



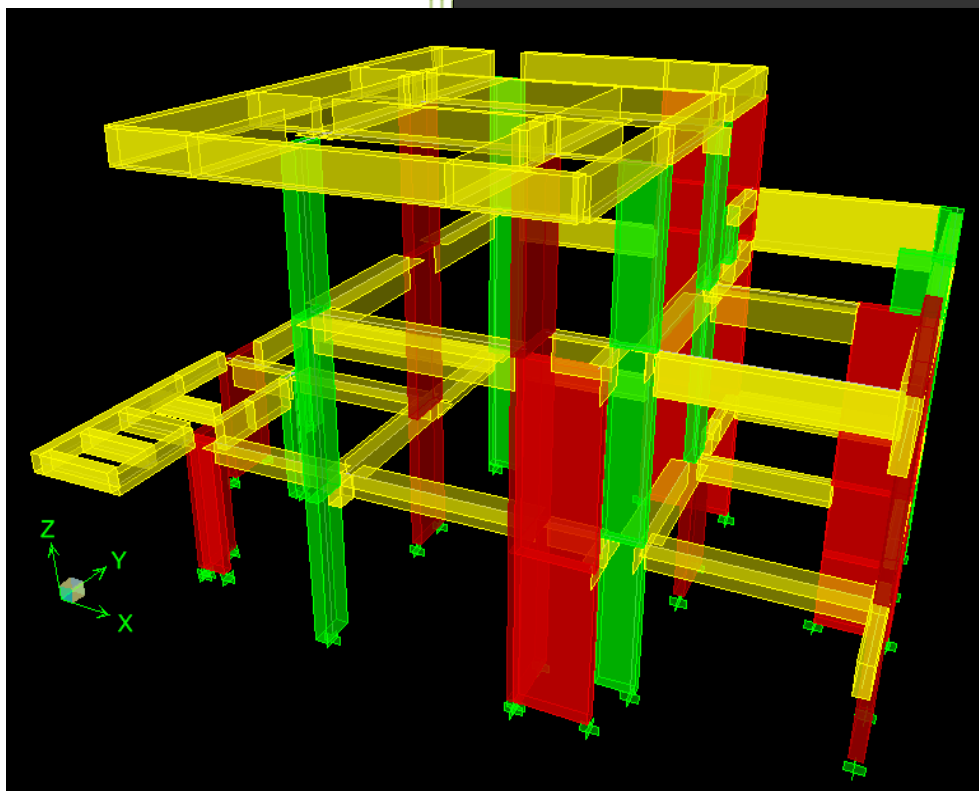
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Διατμηματικό Πρόγραμμα
Μεταπτυχιακών Σπουδών

Δομοστατικός Σχεδιασμός και
Ανάλυση των Κατασκευών

Μεταπτυχιακή Εργασία με Τίτλο:

Αποτίμηση Ανελαστικής Συμπεριφοράς Μη Κανονικής Κατασκευής από Ο/Σ



Καυκάς Αθανάσιος

Επιβλέπων: Κουμούσης Β., Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 2012

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Β. Κουμούση για την εξαιρετική συνεργασία και την καθοδήγησή του για την περαίωση αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον κ. Κ. Ματσούκα για την παραχώρηση των σχεδίων και της στατικής μελέτης του εξεταζόμενου κτιρίου.

Extended Abstract

1. Introduction

In seismogenic regions like Greece, the social and economic consequences of the seismic events have led to the need of research and evolution of knowledge in the field of the earthquake resistant constructions. The progress of technology and research that has been achieved concerns not only the possibility of exact record of seismic events (accelerographs) , but also the increase of computer power and the development of software that allows the simulation of the seismic excitation and the rapid analysis of structures, as well as the introduction of new techniques of analysis and construction.

This kind of development has led to reconsideration of the previous regulations. The new ones that have been based on new data, are more reliable and are based on more accurate methods of analysis and design. In parallel with the increase of material strength, the result of the above is that the new structures are safer than the older ones. The older national annex (1954) emphasized on the undertaking of the static lateral loads from the main structure elastically. This had to do to a great degree with the fact that the notions of ductility and post-elastic behavior hadn't been searched in depth at that time. As a result, the structural elements that had been designed like that, tend to be uneconomical behaving in a brittle way and could not absorb adequately the input seismic energy.

Unfortunately the majority of the existing structures has been designed and constructed according to the old national annex resulting in sensitivity of structures to a possible strong future earthquake, especially if they have been damaged by a previous one. Therefore the need of evaluation of structures in order to retrofit is quite obvious. In the procedure of evaluation, the presence of the inelastic behavior of the structural elements and of the notion of ductility is indispensable.

In the present project an evaluation of the behavior of an existing building is carried out by means of the contemporary analysis procedures. The existing building (3-story building) has been designed in accordance to the new codes, but is characterized by vivid irregularity of the floor plans and eccentric placement. For the modeling and analysis of the structure, there has been used the Etabs v. 9.70 software. Further down the image of the modeled building is demonstrated.

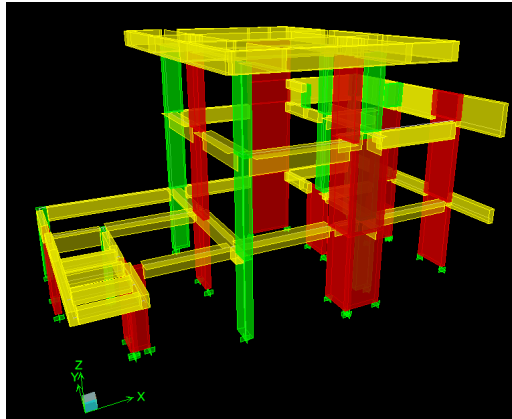


Fig. 1.1 Model of building in Etabs

2. Description of the structure and modeling

The construction that has been selected for modeling is an existing 3-story building with a basement, that houses two independent residences. It is characterized by irregularity as the floor plans are very different for reasons of architectural interest. Below the plans of the three stories are shown.

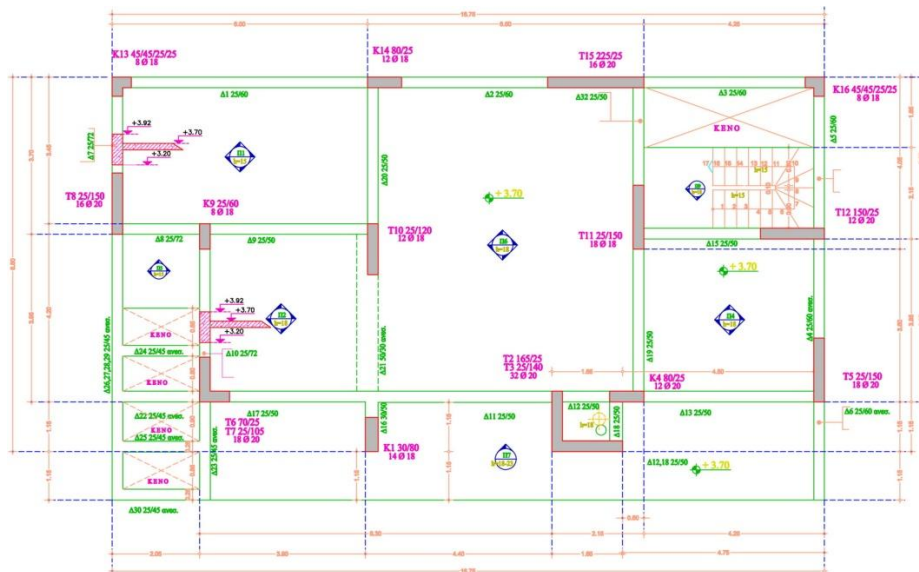


Fig. 2.1 Plan of the 1st story

Analogy-WCA". That means, with beam elements at the center of mass of the section and with rigid horizontal beam elements at the joints with the floors that start from the CM and extend right and left as far as the length of the wall. In the model the participation of the infills and the staircases to the stiffness of the structure was ignored (but not to the mass) (EAK2000 par.3.2.3.). Furthermore for simplification reasons there wasn't any simulation of the slabs with surface finite elements and the loads from the slabs were calculated and placed to the skeleton of the structure with diaphragmatic action considered (EAK2000 par.3.2.1).

Concerning the materials of the building, for the concrete the characteristic compressive strength of cylinder was set to $f_{ck}=20$ MPa and the modulus of elasticity $E=29$ GPa. For steel the yield stress was implemented $f_{yk}=500$ MPa and the software considers as a modulus of elasticity $E=200$ GPa.

In order to allow for material and geometrical nonlinear behavior for the model nonlinearities must be inserted that concern materials (plastic hinges) and the geometry (P-Delta Effects etc). The second one is much more easier due to the fact that the form of the geometric nonlinearity that will be used, is chosen from the card in which the load is defined. The introduction of plastic hinges is a much more complicated process and is described below.

With the specific software, the plastic hinges can be defined only at the beam elements and not at the surface shell elements. This means that the shear walls will behave elastically during the inelastic analysis. Alternatively shear walls were modeled with WCA. Allowing the possible formation of plastic hinges on shear walls and also plastification in shear by considering a nonlinear shear spring.

In Etabs v 9.70 plastic hinges are provided for the control of all the member forces. In the present project, plastic hinges M3 will be used for the beams independent of the other member forces and plastic hinge that offers interaction between axial force with biaxial moment (P-M2-M3) for the columns. Moreover, P-M2-M3 is used for the shear walls as well as plastic hinge for shear force ($V3$ and $V2$). For the definition of the model of behaviour of the plastic hinges M and P-M-M, it is important to define the yield and ultimate moment strength (M_y, M_u) and the respective rotations (θ_y, θ_u) (points B,C) (Fig. 2.4). For the evaluation of the rotations the following formulas were used (EC8 2003 English version (prEN 1998-3)) since the values of the curvatures of the sections (ϕ_y, ϕ_u) were taken from the diagrams of moment – curvatures by means of "Section Designer" of Etabs. For the definition of the plastic hinges for shear force (V) the shear strength of the members was calculated and the form of the diagram of the model of behaviour that was given was elastic – perfect plastic (Fig. 2.5).

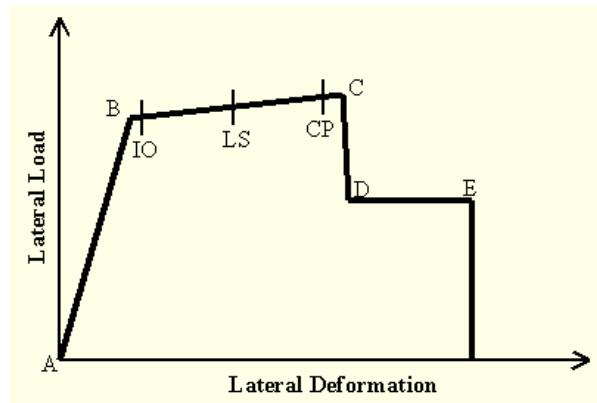


Fig. 2.4 Behavior model of plastic hinge in Etabs

Frame Hinge Property Data for FH1 - PMM

Edit

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0,2	-0,03
D-	-0,2	-0,02
C-	-1,25	-0,02
B-	-1	0,
A	0,	0,
B	1,	0,
C	1,25	0,02
D	0,2	0,02
E	0,2	0,03

Hinge is Rigid Plastic
 Symmetric

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment Moment SF Positive: Negative:

Use Yield Rotation Rotation SF Positive: Negative:

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Immediate Occupancy Positive: 2, Negative:

Life Safety Positive: 4, Negative:

Collapse Prevention Positive: 6, Negative:

Axial Load - Displacement Relationship

Proportional to Moment - Rotation
 Elastic - Perfectly Plastic

Define/Show Interaction...
OK Cancel

Frame Hinge Property Data for FHS3 - V3

Edit

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-1035	-7
D-	-1035	-5
C-	-1035	-1,01
B-	-1035	0,
A	0,	0,
B	1035,	0,
C	1035,	1,01
D	1035,	5,
E	1035,	7,

Hinge is Rigid Plastic
 Symmetric

Scaling for Force and Disp

Use Yield Force Force SF Positive: Negative:

Use Yield Disp Disp SF Positive: Negative:

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

Immediate Occupancy Positive: 10, Negative:

Life Safety Positive: 10, Negative:

Collapse Prevention Positive: 10, Negative:

Type

Force - Displacement
 Stress - Strain

Hinge Length OK Cancel

Relative Length

Fig. 2.5 Definition of plastic hinge of type P-M2-M3 και V3

The equations of θ_y, θ_u are the following:

$$\alpha) \quad \theta_y = \varphi_y \cdot \frac{L_v}{3} + 0,0025 + \frac{a_{sl} \cdot 0,25 \cdot \varepsilon_{sy} \cdot d_b \cdot f_y}{(d - d') \cdot \sqrt{f_c}} \quad 2.1$$

$$\beta) \quad \theta_u = \theta_y + (\varphi_u - \varphi_y) \cdot L_{pl} \cdot \left(1 - \frac{0,5 \cdot L_{pl}}{L_v} \right) \quad 2.2$$

where $L_{pl} = 0,08 \cdot L_v + \frac{1}{60} \cdot a_{sl} \cdot d_b \cdot f_y$ the length of the plastic hinge and

$L_v = M / V$ (for fixed end members $h/2$ and for cantilevers h , where h the member's length).

where,

ϕ_y, ϕ_u the yield and ultimate curvatures respectively

a_{sl} factor that takes values 1 or 0 for reinforcement slippage or no respectively

ε_{sy} the yield deformation of steel

d_b the bar diameter of the reinforcement

d και d' the depth to the tension and compression reinforcement respectively

f_y the strength of the reinforcement steel

f_c the concrete strength

Furthermore, for each plastic hinge (M3, P-M-M) the performance levels were defined:

Immediate Occupancy (IO): = $\theta_u/4$

Life Safety (LS): = $\theta_u/2$

Collapse Prevention (CP): = θ_u

3. Elastic Analysis

The elastic analysis that took place are the dynamic spectral analysis and time-history analysis. The purpose of this analysis was mainly indicative so that a first estimate of the number of the members that are more vulnerable is made, before the inelastic analysis.

3.1 Dynamic Spectrum Analysis

For the realization of the dynamic spectral analysis, the characteristics of the spectrum and the load combinations must be specified. The modal analysis of the

structure is done automatically from the software, from which the modal periods are calculated (Table 3.1.1).

Mode Shape	Modal period (sec)	UX	UY	RZ
1	0,2926	56,9828	0,0174	9,2275
2	0,2661	0,4293	68,8082	0,5262
3	0,1799	14,4491	2,5986	48,0646
4	0,1498	0,0104	0,2983	1,4545
5	0,1429	0,0152	0,0002	0,1870
6	0,1274	1,9484	1,1274	2,2627
7	0,1172	5,0892	0,2067	5,1321
8	0,0952	0,0254	0,0288	0,0463
9	0,0946	0,3582	0,0815	0,2241
10	0,0778	0,1039	0,4881	1,0599
11	0,0746	0,0242	11,0861	0,9766
12	0,0716	0,0105	0,1893	0,1369

Table 3.1.1 Mode Shapes, modal periods and percentages of modal mass of every diaphragmatic degree of freedom of the model

As it can be seen from table 3.1.1 the fundamental modal periods are: $T_x = 0,29$ sec (mode 1, UX), $T_y = 0,27$ sec (mode 2, UY) and $T_z = 0,18$ sec (mode 3, στροφική RZ).

The spectrum of EC8 type 1 was used (for magnitude of $M > 5.5$). The characteristics of the horizontal component spectrum are the following:

Seismic Zone III factor: 0,24g

Soil Category: B, with $T_B = 0,15$ s, $T_C = 0,50$ s, $T_D = 2,00$ s and factor $S = 1,2$

Behavior factor (q): 1,50

Lower bound factor (β): 0,2

The characteristics of the spectrum of vertical component are:

Spectral acceleration reduction factor: $a_{vg}/a_g = 0,9$

Soil Category: B, με $T_B = 0,05$ s, $T_C = 0,15$ s, $T_D = 1,00$ s and factor $S = 1$

Lower bound factor (β): 0,2

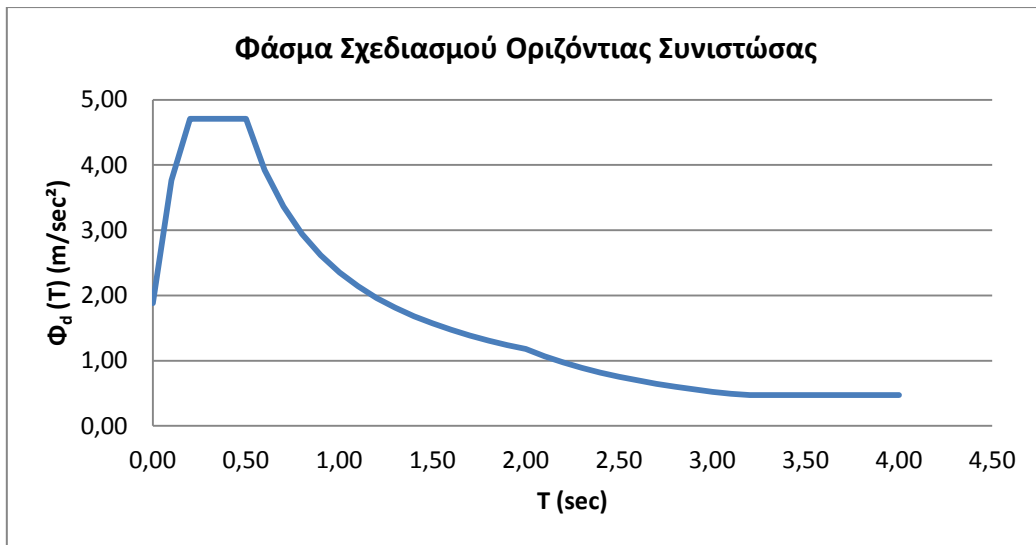


Fig. 3.1.1 Design spectrum of horizontal comp. (EC8)

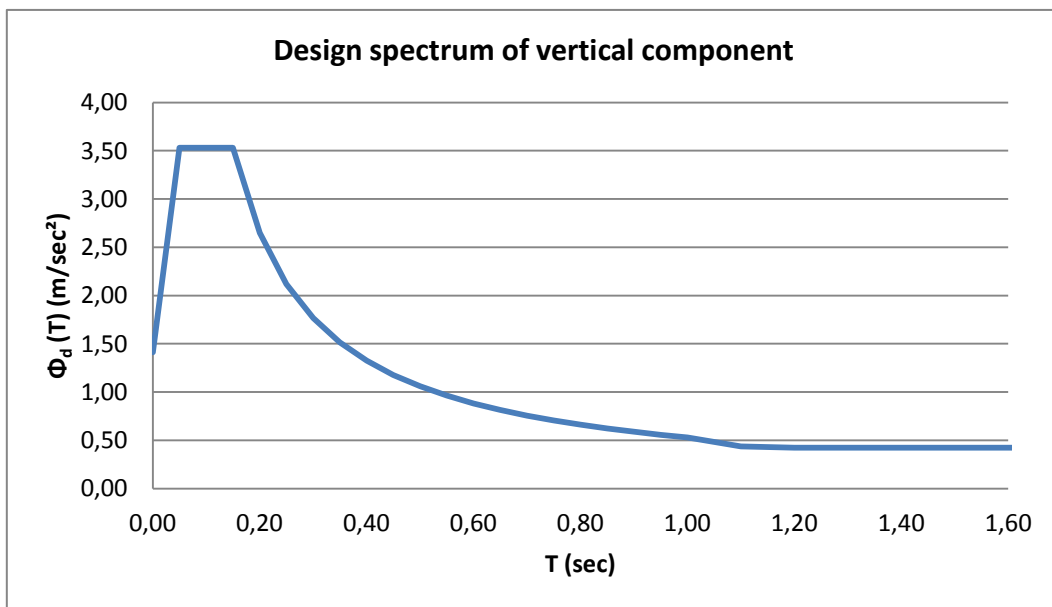


Fig. 3.1.2 Design spectrum of vertical comp. (EC8)

The load combinations that have been assessed:

$$1,35 \cdot Dead + 1,50 \cdot Live$$

$$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L \pm 1,00 \cdot Ex \pm 0,30 \cdot Ey \pm 0,30 \cdot Ez$$

$$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L \pm 0,30 \cdot Ex \pm 1,00 \cdot Ey \pm 0,30 \cdot Ez$$

$$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L \pm 0,30 \cdot Ex \pm 0,30 \cdot Ey \pm 1,00 \cdot Ez$$

Because of the comprehensive character of the text and because the elastic analysis were mainly indicative, no results are to be demonstrated. Nevertheless, the

members that were most stressed by the greater forces in each direction are given. (For bigger plans of the structure see appendix A)

Dir. X:

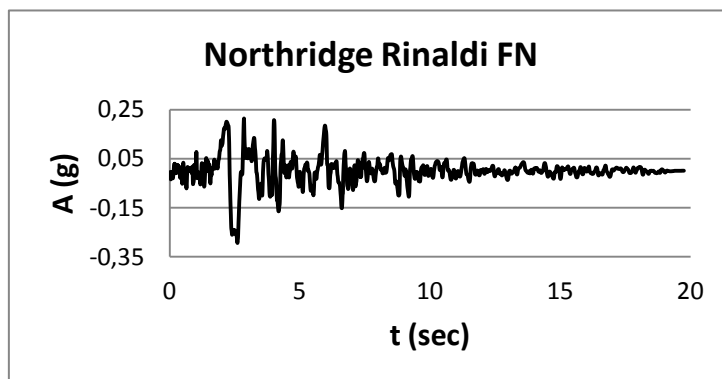
Beams: $\Delta 6$ St.2, $\Delta 14$ St.2, $\Delta 1$ St.2, $\Delta 15$ St.3, $\Delta 17$ St.3
Columns: K4 St.3, K4 St.2, K4 St.1, K1 St.3, K1 St.2, K1 St.1
Shear wall: T15 St.1, T15 St.2, T2 St.1, T2 St.2, T3 St.1, T5 St.2

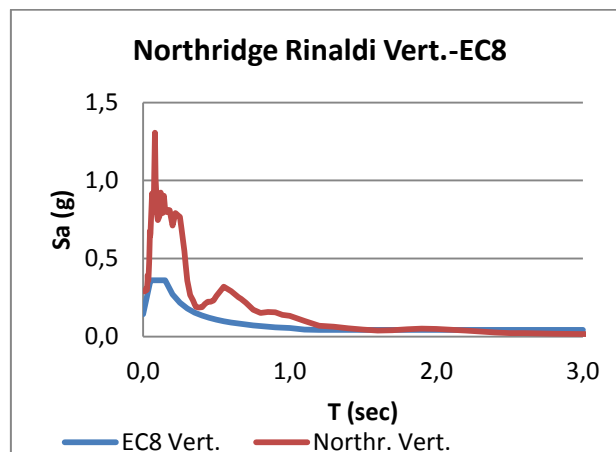
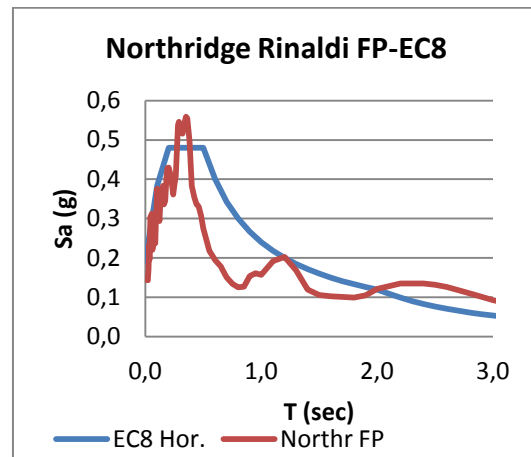
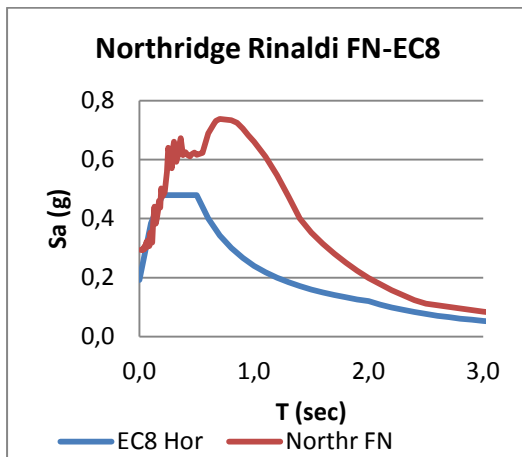
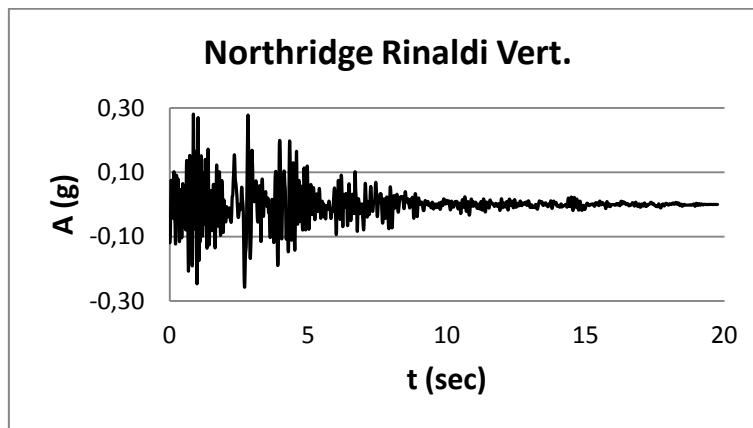
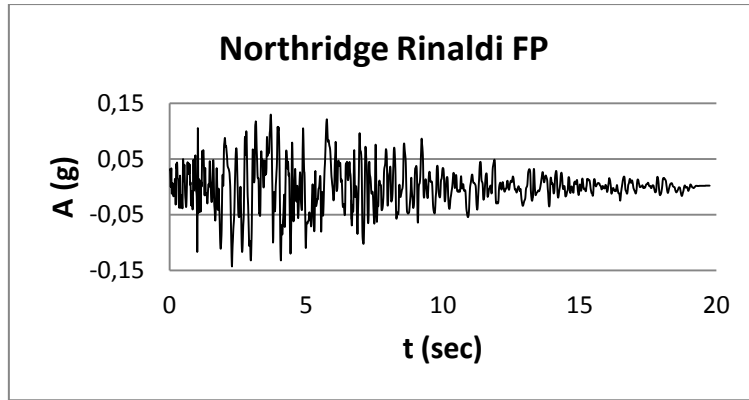
Dir. Y:

Beam: $\Delta 6$ St.2, $\Delta 14$ St.2, $\Delta 8$ St.2, $\Delta 15$ St.3, $\Delta 14$ St.3
Columns: K4 St.3, K4 St.2, K4 St.1, K1 St.3, K1 St.2, K1 St.1
Shear wall: T11 St.1, T5 St.2, T15 St.1, T2 St.1, T8 St.1, T5 St.1

3.2 Time-History Analysis

For the time-history analysis, the accelerographs of two strong earthquakes were used. The first one, Kobe (Takatori station 1995) gave a low frequency record. From the second earthquake Northridge two records were selected (Lake Hughes #12A station και Rinaldi Station 1994). The first one of high frequency and the second contained a significant sinus pulse. For simplification, only three spectra were chosen and not a series of spectra from which a geometrical mean would result. The spectra and the accelerograms were taken from the database of “Pacific Earthquake Engineering Research Center” (PEER) where a variety of seismic records is provided and there is the possibility that the spectrums will be scaled properly in accordance with a spectra defined by the user. There are different ways of a spectrum scaling. In the present project a space (0,5T, 1,5T) of periods was chosen, on which the spectra of the time-history was adjusted by means of a factor that minimizes the mean squared error of the two spectra, at the spectra of EC8. Below the time-histories of Northridge Rinaldi and the spectrums compared with those of EC8 are given. They have been multiplied by a factor of 0.3372.





The load combinations that were assessed are:

$$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistX$$

$$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistY$$

$$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistZ$$

Where:

$$THistX = \pm 1,00 \cdot AccX \pm 0,30 AccY \pm 0,30 AccZ$$

$$THistY = \pm 0,30 \cdot AccX \pm 1,00 AccY \pm 0,30 AccZ$$

$$THistZ = \pm 0,30 \cdot AccX \pm 0,30 AccY \pm 1,00 AccZ$$

The members that were most stressed by the greater forces in each direction are the same as above.

4. Inelastic Analysis

The inelastic analysis that was performed is the Pushover analysis. Two phases of analysis were performed one with elastic walls (with shell elements) and one with inelastic (WCA) as described above. In every phase, a lateral loading in the form of the first mode shape was imposed for the direction X and in the form of the second for the direction Y.

Down below, the capacity curves are given for the first phase of the analysis for the two directions as well as an image with the damages at the members at the final step of the analysis.

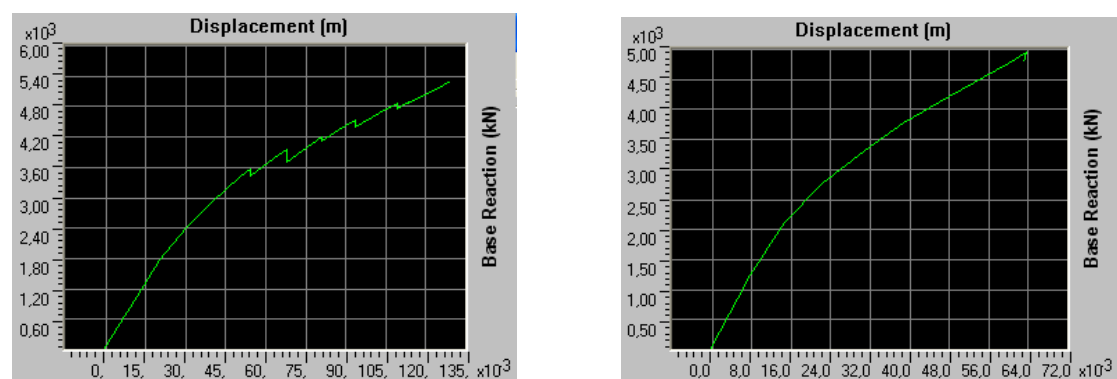


Fig. 4.1 Capacity curves from 1st phase dir. X & Y

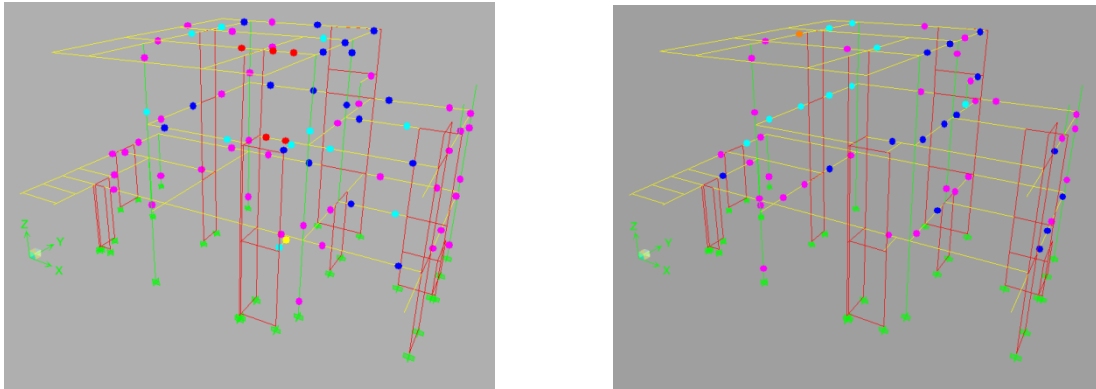


Fig. 4.2 Plastic hinges state from the last step of Pushover 1st phase dir. X & Y



The different colors define the state of the plastic hinge like it is shown in the annotation. More precisely, the colors signify IO for Immediate Occupancy, LS for Life Safety and CP for Collapse Prevention. B (yield point), C, D, E are the successive points on the diagram that define the behavior of the plastic hinge. (Fig. 2.4).

The capacity curves were transformed to ADRS (S_a , S_d) so as to be compared with the spectrum of EC8 and in order to calculate the Performance Point of the structure in every direction. More specifically, for the direction X the Performance point has been calculated (1431 kN, 16 mm) and for Y (1582 kN, 10 mm). Both of them are close to the performance level immediate occupancy (IO). They are illustrated at the pictures below.

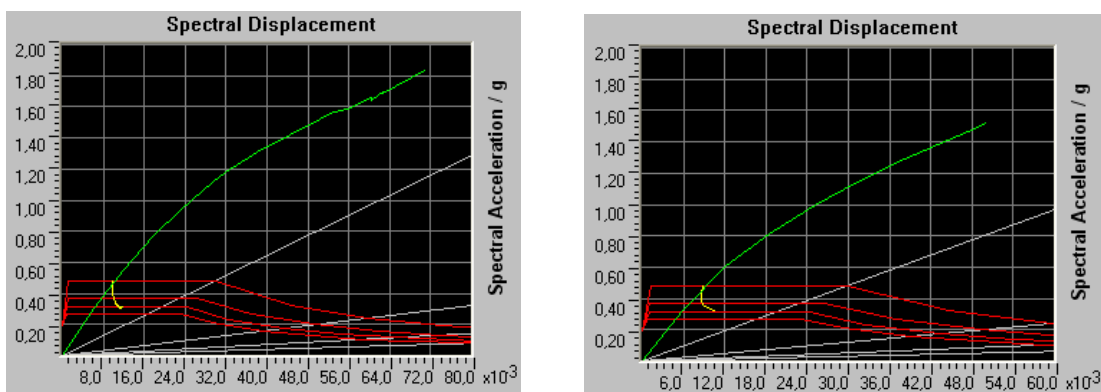


Fig. 4.3 Capacity curves from 1st phase dir. X & Y in ADRS form and Performance Points

To continue, there was a second phase of analysis with inelastic walls and the results are given below.

