

Περιεχόμενα

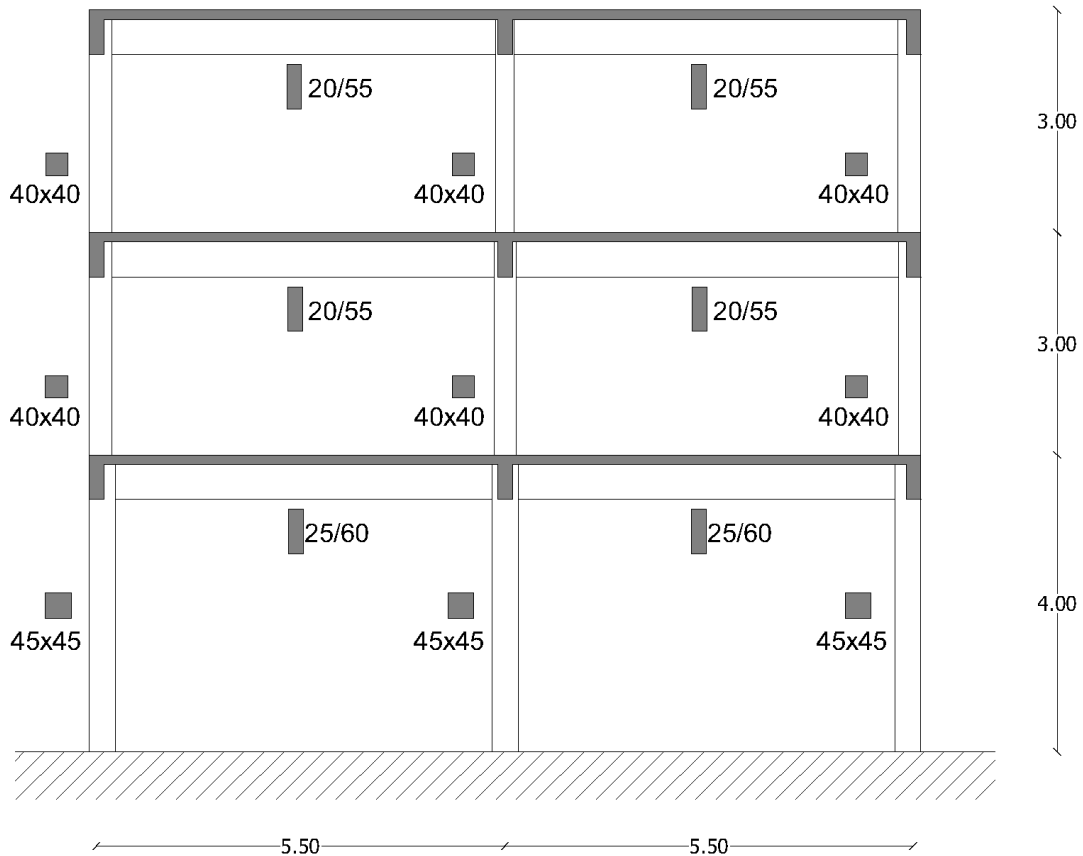
1	Δεδομένα παραδείγματος	3
1.1	Γεωμετρία φορέα	3
1.2	Φορτία	4
1.3	Υλικά	4
1.3.1	Σκυρόδεμα	4
1.3.2	Χάλυβας οπλισμού	4
1.4	Οπλισμός	4
1.5	Σεισμική δράση σχεδιασμού	4
2	Αρχική προσομοίωση του φορέα	5
2.1	Γεωμετρία φορέα	5
2.2	Υλικά	6
2.3	Συνθήκες στήριξης - Διαφράγματα	7
2.4	Διατομές δομικών στοιχείων	7
2.5	Φορτία - μάζες	8
2.5.1	Φορτιστικές καταστάσεις - συνδυασμοί	8
2.5.2	Προσομοίωση της μάζας	10
2.5.3	Αποτελέσματα επίλυσης για κατακόρυφα φορτία	10
3	Δυναμικά χαρακτηριστικά - Σεισμικές φορτίσεις	11
3.1	Ιδιομορφές απόκρισης	11
3.2	Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης	13
3.3	Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης	15
A'	Τυπολόγιο	21
A'.1	Σεισμικές διεγέρσεις Ευρωκώδικας 8	21
A'.1.1	Φάσματα απόκρισης	21
A'.1.2	Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης	24
B'	Εργασία εξαμήνου	27

Κεφάλαιο 1

Δεδομένα παραδείγματος

1.1 Γεωμετρία φορέα

Στο παράδειγμα θα χρησιμοποιηθεί ο φορέας του σχήματος 1.1



Σχήμα 1.1: Γεωμετρία φορέα

1.2 Φορτία

Στις δοκούς να θεωρηθεί ότι υπάρχει ομοιόμορφο φορτίο $g = 32.00kN/m^2$ και $q = 9.50kN/m^2$. Οι στύλοι να θεωρηθούν αβαρείς.

1.3 Υλικά

1.3.1 Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα να θεωρηθεί ότι έχει μέση θλιπτική αντοχή $f_{cm} = 16MPa$. Χρησιμοποιώντας τη σχέση του Ευρωκώδικα 2 το μέτρο ελαστικότητας υπολογίζεται: $E_{cm} = 22 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 25.3GPa$

1.3.2 Χάλυβας οπλισμού

Για τον χάλυβα να θεωρηθεί $f_{ym} = 500MPa$.

Στο SAP2000 να ληφθεί ως f_y η παραπάνω τιμή και στη συνέχεια να χρησιμοποιθούν οι σχέσεις:

$$f_u = 1.25 \cdot f_y = 625MPa$$

$$f_{ye} = 1.15 \cdot f_y = 575MPa$$

$$f_{ue} = 1.10 \cdot f_u = 687.5MPa$$

1.4 Οπλισμός

Να θεωρηθεί ο παρακάτω οπλισμός για τα δομικά στοιχεία.

Πίνακας 1.1: Οπλισμός δομικών στοιχείων

	Διαμήκης	Εγκάρσιος
Στύλοι ισογείου	8Ø18	Ø8/120
Στύλοι ορόφων	8Ø16	Ø8/150
Δοκοί ισογείου. Ακρ. στηρίξεις	3Ø18(α) - 2Ø18(κ)	Ø8/150
Δοκοί ισογείου. Μεσ. στηρίξεις	5Ø18(α) - 3Ø18(κ)	Ø8/150
Δοκοί ορόφων. Ακρ. στηρίξεις	3Ø16(α) - 2Ø16(κ)	Ø8/150
Δοκοί ορόφων. Μεσ. στηρίξεις	5Ø16(α) - 3Ø16(κ)	Ø8/150

1.5 Σεισμική δράση σχεδιασμού

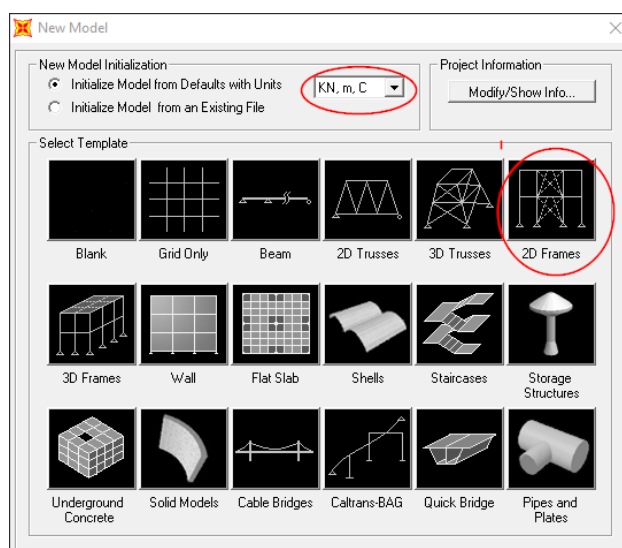
Να θεωρηθεί έδαφος C, ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2, κατηγορία σπουδαιότητας II. Το κτίριο να θεωρηθεί ότι ανήκει στη μέση κατηγορία πλαστιμότητας (ΚΠΜ).

