος 5.4.2.5.). Έτσι εδώ θα παρουσιαστούν συνοπτικά τα αποτελέσματα του ελέγχου.

1) Επιφάνεια σκυροδέματος:

$$A_c = 0.4 \cdot 0.4 = 0.16m^2 \quad (21)$$

2) Επιφάνεια περισφιγμένου πυρήνα:

$$\left. \begin{aligned} A_o &= b_o \cdot d_o \\ b_o = d_o &= b - 2 \cdot (c + \Phi_w) = 0.4 - 2 \cdot (0.03 + 0.008) = 0.324m \end{aligned} \right\} \rightarrow A_o = 0.324^2 = 0.105m^2 \quad (22)$$

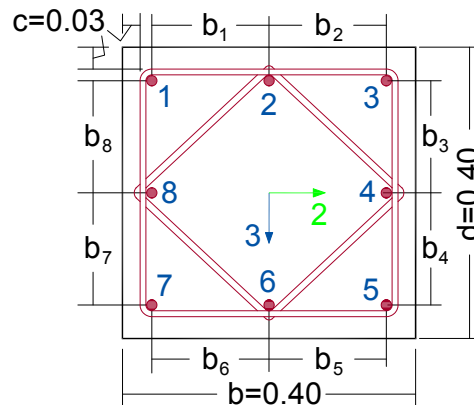
3) Συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης:

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s \quad (23)$$

3α) Συντελεστής αποδοτικότητας λόγω διάταξης συνδετήρων: α_n

$$b_i = \frac{(b - 2 \cdot (c + \Phi_w) - \Phi_L)}{2} = \frac{0.4 - 2 \cdot (0.03 + 0.008) - 0.018}{2} = 0.153$$

$$\alpha_n = 1 - \left(\frac{1}{6 \cdot A_o} \right) \cdot \sum_{i=1}^8 (b_i^2) = 1 - \left(\frac{1}{6 \cdot 0.105} \right) \cdot \sum (8 \cdot 0.153^2) = 0.7027$$



3β) Συντελεστής αποδοτικότητας λόγω απόστασης συνδετήρων: α_s

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s'}{2 \cdot b_o} \right)^2 = \left(1 - \frac{s - \Phi_w}{2 \cdot b_o} \right)^2 = \left(1 - \frac{0.1 - 0.008}{2 \cdot 0.324} \right)^2 = 0.7362 \quad (24)$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0.7027 \cdot 0.7362 = 0.5173 \quad (25)$$

4) Υπολογισμός μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περίσφιγξης:

$$\omega_{wd, \text{τοπ.}} = (\rho_x + \rho_y) \cdot [f_{yd} / f_{cd}] = 2 \cdot \min(\rho_x, \rho_y) \cdot [f_{yd} / f_{cd}] = \rho_{\text{τοπ.}} \cdot [f_{yd} / f_{cd}] \quad (26)$$

$$\rho_x = \rho_y = \frac{2 \cdot A_{sw}(\Phi_8) \cdot (1 + \cos 45)}{[d - 2 \cdot c] \cdot s} = \frac{2 \cdot 0.503 \cdot (1 + 0.7071)}{[40 - 2 \cdot 3] \cdot 10} = \frac{1.7162}{340} = 5.05 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{\text{τοπ.}} = 2 \cdot \min(\rho_x, \rho_y) = 2 \cdot \min(5.05 \cdot 10^{-3}, 5.05 \cdot 10^{-3}) = 2 \cdot 5.05 \cdot 10^{-3} = 0.01$$

$$\omega_{wd, \text{τοπ.}} = \rho_{\text{τοπ.}} \cdot \left[\frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right] = 0.01 \cdot \left[\frac{434.782}{13.333} \right] = 0.326$$

5) Υπολογισμός απαιτούμενου μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περίσφιγξης:

$$\alpha \cdot \omega_{wd, απαιτ.} = 0.85 \cdot v_d \cdot \left(0.35 \cdot \frac{A_c}{A_0} + 0.15 \right) - 0.035 \quad (27)$$

$$v_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{|\min N_{G+\psi 2Q \pm E}|}{0.16 \cdot (13.333 \cdot 10^3)} = \frac{525.45}{2133.33} = 0.246 \quad (28)$$

Ο υπολογισμός του v_d (ανηγμένη αξονική δύναμη) είναι το μοναδικό σημείο του ελέγχου περίσφιξης στο οποίο υπεισέρχονται αποτελέσματα από την ανάλυση. Το ΡΑΦ για τον υπολογισμό του v_d ανιχνεύει την μέγιστη κατ' απόλυτη τιμή θλιπτικής αξονικής δύναμης του υποστυλώματος. Η ανίχνευση της τιμής αυτής γίνεται για κάθε θέση μάζας και τα αποτελέσματα του ελέγχου περίσφιξης τυπώνονται ξεχωριστά. Στα συνοπτικά όμως αποτελέσματα τυπώνονται τα αποτελέσματα της θέσης μάζας που οδηγεί στην μέγιστη απαίτηση οπλισμού περίσφιξης. Έτσι για το υποστύλωμα C3 τυπώνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη θέση μάζας 3 (για την οποία η μέγιστη κατ' απόλυτη τιμή της θλιπτικής αξονικής δύναμης είναι $N_{sd} = -525.45 \text{ kN}$).

$$0.5173 \cdot \omega_{wd, απαιτ.} = 0.85 \cdot 0.245 \cdot \left(0.35 \cdot \frac{0.16}{0.105} + 0.15 \right) - 0.035 \Rightarrow \omega_{wd, απαιτ.} = 0.21 \quad (29)$$

Τα αποτελέσματα του ελέγχου τυπώνονται στα αναλυτικά αποτελέσματα για τη θέση μάζας 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 26. Αναλυτική εκτύπωση αποτελεσμάτων ελέγχου περίσφιξης υποστυλώματος C3 για τη θέση μάζας 3, από το ΡΑΦ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ			
ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	$f_{cd} =$	13333.33	
ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΧΑΛΥΒΑ	$f_{yd} =$	434782.61	
ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	$N_{sd} =$	-525.45	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ	$a =$	0.52	
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ	$\rho =$	0.10E-01	
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ	$\omega_{wd_up} =$	0.329	
ΑΝΗΓΜΕΝΟ ΑΞΟΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	$v_d =$	0.246	
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ	$\omega_{wd_απ} =$	0.209	

Τα αποτελέσματα αυτά τυπώνονται όμως και στο πλαίσιο των συνοπτικών αποτελεσμάτων, καθώς είναι τα πιο δυσμενή από τα αποτελέσματα των τεσσάρων θέσεων μάζας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 27. Συνοπτική εκτύπωση των δυσμενεστέρων αποτελεσμάτων ελέγχου περίσφιξης του υποστυλώματος C3 από το ΡΑΦ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ								
Θ.Μ.	Θέση	N_{sd}	v_d	α	ρ	$\omega_{wd, υπαρχ}$	$\omega_{wd, απαιτ}$	CR
3	Πόδας	-525.4	0.25	0.52	0.0101	0.33	0.21	0.63

(B) Έλεγχος πρότυπου παραδείγματος

1) Επιφάνεια σκυροδέματος:

$$A_c = 0.4 \cdot 0.4 = 0.16 \text{ m}^2 \quad (30)$$

2) Επιφάνεια περισφιγμένου πυρήνα:

$$A_0 = 0.09 \text{ m}^2 \quad (31)$$

3) Συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης:

$$\alpha_n = 1 - \left(\frac{1}{6 \cdot A_0} \right) \cdot \sum_{i=1}^8 (b_i^2) = 1 - \left(\frac{8 \cdot 0.15^2}{6 \cdot 0.09} \right) = 0.6667 \quad (32)$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s'}{2 \cdot b_0} \right)^2 = \left(1 - \frac{s - \Phi_w}{2 \cdot b_0} \right)^2 = \left(1 - \frac{0.1 - 0.008}{2 \cdot 0.30} \right)^2 = 0.7168$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0.6667 \cdot 0.7168 = 0.478 \quad (33)$$

4) Υπολογισμός μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περίσφιγξης:

$$\rho_x = \rho_y = \frac{3 \cdot A_{sw}(\Phi_8)}{d_0 \cdot s} = \frac{3 \cdot 0.503}{30 \cdot 10} = \frac{1.7162}{300} = 5.03 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{\text{τοπ}} = 2 \cdot \min(\rho_x, \rho_y) = 2 \cdot \min(5.03 \cdot 10^{-3}, 5.03 \cdot 10^{-3}) = 2 \cdot 5.03 \cdot 10^{-3} = 0.01$$

$$\omega_{\text{wd,τοπ}} = \rho_{\text{τοπ}} \cdot \left[\frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right] = 0.01 \cdot \left[\frac{434.782}{13.333} \right] = 0.326$$

5) Υπολογισμός απαιτούμενου μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περίσφιγξης:

$$v_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{|\min N_{G+\psi 2Q \pm E}|}{0.16 \cdot (13.333 \cdot 10^3)} = \frac{536.22}{2133.33} = 0.251 \quad (34)$$

$$0.478 \cdot \omega_{\text{wd, απαιτ.}} = 0.85 \cdot 0.251 \cdot \left(0.35 \cdot \frac{0.16}{0.09} + 0.15 \right) - 0.035 \Rightarrow \omega_{\text{wd, απαιτ.}} = 0.27$$

Γ) Συγκεντρωτική συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ΡΑΦ και αναλύσεων αναφοράς.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι τιμές μεγεθών που υπεισέρχονται στον έλεγχο περίσφιγξης:

ΠΙΝΑΚΑΣ 28. Συγκριτική παρουσίαση μεγεθών που υπεισέρχονται στον έλεγχο περίσφιγξης του υποστυλώματος C3

	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
α_n	0.667	0.703
α_s	0.717	0.736
α	0.48	0.52
v_d	0.251	0.246
$\omega_{\text{wd, απαιτ}}$	0.27	0.21

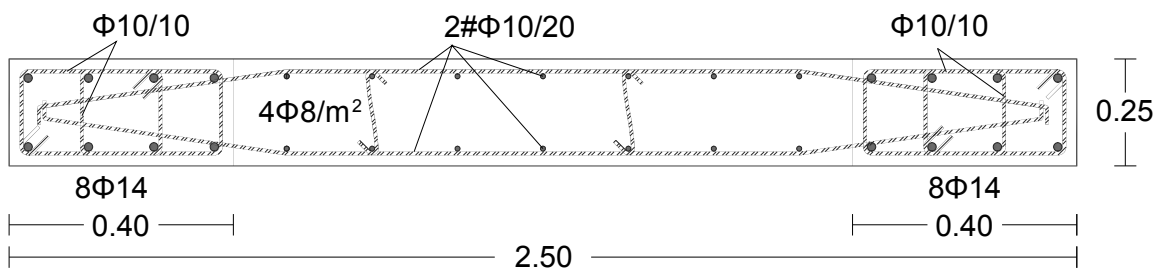
Από τη μελέτη του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε την γενικώς πολύ καλή σύγκλιση των τιμών των βασικών παραμέτρων του ελέγχου α και v_d . Σχετικά μεγάλη είναι απόκλιση που παρατηρείται στο βασικό εξαγώμενο του ελέγχου δηλαδή το $\omega_{\text{wd, απαιτ}}$. Για την απόκλιση αυτή μπορεί να δοθεί η εξήγηση ότι οφείλεται στις διαφορετικές τιμές του α και του εμβαδού του περισφιγμένου πυρήνα A_0 . Η τιμή που προκύπτει από το ΡΑΦ για το A_0 είναι $A_0=0.105\text{m}^2$, ενώ από την ανάλυση αναφοράς $A_0=0.09\text{m}^2$. Όπως αποδεικνύεται η τιμή του $\omega_{\text{wd, απαιτ}}$ είναι εξαιρετικά

ευαίσθητη στην μεταβολή των τιμών των παραμέτρων αυτών, η διαφοροποίηση των οποίων μεταξύ του ΡΑΦ και του πρότυπου παραδείγματος οφείλεται αποκλειστικά στις διαφορετικές παραδοχές που γίνονται για τον υπολογισμό τους.

4.4.3 Έλεγχος Αντοχής Τοιχώματος

Τοίχωμα T1 → $b=0.25\text{m}$, $l_w=2.50\text{m}$

Από την διαδικασία διαστασιολόγησης που παρουσιάζεται στα πρότυπα αριθμητικά παραδείγματα διαστασιολόγησης, προκύπτουν για το τοίχωμα T1 στο ισόγειο ο διαμήκης και ο εγκάρσιος οπλισμός του παρακάτω σχήματος:



Σχήμα 17. Διαμήκης και εγκάρσιος οπλισμός τοιχώματος T1 στο ισόγειο – Ανάλυση Αναφοράς

Διαστασιολόγηση σε κάμψη

Η διαστασιολόγηση του τοιχώματος έναντι κάμψης για την διατομή στη στάθμη της πάκτωσης γίνεται με τα μεγέθη ανάλυσης παρά το γεγονός ότι το τοίχωμα ανήκει σε κτίριο με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας και επομένως τα δομικά στοιχεία του θα πρέπει να ελέγχονται έναντι μεγεθών ικανοτικού σχεδιασμού. Ο λόγος είναι ότι σύμφωνα με την λογική του ικανοτικού σχεδιασμού του ΕΑΚ/2000 η βάση του τοιχώματος είναι η μοναδική περιοχή του στην οποία επιτρέπεται να συγκεντρωθούν οι ανελαστικές παραμορφώσεις (σχηματισμός πλαστικής άρθρωσης). Έτσι η διατομή στην περιοχή της πάκτωσης δεν διαστασιολογείται (ή ελέγχεται) έναντι μεγεθών ικανοτικού σχεδιασμού αλλά με τα μεγέθη της ανάλυσης.

Με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση με το ΡΑΦ ο δυσμενέστερος συνδυασμών δράσεων είναι ο συνδυασμός $G+\psi_2Q+exM_2$ (υπενθυμίζεται εδώ ότι η ροπή M_2 είναι η ροπή που δρά εντός του κύριου επιπέδου του τοιχώματος). Τα μεγέθη του συνδυασμού αυτού είναι:

$$P=-698.0\text{kN} \quad M_2=558.3\text{kNm} \quad M_3=0.2\text{kNm}$$

Ο συγκεκριμένος συνδυασμός δράσεων είναι δυσμενέστερος και στην περίπτωση της πρότυπης επίλυσης αναφοράς, όπου τα μεγέθη σχεδιασμού είναι:

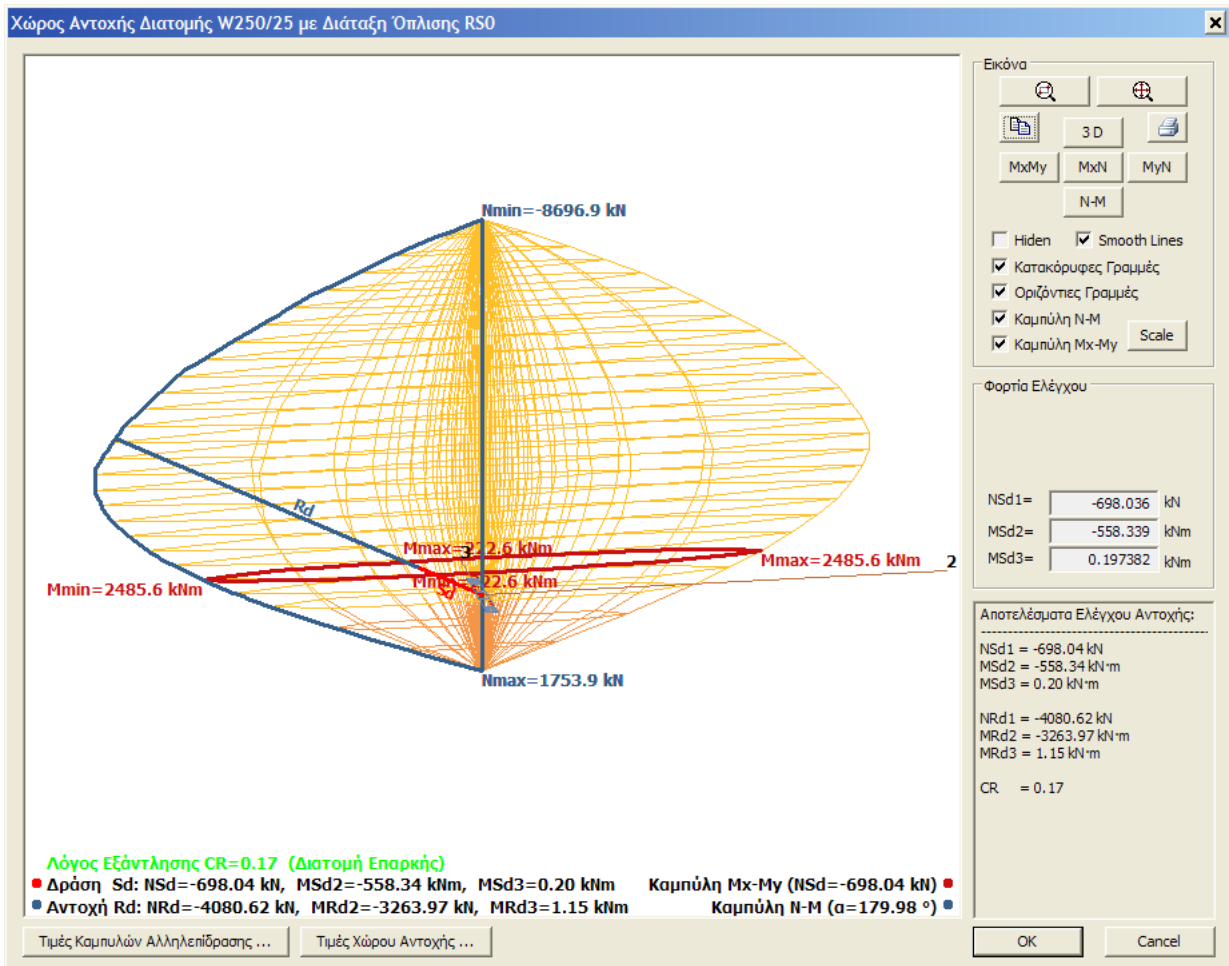
$$P=-709.75\text{kN} \quad M_2=-558.1\text{kNm} \quad M_3=0.0\text{kNm}$$

Παρατηρούμε ότι τα μεγέθη σχεδιασμού για τη βάση του τοιχώματος T1 δεν διαφέρουν σημαντικά (η διαφορά στο πρόσημο της ροπής M_2 οφείλεται στο διαφορετικό ορισμό των συμβατικά θετικών τιμών ο οποίος δίνεται στο σχήμα 6).

Στον παρακάτω πίνακα παρατείνεται το τμήμα της συνοπτικής εκτύπωσης αποτελεσμάτων που αφορά στον έλεγχο έναντι κάμψης του τοιχώματος T1 από το ΡΑΦ:

ΠΙΝΑΚΑΣ 29. Ο δυσμενέστερος έλεγχος σε κάμψη για τη διατομή του τοιχώματος T1 στη διατομή στη στάθμη της πάκτωσης από το ΡΑΦ.

ΚΑΜΨΗ ΜΕ ΟΡΘΗ ΕΝΤΑΣΗ - ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ G+ψ.2Q±E								
Θ.Μ.	Θέση	NSd	MSd, 2	MSd, 3	NRd	MRd, 2	MRd, 3	CR
1	ΠΟΔ.	-698.0	-558.3	0.2	-4075.0	-3259.5	1.2	0.17



Σχήμα 18. Παρουσίαση του ελέγχου σε κάμψη στη στάθμη πάκτωσης του τοιχώματος T1

Παρατηρείται ότι ο συντελεστής εξάντλησης που προκύπτει είναι πολύ μικρός ($CR=0.17$). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μήκος της διατομής του τοιχώματος είναι σχετικά μεγάλο σε σχέση με τις απαιτήσεις που θέτει η σεισμική διέγερση. Αυτό είναι σαφές και από την διαστασιολόγηση που γίνεται στα πλαίσια του πρότυπου παραδείγματος. Στα πλαίσια της διαστασιολόγησης αυτής προκύπτει ότι ο οπλισμός που απαιτείται για τα περισφιγμένα άκρα του τοιχώματος είναι μικρότερος από τον ελάχιστο απαιτούμενο (προκύπτει απαίτηση για 5.75cm^2 ενώ ο ελάχιστος επιτρεπτός οπλισμός για την κάθε κρυφοκολώνα είναι $A_{s,min}=0.01 \cdot 40 \cdot 25=10\text{cm}^2$). Επιπλέον, ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί το ΡΑΦ για τον υπολογισμό των ροπών αντοχής λαμβάνει υπόψη και την επιρροή των κατακορύφων ράβδων του πλέγματος που τοποθετούνται στον κορμό. Η επιρροή αυτή δεν λαμβάνεται υπόψη κατά την διαδικασία διαστασιολόγησης του τοιχώματος η οποία στα πλαίσια των πρότυπων παραδειγμάτων γίνεται με τη βοήθεια πινάκων. Έτσι από

τον υπολογισμό με το ΡΑΦ προκύπτουν ακόμα μεγαλύτερες ροπές αντοχής γεγονός όμως που ανταποκρίνεται πιο πολύ στην πραγματική συμπεριφορά του τοιχώματος.

Διαστασιολόγηση σε διάτμηση

Η διαστασιολόγηση των τοιχωμάτων έναντι τέμνουσας γίνεται από το ΡΑΦ μόνον για τέμνουσες που δρουν εντός του κύριου επιπέδου του τοιχώματος (τοπικό επίπεδο 1-3). Η διαδικασία και οι παραδοχές του ελέγχου περιγράφονται αναλυτικά στην παράγραφο 5.4.3.2. του εγχειριδίου θεωρητικής τεκμηρίωσης του ΥΚΟΣ.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δυσμενέστερα αποτελέσματα του ελέγχου διάτμησης του τοιχώματος T1 όπως προκύπτουν από την ανάλυση με το ΡΑΦ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 30. Δυσμενέστεροι συνδυασμοί ικανοτικού ελέγχου διάτμησης για την κεφαλή και τον πόδα του τοιχώματος T1 από το ΡΑΦ

ΔΙΑΤΜΗΣΗ - ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ G+ψ2Q±E ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ									
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ 1-3 :									
Θ.Μ.	Θ.Ελ.	Vcd	as	Vwd	VRd3	VRd2r	VE,w	VCD,w	CR
1	ΚΕΦ.	68.2	0.3	722.8	791.0	1800.0	138.7	485.6	0.61
1	ΠΟΔ.	70.4	0.5	803.7	874.0	1800.0	138.7	485.6	0.56

Όπως φαίνεται στον πίνακα 30 ο δυσμενέστερος συνδυασμός δράσεων προκύπτει από την ανάλυση για τη θέση μάζας 1. Έτσι παρακάτω θα δοθεί η διαδικασία του ελέγχου για τη συγκεκριμένη ανάλυση.