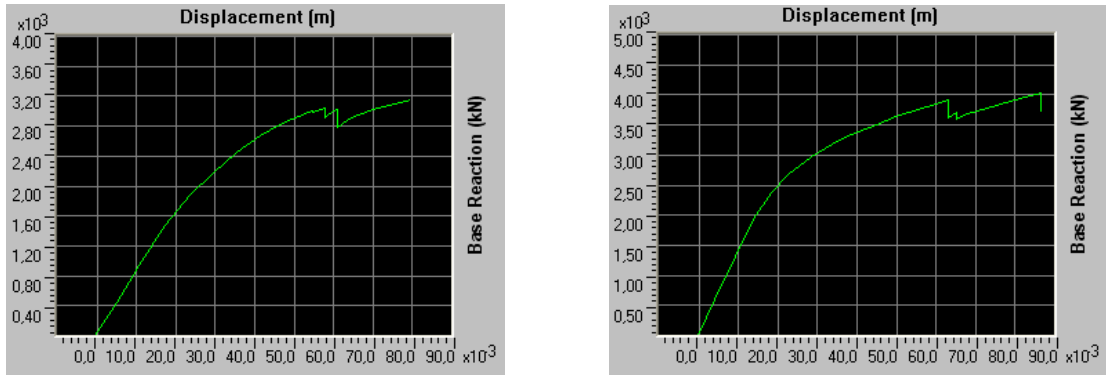


Fig. 4.4 Capacity curves from 2nd phase dir. X & Y

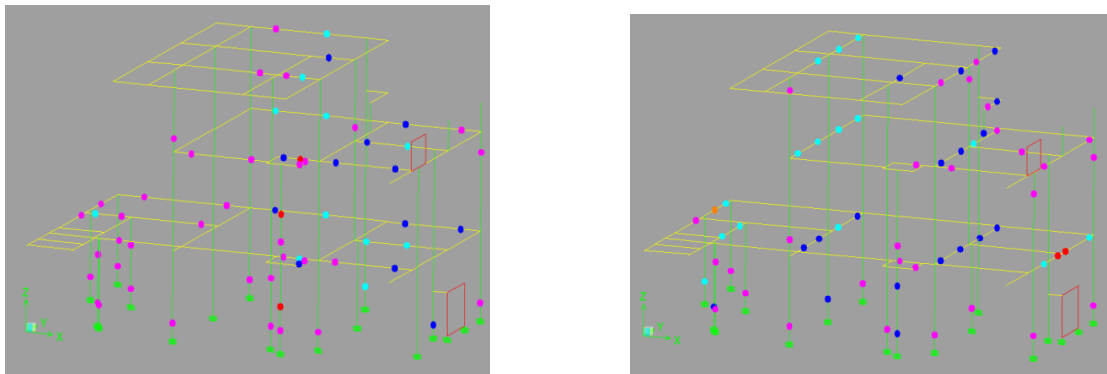


Fig. 4.5 Plastic hinges state from the last step of Pushover 1st phase dir. X & Y

It seems that the post elastic resistance of the model has been reduced, even though the performance level was close to IO again. Further down, the comparisons between the capacity curves of the two phases of analysis to every direction are shown and the reduction of the resistance of the model is apparent.

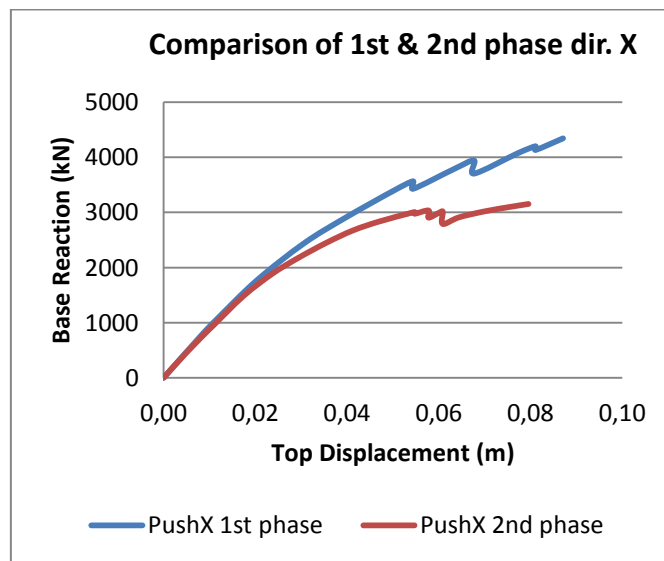


Fig. 4.6 Comparison of 1st & 2nd phase dir. X

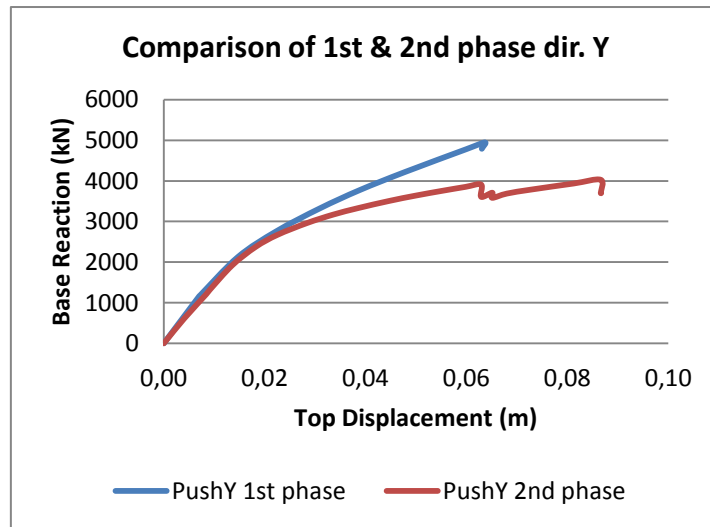


Fig. 4.7 Comparison of 1st & 2nd phase dir. Y

Thereafter, there has been supplementary analysis, with the model of the second phase, meaning the modeled walls with WCA but without being placed plastic hinges, in order to observe if the different way of modeling affects the behavior differently. As it can be seen below, the differences are not significant.

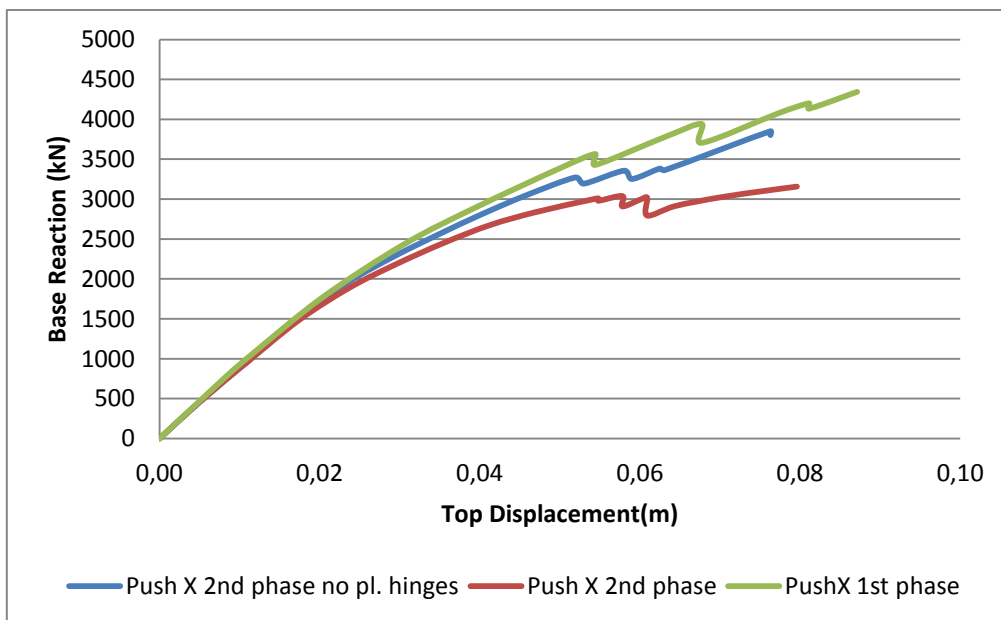


Fig. 4.8 Comparison of 1st phase, 1st phase without pl. hinges and 2nd phase dir. X

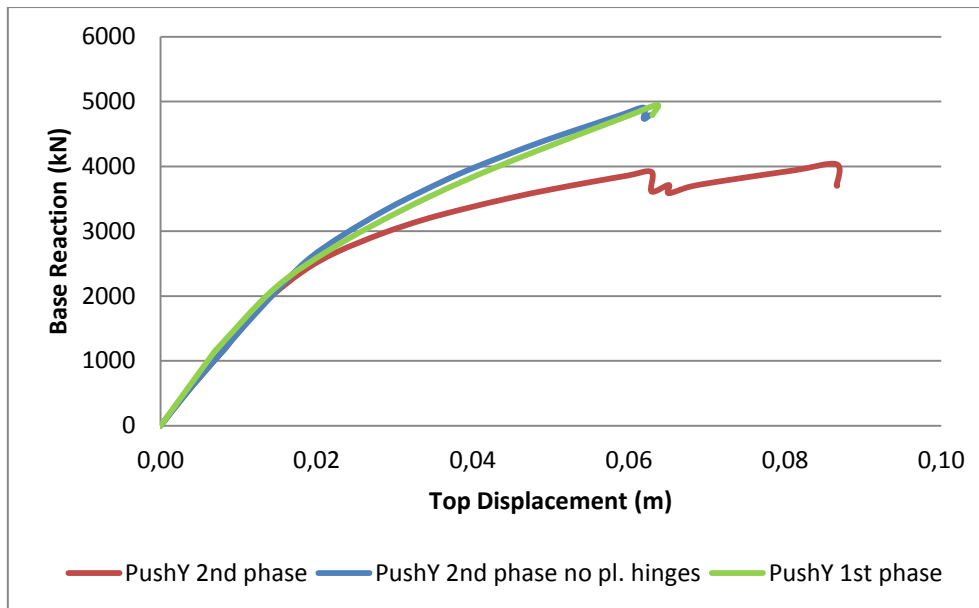


Fig. 4.9 Comparison of 1st phase, 1st phase without pl. hinges and 2nd phase dir. Y

5. Conclusions

In conclusion, the structure that has been designed and built according to the new codes will not face any particular problems in a earthquake of reasonable scale even though the irregularity of the lay-out of the structural members in floor plans and the anticipated discrepancies in stresses. This becomes evident from the fact, that even though alternative considerations were considered in the inelastic analysis, the performance level of the structure is basically for all them specified as “Immediate Occupancy” for a design spectrum of EC8 with ground acceleration 0,24 g and soil category B.

The differences arising from alternative modeling of the plastic hinges of the shear walls to the behavior of the structure were bigger for loads during the stiffer direction of the model Y. The reduction of stiffness of the post elastic branch from the first to the second phase for loading in direction Y was 53%, while in direction X only 35% which is justified since most walls are oriented along the Y direction .

Finally, from the last stages of the analysis, it was evident that the horizontal elements and the beams that were situated near the walls, especially beams of small length near the core of the structure walls (T2 AND T3), faced the biggest problem. The columns had suffered minimum damage while during the second phase there was no damage at all and all the damages of the vertical elements were evident on the walls in the form of bending failure, which is preferable to precede the shear failure that is brittle.

Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία γίνεται η προσομοίωση και η αποτίμηση της συμπεριφοράς μιας υφιστάμενης κατασκευής, η οποία παρουσιάζει μη – κανονικότητα κατόψεων και έχει μελετηθεί με τους σύγχρονους κανονισμούς. Πραγματοποιούνται αρχικά ελαστικές αναλύσεις ενδεικτικού κυρίως χαρακτήρα και στη συνέχεια γίνονται μη - γραμμικές αναλύσεις ώστε να εκτιμηθεί η ανελαστική συμπεριφορά της κατασκευής σύμφωνα με τις σύγχρονες μεθόδους προσομοίωσης και ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα:

Στο **κεφάλαιο 1** παρέχεται μια σύντομη εισαγωγή στη σπουδαιότητα αποτίμησης υφιστάμενων κατασκευών.

Στο **κεφάλαιο 2** δίνεται συνοπτικά το θεωρητικό υπόβαθρο της θεωρίας, όπου αναφέρονται βασικές έννοιες σεισμολογίας και δυναμικής των κατασκευών, καθώς επίσης και έννοιες του αντισεισμικού σχεδιασμού όπως πλαστιμότητα στάθμες επιτελεστικότητας κλπ. Τέλος περιγράφονται συνοπτικά οι μεθοδολογίες ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία.

Στο **κεφάλαιο 3** περιγράφεται η κατασκευή και η διαδικασία προσομοίωσής της, ενώ παρέχονται σημειώσεις που αφορούν τον τρόπο προσομοίωσης (για ελαστική και ανελαστική ανάλυση) της κατασκευής με το συγκεκριμένο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε (Etabs v. 9.70).

Στο **κεφάλαιο 4** περιγράφεται η ελαστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε (δυναμική φασματική και ανάλυση χρονοϊστορίας) και δίνονται τα αποτελέσματα. Έτσι γίνεται μια πρώτη εκτίμηση της συμπεριφοράς της κατασκευής.

Στο **κεφάλαιο 5** πραγματοποιείται η ανελαστική ανάλυση (πλευρική οριακή ώθηση – Pushover) η οποία γίνεται με δύο διαφορετικούς τρόπους προσομοίωσης των τοιχωμάτων και παρέχονται αποτελέσματα της κάθε μίας και συγκρίσεις.

Τέλος στο **κεφάλαιο 6** παρέχονται συμπεράσματα που αφορούν τόσο τις διαδικασίες ανάλυσης και προσομοίωσης, όσο και τη συμπεριφορά της συγκεκριμένης κατασκευής και του προσομοιώματος.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Extended Abstract.....	3
Περίληψη.....	19
Περιεχόμενα.....	21
<u>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</u>	23
1.1 Γενικά.....	23
1.2 Αντικείμενο παρούσας εργασίας.....	24
<u>Κεφάλαιο 2: Θεωρητικά στοιχεία</u>	25
2.1 Γενικά.....	25
2.1.1 Εισαγωγικές έννοιες σεισμολογίας.....	25
2.1.2 Εισαγωγικές έννοιες αντισεισμικής τεχνολογίας.....	26
2.2 Βασικές έννοιες αντισεισμικού σχεδιασμού.....	30
2.2.1 Πλαστιμότητα και πλαστικές αρθρώσεις.....	30
2.2.2 Στάθμες επιτελεστικότητας.....	34
2.2.3 Ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα και μετατροπή καμπύλης αντίστασης σε ADRS.....	39
2.3 Μέθοδοι σεισμικής αποτίμησης κατασκευών.....	42
2.3.1 Γενικά.....	42
2.3.2 Δυναμική φασματική ανάλυση.....	42
2.3.3 Γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας απόκρισης.....	43
2.3.4 Στατική ανάλυση πλευρικής οριακής ώθησης (Pushover).....	44
<u>Κεφάλαιο 3: Περιγραφή κατασκευής</u>	47
3.1 Μορφολογία φορέα.....	47
3.2 Προσομοίωση φορέα.....	48
3.2.1 Γενικά.....	48
3.2.2 Υλικά προσομοιώματος.....	51
3.2.3 Διατομές φερόντων στοιχείων.....	54
3.2.4 Φορτίσεις δομικών στοιχείων.....	60
3.2.5 Καθορισμός μάζας κατασκευής.....	69
3.2.6 Απομείωση δυσκαμψιών για ρηγματωμένες διατομές.....	69
3.2.7 Διαφραγματική λειτουργία.....	70
3.2.8 Προετοιμασία προσομοιώματος για μη – γραμμική ανάλυση.....	71

<u>Κεφάλαιο 4: Ελαστική ανάλυση κατασκευής</u>	81
4.1 Γενικά.....	81
4.2 Δυναμική φασματική ανάλυση.....	81
4.2.1 Γενικά.....	81
4.2.2 Χαρακτηριστικά φασμάτων.....	82
4.2.3 Καθορισμός συνδυασμών φορτίσεων.....	85
4.2.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	86
4.3 Ανάλυσης χρονοϊστορίας.....	91
4.3.1 Σεισμικές καταγραφές.....	91
4.3.2 Καθορισμός συνδυασμών χρονοϊστορίας.....	101
4.3.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	103
<u>Κεφάλαιο 5: Ανελαστική ανάλυση κατασκευής</u>	115
5.1 Γενικά.....	115
5.2 Στατική πλευρική οριακή ώθηση (Static Pushover).....	115
5.2.1 Ορισμός χαρακτηριστικών της ανάλυσης στο λογισμικό.....	115
5.2.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων 1 ^{ης} φάσης.....	118
5.2.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων 2 ^{ης} φάσης.....	130
5.2.4 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων.....	142
<u>Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα</u>	147
6.1 Γενικά.....	147
6.2 Περί του συγκεκριμένου προσομοιώματος.....	149
Βιβλιογραφία.....	153
<u>Παράρτημα Α</u>	155
Α.1 Ξυλότυποι και κατόψεις κατασκευής.....	157
<u>Παράρτημα Β</u>	165
Β.1 Αποτελέσματα δυναμικής φασματικής ανάλυσης.....	167
Β.2 Αποτελέσματα ανάλυσης χρονοϊστορίας.....	175
Β.3 Αποτελέσματα πλευρικής οριακής ώθησης (Pushover).....	183
Β.3.1 Πρώτη φάση ανάλυσης (τοιχώματα ελαστικά).....	183
Β.3.2 Δεύτερη φάση ανάλυσης (τοιχώματα ανελαστικά).....	188

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Σε σεισμογενείς περιοχές όπως η Ελλάδα, οι κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις των σεισμικών γεγονότων έχουν οδηγήσει στην ανάγκη της έρευνας και της εξέλιξης της γνώσης στο πεδίο των αντισεισμικών κατασκευών, με σκοπό την κατανόηση και την προστασία από το φαινόμενο του σεισμού. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και της έρευνας που έχει επιτελεστεί, αφορά τόσο τη δυνατότητα ακριβούς καταγραφής των σεισμικών γεγονότων (επιταχυνσιογραφήματα), όσο και την αύξηση της υπολογιστικής ισχύς και ανάπτυξης λογισμικών που επιτρέπουν την προσομοίωση της σεισμικής διέγερσης και τη γρήγορη ανάλυση των κατασκευών, καθώς επίσης και την εισαγωγή νέων τεχνικών ανάλυσης και κατασκευής.

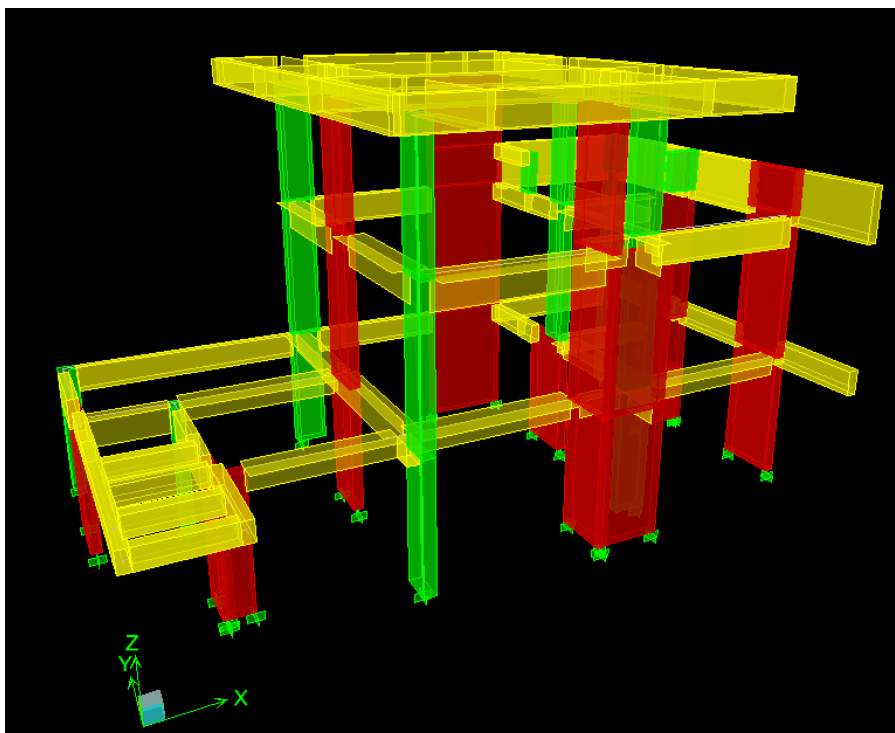
Η εξέλιξη αυτή έχει οδηγήσει στην αναθεώρηση των παλαιότερων κανονισμών. Οι νέοι κανονισμοί που έχουν στηριχτεί στα καινούρια δεδομένα, είναι πιο αξιόπιστοι και έχουν βασιστεί σε πιο ακριβείς μεθόδους ανάλυσης και σχεδιασμού, παράλληλα και με την αύξηση της αντοχής των υλικών, έχουν ως αποτέλεσμα οι σύγχρονες κατασκευές να είναι πολύ πιο ασφαλείς από τις παλαιότερες. Ο παλαιότερος κανονισμός (1954) έδινε μεγαλύτερη έμφαση στην ανάληψη των οριζόντιων φορτίων από τον φέροντα οργανισμό ελαστικά, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η ορθή ανάληψη και μεταβίβαση των σεισμικών φορτίων στη θεμελίωση και το έδαφος. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο ότι οι έννοιες της πλαστιμότητας και της μετελαστικής συμπεριφοράς δεν είχαν διερευνηθεί εκείνη την εποχή, με συνέπεια τα δομικά στοιχεία που είχαν σχεδιαστεί με αυτό τον τρόπο να συμπεριφέρονται ψαθυρά και να μην μπορούν να απορροφήσουν επαρκώς την ενέργεια του σεισμού.

Δυστυχώς το μεγαλύτερο μέρος των υφιστάμενων κατασκευών στην Ελλάδα έχουν μελετηθεί και κατασκευαστεί με τον παλιό κανονισμό, με αποτέλεσμα να είναι ευάλωτες σε έναν πιθανό ισχυρό μελλοντικό σεισμό, ειδικότερα αν έχουν υποστεί ήδη βλάβες από έναν προηγούμενο. Είναι φανερό επομένως η ανάγκη της αποτίμησης της συμπεριφοράς των υφιστάμενων κατασκευών με σκοπό την επέμβαση, είτε με τη μορφή ενίσχυσης είτε επιδιόρθωσης, και τη βελτίωσή τους ώστε να μπορέσουν να αντισταθούν επαρκώς σε μελλοντικές καταπονήσεις. Στη μεθοδολογία αποτίμησης είναι έντονη η παρουσία της ανελαστικής συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων και της έννοιας της πλαστιμότητας που έλλειπαν από παλαιότερες κανονιστικές διατάξεις και όσον αφορά τον Ελλαδικό χώρο περιγράφεται πλέον στο νέο κανονισμό επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ).

1.2 Αντικείμενο παρούσας εργασίας

Στην παρούσα εργασία γίνεται η αποτίμηση της συμπεριφοράς υφιστάμενης κατασκευής με βάση τις σύγχρονες διαδικασίες ανάλυσης. Η υφιστάμενη κατασκευή (ισόγειο και δύο όροφοι) έχει σχεδιαστεί με τις νέες κανονιστικές διατάξεις, αλλά χαρακτηρίζεται από έντονη μη- κανονικότητα των κατόψεων της και έκκεντρη τοποθέτησή τους.

Για την προσομοίωση και ανάλυση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ETABS Nonlinear v. 9.70 (CSI). Παρακάτω φαίνεται η εικόνα του προσομοιώματος από το λογισμικό.



Εικ. 1.2.1 Προσομοίωμα της κατασκευής στο ETABS

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικά στοιχεία

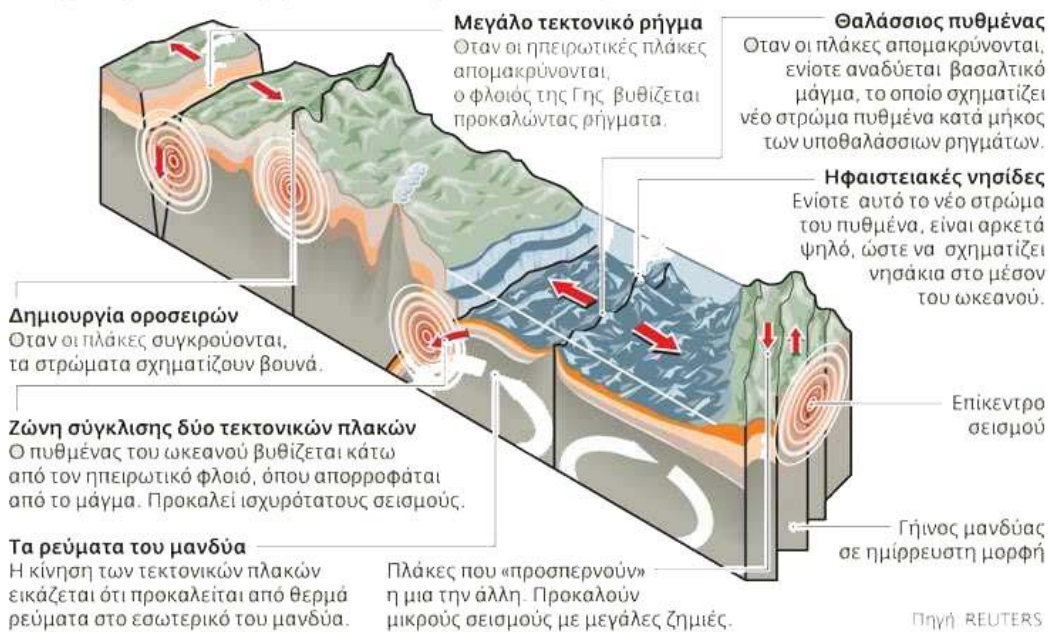
2.1 Γενικά

2.1.1 Εισαγωγικές έννοιες σεισμολογίας

Η γένεση των σεισμών οφείλεται στη διάρρηξη των λιθοσφαιρικών πλακών εξαιτίας της μεταξύ τους κίνησης. Οι λιθοσφαιρικές πλάκες επιπλέουν πάνω στο εξωτερικό στρώμα του μανδύα της γης, την ασθενόσφαιρα, που βρίσκεται σε ημίρρευση κατάσταση. Λόγω ρευμάτων της ασθενόσφαιρας οι πλάκες μετακινούνται και στις περιοχές επαφής τους εμφανίζονται τάσεις οι οποίες όταν ξεπεράσουν την αντοχή των πετρωμάτων των πλακών προκαλείται διάρρηξη.

Η θεωρία των τεκτονικών πλακών

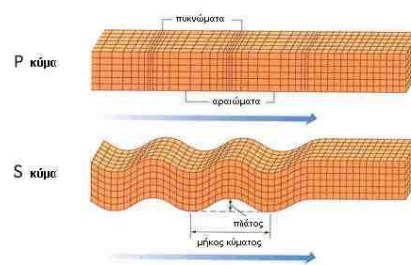
Κάθε χρόνο μετακινούνται μερικά εκατοστά, προκαλώντας σεισμικές δονήσεις.



Εικ. 2.1.1.1 Δημιουργία σεισμών από μετακινήσεις τεκτονικών πλακών

Η ενέργεια που απελευθερώνεται από τη θραύση των πετρωμάτων, θέτει σε κίνηση τη βραχώμαζα γύρω από τη διάρρηξη και διαδίδεται προς κάθε κατεύθυνση με τη μορφή χωρικών κυμάτων. Τα χωρικά αυτά κύματα διακρίνονται σε διαμήκη κύματα P (προκαλούν διαδοχικά θλίψη – εφελκυσμό του μέσου στο οποίο διαδίδονται κατά την κατεύθυνση διάδοσης) και εγκάρσια κύματα S (διατμητικά κύματα που παρουσιάζουν ταλαντώσεις κάθετα στο επίπεδο διάδοσης). Στη συνέχεια λόγω ασυνεχειών των εδαφικών στρωμάτων και τοπολογικών ατελειών της επιφάνειας,

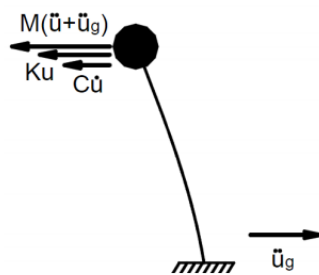
τα κύματα ανακλώνται και διαθλώνται και δημιουργούνται επιφανειακά κύματα που διακρίνονται σε Rayleigh και Love.



Εικ. 2.1.1.2 Κύματα P και S

Η τελική κίνηση ενός σημείου της επιφάνειας οφείλεται στη σύνθεση όλων των παραπάνω κυμάτων και μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες (δύο οριζόντιες και μία κατακόρυφη) οι οποίες καταγράφονται από σειсмоγράφους και παρουσιάζονται με τη μορφή επιταχυνσιογραφήματων. Από τα επιταχυνσιογραφήματα αυτά κατασκευάζονται τα φάσματα απόκρισης (για μονοβάθμιους ταλαντωτές) που δίνουν μια πρώτη εκτίμηση για τη συμπεριφορά των κατασκευών συναρτήσει των μηχανικών τους ιδιοτήτων. Παρακάτω περιγράφεται συνοπτικά η κατασκευή αυτών των φασμάτων απόκρισης και δίνονται βασικά θεωρητικά στοιχεία δυναμικής.

2.1.2 Εισαγωγικές έννοιες αντισεισμικής τεχνολογίας



Θεωρούμε τον μονοβάθμιο ταλαντωτή της εικόνας 2.1.2.1 που αποτελείται από ένα στήριγμα δυσκαμψίας K και απόσβεσης C με τη μάζα M συγκεντρωμένη στην κορυφή του. Μία σεισμική διέγερση επιβάλλει στη βάση του ταλαντωτή οριζόντια εδαφική κίνηση $u_s(t)$.

Δεδομένου ότι η μάζα M δε δέχεται εξωτερικά φορτία παρά μόνο την αδρανειακή δύναμη που αναφέρεται στην απόλυτη μετατόπιση $u(t)$ και ελαστική εσωτερική δύναμη που δέχεται εξαρτάται από την παραμόρφωση του δομικού συστήματος, δηλαδή την σχετική κίνησή της ως προς το έδαφος $x(t)$, η διαφορική εξίσωση κίνησης γράφεται ως εξής:

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = 0 \quad (2.1.1)$$

Αφού η σχετική μετακίνηση δίνεται από τη σχέση:

$$x(t) = u(t) - u_s(t) \quad (2.1.2)$$

Η σχέση (2.1.1) γίνεται:

$$M(\ddot{x}(t) + \ddot{u}_s(t)) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = 0 \quad (2.1.3)$$

Έχοντας υπόψη ότι η ιδιοσυχνότητα του συστήματος δίνεται από τη σχέση:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}}$$

και ότι το ποσοστό αποσβέσεως από:

$$\zeta = \frac{C}{C_{cr}} = \frac{C}{2m\omega}$$

Αντικαθιστώντας στη (2.1.3) τα K και C και διαιρώντας με M έχουμε:

$$\ddot{x}(t) + 2\zeta\omega \cdot \dot{x}(t) + \omega^2 \cdot x(t) = -\ddot{u}_s(t) \quad (2.1.4)$$

Για μηδενικές αρχικές συνθήκες $u(t) = u'(t) = 0$, η ειδική λύση της διαφορικής εξίσωσης δίνεται από το ολοκλήρωμα Duhamel:

$$x(t) = \frac{1}{\omega_d} \int_0^t \ddot{u}_s(\tau) \cdot e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \cdot \sin \omega_d(t-\tau) d\tau \quad (2.1.5)$$

όπου $\omega_d = \omega\sqrt{1-\zeta^2}$ η ιδιοσυχνότητα με απόσβεση, η οποία για $\zeta < 10\%$ ταυτίζεται πρακτικά με την ω .

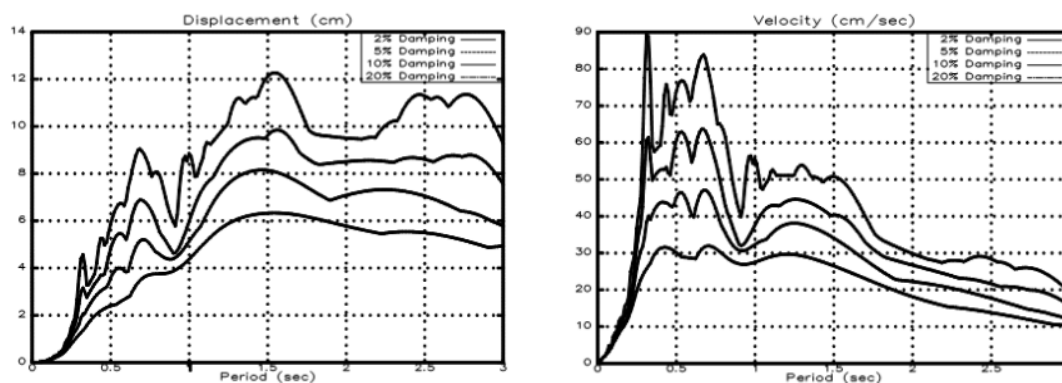
Για το σχεδιασμό της κατασκευής ενδιαφέρει η μέγιστη τιμή $\max|x(t)|$ της σχετικής μετακίνησης όπου και αναπτύσσεται η μέγιστη έντασή της. Υπολογίζοντας από τη σχέση 2.1.5 τις μέγιστες τιμές της σχετικής μετακίνησης (ή όποιου άλλου μεγέθους έχουμε διατυπώσει την εξίσωση, π.χ σχετική ταχύτητα ή απόλυτη επιτάχυνση) για κάθε ταλαντωτή με συγκεκριμένη απόσβεση ανάλογα με την ιδιοπερίοδό του $T = 2\pi/\omega$ κατασκευάζεται το φάσμα απόκρισης (βλ. Εικ. 2.1.2.2-3). Τα φάσματα που κατασκευάζονται συνήθως είναι:

α) Φάσμα απόκρισης σχετικών μετακινήσεων, το οποίο δίνει τις τιμές $\max|x(t)|$ και συμβολίζεται με Sd ή SD.

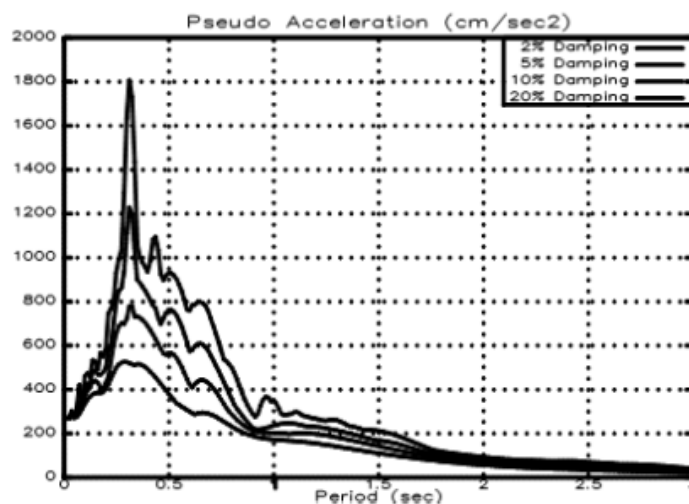
β) Φάσμα απόκρισης σχετικών ταχυτήτων, το οποίο δίνει τις τιμές $\max|x'(t)|$ και συμβολίζεται με Sv ή SV.

γ) Φάσμα απόκρισης απόλυτων επιταχύνσεων, το οποίο δίνει τις τιμές $\max|x''(t)|$ και συμβολίζεται με SA ή SA .

Για συνήθεις τιμές ιδιοπεριοδών T και συντελεστών απόσβεσης ζ , αύξηση της απόσβεσης συνεπάγεται γενικά μείωση των φασματικών τιμών. Γι' αυτό συνήθως στο ίδιο διάγραμμα κατασκευάζονται φάσματα απόκρισης που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς συντελεστές απόσβεσης (βλ. Εικ. 2.1.4-5).