Κεφάλαιο 2

Αρχική προσομοίωση του φορέα

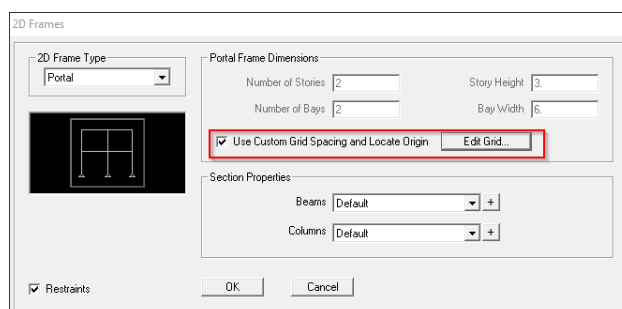
2.1 Γεωμετρία φορέα

Εισάγεται νέο μοντέλο επίπεδου πλαισίου (2D frame) στο πρόγραμμα προσέχοντας να επιλεχθούν οι σωστές μονάδες μέτρησης.

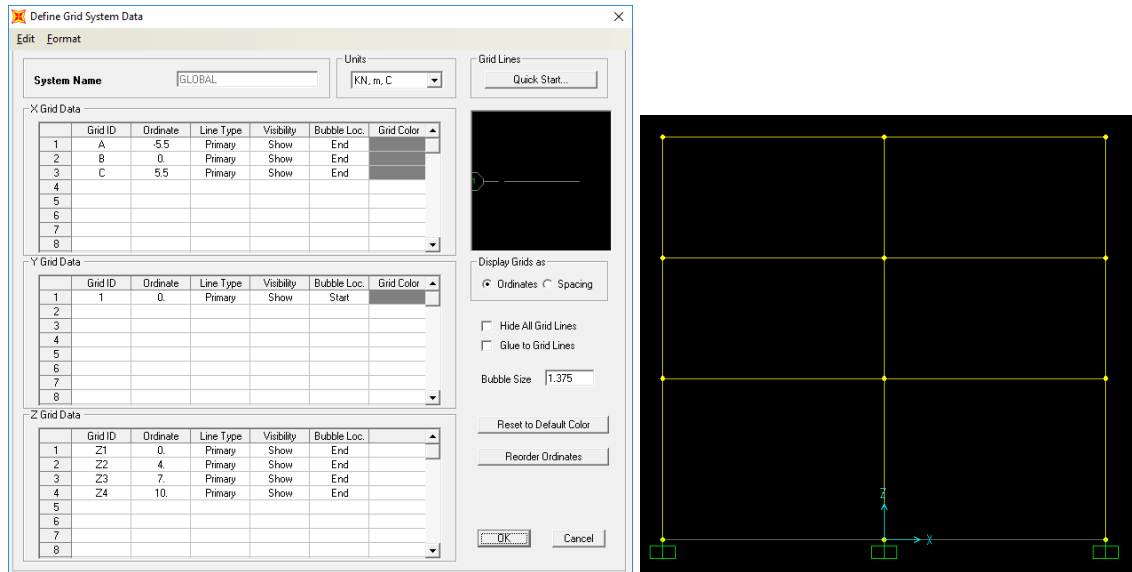


Σχήμα 2.1: Έναρξη νέου προσομοιώματος

Με δεδομένο ότι οι διαστάσεις των ορόφων δεν είναι κοινές είναι βολικό να γίνει εισαγωγή του καννάβου από τον χρήστη.



Σχήμα 2.2: Εισαγωγή καννάβου από τον χρήστη

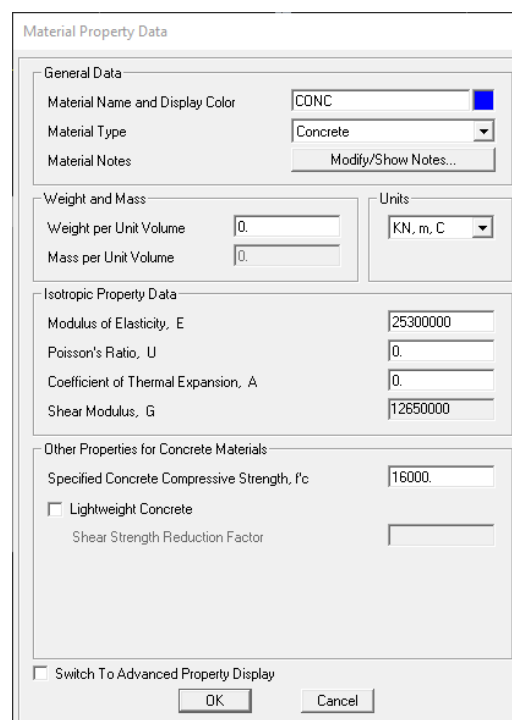


Σχήμα 2.3: Δεδομένα καννάβου και αρχικός φορέας

Στο παράδειγμα το μήκος του κάθε ανοίγματος είναι 5.50m ενώ τα ύψη των ορόφων είναι 4.0m για το ισόγειο και 3.0m για τους ανώτερους ορόφους.

2.2 Υλικά

Σε πρώτη φάση δίνονται μόνο οι ιδιότητες για την ελαστική συμπεριφορά του σκυροδέματος και σε επόμενα κεφάλαια θα συμπληρωθούν και με τα στοιχεία που αφορούν στην ανελαστική συμπεριφορά των υλικών.



Σχήμα 2.4: Ιδιότητες σκυροδέματος στην ελαστική περιοχή

2.3 Συνθήκες στήριξης - Διαφράγματα

Τα υποστυλώματα θεωρούνται πακτωμένα στη βάση τους (παγιώνονται όλοι βαθμοί ελευθερίας) ενώ θεωρούνται διαφράγματα στη στάθμη του κάθε ορόφου.

Joint Restraint Assignments

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

	Joint Text	U1 Yes/No	U2 Yes/No	U3 Yes/No	R1 Yes/No	R2 Yes/No	R3 Yes/No
▶	1	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	5	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	9	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Joint Constraint Assignments

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

	Joint Text	Constraint Text	Type Text
▶	2	DIAPH1_4.	Diaphragm
	3	DIAPH1_7.	Diaphragm
	4	DIAPH1_10.	Diaphragm
	6	DIAPH1_4.	Diaphragm
	7	DIAPH1_7.	Diaphragm
	8	DIAPH1_10.	Diaphragm
	10	DIAPH1_4.	Diaphragm
	11	DIAPH1_7.	Diaphragm
	12	DIAPH1_10.	Diaphragm

Σχήμα 2.5: Πίνακες SAP2000 με δεδομένα συνθηκών στήριξης και διαφραγμάτων

2.4 Διατομές δομικών στοιχείων

Δίνονται οι διατομές των δομικών στοιχείων με τις διαστάσεις των δεδομένων. Ο οπλισμός θα τοποθετηθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Rectangular Section

Section Name: BEAMIS

Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + CONC

Dimensions: Depth (t3): 0.6, Width (t2): 0.25

Display Color: [Blue]

Concrete Reinforcement...

OK Cancel

Rectangular Section

Section Name: COLIS

Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + CONC

Dimensions: Depth (t3): 0.45, Width (t2): 0.45

Display Color: [Grey]

Concrete Reinforcement...

OK Cancel

Σχήμα 2.6: Διατομές δοκών και στύλων ισογείου

Η προσομοίωση των ρηγματωμένων διατομών γίνεται σε αυτό το στάδιο σε δοκούς και στύλους ως εξής:

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	0.5
Shear Area in 3 direction	0.5
Torsional Constant	0.1
Moment of Inertia about 2 axis	0.5
Moment of Inertia about 3 axis	0.5
Mass	0
Weight	0

OK Cancel

Σχήμα 2.7: Μειώσεις γεωμετρικών ιδιοτήτων για την προσομοίωση των ρηγματωμένων διατομών

2.5 Φορτία - μάζες

2.5.1 Φορτιστικές καταστάσεις - συνδυασμοί

Ορίζονται οι μορφές φόρτισης (load patterns) και στη συνέχεια οι αντίστοιχες φορτιστικές καταστάσεις (load cases) για τα μόνιμα και τα ωφέλιμα φορτία ως εξής:

Define Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
Q	LIVE	0	
G	DEAD	0	
Q	LIVE	0	

Define Load Cases

Load Case Name	Load Case Type
G	Linear Static
Q	Linear Static
MODAL	Modal

Σχήμα 2.8: Μορφές φόρτισης και φορτιστικές καταστάσεις για τις κατακόρυφες δράσεις

Δίνονται μόνο τα ομοιόμορφα φορτία των δοκών και για απλοποίηση αγνοούνται τα ίδια βάρη των υποστυλωμάτων.