A) Υπολογισμός της τέμνουσας ικανοτικού σχεδιασμού:

Η τέμνουσα ικανοτικού σχεδιασμού υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$V_{CD,w0} = \alpha_{cd} \cdot V_{E,w0} \quad (35\alpha)$$

Όπου ο συντελεστής α_{cd} (συντελεστής ικανοτικής μεγέθυνσης) που δίνεται από την σχέση:

$$\alpha_{cd} = \left[\frac{Y_{Rd} \cdot M_{R,w0}}{M_{E,w0}} \right] \leq \eta \quad (35\beta)$$

$V_{E,w0}$ είναι η μέγιστη τέμνουσα λόγω της σεισμικής δράσης στη βάση του τοιχώματος.

$M_{E,w0}$ είναι η ροπή λόγω της σεισμικής δράσης στη βάση του τοιχώματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 31. Υπολογισμός συντελεστή α_{cd} για το τοίχωμα T1, από το ΡΑΦ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΚΑΝΟΤΙΚΗΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗΣ α_{cd}	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΠΕΡΑΝΤΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΙΚΑΝΟΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΙΧΙΩΝ: γ_{Rd} =	1.30
ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΡΟΠΗ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ: $M_{E,w0}$ =	558.3
ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ : $G + \psi_2 \cdot Q + E(\alpha_{kr} \cdot M_2)$:	
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ : N_{Sd} =	-698.0
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ: $M_{R,w0}(+) =$	2484.8
$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot M_{R,w0} / M_{E,w0} =$	5.7854
ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ : $G + \psi_2 \cdot Q + E(\alpha_{kr} \cdot M_2)$:	
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ : N_{Sd} =	-698.0
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ: $M_{R,w0}(-) =$	-2484.8
$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot M_{R,w0} / M_{E,w0} =$	5.7854
ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ : $G + \psi_2 \cdot Q - E(\alpha_{kr} \cdot M_2)$:	
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ : N_{Sd} =	-698.0
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ: $M_{R,w0}(+) =$	2484.8
$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot M_{R,w0} / M_{E,w0} =$	5.7854
ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ : $G + \psi_2 \cdot Q - E(\alpha_{kr} \cdot M_2)$:	
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ : N_{Sd} =	-698.0
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ: $M_{R,w0}(-) =$	-2484.8
$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot M_{R,w0} / M_{E,w0} =$	5.7854
$\alpha_{cd_max} =$	5.7854
ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ ΤΟΥ α_{cd} : $(q \geq \alpha_{cd} > 1.00) =$	3.5000

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζεται η διαδικασία υπολογισμού του συντελεστή α_{cd} όπως αυτός υπολογίζεται στη βάση του τοιχώματος από το ΡΑΦ. Η διαδικασία υπολογισμού στηρίζεται στον συνδυασμό $G + \psi_2 Q + exM_2$ και στον συνδυασμό $G + \psi_2 Q - exM_2$. Από τους συνδυασμούς αυτούς λαμβάνεται η σεισμική ροπή $M_{E,w0}$, ενώ για την αξονική δύναμη των συγκεκριμένων συνδυασμών υπολογίζεται η ροπή αντοχής $M_{R,w0}(+)$ και η ροπή αντοχής $M_{R,w0}(-)$. Από τις τέσσερις τιμές του α_{cd} που προκύπτουν από την διαδικασία υπολογισμού, επιλέγεται τελικώς η μεγαλύτερη η οποία όμως υπόκειται στον έλεγχο μη υπέρβασης της τιμής του q η οποία στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι ίση με 3.5.

Η σεισμική τέμνουσα λόγω σεισμού στη βάση του τοιχώματος για τη θέση μάζας 1 είναι ίση με:

$$V_{E,w0} = exV_3 = 138.73 \text{ kN}$$

Επομένως η τέμνουσα ικανοτικού σχεδιασμού για τη διατομή στη βάση του τοιχώματος T1 είναι:

$$V_{CD,w0} = \alpha_{cd} \cdot V_{E,w0} = 3.5 \cdot 138.73 = 485.57 \text{ kN} \quad (36)$$

Από τον υπολογισμό που γίνεται στα πλαίσια του παραδείγματος αναφοράς ο συντελεστής α_{cd} υπολογίζεται ως εξής:

$$\alpha_{cd} = \left[\frac{\gamma_{Rd} \cdot M_{R,w0}}{M_{E,w0}} \right] = \left[1.30 \cdot \frac{1770.83}{448.55} \right] = 5.13 > q = 3.5 \Rightarrow \alpha_{cd} = 3.5 \quad (37a)$$

Και η τέμνουσα ικανοτικού σχεδιασμού για τη διατομή στη βάση του τοιχώματος T1:

$$V_{CD,w0} = \alpha_{cd} \cdot V_{E,w0} = 3.5 \cdot 138.73 = 485.56 \text{ kN} \quad (37\beta)$$

Παρατηρούμε ότι οι τιμές των τεμνουσών ικανοτικού σχεδιασμού των δύο υπολογισμών διαφέρουν ελάχιστα.

B) Τέμνουσα αντοχής λόγω λοξής θλίψης κορμού:

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d_e = \frac{1}{2} \cdot \left(0.70 - \frac{20}{200}\right) \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{1.5} \cdot 0.25 \cdot 0.9 \cdot (0.8 \cdot 2.5) = 1800 \text{ kN} \quad (38)$$

Η αντίστοιχη τιμή της τέμνουσας που υπολογίζεται στα πλαίσια των πρότυπων αναλύσεων αναφοράς είναι $V_{Rd2}=1800\text{kN}$, δηλαδή ίση με την τιμή που υπολογίζεται από το ΡΑΦ.

Γ) Έλεγχος διασφάλισης έναντι διαγώνιου ελκυσμού:

Θα παρουσιαστεί η διαδικασία του ελέγχου με τα δεδομένα έντασης και οπλισμού της διατομής στον πόδα του τοιχώματος. Ο έλεγχος ξεκινά με τον υπολογισμό της ανηγμένης αξονικής δύναμης v_d λόγω των οιονεί μόνιμων φορτίων $G+\psi_2Q$:

$$v_d = \frac{N_{Sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-698.04}{0.25 \cdot 2.5 \cdot (20 \cdot 10^3 / 1.5)} = -0.084 > -0.10 \rightarrow \begin{array}{l} \text{Στοιχείο κυρίως} \\ \text{καμπτόμενο} \end{array} \quad (39)$$

Επομένως σύμφωνα με την παράγραφο 11.2.3.3β(i) του ΕΚΟΣ/2000 η τέμνουσα που παραλαμβάνει το σκυρόδεμα V_{cd} προκύπτει από την τέμνουσα V_{Rd1} με πολλαπλασιασμό με το συντελεστή 0.25. Έτσι οι υπολογισμοί του ΡΑΦ γίνονται ως εξής:

$$V_{Rd1} = \left[T_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40 \cdot \rho_\lambda) + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad (40)$$

$$d = L_w - (\alpha/2) = 2.50 - (0.40/2) = 2.3 \text{ m}$$

$$k = 1.60 - 2.3 < 1.00 \Rightarrow k = 1.00$$

$$\rho_\lambda = \frac{A_{sl}}{(b_w \cdot d)} = \frac{12.32}{25 \cdot 230} = \frac{12.32}{5750} = 2.14 \cdot 10^{-3} \leq 0.02 \quad (41)$$

[Ο αριθμητής στην παραπάνω σχέση αντιστοιχεί στο εμβαδό του διαμήκους οπλισμού της ακραίας ενισχυμένης ζώνης. Στην περίπτωση του τοιχώματος T1 (βλ. σχήμα 17) ο οπλισμός αυτός είναι ίσος με το 8Φ14 $\rightarrow A_{sl}=12.32\text{cm}^2$].

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Sd}}{A_c} = \frac{|-646.79|}{0.25 \cdot 2.5} = \frac{646.79}{0.625} = 1034.86 \text{ kN/m}^2 \quad (42)$$

Η αξονική δύναμη σχεδιασμού N_{Sd} (θετική κατά την εισαγωγή στην σχέση υπολογισμού του V_{Rd1} όταν είναι θλιπτική, ενώ από τους υπολογισμούς εξάγεται ως αρνητική) προκύπτει από τον σεισμικό συνδυασμό $G+\psi_2Q \pm E$. Από τους έξι επι μέρους συνδυασμούς για κάθε θέση μάζας επιλέγεται η μικρότερη κατ' απόλυτη τιμή θλιπτική δύναμη, ή η μέγιστη εφελκυστική δύναμη (εισάγεται ως αρνητική στην σχέση υπολογισμού του V_{Rd1}) που αναπτύσσεται στην εξεταζόμενη διατομή. Ο λόγος για τον οποίο επιλέγεται η συγκεκριμένη τιμή της αξονικής δύναμης N_{Sd} είναι να εισαχθεί στον υπολογισμό του V_{cd} η τιμή εκείνη της αξονικής δύναμης η οποία την

ελαχιστοποιεί. Δηλαδή στόχος είναι να γίνουν οι έλεγχοι με την μικρότερη πιθανή τιμή της συγκεκριμένης αντοχής.

$$V_{Rd1} = \left[(0.26 \cdot 10^3) \cdot 1.0 \cdot (1.20 + 40 \cdot 2.14 \cdot 10^{-3}) + 0.15 \cdot 1034.86 \right] \cdot 0.25 \cdot 2.3 = 281.4 \text{ kN} \quad (43\alpha)$$

$$V_{cd} = 0.25 \cdot V_{Rd1} = 0.25 \cdot 281.4 = 70.4 \text{ kN} \quad (43\beta)$$

Προκειμένου να υπολογιστεί η τέμνουσα η οποία μπορεί να παραλειφθεί από τον οπλισμό του κορμού, θα πρέπει σύμφωνα με την παράγραφο 11.2.3.2β να υπολογιστεί ο λόγος διάτμησης α_s . Ο υπολογισμός αυτός γίνεται από το ΡΑΦ ως εξής (βλ. και παράγραφο 5.4.3.2.2. του εγχειριδίου τεκμηρίωσης του ΥΚΟΣ):

$$\alpha_s = \frac{\min \{ M_{G+\psi_2 Q+E}, M_{G+\psi_2 Q-E} \}}{V_{CD} \cdot L_w} = \frac{\min \{ -558.34, 558.34 \}}{485.57 \cdot 2.5} = 0.46 < 1.3 \quad (44)$$

Επομένως ο υπολογισμός του V_{wd} θα πρέπει να γίνει από τη σχέση:

$$V_{wd} = \left[\rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot (\alpha_s - 0.30) + \rho_v \cdot f_{yd,v} \cdot (1.30 - \alpha_s) \right] \cdot b_w \cdot z \quad (45)$$

Τα ρ_h , ρ_v είναι τα ποσοστά του οριζόντιου και του κατακόρυφου οπλισμού κορμού του τοιχώματος που δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\rho_h = \frac{2 \cdot A_{sw,h}}{b_w \cdot s_h} = \frac{2 \cdot 0.785}{25 \cdot 10} = 6.28 \cdot 10^{-3} \quad (46\alpha)$$

$$\rho_v = \frac{\sum A_{sw,v}}{b_w \cdot (L_w - 2 \cdot a)} = \frac{15.708}{25 \cdot (250 - 2 \cdot 40)} = 3.69 \cdot 10^{-3} \quad (46\beta)$$

s_h είναι οι αποστάσεις μεταξύ δύο διαδοχικών οριζοντίων ράβδων της σχάρας (cm). $A_{sw,h}$ είναι το εμβαδόν μιας οριζόντιας ράβδου της σχάρας (σε cm^2). $\sum A_{sw,v}$ το συνολικό εμβαδό των κατακόρυφων ράβδων οι οποίες τοποθετούνται στον κορμό δηλ. σε μήκος $L = L_w - 2 \cdot a = 170 \text{ cm}$.

$$V_{wd} = \left[6.28 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1.15} \cdot (0.46 - 0.30) + 3.69 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{1.15} \cdot (1.30 - 0.46) \right] \cdot 0.25 \cdot 1.8 \quad (47)$$

$$= 803.7 \text{ kN}$$

Και τέλος:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 70.4 + 803.7 = 874.1 \text{ kN} \quad (48)$$

Έλεγχος σε περίσφιξη των ακραίων περιοχών (κρυφοκολωνών)

Ο έλεγχος σε περίσφιξη των ακραίων ενισχυμένων περιοχών των τοιχωμάτων γίνεται από το ΡΑΦ και για τα δύο άκρα των τοιχωμάτων. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται τα συνοπτικά – δυσμενή αποτελέσματα του ελέγχου για το τοίχωμα T1:

ΠΙΝΑΚΑΣ 32. Συνοπτική εκτύπωση των δυσμενεστέρων αποτελεσμάτων ελέγχου περίσφιξης των ακραίων περιοχών του τοιχώματος T1 από το ΡΑΦ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΙΔΕΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ								
Θ. Μ.	ΑΚΡΟ	N _{Sd}	vd	α	ρ	ω _{wd} , υπαρχ	ω _{wd} , απαιτ	CR
1	ΑΡΙΣΤΕΡΟ	409.931	0.307	0.429	0.018	0.602	0.401	0.67
1	ΔΕΞΙΟ	409.931	0.307	0.429	0.018	0.602	0.401	0.67

Η διαδικασία του ελέγχου είναι αυτή που παρουσιάστηκε αναλυτικά για την περίπτωση του υποστυλώματος C3. Έτσι στο κείμενο που ακολουθεί θα παρουσιαστεί η διαδικασία συνοπτικά (για μία από τις δύο ακραίες περιοχές διότι λόγω συμμετρίας τα αποτελέσματα είναι κοινά και για τις δύο) με κάποια σχόλια εφόσον αυτά είναι απαραίτητα.

Το πιο σημαντικό θέμα που χρήζει επεξηγήσεων είναι η διαδικασία υπολογισμού της ενεργού αξονικής δύναμης η οποία θεωρείται πως καταπονεί τις ακραίες ζώνες του τοιχώματος. Για τον υπολογισμό αυτό το ΡΑΦ εφαρμόζει τη σχέση του ΕΚΟΣ/2000 (παράγραφος 18.5.3(β)):

$$N_{\text{eff}} \approx \left(\frac{2}{3}\right) \cdot \left[\left(\frac{N_{Sd}}{2}\right) + \left(\frac{M_{Sd}}{z}\right) \right] \quad (49)$$

Οι παραδοχές με τις οποίες γίνεται η επιλογή των μεγεθών N_{Sd} , M_{Sd} παρουσιάζονται αναλυτικά στην παράγραφο 5.4.3.4. του εγχειριδίου τεκμηρίωσης του ΥΚΟΣ. Έτσι στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης, όπως τα εκτυπώνει το πρόγραμμα στα αναλυτικά αποτελέσματα για τη θέση μάζας 1 (από την οποία με βάση τον πίνακα 32 προκύπτουν τα δυσμενέστερα αποτελέσματα του ελέγχου περίσφιξης):

ΠΙΝΑΚΑΣ 33. Αναλυτική διαδικασία ελέγχου περισφιγξης των ακραίων περιοχών του τοιχώματος T1 για τη θέση μάζας 1.

Ε Λ Ε Γ Χ Ο Σ Π Ε Ρ Ι Σ Φ Ι Γ Ξ Η Σ ΑΚΡΑΙΩΝ ΙΔΕΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ				
ΕΝΕΡΓΕΣ ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΩ ΚΟΜΒΟΥ : $N_{eff} = 2/3 * (-N_{sd}/2 + M_{sd}/z)$				
ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ $z = 2.10$				
ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΙΔΕΑΤΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ :				
ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ : $G + \psi_2 * Q + E(\tau_{\alpha\upsilon\tau.N})$:	$N_{sd} = -648.09$	$M_{sd} = 0.00$	$N_{eff} = -216.03$	$vd = 0.16$
ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ : $G + \psi_2 * Q - E(\alpha_{\kappa\rho.M2})$:	$N_{sd} = -749.37$	$M_{sd} = 0.00$	$N_{eff} = -249.79$	$vd = 0.19$
ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ : $G + \psi_2 * Q - E(\tau_{\alpha\upsilon\tau.M3})$:	$N_{sd} = -698.04$	$M_{sd} = -558.34$	$N_{eff} = -409.93$	$vd = 0.31$
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΟΣ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (ΚΟΜΒΟΣ ΠΟΔΑ) :	$N_{eff} = 409.93$			
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΙΔΕΑΤΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ	=	0.100		
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΕΡΙΣΦΥΓΞΗΣ ΙΔΕΑΤΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ	=	0.054		
ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΙΔΕΑΤΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ vd	=	0.307		
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ:	α	=	0.429	
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ	ρ	=	0.018447	
ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ $\omega_{wd, \text{υπαρχ}}$	=	0.601530		
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ $\omega_{wd, \text{απαίτ}}$	=	0.401305		
ΛΟΓΟΣ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ	CR	=	0.66714	
ΔΕΞΙΟ ΙΔΕΑΤΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ :				
ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ : $G + \psi_2 * Q + E(\alpha_{\kappa\rho.M2})$:	$N_{sd} = -646.70$	$M_{sd} = 0.00$	$N_{eff} = -215.57$	$vd = 0.16$
ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ : $G + \psi_2 * Q + E(\tau_{\alpha\upsilon\tau.M3})$:	$N_{sd} = -698.04$	$M_{sd} = 558.34$	$N_{eff} = -409.93$	$vd = 0.31$
ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ : $G + \psi_2 * Q - E(\tau_{\alpha\upsilon\tau.N})$:	$N_{sd} = -747.98$	$M_{sd} = 0.00$	$N_{eff} = -249.33$	$vd = 0.19$
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΟΣ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (ΚΟΜΒΟΣ ΠΟΔΑ) :	$N_{eff} = 409.93$			
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΙΔΕΑΤΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ	=	0.100		
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΕΡΙΣΦΥΓΞΗΣ ΙΔΕΑΤΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ	=	0.054		
ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΙΔΕΑΤΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ vd	=	0.307		
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ:	α	=	0.429	
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ	ρ	=	0.018447	
ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ $\omega_{wd, \text{υπαρχ}}$	=	0.601530		
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ $\omega_{wd, \text{απαίτ}}$	=	0.401305		
ΛΟΓΟΣ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗΣ ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗΣ	CR	=	0.66714	

Επικεντρώνοντας την προσοχή στην δεξιά ακραία κρυφοκολώνα (η αριστερή είναι συμμετρική) προκύπτει ότι η ενεργός αξονική δύναμη προκύπτει από τα μεγέθη του συνδυασμού $G + \psi_2 Q + \alpha x M_2$ ως εξής:

$$N_{eff} \approx \left(\frac{2}{3}\right) \cdot \left[\left(\frac{N_{sd}}{2}\right) + \left(\frac{M_{sd}}{z}\right) \right] \approx \left(\frac{2}{3}\right) \cdot \left[\left(\frac{698.04}{2}\right) + \left(\frac{558.34}{2.5 - 0.4}\right) \right] = 409.93 \text{ kN} \quad (50)$$

Όσον αφορά στις υπόλοιπες παραμέτρους που υπεισέρχονται στον πίνακα Π33, αυτές υπολογίζονται ως εξής:

1) Επιφάνεια σκυροδέματος:

$$A_c = 0.4 \cdot 0.25 = 0.10 \text{m}^2 \quad (51)$$

2) Επιφάνεια περισφιγμένου πυρήνα:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= b_0 \cdot d_0 \\ b_0 &= b - 2 \cdot (c + \Phi_w) = 0.4 - 2 \cdot (0.03 + 0.01) = 0.32 \text{m} \\ d_0 &= d - 2 \cdot (c + \Phi_w) = 0.25 - 2 \cdot (0.03 + 0.01) = 0.17 \text{m} \end{aligned} \right\} \rightarrow A_0 = 0.054 \text{m}^2 \quad (52)$$

3) Συντελεστής αποδοτικότητας της περισφιγξης:

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s \quad (53)$$

3α) Συντελεστής αποδοτικότητας λόγω διάταξης συνδετήρων: α_n

$$\alpha_n = 1 - \left(\frac{1}{6 \cdot A_0} \right) \cdot \sum_{i=1}^8 (b_i^2) = 1 - \left(\frac{1}{6 \cdot 0.0544} \right) \cdot \sum (6 \cdot 0.102^2 + 2 \cdot 0.156^2) = 0.659 \quad (54)$$

3β) Συντελεστής αποδοτικότητας λόγω απόστασης συνδετήρων: α_s

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s'}{2 \cdot \sqrt{A_0}} \right)^2 = \left(1 - \frac{0.1 - 0.01}{2 \cdot \sqrt{0.0544}} \right)^2 = 0.6513 \quad (55)$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0.659 \cdot 0.6513 = 0.43 \quad (56)$$

4) Υπολογισμός μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περισφιγξης:

$$\omega_{\text{wd,τοπ.}} = (\rho_x + \rho_y) \cdot [f_{yd} / f_{cd}] = 2 \cdot \min(\rho_x, \rho_y) \cdot [f_{yd} / f_{cd}] = \rho_{\text{τοπ.}} \cdot [f_{yd} / f_{cd}] \quad (57)$$

$$\rho_x = \frac{4 \cdot A_{\text{sw}}(\Phi_{10})}{[b - 2 \cdot c] \cdot s} = \frac{4 \cdot 0.785}{[40 - 2 \cdot 3] \cdot 10} = \frac{3.141}{340} = 9.22 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_y = 0.01085$$

$$\rho_{\text{τοπ.}} = 2 \cdot \min(\rho_x, \rho_y) = 2 \cdot 9.22 \cdot 10^{-3} = 0.01848$$

$$\omega_{\text{wd,τοπ.}} = \rho_{\text{τοπ.}} \cdot \left[\frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right] = 0.01848 \cdot \left[\frac{434.782}{13.333} \right] = 0.6026$$

5) Υπολογισμός απαιτούμενου μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού του οπλισμού περισφιγξης:

$$v_d = \frac{N_{\text{sd}}}{A_c \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{|\min N_{G+\psi 2Q \pm E}|}{0.10 \cdot (13.333 \cdot 10^3)} = \frac{409.93}{1333.33} = 0.307 \quad (58)$$

$$0.43 \cdot \omega_{\text{wd, απαιτ.}} = 0.85 \cdot 0.307 \cdot \left(0.35 \cdot \frac{0.10}{0.054} + 0.15 \right) - 0.035 \Rightarrow \omega_{\text{wd, απαιτ.}} = 0.4$$

Συγκεντρωτική συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ΡΑΦ και αναλύσεων αναφοράς.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι τιμές μεγεθών που υπεισέρχονται στον έλεγχο περισφιγξης:

ΠΙΝΑΚΑΣ 34. Συγκριτική παρουσίαση των μεγεθών που υπεισέρχονται στον έλεγχο περίσφιξης των ακραίων περιοχών του τοιχώματος T1.