Εικ. 2.1.2.2 Φάσματα σχετικών μετακινήσεων και σχετικών ταχυτήτων



Εικ. 2.1.2.3 Φάσματα απόλυτων επιταχύνσεων

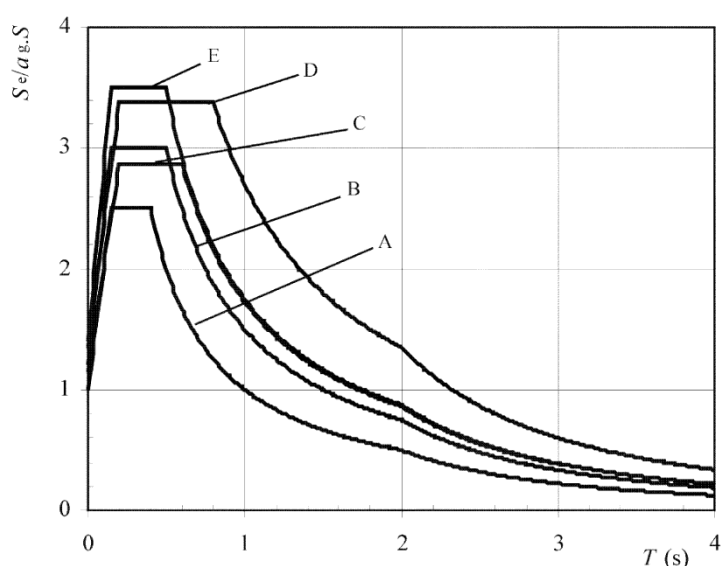
Για μικρές τιμές του συντελεστή απόσβεσης ισχύει προσεγγιστικά:

$$SA \approx \omega^2 \cdot SD = PSA$$

$$SV \approx \omega \cdot SD = PSV$$

Όπου: PSA = ψευδοφασματική επιτάχυνση και PSV = ψευδοφασματική ταχύτητα.

Παραπάνω περιγράφηκε ο τρόπος κατασκευής των ελαστικών φασμάτων απόκρισης (ελαστικά καθώς στηρίζονται στην υπόθεση της γραμμικής συμπεριφοράς του μονοβάθμιου συστήματος) μίας συγκεκριμένης διέγερσης. Για αυτό το λόγο δεν είναι χρήσιμο να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό κατασκευών αφού αναφέρονται μόνο σε ένα παρελθοντικό σεισμό. Τα φάσματα σχεδιασμού των κανονισμών έχουν προκύψει από στατιστική επεξεργασία πολλών παρελθοντικών σεισμών και δεν ανήκουν σε καμία πραγματική διέγερση, αλλά είναι αντιπροσωπευτικά μιας οικογένειας διεγέρσεων με καθορισμένη πιθανότητα μη υπέρβασης. Συνήθως κατασκευάζονται από απλές σχέσεις για διάφορες παραμέτρους που ορίζονται στους κανονισμούς (π.χ. βλ. ΕΑΚ2000, EC8 κα.).



Εικ. 2.1.2.4 Ελαστικά φάσματα για διάφορες κατηγορίες εδάφους του EC8

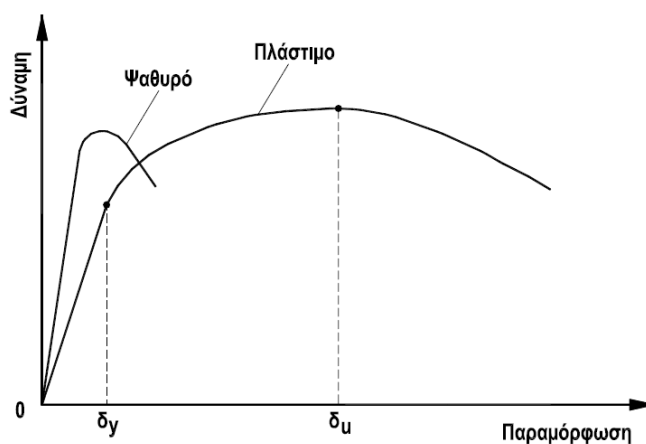
Επειδή όμως στην πραγματικότητα οι κατασκευές συμπεριφέρονται ανελαστικά, για να είναι τα φορτία σχεδιασμού πιο κοντά στα πραγματικά πρέπει να κατασκευαστούν «ανελαστικά» φάσματα τα οποία θα λαμβάνουν υπόψη τη μη γραμμική συμπεριφορά. Αυτά τα τελικά φάσματα σχεδιασμού του κανονισμού προκύπτουν από τα ελαστικά διαιρώντας τα με ένα συντελεστή q που ονομάζεται συντελεστής συμπεριφοράς.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι ένας εμπειρικός συντελεστής που ορίζεται κάθε φορά από τον αντίστοιχο αντισεισμικό κανονισμό που χρησιμοποιείται και εκφράζει την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας από την κατασκευή. Είναι συνάρτηση παραγόντων όπως η πλαστιμότητα, η απόσβεση, η υπερστατικότητα κα.

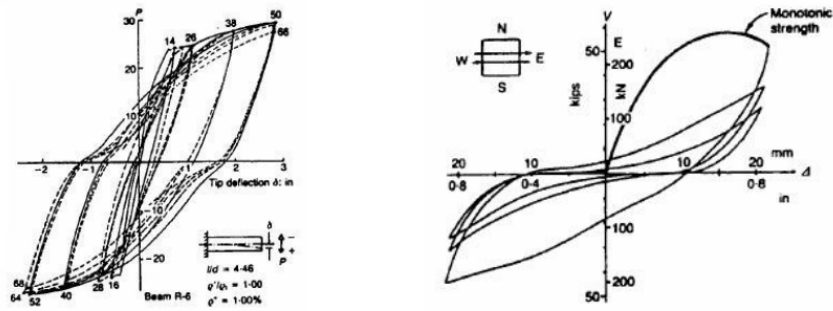
2.2 Βασικές έννοιες αντισεισμικού σχεδιασμού

2.2.1 Πλαστιμότητα και πλαστικές αρθρώσεις

Ο όρος πλαστιμότητα για μία κατασκευή, δομικό στοιχείο ή υλικό χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης χωρίς απώλεια ή μείωση της φέρουσας ικανότητας. Τα υλικά τα οποία δεν έχουν αυτή την ικανότητα χαρακτηρίζονται ως ψαθυρά όπως για παράδειγμα το άοπλο σκυρόδεμα, ενώ αντίθετα υλικά με μεγάλη πλαστιμότητα χαρακτηρίζονται ως όλκιμα όπως ο χάλυβας. Η πλαστιμότητα είναι απαραίτητο χαρακτηριστικό μιας σύγχρονης αντισεισμικής κατασκευής καθώς καθορίζει την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας από την κατασκευή σε ένα ισχυρό σεισμό με τη μορφή πλαστικών παραμορφώσεων και συνεπώς την κατάρρευση ή όχι αυτής της κατασκευής. Αυτό γίνεται φανερό αν ληφθεί υπόψη ότι οι σεισμικοί συντελεστές που καθορίζονται από τους αντισεισμικούς κανονισμούς, όπως ο συντελεστής συμπεριφοράς q , έχουν προσδιορισθεί με την προϋπόθεση η κατασκευή να παρέχει αυτή τη δυνατότητα. Στις εικόνες 2.2.1.1 και 2.2.1.2 φαίνονται διαγράμματα όπου παρουσιάζεται η συμπεριφορά μελών με ψαθυρή και πλάστιμη συμπεριφορά για μονοτονική και ανακυκλική φόρτιση αντίστοιχα. Τόσο στη μία περίπτωση όσο και στην άλλη φαίνεται πόσο γρήγορα χάνει αντοχή, σε σχέση με την παραμόρφωση, το ψαθυρό μέλος και ειδικότερα στην ανακυκλική φόρτιση που είναι και χαρακτηριστικό του σεισμού φαίνεται ότι μέσα σε λίγους κύκλους το μέλος έχει χάσει σε μεγάλο ποσοστό τη φέρουσα ικανότητά του.

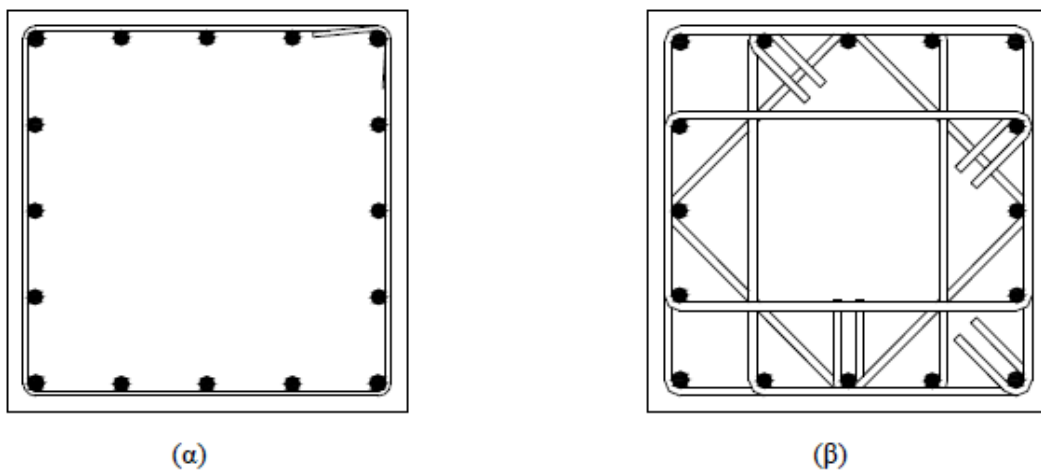


Εικ. 2.2.1.1 Συμπεριφορά ψαθυρού και πλάστιμου μέλους σε μονοτονική φόρτιση



Εικ. 2.2.1.2 Συμπεριφορά ψαθυρού και πλαστικού μέλους σε ανακυκλική φόρτιση (Φαρδής 2004)

Η πλαστιμότητα δεν είναι ένα φυσικό μέγεθος που μπορεί να υπολογιστεί ή έστω να εκτιμηθεί εύκολα. Για να εξασφαλιστεί η πλαστική συμπεριφορά μιας κατασκευής εισάγονται από τους κανονισμούς τρόποι κατασκευής των μελών που έχουν σκοπό την αύξηση της πλαστιμότητας της διατομής τους. Για το σκυρόδεμα, που όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι ψαθυρό υλικό, αυτό γίνεται με ειδικές διατάξεις λεπτομερειών όπλισης, όπως για παράδειγμα η αύξηση του εγκάρσιου οπλισμού (οπλισμός περίσφιξης) γενικότερα και ειδικότερα σε κρίσιμες περιοχές των μελών. Στην εικόνα 2.2.1.3 φαίνεται η μεγάλη διαφορά όπλισης διατομής ενός υποστυλώματος ανάμεσα στον παλιό και το σύγχρονο κανονισμό.

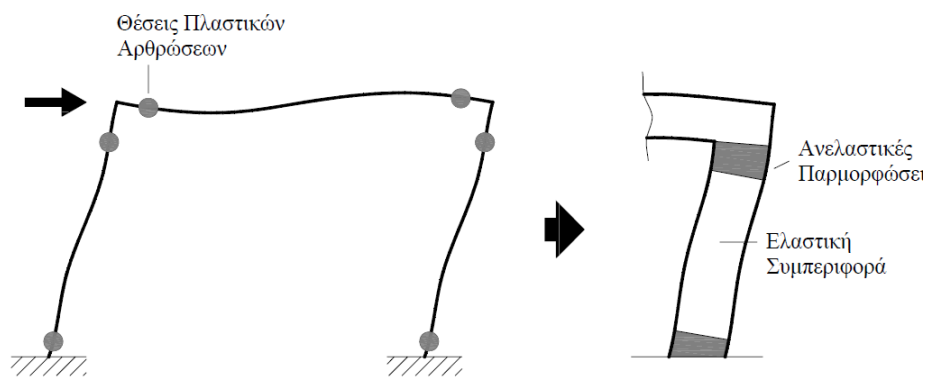


Εικ. 2.2.1.3 Διάταξη οπλισμού περίσφιξης με α) παλιό και β) σύγχρονο κανονισμό

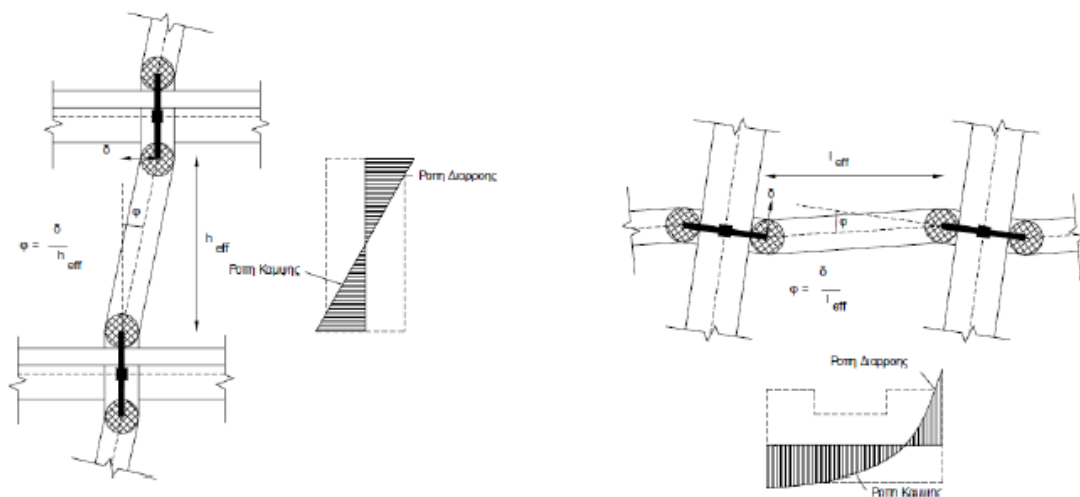
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η πλαστιμότητα μιας κατασκευής ενσωματώνεται στη διαδικασία σχεδιασμού (ελαστική ανάλυση) μιας νέας κατασκευής από τους κανονισμούς

με τη μορφή συντελεστών, όπως ο α και με τη μορφή ειδικών κατασκευαστικών λεπτομερειών. Σε περίπτωση όμως που είναι απαραίτητη μία ανελαστική ανάλυση, όπως στην περίπτωση αποτίμησης συμπεριφοράς μιας υφιστάμενης κατασκευής που χρειάζεται να προκύψουν ακριβή στοιχεία της ικανότητάς της, θα πρέπει να προσομοιωθεί η συμπεριφορά των μελών με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια και πιο κοντά στην πραγματικότητα.

Οι ανελαστικές παραμορφώσεις αναπτύσσονται στα μέλη μιας κατασκευής όταν η ένταση σε μία διατομή ξεπεράσει την αντοχή της, όταν αυτά διαρρεύσουν δηλαδή. Επειδή η κατανομή των εντατικών μεγεθών στα μέλη για μια φόρτιση όπως η σεισμική και τα ίδια βάρη είναι γνωστή, είναι δυνατόν να εντοπιστούν οι θέσεις που θα προκύψουν αυτές οι διαρροές. Οι θέσεις αυτές συνήθως εντοπίζονται στα άκρα των στοιχείων καθώς και σε περιοχές μεγάλου συγκεντρωμένου φορτίου, που ουσιαστικά είναι οι κρίσιμες περιοχές που εφαρμόζεται ο σπλισμός περίσφιξης που αναφέρθηκε παραπάνω. Αναπτύσσονται επομένως στα μέλη πλαστικές παραμορφώσεις σε περιοχές πεπερασμένου μήκους που αναφέρονται ως πλαστικές αρθρώσεις.

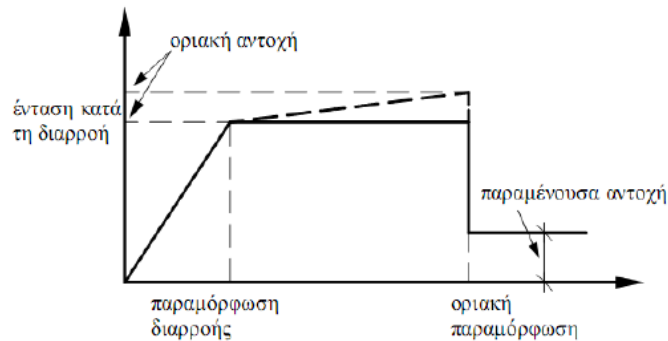


Εικ. 2.2.1.4 Θέσεις πλαστικών αρθρώσεων σε πλαίσιο



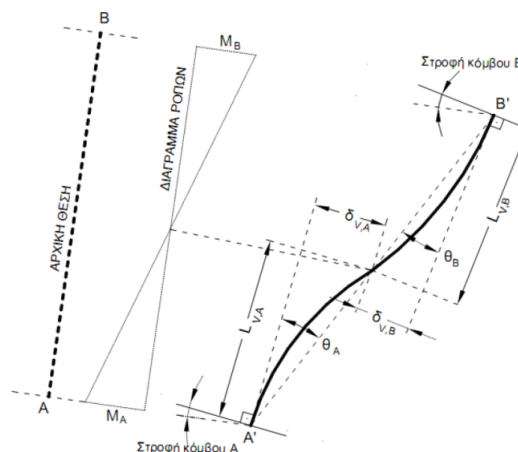
Εικ. 2.2.1.4 Θέσεις πλαστικών αρθρώσεων και διαγράμματα ροπών

Για την εισαγωγή των πλαστικών αρθρώσεων στο προσομοίωμα, εντοπίζονται καταρχάς οι πιθανές θέσεις και τελικά η κατανεμημένη πλαστικότητα προσομοιώνεται με ένα ελατήριο που υπακούει σε ένα συγκεκριμένο «νόμο» έντασης – παραμόρφωσης που καθορίζεται από το λογισμικό ή από το χρήστη, όπως αυτός του σχήματος.



Εικ. 2.2.1.5 Διάγραμμα έντασης – παραμόρφωσης

Συγκεκριμένα για καμπτόμενα μέλη, η συμπεριφορά εκφράζεται συχνά σε όρους ροπών καμπυλοτήτων ($M-1/\rho$), καθώς το διάγραμμα αυτό είναι πολύ εύκολο να κατασκευαστεί αν είναι γνωστός ο νόμος τάσεων παραμορφώσεων του υλικού. Στα σύγχρονα προσομοιώματα όμως χρησιμοποιείται συνηθέστερα η στροφή χορδής (π.χ στροφή χορδής στη διαρροή θy), καθώς λαμβάνουν υπόψη και φαινόμενα όπως εξόλκευση σπλισμού, ρηγματώσεις ταυτόχρονη ύπαρξη καμπτικών και διατμητικών εντάσεων κλπ. Η γωνία θ ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της εφαπτομένης στον άξονα του στοιχείου στο άκρον υπό διαρροή και της χορδής που συνδέει το άκρο αυτό με το άκρον του ανοίγματος διάτμησης, δηλ. το σημείο μηδενισμού των ροπών (Εικ. 2.2.1.6). Με άλλα λόγια, η γωνία θ ορίζεται ως η γωνία στροφής της χορδής που ενώνει τη βάση με την κορυφή ενός θεωρητικού προβόλου μήκους ίσου με το διατμητικό μήκος LV , δηλαδή, $\theta = \delta V / LV$, όπου: $LV = M / V$ (M =ροπή στη βάση, V =τέμνουσα) και δV είναι η μετατόπιση στην κορυφή του θεωρητικού προβόλου.



Εικ. 2.2.1.6 Στροφές χορδής μέλους

2.2.2. Στάθμες επιτελεστικότητας

Οι στάθμες επιτελεστικότητας περιγράφονται αναλυτικότερα και με μεγάλη σαφήνεια στις σημειώσεις Γ. Ν. Ψυχάρη του μαθήματος Αντισεισμική Τεχνολογία 2 του 9^{ου} εξαμήνου της σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ. Παρακάτω δίνονται περιληπτικά τα κυριότερα χαρακτηριστικά.

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών με στάθμες επιτελεστικότητας (Performance-Based Design) βασίζεται στην αρχή του καθορισμού αποδεκτού επιπέδου ζημιών, ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης του σεισμού σχεδιασμού, δηλαδή τον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου σεισμικής ικανότητας. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ένας βέλτιστος συνδυασμός ασφάλειας και οικονομίας.

Η κλασική μεθοδολογία σχεδιασμού όλων των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών εξετάζει την συμπεριφορά της κατασκευής μέχρι να αρχίσουν οι ζημιές (ελαστική απόκριση). Το ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο ασφαλείας εξασφαλίζεται μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς που χρησιμοποιείται στη μελέτη. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις ο σχεδιασμός αυτός μπορεί να είναι επισφαλής, όπως π.χ. σε έντονα μη κανονικά κτίρια.

Η μέθοδος των σταθμών επιτελεστικότητας εφαρμόζεται κυρίως στον έλεγχο και την ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών και αποτελεί το βασικό κορμό όλων των διεθνών κανονισμών επεμβάσεων. Σε νέες κατασκευές η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο μιας ήδη διαστασιολογημένης κατασκευής. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου αποτελεί η γνώση του τρόπου συμπεριφοράς της κατασκευής και πέραν την ελαστικής περιοχής (ανελαστική απόκριση). Για αυτό το σκοπό η μέθοδος εφαρμόζεται σε συνδυασμό με μη γραμμικές αναλύσεις, είτε στατικές (ανάλυση Pushover) είτε δυναμικές (αναλύσεις χρονοϊστορίας).

Οι στόχοι της σεισμικής ικανότητας μιας κατασκευής αποτελούν συνδυασμούς μιας στάθμης επιτελεστικότητας (δηλαδή του αποδεκτού επιπέδου βλαβών) και ενός επιπέδου της σεισμικής δράσης, που συνήθως καθορίζεται από την ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης στη διάρκεια ζωής της κατασκευής ή την ισοδύναμη περίοδο επανάληψης. Οι συνδυασμοί αυτοί όπως ορίζονται από τον Ευρωκώδικα μέρος 3 φαίνονται στο παρακάτω πίνακάκι. Οι στόχοι σεισμικής ικανότητας αναφέρονται τόσο στο φέροντα οργανισμό, όσο και στο μη-φέροντα οργανισμό (στον Ελληνικό Κανονισμό Επεμβάσεων ΚΑΝΕΠΕ 2009 ορίζονται μόνο στάθμες επιτελεστικότητας για τον φέροντα οργανισμό). Ο συνολικός στόχος για όλη την κατασκευή προκύπτει από συνδυασμό των στόχων για το φέροντα και το μη-φέροντα οργανισμό.

		Στάθμη επιτελεσματικότητας		
		Περιορισμός βλαβών	Σημαντικές βλάβες	Οιονεί κατάρρευση
Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης σε 50 χρόνια	20% (Περίοδος επανάλιψης 225 χρόνια)	A1	B1	Γ1
	10% (Περίοδος επανάλιψης 475 χρόνια)	A2	B2	Γ2
	2% (Περίοδος επανάλιψης 2475 χρόνια)	A3	B3	Γ3

Πιν. 2.2.1.1 Στόχοι σεισμικής ικανότητας κατά Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3.

Οι περισσότεροι κανονισμοί ορίζουν με μικρές διαφορές τρεις βασικές στάθμες επιτελεσματικότητας. Αυτές είναι:

A) Άμεση χρήση μετά το σεισμό (Immediate Occupancy)

(Φέρων Οργανισμός): Καμία λειτουργία του κτιρίου δεν διακόπτεται κατά τη διάρκεια και μετά τον σεισμό σχεδιασμού, εκτός από δευτερεύουσας σημασίας λειτουργίες. Υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν μικρές τριχοειδής ρωγμές καμπτικού χαρακτήρα.

(Μη – Φέρων Οργανισμός): Επιτρέπονται μικρές μόνο βλάβες, οι οποίες δεν επηρεάζουν τις βασικές λειτουργίες. Οι προσβάσεις και τα συστήματα ασφαλείας (π.χ. κλιμακοστάσια, πόρτες, ανελκυστήρες, συστήματα πυρασφάλειας, γεννήτριες κλπ) πρέπει να παραμείνουν σε λειτουργία, εκτός εάν υπάρχει γενική διακοπή ηλεκτροδότησης στην περιοχή, η οποία τα επηρεάζει.

B) Προστασία Ζωής (Life Safety)

(Φέρων Οργανισμός): Κατά τον σεισμό σχεδιασμού επιτρέπεται να συμβούν επισκευάσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό του κτιρίου χωρίς όμως να σημειωθεί κάποια απώλεια ζωής ή σοβαρός τραυματισμός ατόμων εξαιτίας των βλαβών αυτών. Επίσης δεν επιτρέπεται να συμβούν ουσιώδεις βλάβες και στα υλικά που είναι αποθηκευμένα στο κτίριο.

(Μη – Φέρων Οργανισμός): Αναμένονται βλάβες, οι οποίες όμως δεν αποτελούν κίνδυνο για άτομα εντός ή εκτός της κατασκευής.

Γ) Οιονεί κατάρρευση (Collapse Prevention/ Structural Stability)

(Φέρων Οργανισμός): Κατά τον σεισμό σχεδιασμού αναμένεται να συμβούν εκτεταμένες σοβαρές μη επισκευάσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό του κτιρίου, ο οποίος όμως έχει ακόμα την ικανότητα να φέρει με ασφάλεια τα κατακόρυφα φορτία για ένα χρονικό διάστημα μετά τον σεισμό. Τέλος δεν αποκλείεται ο τραυματισμός ορισμένων ατόμων λόγω βλαβών ή πτώσης στοιχείων του δευτερεύοντος οργανισμού.

(Μη – Φέρων Οργανισμός): Αναμένονται σημαντικές βλάβες, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν ακόμη και την πτώση τους. Εξάριση αποτελούν τα υψηλού κινδύνου μη-φέροντα στοιχεία και προσαρτήματα, τα οποία πρέπει να είναι καλά στερεωμένα, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος πτώσης τους σε χώρους συνάθροισης κοινού.

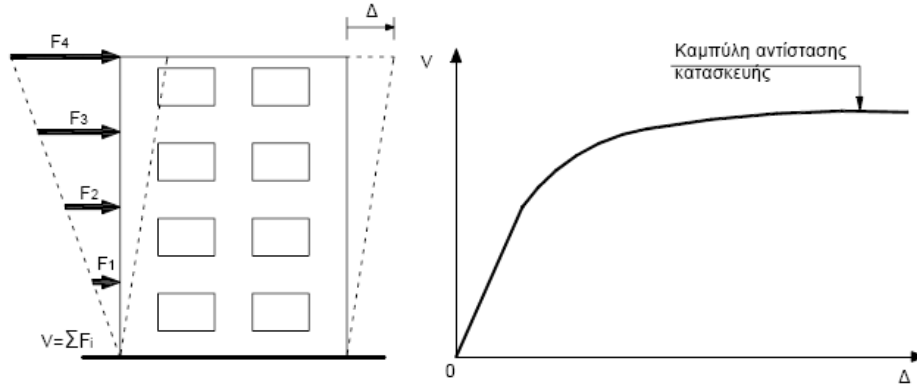
Παρακάτω δίνεται ο πίνακας των συνδυασμένων στόχων για τα φέροντα και μη στοιχεία. Ο δείκτης i αναφέρεται στη συχνότητα εμφάνισης του σεισμικού συνδυασμού.

		Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού		
		Περιορισμός βλαβών (Α)	Σημαντικές βλάβες (Β)	Οιονεί κατάρρευση (Γ)
Στάθμη επιτελεστικότητας μη-φερόντων στοιχείων	Περιορισμός βλαβών (α)	Ai - ai Συνιστάται για κατασκευές μεγάλης σπουδαιότητας σε συνδυασμό με Bi-βι	Bi - ai	Δεν συνιστάται
	Σημαντικές βλάβες (β)	Ai - βi	Bi - βi Συνιστάται για κατασκευές συνήθους σπουδαιότητας	Gi - βi
	Οιονεί κατάρρευση (γ)	Δεν συνιστάται	Bi - γi	Gi - γi

Πιν. 2.2.1.2 Συνδυασμένοι στόχοι σεισμικής ικανότητας

Ο καθορισμός των διαφόρων σταθμών επιτελεστικότητας πραγματοποιείται πάνω στην καμπύλη αντίστασης (capacity curve) της κατασκευής, η οποία εκφράζει τη μη γραμμική σχέση μεταξύ του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης στην κορυφή. Κατασκευάζουμε την καμπύλη αντίστασης υπολογίζοντας την ανελαστική μετακίνηση της κορυφής για διάφορες τιμές του οριζόντιου φορτίου και έχοντας ορίσει μια κατανομή φορτίων στους ορόφους της κατασκευής (τριγωνική κατανομή, 1^η ιδιομορφή, συμμετοχή ανώτερων ιδιομορφών). Η καμπύλη αντίστασης προκύπτει μετά από πληθώρα στατικών

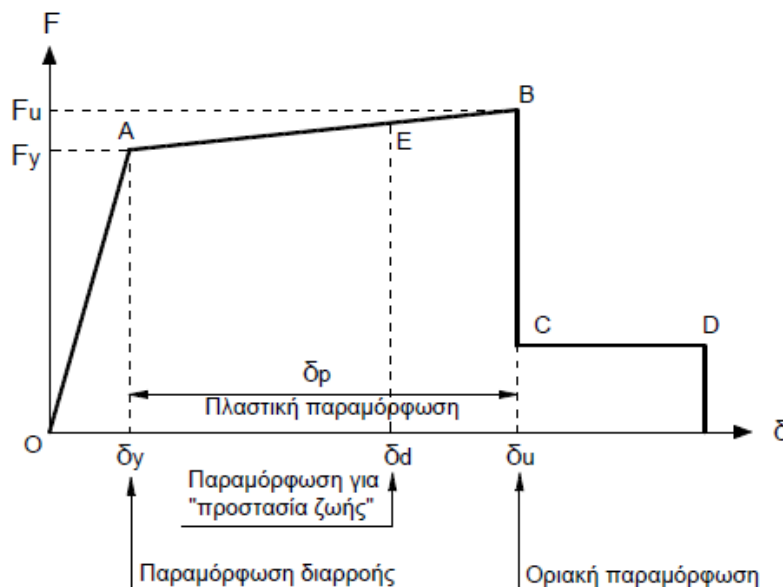
επιλύσεων με σταδιακή αύξηση της πλευρικής φόρτισης και άρα της αντίστοιχης τέμνουσας βάσης και διαδοχικό υπολογισμό της μετακίνησης κορυφής. Σε κάθε βήμα, θα έχουμε μια νέα μειωμένη δυσκαμψία σε εκείνα τα μέλη που έφτασαν σε διαρροή.



Εικ. 2.2.2.1 Σχηματική διάταξη ανάλυσης Pushover και καμπύλη αντίστασης

Οι νόμοι που περιγράφουν την ανελαστική συμπεριφορά των μελών της κατασκευής, περιγράφονται μέσω διαγραμμάτων που σχετίζουν εντατικά μεγέθη, «F», με παραμορφώσεις ή σχετικές μετακινήσεις, «δ». Οι σχετικές αυτές μετακινήσεις, «δ», μπορεί να είναι στροφές, παραμορφώσεις, καμπυλότητες κλπ. Σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα η καταλληλότερη επιλογή F και δ είναι η ροπή κάμψης, M και η γωνία στροφής χορδής, θ, στα άκρα του στοιχείου.

Στην εικόνα 2.2.2.2 φαίνεται η συνηθέστερη μορφή των διαγραμμάτων F-δ.



Εικ. 2.2.2.2 Συνηθέστερη μορφή ιδεατού διαγράμματος F-δ δομικού στοιχείου

Οι κλάδοι του διαγράμματος ορίζονται ως εξής:

A) Τμήμα OA

Αντιπροσωπεύει την ελαστική συμπεριφορά μέχρι το θεωρητικό σημείο διαρροής. Η κλίση της ευθείας OA αντιστοιχεί στην τέμνουσα δυσκαμψία που πρέπει να ληφθεί υπόψη στην ελαστική ανάλυση.

B) Τμήμα AB

Αντιπροσωπεύει τη μετελαστική συμπεριφορά του στοιχείου μέχρι τη θεωρητική αστοχία. Το σημείο B ορίζεται από την οριακή παραμόρφωση αστοχίας, δ_u , που συνήθως αντιστοιχεί σε μείωση της αντίστασης κατά 20% σε σχέση με τη μέγιστη τιμή της. Πολλές φορές, η κλίση του κλάδου AB θεωρείται οριζόντια. Τότε, η αντίσταση διαρροής, F_y , μπορεί να ληφθεί ίση με την οριακή αντίσταση.

Γ) Τμήμα BC

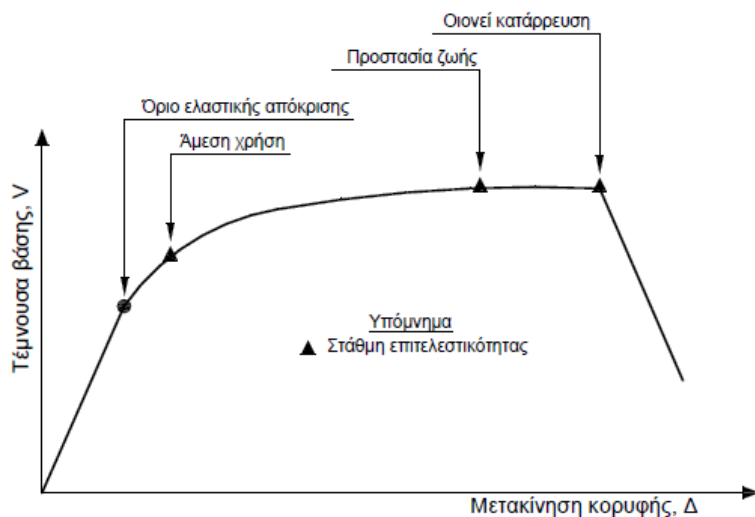
Αντιπροσωπεύει την απομένουσα αντίσταση του στοιχείου. Συνήθως μετά την παραμόρφωση αστοχίας ενός μέλους, η ικανότητα του να παραλάβει σεισμικά φορτία μειώνεται σημαντικά, αλλά δεν μηδενίζεται και έτσι το στοιχείο μπορεί να παραλάβει κατακόρυφα φορτία. Στο σημείο D το στοιχείο χάνει και την ικανότητα του να παραλαμβάνει κατακόρυφα φορτία. Συνήθως, η τιμή αυτής της απομένουσας αντίστασης λαμβάνεται ίση με το 20% της οριακής αντοχής.

Δ) Στάθμες επιτελεστικότητας, E

Στην καμπύλη F-δ ορίζονται οι στάθμες επιτελεστικότητας με βάση τις παραμορφώσεις δ_d . Το πώς ορίζονται οι στάθμες επιτελεστικότητας αναφέρθηκε προηγουμένως. Σε περιπτώσεις πλαστικών στοιχείων, κρίσιμες είναι οι παραμορφώσεις και έτσι, ο ορισμός των σταθμών επιτελεστικότητας γίνεται σε όρους παραμορφώσεων. Αντίθετα, σε περιπτώσεις ψαθυρών στοιχείων, ο ορισμός γίνεται σε όρους δυνάμεων.

Μετά την ολοκλήρωση των διαγραμμάτων F-Δ και τον ορισμό των σταθμών επιτελεστικότητας πάνω σε αυτά, μπορούμε να προχωρήσουμε στην κατασκευή της καμπύλης αντίστασης όλης της κατασκευής και στην τοποθέτηση των σημείων που αντιστοιχούν στις στάθμες επιτελεστικότητας, όπως απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικ. 2.2.2.3). Η στάθμη επιτελεστικότητας όλης της κατασκευής, δηλαδή η μετακίνηση κορυφής που αντιστοιχεί σε κάποιο επίπεδο βλαβών, δεν ταυτίζεται πάντα με εκείνο το σημείο που το πρώτο στοιχείο της κατασκευής φτάνει σε αυτή

τη στάθμη επιτελεστικότητας. Επειδή η κατασκευή αποτελείται από πολλά στοιχεία ενδέχεται κάποιο ποσοστό αυτών να έχει φτάσει κάποια στάθμη επιτελεστικότητας, ενώ η κατασκευή στο σύνολό της να βρίσκεται ακόμα κάτω από αυτή τη στάθμη.