Στη συνέχεια ορίζονται οι συνδυασμοί φόρτισης (load combinations) που αντιστοιχούν στα κατακόρυφα φορτία (οι σεισμικοί σε επόμενο κεφάλαιο).

Load Combination Data (Left)

Load Combination Name (User-Generated): 1.35G+1.5Q

Notes: Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

Options: Convert to User Load Combo, Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results:

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
G	Linear Static	1.35
G	Linear Static	1.35
Q	Linear Static	1.5

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Load Combination Data (Right)

Load Combination Name (User-Generated): G+0.3Q

Notes: Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

Options: Convert to User Load Combo, Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results:

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
G	Linear Static	1.
G	Linear Static	1.
Q	Linear Static	0.3

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Σχήμα 2.9: Συνδυασμοί φόρτισης για τις κατακόρυφες δράσεις

Για να γίνει ιδιομορφική ανάλυση του φορέα και να υπολογιστούν τα δυναμικά του χαρακτηριστικά θα πρέπει να θεωρηθεί η αντίστοιχη ιδιομορφική φορτιστική κατάσταση. Επιλέγονται οι προεπιλεγμένες παράμετροι σύμφωνα με την παρακάτω φόρμα (θα δειχθεί στη συνέχεια ότι ο αριθμός των ιδιομορφών είναι επαρκής).

Load Case Data - Modal

Load Case Name: MODAL Set Def Name

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Modal Design...

Stiffness to Use:

- ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State
- ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Type of Modes:

- ☒ Eigen Vectors
- ☐ Ritz Vectors

Number of Modes:

Maximum Number of Modes: 12

Minimum Number of Modes: 1

Loads Applied:

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters:

Frequency Shift (Center): 0.

Cutoff Frequency (Radius): 0.

Convergence Tolerance: 1.000E-09

☒ Allow Automatic Frequency Shifting

Buttons: OK, Cancel

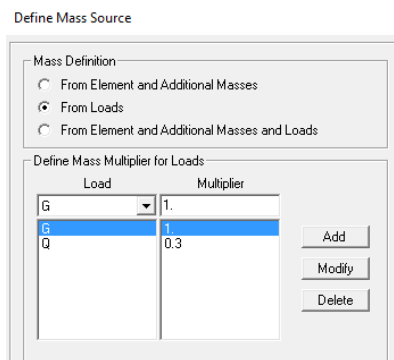
Σχήμα 2.10: Ιδιομορφική φορτιστική κατάσταση

2.5.2 Προσομοίωση της μάζας

Χρησιμοποιούνται οι μάζες που αντιστοιχούν στα κατακόρυφα φορτία του σεισμικού συνδυασμού, δηλαδή για $G+0.3Q$. Οι μάζες που αντιστοιχούν σε κάθε όροφο i θα μπορούσαν εύκολα να υπολογιστούν ως εξής.

$$m_i = \frac{(G + 0.3Q) \cdot L}{g} = \frac{(32.0 + 0.3 \cdot 9.5) \text{ kN/m} \cdot 11.0 \text{ m}}{9.81 \text{ m/s}^2} = 39.08 \text{ t} \quad (2.1)$$

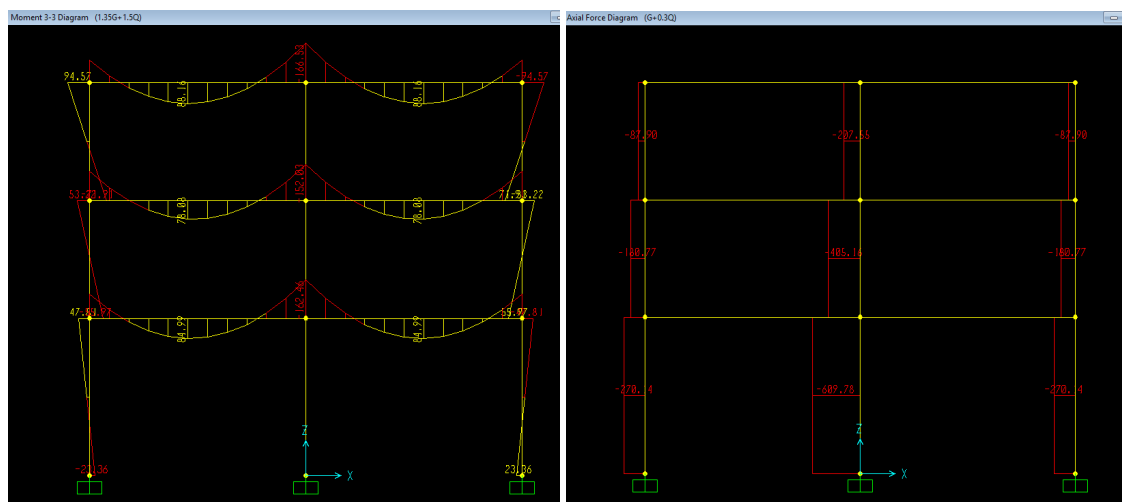
Οι μάζες θα μπορούσαν να τοποθετηθούν από το χρήστη σε οποιοδήποτε κόμβο του κάθε ορόφου καθώς υπάρχει η διαφραγματική λειτουργία. Εναλλακτικά, στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουμε αν ζητήσουμε από το πρόγραμμα να υπολογίσει αυτόματα τις μάζες από τα φορτία ως εξής. Η συνέχεια του παραδείγματος θα ακολουθεί την 1η προσέγγιση (εισαγωγή μαζών με το χέρι).



Σχήμα 2.11: Αυτόματη εισαγωγή της μάζας από τα φορτία

2.5.3 Αποτελέσματα επίλυσης για κατακόρυφα φορτία

Ενδεικτικά παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα της επίλυσης για τα κατακόρυφα φορτία.



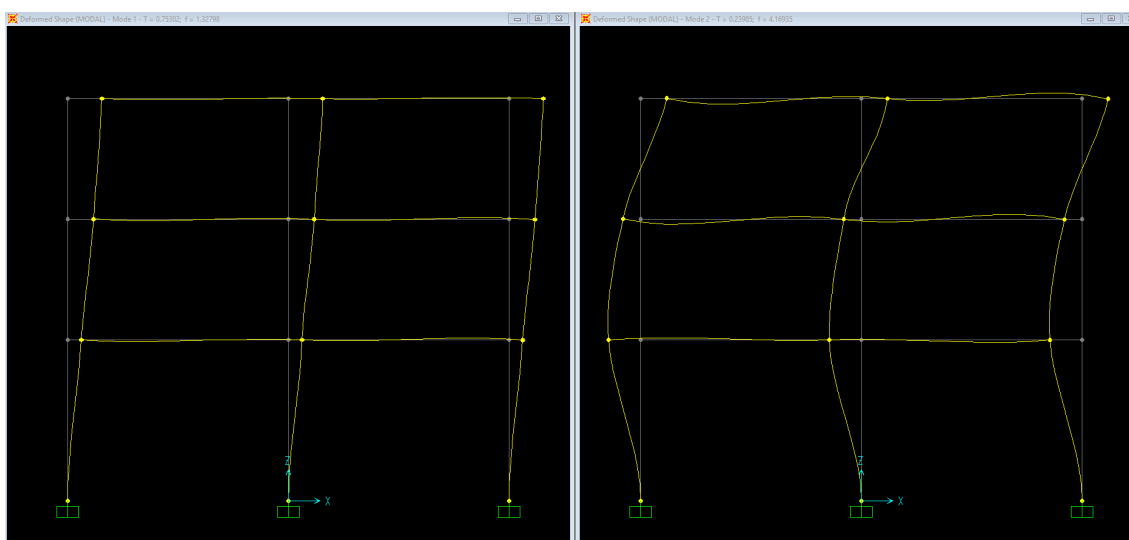
Σχήμα 2.12: Διάγραμμα ροπών για $1.35G+1.50Q$ και αξονικών φορτίων για $G+0.3Q$

Κεφάλαιο 3

Δυναμικά χαρακτηριστικά - Σεισμικές φορτίσεις

3.1 Ιδιομορφές απόκρισης

Από την ανάλυση που ήδη πραγματοποιήθηκε υπολογίστηκαν οι ιδιομορφές του φορέα. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο παραμορφωμένος φορέας σύμφωνα με τις δύο πρώτες. Στο SAP2000 μαζί με τις ιδιομορφές εμφανίζονται και οι τιμές της ιδιοπεριόδου και της ιδιοσυχνότητας για κάθε μία από αυτές.