	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
α_n	0.596	0.659
α_s	0.646	0.651
α	0.38	0.43
v_d	0.310	0.307
$\omega_{wd,υπαρχ}$	0.589	0.603
$\omega_{wd,απαιτ}$	0.52	0.40

Από τη μελέτη του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε την γενικώς πολύ καλή σύγκλιση των τιμών των βασικών παραμέτρων του ελέγχου α και v_d . Σχετικά μεγάλη είναι απόκλιση που παρατηρείται στο βασικό εξαγώμενο του ελέγχου δηλαδή το $\omega_{wd,απαιτ}$. Για την απόκλιση αυτή μπορεί να δοθεί η εξήγηση ότι οφείλεται στις διαφορετικές τιμές του α και του εμβαδού του περισιφιγμένου πυρήνα A_0 . Η τιμή που προκύπτει από το ΡΑΦ για το A_0 είναι $A_0=0.054m^2$, ενώ από την ανάλυση αναφοράς $A_0=0.052m^2$. Όπως αποδεικνύεται η τιμή του $\omega_{wd,απαιτ}$ είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στην μεταβολή των τιμών των παραμέτρων αυτών, η διαφοροποίηση των οποίων μεταξύ του ΡΑΦ και του πρότυπου παραδείγματος οφείλεται αποκλειστικά στις διαφορετικές παραδοχές που γίνονται για τον υπολογισμό τους.

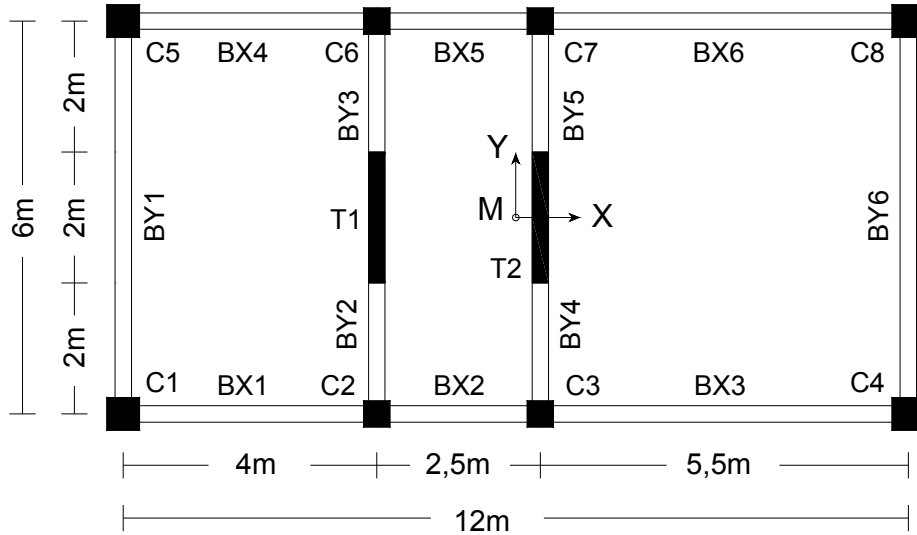
5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14**

Πενταώροφος μικτός φορέας με απλή συμμετρία – Στρεπτική ευαισθησία



5.1 Δεδομένα – Σκαριφήματα φορέα

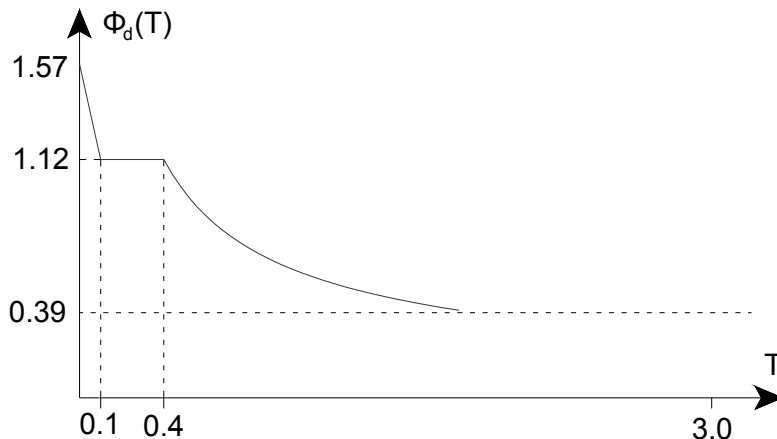
- Υλικό: Οπλισμένο σκυρόδεμα ($E=2.9 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0.2$, $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$)
- Δεδομένα ανωδομής:



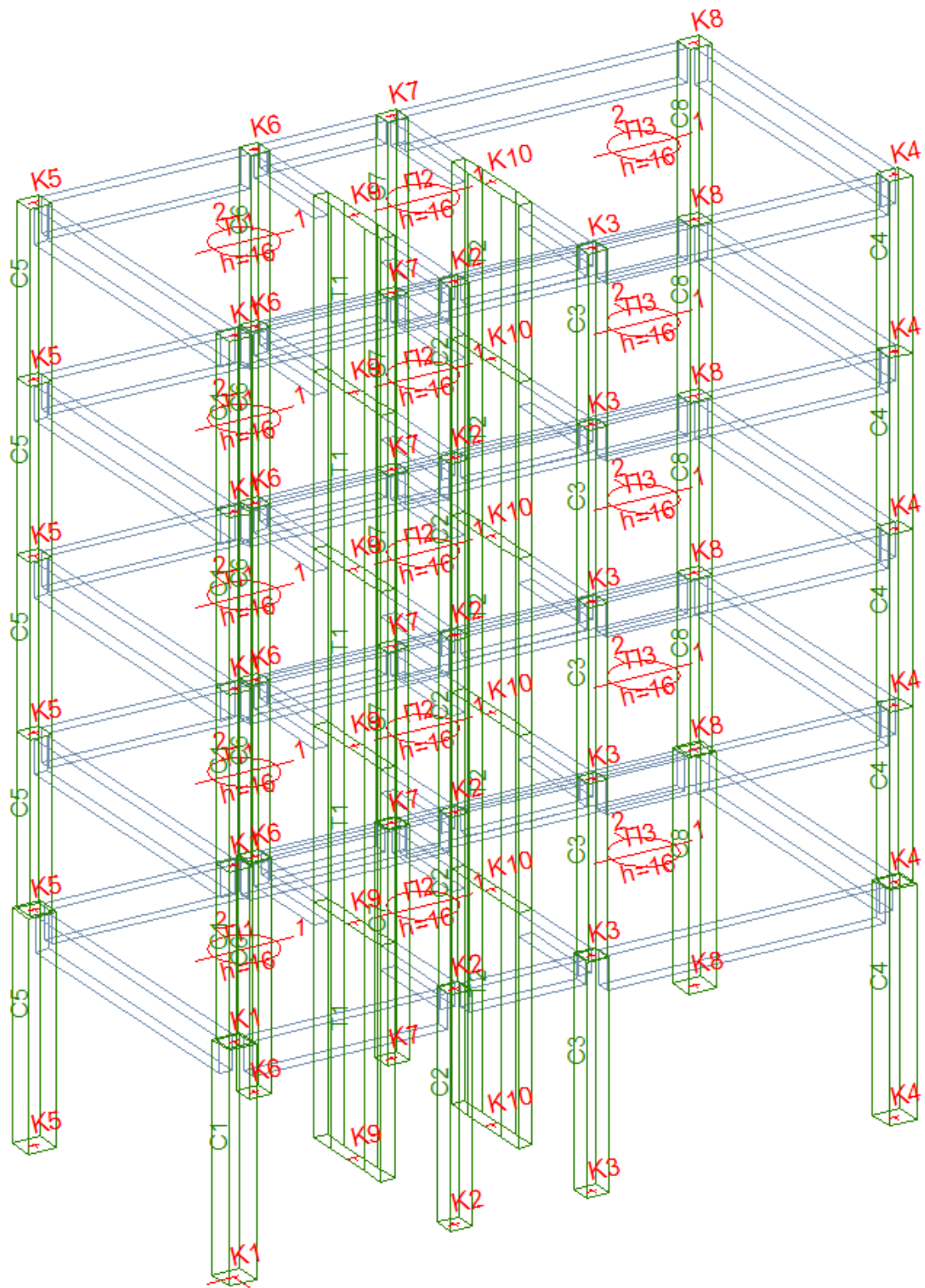
Σχήμα 0. Τυπική κάτοψη ορόφων

Όροφος	Ύψος	Υποστυλώματα		Δοκοί	
		C ₁ , C ₄ , C ₅ , C ₈	C ₂ , C ₃ , C ₆ , C ₇	BX ₁ , BX ₃ , BX ₄ , BX ₆ BY ₁ , BY ₆	BY ₂ , BY ₃ , BY ₄ , BY ₅ BX ₂ , BX ₅
1 ^{ος}	4m	50/50	40/40	25/60	25/40
2 ^{ος} – 5 ^{ος}	3m	40/40	35/35		

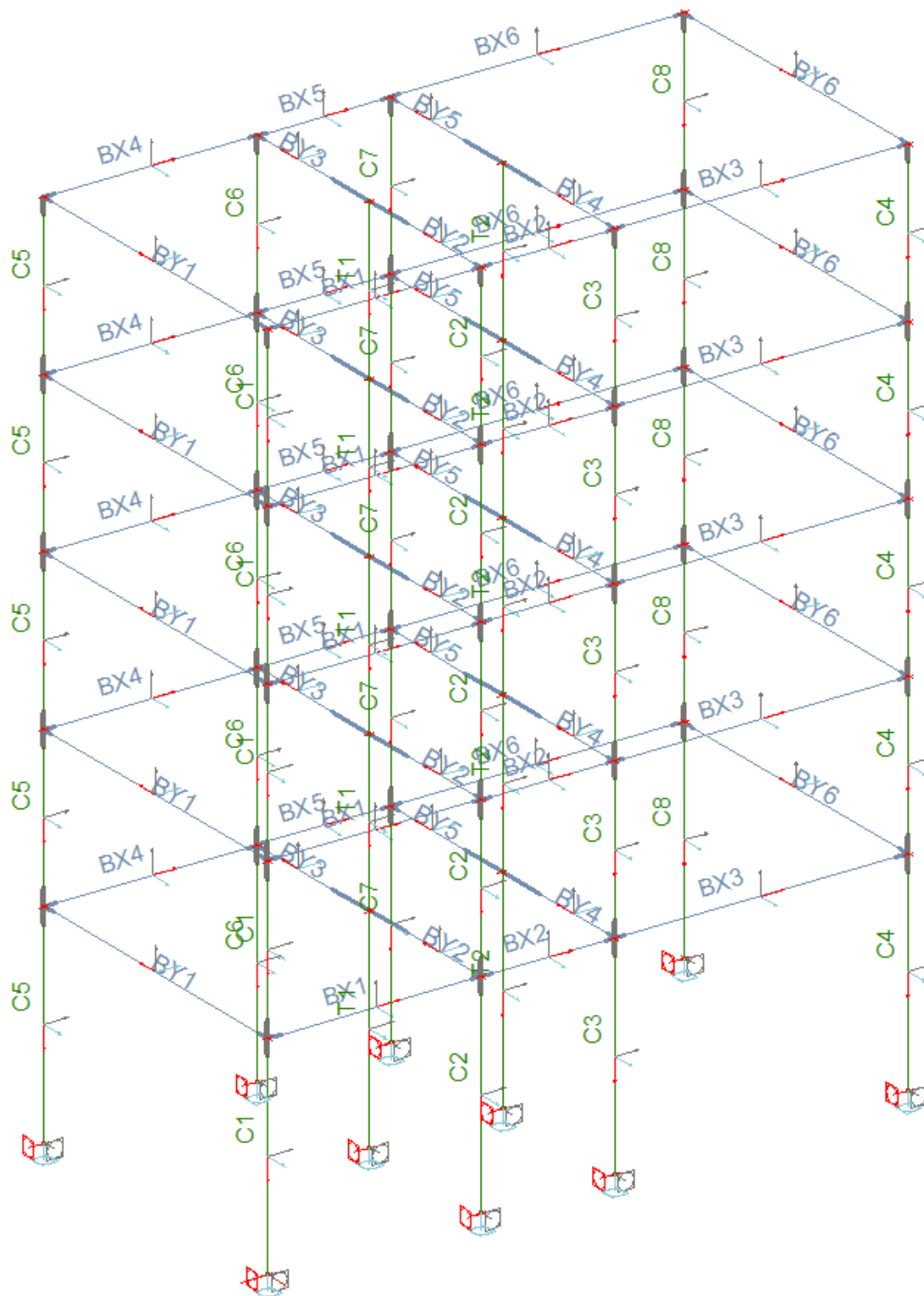
- Πάχος πλάκας $d=16 \text{ cm}$, πάχος τοιχωμάτων $t=25 \text{ cm}$.
- Περιμετρικά το κτίριο έχει μπατική τοιχοποιία (3.6 kN/m^2).
- Οι εσωτερικές δοκοί δε φέρουν τοιχοποιία σε κανέναν όροφο.
- Στο δώμα σε όλη την περίμετρο υπάρχει στηθαίο από μπατική τοιχοποιία ύψους 1 m .
- Τα δάπεδα έχουν επίστρωση (επικάλυψη) βάρους 1.3 kN/m^2 .
- Το ωφέλιμο φορτίο (κινητό φορτίο) ελήφθη ίσο με $Q=2 \text{ kN/m}^2$.
- Δεδομένα Φάσματος σχεδιασμού: ΕΑΚ/2000



- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: I
- Κατηγορία εδάφους: A
- $\theta=1$
- $q=3.5$
- Κατηγορία σπουδαιότητας: Σ_2
- Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης: $\zeta=5\%$



Τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα



Διακριτοποίηση φορέα. Αρίθμηση και τοπικοί άξονες στοιχείων

5.2 Παραδοχές

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται:

- Οι παραδοχές με τις οποίες έγινε η προσομοίωση του φορέα στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς (Αναλύσεις ΟΑΣΠ – Πρότυπα Αριθμητικά Παραδείγματα: Αβραμίδης Ι., 2005).
- Οι προκαθορισμένες (default) παραδοχές που γίνονται αυτόματα από το πρόγραμμα για τη μόρφωση του υπολογιστικού προσομοιώματος.

5.2.1 Παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ)

(α) Παραδοχές για την προσομοίωση του φορέα

(α1) Διαφραγματική λειτουργία πλακών: Θεώρηση ατενούς διαφράγματος στις στάθμες που ορίζονται στο σχήμα 1.

(α2) Συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκών:

$b_{ef}=b_w+(1/5)l_o$ για πλακοδοκούς Γ και $b_{ef}=b_w+(2/5)l_o$ πλακοδοκούς Τ.

$l_o=0.85l$ για ακραία ανοίγματα και $l_o=0.7l$ για μεσαία.

Όπου l =το θεωρητικό – καθαρό – άνοιγμα της δοκού και b_w =το πλάτος της δοκού.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα συνεργαζόμενα πλάτη όπως προέκυψαν από την εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων:

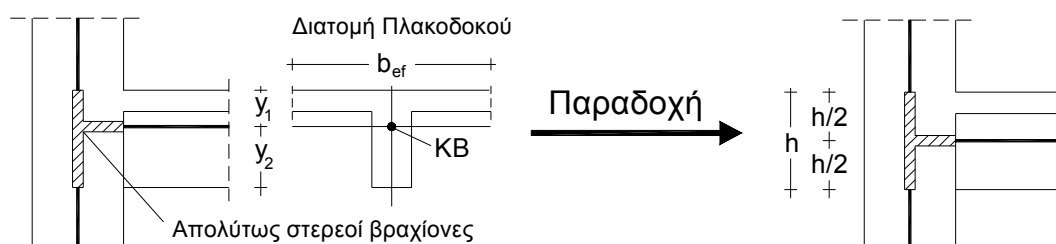
ΔΟΚΟΣ	BX1, BX4	BX2, BX5	BX3, BX6	BY1, BY6	BY2, BY3, BY4, BY5
Συνεργαζόμενο Πλάτος	0.91	0.60	1.17	1.25	0.90

(α3) Οι δυσκαμψίες και οι δυστρεψίες των διατομών ελήφθησαν μειωμένες σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (§3.2.3[2]).

(α4) Ελήφθησαν υπόψη καμπτικές, διατμητικές, αξονικές και στρεπτικές παραμορφώσεις.

(α5) Κατά τη μόρφωση του μοντέλου αγνοήθηκαν οι εκκεντρότητες των αξόνων των κατακορύφων στοιχείων ως προς τους άξονες των δοκών, αλλά κατά τα λοιπά θεωρήθηκαν στους κόμβους απολύτως στερεά τμήματα (βλ. σχήμα 1).

(α6) Δεν ελήφθησαν υπόψη ανοίγματα στις τοιχοποιίες.

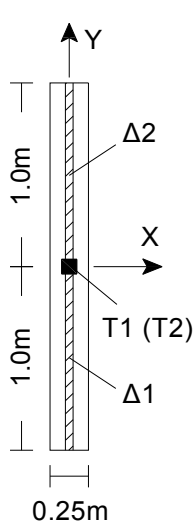


Σχήμα 1. Λεπτομέρεια προσομοίωσης των πλαισιακών κόμβων

(β) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των τοιχωμάτων T1 και T2

Η προσομοίωση των δύο τοιχωμάτων T1 και T2 έγινε σύμφωνα με την λογική του "ισοδύναμου πλαισίου". (βλ. π.χ.: (1) Αβραμίδης Ι.Ε., "Κριτική του μοντέλου του ισοδύναμου πλαισίου για τοιχεία και πυρήνες πολυώροφων κτιρίων Ο/Σ", ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, Επιστημ. Περιοχή Α, τόμος 13/3, 1993, και (2) Αβραμίδης, Ι.Ε., Τριαματάκη, Μ. και Ξενίδης, Χ., "Συγκριτική αξιολόγηση προσομοιωμάτων για πυρήνες κτιρίων από

Ο/Σ υπό στατική και δυναμική φόρτιση", ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, Σειρά Ι, τόμος 18/3, 1998). Σύμφωνα με αυτήν, το τοίχωμα αντικαθίσταται από έναν ισοδύναμο στύλο στο κέντρο βάρους της διατομής του. Η σύνδεση των συντρεχουσών στο τοίχωμα δοκών στις στάθμες των ορόφων με τον ισοδύναμο αυτόν στύλο γίνεται μέσω απολύτως στερεών βραχιόνων (δοκοί Δ1, Δ2), που εκτείνονται από τον ισοδύναμο στύλο μέχρι τις παρειές του τοιχώματος, όπου συντρέχουν οι δοκοί. Η σύνδεση των βραχιόνων αυτών με τον ισοδύναμο στύλο και με τα άκρα των συντρεχουσών δοκών είναι μονολιθική, έτσι ώστε να μεταφέρονται ροπές, τέμνουσες και αξονικές δυνάμεις. Οι γεωμετρικές ιδιότητες των διατομών των ισοδυνάμων στύλων είναι οι εξής:



T1 (T2)					
F	I_{xx}	I_{yy}	J_T	F'_x	F'_y
5.2.1.1.1.1	$(0.25 \cdot 2.0^3)/12$	$(0.25^3 \cdot 2.0)/12$	$\alpha \cdot 0.25^3 \cdot 2.0$	$(5/6) \cdot F$	$(5/6) \cdot F$

- Οι ιδιότητες του ισοδύναμου στύλου μειώθηκαν σύμφωνα με τον ΕΑΚ (§3.2.3[2]).
- Στις στάθμες των ορόφων υπάρχουν απολύτως στερεοί δοκοί (Δοκοί Δ1, Δ2). Για την προσομοίωση των δοκών αυτών χρησιμοποιήθηκαν απολύτως στερεά τμήματα στα άκρα των γραμμικών στοιχείων, με μήκη ίσα με 1.0 m.
- Ο συντελεστής α που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της δυστρεψιάς J_T προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\alpha = \frac{1}{3} \cdot \left[1 - \left(\frac{192 \cdot t}{\pi^5 \cdot h} \right) \cdot \tanh \left(\frac{\pi \cdot h}{2 \cdot t} \right) \right] \quad \text{(Η σχέση αυτή ισχύει για ορθογωνικές διατομές)}$$

Σχήμα 2. Πλαισιακή προσομοίωση του τοιχωμάτων T1 και T2

(γ) Παραδοχές για την προσομοίωση των κατακόρυφων φορτίων

- (γ1) Κατανομή φορτίων πλακών με τον κανόνα 45° ή 60° σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ/2000 (και χωρίς ομοιομορφοποίηση).
- (γ2) Το ίδιο βάρος των υποστυλωμάτων ελήφθη υπόψη ως κατανεμημένο ομοιόμορφο αξονικό φορτίο.
- (γ3) Ίδια βάρη δοκών και τοιχοποιιών επί αυτών, ελήφθησαν υπόψη ως ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία.