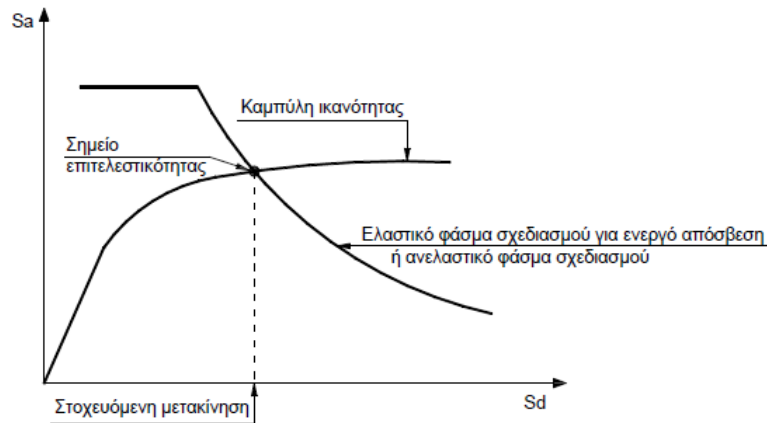
Εικ. 2.2.2.3 Καμπύλη αντίστασης κατασκευής και στάθμες επιτελεστικότητας

2.2.3 Ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα και μετατροπή καμπύλης αντίστασης σε ADRS

Για να ορισθεί το σημείο επιτελεστικότητας (performance point) της κατασκευής για ένα σεισμό πρέπει να υπολογισθεί η αναμενόμενη μετακίνηση της κατασκευής για αυτό το σεισμό (στοχευόμενη μετακίνηση-target displacement). Ο ακριβέστερος τρόπος υπολογισμού είναι με μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας. Για αυτό όμως απαιτούνται εξειδικευμένα προγράμματα και μπορεί να είναι χρονοβόρο, ενώ εκφράζει τη συμπεριφορά για ένα σεισμό μόνο. Η μέθοδος pushover είναι μία εναλλακτική από την οποία προκύπτει, όπως περιγράφηκε παραπάνω, η καμπύλη αντίστασης. Υπάρχουν στη βιβλιογραφία διάφορες μεθοδολογίες στατικής μη-γραμμικής ανάλυσης (pushover), όπως ATC-40, N2, μέθοδος των συντελεστών. Σε όλες τις μεθόδους, η μετακίνηση της κατασκευής υπολογίζεται από τη μετακίνηση του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.

Η φιλοσοφία καθορισμού του σημείου επιτελεστικότητας βασίζεται στον υπολογισμό του σημείου που αντιστοιχεί στην εξισορρόπηση της απαίτησης (demand), σύμφωνα με το επιθυμητό φάσμα σχεδιασμού, και της ικανότητας (capacity) της κατασκευής. Σε διάγραμμα ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectrum), η εξισορρόπηση αυτή για το ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα

συμβαίνει στο σημείο τομής της καμπύλης ικανότητας και του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού που αντιστοιχεί στην ενεργό απόσβεση για τη μέγιστη μετακίνηση (βλ. Εικ. 2.2.3.1).



Εικ. 2.2.3.1 Προσδιορισμός της στοχευόμενης μετακίνησης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.

Το ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα εξαρτάται από την κατανομή των καθύψος οριζόντιων φορτίων που εφαρμόζονται για τον υπολογισμό της καμπύλης αντίστασης. Η κατανομή αυτή μπορεί να είναι ομοιόμορφη, τριγωνική, σύμφωνα με την πρώτη ιδιομορφή ή και πιο πολύπλοκη με συμμετοχή ανώτερων ιδιομορφών.

Η κατανομή των φορτίων στους ορόφους μπορεί να γίνει σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$F_i = V \frac{m_i \varphi_i}{\sum_j m_j \varphi_j} \quad (2.2.3.1)$$

Όπου οι συντελεστές φ_i δηλώνουν την κατανομή των φορτίων στους ορόφους και συνήθως λαμβάνονται ίσοι με τις αντίστοιχες τιμές της πρώτης ιδιομορφής. Οι τιμές αυτές συνήθως κανονικοποιούνται ώστε η τιμή της κορυφής να αντιστοιχεί στη μονάδα $\varphi_{top} = 1$.

Εάν η κατανομή των φορτίων γίνεται σύμφωνα με την σχέση 2.2.3.1 και $\varphi_{top}=1$, η αντιστοιχία μεταξύ του πολυβάθμιου συστήματος και του ισοδύναμου μονοβαθμίου για όλα τα μεγέθη (δυνάμεις, μετακινήσεις, ενέργεια, κλπ) γίνεται με τη σχέση:

$$Q^* = \Gamma \cdot Q \quad (2.2.3.2)$$

όπου:

Q^* το μέγεθος στο ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα

Q το αντίστοιχο μέγεθος στο πολυβάθμιο σύστημα.

Γ συντελεστής συμμετοχής που δίνεται από τη σχέση:

$$\Gamma = \frac{\sum m_i \varphi_i}{\sum m_i \varphi_i^2} \quad (2.2.3.3)$$

Ο αριθμητής της σχέσης 2.2.3.3 ισούται με τη μάζα του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος:

$$m^* = \sum m_i \varphi_i$$

Σημειώνεται ότι, εφόσον τόσο οι δυνάμεις όσο και οι μετακινήσεις ακολουθούν τον ίδιο κανόνα μετασχηματισμού (σχ. 2.2.3.2), η δυσκαμψία του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος ισούται με αυτή του πολυβάθμιου. Η ιδιοπερίοδος όμως του ισοδύναμου μονοβάθμιου δεν ισούται με την 1η ιδιοπερίοδο του πολυβάθμιου, ακόμη και εάν οι συντελεστές φ_i ισούνται με τις αντίστοιχες τιμές του 1^{ου} ιδιοδιανύσματος.

Η μετατροπή της καμπύλης αντίστασης σε φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου σε μορφή ADRS γίνεται με τις παρακάτω σχέσεις:

$$S_a = \frac{V}{a \cdot m_{ολ}} \quad \text{και} \quad S_d = \frac{\Delta}{\Gamma}$$

όπου: V η τέμνουσα βάσης του πολυβαθμίου

$m_{ολ}$ η συνολική μάζα του πολυβαθμίου

Δ η μετακίνηση κορυφής

και a το ποσοστό συνολικής μάζας που συμμετέχει στη δυναμική απόκριση της κατασκευής για την αναμενόμενη μορφή παραμόρφωσης, που δίνεται από τη σχέση:

$$a = \Gamma \frac{m^*}{m_{ολ}}$$

2.3 Μέθοδοι σεισμικής αποτίμησης κατασκευών

2.3.1 Γενικά

Σκοπός της διαδικασίας της σεισμικής αποτίμησης μιας υφιστάμενης κατασκευής είναι να προσδιορισθεί η σεισμική της ικανότητα και να διαπιστωθεί αν κρίνεται επαρκής ανάλογα με συγκεκριμένα κριτήρια. Καθορίζει δηλαδή το αν απαιτείται ή όχι ενίσχυση της κατασκευής, καθώς επίσης και τις ιδιαίτερες αδυναμίες της που πρέπει να βελτιωθούν με την επισκευή ή την ενίσχυσή της. Πρόκειται λοιπόν για μία αρχική ανάλυση του υπό μελέτη κτιρίου, στην οποία λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά των μελών του όπως προκύπτουν από την μελέτη κατασκευής του (εάν υπάρχει) ή αποκλειστικά από την επιτόπου διερεύνηση της κατασκευής.

Παλαιότερα ο συνηθέστερος τρόπος αποτίμησης μιας κατασκευής ήταν ο έλεγχος πληρότητας των διατάξεων των αντισεισμικών κανονισμών για τις νέες κατασκευές. Η πλειοψηφία όμως των κατασκευών έχει μελετηθεί με παλαιότερους κανονισμούς, με αποτέλεσμα να μην πληροί τις διατάξεις των νέων σε θέματα που αφορούν την διαμόρφωση του οπλισμού των στοιχείων και κατ' επέκταση την τοπική και συνολική πλαστιμότητα κα. Έτσι με αυτό τον τρόπο οι παραπάνω κατασκευές κρίνονται σεισμικά ανεπαρκείς και χρήζουν ενίσχυσης, απαγορευτικού όμως κόστους.

Οι μέθοδοι αποτίμησης που χρησιμοποιούνται σήμερα διακρίνονται σε ελαστικές, οι οποίες είναι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται και για την ανάλυση νέων κτιρίων, με κατάλληλες τροποποιήσεις ώστε να ληφθούν υπόψη οι ιδιαιτερότητες των υφιστάμενων κατασκευών και σε ανελαστικές, οι οποίες αν και είναι πιο απαιτητικές όσον αφορά τους υπολογισμούς, οδηγούν σε ακριβέστερα αποτελέσματα μέσω της λεπτομερούς προσομοίωσης της συμπεριφοράς των δομικών μελών και της ορθολογικότερης αντιμετώπισης της σεισμικής απειλής.

Παρακάτω περιγράφονται περιληπτικά οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία.

2.3.2 Δυναμική φασματική ανάλυση

Η δυναμική φασματική ανάλυση είναι μια μέθοδος δυναμικής ανάλυσης μιας κατασκευής που υπόκειται σε σεισμική διέγερση, που καταλήγει όμως σε μία σειρά στατικών αναλύσεων, αποφεύγοντας τη δυναμική ανάλυση μονοβάθμιων συστημάτων που είναι απαραίτητη για την ανάλυση χρονοϊστορίας απόκρισης (παρ.

2.3.3). Παραμένει ωστόσο μια δυναμική μέθοδος καθώς χρησιμοποιεί τις ιδιότητες ταλάντωσης (ιδιοσυχνότητες, ιδιομορφές και ιδιομορφική απόσβεση) της κατασκευής αλλά και τα δυναμικά χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης μέσω του φάσματος απόκρισης.

Η μέθοδος γενικά περιλαμβάνει:

A) Ιδιομορφική ανάλυση (υπολογισμός ιδιομορφών ταλάντωσης και αντίστοιχων ιδοπεριόδων και ιδιοσυχνοτήτων).

B) Ιδιομορφική απόκριση (υπολογισμός ακραίας μετακίνησης ή έντασης που , αντιστοιχεί σε κάθε ιδιομορφή για κάθε συνιστώσα του σεισμού με τη χρήση του φάσματος απόκρισης.)

Γ) Ιδιομορφική επαλληλία (υπολογισμός πιθανής ακραίας τιμής τυχόντος μεγέθους απόκρισης για κάθε συνιστώσα του σεισμού.)

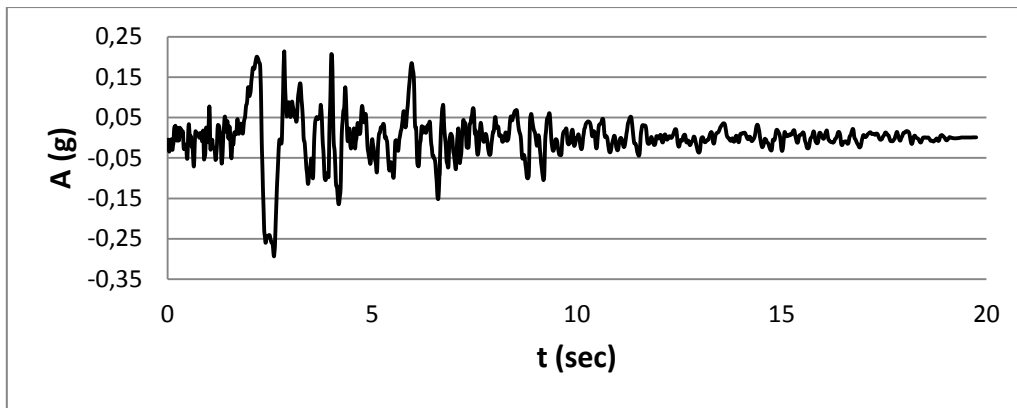
Δ) Χωρική επαλληλία (υπολογισμός πιθανής ακραίας τιμής τυχόντος μεγέθους απόκρισης για ταυτόχρονη δράση των τριών συνιστωσών του σεισμού.)

Η επαλληλία των μέγιστων τιμών των ιδιομορφικών αποκρίσεων γίνεται, διότι οι τιμές αυτές δεν πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Αυτό φυσικά αποτελεί προσέγγιση και η τελική μέγιστη τιμή της απόκρισης μπορεί να ερμηνευθεί ως ο μέσος όρος των μέγιστων τιμών της απόκρισης σε ένα σύνολο σεισμικών διεγέρσεων, με την προϋπόθεση ότι το φάσμα που χρησιμοποιείται είναι ένα ομαλό φάσμα που έχει προκύψει από τη στατιστική σύνθεση φασμάτων πολλών σεισμικών διεγέρσεων.

Οι δύο πιο συνήθεις μέθοδοι επαλληλίας των ιδιομορφών είναι η μέθοδος της τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των τετραγώνων (Square Root of Sum of Squares-SRSS) και η μέθοδος της πλήρους τετραγωνικής επαλληλίας (Complete Quadratic Combination-CQC). Η μέθοδος SRSS παρέχει άριστες εκτιμήσεις για την απόκριση κατασκευών με μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις ιδιοσυχνότητες τους, ενώ η μέθοδος CQC είναι εφαρμόσιμη σε μια ευρύτερη τάξη κατασκευών. (βλ. παρ. 3.4.3-4 του ΕΑΚ2000).

2.3.3 Γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας απόκρισης

Στη γραμμική ανάλυση της χρονοϊστορίας (ελαστική ανάλυση) εφαρμόζεται σε κάθε στήριγμα της κατασκευής η ίδια σεισμική φόρτιση με τη μορφή επιταχυνσιογραφήματος (Εικ. 2.3.3.1) και πραγματοποιείται επίλυση του δυναμικού προβλήματος για κάθε χρονική στιγμή.



Εικ. 2.3.3.1 Επιταχυνσιογράφημα

Με τη μέθοδο αυτή φαίνεται η συμπεριφορά της κατασκευής για μία πραγματική σεισμική διέγερση, επειδή όμως ακριβώς είναι μόνο μία συνηθίζεται να επιβάλλονται αρκετές διαφορετικές χρονοϊστορίες στην κατασκευή για να εξαχθούν συμπεράσματα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η συνεισφορά των ανώτερων ιδιομορφικών αποκρίσεων είναι πολύ μικρή και πρακτικώς παραλείπεται.

Δυστυχώς όμως υπάρχουν και μειονεκτήματα που εμφανίζονται για παράδειγμα στη διαστασιολόγηση. Λόγω των ποσοτικών διαφορών των εντατικών μεγεθών και της πληθώρας των συνδυασμών που πρέπει να εξεταστούν η διαδικασία καθίσταται χρονοβόρα. Επίσης η μέθοδος προϋποθέτει γραμμικά ελαστική συμπεριφορά της κατασκευής και άρα η χρησιμότητα της περιορίζεται στην περίπτωση των μέτριων σεισμών.

2.3.4 Στατική ανάλυση πλευρικής οριακής ώθησης (Pushover)

Σκοπός της στατικής ανάλυσης πλευρικής οριακής ώθησης (Pushover) (ανελαστική ανάλυση) είναι ο προσδιορισμός των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα μέλη της κατασκευής για κάποια σεισμική δράση για την οποία γίνεται η αποτίμηση και κατ' επέκταση η ενίσχυση ή η επισκευή. Αυτό όπως αναφέρθηκε στην παρ. 2.2.2 και 2.2.3 γίνεται με την κατασκευή της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής η οποία εκφράζει τη σχέση μεταξύ της τέμνουσας βάσης, V_b του κτιρίου και της μετατόπισης κορυφής, δ , και στη συνέχεια με τον υπολογισμό της στοχευόμενης μετακίνησης (θεωρία ισοδύναμου μονοβάθμιου), με κάποια από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν και προηγουμένως (ATC-40, N2 κλπ) και του ορισμού της στάθμης επιτελεσματικότητας. Στη συνέχεια συγκρίνεται με την επιθυμητή στάθμη για τη συγκεκριμένη σεισμική διέγερση.

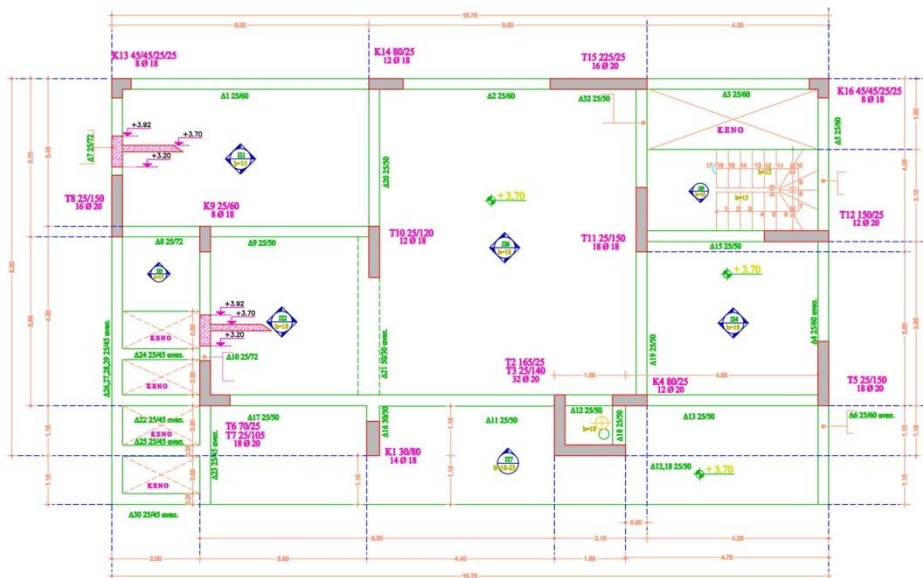
Στη στατική ανελαστική ανάλυση χρησιμοποιείται ένα προσομοίωμα του φορέα το οποίο λαμβάνει υπόψη ανελαστικούς νόμους φορτίου-παραμόρφωσης για τα επιμέρους δομικά στοιχεία του κτιρίου. Το προσομοίωμα φορτίζεται με οριζόντια φορτία αμετάβλητης κατανομής καθ' ύψος τα οποία αυξάνουν μονοτονικά και αναπαριστούν τις αδρανειακές δυνάμεις που εμφανίζονται στα επίπεδα των ορόφων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Η ανάλυση Pushover διενεργείται μέχρι να σημειωθεί αστοχία του φορέα. Η συνήθης μορφή αστοχίας είναι η αστοχία σε κάμψη μίας κρίσιμης διατομής (ο ικανοτικός σχεδιασμός που επιβάλλουν οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί εξασφαλίζει η καμπτική αστοχία να προηγείται πάντοτε της διατμητικής) ή η μετατροπή του φορέα σε μηχανισμό, τοπικά ή συνολικά. Σε κάθε περιοχή που αναμένεται να εμφανιστεί ανελαστική συμπεριφορά λαμβάνεται υπόψη η σχέση φορτίου - παραμόρφωσης μέσω πλήρων καμπυλών μονοτονικής φόρτισης μέχρι την αστοχία (βλ. Εικ. 2.2.2.2).

Η μεθοδολογία ATC-40 και η μέθοδος συντελεστών παρουσιάζονται στον ATC-40 (Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings 1996). Επίσης περιγράφονται μαζί με τη μέθοδο N2 στις σημειώσεις Γ. Ν. Ψυχάρη του μαθήματος Αντισεισμική Τεχνολογία 2 του 9^{ου} εξαμήνου της σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.

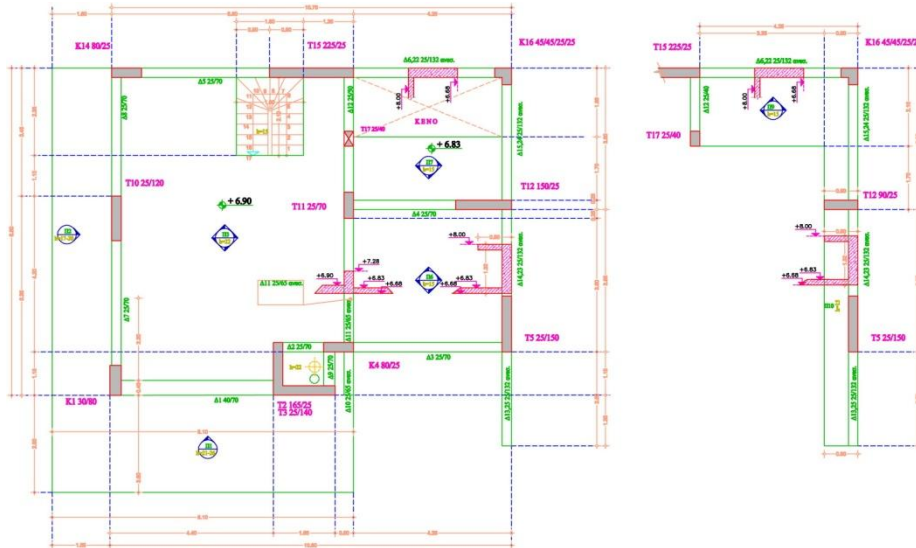
Κεφάλαιο 3: Περιγραφή Κατασκευής

3.1. Μορφολογία φορέα

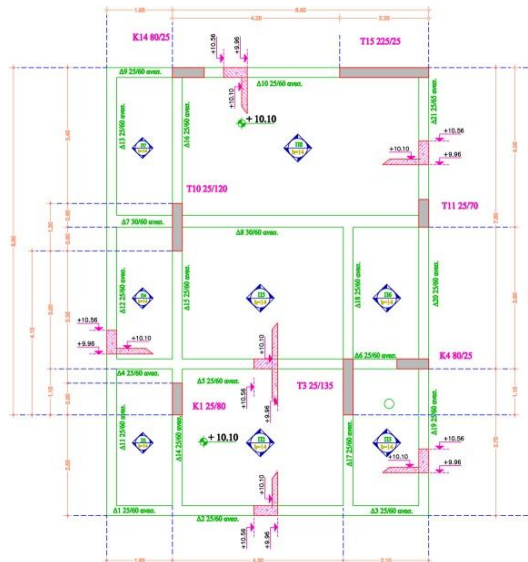
Η κατασκευή που επιλέχθηκε για την προσομοίωση, είναι ένα τριώροφο υφιστάμενο κτίριο με υπόγειο στην περιοχή της Χαλκίδας, το οποίο στεγάζει δύο ανεξάρτητες κατοικίες. Χαρακτηρίζεται από μη κανονικότητα καθώς οι κατόψεις των ορόφων είναι πολύ διαφορετικές για λόγους αρχιτεκτονικού ενδιαφέροντος. Επίσης παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία στη μορφολογία των δομικών στοιχείων όπως πολλές διαφορετικές διατομές, ανεστραμμένοι δοκοί, τοιχώματα τα οποία καθ' ύψος γίνονται υποστυλώματα, φυτευτό υποστύλωμα, στηρίξεις δοκών σε δοκούς, πλατύκορμες δοκούς κλπ. Παρακάτω φαίνονται οι ξυλότυποι του ισογείου και των δύο ορόφων. Τα σχέδια αυτά δίνονται σε μεγαλύτερα στο παράρτημα Α (παρ. Α1) όπου φαίνονται περισσότερες λεπτομέρειες, οι ονομασίες και οι διαστάσεις των δομικών στοιχείων. Οι οπλισμοί θα δοθούν παρακάτω για κάθε διατομή ξεχωριστά.



Εικόνα 3.1.1 Ξυλότυπος Οροφής Ισογείου



Εικόνα 3.1.2 Ξυλότυπος Οροφής Α' Ορόφου



Εικόνα 3.1.3 Ξυλότυπος Οροφής Β' Ορόφου

3.2. Προσομοίωση φορέα

3.2.1 Γενικά

Η προσομοίωση της κατασκευής έγινε με το λογισμικό ETABS v.9.70 . Δεν πραγματοποιήθηκε προσομοίωση του υπογείου και για την στήριξη του χωρικού προσομοιώματος στο έδαφος χρησιμοποιήθηκαν πακτώσεις καθώς το υπόγειο περιβάλλεται σε όλες τις πλευρές του από τοίχωμα και έτσι εξασφαλίζεται το

απαραμόρφωτο της στάθμης του ισογείου. (ΕΑΚ2000 παρ.3.2.1). Για την προσομοίωση των δοκών και των υποστυλωμάτων χρησιμοποιήθηκαν ραβδωτά στοιχεία πλαισίου έξι βαθμών ελευθερίας.

Τα τοιχώματα προσομοιώνονται στο ETABS με στοιχεία κελύφους (παρέχεται εντός επιπέδου καθώς και εκτός επιπέδου καμπτική δυσκαμψία) στα οποία δίνεται ο χαρακτηρισμός «pier» ώστε να καταλάβει το πρόγραμμα ότι πρόκειται για τοίχωμα και να δώσει τα κατάλληλα αποτελέσματα καθ' ύψος σε μορφή δυνάμεων, ροπών κλπ. και όχι μόνο σε όλη την επιφάνεια, έτσι ώστε να υπάρχει μία τιμή για κάθε διατομή.

Σημ.: (Αυτό γίνεται με την εντολή «Assign>Shell/Area>Pier label». Προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι με αυτόν τον τρόπο το λογισμικό, αν θέλουμε να κάνουμε έλεγχο διατομής (οπλισμών κλπ), ελέγχει μόνο τις δύο ακραίες κατακόρυφα διατομές. Σε περίπτωση που θέλουμε και κάποια ενδιάμεση χρειάζεται να μοιράσουμε το στοιχείο σε περισσότερα (“mesh”).

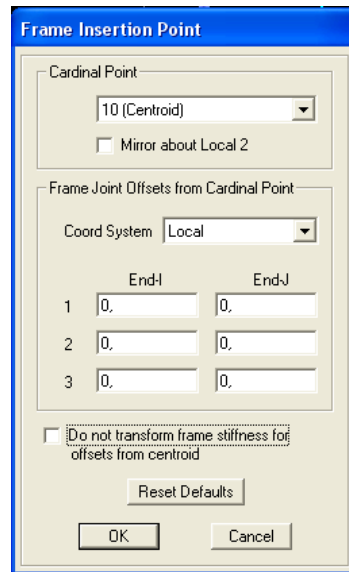
Παρ' όλα αυτά, για κάποιες τελευταίες αναλύσεις τα τοιχώματα προσομοιώθηκαν και με τη λεγόμενη «Wide Column Analogy-WCA), δηλαδή με ραβδωτά στοιχεία πλαισίου κεντροβαρικά των διατομών και με άκαμπτα οριζόντια στοιχεία στην ένωση με τους ορόφους που ξεκινούν από το κέντρο και εκτείνονται δεξιά και αριστερά όσο το μήκος του τοιχώματος.

Στο προσομοίωμα αγνοήθηκε η συμμετοχή της τοιχοποιίας και των κλιμάκων στη δυσκαμψία της κατασκευής (όχι όμως και στη μάζα) (ΕΑΚ2000 παρ.3.2.3.). Επίσης δεν έγινε προσομοίωση των πλακών με επιφανειακά στοιχεία για απλοποίηση και τα φορτία από τις πλάκες υπολογίσθηκαν και τοποθετήθηκαν στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία και ορίσθηκαν τα διαφράγματα (ΕΑΚ2000 παρ.3.2.1).

Στην περίπτωση έκκεντρης στήριξης δοκών σε υποστύλωμα, το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα του «joint offset». Αρχικά σχεδιάζεται η δοκός να συνδέεται κεντρικά με το υποστύλωμα και στη συνέχεια με την επιλογή αυτή μεταφέρονται τα άκρα του υποστυλώματος στην επιθυμητή διεύθυνση και απόσταση ώστε η δοκός να συνδέεται έκκεντρα.

Σημ.: (Η αντίστοιχη εντολή είναι «Assign>Frame/Line>Insertion Point». Στην καρτέλα που εμφανίζεται υπάρχουν οι εξής δυνατότητες: Μπορεί να ορισθεί το «Cardinal Point», δηλαδή από ποιο σημείο της διατομής θα εισαχθεί η διατομή στο στοιχείο πλαισίου και τα «joint offsets» σε κάθε άκρο του στοιχείου σε κάθε διεύθυνση. Για να λάβει υπόψη το λογισμικό τις αλλαγές αυτές στη δυσκαμψία του προσομοιώματος θα πρέπει η εντολή «Do not transform frame stiffness for offsets

from centroid» να μην είναι επιλεγμένη, διαφορετικά οι αλλαγές είναι μόνο εικονικές (βλ. Εικ. 3.2.1.1.).



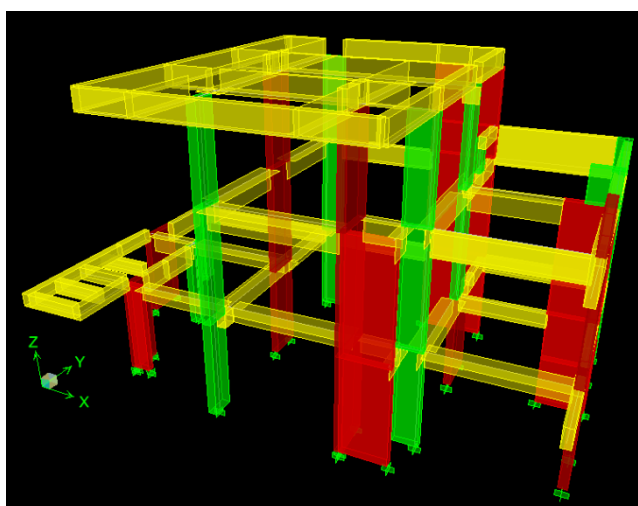
Εικόνα 3.2.1.1 Insertion Point

Σε περίπτωση που στο ίδιο υποστύλωμα συνδέονται δύο δοκοί σε διαφορετικά σημεία της διατομής του, τότε ο τρόπος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για το ένα από τα δύο. Το δεύτερο δε θα συνδεθεί στο αρχικό κεντροβαρικό σημείο του υποστυλώματος άμεσα, αλλά η σύνδεση θα γίνει με ένα τρίτο στοιχείο πολύ μεγάλης ακαμψίας και μηδενικής μάζας καθώς το πρόγραμμα δε διαθέτει άλλη δυνατότητα σύνδεσης απομακρυσμένων κόμβων. Η μεγάλη ακαμψία προσδίδεται στο στοιχείο με την εντολή «Assign>Frame/Line>End (Length) Offsets» και επιλέγοντας ολόκληρο το μήκος του στοιχείου και ορίζοντας «Rigid zone factor» =1. Τα παραπάνω δε χρειάζονται να γίνουν στην περίπτωση τοιχώματος καθώς όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το τοίχωμα είναι επιφανειακό στοιχείο και οι δοκοί μπορούν να «πιάσουν» οπουδήποτε πάνω σε αυτό, εκτός από την περίπτωση των «WCA» που αναφέρθηκε παραπάνω όπου τα άκαμπτα οριζόντια στοιχεία κατασκευάζονται με τον ίδιο τρόπο. Επίσης το λογισμικό εφαρμόζει αυτόματα στα άκρα των γραμμικών στοιχείων «End length offsets» ώστε να ληφθούν υπόψη οι διαστάσεις των κάθετων σε αυτά στοιχείων και να εμφανίζονται τα εντατικά μεγέθη από τις παρειές. Στην περίπτωση όμως που θα μετακινηθούν κάποια από αυτά με την εντολή «joint offsets» δεν υπολογίζεται αυτόματα η μετάθεση της παρειάς και θα πρέπει να εισαχθεί από το χρήστη. Το πρόγραμμα θεωρεί «Rigid Factor» =0 για την παραπάνω περίπτωση, το οποίο σημαίνει ότι θεωρεί όλο το μήκος του «End length offset» εύκαμπτο, ενώ με τιμή 1 όλο το μήκος άκαμπτο. Η πραγματικότητα βρίσκεται κάπου στο ενδιάμεσο και χρειάζεται κρίση μηχανικού καθώς η τιμή αυτού

του συντελεστή μπορεί να αλλάξει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα. Εδώ ελήφθη τιμή 0 όπως δηλαδή θεωρεί το λογισμικό.

Προσοχή πρέπει να δωθεί στην περίπτωση χρήσης της εντολής «joint offsets» για τις δοκούς, αφού μετακινώντας τις δοκούς φεύγουν από το επίπεδο που έχει ορισθεί το διάφραγμα με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται σημαντικές αξονικές δυνάμεις σε αυτές. Για να αποφευχθεί αυτό θα πρέπει η εντολή «Do not transform frame stiffness for offsets from centroid» να είναι επιλεγμένη, αντίθετα με την προηγούμενη περίπτωση.)

Στην περίπτωση τοιχωμάτων των οποίων μειώνεται η διατομή σε επόμενο όροφο και γίνεται υποστυλώμα η προσομοίωση του τοιχώματος γίνεται με επιφανειακά στοιχεία και του υποστυλώματος με γραμμικό που συνδέεται πάνω στην κεντροβαρική γραμμή του τοιχώματος.



Εικόνα 3.2.1.2 Χωρικό Προσομοίωμα

3.2.2 Υλικά προσομοιώματος

Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στο προσομοίωμα ορίζονται με την εντολή «Define>Material Properties». Τα υλικά που ορίστηκαν είναι σκυρόδεμα C20/25 για τα δομικά μέλη της κατασκευής και χάλυβας B500C για τον οπλισμό τους. Εφόσον ο χάλυβας χρησιμοποιείται μόνο ως οπλισμός του σκυροδέματος, δε χρειάζεται να ορισθεί επιπλέον υλικό. Οι παράμετροί του εισάγονται στην καρτέλα του σκυροδέματος. Επίσης ορίστηκε και ένα επιπλέον υλικό με μηδενική μάζα για τη σύνδεση ορισμένων δοκών στα υποστυλώματα όπως αναφέρθηκαν στην παρ.3.2.1.

Για το σκυρόδεμα ορίστηκε η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλίνδρου $f_{ck}=20$ MPa και το μέτρο ελαστικότητας $E=29$ GPa. Για το χάλυβα συμπληρώθηκε η τάση διαρροής $f_{yk}=500$ MPa και το λογισμικό θεωρεί μέτρο ελαστικότητας $E=200$ GPa (Εικ. 3.2.2.).

Εικόνα 3.2.2.1 Παράμετροι σκυροδέματος και χάλυβα οπλισμού

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης και ροπών καμπυλοτήτων των διατομών, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί για το σκυρόδεμα και το χάλυβα τα μη-γραμμικά μοντέλα που φαίνονται στις εικόνες 3.2.2.2 και 3.2.2.3. (Etabs, Section Designer Manual (2000) – CSI).

Όσον αφορά το σκυρόδεμα:

- A) Για παραμορφώσεις μεγαλύτερες από ε_0 κάθε τμήμα του διαγράμματος είναι γραμμικό. Για παραμορφώσεις μικρότερες από ε_0 το διάγραμμα είναι παραβολικό.
- B) Η τιμή ε_0 δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_0 = 2 \frac{f'_c}{E_c}$$

- Γ) Για παραμορφώσεις μικρότερες του ε_0 η τάση σκυροδέματος δίνεται από:

$$\sigma = \left[2 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right) - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] f'_c$$

- Δ) Η θραύση του σκυροδέματος συμβαίνει για παραμόρφωση $10\varepsilon_0$.
- Ε) Στην περίπτωση εφελκυστικής παραμόρφωσης η τάση είναι μηδενική.