Σχήμα 3.1: 1η και 2η ιδιομορφή απόκρισης

Με δεδομένο ότι γίνεται ανάλυση στο επίπεδο και υπάρχει διαφραγματική λειτουργία στη στάθμη των ορόφων, οι δυναμικοί βαθμοί ελευθερίας του φορέα είναι 3. Έτσι, αν στο πρόγραμμα δοθούν οι μάζες μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση σε 3 κόμβους στις στάθμες των ορόφων, οι ιδιομορφές που υπολογίζονται από το πρόγραμμα είναι πράγματι 3, ακόμα και αν στη σχετική φόρμα ζητήθηκε να υπολογιστούν περισσότερες (σχήμα 2.10). Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζονται τα ποσοστά ενεργοποίησης των μαζών για κάθε μία από αυτές.

Οι συνιστώσες φ_i (ή s_i στον EC8) της κάθε ιδιομορφής σε όλους τους κόμβους του φορέα μπορούν να αναζητηθούν στα αποτελέσματα της επίλυσης για τη MODAL

Modal Participating Mass Ratios

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Modal Participating Mass Ratios

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0.753024	0.89349	0	0	0.89349	0
	MODAL	Mode	2	0.239846	0.09238	0	0	0.98586	0
	MODAL	Mode	3	0.13048	0.01414	0	0	1	0

Σχήμα 3.2: Ποσοστά ενεργοποίησης των μαζών σε κάθε ιδιομορφή

φορτιστική κατάσταση στις μετακινήσεις των κόμβων, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. Όπως ήταν αναμενόμενο, όλοι οι κόμβοι κάθε ορόφου έχουν τις ίδιες μετακινήσεις κατά X (U1) λόγω της διαφραγματικής λειτουργίας.

Joint Displacements

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Joint Displacements

Filter: StepNum = 1

	Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	StepNum Unitless	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
▶	1	MODAL	LinModal	Mode	1	0	0	0	0	0	0
	2	MODAL	LinModal	Mode	1	0.048271	0	0.000275	0	0.010457	0
	3	MODAL	LinModal	Mode	1	0.091967	0	0.000401	0	0.009639	0
	4	MODAL	LinModal	Mode	1	0.121658	0	0.000442	0	0.00524	0
	5	MODAL	LinModal	Mode	1	0	0	0	0	0	0
	6	MODAL	LinModal	Mode	1	0.048271	0	6.891E-20	0	0.0062	0
	7	MODAL	LinModal	Mode	1	0.091967	0	5.476E-20	0	0.007315	0
	8	MODAL	LinModal	Mode	1	0.121658	0	5.941E-20	0	0.003127	0
	9	MODAL	LinModal	Mode	1	0	0	0	0	0	0
	10	MODAL	LinModal	Mode	1	0.048271	0	-0.000275	0	0.010457	0
	11	MODAL	LinModal	Mode	1	0.091967	0	-0.000401	0	0.009639	0
	12	MODAL	LinModal	Mode	1	0.121658	0	-0.000442	0	0.00524	0

Record: 1 of 12

Add Tables...

Done

Σχήμα 3.3: Μετακινήσεις του φορέα κατά την 1η ιδιομορφή

Στην περίπτωση που από το πρόγραμμα ζητηθεί να υπολογιστούν οι μάζες από τα φορτία (σχήμα 2.11) τότε εμφανίζονται περισσότερες ιδιομορφές, οι οποίες όμως αντιστοιχούν στην κατακόρυφη κίνηση, όπως γίνεται εμφανές στο σχήμα 3.4 όπου παρουσιάζονται τα ποσοστά συμμετοχής της κάθε ιδιομορφής στη συνολική απόκριση του φορέα. Είναι φανερό ότι στις 3 πρώτες ιδιομορφές ενεργοποιείται το σύνολο της μάζας του φορέα κατά X.

Modal Participating Mass Ratios

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Modal Participating Mass Ratios

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless	RY Unitless	RZ Unitless	SumRX Unitless	SumRY Unitless	SumRZ Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0.753131	0.89348	0	0	0.89348	0	0	0	0.78563	0	0	0.78563	0
	MODAL	Mode	2	0.239885	0.09238	0	0	0.98586	0	0	0	0.00027	0	0	0.7859	0
	MODAL	Mode	3	0.130488	0.01414	0	0	1	0	0	0	0.00092	0	0	0.78682	0
	MODAL	Mode	4	0.054039	0	0	0.4743	1	0	0.4743	0	0	0	0	0.78682	0
	MODAL	Mode	5	0.039439	0.0000009487	0	3.065E-19	1	0	0.4743	0	0.19586	0	0	0.98267	0
	MODAL	Mode	6	0.03839	0	0	0.44522	1	0	0.91952	0	1.349E-19	0	0	0.98267	0
	MODAL	Mode	7	0.019328	0	0	0.03554	1	0	0.95506	0	0	0	0	0.98267	0
	MODAL	Mode	8	0.013678	0.0000008725	0	1.261E-16	1	0	0.95506	0	0.01524	0	0	0.99791	0
	MODAL	Mode	9	0.013675	0	0	0.03535	1	0	0.9904	0	5.411E-17	0	0	0.99791	0
	MODAL	Mode	10	0.0133	0	0	0.00475	1	0	0.99516	0	0	0	0	0.99791	0
	MODAL	Mode	11	0.009408	0.0000001696	0	2.92E-14	1	0	0.99516	0	0.00209	0	0	1	0
	MODAL	Mode	12	0.009407	1.022E-19	0	0.00484	1	0	1	0	1.261E-14	0	0	1	0

Record: 1 of 12

Add Tables...

Done

Σχήμα 3.4: Ποσοστά ενεργοποίησης των μαζών σε κάθε ιδιομορφή για αυτόματη εισαγωγή των μαζών στο SAP2000

Αντίστοιχα, και οι συνιστώσες της κάθε ιδιομορφής εμφανίζονται στο σχήμα 3.5 όπου παρατηρείται ότι έχουν τιμές που πρακτικά ταυτίζονται με αυτές του σχήμα-

τος 3.3.

Joint Displacements

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Joint Displacements

Filter: StepNum = 1

	Joint Text	Output Case Text	Case Type Text	Step Type Text	Step Num Unitless	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
▶	1	MODAL	LinModal	Mode	1	0	0	0	0	0	0
	2	MODAL	LinModal	Mode	1	0.048264	0	0.000275	0	0.010455	0
	3	MODAL	LinModal	Mode	1	0.091953	0	0.000402	0	0.009637	0
	4	MODAL	LinModal	Mode	1	0.121641	0	0.000443	0	0.005239	0
	5	MODAL	LinModal	Mode	1	0	0	0	0	0	0
	6	MODAL	LinModal	Mode	1	0.048264	0	1.859E-17	0	0.006199	0
	7	MODAL	LinModal	Mode	1	0.091953	0	-5.494E-18	0	0.007314	0
	8	MODAL	LinModal	Mode	1	0.121641	0	-3.165E-18	0	0.003127	0
	9	MODAL	LinModal	Mode	1	0	0	0	0	0	0
	10	MODAL	LinModal	Mode	1	0.048264	0	-0.000275	0	0.010455	0
	11	MODAL	LinModal	Mode	1	0.091953	0	-0.000402	0	0.009637	0
	12	MODAL	LinModal	Mode	1	0.121641	0	-0.000443	0	0.005239	0

Record: 1 of 12

Add Tables... Done

Σχήμα 3.5: Μετακινήσεις του φορέα κατά την 1η ιδιομορφή για αυτόματη εισαγωγή των μαζών στο SAP2000