(δ) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των μαζών

- (δ1) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου θεωρήθηκε συγκεντρωμένη στο γεωμετρικό κέντρο βάρους M του αντίστοιχου ατενούς διαφράγματος.
- (δ2) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου συντίθεται από:
 - τη μάζα των πλακών και των δοκών του ορόφου συμπεριλαμβανομένων και των επιστρώσεων,
 - τη μάζα των τοιχοποιιών οι οποίες εδράζονται επί αυτών (η μάζα του στηθαίου προστίθεται στη μάζα του τελευταίου διαφράγματος),
 - τη μάζα των υποκείμενων και των υπερκείμενων υποστυλωμάτων μέχρι το μέσον του ύψους τους και,
 - τη μάζα που αντιστοιχεί στο 30% του ωφέλιμου φορτίου

(δ3) Οι μάζες της πλάκας δαπέδου του ισογείου και της τοιχοποιίας του ισογείου δεν συμπεριλαμβάνονται στην ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής.

5.2.2 Προκαθορισμένες (default) παραδοχές ΡΑΦ

(α) Παραδοχές για την προσομοίωση του φορέα

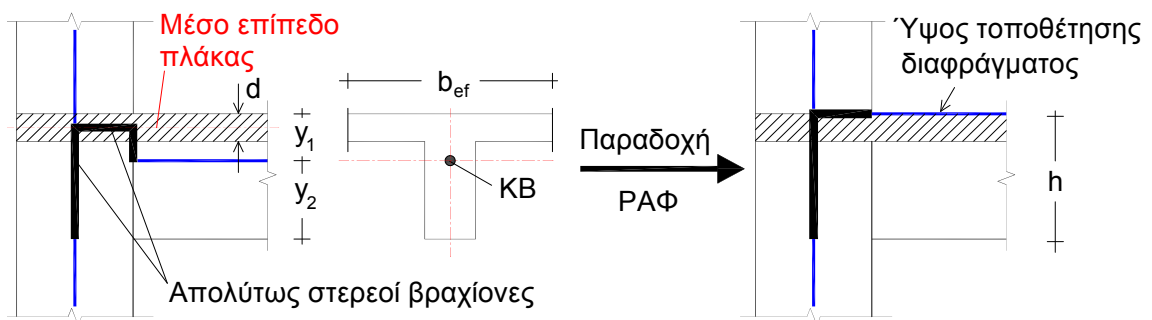
- (α1) Ισχύει η παραδοχή της ανάλυσης αναφοράς (α1) για την διαφραγματική λειτουργία των πλακών.
- (α2) Για τον υπολογισμό των συνεργαζόμενων πλατών των δοκών χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$\text{Διατομές Τ: } b_{\text{eff}} = b_0 + \frac{1}{5} \cdot (0.7 \cdot L)$$

$$\text{Διατομές Γ: } b_{\text{eff}} = b_0 + \frac{1}{10} \cdot (0.7 \cdot L)$$

Όπου L είναι το μήκος του καθαρού ανοίγματος της δοκού (χωρίς τους στερεούς βραχίονες).

- (α3) Ισχύει η παραδοχή (α3) της ανάλυσης αναφοράς για την μείωση των δυσκαμψιών και των δυστρεπιών σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (§3.2.3[2]).
- (α4) Ισχύει η παραδοχή (α4) της ανάλυσης αναφοράς για την θεώρηση των καμπτικών, διατμητικών, αξονικών και στρεπτικών παραμορφώσεων.
- (α5) Ισχύει η παραδοχή (α5) της ανάλυσης αναφοράς για την αγνόηση των εκκεντροτήτων των αξόνων των κατακόρυφων στοιχείων ως προς τους άξονες των δοκών, και για την θεώρηση απολύτων στερεών βραχιόνων στα άκρα των δομικών στοιχείων με τις εξής διαφοροποιήσεις:
- Το ύψος τοποθέτησης των διαφραγμάτων δεν συμπίπτει με το ύψος τοποθέτησης που παρουσιάζεται στο σχήμα σχήμα 1. Το ύψος στο οποίο τοποθετούνται από το ΡΑΦ τα διαφράγματα παρουσιάζεται στο σχήμα 3 (βλ. και εγχειρίδιο τεκμηρίωσης ΡΑΦ, §8.2.3):

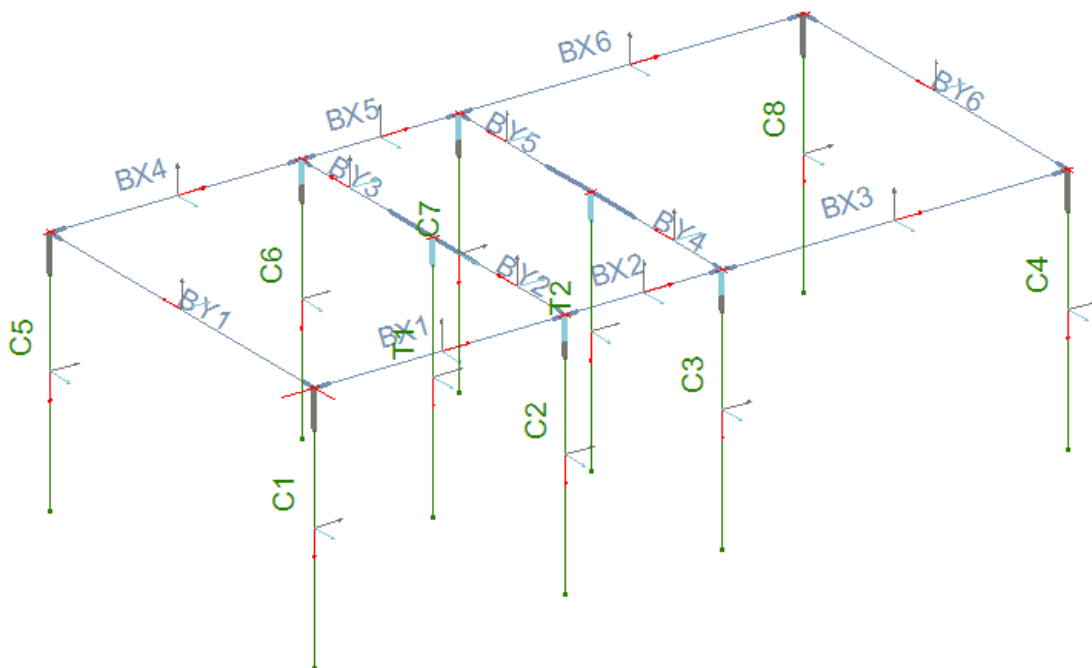


Σχήμα 3. Παραδοχή του ΡΑΦ για το ύψος τοποθέτησης των διαφραγμάτων.

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα υποστυλώματα δεν έχουν στερεούς βραχίονες στους κόμβους πέρατος τους, όπως προκύπτει από την προσομοίωση με τις παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς, και επιπλέον οι στερεοί βραχίονες των κόμβων αρχής τους έχουν διπλάσιο μήκος.

- Στα πλαίσια της προσομοίωσης με τις προκαθορισμένες παραδοχές του ΡΑΦ, τα υποστυλώματα C2, C3, C6, C7 και τα τοιχώματα T1, T2 προσομοιώνονται με ε-

φαρμογή της ενσωματωμένης δυνατότητας του προγράμματος για την θεώρηση «διπλών» αξονικών στερεών βραχιόνων (βλ. εγχειρίδιο θεωρητικής τεκμηρίωσης ΡΑΦ, παράγραφος 5.3). Έτσι επειδή τα τοιχώματα T1, T2 συντρέχουν σε κόμβους στους οποίους υπάρχουν δοκοί μόνον κατά την διεύθυνση του ενός από τους δύο άξονες της διατομής τους, το πρόγραμμα τοποθετεί αυτοματα αξονικούς στερεούς βραχιόνες οι οποίοι ενεργοποιούνται μόνον κατά την κάμψη εντός του τοπικού επιπέδου στο οποίο υπάρχουν οι δοκοί, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (οι συγκεκριμένοι βραχιόνες έχουν γαλάζιο χρώμα). Επίσης, τα υποστυλώματα C2, C3, C6, C7 συντρέχουν σε κόμβους όπου οι συντρέχουσες δοκοί δεν έχουν όλες το ίδιο ύψος διατομής. Έτσι το ΡΑΦ τοποθετεί στα υποστυλώματα αυτά αξονικούς βραχιόνες οι οποίοι εντός του ενός τοπικού επιπέδου της διατομής έχουν μήκος 40cm (όσο είναι και το ύψος των δοκών BY2, BY3, BY4, BY5) ενώ εντός του άλλου τοπικού επιπέδου έχουν μήκος 60cm (όσο το ύψος των δοκών BX1, BX3, BX4, BX6).



Σχήμα 4. Αυτόματη τοποθέτηση «διπλών» αξονικών στερεών βραχιόνων στα υποστυλώματα C2, C3, C6, C7 και στα τοιχώματα T1, T2.

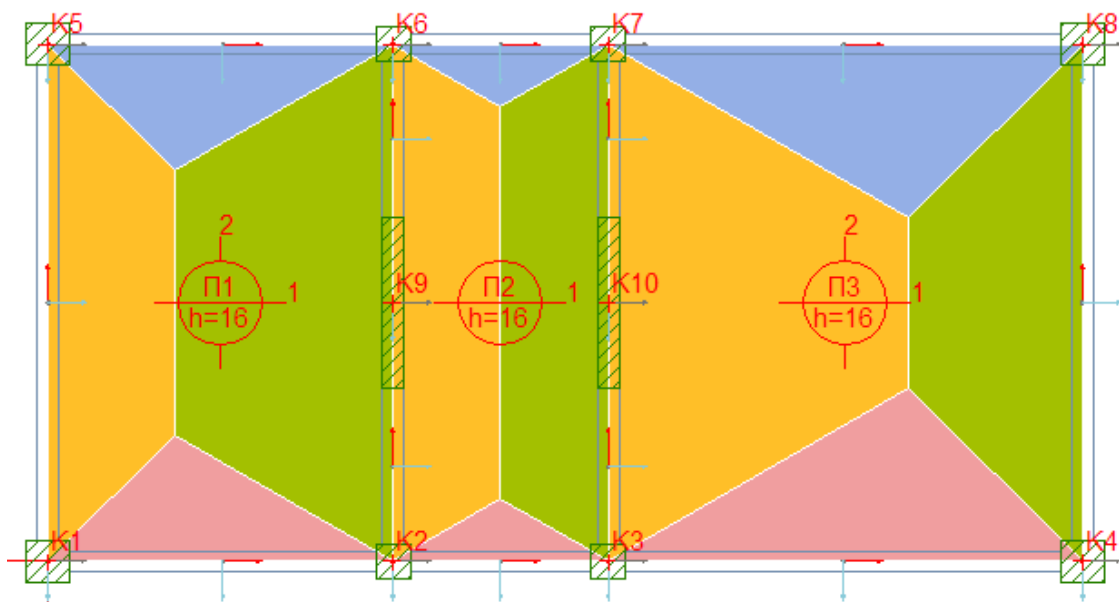
(α6) Δεν ελήφθησαν υπόψη ανοίγματα στις τοιχοποιίες.

(β) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των τοιχωμάτων T1 και T2

Η αυτόματη προσομοίωση των τοιχωμάτων από το ΡΑΦ γίνεται με βάση τις ίδιες ακριβώς παραδοχές με τις οποίες γίνεται η προσομοίωση τους κατά την ανάλυση αναφοράς.

(γ) Παραδοχές για την προσομοίωση των κατακόρυφων φορτίων

Ισχύουν οι ίδιες παραδοχές με αυτές που γίνονται και για την ανάλυση αναφοράς (βλ. σχήμα 5):



Σχήμα 5. Αυτόματη κατανομή των φορτίων των πλακών στις δοκούς με τον κανόνα 45° ή 60° σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ.

(δ) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των μαζών

- (δ1) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου θεωρήθηκε συγκεντρωμένη στο κέντρο μάζας το οποίο υπολογίζεται με βάση τη διάταξη όλων των φορτίων του ορόφου, και όχι στο γεωμετρικό κέντρο μάζας.
- (δ2) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου συντίθεται όπως ακριβώς στην περίπτωση της ανάλυσης αναφοράς.
- (δ3) Οι μάζες της πλάκας δαπέδου του ισογείου και της τοιχοποιίας του ισογείου δεν συμπεριλαμβάνονται στην ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής.

Στον παρακάτω πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μάζες και τα σημεία στα οποία τοποθετούνται, τόσο στα πλαίσια της μόρφωσης του προσομοιώματος αναφοράς όσο στα πλαίσια της προσομοίωσης με τις προκαθορισμένες παραδοχές του ΡΑΦ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Θέσεις και τιμές των μαζών σύμφωνα με την ανάλυση αναφοράς και το ΡΑΦ

	X_m		Y_m		m	
	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1^{ος} όροφος	6.00	5.91	3.00	3.00	103.57	105.4
2^{ος} όροφος	6.00	5.92	3.00	3.00	98.50	100.47
3^{ος} όροφος	6.00	5.92	3.00	3.00	98.50	100.47
4^{ος} όροφος	6.00	5.92	3.00	3.00	98.50	100.47
5^{ος} όροφος	6.00	5.95	3.00	3.00	74.185	75.06

Συνοψίζοντας την σύγκριση των μεταξύ των βασικών παραδοχών των αναλύσεων αναφοράς και των βασικών παραδοχών του ΡΑΦ μπορεί να συνταχθεί ο παρακάτω πίνακας:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Συγκεντρωτική παρουσίαση των κοινών και των μη κοινών παραδοχών των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ) και του ΡΑΦ.

	Παραδοχή	ΟΑΣΠ / ΡΑΦ
(α1)	Διαφραγματική λειτουργία	Κοινή
(α2)	Συνεργαζόμενο πλάτος	Διαφορετική
(α3)	Απομείωση δυσκαμψιών	Κοινή
(α4)	Θεώρηση καμπτικών, διατμητικών, αξονικών, στρεπτικών παραμορφώσεων	Κοινή
(α5)	Προσομοίωση στερεών βραχιόνων / θέση τοποθέτησης διαφραγμάτων	Διαφορετική
(α6)	Θεώρηση ανοιγμάτων στις τοιχοποιίες	Κοινή
(β)	Ισοδύναμη πλαισιακή προσομοίωση τοιχωμάτων	Κοινή
(γ1)	Κατανομή φορτίων πλακών	Κοινή
(γ2)	Προσομοίωση ίδιου βάρους υποστυλωμάτων	Κοινή
(γ3)	Προσομοίωση ιδίων βαρών δοκών και τοιχοποιιών	Κοινή
(δ1)	Υπολογισμός θέσης κέντρου βάρους ορόφου	Διαφορετική
(δ2)	Υπολογισμός μάζας ορόφου	Κοινή
(δ3)	Θεώρηση μαζών πλάκας δαπέδου ισογείου και τοιχοποιίας ισογείου	Κοινή

5.3 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης

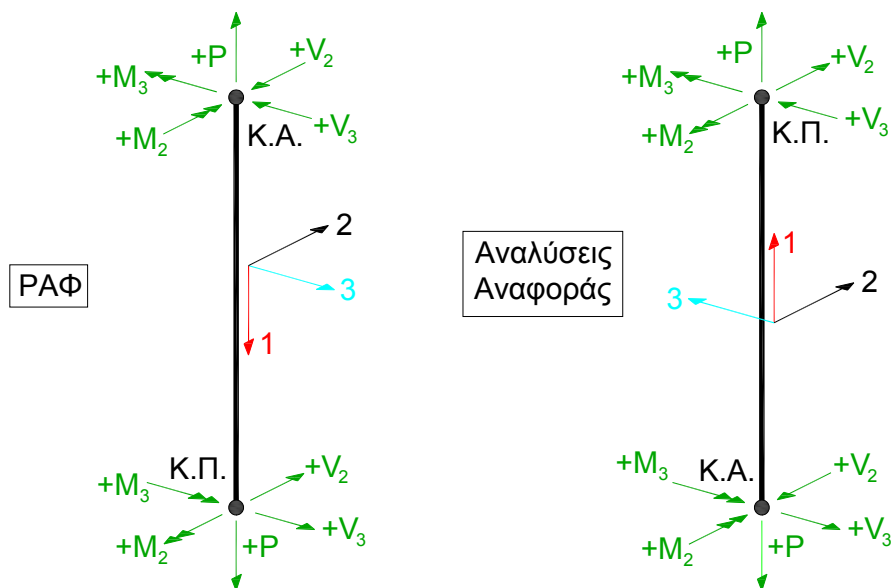
Στις ακόλουθες παραγράφους θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις αναλύσεις αναφοράς του ΟΑΣΠ (παρουσιάζονται στο βιβλίο των Πρότυπων Αριθμητικών Παραδειγμάτων, Αβραμίδης Ι., 2005) με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις με το ΡΑΦ. Για να είναι αντικειμενικές οι συγκρίσεις, προσαρμόστηκαν οι παραδοχές των αναλύσεων που έγιναν με το ΡΑΦ, με τις παραδοχές των Πρότυπων Αριθμητικών Παραδειγμάτων (αναλύσεις αναφοράς). Θα πρέπει να τονιστεί ότι λέγοντας προσαρμογή των παραδοχών, εννοείται ειδικά η προσαρμογή των παραδοχών που παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Έτσι έγιναν οι εξής επεμβάσεις στο αρχικό (και αυτόματα μορφωμένο από το ΡΑΦ) προσομοίωμα με τη βοήθεια του γραφικού περιβάλλοντος του προγράμματος:

- Προσαρμόστηκαν τα συνεργαζόμενα πλάτη των δοκών.
- Προσαρμόστηκαν τα μήκη των στερεών βραχιόνων των στοιχείων.
- Εισήχθησαν οι τιμές των μαζών και των μαζικών ροπών αδράνειας που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις αναφοράς.

Παρά τις παραπάνω προσαρμογές δεν είναι δυνατή η πλήρης (100%) ταύτιση των παραδοχών επίλυσης, διότι δεν υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής των συντεταγμένων των κέντρων μάζας που υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Θα πρέπει επίσης να καταστεί σαφές ότι δεν μπορούν να αποκλειστούν κάποιοι παράγοντες απόκλισης των αποτελεσμάτων οι οποίοι πηγάζουν από τις διαφορετικές τεχνολογίες των μεταγλωτιστών με τους οποίους μεταγλωτίστηκε το ΡΑΦ και το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς του ΟΑΣΠ. Αποκλίσεις στα αποτελέσματα δημιουργούνται επίσης και από τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των τεχνικών επίλυσης του ΡΑΦ και του προγράμματος με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς (π.χ. αλγόριθμοι σχηματισμού μητρώων δυσκαμψίας, υπολογισμού ιδιοπεριόδων κ.τ.λ.). Επομένως είναι πρακτικά αδύνατη η πλήρης ταύτιση των συγκρινόμενων αποτελεσμάτων. Σε κάθε περίπτωση πάντως παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τρόπο που ο χρήστης μπορεί να αξιολογήσει με την κρίση του την επάρκεια και την αξιοπιστία του ΡΑΦ, ενώ όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο παρατίθενται και βοηθητικά σχόλια.

5.3.1 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης λόγω στατικών φορτίων $G+\psi_2Q$

Στον παρακάτω πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών έντασης δομικών στοιχείων του κτιρίου στο ισόγειο. Λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού του τοπικού συστήματος αναφοράς των στοιχείων που χρησιμοποιείται από το ΡΑΦ και από το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς, στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών έντασης προσαρμοσμένες με βάση το παρακάτω σχήμα 6 έτσι ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμες.



Σχήμα 6. Ορισμός των συμβατικά θετικών τιμών των μεγεθών έντασης των κατακορύφων στοιχείων από το ΡΑΦ και από το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Εντασιακά μεγέθη δομικών στοιχείων του κτιρίου στο ισόγειο

Στοιχείο/ Θέση	P		M2		M3		
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
C1	κάτω	-472.46	-457.99	-12.44	-12.72	-6.59	-6.80
	άνω	-449.33	-434.86	23.20	23.72	10.10	10.49
C3	κάτω	-350.75	-353.13	-0.37	-0.49	-6.16	-6.16
	άνω	-335.95	-338.33	0.67	0.90	10.46	10.45
T1	κάτω	-700.51	-685.18	0.00	0.00	-0.40	-0.39
	άνω	-650.51	-635.18	0.00	0.00	≈0	≈0
BX1	αρχή	0.00	0.00	0.00	0.00	-15.28	-16.25
	μέσο	0.00	0.00	0.00	0.00	12.08	12.55
	τέλος	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.49	-12.90
BY6	αρχή	0.00	0.00	0.00	0.00	-46.33	-47.41
	μέσο	0.00	0.00	0.00	0.00	34.38	35.15
	τέλος	0.00	0.00	0.00	0.00	-46.33	-47.41
Στοιχείο/ Θέση	T		V2		V3		
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
C1	κάτω	0.00	0.00	-4.51	-4.67	-9.63	-9.85
	άνω	0.00	0.00	-4.51	-4.67	-9.63	-9.85
C3	κάτω	0.00	0.00	-4.49	-4.49	-0.28	-0.38
	άνω	0.00	0.00	-4.49	-4.49	-0.28	-0.38
T1	κάτω	0.00	0.00	-0.11	-0.11	0.00	0.00
	άνω	0.00	0.00	-0.11	-0.11	0.00	0.00
BX1	αρχή	0.11	0.11	-29.16	-30.61	0.00	0.00
	μέσο	0.11	0.11	0.16	0.17	0.00	0.00
	τέλος	0.11	0.11	25.85	26.86	0.00	0.00
BY6	αρχή	0.00	0.00	-53.70	-54.82	0.00	0.00
	μέσο	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	τέλος	0.00	0.00	53.70	54.82	0.00	0.00

Απο τον παραπάνω πίνακα εξάγεται το γενικό συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα του ΡΑΦ συγκλίνουν σε πάρα πολύ ικανοποιητικό βαθμό με τα αποτελέσματα αναφοράς (ΟΑΣΠ). Η εμφάνιση των όποιων διαφοροποιήσεων εμφανίζονται μπορεί να αιτιολογηθεί με βάση το γεγονός ότι δεν επιχειρήθηκε η 100% ταύτιση της μορφολογίας των τραπεζοειδών και τριγωνικών φορτίων των δοκών που προέρχονται από τις πλάκες (παρά το ότι η κατανομή των κατακορύφων φορτίων των πλακών γίνεται από το ΡΑΦ με τις ίδιες παραδοχές όπως και οι αναλύσεις αναφοράς (Παραδοχές (γ)), δεν είναι δυνατή η απόλυση ταύτιση των τιμών και της μορφής των τραπεζοειδών φορτίων).