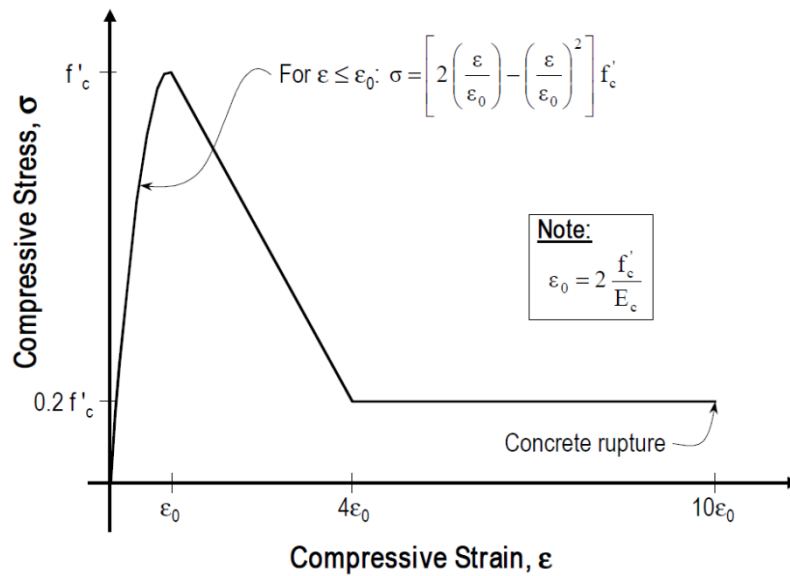
Όσον αφορά το χάλυβα:

- A) Το διάγραμμα ισχύει για εφελκυσμό και θλίψη.
- B) Για χάλυβα οπλισμού η τάση $f_u = 1,25f_y$.

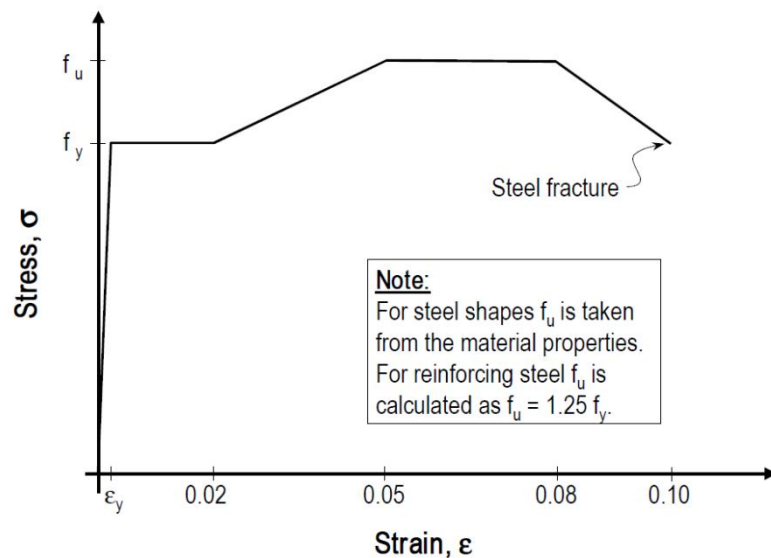
Γ) Η παραμόρφωση διαρροής, ε_y δίνεται:

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

Δ) Η θραύση του χάλυβα επέρχεται για παραμόρφωση 0,10.



Εικόνα 3.2.2.2 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος



Εικόνα 3.2.2.3 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων χάλυβα

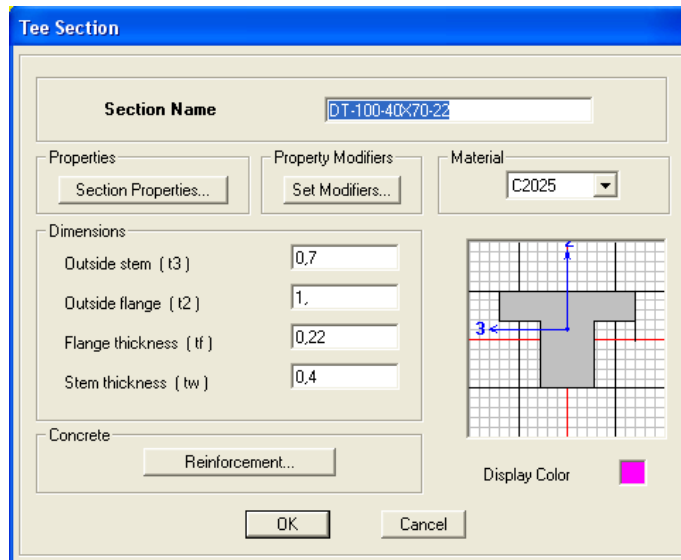
3.2.3 Διατομές φερόντων στοιχείων

Παρακάτω δίνονται πίνακες με τα στοιχεία των διατομών των φερόντων στοιχείων της κατασκευής. Για τις δοκούς υπολογίσθηκαν τα συνεργαζόμενα πλάτη και εισήχθησαν στο προσομοίωμα, μόνο όμως για τις πλακοδοκούς μορφής T. Η δημιουργία των διατομών των γραμμικών στοιχείων γίνεται με την εντολή «Define>Frame Sections>Add...» (Εικ. 3.2.3.1 και 3.2.3.2), ενώ των τοιχωμάτων με την «Define>Wall/Slab/Deck Sections>Add New Wall», όπου δίνονται οι διαστάσεις και οι λοιπές πληροφορίες των διατομών. Για τα τοιχώματα δίδεται μόνο το πλάτος και η μεγάλη διάσταση σχεδιάζεται στο μοντέλο (εκτός από την περίπτωση WCA, που σχεδιάζονται με ραβδωτά στοιχεία όπως τα υποστυλώματα). Επίσης για τα δύο γωνιακά υποστυλώματα που υπάρχουν στην κατασκευή χρησιμοποιήθηκε ο «Section Designer» (Εικ. 3.2.3.3) καθώς με την επιλογή δημιουργίας «angle» διατομής μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διατομή μόνο ως δοκός («Define>Frame Sections>Add SD Section»). Ο «Section Designer» χρησιμοποιήθηκε και για το σχεδιασμό των διατομών των τοιχωμάτων για την WCA, για πιο ακριβή τοποθέτηση του οπλισμού τους.

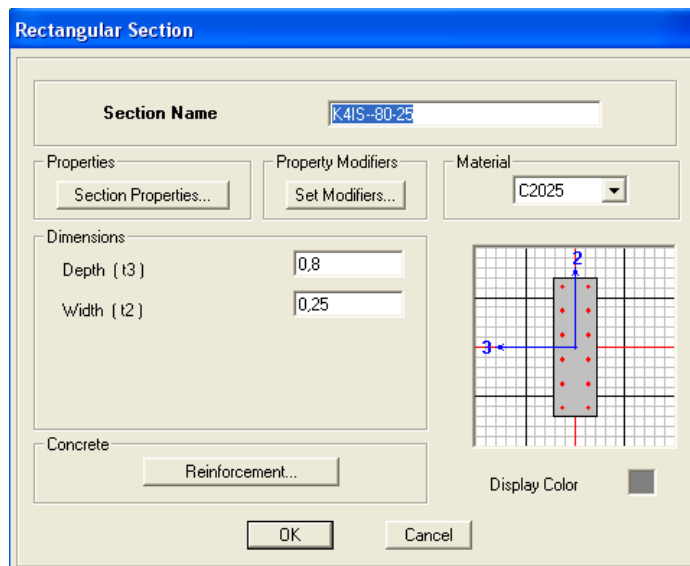
Σημ.: (Μέσω των παραπάνω εντολών εισάγεται ο οπλισμός των γραμμικών στοιχείων ως μονάδες επιφανείας για τις δοκούς (m^2) και ως αριθμός και διάμετρος ράβδων για τα υποστυλώματα. Ο οπλισμός των τοιχωμάτων (ορισμένων ως επιφανειακά στοιχεία) δίδεται από διαφορετική εντολή «Design>Shear Wall Design>Assign Pier Sections for Checking», όπου δίνονται τρεις επιλογές σχεδιασμού του οπλισμού. Σε περίπτωση που επιθυμείται σχεδιασμός διατομής και οπλισμού με «Section Designer», αυτό γίνεται με την εντολή «Design>Shear Wall Design>Define Pier Sections for Checking». Ο οπλισμός των τοιχωμάτων αυτών δεν επηρεάζει την ανάλυση απλώς ορίζεται για να ελεγχθεί αργότερα η επάρκειά του για τα εντατικά μεγέθη που θα προκύψουν από την ανάλυση. Στην περίπτωση όμως ορισμού των τοιχωμάτων ως ραβδωτά στοιχεία τότε ο οπλισμός εισάγεται κανονικά (εδώ μέσω Section Designer). (Ο οπλισμός των στοιχείων δεν επηρεάζει φυσικά την ελαστική ανάλυση, αλλά εισάγεται στις διατομές για την περαιτέρω χρήση του στην ανελαστική ανάλυση).

Στο πρόγραμμα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλακοδοκοί μορφής Γ. Αν δημιουργηθεί μια «angle» διατομή τότε ο τοπικός άξονας 2 που με βάση το πρόγραμμα συμπίπτει με τον κατακόρυφο Z (καθολικό) δεν είναι προσανατολισμένος σωστά στη διατομή και έτσι θα πρέπει να περιστραφεί η διατομή. Στη συνέχεια όμως ο οπλισμός θα υπολογισθεί με βάση τον πρώτο τοπικό άξονα 2 κατά τον οποίο δε θα υπάρχουν και φορτία καθότι θα έχουν εισαχθεί κατά τον καθολικό Z και τον νέο τοπικό 3. Στον έλεγχο δηλαδή των διατομών και στο σχεδιασμό δε λαμβάνεται υπόψη η περιστροφή «rotation». Ο μόνος τρόπος για να προσανατολιστούν κατά τον επιθυμητό τρόπο οι τοπικοί άξονες είναι να σχεδιαστεί

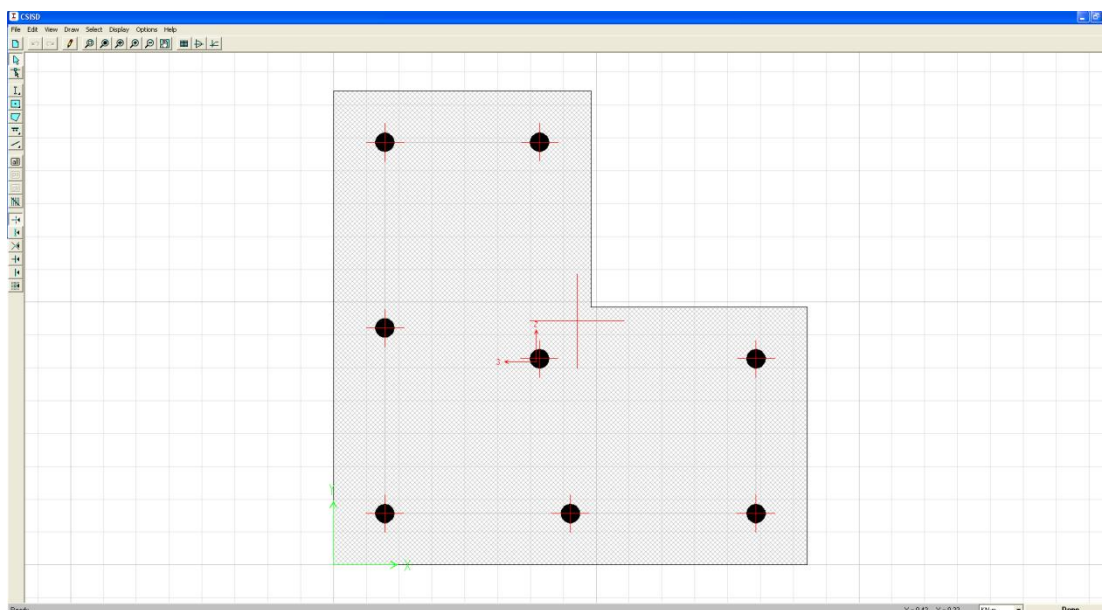
η διατομή με το «Section Designer» που όμως χρησιμοποιείται μόνο για υποστυλώματα και τοιχώματα. Δεν υπάρχει επιλογή σχεδιασμού δοκού μέσω του «Section Designer».)



Εικόνα 3.2.3.1 Ορισμός διατομής T πλακοδοκού



Εικόνα 3.2.3.2 Ορισμός διατομής υποστυλώματος



Εικόνα 3.2.3.3 Ορισμός διατομής γωνιακού υποστυλώματος με Section Designer

Στους πίνακες που αναφέρονται στις δοκούς (Πιν. 3.2.3.1-3) οι οπλισμοί χωρίζονται σε αριστερό και δεξιό άκρο και σε πάνω και κάτω. Για τις δοκούς που είναι διατεταγμένες κατά τον χ άξονα στις κατόψεις (οριζόντια στο χαρτί) το αριστερό άκρο είναι προς τα αριστερά και για τις κατά τον ψ το αριστερό άκρο είναι το κάτω. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο οπλισμός των τοιχωμάτων επηρεάζει την ανάλυση μόνο στην περίπτωση ορισμού τους ως WCA (ραβδωτά στοιχεία).

Δοκοί Οροφής Ισογείου						
Ον. Δοκού	Διαστάσεις (πλ./υψ.) (cm)	Συνεργ. Πλάτος (b_{eff}) (cm)	Οπλισμός			
			Αρ. άκρο		Δεξ. άκρο	
			Πάνω	Κάτω	Πάνω	Κάτω
Δ1	25/60	-	3Φ14	4Φ14	3Φ14	4Φ14
Δ2	25/60	-	3Φ14	4Φ14	3Φ14	4Φ14
Δ3	25/60	-	3Φ14	4Φ14	3Φ14	4Φ14
Δ4	25/60 ανεσ.	-	3Φ16	4Φ20	3Φ16	4Φ20
Δ5	25/60	-	3Φ14	4Φ14	3Φ14	4Φ14
Δ6	25/60 ανεσ.	-	3Φ16+3Φ18	4Φ20	3Φ16+3Φ18	4Φ20
Δ7	25/72	-	3Φ14	4Φ14	3Φ14	4Φ14
Δ8	25/72	50	3Φ14	4Φ12	3Φ14	4Φ12
Δ9	25/50	80	3Φ14	4Φ14	3Φ14	4Φ14
Δ10	25/72	-	3Φ14	4Φ14	3Φ14	4Φ14
Δ11	25/50	90	3Φ14	4Φ16	3Φ14+2Φ20	4Φ16+2Φ18
Δ12	25/50	40	3Φ18	4Φ18	3Φ18+2Φ20	6Φ18

Δ13	25/50	80	4Φ12	4Φ12+2Φ16	6Φ12	4Φ12+2Φ16
Δ15	25/50	-	4Φ12	5Φ12	4Φ12	5Φ12
Δ16	30/50	-	4Φ18	4Φ18	4Φ18	4Φ18
Δ17	25/50	70	3Φ14	4Φ16	3Φ14	4Φ16
Δ18	25/50	40	3Φ18	4Φ18	3Φ18	4Φ18
Δ19	25/50	80	4Φ12	5Φ12	4Φ12	5Φ12
Δ20	25/50	70	4Φ12+2Φ18	6Φ12	7Φ12	5Φ12
Δ21	50/30 ανεσ.	90	6Φ14	6Φ14	6Φ14+2Φ18	6Φ14
Δ22	25/45 ανεσ.	-	4Φ14	4Φ14	4Φ14	4Φ14
Δ23	25/45 ανεσ.	-	4Φ14	4Φ14	4Φ14	4Φ14
Δ24	25/45 ανεσ.	-	4Φ12	4Φ12	4Φ12	4Φ12
Δ25	25/45 ανεσ.	-	4Φ12	4Φ12	4Φ12	4Φ12
Δ26	25/45 ανεσ.	-	4Φ12	4Φ12	4Φ12	4Φ12
Δ27	25/45 ανεσ.	-	4Φ12	4Φ12	4Φ12	4Φ12
Δ28	25/45 ανεσ.	-	4Φ12	4Φ12	4Φ12	4Φ12
Δ29	25/45 ανεσ.	-	4Φ12	4Φ12	4Φ12	4Φ12
Δ30	25/45 ανεσ.	-	4Φ12	4Φ12	4Φ12	4Φ12
Δ32	25/50	-	4Φ12	4Φ12+2Φ16	9Φ12	7Φ12+2Φ16
Δ32	25/50	-	4Φ12+1Φ16	4Φ12+2Φ16	4Φ12	4Φ12+2Φ16

Πιν. 3.2.3.1 Δοκοί Οροφής Ισογείου

Δοκοί Οροφής Α Ορ.						
Ον. Δοκού	Διαστάσεις (πλ./υψ.) (cm)	Συνεργ. Πλάτος (b_{eff}) (cm)	Οπλισμός			
			Αρ. άκρο		Δεξ. άκρο	
			Πάνω	Κάτω	Πάνω	Κάτω
Δ1	40/70	100	8Φ14	7Φ16	7Φ14+3Φ16	7Φ16
Δ2	25/70	40	4Φ12	6Φ12	4Φ12	6Φ12
Δ3	25/70	-	4Φ12	4Φ12+2Φ18	7Φ12	7Φ12+2Φ18
Δ4	25/70	65	5Φ12	5Φ12+2Φ16	4Φ12+2Φ18	4Φ12+2Φ16
Δ5	25/70	-	4Φ14	4Φ14	5Φ14	4Φ14
Δ6	25/132 ανεσ.	-	3Φ16	4Φ16	3Φ16	4Φ16
Δ7	25/70	75	3Φ14+3Φ20	4Φ18	3Φ14+3Φ20	4Φ18
Δ8	25/70	70	4Φ12+3Φ18	4Φ12+2Φ18	6Φ12	4Φ12+2Φ18
Δ9	25/70	40	4Φ12	6Φ12	4Φ12	6Φ12
Δ11	25/65 ανεσ.	75	3Φ14	4Φ14	3Φ14+2Φ18	4Φ14
Δ12	25/50	-	4Φ12+1Φ14	5Φ12	6Φ12	5Φ12
Δ13	25/132 ανεσ.	-	3Φ16+3Φ18	4Φ16	3Φ16+3Φ18	4Φ16
Δ14	25/132 ανεσ.	-	3Φ16	4Φ16	3Φ16	4Φ16
Δ15	25/132 ανεσ.	-	3Φ16	4Φ16	3Φ16	4Φ16
Ημιορ.Δ12	25/40	-	3Φ12	4Φ12	3Φ12	4Φ12

Πιν.3.2.3.2 Δοκοί οροφής Α Ορ.

Δοκοί Οροφής Β Ορ.						
Ον. Δοκού	Διαστάσεις (πλ./υψ.) (cm)	Συνεργ. Πλάτος (b_{eff}) (cm)	Οπλισμός			
			Αρ. άκρο		Δεξ. άκρο	
			Πάνω	Κάτω	Πάνω	Κάτω
Δ1	25/60 ανεσ.	-	3Φ16	3Φ16	3Φ16	3Φ16
Δ2	25/60 ανεσ.	-	6Φ16	3Φ16+4Φ14	3Φ16+3Φ18	3Φ16+4Φ14
Δ3	25/60 ανεσ.	-	3Φ18	3Φ16	3Φ18	3Φ16
Δ4	25/60 ανεσ.	45	4Φ18	3Φ16	4Φ18	3Φ16
Δ5	25/60 ανεσ.	85	3Φ14+4Φ18	4Φ14+3Φ16	3Φ14	4Φ14
Δ6	25/60 ανεσ.	40	3Φ14	4Φ14	3Φ14	4Φ14
Δ7	30/60 ανεσ.	50	4Φ18	3Φ16	4Φ18	3Φ16
Δ8	30/60 ανεσ.	120	4Φ12+4Φ18	4Φ12+3Φ16+2Φ18	4Φ12	4Φ12+2Φ18
Δ9	25/60 ανεσ.	-	3Φ16	3Φ14	3Φ16	3Φ14
Δ10	25/60 ανεσ.	-	3Φ14+3Φ16	7Φ14	3Φ14	4Φ14
Δ11	25/60 ανεσ.	-	4Φ14	4Φ14	4Φ14	4Φ14
Δ12	25/60 ανεσ.	-	3Φ12	4Φ12	3Φ12	4Φ12
Δ13	25/60 ανεσ.	-	3Φ12	4Φ12	3Φ12	4Φ12
Δ14	25/60 ανεσ.	55	4Φ18	4Φ20	4Φ18	4Φ20
Δ15	25/60 ανεσ.	75	3Φ16+4Φ20	4Φ16+4Φ18	3Φ16	4Φ16
Δ16	25/60 ανεσ.	75	4Φ12	5Φ12	4Φ12	5Φ12
Δ17	25/60 ανεσ.	55	4Φ20	4Φ18	4Φ20	4Φ18
Δ18	25/60 ανεσ.	55	3Φ14+4Φ20	4Φ14+4Φ18	3Φ14	4Φ14
Δ19	25/60 ανεσ.	-	4Φ14	4Φ14	4Φ14	4Φ14
Δ20	25/60 ανεσ.	-	3Φ14	4Φ14	3Φ14	4Φ14
Δ21	25/65 ανεσ.	-	4Φ12	5Φ12	4Φ12	5Φ12

Πιν. 3.2.3.3 Δοκοί Οροφής Β Ορ.

Υποστυλώματα Ισογείου		
Ον. Υποστ.	Διαστάσεις (cm)	Οπλισμός
Κ1	30/80	14Φ18
Κ4	80/25	12Φ20
Κ9	25/60	8Φ18
Κ13	45/45/25/25	8Φ18
Κ14	80/25	12Φ18
Κ16	45/45/25/25	8Φ18

Πιν. 3.2.3.4 Υποστυλώματα Ισογείου

Υποστυλώματα Α Ορ.		
Ον. Υποστ.	Διαστάσεις (cm)	Οπλισμός
K1	30/80	14Φ18
K4	80/25	14Φ20
T11	25/70	12Φ18
K14	80/25	12Φ18
K16	45/45/25/25	8Φ18

Πιν. 3.2.3.5 Υποστυλώματα Α Ορ.

Υποστυλώματα Β Ορ.		
Ον. Υποστ.	Διαστάσεις (cm)	Οπλισμός
K1	30/80	12Φ18
K4	80/25	12Φ18
T11	25/70	12Φ18
T12	90/25	12Φ20
K14	80/25	12Φ18
K16	45/45/25/25	8Φ18
T17	40/25	6Φ14

Πιν. 3.2.3.6 Υποστυλώματα Β Ορ.

Τοιχώματα Ισογείου			
Ον. Τοιχ.	Διαστάσεις (cm)	Ακρινός Οπλισμός (Κρυφοκολώνες)	Ενδιάμεσος Κατακόρυφος Οπλισμός
T2 + T3	165/25/140/25	2x8Φ20 + 16Φ20(Ενωση)	2x8Φ12/15
T5	25/150	2x9Φ20	2x4Φ12/15
T6 + T7	105/25/70/25	2x6Φ20 + 6Φ20(Ενωση)	2x1Φ12
T8	25/150	2x8Φ20	2x4Φ14/15
T10	25/120	2x6Φ18	2x2Φ12/15
T11	25/150	6Φ18 + 12Φ18(κάτω από υπ.)	2x2Φ12/15
T12	150/25	2x6Φ20	2x4Φ12/15
T15	225/25	2x8Φ20	2x9Φ12/15

Πιν. 3.2.3.7 Τοιχώματα Ισογείου

Τοιχώματα Α Ορόφου			
Ον. Τοιχ.	Διαστάσεις (cm)	Ακρινός Οπλισμός (Κρυφοκολώνες)	Ενδιάμεσος Κατακόρυφος Οπλισμός
T2 + T3	165/25/140/25	2x6Φ20 + 10Φ20(Ενωση)	2x8Φ12/15
T5	25/150	2x8Φ18	2x4Φ12/15
T10	25/120	2x6Φ18	2x2Φ12/15
T12	150/25	2x6Φ20	2x4Φ12/15
T15	225/25	2x6Φ18	2x9Φ12/15

Πιν. 3.2.3.8 Τοιχώματα Α Ορόφου

Τοιχώματα Α Ορόφου			
Ον. Τοιχ.	Διαστάσεις (cm)	Ακρινός Οπλισμός (Κρυφοκολώνες)	Ενδιάμεσος Κατακόρυφος Οπλισμός
T3	25/140	2x6Φ18	2x3Φ12/15
T5 (Ημιορ.)	25/150	2x8Φ18	2x4Φ12/15
T10	25/120	2x6Φ18	2x2Φ12/15
T15	225/25	2x6Φ18	2x9Φ12/15

Πιν. 3.2.3.9 Τοιχώματα Β Ορόφου

3.2.4 Φορτίσεις δομικών στοιχείων

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως δεν προσομοιώθηκαν οι πλάκες με επιφανειακά στοιχεία, για αυτό τα φορτία των πλακών κατανέμονται στις δοκούς και στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία βάσει των επιφανειών επιρροής (ΕΚΩΣ2000 παρ. 9.1.5). Οι παραδοχές των φορτίσεων είναι ίδιες με αυτές της στατικής μελέτης της κατασκευής (βάσει του κανονισμού φορτίσεων δομικών έργων ΒΔ 10/31-12-1945 ΦΕΚ325Α) και είναι οι εξής:

A) Ειδικό Βάρος:

Οπλισμένου σκυροδέματος:	25,00 kN/m ³
Δρομικής Οπτοπλινθοδομής:	2,10 kN/m ²
Διπλής Δρομικής με μόνωση:	4,20 kN/m ²

B) Ωφέλιμα Φορτία:

Δάπεδα γενικά:	2,00 kN/m ²
Δάπεδα εξωστών:	5,00 kN/m ²
Δάπεδα κλιμακοστασίου:	3,50 kN/m ²

Γ) Επιστρώσεις:

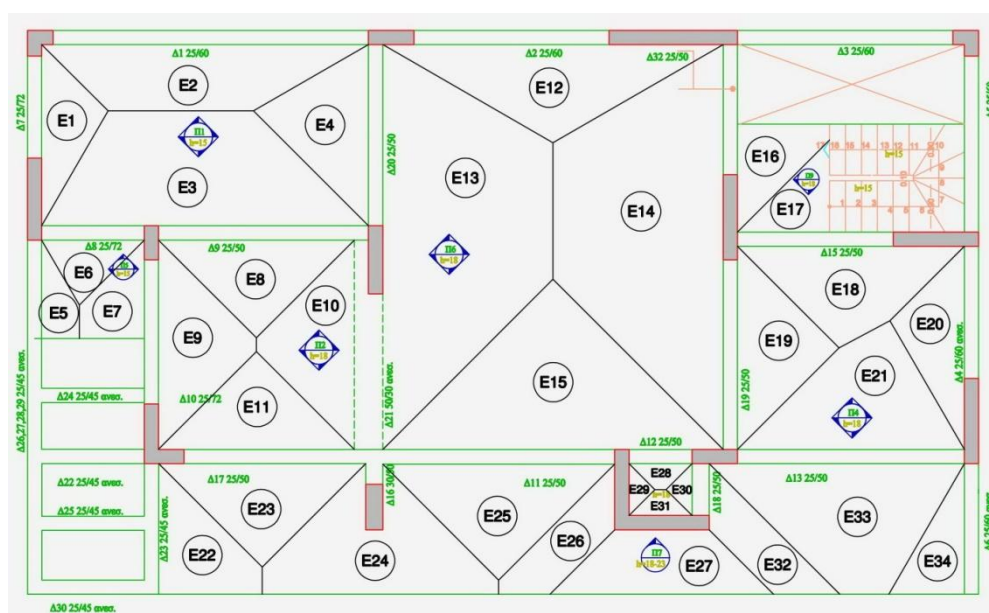
Δάπεδα γενικά:	1,80 kN/m ²
Δάπεδα εξωστών, κλιμ/σίου:	1,30 kN/m ²
Δάπεδα δώματος γενικά:	2,50 kN/m ²

Στη συνέχεια δίνονται για κάθε όροφο οι πίνακες των φορτίων των πλακών, των κατανομών αυτών των φορτίων στα στοιχεία και τα φορτία της τοιχοποιίας, καθώς και οι εικόνες (3.2.4.1-3) όπου φαίνονται οι επιφάνειες επιρροής των στοιχείων του κάθε ορόφου. Σημειώνεται ότι για τις τοιχοποιίες που δεν βρίσκονται ακριβώς πάνω από κάποια δοκό, το φορτίο τους μοιράζεται προσεγγιστικά στις κοντινές δοκούς.

Ισόγειο

Φορτία Πλακών Οροφής Ισογείου				
Πλάκες	Μόνιμα (kN/m ²)			Κινητά (kN/m ²)
	Σκυρόδεμα	Επίστρωση	Σύνολο	
Π1	3,75	2,50	6,25	2,00
Π2	4,50	2,50	7,00	2,00
Π4	4,50	1,80	6,30	2,00
Π5	3,75	2,50	6,25	2,00
Π6	4,50	1,80	6,30	2,00
Π7	5,00	2,50	7,50	5,00
Π _{λεβητ}	4,50	1,80	6,30	2,00
Π9	4,50	1,30	5,80	3,50

Πιν. 3.2.4.1 Φορτία Πλακών Οροφής Ισογείου



Εικ. 3.2.4.1 Επιφάνειες επιρροής Ισογείου

Φορτία στοιχείων Ισογείου							
Ον. Στοιχείου	Μήκος (m)	Φορτικές Επιφάνειες	Εμβαδόν (m ²)	Μόνιμο πλάκας (kN/m ²)	Κινητό πλάκας (kN/m ²)	Μόνιμο (kN/m)	Κινητό (kN/m)
Δ1	6,00	E2	4,85	6,25	2,00	5,05	1,62
Δ2	6,25	E12	5,18	6,30	2,00	5,22	1,66
Δ3	4,11	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Δ4	3,85	E20	2,34	6,30	2,00	3,83	1,22
Δ5	3,55	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Δ6	2,30	E34	1,53	7,50	5,00	4,99	3,33
Δ7	3,55	E1	1,86	6,25	2,00	3,27	1,05
Δ8	2,05	E6	1,03	6,25	2,00	3,14	1,00
	6,00	E3	8,40	6,25	2,00	8,75	2,80
	Σύνολο Δ8					11,89	3,80
Δ9	3,94	E8	2,97	7,00	2,00	5,28	1,51
	6,00	E3	8,40	6,25	2,00	8,75	2,80
	Σύνολο Δ9					14,03	4,31
Δ10 α)	1,86	E7	1,33	6,25	2,00	4,47	1,43
	3,93	E9	3,38	7,00	2,00	6,03	1,72
	Σύνολο Δ10α					10,50	3,15
Δ10 β)	3,93	E9	3,38	7,00	2,00	6,03	1,72
Δ11	4,30	E25	4,16	7,50	5,00	7,26	4,84
	5,69	E15	8,94	6,30	2,00	9,90	3,14
	Σύνολο Δ11					17,15	7,98
Δ12	1,39	E28	0,30	6,30	2,00	1,36	0,43
	5,69	E15	8,94	6,30	2,00	9,90	3,14
	Σύνολο Δ12					11,26	3,57
Δ13	4,24	E21	4,90	6,30	2,00	7,28	2,31
	4,24	E33	6,16	7,50	5,00	10,90	7,26
	Σύνολο Δ13					18,18	9,58
Δ15 α)	1,62	E17	1,31	5,80	3,50	4,69	2,83
	4,24	E18	3,84	6,30	2,00	5,71	1,81
	1,62	μέρος σκάλας	0,34	5,05	3,50	1,07	0,74
	Σύνολο Δ15α					11,46	5,38
Δ15 β)	4,24	E18	3,84	6,30	2,00	5,71	1,81
Δ16	Όλο το φορτίο - αξονικό στο υποστ. Κ1						
Δ17	3,82	E11	2,97	7,00	2,00	5,44	1,55
	3,82	E23	3,31	7,50	5,00	6,50	4,33
	Σύνολο Δ17					11,94	5,89
Δ18	1,15	E30	0,21	6,30	2,00	1,15	0,37
	1,15	E32	2,00	7,50	5,00	13,04	8,70
	Σύνολο Δ18					14,19	9,06
Δ19	3,45	E19	3,20	6,30	2,00	5,84	1,86
	7,39	E14	14,27	6,30	2,00	12,17	3,86

	Σύνολο Δ19					18,02	5,72
Δ20	3,32	E4	3,23	6,25	2,00	6,08	1,95
	7,39	E13	14,27	6,30	2,00	12,17	3,86
	Σύνολο Δ20					18,25	5,81
Δ21	3,94	E10	3,38	7,00	2,00	6,01	1,72
	7,39	E13	14,27	6,30	2,00	12,17	3,86
	Σύνολο Δ21					18,18	5,58
Δ22	2,05	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Δ23	2,31	E22	2,53	7,50	5,00	8,21	5,48
Δ24-28	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Δ29 μέρος του	1,86	E5	0,77	6,25	2,00	2,59	0,83
Δ30	2,05	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Δ32 α)	1,90	E16	1,77	5,80	3,50	5,40	3,26
	7,39	E14	14,27	6,30	2,00	12,17	3,86
	Σύνολο Δ32α					17,58	7,13
Δ32 β)	7,39	E14	14,27	6,30	2,00	12,17	3,86
T2	1,38	E27	3,17	7,50	5,00	17,23	11,49
	1,38	E31	0,30	6,30	2,00	1,37	0,43
	Σύνολο T2					18,60	11,92
T3	1,40	E26	1,95	7,50	5,00	10,45	6,96
	1,40	E29	0,21	6,30	2,00	0,95	0,30
	Σύνολο T3					11,39	7,26
Τοιχείο προέκταση από υπόγειο για στήριξη σκάλας	1,88	μέρος σκάλας	0,68	5,05	3,50	1,84	1,27
						Αξονικό (kN)	
						Μόνιμο	Κινητό
K1	-	E24	5,46	7,50	5,00	40,95	27,30