3.2 Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης

Η σεισμική τέμνουσα δύναμη βάσης F_b υπολογίζεται από τη σχέση Α'.6

$$F_b = S_d(T) \cdot m \cdot \lambda \quad (3.1)$$

- Για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ζ2 από τον πίνακα Α'.1 είναι $a_{gR} = 0.24g$ και για κατηγορία σπουδαιότητας ΙΙ από τον πίνακα Α'.2 είναι $\gamma_I = 1.0$. Άρα, προκύπτει $a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} = 0.24g$
- Για έδαφος C από τον πίνακα Α'.3 λαμβάνονται $S = 1.15$, $T_B = 0.20sec$, $T_C = 0.60sec$, $T_D = 2.00sec$.
- Η θεμελιώδης (1η) ιδιομορφή για τον φορέα που εξετάζεται υπολογίστηκε από το SAP2000 σε $T = 0.753sec$ (σχ. 3.2).
- Για ΚΠΜ και πλαισιωτό σύστημα ο συντελεστής q_0 υπολογίζεται από τον πίνακα Α'.4 ως $q_0 = 3.0 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 3.90$ (λαμβάνεται $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.30$ για πολυώροφο πολύστυλο πλαισιωτό κτίριο).
- Η τελική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q προκύπτει από τη σχέση Α'.3 ως $q = q_0 \cdot k_w = 3.0 \cdot 1.0 = 3.0 \geq 1.5 \Rightarrow q = 3.90$

Παρατηρείται ότι $T_C \leq T \leq T_D$ οπότε η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού δίνεται από τη σχέση:

$$S_d(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot \alpha_g \Rightarrow$$

$$S_d(T) = 0.24 \cdot 9.81 \cdot 1.15 \cdot \frac{2.5}{3.9} \cdot \frac{0.60}{0.753} = 1.383m/sec^2 \geq 0.20 \cdot 0.24 \cdot 9.81 = 0.47m/sec^2 \Rightarrow$$

$$S_d(T) = 1.383m/sec^2$$

Η συνολική μάζα της κατασκευής (και στους 3 ορόφους) είναι $m = 117.23t$.

Ισχύει $T_1 = 0.753\text{sec} \leq 2 \cdot T_C = 1.20\text{sec}$ και το κτίριο έχει περισσότερους από 2 ορόφους, οπότε $\lambda = 0.85$. Οπότε η τέμνουσα βάσης υπολογίζεται ως εξής:

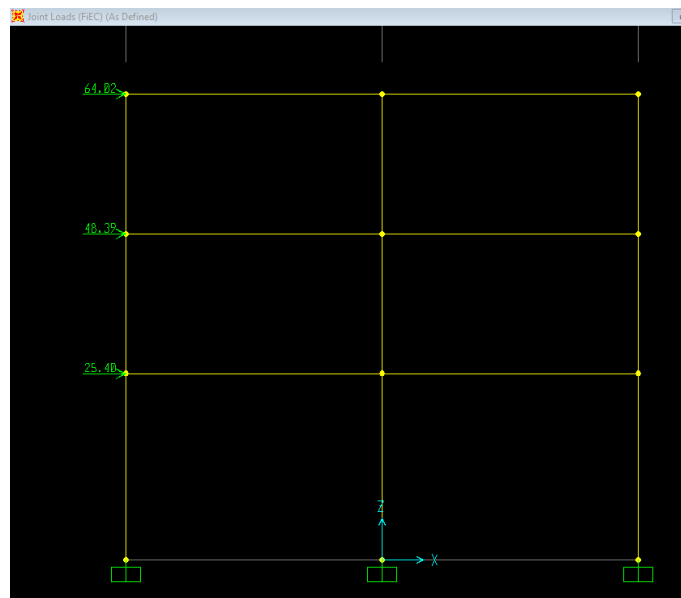
$$F_b = S_d(T) \cdot m \cdot \lambda = 1.383 \cdot 117.23 \cdot 0.85 = 137.81\text{kN} \quad (3.2)$$

Η τιμή της τέμνουσας βάσης κατανέμεται καθύψος του κτιρίου σύμφωνα με τη σχέση Α'.7, οπότε προκύπτει ο πίνακας:

Πίνακας 3.1: Κατανομή της τέμνουσας βάσης καθύψος του κτιρίου

Όροφος	m_i	s_i	$m_i \cdot s_i$	$F_{i,EC}$
1	39.08	0.04826	1.886	25.40
2	39.08	0.09195	3.593	48.39
3	39.08	0.12164	4.753	64.02
Σύνολο	117.23		10.23	137.81

Οι δυνάμεις αυτές εισάγονται σε οποιουδήποτε κόμβους (λόγω της διαφραγματικής λειτουργίας) στη στάθμη του κάθε ορόφου.



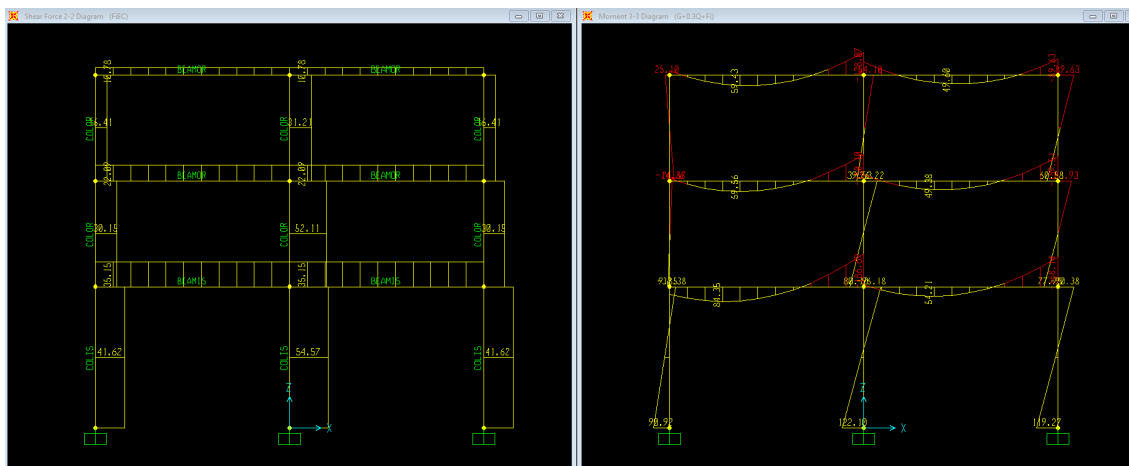
Σχήμα 3.6: Εισαγωγή οριζόντιων δυνάμεων στο SAP2000

Στη συνέχεια ορίζεται και ο σεισμικός συνδυασμός φόρτισης $G + 0.3Q + F_i$

Define Combination of Load Case Results		
Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
G	Linear Static	1.
Q	Linear Static	1.
FIEC	Linear Static	0.3
	Linear Static	1.

Σχήμα 3.7: Σεισμικός συνδυασμός στο SAP2000

Στο σχήμα 3.8 παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένα αποτελέσματα της επίλυσης με τη μέθοδο της οριζόντιας φόρτισης.