5.3.2 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου (ΔΦΜ) (Α) Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης

Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών των 8 πρώτων ιδιοπεριόδων ταλάντωσης του κτιρίου, και στον πίνακα 5 τα αθροιστικά ποσοστά συμμετοχής των μαζών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Ιδιοπερίοδοι (με τη μάζα στα μετατοπισμένα ΚΜ)

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος (sec)							
	Θέση 1		Θέση 2		Θέση 3		Θέση 4	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.622	0.621	0.622	0.621	0.624	0.623	0.624	0.623
2	0.457	0.457	0.511	0.517	0.471	0.467	0.471	0.467
3	0.412	0.408	0.369	0.361	0.395	0.395	0.395	0.395
4	0.200	0.199	0.200	0.199	0.200	0.200	0.200	0.200
5	0.144	0.144	0.159	0.160	0.147	0.146	0.147	0.146
6	0.118	0.117	0.111	0.111	0.114	0.114	0.114	0.114
7	0.111	0.111	0.108	0.106	0.112	0.112	0.112	0.112
8	0.079	0.079	0.085	0.086	0.080	0.079	0.080	0.079

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Αθροιστικά ποσοστά συμμετοχής των μαζών (%)

Ιδιομορφή	Θέση 1				Θέση 2			
	Διέγερση x		Διέγερση y		Διέγερση x		Διέγερση y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	87.99	88.06	0.00	0.00	87.99	88.06	0.00	0.00
2	87.99	88.06	0.17	1.02	87.99	88.06	34.77	35.85
3	87.99	88.06	81.26	81.54	87.99	88.06	81.26	81.52
4	96.85	96.86	81.26	81.54	96.85	96.86	81.26	81.52
5	96.85	96.86	81.27	81.59	96.85	96.86	85.73	86.22
6	96.85	96.86	94.83	94.86	99.08	99.09	85.73	86.22
7	99.08	99.09	94.83	94.86	99.08	99.09	94.57	94.49
8	99.08	99.09	94.83	94.86	99.08	99.09	95.80	95.92

Ιδιομορφή	Θέση 3				Θέση 4			
	Διέγερση x		Διέγερση y		Διέγερση x		Διέγερση y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	87.20	87.35	0.05	0.03	87.20	87.35	0.05	0.03
2	87.92	88.01	22.64	18.93	87.92	88.01	22.64	18.93
3	87.99	88.06	81.30	81.57	87.99	88.06	81.30	81.57
4	96.78	96.79	81.30	81.58	96.78	96.79	81.30	81.58
5	96.85	96.86	83.40	83.23	96.85	96.86	83.40	83.23
6	96.86	96.86	94.80	94.83	96.86	96.86	94.80	94.83
7	99.07	99.07	94.80	94.83	99.07	99.07	94.80	94.83
8	99.09	99.09	95.22	95.17	99.09	99.09	95.22	95.17

Οι αποκλίσεις των τιμών των παραπάνω πινάκων είναι γενικώς πολύ μικρές.

(B) Μεγέθη έντασης

Στους παρακάτω πίνακες 6α και 6β παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ (δηλαδή των μεγεθών έντασης με τα οποία εκτελείται ο έλεγχος σε διαξονική κάμψη με ορθή δύναμη) λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, για το υποστυλώμα C1 και το τοίχωμα T1 στο ισόγειο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6α. Ακραίες τιμές των μεγεθών έντασης του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο

	Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
C1	1	κάτω	186.01	185.60	41.96	40.33	126.46	126.70
		άνω	186.01	185.60	15.41	14.93	65.84	66.07
	2	κάτω	176.34	176.24	66.39	65.91	131.01	131.25
		άνω	176.34	176.24	29.00	28.96	67.85	68.08
	3	κάτω	180.95	182.25	67.48	66.64	122.99	122.70
		άνω	180.95	182.25	28.52	28.01	63.92	63.91
	4	κάτω	179.18	180.51	67.48	66.64	133.88	133.60
		άνω	179.18	180.51	28.52	28.01	69.22	69.21

Οι αποκλίσεις που εμφανίζονται στον παραπάνω πίνακα είναι όλες μικρότερες του ±3%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6β. Ακραίες τιμές των μεγεθών έντασης του τοιχώματος T1 στο ισόγειο

	Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
T1	1	κάτω	17.54	17.00	643.89	633.90	32.81	32.93
		άνω	17.54	17.00	46.18	43.80	6.94	7.16
	2	κάτω	17.54	17.00	507.84	494.44	32.81	32.93
		άνω	17.54	17.00	42.18	40.52	6.94	7.16
	3	κάτω	17.39	16.87	608.60	627.24	32.53	32.67
		άνω	17.39	16.87	44.84	43.43	6.88	7.11
	4	κάτω	17.39	16.87	608.60	627.24	32.53	32.67
		άνω	17.39	16.87	44.84	43.43	6.88	7.11

Από τον πίνακα 6β εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Λίγο μεγαλύτερες από το μέσο όρο – των υπολοίπων μεγεθών – αποκλίσεις των ροπών M₂ που όμως οφείλονται στην διαφορετική τεχνολογία προσομοίωσης των στερεών βραχιόνων από το ΡΑΦ, η οποία έχει πολύ σημαντικότερη επιρροή στα τοιχώματα όπου το μήκος των βραχιόνων των εκατέρωθεν δοκών ΒΥ2, ΒΥ3 και ΒΥ4, ΒΥ5 (ίσο με 1.0m) είναι μεγαλύτερο από αυτό των δοκών που συντρέχουν στα υποστυλώματα.
- Πολύ κανονποιητική σύγκλιση των τιμών των αξονικών δυνάμεων P και των ροπών M₃.

Στον πίνακα 6γ εμφανίζονται οι αποκλίσεις των ακραίων τιμών των μεγεθών έντασης της δοκού ΒΧ1 στον πρώτο όροφο του κτιρίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6γ. Ακραίες τιμές των μεγεθών έντασης της δοκού ΒΧ1 στον πρώτο όροφο

	Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	V2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
ΒΧ1	1	αρχή	58.18	58.40	116.15	116.54
		τέλος	58.18	58.40	90.40	90.79
	2	αρχή	60.56	60.78	120.93	121.32
		τέλος	60.56	60.78	94.06	94.44
	3	αρχή	56.52	56.43	112.85	112.63
		τέλος	56.52	56.43	87.79	87.70
	4	αρχή	61.92	61.84	123.65	123.45
		τέλος	61.92	61.84	96.15	96.08

Οι αποκλίσεις που εμφανίζονται στον παραπάνω πίνακα είναι όλες μικρότερες του $\pm 0.5\%$.

(Με βάση τις πολύ μικρές αυτές αποκλίσεις προκύπτει μία ακόμα τεκμηρίωση του γεγονότος ότι οι αποκλίσεις των μεγεθών έντασης της δοκού ΒΧ1 λόγω κατακορύφων φορτίων (πίνακας 3) οφείλονται στην διαφορετική μορφή των φορτίων που προέρχονται από τις πλάκες).

Στον πίνακα 7 παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων και ταυτόχρονων τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο, λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου. Οι συγκρίσεις αφορούν την ανάλυση με τις μάζες των ορόφων τοποθετημένες στη θέση 1 που ορίζει ο ΕΑΚ/2000.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Ακραίες και ταυτόχρονες τιμές των μεγεθών έντασης του υποστυλώματος C1 στο ισόγειο

C1 κάτω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
exP=	186.01	185.60	M _{2,P} =	19.23	17.59	M _{3,P} =	110.74	112.28
P _{,M2} =	85.25	80.96	exM ₂ =	41.96	40.33	M _{3,M2} =	2.30	2.53
P _{,M3} =	162.87	164.49	M _{2,M3} =	0.76	0.80	exM ₃ =	126.47	126.70

C1 άνω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
exP=	186.01	185.60	M _{2,P} =	-6.91	-6.30	M _{3,P} =	-57.71	-58.55
P _{,M2} =	-83.40	-78.37	exM ₂ =	15.41	14.93	M _{3,M2} =	2.29	2.19
P _{,M3} =	-163.03	-164.47	M _{2,M3} =	0.54	0.49	exM ₃ =	65.84	66.07

Οι αποκλίσεις του παραπάνω πίνακα είναι γενικά μικρές. Η εμφάνιση ωστόσο ορισμένων κάπως πιο μεγάλων αποκλίσεων σε συγκεκριμένες πιθανώς ταυτόχρονες τιμές (π.χ. P_{,M2}) θα μπορούσε να αιτιολογηθεί ως ακολούθως: Η υπολογιστική διαδικασία προσδιορισμού των πιθανών ταυτόχρονων τιμών είναι μία σύνθετη διαδικασία. Τα πιθανώς ταυτόχρονα μεγέθη δεν είναι πρωτογενή εξαγόμενα των αναλύσεων αλλά προκύπτουν από σύνθετη επεξεργασία των ιδιομορφικών μεγεθών (βλ. παρ. 9.2.3. εγχειριδίου τεκμηρίωσης ΡΑΦ). Συνεπώς είναι δυνατό οι αποκλίσεις των πιθανώς ταυτόχρονων τιμών να είναι σε μερικές περιπτώσεις μεγαλύτερες από τις αποκλίσεις των πρωτογενών εξαγομένων των αναλύσεων.

(Γ) Μεγέθη μετακίνησης

Στον παρακάτω πίνακα 8 παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών μετακίνησης exU_x , exU_y και exR_z λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, στην κορυφή του στο σημείο που βρίσκεται η κεφαλή του υποστυλώματος C1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Ακραίες τιμές των μετακινήσεων στην κορυφή του κτιρίου λόγω ταυτόχρονης δράσης του σεισμού σε δύο οριζόντιες διευθύνσεις

Θέση μάζας	$q \cdot exU_x$ (m)		$q \cdot exU_y$ (m)		$q \cdot exR_z$ (rad)	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.0366	0.0365	0.0222	0.0210	≈0	≈0
2	0.0384	0.0383	0.0258	0.0252	0.0039	0.0039
3	0.0357	0.0354	0.0282	0.0279	0.0032	0.0030
4	0.0393	0.0390	0.0282	0.0279	0.0032	0.0030

Παρατηρούνται γενικώς μικρές αποκλίσεις.

(Δ) Έλεγχος γωνιακής παραμόρφωσης

Τα αποτελέσματα του ελέγχου γωνιακής παραμόρφωσης που προκύπτουν από την επίλυση με το ΡΑΦ δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα με τα διαθέσιμα αποτελέσματα από τις αναλύσεις αναφοράς. Ο λόγος είναι ότι η φιλοσοφία υπολογισμού της γωνιακής παραμόρφωσης γ που ακολουθείται από το ΡΑΦ – βλ. παράγραφο 10.3 του εγχειριδίου τεκμηρίωσης – είναι διαφορετική από αυτήν που παρουσιάζεται στα πλαίσια των αποτελεσμάτων αναφοράς:

Με βάση τη διαδικασία υπολογισμού από το ΡΑΦ υπολογίζονται σε κάθε όροφο οι τιμές του γ για κάθε κόμβο του προσομοιώματος, και τελικά εκτυπώνονται οι μέγιστες τιμές κατά X και κατά Y (X, Y οι άξονες του καθολικού συστήματος αναφοράς). Αντίθετα τα αποτελέσματα των αναλύσεων αναφοράς αναφέρονται στον υπολογισμό του συντελεστή γ σε συγκεκριμένες κομβοσειρές του κτιρίου. Έπειδή όμως οι εκτυπούμενες από το ΡΑΦ τιμές του γ – οι οποίες είναι οι μέγιστες του κάθε ορόφου – ενδέχεται να αντιστοιχούν σε κομβοσειρές διαφορετικές από αυτές που έχουν επιλεγεί για εμφάνιση από τα αποτελέσματα αναφοράς, δεν είναι δυνατό να γίνει άμεση σύγκριση. Ωστόσο, στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα του ΡΑΦ και τα αποτελέσματα των αναλύσεων αναφοράς για να δοθεί μία εικόνα της σύμπτωσης της τάξης μεγέθους των αποτελεσμάτων των δύο αναλύσεων:

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Ενδεικτικές τιμές της γωνιακής παραμόρφωσης γ όπως προκύπτουν από την επίλυση για την θέση μάζας 1.

ΟΡΟΦΟΣ	γ_x		γ_y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.00109	0.00126	0.00040	0.00057
2	0.00127	0.00146	0.00067	0.00088
3	0.00104	0.00119	0.00060	0.00085
4	0.00075	0.00086	0.00060	0.00070
5	0.00042	0.00047	0.00048	0.00052

Το τελικό συμπέρασμα είναι κοινό και για τις δύο αναλύσεις: ο συντελεστής γ είναι μικρότερος από την οριακά επιτρεπόμενη τιμή $\gamma_{op}=0.005$.

3.3. Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου (ΑΦΜ)

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου, αλλά και τα αποτελέσματα του ελέγχου στρεπτικής ευαισθησίας. Η παράθεση των αποτελεσμάτων ξεκινά από την παρουσίαση των βασικών εξαγόμενων της μεθόδου και καταλήγει στην παρουσίαση των μεγεθών έντασης και μετακίνησης στα ίδια στοιχεία και κόμβους όπου έγινε η παρουσίαση για την Δυναμική Φασματική Μέθοδο.

(Α) Βασικά εξαγόμενα Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Βασικά εξαγόμενα Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

Συντεταγμένες πόλου στροφής			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
X_{P0}	Y_{P0}	X_{P0}	Y_{P0}
5.4249	3.00	5.4211	3
Γωνία κλίσης κύριου συστήματος			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
Υπολογιστικά	0°	Υπολογιστικά	0°
Κατά ΕΑΚ/2000 (3.3.3[4])	0°	Κατά ΕΑΚ/2000 (3.3.3[4])	0°
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ			
Ακτίνες δυστρεψίας ως προς το ελαστικό κέντρο P_0			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$\rho_x=$	3.641	$\rho_x=$	3.612
$\rho_y=$	5.434	$\rho_y=$	5.43
Ακτίνα αδράνειας ορόφου			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$r_i=$	3.97	$r_i=$	3.97
Ακτίνες δυστρεψίας ως προς το κέντρο μάζας			
ΟΑΣΠ		ΡΑΦ	
$\rho_{mX,i}=$	3.686	$\rho_{mX,i}=$	3.647
$\rho_{mY,i}=$	5.434	$\rho_{mY,i}=$	5.43
$\rho_{mX,i} < r_i$		$\rho_{mX,i} < r_i$	
Το κτίριο ΕΙΝΑΙ στρεπτικά ευαίσθητο		Το κτίριο ΕΙΝΑΙ στρεπτικά ευαίσθητο	
ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΕΣ			
$e_{0,Xi}=$	0.575	$e_{0,Yi}=$	0.50
$e_{0,Yi}=$	0.00	$e_{0,Xi}=$	0.00
ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ			
$\max(e_{X,i})=$	2.608	$\max(e_{X,i})=$	2.421
$\max(e_{Y,i})=$	0.3125	$\max(e_{Y,i})=$	0.30
$\min(e_{X,i})=$	-1.329	$\min(e_{X,i})=$	-1.295
$\min(e_{Y,i})=$	-0.3125	$\min(e_{Y,i})=$	-0.30
ΑΣΥΖΕΥΚΤΕΣ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΙ			
$T_x=$	0.6217	$T_x=$	0.6206
$T_y=$	0.4121	$T_y=$	0.408

Απο τη μελέτη του παραπάνω πίνακα προκύπτει το γενικό συμπέρασμα της πολύ ικανοποιητικής σύγκλισης των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ και των αποτελεσμάτων των αναλύσεων αναφοράς. Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι το ΡΑΦ εντοπίζει τη στρεπτική ευαισθησία του κτιρίου. Ωστόσο υπάρχουν κάποιες αποκλίσεις στον υπολογισμό των εκκεντροτήτων – όχι ιδιαίτερα μεγάλες – οι οποίες όμως θα αιτιολογηθούν:

- Η απόκλιση που παρατηρείται στην τιμή της στατικής εκκεντρότητας e_{ox} ($e_{ox}=x_m-x_{p0}$) δεν οφείλεται σε απόκλιση της τιμής της τετμημένης του πλασματικού άξονα P_0 (5.425m κατά τη λύση αναφοράς και 5.421m κατά την επίλυση με το ΡΑΦ), αλλά στην διαφοροποίηση της τιμής της τετμημένης του κέντρου μάζας x_m . Όπως τονίστηκε και στο κεφάλαιο 2, ο υπολογισμός των συντεταγμένων του κέντρου μάζας μίας στάθμης από το ΡΑΦ γίνεται με βάση την κατανομή των κατακορύφων φορτίων, ενώ στις αναλύσεις αναφοράς ως κέντρο μάζας θεωρείται το γεωμετρικό κέντρο βάρους (βλ. παραδοχή (δ1)). Έτσι σύμφωνα με το ΡΑΦ $x_m=5.92m$ ενώ σύμφωνα με τις αναλύσεις αναφοράς $x_m=6.00m$. Επομένως $e_{ox_ΡΑΦ}=5.92-5.421\approx 0.5m$, ενώ $e_{ox_ΟΑΣΠ}=6.00-5.425\approx 0.575m$. Υπενθυμίζεται στο σημείο αυτό ότι παρά την προσαρμογή των παραδοχών του ΡΑΦ στις παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς, δεν είναι δυνατή η τροποποίηση των συντεταγμένων των κέντρων μάζας που υπολογίζει αυτόματα το πρόγραμμα (βλ. εισαγωγή κεφαλαίου 3).
- Η απόκλιση που παρατηρείται στον υπολογισμό των τυχηματικών εκκεντροτήτων μπορεί να αιτιολογηθεί ως εξής: Οι τυχηματικές εκκεντρότητες $e_{Tx,i}$ ($e_{Ty,i}$) υπολογίζονται από τη σχέση $0.05\cdot L_x$ ($0.05\cdot L_y$). Κατά τις αναλύσεις αναφοράς, το μήκος L_x λαμβάνεται μετρούμενο από τις εξωτερικές παριές των δοκών ΒΥ1 και ΒΥ6 (βλ. σχήμα 0) και έτσι προκύπτει ίσο με $12+0.25=12.25m$. Επομένως $e_{Tx,i}=0.05\cdot 12.25=0.6125m$ (αντίστοιχο είναι το σκεπτικό υπολογισμού της τυχηματικής εκκεντρότητας $e_{Ty,i}=0.05\cdot 6.25=0.3125m$). Κατά τις αναλύσεις με το ΡΑΦ το συγκεκριμένο μήκος λαμβάνεται μετρούμενο με βάση τις συντεταγμένες (τετμημένες x) των πιο ακραίων κόμβων του προσομοιώματος (κόμβοι Κ1 και Κ4, βλέπε σκαρίφημα κτιρίου) και έτσι προκύπτει ίσο με 12.0m. Κατά συνέπεια $e_{Tx,i}=0.05\cdot 12.0=0.6m$ (τα αντίστοιχα ισχύουν και για την τυχηματική εκκεντρότητα $e_{Ty,i}=0.05\cdot 6.0=0.3m$).
- Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται στον υπολογισμό των εκκεντροτήτων σχεδιασμού οφείλονται αφενώς στις αποκλίσεις των τιμών των στατικών και των τυχηματικών εκκεντροτήτων (που αιτιολογήθηκαν πιο πάνω) και αφετέρου στην διαδικασία υπολογισμού των ισοδύναμων στατικών εκκεντροτήτων η οποία λόγω του ότι το κτίριο είναι στρεπτικώς ευαίσθητο, δεν πραγματοποιείται με βάση τις προσεγγιστικές σχέσεις του ΕΑΚ/2000 (σχέσεις (3.3.α,β)) αλλά με βάση την αναλυτική διαδικασία υπολογισμού που παρουσιάζεται στο Παράρτημα ΣΤ του κανονισμού. Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρήσει κανείς, η συγκεκριμένη διαδικασία είναι εξαιρετικά πολύπλοκη και σε αυτήν υπεισέρχεται όχι μόνον η τιμή της στατικής εκκεντρότητας e_{ox} – η τιμή της οποίας υπολογίζεται από το ΡΑΦ διαφορετικά από ότι στις αναλύσεις αναφοράς όπως παρουσιάστηκε πιο πάνω – αλλά και μία σειρά από παραμέτρους που παρουσιάζονται στον πίνακα 10. Δεδομένου ότι οι τιμές των παραμέτρων αυτών αποκλίνουν έστω και λίγο από τις τιμές των αναλύσεων αναφοράς, και αν επίσης ληφθεί υπόψη το ότι οι σχέσεις υπολογισμού του Παραρτήματος ΣΤ είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις τιμές των συγκεκριμένων παραμέτρων (διότι μεταξύ άλλων υπεισέρχονται τριγωνομετρικές και εκθετικές συναρτήσεις) τότε πολύ εύκολα εξάγεται το συμπέρασμα του γιατί εμφανίζον-

Τα οι αποκλίσεις των τιμών των εκκεντροτήτων σχεδιασμού μεταξύ του ΡΑΦ και των αναλύσεων αναφοράς. Για καλύτερη κατανόηση των παραπάνω παρουσιάζεται παράλληλα η διαδικασία υπολογισμού από το ΡΑΦ και από την ανάλυση του προτύπου παραδείγματος (βλ. και Πρότυπα Αριθμητικά Παραδείγματα: Αβραμίδης Ι., 2005).