Πιν. 3.2.4.2 Φορτία δομικών στοιχείων Ισογείου

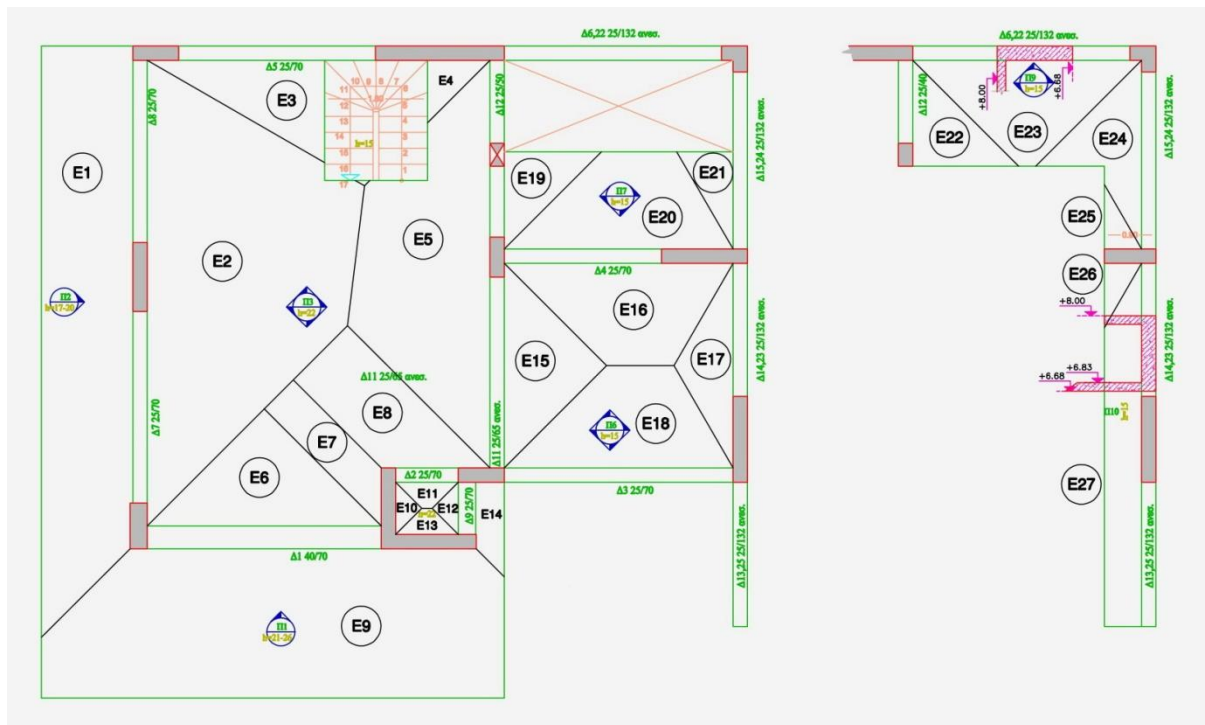
Πρόσθετα Μόνιμα Οπτηλινθ. Ορ. Ισογείου		
Ον. Στοιχείου	Δρομική Οπτ. (kN/m)	Διπλή Δρομική (kN/m)
Δ2	-	9,58
Δ3	-	12,52
Δ4	-	10,00
Δ5	-	12,52
Δ6	-	10,00
Δ15	-	9,58
Δ18	-	9,58
Δ20	4,79	-
Δ21	4,20	-
Δ32	-	10,42

Πιν. 3.2.4.3 Πρόσθετα Μόνιμα Οπτηλινθ. Ορ. Ισογείου

Α Όροφος

Φορτία Πλακών Οροφής Α Ορόφου				
Πλάκες	Μόνιμα (kN/m ²)			Κινητά (kN/m ²)
	Σκυρόδεμα	Επίστρωση	Σύνολο	
Π1	5,75	1,80	7,55	5,00
Π2	4,50	2,50	7,00	5,00
Π3	5,50	1,80	7,30	2,00
Π _{λεβητ}	5,50	1,80	7,30	2,00
Π6	3,75	2,50	6,25	2,00
Π7	3,75	2,50	6,25	2,00
Π9	3,75	1,30	5,05	5,00

Πιν. 3.2.4.4 Φορτία Πλακών Οροφής Α Ορόφου



Εικ. 3.2.4.2 Επιφάνειες επιρροής Α Ορόφου

Φορτία στοιχείων Α Ορόφου							
Ον. Στοιχείου	Μήκος (m)	Φορτικές Επιφάνειες	Εμβαδόν (m ²)	Μόνιμο πλάκας (kN/m ²)	Κινητό πλάκας (kN/m ²)	Μόνιμο (kN/m)	Κινητό (kN/m)
Δ1	4,33	E6	4,18	7,30	2,00	7,05	1,93
	5,71	E9	19,80	7,55	5,00	26,18	17,34
	Σύνολο Δ1					33,23	19,27
T2	1,38	E13	0,29	7,30	2,00	1,53	0,42
	5,71	E9	19,80	7,55	5,00	26,18	17,34
	Σύνολο T2					27,71	17,76
Δ2	1,39	E11	0,29	7,30	2,00	1,52	0,42
	1,39	E8	3,83	7,30	2,00	20,11	5,51
	Σύνολο Δ2					21,64	5,93
Δ3	4,24	E18	4,63	6,25	2,00	6,82	2,18
Δ4	4,24	E20	4,52	6,25	2,00	6,66	2,13
	4,24	E16	4,63	6,25	2,00	6,82	2,18
	Σύνολο Δ4					13,49	4,32
Δ5	3,20	E3	2,77	7,30	2,00	6,32	1,73
	3,20	μέρος σκάλας	0,90	5,05	3,50	1,42	0,98
	Σύνολο Δ5					7,74	2,72
T15	2,13	E4	0,57	7,30	2,00	1,95	0,54
	2,13	μέρος σκάλας	1,90	5,05	3,50	4,50	3,12

	Σύνολο T15					6,46	3,66
Δ6	4,11	E23	4,00	5,05	5,00	4,91	4,87
Δ6 - φορτία μόνο από πάνω πλάκα-εξώστη							
Δ7+Δ8	8,26	E1	15,05	7,00	5,00	12,75	9,11
	8,26	E2	19,14	7,30	2,00	16,92	4,63
	Σύν. Δ7+Δ8					29,67	13,74
Δ9	1,15	E12	0,21	7,30	2,00	1,33	0,37
	1,15	E14	0,70	7,55	5,00	4,60	3,04
	Σύνολο Δ9					5,93	3,41
Δ11	3,83	E15	3,20	6,25	2,00	5,22	1,67
	7,38	E5	10,73	7,30	2,00	10,61	2,91
	Σύνολο Δ11					15,84	4,58
Δ12 α)	1,65	E19	1,45	6,25	2,00	5,49	1,76
	7,38	E5	10,73	7,30	2,00	10,61	2,91
	Σύνολο Δ12α					16,11	4,67
Δ12 β)	7,38	E5	10,73	7,30	2,00	10,61	2,91
Δ12 πάνω-εξώστη	1,90	E22	1,71	5,05	5,00	4,55	4,50
Δ13+Δ14πάνω	6,25	E27	3,76	5,05	5,00	3,04	3,01
Δ14 κάτω	3,82	E17	1,85	6,25	2,00	3,03	0,97
Δ15 κάτω	2,03	E21	0,83	6,25	2,00	2,56	0,82
Δ15 πάνω	3,55	E24	2,29	5,05	5,00	3,26	3,23
T3	1,40	E10	0,21	7,30	2,00	1,10	0,30
	1,40	E7	1,82	7,30	2,00	9,49	2,60
	Σύνολο T3					10,59	2,90
						Αξονικό (kN)	
						Μόνιμο	Κινητό
Υποστ. συνέχεια του T12	-	E25+E26	0,74	5,05	5,00	3,74	3,70

Πιν. 3.2.4.5 Φορτία δομικών στοιχείων Α Ορόφου

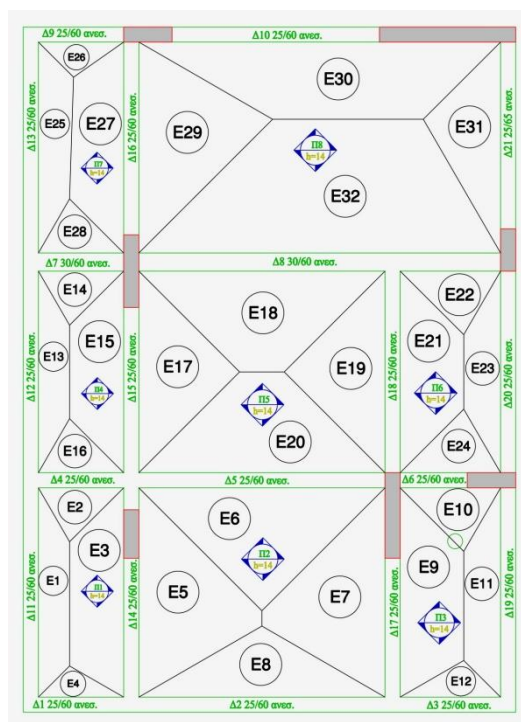
Πρόσθετα Μόνιμα Οπτηλινθ. Ορ. Α Ορόφου		
Ον. Στοιχείου	Δρομική Οπτ. (kN/m)	Διπλή Δρομική (kN/m)
Δ1	-	12,85
Δ2	-	12,85
Δ5	-	12,85
Δ7	-	12,85
Δ8	-	12,85
Δ11	-	12,85
Δ12	6,43	-

Πιν. 3.2.4.6 Πρόσθετα Μόνιμα Οπτηλινθ. Ορ. Α Ορόφου

Β Όροφος

Φορτία Πλακών Οροφής Β Ορόφου				
	Μόνιμα (kN/m ²)			Κινητά (kN/m ²)
Πλάκες	Σκυρόδεμα	Επίστρωση	Σύνολο	
Π1-8	3,50	2,50	6,00	2,00

Πιν. 3.2.4.7 Φορτία Πλακών Οροφής Β Ορόφου



Εικ. 3.2.4.3 Επιφάνειες επιρροής Β Ορόφου

Φορτία στοιχείων Β Ορόφου							
Ον. Στοιχείου	Μήκος (m)	Φορτικές Επιφάνειες	Εμβαδόν (m ²)	Μόνιμο πλάκας (kN/m ²)	Κινητό πλάκας (kN/m ²)	Μόνιμο (kN/m)	Κινητό (kN/m)
Δ1	1,59	E4	0,36	6,00	2,00	1,36	0,45
Δ2	4,33	E8	2,39	6,00	2,00	3,31	1,10
Δ3	1,91	E12	0,50	6,00	2,00	1,57	0,52
Δ4	1,59	E2+E16	1,26	6,00	2,00	4,75	1,58
Δ5	4,33	E6+E20	8,14	6,00	2,00	11,28	3,76
Δ6	1,91	E10+E24	1,74	6,00	2,00	5,47	1,82
Δ7	1,59	E14+E28	1,26	6,00	2,00	4,75	1,58
Δ8 α)	4,33	E18	4,00	6,00	2,00	5,54	1,85
	6,24	E32	9,37	6,00	2,00	9,01	3,00
	Σύνολο Δ8α					14,55	4,85
Δ8 β)	1,91	E22	0,87	6,00	2,00	2,73	0,91
	6,24	E32	9,37	6,00	2,00	9,01	3,00
	Σύνολο Δ8β					11,74	3,91
Δ9	1,59	E26	0,41	6,00	2,00	1,55	0,52
Δ10	6,24	E30	5,41	6,00	2,00	5,20	1,73
Δ11	3,70	E1	1,42	6,00	2,00	2,30	0,77
Δ12	3,60	E13	1,26	6,00	2,00	2,10	0,70
Δ13	3,80	E25	1,50	6,00	2,00	2,37	0,79
Δ14	3,70	E3+E5	6,25	6,00	2,00	10,14	3,38
Δ15	3,60	E15+E17	4,96	6,00	2,00	8,27	2,76
Δ16	3,80	E27+E29	6,24	6,00	2,00	9,85	3,28
Δ17	3,70	E7+E9	6,55	6,00	2,00	10,62	3,54
Δ18	3,60	E19+E21	5,18	6,00	2,00	8,63	2,88
Δ19	3,70	E11	1,60	6,00	2,00	2,59	0,86
Δ20	3,60	E23	1,39	6,00	2,00	2,32	0,77
Δ21	3,80	E31	2,23	6,00	2,00	3,52	1,17

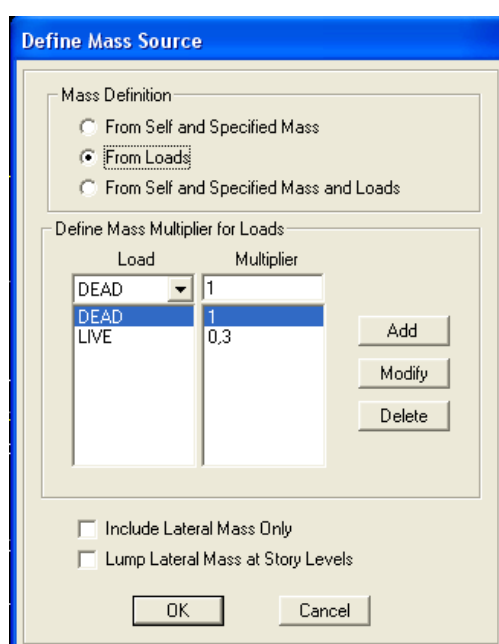
Πιν. 3.2.4.8 Φορτία δομικών στοιχείων Β Ορόφου

Σημ.: (Η εισαγωγή των φορτίων στα στοιχεία γίνεται με την εντολή «Assign>Frame/Line Loads/Point ή Distributed» για τα γραμμικά στοιχεία και την «Assign>Shell/Area Loads>Uniform» για τα τοιχώματα (επιφανειακά στοιχεία). Για ευκολία τα μόνιμα τοποθετούνται στην κατηγορία «Dead» στην οποία το πρόγραμμα συμπεριλαμβάνει αυτόματα και το ίδιο βάρος των στοιχείων (βλ. παρ. 4.2.3) και τα κινητά ξεχωριστά στην κατηγορία «Live» όπου δίνονται και διαφορετικοί συντελεστές για τις διάφορες φορτίσεις).

3.2.5 Καθορισμός μάζας κατασκευής

Για τον καθορισμό της μάζας της κατασκευής που θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα επιλέγεται η εντολή « Define/Mass Source», και στο πινακάκι που εμφανίζεται ορίζονται τα φορτία από τα οποία υπολογίζεται η μάζα (Εικ. 3.2.5.1). Η μάζα στο προσομοίωμα θα υπολογισθεί από τα μόνιμα και μέρος των κινητών, δηλαδή από το συνδυασμό $G+\psi_2Q$, όπου $\psi_2=0,3$ (ΕΑΚ2000 παρ. 4.1.2.1).

Σημ.: (Σε περίπτωση κατακόρυφης διέγερσης της κατασκευής, η εντολή «Include Lateral Mass Only» δεν πρέπει να είναι επιλεγμένη ώστε να υπολογίσει το πρόγραμμα μάζα και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση).



Εικ. 3.2.5.1 Ορισμός μάζας προσομοιώματος στο λογισμικό

3.2.6 Απομείωση δυσκαμψιών για ρηγματωμένες διατομές

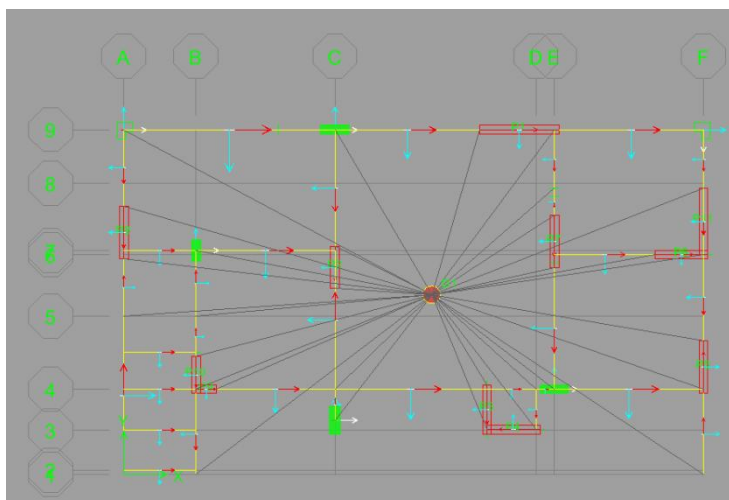
Σύμφωνα με τον ΕΑΚ2000 (παρ. 3.2.3[2]), σε περίπτωση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι δυσκαμψίες θα υπολογίζονται με παραδοχή σταδίου II. Αν δε γίνεται ακριβέστερη εκτίμηση, η καμπτική δυσκαμψία σταδίου II επιτρέπεται να λαμβάνεται για τα υποστυλώματα ίση με εκείνη του σταδίου I, χωρίς συνυπολογισμό του οπλισμού της διατομής (γεωμετρική δυσκαμψία), για τα τοιχώματα ίση με τα 2/3 του σταδίου I και για τα οριζόντια στοιχεία ίση με το 1/2, ενώ η στρεπτική δυσκαμψία όλων των στοιχείων ίση με το 1/10 της τιμής του σταδίου I.

Σημ.: (Στο ETABSv.9.70 αυτό γίνεται με την εντολή «Assign>Frame/Line>Frame Property Modifiers» για τα γραμμικά στοιχεία και με «Assign>Shell/Area>Shell Stiffness Modifiers» για τα επιφανειακά. Έτσι για τα υποστυλώματα και τις δοκούς αλλάζει το «Torsional Constant» από 1 σε 0,1, ενώ για τις δοκούς αλλάζουν επίσης τα «Moments of Inertia about 2 and 3 axes» (ροπές αδρανείας I_{22} και I_{33}) από 1 σε 0,5. Για τα τοιχώματα με επιφανειακά στοιχεία αλλάζουν οι συντελεστές για τα membrane modifiers (f_{11} , f_{22} , f_{12}) από 1 σε 0,667, ενώ για WCA όπως στις δοκούς, αλλά αντί για 0,5 τα I_{22} και I_{33} παίρνουν την τιμή 0,667. Οι αλλαγές αυτές μπορούν να γίνουν και κατά το σχεδιασμό της διατομής του κάθε στοιχείου αλλά προτείνεται ο παραπάνω τρόπος για ευκολία).

3.2.7 Διαφραγματική λειτουργία

Λόγω της μη προσομοίωσης πλακών πρέπει να εξασφαλιστεί η διαφραγματική λειτουργία με επιλογή των κόμβων του κάθε ορόφου που ανήκουν στο διάφραγμα και του ορισμού του με την εντολή «Assign>Joint/Point>Diaphragms>Add New...» και στην καρτέλα που εμφανίζεται επιλέγεται μεταξύ «Rigid» και «Semi-Rigid», ανάλογα με το αν θεωρείται τελείως απαραμόρφωτο διάφραγμα ή όχι (εδώ «Rigid»). Έτσι θεωρούνται 3 βαθμοί ελευθερίας σε κάθε όροφο (2 μετακινήσεις και 1 στροφή), εξασφαλίζεται η υπερστατικότητα και η ακαμψία της κατασκευής και αποφεύγονται μεγάλες μετακινήσεις σε συγκεκριμένα σημεία.

Σημ.: (Ένας τρόπος για γίνουν αντιληπτά τυχόντα λάθη στην εφαρμογή των διαφραγμάτων είναι η περίπτωση ανάπτυξης μεγάλων αξονικών στις δοκούς, που κανονικά τείνουν στο μηδέν. Επίσης με την εντολή «View>Set building View Options>Diaphragm Extent» φαίνεται στο προσομοίωμα η έκταση των διαφραγμάτων του κάθε ορόφου (βλ. Εικ. 3.2.7.1)).



Εικ. 3.2.7.1 Έκταση διαφράγματος Οροφής Ισογείου

3.2.8 Προετοιμασία προσομοιώματος για μη γραμμική ανάλυση

Για να προσδώσουμε μη γραμμική συμπεριφορά στο προσομοίωμα πρέπει να εισάγουμε μη γραμμικότητες που αφορούν τα υλικά (πλαστικές αρθρώσεις) και τη γεωμετρία (P-Delta Effects (2ας τάξεως ροπές) κλπ). Το δεύτερο είναι πιο εύκολο καθώς απλά επιλέγεται ποιας μορφής γεωμετρικές μη γραμμικότητες θα υπάρξουν από την καρτέλα ορισμού της φόρτισης (βλ. κεφ.5 παρ. 5.2.1). Η εισαγωγή πλαστικών αρθρώσεων είναι πιο πολύπλοκη διαδικασία και αναλύεται παρακάτω.

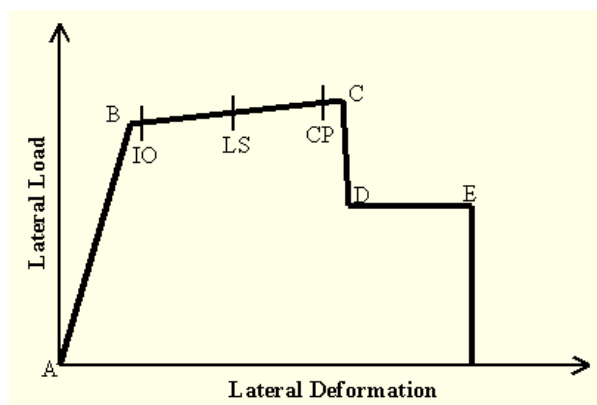
Αρχικά για να έχει νόημα να ορίσουμε πλαστικές αρθρώσεις στα στοιχεία θα πρέπει να έχει εισαχθεί ο σπλισμός τους. Αυτό γίνεται με τον τρόπο που περιγράφηκε στην παρ. 3.2.3. Υπενθυμίζεται επίσης ότι τα μη γραμμικά μοντέλα υλικών χρησιμοποιούνται αυτόματα από το πρόγραμμα (π.χ. για την κατασκευή διαγράμματος ροπών καμπυλοτήτων) και δε χρειάζεται να ορισθούν από το χρήστη παρά οι βασικές τιμές αντοχών, μέτρου ελαστικότητας κλπ. (βλ. παρ. 3.2.2).

Σημ.: (Με το συγκεκριμένο λογισμικό μπορούν να ορισθούν πλαστικές αρθρώσεις μόνο στα γραμμικά δομικά στοιχεία και όχι στα επιφανειακά (π.χ τοιχώματα), το οποίο σημαίνει ότι τα τοιχώματα θα συμπεριφερθούν ελαστικά κατά την ανελαστική ανάλυση. Για αυτό το λόγο πραγματοποιήθηκε (βλ. Κεφ.5) επιπλέον ανάλυση με τα τοιχώματα αυτή τη φορά προσομοιωμένα με γραμμικά στοιχεία σαν υποστυλώματα με μεγάλη διατομή και άκαμπτα οριζόντια στοιχεία να καλύπτουν το μήκος τους στις ενώσεις των ορόφων (WCA). Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα τοποθέτησης πλαστικών αρθρώσεων και στα τοιχώματα.)

Στο Etabsv.970 διατίθενται πλαστικές αρθρώσεις για τον έλεγχο όλων των εντατικών μεγεθών. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί πλαστική άρθρωση ροπής (plastic hinge M3) για τις δοκούς ανεξάρτητη από τα άλλα εντατικά μεγέθη και πλαστική άρθρωση που προσφέρει αλληλεπίδραση αξονικής δύναμης με διαξονική ροπή (P-M2-M3) για τα υποστυλώματα. Επίσης P-M2-M3 χρησιμοποιείται και για τα τοιχώματα (WCA) καθώς και πλαστική άρθρωση τέμνουσας (V3 ή V2). Για ευκολία δίνεται η επιλογή να υπολογίσει μόνο του το πρόγραμμα τα διάφορα μεγέθη που χρειάζονται για τον ορισμό τους στα διάφορα δομικά στοιχεία (π.χ. το διάγραμμα ροπών στροφών) στηριζόμενο για τις κατασκευές από σκυρόδεμα στον ATC-40 (1996). Εδώ όμως επιλέχθηκε να κατασκευαστεί η κάθε μία άρθρωση χωρίς αυτοματοποίηση.

Σημ.: (Με την επιλογή «Default Hinge Property» το λογισμικό υπολογίζει μόνο του την πλαστική άρθρωση αφού συνδυαστεί με ένα δομικό στοιχείο, όμως προσδίδει τιμές στροφών (θ_u) ίδιες για όλα τα στοιχεία ανεξαρτήτως διατομής, κάτι που δεν

είναι ακριβές όταν υπάρχει πληθώρα διαφορετικών διατομών. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε να κατασκευαστούν διαφορετικά μοντέλα πλαστικής άρθρωσης για τα στοιχεία. Επίσης η «Default Hinge Property» μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε ορθογωνικές διατομές.

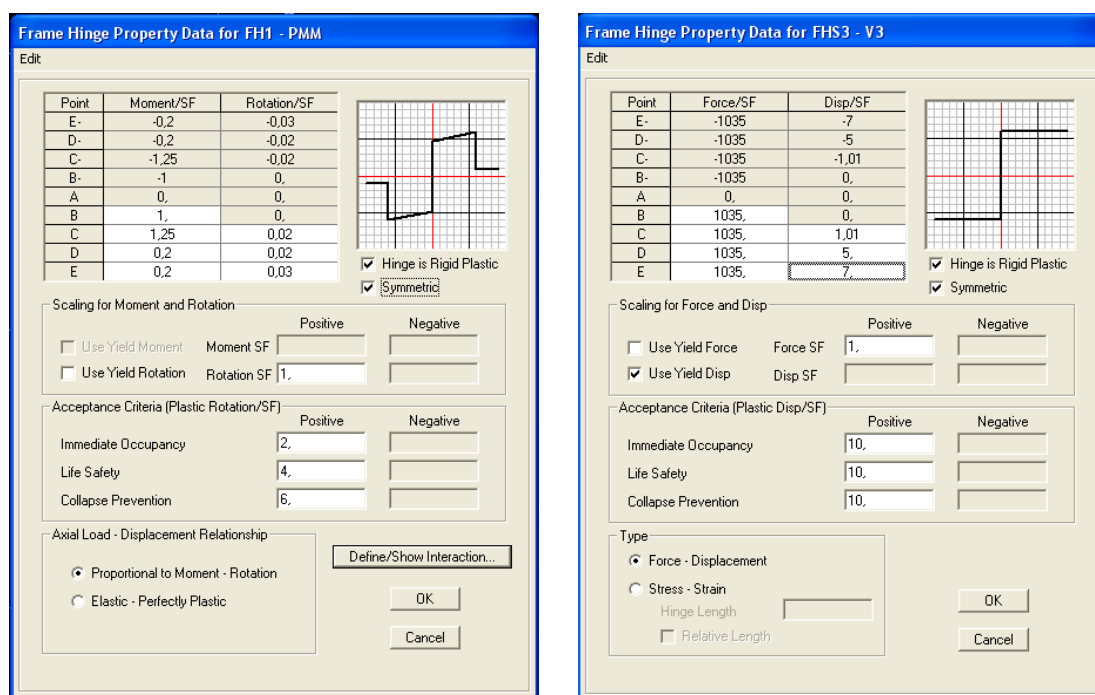


Εικ. 3.2.8.1 Μοντέλο πλαστικής άρθρωσης στο Etabs

Το μοντέλο της πλαστικής άρθρωσης (βλ. Εικ. 3.2.8.1) ορίζεται με την εντολή «Define>Frame Nonlinear Hinge Properties>Add New...». Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται το είδος (εντατικό μέγεθος) και αν είναι επιθυμητό να κατασκευαστεί το μοντέλο από το χρήστη, απειπιλέγεται το «default» ώστε να γίνει επιλέξιμο το «Modify/Show for...». Με αυτόν τον τρόπο εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται στην εικόνα 3.2.8.1. Για την περίπτωση των πλαστικών αρθρώσεων M3 και P-M2-M3 δίνονται οι απαραίτητες τιμές για το διάγραμμα ροπών-στροφών (M_y , M_u , θ_u , το θ_y θεωρείται μηδενικό, όπου y για διαρροή και u μέγιστη αντοχή). Το πρόγραμμα υπολογίζει μόνο του τη ροπή διαρροής (σημείο B), οπότε έχοντας επιλεγμένο το «Use Yield Moment» εισάγεται μονάδα για τη ροπή διαρροής και κατά αναλογία >1 για τη ροπή αντοχής. Το ίδιο ισχύει και για τη στροφή διαρροής η οποία όμως υπολογίζεται μόνο για να είναι δυνατό να εισαχθεί σαν πολλαπλάσιό της η θ_u που αντιστοιχεί στη ροπή αντοχής M_u . Για την περίπτωση όμως που είναι επιθυμητό να εισαχθεί η τιμή της στροφής που έχει υπολογισθεί από το χρήστη και όχι από το πρόγραμμα απειπιλέγεται το «Use Yield Rotation» και στο «Rotation SF» εισάγεται η τιμή 1 έτσι ώστε να υπάρχει καλύτερος έλεγχος των τιμών και στη συνέχεια εισάγεται στο διάγραμμα αυτούσια η τιμή της θ_u (σημείο D). Σημειώνεται ότι μπορούν να δοθούν διαφορετικές τιμές για τον αρνητικό κλάδο από το θετικό, εκτός από την περίπτωση της P-M-M που είναι υποχρεωτικά συμμετρική έως αυτή την έκδοση του λογισμικού. Στη συνέχεια ορίζονται οι στάθμες επιτελεστικότητας (Άμεση χρήση μετά το σεισμό-Immediate Occurance, Προστασία Ζωής-Life safety και Οιονεί κατάρρευση-Collapse Prevention) της άρθρωσης. Για την

P-M-M πρέπει επιπλέον να οριστεί η σχέση του αξονικού φορτίου και μετατόπισης (επιλέχθηκε το «*Proportional to Moment-Rotation*, δηλαδή που εξαρτάται από τη σχέση ροπής-στροφής) και το διάγραμμα αλληλεπίδρασης που μπορεί είτε να εισαχθεί από το χρήστη, είτε να υπολογισθεί αυτόματα (για σκυρόδεμα, σύμφωνα με *ACI 318-95*).

Ανάλογη διαδικασία ακολουθείται και για τον ορισμό πλαστικής άρθρωσης τέμνουσας μόνο που σε αυτή την περίπτωση το μοντέλο συμπεριφοράς είναι σε όρους δύναμης μετακίνησης και στην παρούσα εργασία κατασκευάστηκε ελαστικό - απόλυτα πλαστικό, δηλαδή με τον ανελαστικό κλάδο του οριζόντιο. Εφόσον ισχύει αυτό οι τιμές που θα δοθούν να για τα σημεία *C, D, E* δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία. Για το σημείο *B* (διαρροής) η μετακίνηση θεωρείται μηδέν και δίνεται η τέμνουσα αντοχής V_y (βλ. *Εικ. 3.2.8.1*).



Εικ. 3.2.8.1 Ορισμός πλαστικής άρθρωσης τύπου P-M2-M3 και V3

Στη συνέχεια επιλέγεται το μέλος στο οποίο θα τοποθετηθεί η πλαστική άρθρωση και με την εντολή «Assign>Frame/Line>Frame Nonlinear Hinges» ορίζεται ένα από τα μοντέλα της πλαστικής άρθρωσης που έχουν δημιουργηθεί και η θέση της πάνω στο στοιχείο.)

Ως θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων στα μέλη επιλέχθηκαν τα άκρα των στοιχείων εφόσον υπάρχει στήριξη και προσέχοντας να είναι εκτός παρειάς άλλων συνδεδεμένων στοιχείων, και περιοχές γύρω από συγκεντρωμένα φορτία όπως στηρίξεις δοκών σε δοκούς ή φυτευτά υποστυλώματα. Στα τοιχώματα σε δεύτερη φάση (WCA) οι αρθρώσεις P-M-M τοποθετήθηκαν στα άκρα όπως και στα υποστυλώματα και οι V στη μέση του ύψους τους. Λόγω της πληθώρας των διατομών, τα δομικά στοιχεία χωρίστηκαν σε ομάδες ανάλογα με τις στροφές θ_u και τους λόγους M_u/M_y και αντοχής τέμνουσας V_R , ώστε να μειωθεί λίγο ο αριθμός των αρθρώσεων που έπρεπε να ορισθούν. Οι στροφές θ_u, θ_v υπολογίστηκαν από τις σχέσεις του Ευρωκώδικα 8 (EC8 2003 English version (prEN 1998-3)) αφού πρώτα ελήφθησαν οι τιμές των καμπυλοτήτων από τα διαγράμματα ροπών - καμπυλοτήτων (βλ. Εικ. 3.2.8.2) των διατομών μέσω του «Section Designer» του Etabs. Οι σχέσεις των θ_u, θ_v είναι οι:

$$\alpha) \quad \theta_y = \varphi_y \cdot \frac{L_v}{3} + 0,0025 + \frac{a_{sl} \cdot 0,25 \cdot \varepsilon_{sy} \cdot d_b \cdot f_y}{(d - d') \cdot \sqrt{f_c}} \quad \text{σχ. 3.2.8.1}$$

$$\beta) \quad \theta_u = \theta_y + (\varphi_u - \varphi_y) \cdot L_{pl} \cdot \left(1 - \frac{0,5 \cdot L_{pl}}{L_v}\right) \quad \text{σχ. 3.2.8.2}$$

με $L_{pl} = 0,08 \cdot L_v + \frac{1}{60} \cdot a_{sl} \cdot d_b \cdot f_y$ το μήκος πλαστικής άρθρωσης και

$L_v = M/V$ το καμπτικό μήκος (για αμφίπακτα μέλη $h/2$ προβόλους h , h το μήκος του μέλους).