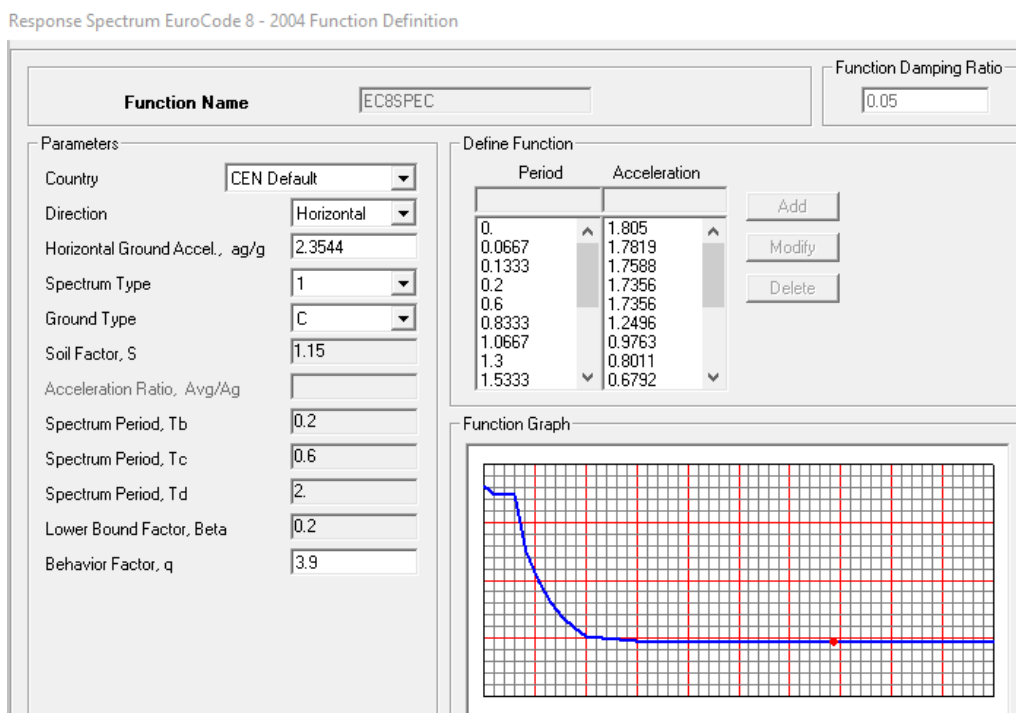


Σχήμα 3.8: Διάγραμμα τεμνουσών για τη φόρτιση αποκλειστικά με τις οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις (αριστερά) και ροπών κάμψης για το σεισμικό συνδυασμό $G + 0.3Q + F_i$ (δεξιά)

3.3 Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης

Η στατική ανάλυση που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο επιτρέπεται από τον EC8 να εφαρμόζεται σε κτίρια που πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις (τις πληροί το κτίριο που εξετάζεται). Η γενική περίπτωση που προτείνεται από τον κανονισμό για όλα τα κτίρια είναι η ιδιομορφική φασματική ανάλυση.

Στο SAP2000 είναι δυνατό να δίνεται αυτόματα το φάσμα σχεδιασμού του EC8 ως Response Spectrum Function.



Σχήμα 3.9: Εισαγωγή του φάσματος σχεδιασμού του EC8 στο SAP2000

Επιπλέον, δίνεται μια νέα φορτιστική κατάσταση ως εξής:

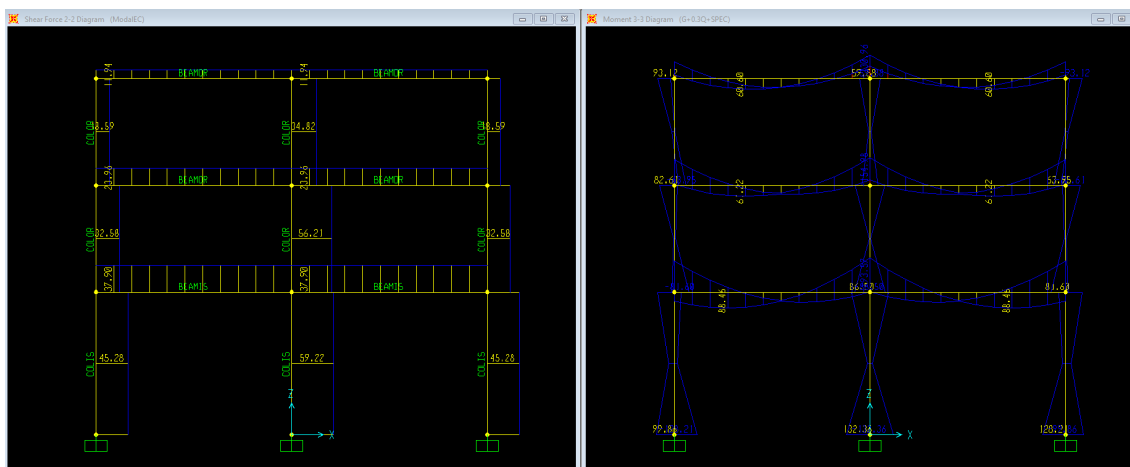
Σχήμα 3.10: Φορτιστική κατάσταση με το φάσμα σχεδιασμού

και στη συνέχεια ορίζεται ο νέος σεισμικός συνδυασμός φόρτισης $G+0.3Q+ModalEC$

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
G	Linear Static	1.0
Q	Linear Static	0.3
ModalEC	Response Spectrum	1.0

Σχήμα 3.11: Σεισμικός συνδυασμός στο SAP2000 με τα φασματικά 'φορτία'

Στο σχήμα 3.12 παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένα αποτελέσματα της επίλυσης με τη μέθοδο της ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης.



Σχήμα 3.12: Διάγραμμα τεμνουσών για τη φόρτιση αποκλειστικά με το φάσμα σχεδιασμού (αριστερά) και ροπών κάμψης για το σεισμικό συνδυασμό $G + 0.3Q + ModalEC$ (δεξιά)

Παρατηρείται ότι οι τιμές που προκύπτουν είναι πολύ κοντά με αυτές που προέκυψαν με τη μέθοδο της οριζόντιας φόρτισης, όπως παρουσιάστηκαν στο σχήμα 3.8. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο καθώς στην απόκριση του συγκεκριμένου κτιρίου κυριαρχεί η 1η ιδιομορφή (περίπου 89% σύμφωνα με το σχήμα 3.2).

Παραρτήματα

Παράρτημα Α΄

Τυπολόγιο

Α΄.1 Σεισμικές διεγέρσεις Ευρωκώδικα 8

Α΄.1.1 Φάσματα απόκρισης

Οριζόντιο ελαστικό φάσμα απόκρισης

Η τιμή της ελαστικής φασματικής επιτάχυνσης προκύπτει από τις σχέσεις

$$\begin{aligned} 0 \leq T \leq T_B : S_e(T) &= \alpha_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \\ T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) &= \alpha_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \\ T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) &= \alpha_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C}{T} \\ T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) &= \alpha_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \end{aligned} \quad (Α΄.1)$$

Φάσμα σχεδιασμού

Η τιμή της φασματικής επιτάχυνσης σχεδιασμού προκύπτει από τις σχέσεις

$$\begin{aligned} 0 \leq T \leq T_B : S_d(T) &= \alpha_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \\ T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) &= \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \\ T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) &= \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot \alpha_g \\ T_D \leq T \leq 4s : S_d(T) &= \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot \alpha_g \end{aligned} \quad (Α΄.2)$$

όπου:

$S_e(T)$: η ελαστική φασματική επιτάχυνση
$S_d(T)$: η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού
T	: η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης ενός μονοβάθμιου συστήματος
$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$: όπου είναι η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού σε έδαφος κατηγορίας Α. Ο συντελεστής σπουδαιότητας γ_I λαμβάνεται από τον πίνακα Α΄.2 και η επιτάχυνση αναφοράς a_{gR} ανάλογα με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας σύμφωνα με τον πίνακα Α΄.1
S	: ο συντελεστής εδάφους
T_B	: η περίοδος κάτω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης
T_C	: η περίοδος άνω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης
T_D	: η τιμή της περιόδου που ορίζει την αρχή της περιοχής σταθερής μετακίνησης του φάσματος
η	: ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης, με τιμή αναφοράς $\eta = 1$ για 5% ιξώδη απόσβεση. $\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0.55$
q	: ο συντελεστής συμπεριφοράς
β	: ο συντελεστής κατώτατου ορίου για το οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού με συνιστώμενη τιμή $\beta = 0.2$

Παράμετροι φασμάτων

Πίνακας Α΄.1: Επιτάχυνση αναφοράς a_{gR}/g σε έδαφος Α ανάλογα με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	Z1	Z2	Z3
a_{gR}/g	0.16	0.24	0.36

Πίνακας Α΄.2: Τιμές του συντελεστή σπουδαιότητας γ_I

Κατηγορία σπουδαιότητας	I	II	III	IV
Συντελεστής σπουδαιότητας γ_I	0.80	1.00	1.20	1.40