- Κατηγορία εδάφους θεμελίωσης: $A \rightarrow T_2=0.40\text{sec}$
- Ασύζευκτη ιδιοπερίοδος κατά την κύρια διεύθυνση χ: $T_x > T_2 \Rightarrow n=2/3$
 ΟΑΣΠ: $T_x=0.6217\text{sec}$
 ΡΑΦ: $T_x=0.6206\text{sec}$
- Στατική εκκεντρότητα: ΟΑΣΠ: $e_{ox}=0.5751\text{m}$ / ΡΑΦ: $e_{ox}=0.5\text{m}$ $\epsilon_{ox}=e_{ox}/r \Rightarrow \epsilon_{ox}=0.1449$
- Ακτίνα αδράνειας των πατωμάτων: ΟΑΣΠ: $r=3.97\text{m}$ / ΡΑΦ: $r=3.97\text{m}$ $\epsilon_{ox}=e_{ox}/r \Rightarrow \epsilon_{ox}=0.1259$
- Ακτίνα δυστρεψιάς ως προς τον πλασματικό άξονα:
 ΟΑΣΠ: $\rho_x=3.641$ $\mu=\rho_x/r \Rightarrow \mu=0.9172$
 ΡΑΦ: $\rho_x=3.612$ $\mu=\rho_x/r \Rightarrow \mu=0.91$
- Απόσταση του ΚΜ από το αριστερό όριο του πατώματος (διεύθυνση χ):
 ΟΑΣΠ: $L_{rx}=6.125\text{m}$ $l_{rx}=L_{rx}/r \Rightarrow l_{rx}=1.5428$
 ΡΑΦ: $L_{rx}=5.92\text{m}$ $l_{rx}=L_{rx}/r \Rightarrow l_{rx}=1.491$

ΟΑΣΠ: $\epsilon\phi\alpha_0 = \frac{2\epsilon_{ox}}{(\epsilon_{ox}^2 + \mu^2) - 1} \Rightarrow \epsilon\phi\alpha_0 = -2,1031 \Rightarrow \alpha_0 = -64,57^\circ < 0$. Επομένως, $\theta = 90^\circ - |\alpha_0 / 2| \Rightarrow \theta = 57,715^\circ$

ΡΑΦ: $\epsilon\phi\alpha_0 = \frac{2\epsilon_{ox}}{(\epsilon_{ox}^2 + \mu^2) - 1} \Rightarrow \epsilon\phi\alpha_0 = -1,6117 \Rightarrow \alpha_0 = -58,18^\circ < 0$. Επομένως, $\theta = 90^\circ - |\alpha_0 / 2| \Rightarrow \theta = 60,91^\circ$

- $A_1=1-\epsilon_{ox}\epsilon\phi\theta \Rightarrow A_1=0.7707$ $\delta_{r1}=\sigma\phi\theta-l_{rx} \Rightarrow \delta_{r1}=-0.911$ ΟΑΣΠ: $r_{12} = \sqrt{A_2/A_1} \Rightarrow r_{12} = 1,19$
 - $A_1=1-\epsilon_{ox}\epsilon\phi\theta \Rightarrow A_1=0.7737$ $\delta_{r1}=\sigma\phi\theta-l_{rx} \Rightarrow \delta_{r1}=-0.935$ ΡΑΦ: $r_{12} = \sqrt{A_2/A_1} \Rightarrow r_{12} = 1,176$
 - $A_2=1+\epsilon_{ox}\sigma\phi\theta \Rightarrow A_2=1.0915$ $\delta_{r2}=\epsilon\phi\theta+l_{rx} \Rightarrow \delta_{r2}=3.1256$
 - $A_2=1+\epsilon_{ox}\sigma\phi\theta \Rightarrow A_2=1.07$ $\delta_{r2}=\epsilon\phi\theta+l_{rx} \Rightarrow \delta_{r2}=3.288$
- Κρίσιμη απόσβεση: $\zeta=5\%$

ΟΑΣΠ: $\epsilon_{12} = \frac{8\zeta^2(1+r_{12})r_{12}^{3/2}}{10^4(1-r_{12}^2)^2 + 4\zeta^2r_{12}(1+r_{12})^2} \Rightarrow \epsilon_{12} = 0,2469$

ΡΑΦ: $\epsilon_{12} = \frac{8\zeta^2(1+r_{12})r_{12}^{3/2}}{10^4(1-r_{12}^2)^2 + 4\zeta^2r_{12}(1+r_{12})^2} \Rightarrow \epsilon_{12} = 0,2743$

$R_f = \frac{\eta\mu 2\theta}{2} \left(\frac{1}{A_1^{2n}} + \frac{1}{A_2^{2n}} - 2\epsilon_{12} \frac{1}{A_1^n A_2^n} \right)^{1/2}$ ΟΑΣΠ: $R_f=0,5975$
ΡΑΦ: $R_f=0.5539$

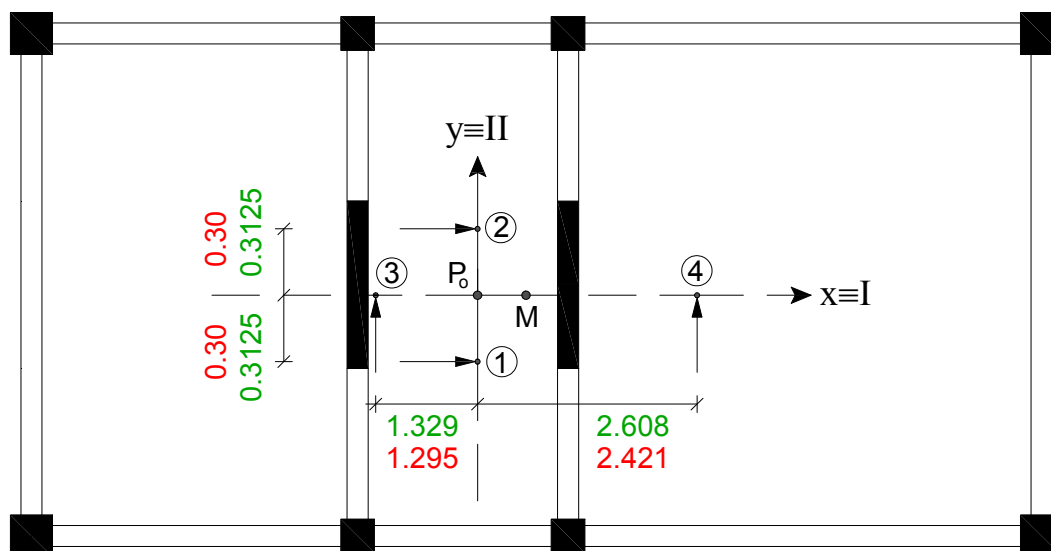
$D_r = \frac{\eta\mu 2\theta}{2} \left(\frac{\delta_{r1}^2}{A_1^{2n}} + \frac{\delta_{r2}^2}{A_2^{2n}} + 2\epsilon_{12} \frac{\delta_{r1}\delta_{r2}}{A_1^n A_2^n} \right)^{1/2}$ ΟΑΣΠ: $D_r=1,3001$
ΡΑΦ: $D_r=1.288$

Ισοδύναμες στατικές εκκεντρότητες – εκκεντρότητες σχεδιασμού:

$e_f = \frac{\rho_x^2}{r} R_f$ ΟΑΣΠ: $e_f=1.9955$ $\max e_x=e_f+e_i=1.9955+0.6125=2.608$
ΡΑΦ: $e_f=1.8203$ $\max e_x=e_f+e_i=1.8203+0.6=2.42$

$$e_r = \frac{\rho_x^2}{r} \left(\frac{1-D_r}{I_{rx} - \epsilon_{ox}} \right)$$

ΟΑΣΠ: $e_r = -0,717$ $\max e_x = e_r - e_r = -0.717 - 0.6125 = -1.329$
 ΡΑΦ: $e_r = -0,695$ $\max e_x = e_r + e_r = -0.695 - 0.6 = -1.295$



Κόκκινοι αριθμοί: Ανάλυση ΡΑΦ

Πράσινοι αριθμοί: Ανάλυση Αναφοράς

ΠΙΝΑΚΑΣ 11. Τελική κατανομή οριζοντίων δυνάμεων

ΟΡΟΦΟΣ	ΟΑΣΠ		ΡΑΦ					
1	F _x =	F _y =	F _x =	F _y =	35.96	47.29	36.00	47.60
2					59.84	78.71	59.92	79.22
3					85.48	112.45	85.59	113.17
4					111.13	146.18	111.27	147.12
5					103.02	135.51	103.14	136.37

(B) Μεγέθη έντασης

Στον πίνακα 12α παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ των στοιχείων C1 και T1 στο ισόγειο, λόγω των τεσσάρων μεμονωμένων στατικών επιλύσεων με τις ισοδύναμες σεισμικές οριζόντιες δυνάμεις (βλ. πίνακα 11) εφαρμοσμένες σε έκκεντρες ως προς τα ΚΜ των ορόφων θέσεις, όπως προβλέπει ο ΕΑΚ/2000 στην παράγραφο 3.3.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12α. Τιμές των μεγεθών έντασης των στοιχείων C1 και T1 στο ισόγειο λόγω των τεσσάρων μεμονωμένων επιλύσεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

ΑΙΤΙΟ	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3		
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
C1	F_x (mine _y)	κάτω	190.35	191.75	-6.94	-6.66	146.32	146.27
		άνω	190.35	191.75	3.11	2.99	-75.37	-75.48
	F_x (maxe _y)	κάτω	193.82	195.02	6.94	6.67	138.42	138.69
		άνω	193.82	195.02	-3.12	-3.00	-71.60	-71.86
	F_y (mine _x)	κάτω	114.75	112.20	91.61	91.02	-20.31	-19.96
		άνω	114.75	112.20	-36.91	-36.83	8.17	8.05
F_y (maxe _x)	κάτω	85.99	85.30	-23.41	-18.43	45.11	42.30	
	άνω	85.99	85.30	14.71	12.32	-23.06	-21.68	
ΑΙΤΙΟ	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3		
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
T1	F_x (mine _y)	κάτω	-20.61	-19.99	-25.87	-24.84	36.88	37.02
		άνω	-20.61	-19.99	2.46	2.41	-7.28	-7.54
	F_x (maxe _y)	κάτω	-20.61	-19.99	25.87	24.84	36.88	37.02
		άνω	-20.61	-19.99	-2.46	-2.41	-7.28	-7.54
	F_y (mine _x)	κάτω	0.00	0.00	932.21	930.72	0.00	0.00
		άνω	0.00	0.00	9.43	4.87	0.00	0.00
F_y (maxe _x)	κάτω	0.00	0.00	503.38	522.84	0.00	0.00	
	άνω	0.00	0.00	50.26	44.20	0.00	0.00	

Από τον πίνακα 12α καθίσταται σαφής η γενικώς πολύ καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ με τα αποτελέσματα αναφοράς. Οι κάπως μεγαλύτερες αποκλίσεις που παρατηρούνται στα αποτελέσματα που αφορούν τις ροπές για την περίπτωση φόρτισης $F_y - \max e_x$ μπορούν να αποδοθούν κυρίως στην διαφορά της τιμής της εκκεντρότητας $\max e_x$ (2.608m κατά τις αναλύσεις αναφοράς και 2.42m κατά τις αναλύσεις με το ΡΑΦ όπως εξηγήθηκε και πιο πάνω).

Η διαφορά αυτή προκαλεί αύξηση της τιμής του μοχλοβραχίονα της δύναμης F_y (σε σχέση με τη αντίστοιχη τιμή που προκύπτει από τους υπολογισμούς με το ΡΑΦ) η οποία προκαλεί αποκλίσεις κυρίως στο υποστύλωμα C1 το οποίο απέχει από το σημείο εφαρμογής της δύναμης περισσότερο από ότι το τοίχωμα T1 (βλ. σχήμα 0).

ΠΙΝΑΚΑΣ 12β. Τιμές των μεγεθών έντασης της δοκού ΒΧ1 στον πρώτο όροφο λόγω των τεσσάρων μεμονωμένων επιλύσεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου

	ΑΙΤΙΟ	Θέση στο στοιχείο	V2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
ΒΧ1	F_x (mine _y)	αρχή	67.79	67.87	135.30	135.42
		τέλος	67.79	67.87	-105.34	-105.52
	F_x (maxe _y)	αρχή	63.88	64.11	127.48	127.90
		τέλος	63.88	64.11	-99.29	-99.71
	F_y (mine _x)	αρχή	-8.23	-8.15	-16.82	-16.66
		τέλος	-8.23	-8.15	12.38	12.29
	F_y (maxe _x)	αρχή	24.15	22.69	48.03	45.12
		τέλος	24.15	22.69	-37.70	-35.44

Είναι σαφής η πολύ καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων των δύο αναλύσεων. Ωστόσο και εδώ παρατηρείται μια μικρή αύξηση των αποκλίσεων στην περίπτωση φόρτισης $F_y - \max e_x$ η οποία οφείλεται στο αίτιο στο οποίο έγινε αναφορά στα σχόλια του πίνακα 12α.

Στον παρακάτω πίνακα 13α παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων και ταυτόχρονων τιμών των μεγεθών P , M_2 , M_3 λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης των οριζόντιων στατικών δυνάμεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, στη βάση του υποστυλώματος C1 και του τοιχώματος T1 στο ισόγειο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13α. Ακραίες και ταυτόχρονες τιμές των μεγεθών έντασης των στοιχείων C1 και T1 στο ισόγειο – Συνδυασμός EX1-EY3

C1 κάτω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
$exP=$	222.26	222.2	$M_{2,P}=$	41.35	40.22	$M_{3,P}=$	114.83	116.17
$P, M_2=$	100.04	97.90	$exM_2=$	91.87	91.26	$M_{3,M_2}=$	-31.31	-30.58
$P, M_3=$	172.77	174.82	$M_{2,M_3}=$	-19.47	-18.91	$exM_3=$	147.72	147.63

T1 κάτω	P		M ₂		M ₃			
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
$exP=$	20.61	19.99	$M_{2,P}=$	25.87	24.84	$M_{3,P}=$	-36.88	-37.02
$P, M_2=$	0.57	0.54	$exM_2=$	932.57	931.06	$M_{3,M_2}=$	-1.02	-0.99
$P, M_3=$	-20.61	-19.99	$M_{2,M_3}=$	-25.87	-24.84	$exM_3=$	36.88	37.02

Και από τον πίνακα 13α προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων του ΡΑΦ από τα αποτελέσματα αναφοράς, είναι μικρές και σε αποδεκτό επίπεδο.

Στον πίνακα 13β παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων τιμών των τεμνουσών V_2 και των ροπών M_3 της δοκού ΒΧ1 στον πρώτο όροφο, για τους 4 συνδυασμούς της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13β. Ακραίες τιμές των μεγεθών έντασης της δοκού ΒΧ1 στον πρώτο όροφο

	ΑΙΤΙΟ	Θέση στο	V2		M3	
			ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
ΒΧ1	E13	αρχή	68.29	68.36	136.34	136.44
		τέλος	68.29	68.36	106.07	106.23
	E14	αρχή	71.96	71.56	143.57	142.74
		τέλος	71.96	71.56	111.88	111.31
	E23	αρχή	64.41	64.63	128.59	128.98
		τέλος	64.41	64.63	100.06	100.46
	E24	αρχή	68.29	68.01	136.23	135.62
		τέλος	68.29	68.01	106.21	105.82

Όλες οι αποκλίσεις του παραπάνω πίνακα είναι μικρότερες του $\pm 1\%$.

(Γ) Μεγέθη μετακίνησης

Στον παρακάτω πίνακα 14 παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών μετακίνησης exU_x , exU_y και exR_z λόγω ταυτόχρονης δράσης των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου, στην κορυφή του κτιρίου στο σημείο που βρίσκεται η κεφαλή του υποστυλώματος C1.

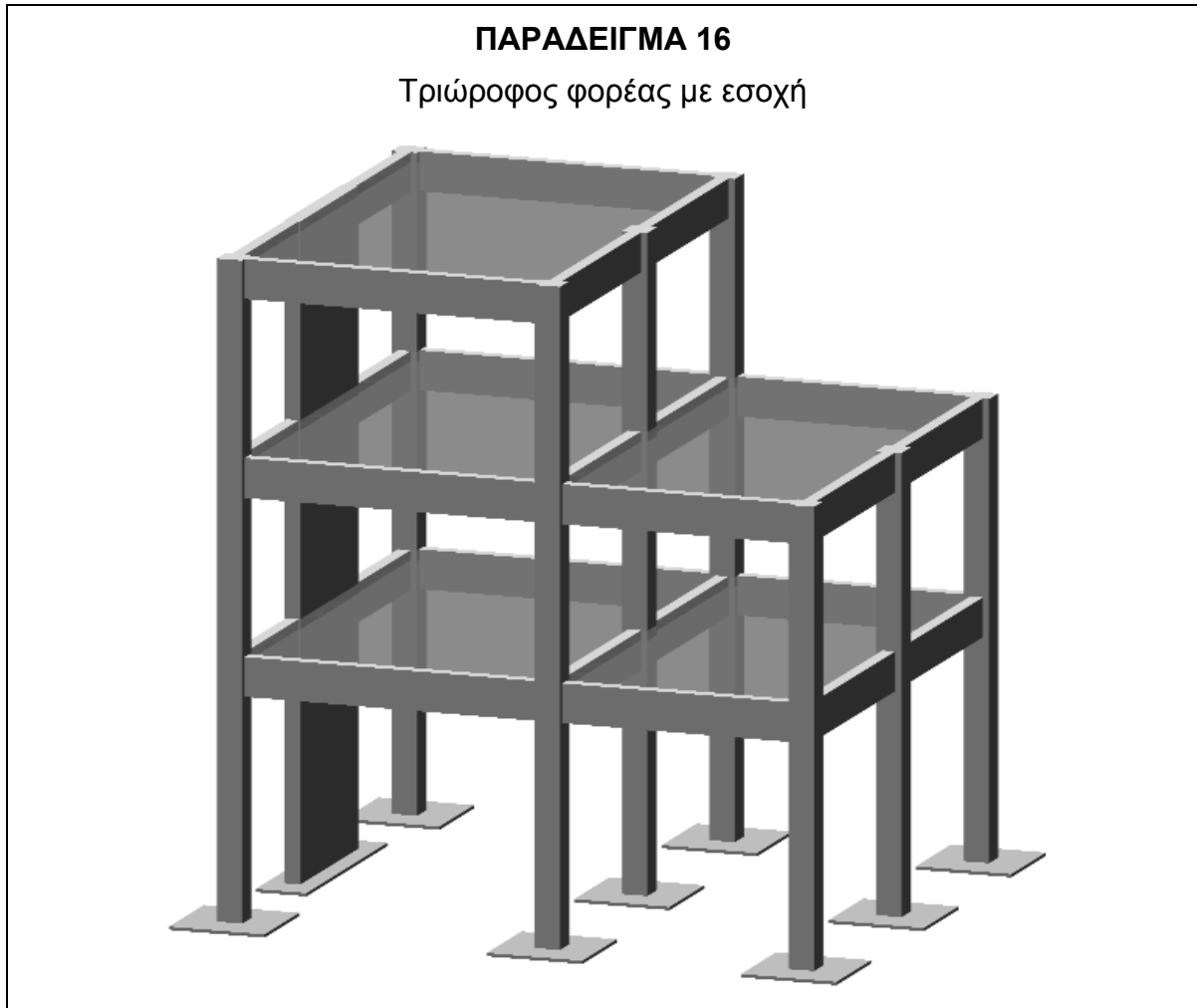
ΠΙΝΑΚΑΣ 14. Ακραίες τιμές των μετακινήσεων στην κορυφή του κτιρίου λόγω ταυτόχρονης δράσης του σεισμού σε δύο οριζόντιες διευθύνσεις

ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ	exU_x (m)		exU_y (m)		exR_z (rad)	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
EX1-EY3	0.0128	0.0127	0.0118	0.0116	0.00075	0.00070
EX1-EY4	0.0133	0.0131	0.0007	0.0008	0.00143	0.00130
EX2-EY3	0.0120	0.0120	0.0118	0.0116	0.00075	0.00070
EX2-EY4	0.0125	0.0124	0.0007	0.0008	0.00143	0.00130

Παρατηρούνται γενικώς πολύ μικρές αποκλίσεις.

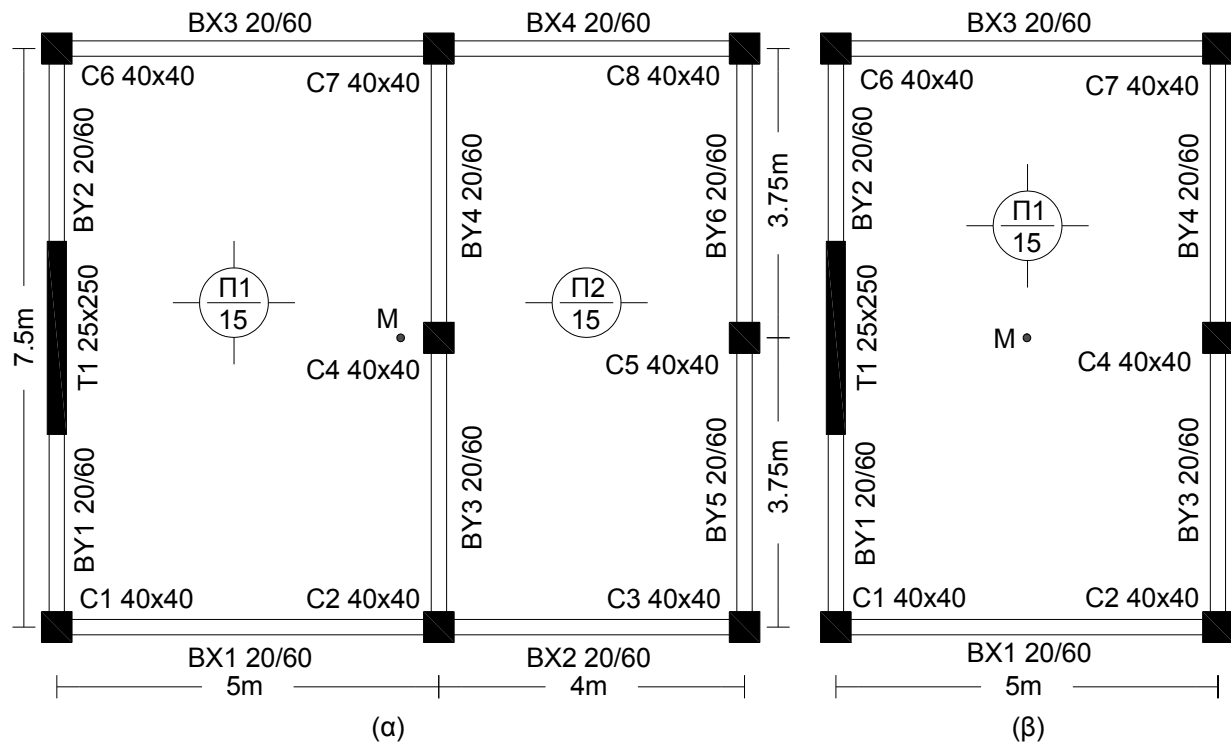
(Δ) Έλεγχος γωνιακής παραμόρφωσης

Τα αποτελέσματα που εξάγει το ΡΑΦ για τον έλεγχο γωνιακής παραμόρφωσης στα πλαίσια της απλοποιημένης φασματικής μεθόδου, αναφέρονται στον δυσμενέστερο από τους τέσσερις συνδυασμούς δράσεων της μεθόδου. Υπο την έννοια αυτή τα εξαγόμενα του ΡΑΦ δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του πρότυπου παραδείγματος τα οποία αναφέρονται μόνον στον συνδυασμό δράσεων (EX1-EY3). Πέραν όμως τούτου τα αποτελέσματα του ελέγχου γωνιακής παραμόρφωσης από το ΡΑΦ δεν μπορούν να συγκριθούν με τα αποτελέσματα του πρότυπου παραδείγματος και λόγω του γεγονότος που αναλύθηκε στην παράγραφο 3.2(Δ).