όπου,

φ_y, φ_u οι καμπυλότητες στη διαρροή και θραύση αντίστοιχα

a_{sl} συντελεστής που λαμβάνει τις τιμές 1 και 0 για ολίσθηση οπλισμού και μη αντίστοιχα

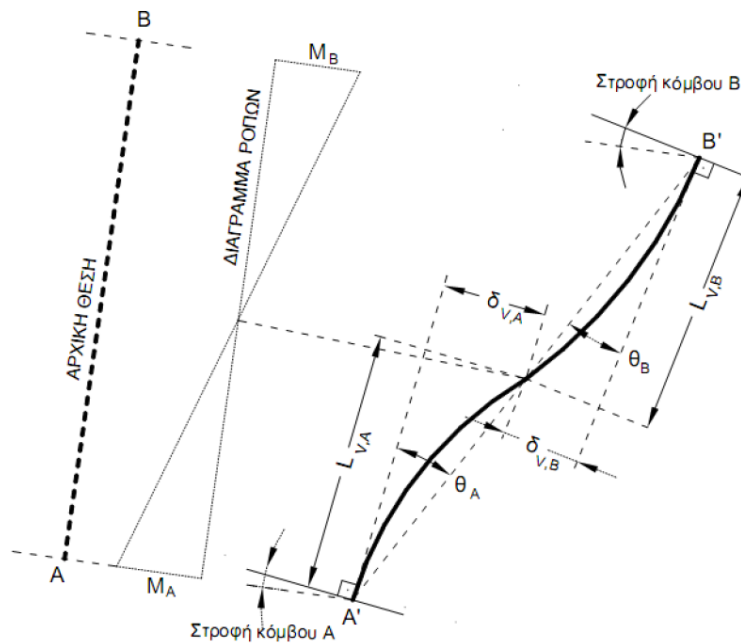
ε_{sy} η παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα οπλισμού

d_b η διάμετρος των ράβδων του οπλισμού

d και d' το στατικό ύψος και η επικάλυψη οπλισμού αντίστοιχα

f_y η αντοχή του χάλυβα οπλισμού

f_c η αντοχή του σκυροδέματος

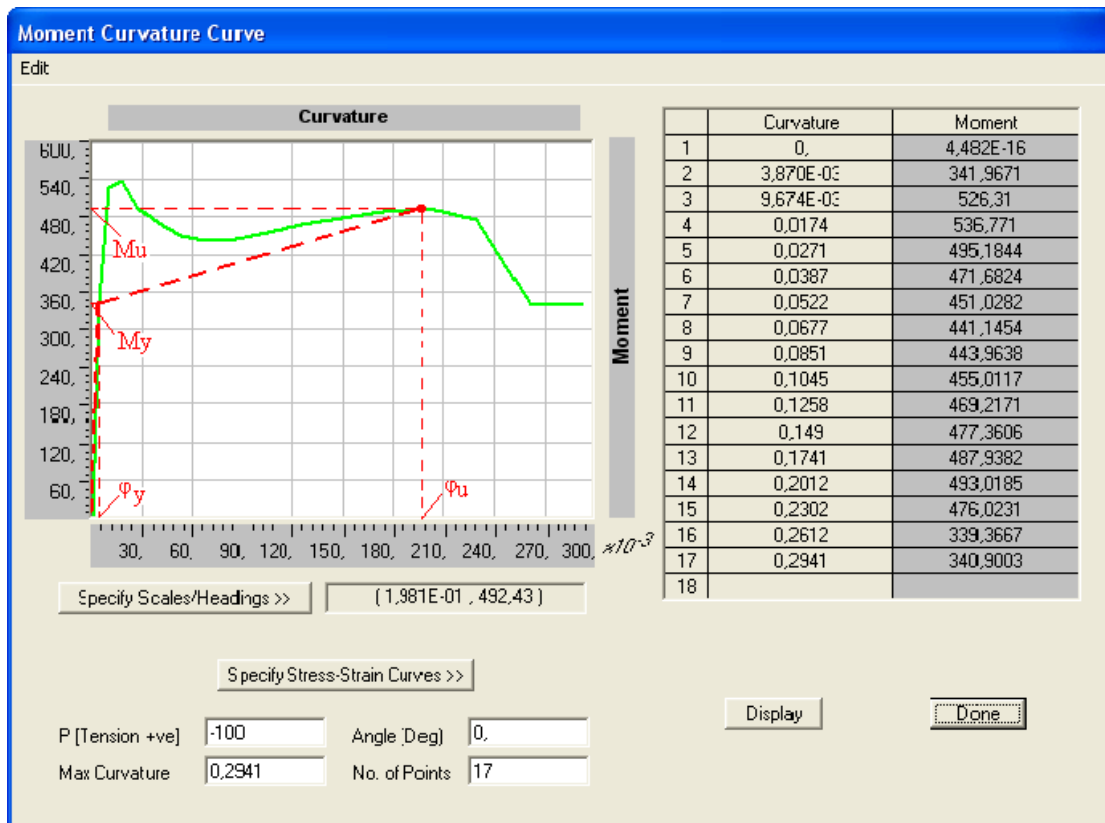


Εικ. 3.8.2.2 Στροφές χορδής μέλους

Σημ.: (Το a_{sl} επιλέχθηκε ίσο με 0 οπότε οι όροι που αφορούν την ολίσθηση οπλισμού μηδενίζονται.

Όσον αφορά τα διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων, κάποια από αυτά κυρίως των υποστυλωμάτων παρουσίαζαν δύο κορυφές. Αρχικά η καμπύλη ανέβαινε μέχρι μια μέγιστη ροπή με αντίστοιχη καμπυλότητα λίγο μεγαλύτερη αυτής της διαρροής, στη συνέχεια έπεφτε και ξανανέβαινε μέχρι μια δεύτερη υψηλή τιμή ροπής (βλ. Εικ. 3.2.8.3). Η καμπυλότητα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της στρόφης θυ στη θραύση είναι αυτή που αντιστοιχεί στη δεύτερη κορυφή και η ροπή M_u επίσης, με το σκεπτικό ότι έτσι προσομοιάζεται καλύτερα το προσεγγιστικό διγραμμικό διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων που φαίνεται στην εικόνα παρακάτω.

Επίσης συγκεκριμένα για τα υποστυλώματα το ορθότερο είναι να ληφθούν οι τιμές των ροπών /καμπυλοτήτων έχοντας επιβάλλει στη διατομή μία αξονική (συνηθέστερα την αξονική που προκύπτει από το συνδυασμό $1G+0.3Q$), όμως όπως αναφέρθηκε παραπάνω για τη δημιουργία της πλαστικής άρθρωσης χρειάζεται ο λόγος των ροπών M_u/M_y ο οποίος δεν αλλάζει σημαντικά ούτε στις μη-συμμετρικές διατομές. Επίσης οι τιμές των καμπυλοτήτων δεν αλλάζουν για τις συμμετρικές διατομές και όχι σημαντικά για τις μη-συμμετρικές με αποτέλεσμα να μη χρειάζεται ο υπολογισμός των αξονικών δυνάμεων).



Εικ. 3.2.8.3 Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων υποστυλώματος-θεώρηση σημείου θραύσης

Για τις πλαστικές αρθρώσεις τέμνουσας χρειάστηκε να υπολογιστεί η αντοχή σε τέμνουσα των τοιχωμάτων από τον εγκάρσιο οπλισμό τους. Ο σχεδιασμός των τοιχωμάτων είχε γίνει προς την ασφάλεια με το σκεπτικό να παραλαμβάνεται η τέμνουσα και από τον οριζόντιο οπλισμό σε όλο το μήκος του τοιχώματος (διαμονές) αλλά και από τους συνδετήρες της περίσφιξης των «κρυφών» υποστυλωμάτων στα άκρα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η συνολική αντοχή τους να είναι πολύ μεγάλη και να ξεπερνάει κανονικά την τέμνουσα αντοχής λόγω θλίψεως κορμού VRd2 (ΕΚΩΣ2000), που θέτει ένα ανώτατο όριο στην αντοχή έναντι τέμνουσας. Έτσι ως αντοχή των τοιχωμάτων θεωρήθηκε η VRd2 (βλ. Κεφ.11 ΕΚΩΣ2000).

Παρακάτω δίνονται τα δεδομένα για τις πλαστικές αρθρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκούς, τα υποστυλώματα και τα τοιχώματα κάθε ορόφου (Πιν. 3.2.8.1-10). Υπενθυμίζεται ότι η ροπή διαρροής υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα και έτσι το μόνο που χρειάζεται να εισαχθεί είναι ο λόγος M_u/M_y .

Ισόγειο

Πλαστικές Αρθρώσεις Δοκών Οροφής Ισογείου			
Ομάδα Πλαστικής Άρθρωσης	Δοκοί (Δ)	θ _υ	Μ _υ /Μ _γ
FH1	16,18	0,006	1,3
FH2	4,5,7,8,12,26,27,28,29	0,01	1,3
FH3	10,15,22,23,24,25,30	0,015	1,3
FH4	2,3,17,20,32αβ	0,02	1,3
FH5	6,9,11,13,19	0,025	1,3
FH6	1	0,03	1,3
FH7	21	0,035	1,3

Πιν. 3.2.8.1 Πλαστικές Αρθρώσεις Δοκών Οροφής Ισογείου

Πλαστικές Αρθρώσεις Υποστυλωμάτων Ισογείου			
Ομάδα Πλαστικής Άρθρωσης	Υποστυλ. (Κ/Τ)	θ _υ	Μ _υ /Μ _γ
FH10	13,16	0,024	1,9
FH12	9	0,027	1,5
FH14	1,4,14	0,024	1,5

Πιν. 3.2.8.2 Πλαστικές Αρθρώσεις Υποστυλωμάτων Ισογείου

Πλαστικές Αρθρώσεις Ρ-Μ-Μ Τοιχωμάτων Ισογείου			
Ομάδα Πλαστικής Άρθρωσης	Τοίχωμα (Τ)	θ _υ	Μ _υ /Μ _γ
FH15	15	0,011	1,2
FH16	2,5,8,12	0,014	1,2
FH17	3,11	0,016	1,2
FH18	10	0,018	1,2
FH19	7	0,020	1,2
FH20	6	0,035	1,2

Πιν. 3.2.8.3 Πλαστικές Αρθρώσεις (Ρ-Μ-Μ) Τοιχωμάτων Ισογείου

Α Όροφος

Πλαστικές Αρθρώσεις Δοκών Οροφής Α Ορόφου			
Ομάδα Πλαστικής Άρθρωσης	Δοκοί (Δ)	θ _υ	Μ _υ /Μ _γ
FH1	2,9	0,006	1,3
FH2	12α	0,01	1,3
FH3	4,5,7,8,12β	0,015	1,3
FH4	3,11,12	0,02	1,3
FH5	1	0,025	1,3
FH8	6,13	0,02	2,24
FH9	14,15	0,015	2,24

Πιν. 3.2.8.4 Πλαστικές Αρθρώσεις Δοκών Οροφής Α Ορόφου

Πλαστικές Αρθρώσεις Υποστυλωμάτων Α Ορόφου			
Ομάδα Πλαστικής Άρθρωσης	Υποστυλ. (Κ/Τ)	θ _υ	Μ _υ /Μ _γ
FH11	16	0,027	1,9
FH12	1,4,11,14	0,027	1,5

Πιν. 3.2.8.5 Πλαστικές Αρθρώσεις Υποστυλωμάτων Α Ορόφου

Πλαστικές Αρθρώσεις P-M-M Τοιχωμάτων Α Ορόφου			
Ομάδα Πλαστικής Άρθρωσης	Τοίχωμα (Τ)	θ _υ	Μ _υ /Μ _γ
FH15	15	0,011	1,2
FH16	2	0,014	1,2
FH17	3,5,12	0,016	1,2
FH19	10	0,020	1,2

Πιν. 3.2.8.6 Πλαστικές Αρθρώσεις (P-M-M) Τοιχωμάτων Α Ορόφου

Β Όροφος

Πλαστικές Αρθρώσεις Δοκών Οροφής Β Ορόφου			
Ομάδα Πλαστικής Άρθρωσης	Δοκοί (Δ)	θ _u	Μ _u /Μ _y
FH1	15α,6	0,006	1,3
FH2	1,3,4,7,8β,9	0,01	1,3
FH3	14,15β,16,17	0,015	1,3
FH4	5,8α,10,11,12,13,18,19,20,21	0,02	1,3
FH5	2	0,025	1,3

Πιν. 3.2.8.7 Πλαστικές Αρθρώσεις Δοκών Οροφής Β Ορόφου

Πλαστικές Αρθρώσεις Υποστυλωμάτων Β Ορόφου			
Ομάδα Πλαστικής Άρθρωσης	Υποστυλ. (Κ/Τ)	θ _u	Μ _u /Μ _y
FH12	1,4,11,14	0,027	1,5
FH13	17	0,013	1,2

Πιν. 3.2.8.8 Πλαστικές Αρθρώσεις Υποστυλωμάτων Β Ορόφου

Πλαστικές Αρθρώσεις Ρ-Μ-Μ Τοιχωμάτων Β Ορόφου			
Ομάδα Πλαστικής Άρθρωσης	Τοίχωμα (Τ)	θ _u	Μ _u /Μ _y
FH15	15	0,011	1,2
FH16	3	0,014	1,2
FH18	10	0,018	1,2

Πιν. 3.2.8.9 Πλαστικές Αρθρώσεις (Ρ-Μ-Μ) Τοιχωμάτων Β Ορόφου

Οι στάθμες επιτελεστικότητας που ορίστηκαν για κάθε πλαστική άρθρωση ήταν:

Άμεση Χρήση μετά το σεισμό (ΙΟ): = $\theta_u/4$

Προστασία Ζωής (LS): = $\theta_u/2$

Οιονεί Κατάρρευση (CP): = θ_u

Επίσης δίνεται ο πίνακας με τις πλαστικές αρθρώσεις τέμνουσας όλων των τοιχωμάτων.

Πλαστικές Αρθρώσεις Τοιχωμάτων Τέμνουσας		
Ον. Πλ. Αρθρ.	Τοιχώματα	V _R (kN)
FHS1 (V2)	T6Iσ.	585
FHS2 (V3)	T7Iσ.	900
FHS3 (V3)	T10Iσ.,T10A,T10B	1035
FHS4 (V3)	T3Iσ.,T3A, T3B	1170
FHS5 (V3)	T5Iσ.,T5A,T8Iσ.,T11Iσ.	1305
FHS6 (V2)	T12Iσ.,T12A	1305
FHS7 (V2)	T2Iσ.,T2A	1440
FHS8 (V2)	T15Iσ.,T15A,T15B	1980

Πιν. 3.2.8.10 Πλαστικές Αρθρώσεις Τέμνουσας Τοιχωμάτων

Για τις πλαστικές αρθρώσεις τέμνουσας δεν προσδιορίστηκαν στάθμες επιτελεσματικότητας αφού ο ανελαστικός κλάδος είναι απολύτως πλαστικός και με το που διαρρεύσει το στοιχείο οδηγείται κατευθείαν σε μεγάλες παραμορφώσεις.

Κεφάλαιο 4: Ελαστική Ανάλυση Κατασκευής

4.1. Γενικά

Οι ελαστικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι οι δυναμική φασματική ανάλυση και ανάλυση χρονοϊστορίας. Ο σκοπός αυτός των αναλύσεων ήταν κυρίως ενδεικτικός ώστε να γίνει μια πρώτη εκτίμηση του αριθμού των μελών της κατασκευής που είναι πιο ευάλωτα, πριν την ανελαστική ανάλυση. Για αυτό το λόγο δεν εξετάζονται όλοι οι συνδυασμοί φορτίσεων της χωρικής επαλληλίας του EC8, αλλά μερικοί οι δυσμενέστεροι και εντοπίζονται μερικά δομικά στοιχεία για τα οποία δίνονται αποτελέσματα για ευκολότερη εποπτεία. Υπενθυμίζεται ότι στις ελαστικές αναλύσεις η κατασκευή συμπεριφέρεται ελαστικά έχοντας υποθέσει όμως μέσω συντελεστών του αντισεισμικού κανονισμού (π.χ. συντελεστή συμπεριφοράς q) ότι ένα μέρος της ενέργειας θα απορροφηθεί με τη μορφή πλαστικών παραμορφώσεων των στοιχείων.

4.2. Δυναμική φασματική ανάλυση

4.2.1 Γενικά

Για την πραγματοποίηση της δυναμικής φασματικής ανάλυσης πρέπει να εισαχθούν στο λογισμικό τα χαρακτηριστικά του φάσματος και οι συνδυασμοί χωρικής επαλληλίας. Η ιδιομορφική ανάλυση του προσομοιώματος γίνεται αυτόματα από το λογισμικό από την οποία υπολογίζονται και οι ιδιοπερίοδοι (βλ. Πιν. 4.2.1.1).

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος (sec)	UX	UY	RZ
1	0,2926	56,9828	0,0174	9,2275
2	0,2661	0,4293	68,8082	0,5262
3	0,1799	14,4491	2,5986	48,0646
4	0,1498	0,0104	0,2983	1,4545
5	0,1429	0,0152	0,0002	0,1870
6	0,1274	1,9484	1,1274	2,2627
7	0,1172	5,0892	0,2067	5,1321
8	0,0952	0,0254	0,0288	0,0463
9	0,0946	0,3582	0,0815	0,2241
10	0,0778	0,1039	0,4881	1,0599
11	0,0746	0,0242	11,0861	0,9766
12	0,0716	0,0105	0,1893	0,1369

Πιν. 4.2.1.1 Ιδιομορφές, ιδιοπερίοδοι και ποσοστά ιδιομορφικής μάζας σε κάθε διαφραγματικό βαθμό ελευθερίας του προσομοιώματος

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.2.1.1 οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι είναι: οι $T_x = 0,29 \text{ sec}$ (Ιδιοπ.1, UX), $T_y = 0,27 \text{ sec}$ (Ιδιοπ.2, UY) και $T_z = 0,18 \text{ sec}$ (Ιδιοπ.3, στροφική RZ).

4.2.2 Χαρακτηριστικά Φασμάτων

Χρησιμοποιήθηκε το φάσμα του EC8 τύπου I (για σεισμική ένταση $M > 5,5$). Τα χαρακτηριστικά του φάσματος οριζόντιας συνιστώσας (σύμφωνα και με τη μελέτη της κατασκευής) είναι τα εξής:

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας III: 0,24g

Κατηγορία Εδάφους: B, με $T_B = 0,15 \text{ s}$, $T_C = 0,50 \text{ s}$, $T_D = 2,00 \text{ s}$ και συντ. $S = 1,2$

Συντελεστής Σεισμικής Συμπεριφοράς (α): 1,50

Συντελεστής Σπουδαιότητας (γ_I): 1,00

Συντελεστής Κατώτατου Ορίου (β): 0,2

Τα χαρακτηριστικά του φάσματος κατακόρυφης συνιστώσας είναι:

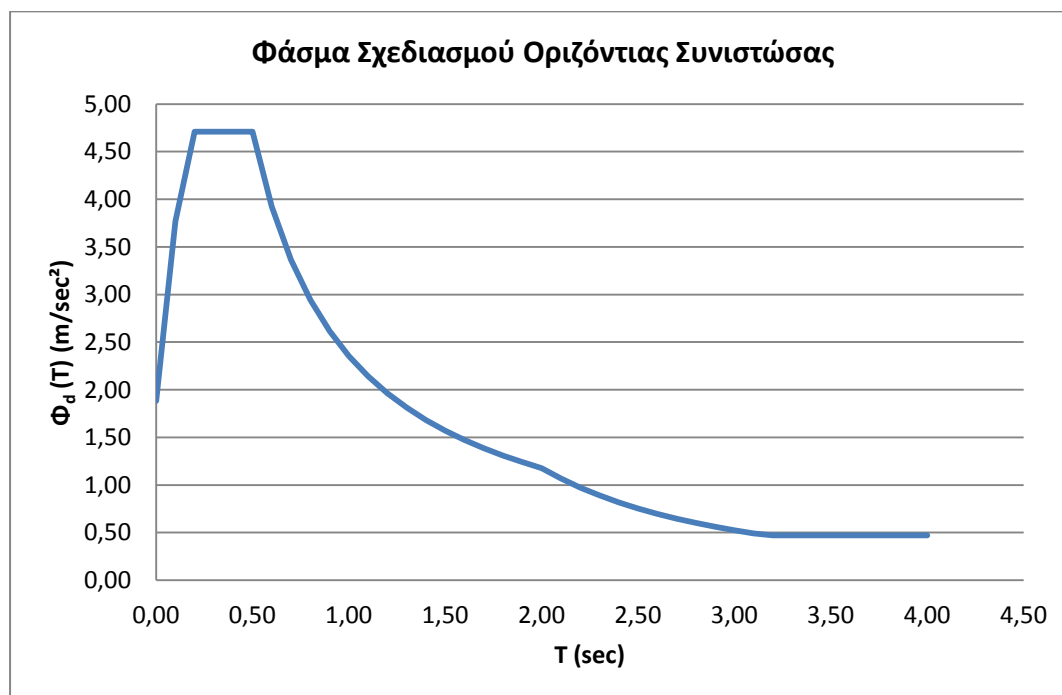
Συντελεστής απομείωσης φασματικής επιτάχυνσης: $a_{vg}/a_g = 0,9$

Κατηγορία Εδάφους: B, με $T_B = 0,05 \text{ s}$, $T_C = 0,15 \text{ s}$, $T_D = 1,00 \text{ s}$ και συντ. $S = 1$

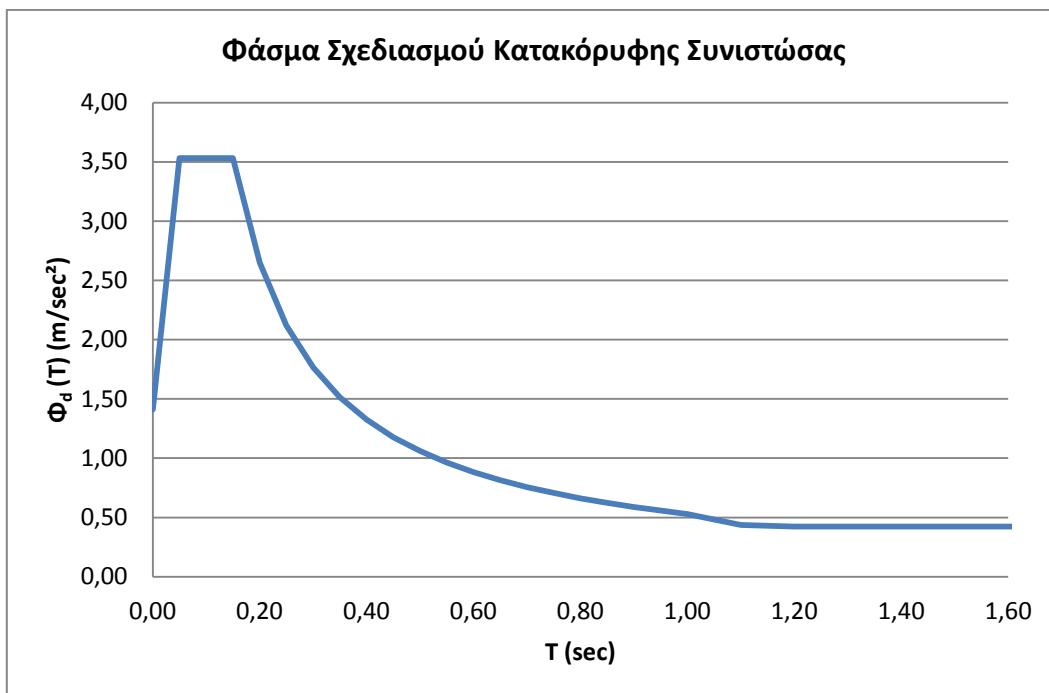
Συντελεστής Σπουδαιότητας (γ_I): 1,00

Συντελεστής Κατώτατου Ορίου (β): 0,2

Τα φάσματα φαίνονται στις εικόνες 4.2.2.1-2:



Εικ. 4.2.2.1 Φάσμα Σχεδιασμού Οριζόντιας Συνιστώσας (EC8)

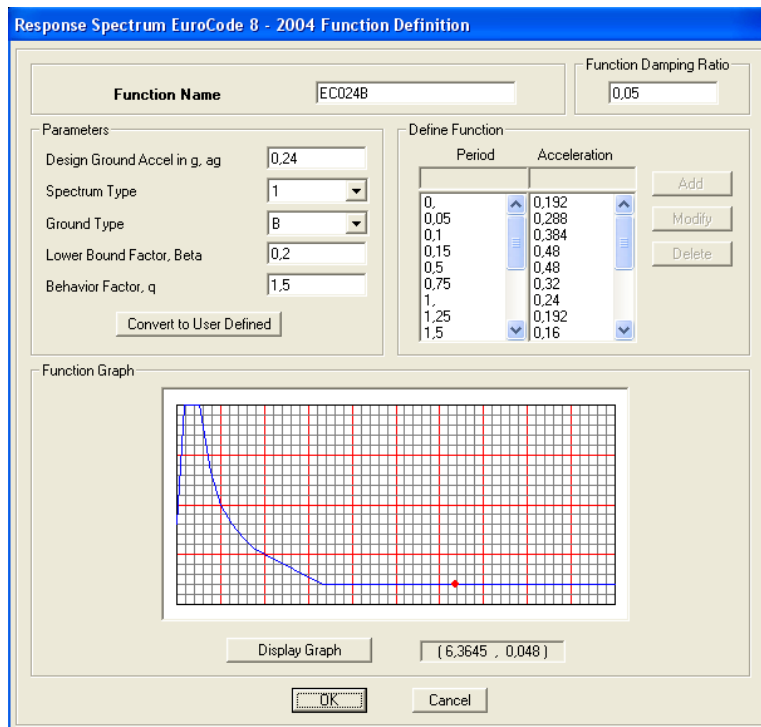


Εικ. 4.2.2.2 Φάσμα Σχεδιασμού Κατακόρυφης Συνιστώσας (EC8)

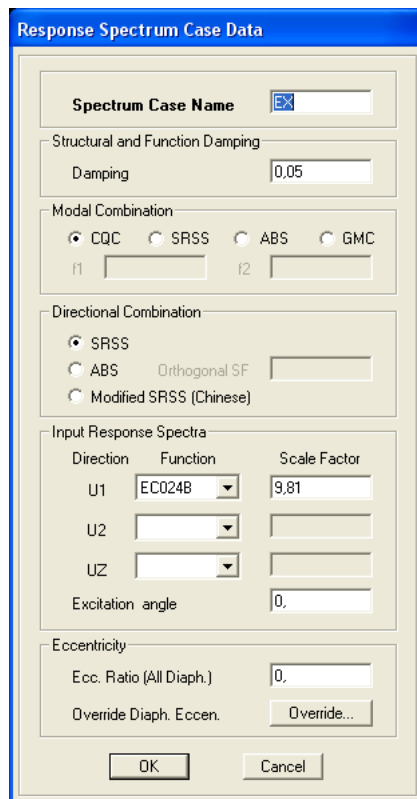
Τα φάσματα εισάγονται στο λογισμικό με την εντολή «Define>Response Spectrum Functions», επιλέγεται το φάσμα από μια λίστα φασμάτων που διαθέτει το πρόγραμμα ή επιλέγεται να εισαχθεί από το χρήστη και στη συνέχεια επιλέγεται «Add New». Το Etabsv.9.70 διαθέτει το φάσμα του EC8 της οριζόντιας συνιστώσας (βλ. Εικ. 4.2.2.3), αλλά όχι της κατακόρυφης το οποίο δημιουργήθηκε ξεχωριστά και εισήχθη κατόπιν.

Στη συνέχεια με την εντολή «Define>Response Spectrum Cases>Add New» ορίζουμε ποιο φάσμα συνδυάζεται με κάθε κατεύθυνση φόρτισης και άλλες επιλογές όπως τη μέθοδο συνδυασμού των ιδιομορφών (εδώ CQC), της κατεύθυνσης (εδώ SRSS), εκκεντρότητες (εδώ μηδενικές) κλπ (βλ. Εικ. 4.2.2.4).

Σημ.: (Η τιμή του συντελεστή με τον οποίο πολλαπλασιάζεται το φάσμα (Scale Factor) εξαρτάται από τις μονάδες που διέθετε το φάσμα που εισήχθηκε/δημιουργήθηκε στο λογισμικό, έτσι ώστε να μετατραπεί στις μονάδες με τις οποίες έχει επιλεχθεί να δουλεύει το πρόγραμμα.)



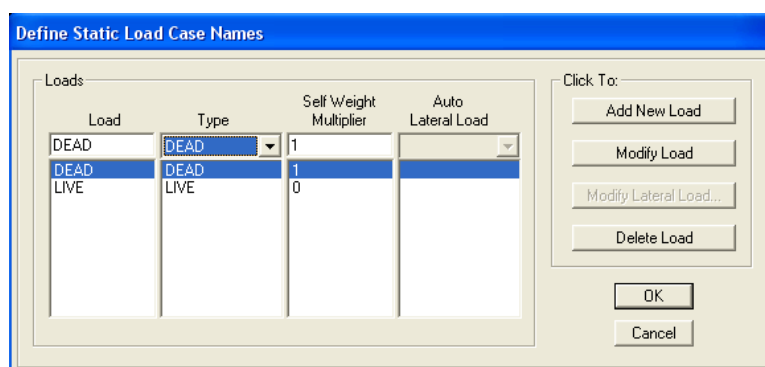
Εικ. 4.2.2.3 Ορισμός φάσματος EC8 στο ETABS v.9.70



Εικ. 4.2.2.4 Ορισμός φασματικής φόρτισης

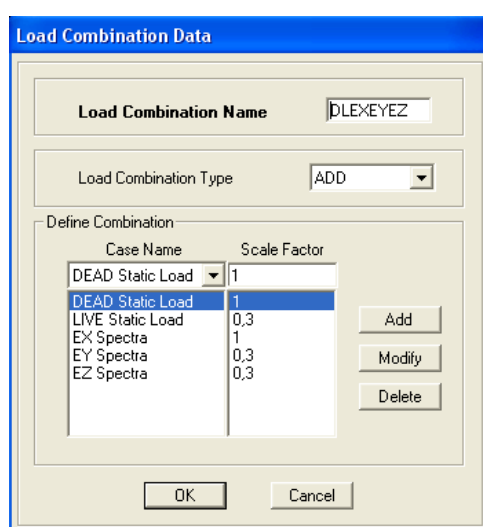
4.2.3 Καθορισμός συνδυασμών φορτίσεων

Αρχικά ορίζονται οι στατικές φορτίσεις με την εντολή «Define<Static Load Cases». Στην καρτέλα που εμφανίζεται δίνεται ένα όνομα στη φόρτιση, καθορίζεται ο τύπος της (Dead, Live, Wind/Μόνιμα, Κινητά, Άνεμος κλπ.) και μπορεί να γίνει επιλογή να υπολογίζονται αυτόματα τα ίδια βάρη των στοιχείων (από τα υλικά τους) βάζοντας στο «Self Weight Multiplier» τον αριθμό 1 (βλ. Εικ. 4.2.3.1). Στην παρούσα εργασία ορίστηκε μία φόρτιση «Dead» για τα μόνιμα με Self W.M. =1 και μία «Live» για τα κινητά.



Εικ. 4.2.3.1 Ορισμός στατικών φορτίσεων στο ETABS v.9.70

Στη συνέχεια με την εντολή «Define<Load Combinations<Add New...» δημιουργούνται οι συνδυασμοί των φορτίσεων που ορίστηκαν προηγουμένως επιλέγοντας μία στατική, δυναμική φόρτιση ή φόρτιση χρονοϊστορίας και εισάγοντας τον επιθυμητό συντελεστή (βλ. Εικ. 4.2.3.2).



Εικ. 4.2.3.2 Δημιουργία συνδυασμών φορτίσεων στο ETABS v.9.70

Σημ.: (Κατά τη δημιουργία των συνδυασμών το λογισμικό αναλαμβάνει μόνο του την εναλλαγή των προσήμων για τις δυναμικές φορτίσεις με αποτέλεσμα να μη χρειάζεται να δημιουργηθεί από το χρήστη η πληθώρα συνδυασμών των κανονισμών που προκύπτει λόγω της διαδοχικής εναλλαγής των προσήμων. Έτσι σύμφωνα με την παραπάνω λογική δημιουργείται από το χρήστη ένας συνδυασμός με όλες τις επιμέρους φορτίσεις να έχουν θετικό πρόσημο και το λογισμικό κάνει όλες τις διαδοχικές εναλλαγές και παρουσιάζει στα αποτελέσματα τις περιβάλλουσες των εντατικών μεγεθών για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς).

Σύμφωνα με τα παραπάνω ορίσθηκαν οι συνδυασμοί:

$1,35 \cdot Dead + 1,50 \cdot Live$	σχ. 4.2.3.1
$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L \pm 1,00 \cdot Ex \pm 0,30 \cdot Ey \pm 0,30 \cdot Ez$	σχ. 4.2.3.2
$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L \pm 0,30 \cdot Ex \pm 1,00 \cdot Ey \pm 0,30 \cdot Ez$	σχ. 4.2.3.3
$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L \pm 0,30 \cdot Ex \pm 0,30 \cdot Ey \pm 1,00 \cdot Ez$	σχ. 4.2.3.4

Όπου: Dead (D) τα Μόνιμα, Live (L) τα κινητά και Ex, Ey, Ez το φάσμα για κάθε διεύθυνση.

Από τους παραπάνω συνδυασμούς οι δυσμενέστεροι είναι οι σχ. 4.2.3.2-3, επομένως τα αποτελέσματα που θα παρουσιασθούν στη συνέχεια θα είναι αυτών των δύο.

4.2.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δυναμικής φασματικής ανάλυσης για τους δυσμενέστερους συνδυασμούς για κάθε διεύθυνση. Δίνονται συγκεντρωτικοί πίνακες με τις μέγιστες/ελάχιστες τιμές των εντατικών μεγεθών που καλούνται να παραλάβουν τα ίδια στοιχεία χωρίς να είναι απαραίτητα ταυτόχρονα και στην ίδια θέση και στο παράρτημα Β δίνονται αναλυτικοί πίνακες με τις τιμές των περιβαλλουσών των εντατικών μεγεθών σε διάφορες θέσεις των στοιχείων. Επίσης δίνονται πίνακες με τα μεγαλύτερα «Drifts» των ορόφων. Υπενθυμίζεται ότι το «Drift» ορίζεται ως η διαφορά των μετακινήσεων δύο αντίστοιχων κόμβων σε γειτονικούς ορόφους διαιρεμένη με την υψομετρική διαφορά των ορόφων.

Τα δυσμενέστερα δομικά στοιχεία για τα οποία δίνονται αποτελέσματα είναι:

Κατά Χ:

Δοκοί: Δ6 Α Ορ., Δ14 Α Ορ., Δ1 Α Ορ., Δ15 Β Ορ., Δ17 Β Ορ.
Υποστυλώματα: Κ4 Β Ορ., Κ4 Α Ορ., Κ4 Ισ., Κ1 Β Ορ., Κ1 Α Ορ., Κ1 Ισ.
Τοιχώματα: Τ15 Ισ., Τ15 Α Ορ., Τ2 Ισ., Τ2 Α Ορ., Τ3 Ισ., Τ5 Α Ορ.

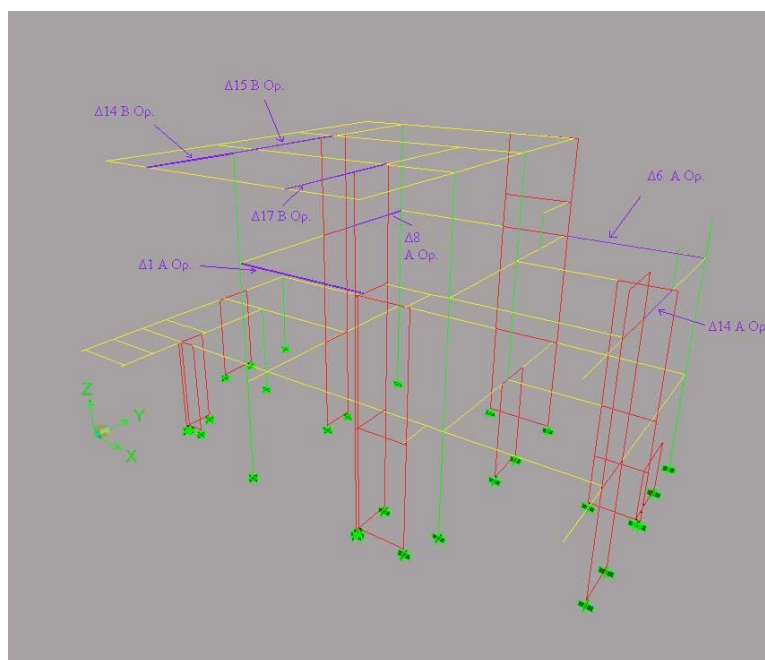
Κατά Υ:

Δοκοί: Δ6 Α Ορ., Δ14 Α Ορ., Δ8 Α Ορ., Δ15 Β Ορ., Δ14 Β Ορ.