Κατάταξη εδαφών

- A** Βραχώδη
- B** Αποθέσεις από πολύ πυκνά αμμοχάλικα ή πολύ σκληρές αργίλους μεγάλου πάχους
- C** Αποθέσεις από πυκνά αμμοχάλικα ή σκληρές αργίλους μεγάλου πάχους
- D** Αποθέσεις από χαλαρά έως μέτρια, μη συνεκτικά εδάφη ή μαλακά έως σκληρά συνεκτικά εδάφη
- E** Επιφανειακό αλλουβιακό στρώμα πάχους 5-20m με τιμή vs αντίστοιχη των εδαφών C ή D, που υπέρκειται σκληρού εδάφους
- S1** Αποθέσεις που αποτελούνται ή περιλαμβάνουν στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m από μαλακές αργίλους και ιλύες με μεγάλο δείκτη πλαστικότητας ($PI > 40$) και μεγάλο ποσοστό υγρασίας

S2 Αποθέσεις από εδάφη επικίνδυνα για ρευστοποίηση ή ευαίσθητες αργίλους και εδάφη που δεν υπάγονται στις παραπάνω κατηγορίες

Πίνακας Α'.3: Τιμές των εδαφικών παραμέτρων για τα φάσματα απόκρισης τύπου I

Εδαφικός τύπος	S	T_B	T_C	T_D
A	1.00	0.15	0.40	2.0
B	1.20	0.15	0.50	2.0
C	1.15	0.20	0.60	2.0
D	1.35	0.20	0.80	2.0
E	1.40	0.15	0.50	2.0

Συντελεστής συμπεριφοράς q

Σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα η ανώτατη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q θα υπολογίζεται για κάθε διεύθυνση σχεδιασμού ως εξής

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1.5 \quad (\text{Α'.3})$$

όπου:

- q_0 : η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, που εξαρτάται από τον τύπο του στατικού συστήματος και από την κανονικότητά του σε όψη
 k_w : συντελεστής που εκφράζει την επικρατούσα μορφή αστοχίας σε στατικά συστήματα με τοιχώματα

Πίνακας Α'.4: Βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, q_0 , για συστήματα κανονικά σε όψη

Τύπος στατικού συστήματος	ΚΠΜ	ΚΠΜ
Πλαισιωτό σύστημα, διπλό σύστημα, σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων	$3.0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$	$4.5 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$
Σύστημα ασύζευκτων τοιχωμάτων	3.0	$4.0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$
Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα	2.0	3.0
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	1.5	2.0

Όταν ο πολλαπλασιαστικός συντελεστής $\frac{\alpha_u}{\alpha_1}$ δεν έχει υπολογιστεί με ειδικό υπολογισμό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες προσεγγιστικές τιμές για κτίρια κανονικά σε κάτοψη.

- Πλαισιωτά συστήματα ή ισοδύναμα προς πλαισιωτά διπλά συστήματα
 - μονώροφα κτίρια: $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.1$
 - πολυώροφα δίστυλα πλαισιωτά κτίρια: $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.2$

- πολυώροφα πολύστυλα πλαισιωτά κτίρια ή ισοδύναμα προς αυτά διπλά συστήματα: $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.3$
- Συστήματα τοιχωμάτων ή ισοδύναμα προς αυτά διπλά συστήματα
 - Συστήματα τοιχωμάτων με μόνον δύο ασύζευκτα τοιχώματα σε κάθε οριζόντια διεύθυνση: $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.0$
 - Άλλα συστήματα ασύζευκτων τοιχωμάτων: $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.1$
 - Ισοδύναμα προς τοιχώματα διπλά συστήματα ή συστήματα συζευγμένων τοιχωμάτων: $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.2$

Ο συντελεστής k_w που εκφράζει την κυρίαρχη μορφή αστοχίας σε στατικά συστήματα με τοιχώματα θα λαμβάνεται ως εξής (όπου α_0 είναι κυριαρχούσα τιμή του λόγου όψεως των τοιχωμάτων του στατικού συστήματος):

$$k_w = \begin{cases} 1.0 & \text{για πλαισιωτά και ισοδύναμα προς πλαισιωτά} \\ & \text{συστήματα τοιχωμάτων} \\ 0.5 \leq (1 + \alpha_0)/3 \leq 1.0 & \text{για συστήματα τοιχωμάτων, ισοδύναμα προς} \\ & \text{τοιχώματα διπλά συστήματα και στρεπτικά} \\ & \text{εύστρεπτα συστήματα} \end{cases} \quad (\text{Α΄.4})$$

Εάν οι λόγοι όψεως h_{wi}/l_{wi} όλων των τοιχωμάτων i του στατικού συστήματος δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές, η κυριαρχούσα τιμή του λόγου όψεως α_0 μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη έκφραση:

$$\alpha_0 = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}} \quad (\text{Α΄.5})$$

όπου:

h_{wi} : το ύψος του τοιχώματος i

l_{wi} : το μήκος της διατομής του τοιχώματος i

Α΄.1.2 Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης

Τέμνουσα βάση

Η σεισμική τέμνουσα δύναμη βάσης F_b (συχνά συμβολίζεται και ως V_0), για κάθε οριζόντια διεύθυνση κατά την οποία μελετάται το κτίριο, θα καθορίζεται με χρήση της ακόλουθης έκφρασης:

$$F_b = S_d(T) \cdot m \cdot \lambda \quad (\text{Α΄.6})$$

όπου:

- $S_d(T_1)$: η τετμημένη του φάσματος σχεδιασμού στην περίοδο T_1
 T_1 : η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος ταλάντωσης του κτιρίου για οριζόντια κίνηση στην εξεταζόμενη διεύθυνση
 m : η συνολική μάζα του κτιρίου πάνω από την θεμελίωση ή πάνω από την άνω επιφάνεια άκαμπτης βάσης
 λ : συντελεστής διόρθωσης με τιμές $\lambda = 0.85$ εάν $T_1 \leq 2T_C$ και το κτίριο έχει πάνω από δύο ορόφους ή $\lambda = 1.00$ σε κάθε άλλη περίπτωση

Κατανομή των οριζόντιων σεισμικών φορτίων

Τα σεισμικά εντατικά μεγέθη θα καθορίζονται (υπό την προϋπόθεση ότι οι πλάκες των ορόφων είναι άκαμπτες στο επίπεδό τους) με την εφαρμογή οριζόντιων φορτίων F_i σε όλους τους ορόφους

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum s_j \cdot m_j} \quad (\text{Α'.7})$$

όπου:

- F_i : το οριζόντιο φορτίο που ασκείται στον όροφο i
 F_b : η σεισμική τέμνουσα βάσης σύμφωνα με την έκφραση Α'.6
 s_i, s_j : οι μετακινήσεις των μαζών m_i, m_j που αντιστοιχούν στην θεμελιώδη ιδιομορφή
 m_i, m_j : οι μάζες των ορόφων

Όταν η θεμελιώδης ιδιομορφή προσεγγίζεται από οριζόντιες μετακινήσεις που αυξάνονται γραμμικά με το ύψος, τα οριζόντια φορτία F_i μπορούν να λαμβάνονται από την έκφραση:

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j} \quad (\text{Α'.8})$$

όπου:

- z_i, z_j : τα ύψη των μαζών m_i, m_j πάνω από το επίπεδο εφαρμογής της σεισμικής δράσης (θεμελίωση ή άνω επιφάνεια άκαμπτου υπογείου).