6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 16

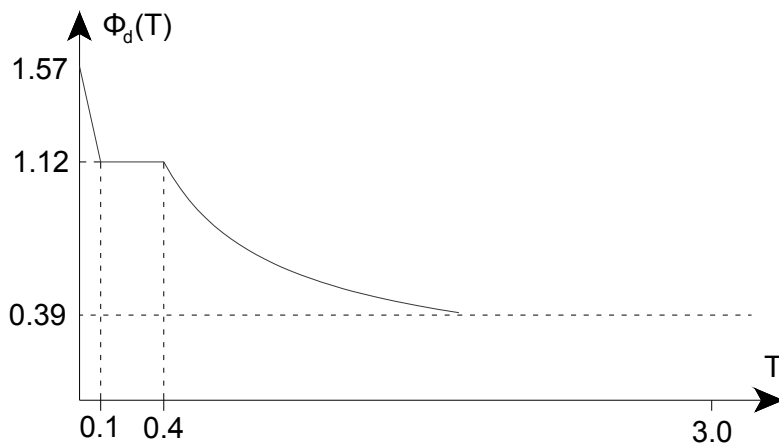
6.1 Δεδομένα – Σκαριφήματα φορέα

- Υλικό: Οπλισμένο σκυρόδεμα ($E=2.9 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0.2$, $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$)
- Δεδομένα ανωδομής:

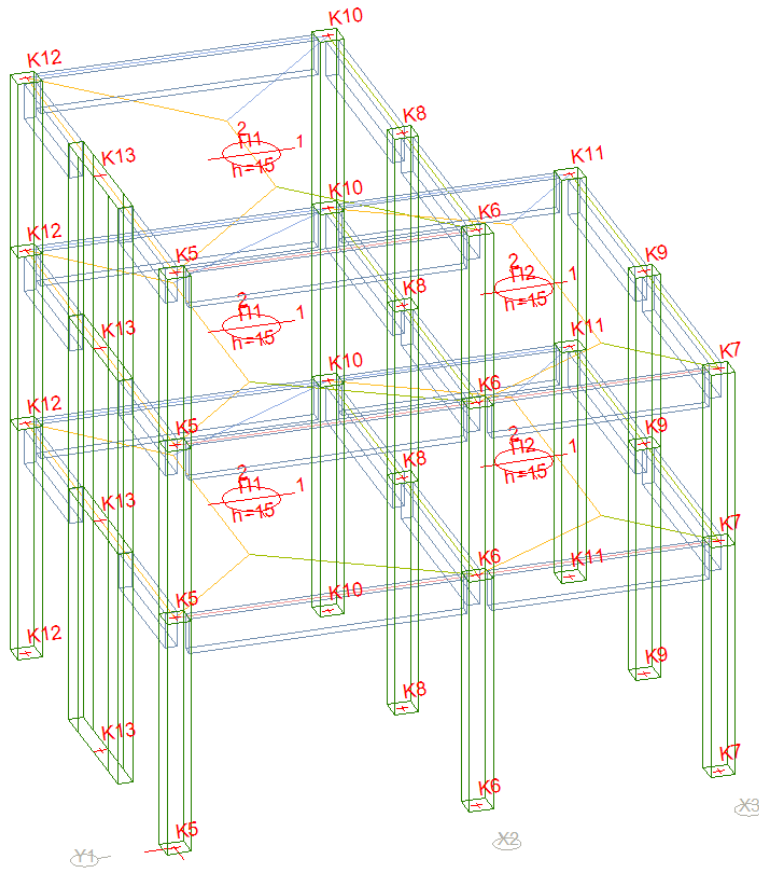


Σχήμα 0. (α) Κάτοψη πρώτου και δεύτερου ορόφου, (β) κάτοψη τρίτου ορόφου

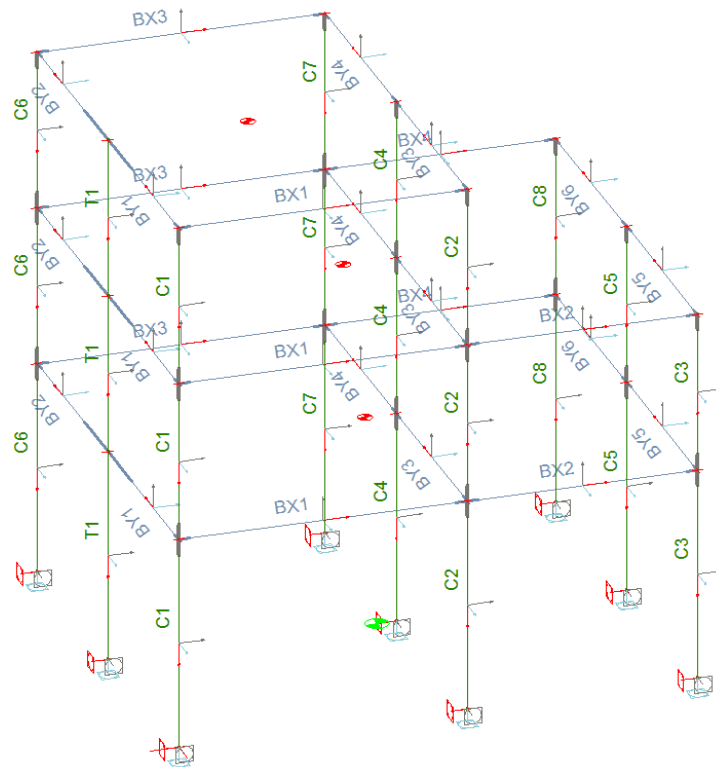
- Ύψη ορόφων: 1^{ος}: 4m, 2^{ος} – 3^{ος}: 3m
- Περιμετρικά το κτίριο έχει μπατική τοιχοποιία (3.6 kN/m^2).
- Κατά μήκος των δοκών ΒΥ3, ΒΥ4 υπάρχει δρομική τοιχοποιία (2.1 kN/m^2) στον πρώτο και στον δεύτερο όροφο.
- Στο δώμα σε όλη την περίμετρο υπάρχει στηθαίο από μπατική τοιχοποιία ύψους 1m.
- Τα δάπεδα έχουν επίστρωση (επικάλυψη) βάρους 1.3 kN/m^2 .
- Το ωφέλιμο φορτίο (κινητό φορτίο) ελήφθη ίσο με $Q=2 \text{ kN/m}^2$
- Δεδομένα Φάσματος σχεδιασμού: ΕΑΚ/2000



- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: I
- Κατηγορία εδάφους: A
- $\theta=1$
- $q=3.5$
- Κατηγορία σπουδαιότητας: Σ_2
- Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης: $\zeta=5\%$



Τρισδιάστατη απεικόνιση του φορέα



Διακριτοποίηση φορέα. Αρίθμηση και τοπικοί άξονες στοιχείων

6.2 Παραδοχές

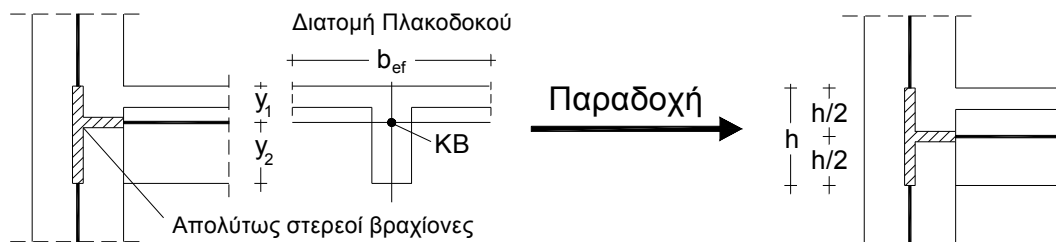
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται:

- Οι παραδοχές με τις οποίες έγινε η προσομοίωση του φορέα στα πλαίσια των αναλύσεων αναφοράς (Αναλύσεις ΟΑΣΠ – Πρότυπα Αριθμητικά Παραδείγματα: Αβραμίδης Ι., 2005).
- Οι προκαθορισμένες (default) παραδοχές που γίνονται αυτόματα από το πρόγραμμα για τη μόρφωση του υπολογιστικού προσομοιώματος.

6.2.1 Παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ)

(α) Παραδοχές για την προσομοίωση του φορέα

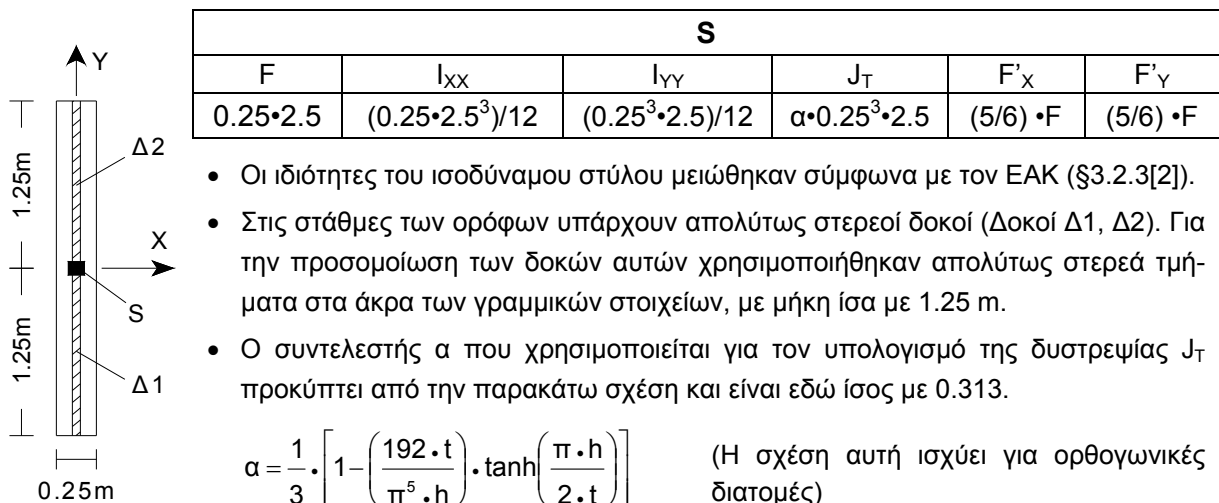
- Διαφραγματική λειτουργία πλακών: Θεώρηση ατενούς διαφράγματος στις στάθμες που ορίζονται στο σχήμα 1.
- Συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκών: $b_{ef}=b_w+(1/5)l_o$, $l_o=0.85l$.
Όπου l =το θεωρητικό – καθαρό – άνοιγμα της δοκού και b_w =το πλάτος της δοκού.
- Οι δυσκαμψίες και οι δυστρεψίες των διατομών ελήφθησαν μειωμένες σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (§3.2.3[2]).
- Ελήφθησαν υπόψη καμπτικές, διαμητικές, αξονικές και στρεπτικές παραμορφώσεις.
- Κατά τη μόρφωση του μοντέλου θεωρήθηκαν στους κόμβους απολύτως στερεά τμήματα (βλ. σχήμα 1).
- Δεν ελήφθησαν υπόψη ανοίγματα στις τοιχοποιίες.



Σχήμα 1. Λεπτομέρεια προσομοίωσης των πλαισιακών κόμβων

(β) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση του τοιχώματος T1

Η προσομοίωση του τοιχώματος έγινε με έναν ισοδύναμο στύλο S στο κέντρο βάρους της διατομής του. Οι γεωμετρικές ιδιότητες της διατομής αυτής δίνονται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Πλαισιακή προσομοίωση του τοιχώματος T1

(γ) Παραδοχές για την προσομοίωση των κατακόρυφων φορτίων

- (γ1) Κατανομή φορτίων πλακών με τον κανόνα 45° ή 60° σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ (και χωρίς ομοιομορφοποίηση).
- (γ2) Το ίδιο βάρος των υποστυλωμάτων ελήφθη υπόψη ως κατανεμημένο ομοιόμορφο αξονικό φορτίο.
- (γ3) Ίδια βάρη δοκών και τοιχοποιιών επί αυτών, ελήφθησαν υπόψη ως ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία.

(δ) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των μαζών

- (δ1) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου θεωρήθηκε συγκεντρωμένη στο γεωμετρικό κέντρο βάρους M του αντίστοιχου ατενούς διαφράγματος.
- (δ2) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου συντίθεται από:
- τη μάζα των πλακών και των δοκών του ορόφου συμπεριλαμβανομένων και των επιστρώσεων,
 - τη μάζα των τοιχοποιιών οι οποίες εδράζονται επί αυτών (η μάζα του σπηθαίου προστίθεται στη μάζα του τελευταίου διαφράγματος),
 - τη μάζα των υποκείμενων και των υπερκείμενων υποστυλωμάτων μέχρι το μέσον του ύψους τους και,
 - τη μάζα που αντιστοιχεί στο 30% του ωφέλιμου φορτίου
- (δ3) Οι μάζες της πλάκας δαπέδου του ισογείου και της τοιχοποιίας του ισογείου δεν συμπεριλαμβάνονται στην ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής.

6.2.2 Προκαθορισμένες (default) παραδοχές ΡΑΦ**(α) Παραδοχές για την προσομοίωση του φορέα**

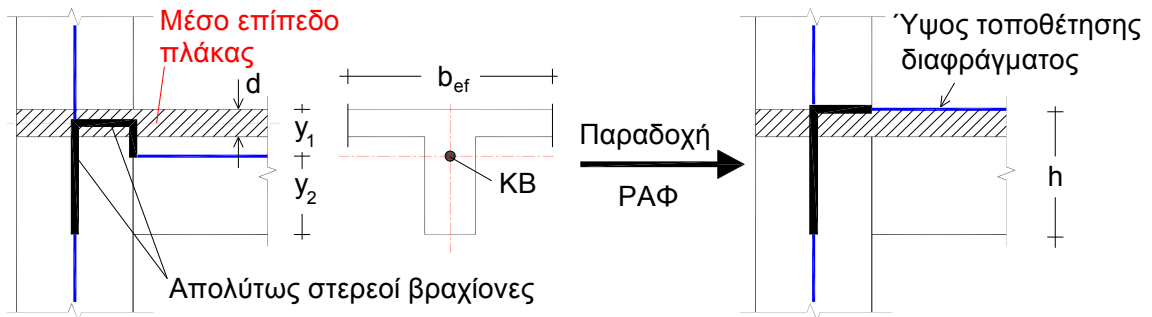
- (α1) Ισχύει η παραδοχή της ανάλυσης αναφοράς (α1) για την διαφραγματική λειτουργία των πλακών.
- (α2) Για τον υπολογισμό των συνεργαζόμενων πλατών των δοκών χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$\text{Διατομές Τ: } b_{\text{eff}} = b_0 + \frac{1}{5} \cdot (0.7 \cdot L)$$

$$\text{Διατομές Γ: } b_{\text{eff}} = b_0 + \frac{1}{10} \cdot (0.7 \cdot L)$$

Όπου L είναι το μήκος του καθαρού ανοίγματος της δοκού (χωρίς τους στερεούς βραχίονες).

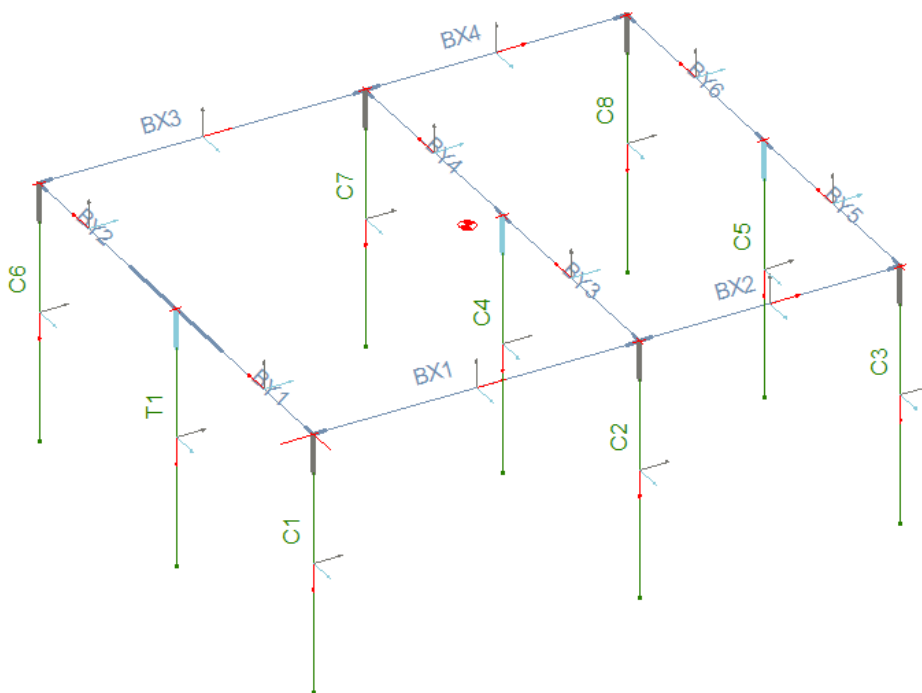
- (α3) Ισχύει η παραδοχή (α3) της ανάλυσης αναφοράς για την μείωση των δυσκαμψιών και των δυστρεψιών σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 (§3.2.3[2]).
- (α4) Ισχύει η παραδοχή (α4) της ανάλυσης αναφοράς για την θεώρηση των καμπτικών, διατμητικών, αξονικών και στρεπτικών παραμορφώσεων.
- (α5) Ισχύει η παραδοχή (α5) της ανάλυσης αναφοράς για την θεώρηση απολύτων στερεών βραχιόνων στα άκρα των δομικών στοιχείων με τις εξής διαφοροποιήσεις:
- Το ύψος τοποθέτησης των διαφραγμάτων δεν συμπίπτει με το ύψος τοποθέτησης που παρουσιάζεται στο σχήμα σχήμα 1. Το ύψος στο οποίο τοποθετούνται από το ΡΑΦ τα διαφράγματα παρουσιάζεται στο σχήμα 3 (βλ. και εγχειρίδιο τεκμηρίωσης ΡΑΦ, §8.2.3):



Σχήμα 3. Παραδοχή του ΡΑΦ για το ύψος τοποθέτησης των διαφραγμάτων.

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα υποστυλώματα δεν έχουν στερεούς βραχίονες στους κόμβους πέρατος τους, όπως προκύπτει από την προσομοίωση με τις παραδοχές των αναλύσεων αναφοράς, και επιπλέον οι στερεοί βραχίονες των κόμβων αρχής τους έχουν διπλάσιο μήκος.

- Στα πλαίσια της προσομοίωσης με τις προκαθορισμένες παραδοχές του ΡΑΦ, τα υποστυλώματα C4, C5 και το τοίχωμα T1 προσομοιώνονται με εφαρμογή της ενσωματωμένης δυνατότητας του προγράμματος για την θεώρηση «διπλών» αξονικών στερεών βραχιόνων (βλ. εγχειρίδιο θεωρητικής τεκμηρίωσης ΡΑΦ). Έτσι επειδή τα συγκεκριμένα στοιχεία συντρέχουν σε κόμβους στους οποίους υπάρχουν δοκοί μόνον κατά την διεύθυνση του τοπικού άξονα 3 της διατομής τους, το πρόγραμμα τοποθετεί αυτοματα αξονικούς στερεούς βραχίονες οι οποίοι ενεργοποιούνται μόνον κατά την κάμψη εντός του τοπικού επιπέδου τους 1-3, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (οι συγκεκριμένοι βραχίονες έχουν γαλάζιο χρώμα):



Σχήμα 4. Αυτόματη τοποθέτηση «διπλών» αξονικών στερεών βραχιόνων στα υποστυλώματα C3, C4 και στο τοίχωμα T1.