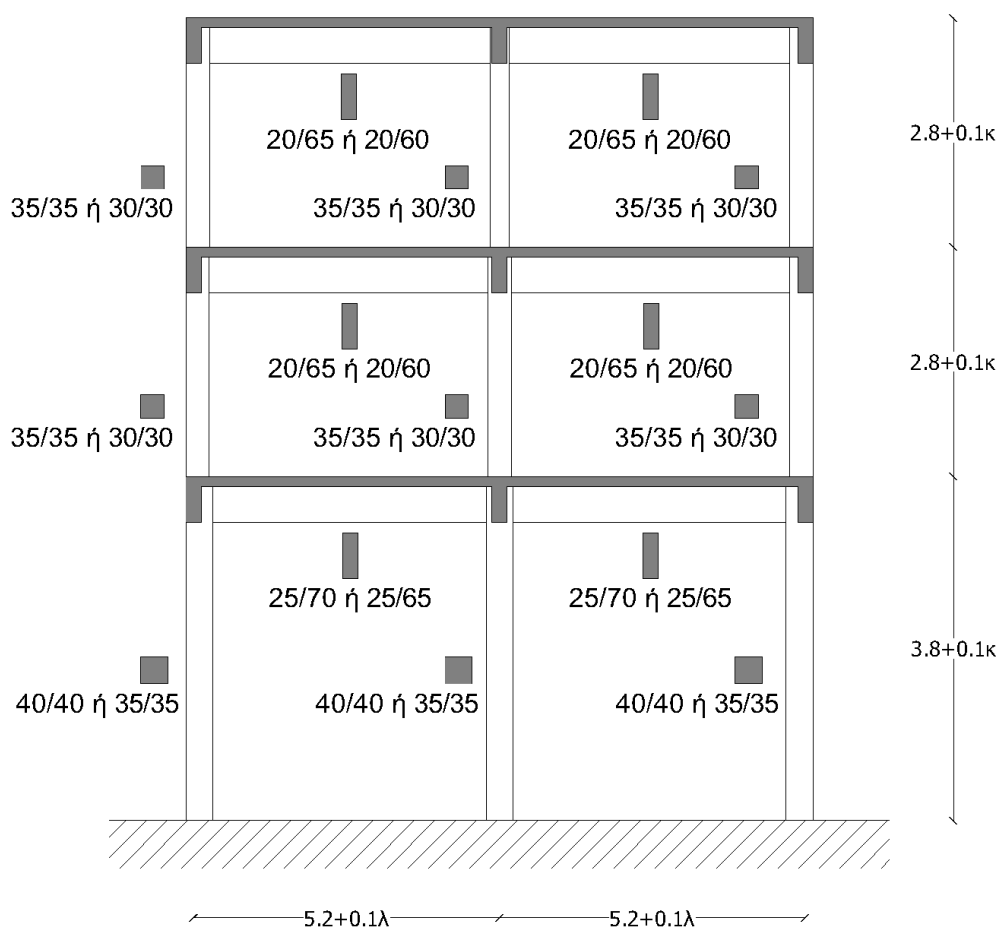
$$S_{De} = S_e(T) \cdot \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \quad (\text{Α'.9})$$

Παράρτημα Β΄

Εργασία εξαμήνου

Γεωμετρία φορέα

Δίνεται το παρακάτω πλαίσιο που αποτελεί τμήμα κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα. Να θεωρηθεί ότι για κάθε ομάδα **κ** είναι ο αριθμός του τμήματος και **λ** είναι ο αριθμός της ομάδας



Σχήμα Β΄.1: Γεωμετρία φορέα

Ζήτημα 1ο. Ελαστική προσομοίωση του φορέα

Να γίνει η προσομοίωση του παραπάνω φορέα στο SAP2000.

Διαστάσεις δομικών στοιχείων

Οι διαστάσεις των δομικών στοιχείων να θεωρηθούν ως εξής:

Πίνακας Β'.1: Διαστάσεις δομικών στοιχείων

	$\lambda \leq 3$	$\lambda \geq 4$
Στύλοι ισογείου	35/35	40/40
Στύλοι ορόφων	30/30	35/35
Δοκοί ισογείου	25/65	25/70
Δοκοί ορόφων	20/60	20/65

Φορτία

Τα φορτία των δοκών (σε kN/m) να θεωρηθούν ως εξής:

Πίνακας Β'.2: Φορτία δοκών

	$\lambda \leq 3$	$\lambda \geq 4$
Μόνιμα φορτία (g)	$28.00 + 0.5\lambda + 0.3\kappa$	$30.00 + 0.5\lambda + 0.3\kappa$
Ωφέλιμα φορτία (q)	$8.00 + 0.3\lambda + 0.2\kappa$	$9.00 + 0.3\lambda + 0.2\kappa$

Ποιότητα σκυροδέματος

- Μέση θλιπτική αντοχή $f_{cm} = 18 + \kappa + 0.5\lambda$ (MPa)
- Μέτρο ελαστικότητας $E_{cm} = 22 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3}$ (όπου το f_{cm} σε MPa και το E_{cm} προκύπτει σε GPa). Να ληφθεί υπόψη μόνο ένα δεκαδικό ψηφίο στο E_{cm}

Ζήτημα 2ο. Δυναμικά χαρακτηριστικά - Σεισμικές φορτίσεις

- Να γίνει η κατανομή καθύψος των σεισμικών δυνάμεων για το ιδιομορφικό (βάσει της 1ης ιδιομορφής) και το ομοιόμορφο μοντέλο φόρτισης
- Να υπολογιστεί η τέμνουσα βάσης για το φάσμα σχεδιασμού του EC8 και στη συνέχεια να κατανεμηθούν οι σεισμικές δυνάμεις καθύψος του κτιρίου ώστε να εφαρμοστεί η μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης
- Να γίνει ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης για το φάσμα σχεδιασμού του EC8

Να θεωρηθούν τα εξής:

Πίνακας Β'.3: Επιτάχυνση εδάφους α_{gR}

$\lambda \leq 2$	$\lambda \geq 3$
0.16g	0.24g

Πίνακας Β'.4: Κατηγορία πλαστιμότητας

$\lambda \leq 2$	$\lambda \geq 3$
ΚΠΜ	ΚΠΥ

Πίνακας Β'.5: Κατηγορία εδάφους

$\lambda \leq 1$	$2 \leq \lambda \leq 3$	$4 \leq \lambda \leq 5$	$6 \leq \lambda \leq 7$	$\lambda \geq 8$
C	D	A	B	E

Πίνακας Β'.6: Κατηγορία σπουδαιότητας

$\lambda \leq 1$	$2 \leq \lambda \leq 3$	$4 \leq \lambda \leq 6$	$\lambda \geq 7$
IV	III	II	I

Ζήτημα 3ο. Ανελαστική στατική ανάλυση βάσει προεπιλογών SAP2000 (FEMA)

Να γίνει ανελαστική στατική (pushover) ανάλυση για το ιδιομορφικό και το ομοιόμορφο μοντέλο φόρτισης, βάσει των διαγραμμάτων ροπών-στροφών που υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Να θεωρηθεί ο παρακάτω οπλισμός για τα δομικά στοιχεία.

Πίνακας Β'.7: Οπλισμός δομικών στοιχείων

	$\lambda \leq 3$		$\lambda \geq 4$	
	Διαμήκης	Εγκάρσιος	Διαμήκης	Εγκάρσιος
Στύλοι ισογείου	8Ø16	Ø8/140	8Ø20	Ø8/140
Στύλοι ορόφων	8Ø14	Ø8/160	8Ø18	Ø8/160
Δοκοί ισογείου. Ακρ. στηρίξεις	4Ø16	Ø8/180	4Ø18	Ø8/180
Δοκοί ισογείου. Μεσ. στηρίξεις	6Ø16	Ø8/150	6Ø18	Ø8/150
Δοκοί ορόφων. Ακρ. στηρίξεις	4Ø14	Ø8/180	4Ø16	Ø8/180
Δοκοί ορόφων. Μεσ. στηρίξεις	6Ø14	Ø8/150	6Ø16	Ø8/150

- Ο οπλισμός των στηρίξεων των δοκών να θεωρηθεί ότι αντιστοιχεί στην άνω ίνα ενώ στην κάτω να τοποθετηθεί το ήμισυ αυτού, της ίδιας διαμέτρου (πχ όπου υπάρχουν άνω 5Ø18 τότε κάτω να τοποθετηθούν 5/2=2.5 οπότε 3Ø18).
- Για το σκυρόδεμα να θεωρηθούν οι τιμές παραμόρφωσης από το σχήμα 12.5 του βιβλίου «Προσομοίωση κατασκευών σε προγράμματα HY»
- Για τον χάλυβα, να θεωρηθούν οι παράμετροι σύμφωνα με το σχήμα 12.9 του ίδιου βιβλίου, ως εξής:
 - $f_y = (480 + 10\lambda)MPa$
 - $f_u = 1.25 \cdot f_y$
 - $f_{ye} = 1.15 \cdot f_y$
 - $f_{ue} = 1.10 \cdot f_u$

Να υπολογιστεί η στοχευόμενη μετακίνηση και να αποτιμηθεί η απόκριση του φορέα για τη σεισμική δράση που αντιστοιχεί σε επιτάχυνση του εδάφους α_{gR} όπως αυτή υπολογίστηκε στο ζήτημα 2.