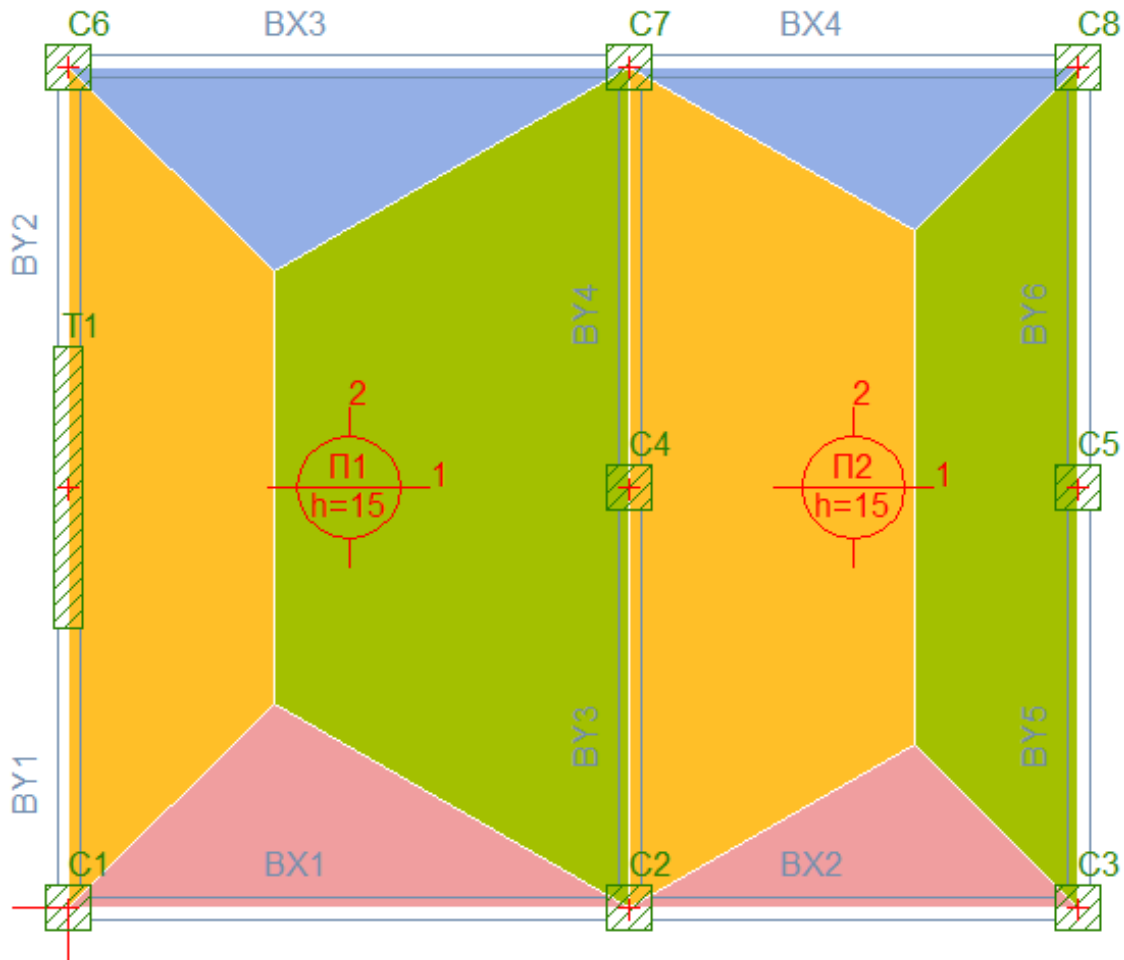
(α6) Δεν ελήφθησαν υπόψη ανοίγματα στις τοιχοποιίες.

(β) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση του τοιχώματος T1

Η αυτόματη προσομοίωση του τοιχώματος από το ΡΑΦ γίνεται με βάση τις ίδιες ακριβώς παραδοχές με τις οποίες γίνεται η προσομοίωση του κατά την ανάλυση αναφοράς.

(γ) Παραδοχές για την προσομοίωση των κατακόρυφων φορτίων

Ισχύουν οι ίδιες παραδοχές με αυτές που γίνονται και για την ανάλυση αναφοράς (βλ. σχήμα 5):



Σχήμα 5. Αυτόματη κατανομή των φορτίων των πλακών στις δοκούς με τον κανόνα 45° ή 60° σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ

(δ) Ειδικότερες παραδοχές για την προσομοίωση των μαζών

- (δ1) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου θεωρήθηκε συγκεντρωμένη στο κέντρο μάζας το οποίο υπολογίζεται με βάση τη διάταξη όλων των φορτίων του ορόφου, και όχι στο γεωμετρικό κέντρο μάζας.
- (δ2) Η συνολική μάζα κάθε ορόφου συντίθεται όπως ακριβώς στην περίπτωση της ανάλυσης αναφοράς.
- (δ3) Οι μάζες της πλάκας δαπέδου του ισογείου και της τοιχοποιίας του ισογείου δεν συμπεριλαμβάνονται στην ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής.

Στον παρακάτω πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μάζες και τα σημεία στα οποία τοποθετούνται, τόσο στα πλαίσια της μόρφωσης του προσομοιώματος αναφοράς όσο στα πλαίσια της προσομοίωσης με τις προκαθορισμένες παραδοχές του ΡΑΦ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Θέσεις και τιμές των μαζών σύμφωνα με την ανάλυση αναφοράς και το ΡΑΦ

	X_m		Y_m		m	
	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	Ανάλυση ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1^{ος} όροφος	4.5	4.46	3.75	3.75	91.37	92.66
2^{ος} όροφος	4.5	4.08	3.75	3.75	79.24	81.25
3^{ος} όροφος	2.5	2.43	3.75	3.75	41.21	40.05

Συνοψίζοντας την σύγκριση των μεταξύ των βασικών παραδοχών των αναλύσεων αναφοράς και των βασικών παραδοχών του ΡΑΦ μπορεί να συνταχθεί ο παρακάτω πίνακας:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Συγκεντρωτική παρουσίαση των κοινών και των μη κοινών παραδοχών των αναλύσεων αναφοράς (αναλύσεις ΟΑΣΠ) και του ΡΑΦ.

Παραδοχή		ΟΑΣΠ / ΡΑΦ
(α1)	Διαφραγματική λειτουργία	Κοινή
(α2)	Συνεργαζόμενο πλάτος	Διαφορετική
(α3)	Απομείωση δυσκαμψιών	Κοινή
(α4)	Θεώρηση καμπτικών, διατμητικών, αξονικών και στρεπτικών παραμορφώσεων	Κοινή
(α5)	Προσομοίωση στερεών βραχιόνων / θέση τοποθέτησης διαφραγμάτων	Διαφορετική
(α6)	Θεώρηση ανοιγμάτων στις τοιχοποιίες	Κοινή
(β)	Ισοδύναμη πλαισιακή προσομοίωση τοιχώματος	Κοινή
(γ1)	Κατανομή φορτίων πλακών	Κοινή
(γ2)	Προσομοίωση ίδιου βάρους υποστυλωμάτων	Κοινή
(γ3)	Προσομοίωση ιδίων βαρών δοκών και τοιχοποιιών	Κοινή
(δ1)	Υπολογισμός θέσης κέντρου βάρους ορόφου	Διαφορετική
(δ2)	Υπολογισμός μάζας ορόφου	Κοινή
(δ3)	Θεώρηση μαζών πλάκας δαπέδου ισογείου και τοιχοποιίας ισογείου	Κοινή

6.3 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης

Στις ακόλουθες παραγράφους θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις αναλύσεις αναφοράς του ΟΑΣΠ (παρουσιάζονται στο βιβλίο των Πρότυπων Αριθμητικών Παραδειγμάτων, Αβραμίδης Ι., 2005). με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις με το ΡΑΦ. Για να είναι αντικειμενικές οι συγκρίσεις, προσαρμόστηκαν οι παραδοχές των αναλύσεων που έγιναν με το ΡΑΦ, με τις παραδοχές των Πρότυπων Αριθμητικών Παραδειγμάτων (αναλύσεις αναφοράς). Θα πρέπει να τονιστεί ότι λέγοντας προσαρμογή των παραδοχών, εννοείται ειδικά η προσαρμογή των παραδοχών που παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Έτσι έγιναν οι εξής επεμβάσεις στο αρχικό (και αυτόματα μορφωμένο από το ΡΑΦ) προσομοίωμα με τη βοήθεια του γραφικού περιβάλλοντος του προγράμματος:

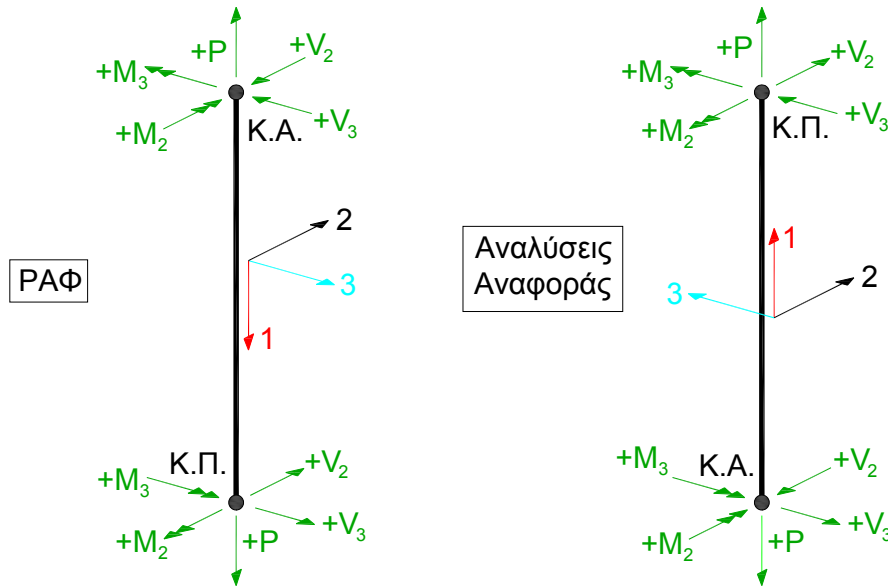
- Προσαρμόστηκαν τα συνεργαζόμενα πλάτη των δοκών.
- Προσαρμόστηκαν τα μήκη των στερεών βραχιόνων των στοιχείων.
- Εισήχθησαν οι τιμές των μαζών και των μαζικών ροπών αδράνειας που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις αναφοράς.

Παρά τις παραπάνω προσαρμογές δεν είναι δυνατή η πλήρης (100%) ταύτιση των παραδοχών επίλυσης, διότι δεν υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής των συντεταγμένων των κέντρων μάζας που υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Θα πρέπει επίσης να καταστεί σαφές ότι δεν μπορούν να αποκλειστούν κάποιοι παράγοντες απόκλισης των αποτελεσμάτων οι οποίοι πηγάζουν από τις διαφορετικές τεχνολογίες των μεταγλωτιστών με τους οποίους μεταγλωτίστηκε το ΡΑΦ και το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς του ΟΑΣΠ. Αποκλίσεις στα αποτελέσματα δημιουργούνται επίσης και από τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των τεχνικών επίλυσης του ΡΑΦ και του προγράμματος με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς (π.χ. αλγόριθμοι σχηματισμού μητρώων δυσκαμψίας, υπολογισμού ιδιοπεριόδων κ.τ.λ.). Επομένως είναι πρακτικά αδύνατη η πλήρης ταύτιση των συγκρινόμενων αποτελεσμάτων. Σε κάθε περίπτωση πάντως παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τρόπο που ο χρήστης μπορεί να αξιολογήσει με την κρίση του την επάρκεια και την αξιοπιστία του ΡΑΦ, ενώ όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο παρατίθενται και βοηθητικά σχόλια.

Θα πρέπει τέλος να τονιστεί ότι το συγκεκριμένο παράδειγμα επιλύθηκε στα πλαίσια των πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων μόνον με τη δυναμική φασματική μέθοδο. Έτσι οι συγκρίσεις των πρότυπων αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα του ΡΑΦ γίνονται μόνον για την συγκεκριμένη μέθοδο αντισεισμικού υπολογισμού.

6.3.1 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ανάλυσης λόγω στατικών φορτίων $G+\psi_2Q$

Στον παρακάτω πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών έντασης του υποστυλώματος C3 και του τοιχώματος T1 στο ισόγειο. Λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού του τοπικού συστήματος αναφοράς των στοιχείων που χρησιμοποιείται από το ΡΑΦ και από το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς, στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών έντασης προσαρμοσμένες με βάση το παρακάτω σχήμα 6 έτσι ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμες.



Σχήμα 6. Ορισμός των συμβατικά θετικών τιμών των μεγεθών έντασης των κατακορύφων στοιχείων από το ΡΑΦ και από το πρόγραμμα με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις αναφοράς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Εντασιακά μεγέθη του υποστυλώματος C3 και του τοιχώματος T1 στο ισόγειο

Στοιχείο/ Θέση		P		M2		M3	
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
T1	κάτω	-413.61	-414.93	≈0	≈0	≈0	≈0
	άνω	-349.94	-352.43	≈0	≈0	≈0	≈0
C3	κάτω	-125.24	-119.66	-2.13	-2.23	2.62	2.61
	άνω	-110.17	-104.86	3.92	4.13	-4.39	-4.63
Στοιχείο/ Θέση		T		V2		V3	
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
T1	κάτω	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
	άνω	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
C3	κάτω	≈0	≈0	1.9	1.95	-1.63	-1.72
	άνω	≈0	≈0	1.9	1.95	-1.63	-1.72

Απο τον παραπάνω πίνακα εξάγεται το γενικό συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα του ΡΑΦ συγκλίνουν σε πάρα πολύ ικανοποιητικό βαθμό με τα αποτελέσματα αναφοράς (ΟΑΣΠ).

6.3.2 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου (ΔΦΜ) (Α) Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης

Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών των 8 πρώτων ιδιοπεριόδων ταλάντωσης του κτιρίου, και στον πίνακα 5 τα αθροιστικά ποσοστά συμμετοχής των μαζών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Ιδιοπερίοδοι (με τη μάζα στα μετατοπισμένα ΚΜ)

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος (sec)							
	Θέση 1		Θέση 2		Θέση 3		Θέση 4	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.398	0.398	0.398	0.398	0.399	0.399	0.399	0.399
2	0.254	0.246	0.284	0.280	0.268	0.260	0.268	0.260
3	0.148	0.151	0.136	0.139	0.141	0.144	0.141	0.144
4	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127	0.127
5	0.080	0.079	0.086	0.087	0.083	0.082	0.083	0.082
6	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068
7	0.052	0.051	0.059	0.058	0.055	0.054	0.055	0.054
8	0.042	0.042	0.037	0.037	0.039	0.040	0.039	0.040

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Αθροιστικά ποσοστά συμμετοχής των μαζών (%)

Ιδιομορφή	Θέση 1				Θέση 2			
	Διέγερση x		Διέγερση y		Διέγερση x		Διέγερση y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	93.64	93.66	0	0	93.64	93.66	0	0
2	93.64	93.66	66.20	65.91	93.64	93.66	70.13	70.67
3	93.64	93.66	89.82	90.10	93.64	93.66	89.25	90.06
4	98.90	98.91	89.82	90.10	98.90	98.91	89.25	90.06
5	98.90	98.91	94.14	94.18	98.90	98.91	95.21	95.52
6	100.00	100.00	94.14	94.18	100.00	100.00	95.21	95.52
7	100.00	100.00	94.59	94.58	100.00	100.00	95.50	95.70
8	100.00	100.00	99.46	99.38	100.00	100.00	99.56	99.47

Ιδιομορφή	Θέση 3				Θέση 4			
	Διέγερση x		Διέγερση y		Διέγερση x		Διέγερση y	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	93.37	93.44	0.14	0.10	93.37	93.44	0	0.1035
2	93.61	93.63	68.31	67.92	93.61	93.63	68.31	67.92
3	93.62	93.64	89.69	90.06	93.62	93.64	89.69	90.06
4	98.89	98.89	89.70	90.06	98.89	98.89	89.70	90.06
5	98.90	98.91	94.68	94.69	98.90	98.91	94.68	94.69
6	99.98	99.99	94.69	94.70	99.98	99.99	94.69	94.70
7	100.00	100.00	95.08	95.05	100.00	100.00	95.08	95.05
8	100.00	100.00	99.51	99.44	100.00	100.00	99.51	99.44

Οι αποκλίσεις των τιμών των δύο παραπάνω πινάκων είναι γενικά πάρα πολύ μικρές και θεωρούνται αποδεκτές.

(B) Μεγέθη έντασης

Στον παρακάτω πίνακα 6 παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ (δηλαδή των μεγεθών έντασης με τα οποία εκτελείται ο έλεγχος σε διαξονική

κάμψη με ορθή δύναμη) λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, για το υποστύλωμα C3 και το τοίχωμα T1 στο ισόγειο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Ακραίες τιμές των μεγεθών έντασης των στοιχείων C3 και T1 στο ισόγειο

Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3		
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
C3	1	κάτω	62.64	62.53	41.49	40.09	60.76	61.09
		άνω	62.64	62.53	31.68	30.72	42.68	42.72
	2	κάτω	63.76	63.66	48.68	48.69	61.64	61.64
		άνω	63.76	63.66	37.23	37.51	43.42	43.48
	3	κάτω	64.84	64.62	45.29	43.74	59.13	59.01
		άνω	64.84	64.62	34.58	33.51	41.55	41.49
	4	κάτω	61.44	61.35	45.32	43.77	63.10	62.85
		άνω	61.44	61.35	34.65	33.57	44.42	44.26
Θέση μάζας	Θέση στο στοιχείο	P		M2		M3		
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	
T1	1	κάτω	14.80	13.49	295.37	306.48	44.30	44.33
		άνω	14.80	13.49	39.33	40.44	17.20	17.29
	2	κάτω	14.80	13.49	246.35	251.12	44.30	44.33
		άνω	14.80	13.49	32.30	30.97	17.20	17.29
	3	κάτω	14.79	13.48	272.75	284.07	44.26	44.29
		άνω	14.79	13.48	35.95	37.08	17.18	17.27
	4	κάτω	14.79	13.48	272.75	284.07	44.26	44.29
		άνω	14.79	13.48	35.95	37.08	17.18	17.27

Στα πλαίσια των υπολογισμών οι τιμές του πίνακα λαμβάνονται και με αρνητικό πρόσημο.

Από την μελέτη του παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Για το υποστύλωμα C3:

- Πολύ καλή σύγκλιση και των τριών μεγεθών έντασης.

Για το τοίχωμα T1:

- Λίγο μεγαλύτερες από το μέσο όρο – των υπολοίπων μεγεθών – αποκλίσεις των αξονικών δυνάμεων P που όμως οφείλονται στην διαφορετική τεχνολογία προσομοίωσης των στερεών βραχιόνων η οποία έχει πολύ σημαντικότερη επιρροή στα τοιχώματα όπου το μήκος των βραχιόνων των εκατέρωθεν δοκών BY1, BY2 (ίσο με 1.25m) είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό των δοκών που συντρέχουν στα υποστυλώματα
- Πολύ καλή σύγκλιση των τιμών των ροπών κάμψης M₂ και M₃. Σε καμία περίπτωση οι αποκλίσεις δεν υπερβαίνουν το 5%.

Στον πίνακα 7 παρουσιάζεται η σύγκριση των πιθανών μέγιστων και ταυτόχρονων τιμών των μεγεθών P, M₂, M₃ του υποστυλώματος C3 και του τοιχώματος T1 στο ισόγειο λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου. Οι συγκρίσεις αφορούν την ανάλυση με τις μάζες των ορόφων τοποθετημένες στη θέση 1 που ορίζει ο ΕΑΚ/2000.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Ακραίες και ταυτόχρονες τιμές των μεγεθών έντασης των στοιχείων C3 και T1 στο ισόγειο

C3		P		M ₂		M ₃			
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
κάτω	exP=	62.63	62.53	M _{2,P} =	14.24	13.21	M _{3,P} =	-49.15	-49.86
	P _{,M2} =	21.50	20.59	exM ₂ =	41.49	40.09	M _{3,M2} =	16.25	15.63
	P _{,M3} =	-50.67	-51.45	M _{2,M3} =	11.10	10.34	exM ₃ =	60.75	60.60
άνω	exP=	62.63	62.53	M _{2,P} =	-10.67	-9.91	M _{3,P} =	33.75	34.28
	P _{,M2} =	-21.09	-20.18	exM ₂ =	31.68	30.72	M _{3,M2} =	12.77	12.34
	P _{,M3} =	49.54	50.34	M _{2,M3} =	9.48	8.9	exM ₃ =	42.67	42.58

T1		P		M ₂		M ₃			
		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ		ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
κάτω	exP=	14.80	13.49	M _{2,P} =	0.00	0.00	M _{3,P} =	43.81	43.85
	P _{,M2} =	0.00	0.00	exM ₂ =	295.37	306.48	M _{3,M2} =	0.00	0.00
	P _{,M3} =	14.64	13.34	M _{2,M3} =	0.00	0.00	exM ₃ =	44.30	44.33
άνω	exP=	14.80	13.49	M _{2,P} =	0.00	0.00	M _{3,P} =	-16.82	-16.92
	P _{,M2} =	0.00	0.00	exM ₂ =	39.33	40.44	M _{3,M2} =	0.00	0.00
	P _{,M3} =	-14.49	-13.2	M _{2,M3} =	0.00	0.00	exM ₃ =	17.20	17.29

Με εξαίρεση τις τιμές των αξονικών δυνάμεων του τοιχώματος T1 (που αιτιολογούνται με βάση τα σχόλια του πίνακα 6), οι αποκλίσεις είναι γενικά πολύ μικρές. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η υπολογιστική διαδικασία προσδιορισμού των πιθανών ταυτόχρονων τιμών είναι μία σύνθετη διαδικασία. Τα πιθανώς ταυτόχρονα μεγέθη δεν είναι πρωτογενή εξαγόμενα των αναλύσεων αλλά προκύπτουν από σύνθετη επεξεργασία ιδιομορφικών μεγεθών (βλ. παρ. 9.2.3. εγχειριδίου τεκμηρίωσης ΡΑΦ). Συνεπώς είναι δυνατό οι αποκλίσεις των πιθανώς ταυτόχρονων τιμών να είναι σε μερικές περιπτώσεις λίγο μεγαλύτερες από τις αποκλίσεις των πρωτογενών εξαγομένων των αναλύσεων.

(Γ) Μεγέθη μετακίνησης

Στον παρακάτω πίνακα 8 παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των πιθανών μέγιστων τιμών των μεγεθών μετακίνησης exU_x , exU_y και exR_z λόγω ταυτόχρονης σεισμικής δράσης κατά τη διεύθυνση των καθολικών αξόνων του κτιρίου, στην κορυφή του στο σημείο που βρίσκεται η κεφαλή του υποστυλώματος C2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Ακραίες τιμές των μετακινήσεων στην κορυφή του κτιρίου λόγω ταυτόχρονης δράσης του σεισμού σε δύο οριζόντιες διευθύνσεις

Θέση μάζας	$q \cdot exU_x$ (m)		$q \cdot exU_y$ (m)		$q \cdot exR_z$ (rad)	
	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ	ΟΑΣΠ	ΡΑΦ
1	0.0208	0.0207	0.0072	0.0070	0.0011	0.0011
2	0.0210	0.0209	0.0082	0.0080	0.0014	0.0013
3	0.0202	0.0201	0.0077	0.0075	0.0013	0.0012
4	0.0215	0.0214	0.0077	0.0075	0.0013	0.0012

Παρατηρούνται γενικώς πολύ μικρές αποκλίσεις.

ΡΑΦ

ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗΣ



ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΟΙΚΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
www.tol.com.gr info@tol.com.gr

Copyright © 2008-2009