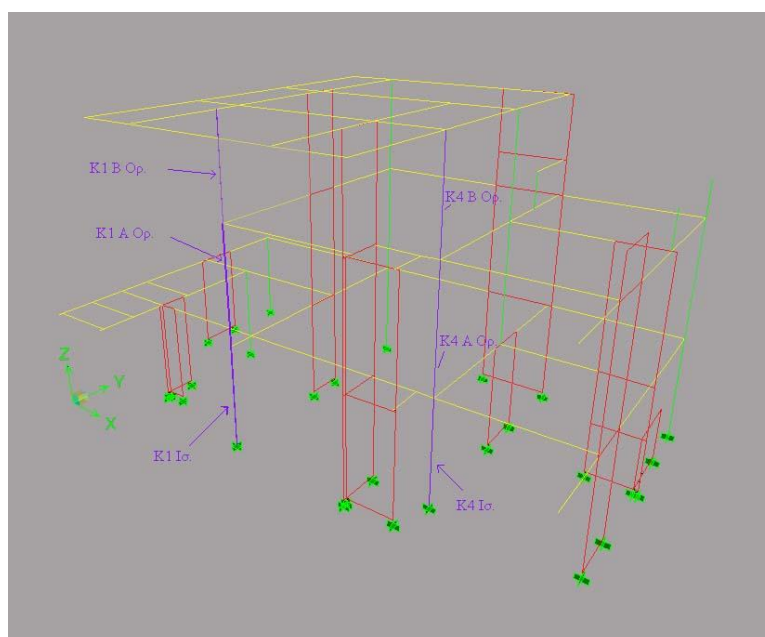
Υποστυλώματα: Κ4 Β Ορ., Κ4 Α Ορ., Κ1 Ισ., Κ1 Β Ορ., Κ1 Α Ορ., Κ1 Ισ.

Τοιχώματα: Τ11 Ισ., Τ5 Α Ορ., Τ15 Ισ., Τ2 Ισ., Τ8 Ισ., Τ5 Ισ.

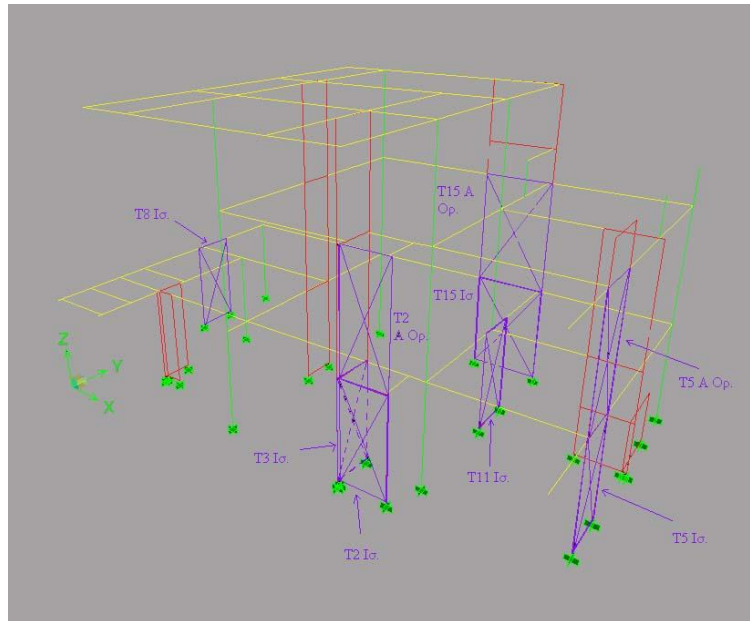
Στις Εικόνες 4.2.4.1-3 φαίνονται οι θέσεις των παραπάνω δομικών στοιχείων στο προσομοίωμα.



Εικ. 4.2.4.1 Δυσμενέστεροι δοκοί στις δύο διευθύνσεις



Εικ. 4.2.4.2 Δυσμενέστερα υποστυλώματα στις δύο διευθύνσεις



Εικ. 4.2.4.3 Δυσμενέστερα τοιχώματα στις δύο διευθύνσεις

Αποτελέσματα για φόρτιση στη διεύθυνση X

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L \pm 1,00 \cdot E_x \pm 0,30 \cdot E_y \pm 0,30 \cdot E_z$

Αρχικά δίνονται οι πίνακες με τα μέγιστα «Drifts» των ορόφων και στη συνέχεια οι πίνακες των εντατικών μεγεθών.

Όροφος	Χαρακτηρ.	Συνδυασμός	Σημείο	X	Y	Z	DriftX	DriftY
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift X	σχ.4.2.3.2 X	59	10,326	1,15	9,96	0,003056	
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift Y	σχ.4.2.3.2 X	71	12,365	9,802	9,96		0,001307
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift X	σχ.4.2.3.2 X	118	16,48	0	6,9	0,002587	
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift Y	σχ.4.2.3.2 X	112	16,605	6,252	6,9		0,001394
Ορ. Ισογείου	Max Drift X	σχ.4.2.3.2 X	59	10,326	1,15	3,2	0,000916	
Ορ. Ισογείου	Max Drift Y	σχ.4.2.3.2 X	112	16,605	6,252	3,2		0,000765

Πιν. 4.2.4.1 Μέγιστα «Drifts» Ορόφων και συντεταγμένες των σημείων για το συνδυασμό κατά X

Σημ.: (Υπενθυμίζεται ότι τα εντατικά μεγέθη που δίνονται σε αυτούς τους πίνακες δεν είναι ταυτόχρονα. Αναλυτικότεροι πίνακες αποτελεσμάτων δίνονται στο παράρτημα (παρ. Β.1, Πιν. Β.1.1-3).

Σημειώνεται ότι για τα υποστυλώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από τον άξονα X (δηλ. για κάμψη κατά Y) ενώ με M3 το ανάποδο. Για τα τοιχώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από άξονα κάθετο στη μεγάλη διάσταση των

τοιχωμάτων (δηλ. για κάμψη κατά τη μεγάλη διάσταση), και με M3 το αντίθετο. Οι τέμνουσες V2, V3 ακολουθούν την ίδια λογική (π.χ. για υποστυλ. V2 είναι η τέμνουσα κατά τον άξονα X). Για τις δοκούς M3 και V2 είναι για κάμψη και τέμνουσα κατά τον κατακόρυφο άξονα. Τέλος οι θλιπτικές αξονικές δυνάμεις είναι αρνητικές (συμβ. με P.)

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά X		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (Α Ορ.)	-623	-244
Δ14 (Α Ορ.)	-660	308
Δ1 (Α Ορ.)	-475	291
Δ15 (Β Ορ.)	211	271
Δ17 (Β Ορ.)	295	142

Πιν. 4.2.4.2 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για φόρτιση κατά X

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά X					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (Β Ορ.)	-166	-79	-436	-214	-47
K4 (Α Ορ.)	-517	-69	-291	-142	-37
K4 (Ισ.)	-845	-40	-275	-113	-29
K1 (Β Ορ.)	-412	-301	-173	-65	157
K1 (Α Ορ.)	-729	-184	86	-47	-86
K1 (Ισ.)	-903	122	-41	10	-46

Πιν. 4.2.4.3 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστυλωμάτων για φόρτιση κατά X

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά X					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T15 (Ισ.)	-676	-47	-2157	-593	20
T15 (Α Ορ.)	-464	-34	-918	-462	18
T2 (Ισ.)	-1657	-49	-1280	-375	-30
T2 (Α Ορ.)	-714	88	1051	511	-44
T3 (Ισ.)	-2033	-59	-583	-219	-29
T5 (Α Ορ.)	-381	69	988	-455	-37

Πιν. 4.2.4.4 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για φόρτιση κατά X

Αποτελέσματα για φόρτιση στη διεύθυνση Y

$$\text{Συνδυασμός: } 1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L \pm 0,30 \cdot E_x \pm 1,00 \cdot E_y \pm 0,30 \cdot E_z$$

Όροφος	Χαρακτηρ.	Συνδυασμός	Σημείο	X	Y	Z	DriftX	DriftY
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift X	σχ.4.2.3.3 Y	59	10,326	1,15	9,96	0,001399	
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift Y	σχ.4.2.3.3 Y	156	5,999	1,542	9,96		0,001855
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift X	σχ.4.2.3.3 Y	118	16,48	0	6,9	0,001149	
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift Y	σχ.4.2.3.3 Y	156	5,999	1,542	6,9		0,001809
Ορ. Ισογείου	Max Drift X	σχ.4.2.3.3 Y	59	10,326	1,15	3,2	0,000463	
Ορ. Ισογείου	Max Drift Y	σχ.4.2.3.3 Y	112	16,605	6,252	3,2		0,000962

Πιν. 4.2.4.5 Μέγιστα «Drifts» Ορόφων και συντεταγμένες των σημείων για το συνδυασμό κατά Y

Σημ.: (Υπενθυμίζεται ότι τα εντατικά μεγέθη που δίνονται σε αυτούς τους πίνακες δεν είναι ταυτόχρονα. Αναλυτικότεροι πίνακες αποτελεσμάτων δίνονται στο παράρτημα (παρ. Β.1, Πιν. Β.1.4-5).

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Y		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (Α Ορ.)	-412	-169
Δ14 (Α Ορ.)	-788	385
Δ8 (Α Ορ.)	350	271
Δ15 (Β Ορ.)	263	314
Δ14 (Β Ορ.)	273	134

Πιν. 4.2.4.6 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για φόρτιση κατά Y

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Y					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (Β Ορ.)	-121	-76	-223	-115	-47
K4 (Α Ορ.)	-355	-77	-188	-107	-41
K4 (Ισ.)	-610	-47	-173	-93	-30
K1 (Β Ορ.)	-463	-349	-90	-34	182
K1 (Α Ορ.)	-905	-272	44	-26	-144
K1 (Ισ.)	-1097	193	-22	11	-36

Πιν. 4.2.4.7 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστυλωμάτων για φόρτιση κατά Y

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T11 (Ισ.)	-571	26	1374	533	13
T5 (Α Ορ.)	-490	-27	1181	-512	-14
T5 (Ισ.)	-806	-34	1096	269	-20
T2 (Ισ.)	-1690	-56	-849	-341	-25
T8 (Ισ.)	-209	23	1318	542	12
T15 (Ισ.)	-716	-74	-1018	-414	28

Πιν. 4.2.4.8 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για φόρτιση κατά Υ

4.3 Ανάλυση χρονοϊστορίας

4.3.1 Σεισμικές Καταγραφές

Για την ανάλυση χρονοϊστορίας χρησιμοποιήθηκαν τα επιταχυνσιογραφήματα δύο ισχυρών σεισμών, του Kobe (Takatori station 1995) που έδωσε χαμηλόσυχη καταγραφή και του Northridge (Lake Hughes #12A station και Rinaldi Station 1994), με την πρώτη καταγραφή να είναι πιο υψίσυχη και τη δεύτερη να περιέχει έναν εμφανή ημιτονοειδή παλμό. Για απλοποίηση επιλέχθηκαν μόνο τρία φάσματα και όχι μια σειρά από τα οποία θα προέκυπτε ένας γεωμετρικός μέσος όρος.

Τα φάσματα και τα επιταχυνσιογραφήματα ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων του «Pacific Earthquake Engineering Research Center» (PEER) όπου παρέχεται πληθώρα σεισμικών καταγραφών και υπάρχει η δυνατότητα τα φάσματα να προσαρμοστούν κατάλληλα σε ένα φάσμα που έχει ορισθεί από το χρήστη (εδώ: το φάσμα του EC8, βλ. Εικ. 4.2.2.1).

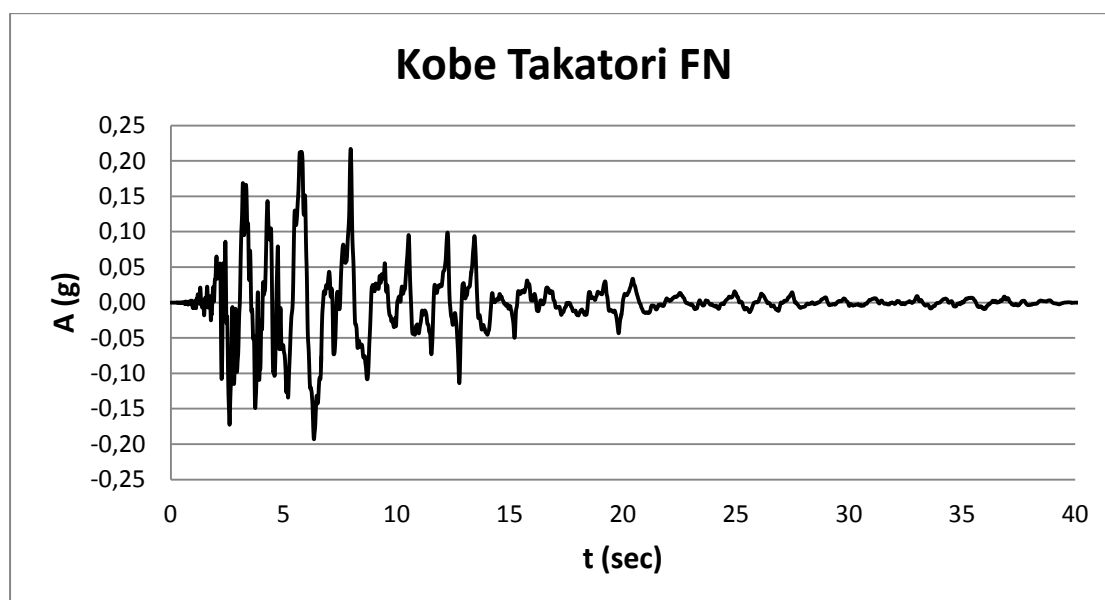
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι προσαρμογής του φάσματος. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ένα διάστημα (0,5T , 1,5T) πάνω στο οποίο προσαρμόσθηκε το φάσμα της χρονοϊστορίας μέσω ενός συντελεστή που ελαχιστοποιεί το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των δύο φασμάτων, στο φάσμα του EC8 (ο υπολογισμός του μέσου τετραγωνικού σφάλματος δίνεται στην τεχνική έκθεση του «PEER Ground Motion Database» (PGMD)). Με τον συντελεστή αυτόν πολ/θηκαν τα επιταχυνσιογραφήματα πριν εισαχθούν στο προσομοίωμα. Τα επιταχυνσιογραφήματα της σεισμικής καταγραφής του Kobe πολ/θηκαν με συντελεστή 0,3182, του Northridge LH #12A με 1,0023 και του Northridge Rinaldi με 0,3372.

Ο καταγραφές από τους σταθμούς δίνονται σε τρεις συνιστώσες οι οποίες συνδυάστηκαν με τις διευθύνσεις X,Y,Z του προσομοιώματος:

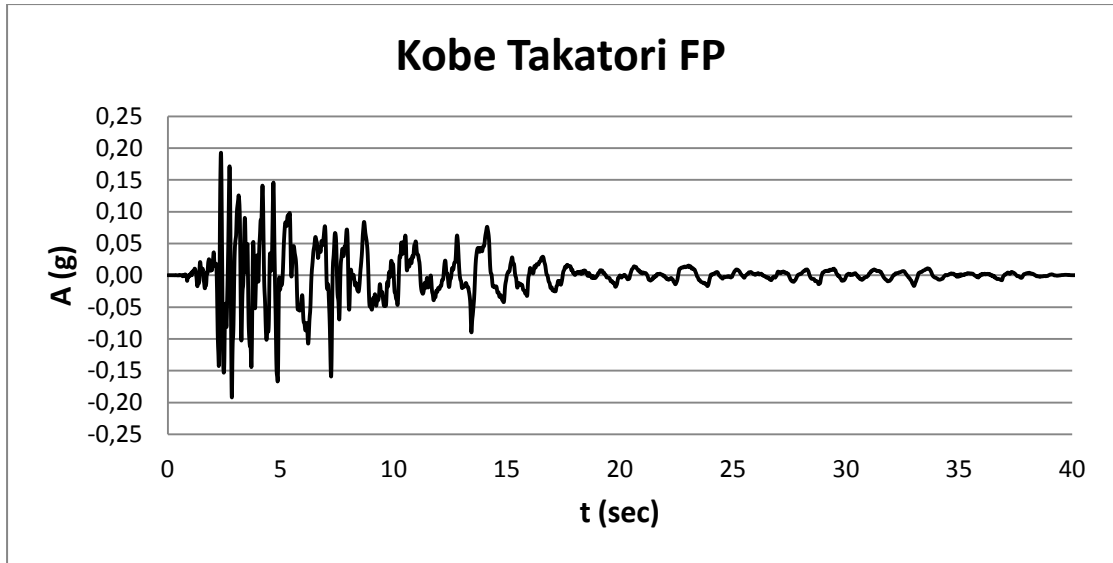
1. Κάθετα στο ρήγμα (Fault Normal) – Διεύθυνση X
2. Παράλληλα στο ρήγμα (Fault Parallel) – Διεύθυνση Y
3. Κατακόρυφα (Vertical) – Διεύθυνση Z

Παρακάτω δίνονται τα επιταχυνσιογραφήματα και τα φάσματα των τριών συνιστωσών των δύο σεισμικών καταγραφών πολ/μένα με το συντελεστή προσαρμογής.

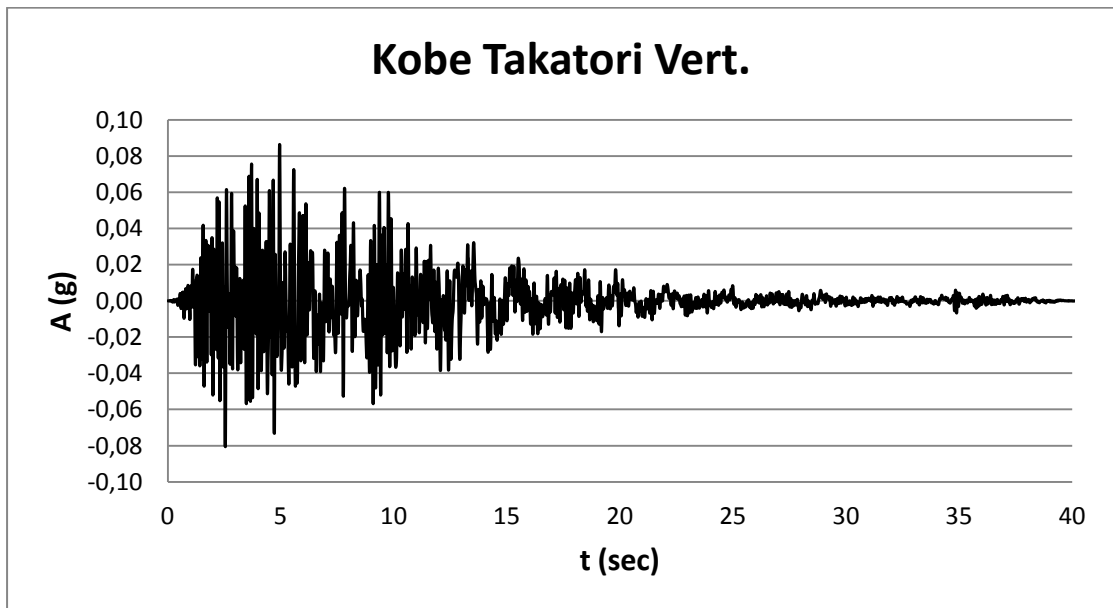
Kobe Takatori (1995)



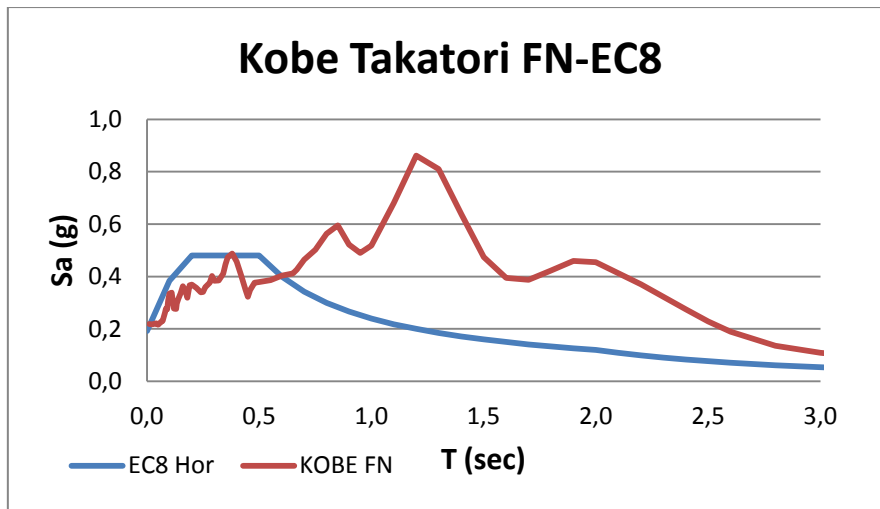
Εικ. 4.3.1.1 Επιταχυνσιογράφημα κάθετα στο ρήγμα (Kobe Takatori 1995)



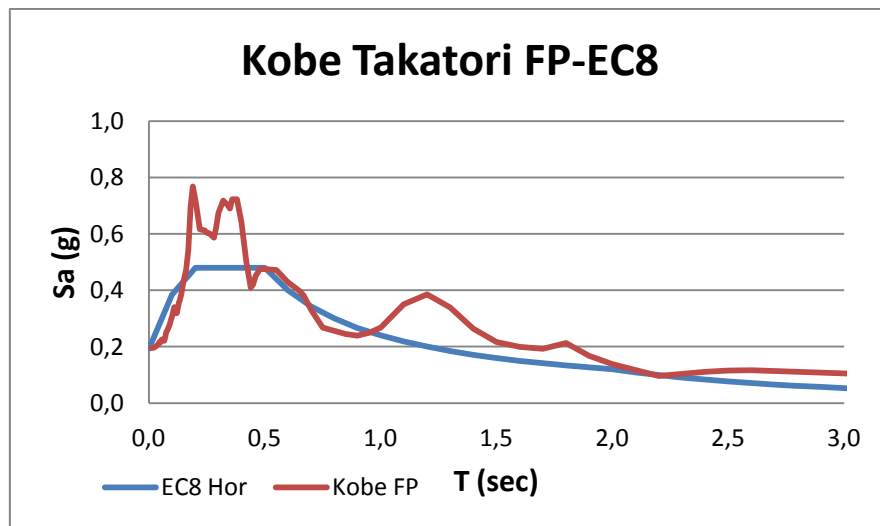
Εικ. 4.3.1.2 Επιταχυνσιογράφημα παράλληλα στο ρήγμα (Kobe Takatori 1995)



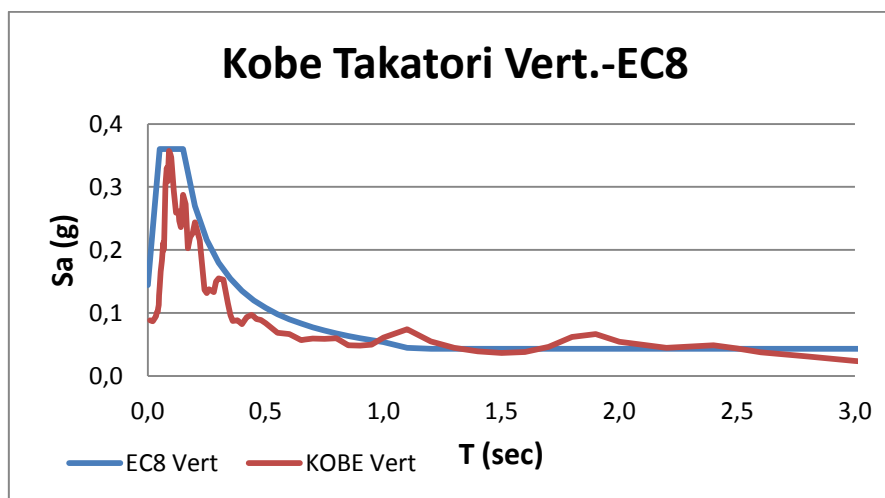
Εικ. 4.3.1.3 Επιταχυνσιογράφημα κατακόρυφα (Kobe Takatori 1995)



Εικ. 4.3.1.4 Σύγκριση φασμάτων Kobe FN με EC8

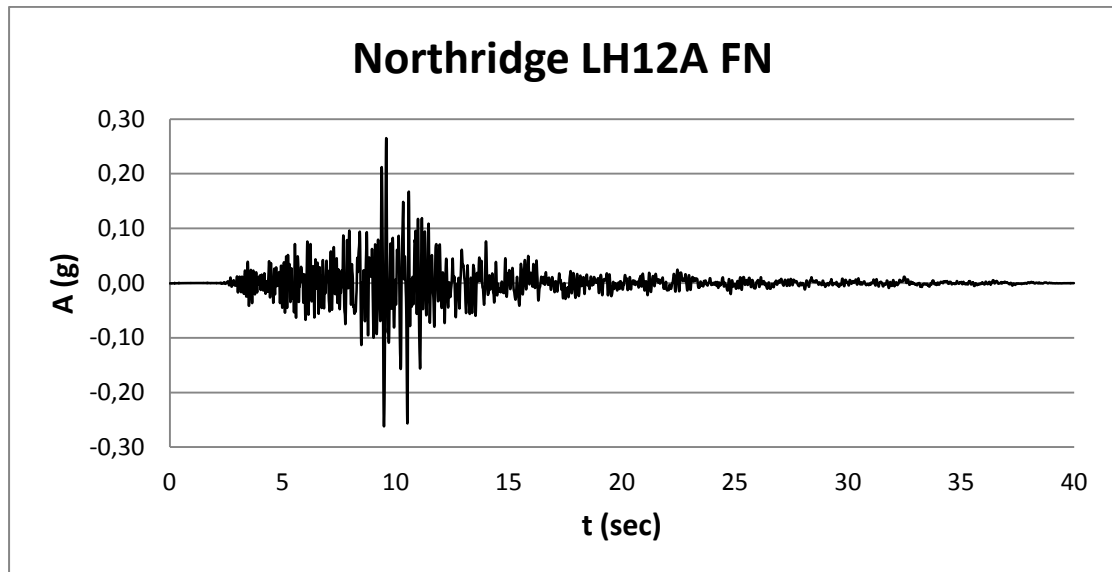


Εικ. 4.3.1.5 Σύγκριση φασμάτων Kobe FP με EC8

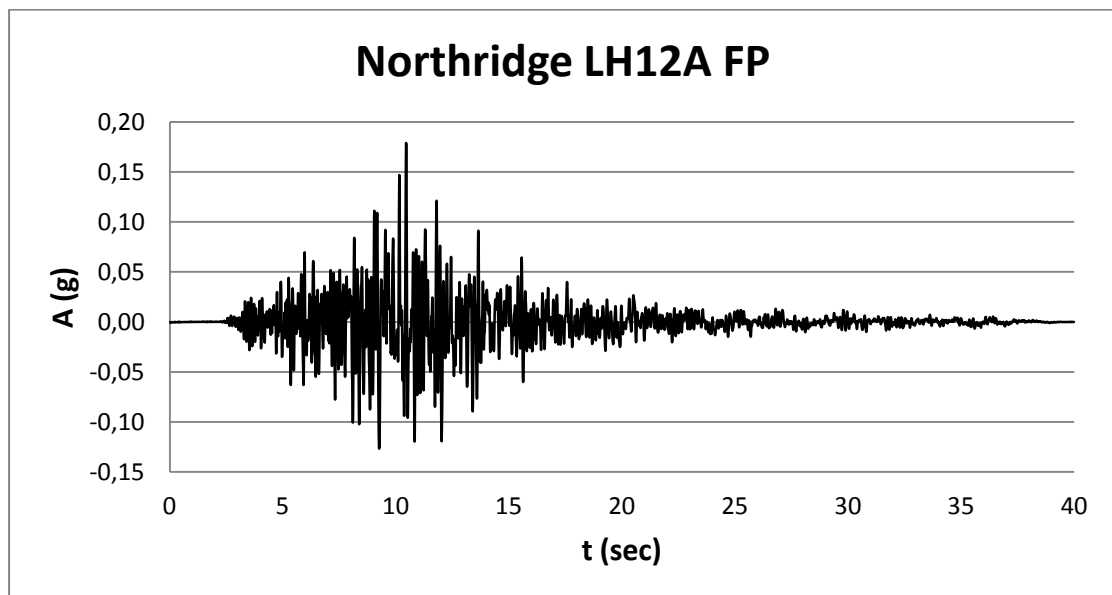


Εικ. 4.3.1.6 Σύγκριση φασμάτων Kobe Vert. Με EC8

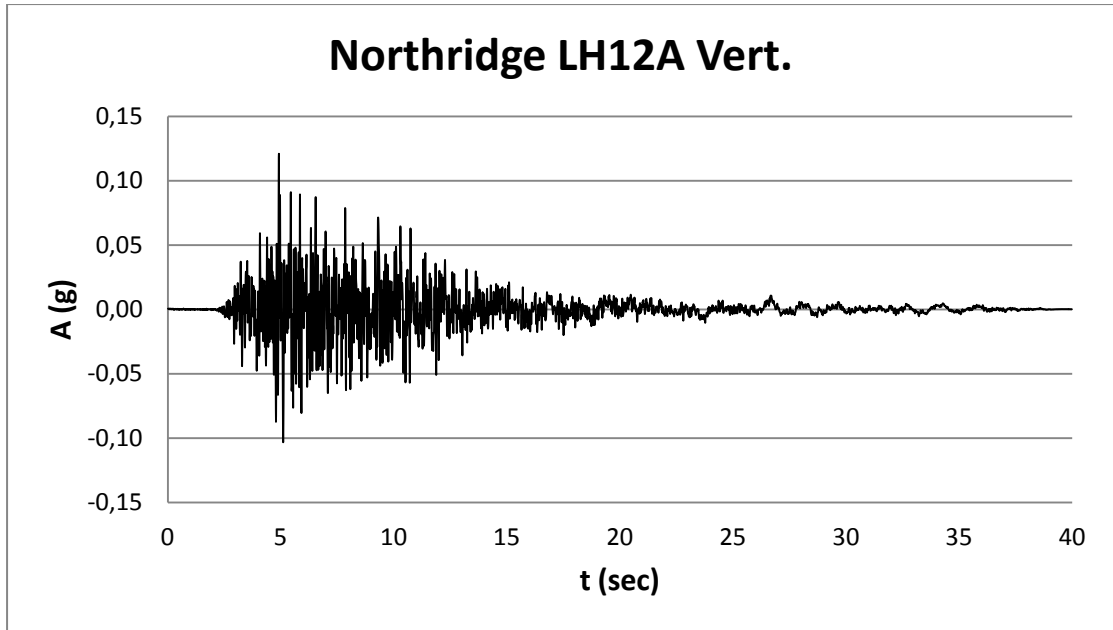
Northridge Lake Hughes #12A (1994)



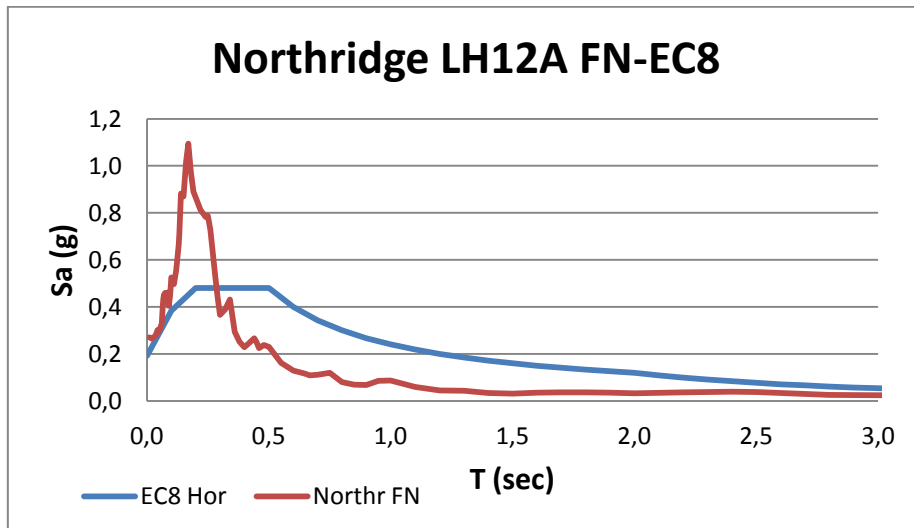
Εικ. 4.3.1.7 Επιταχυνσιογράφημα κάθετα στο ρήγμα (Northridge LH12A 1994)



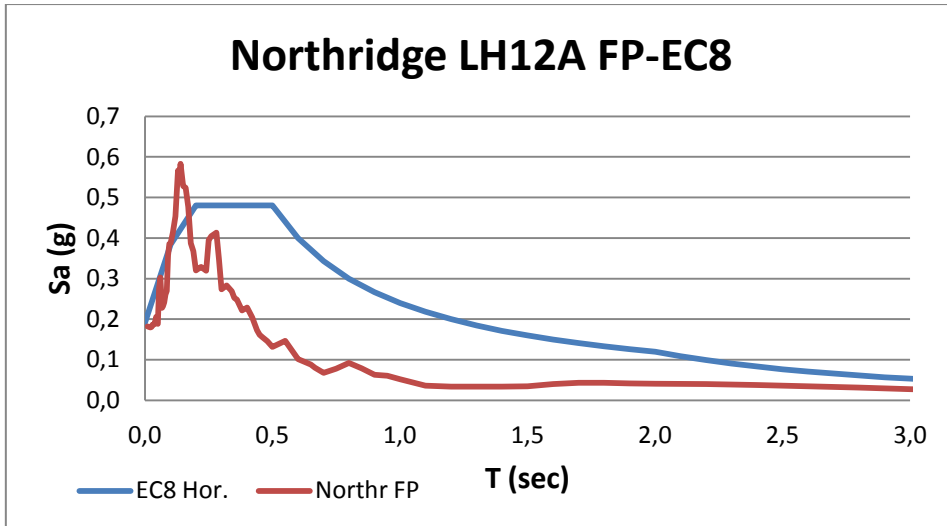
Εικ. 4.3.1.8 Επιταχυνσιογράφημα παράλληλα στο ρήγμα (Northridge LH12A 1994)



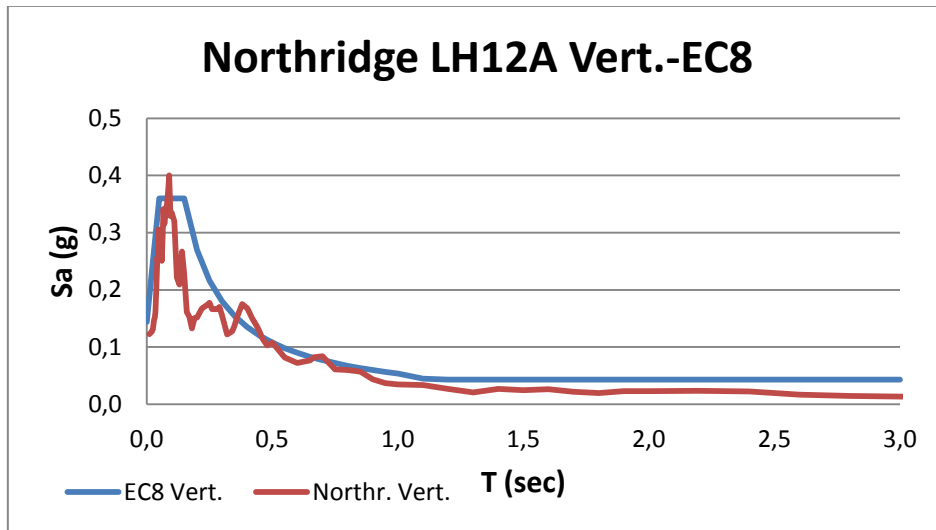
Εικ. 4.3.1.9 Επιταχυνσιογράφημα κατακόρυφα (Northridge LH12A 1994)



Εικ. 4.3.1.10 Σύγκριση φασμάτων Northridge LH12A FN με EC8

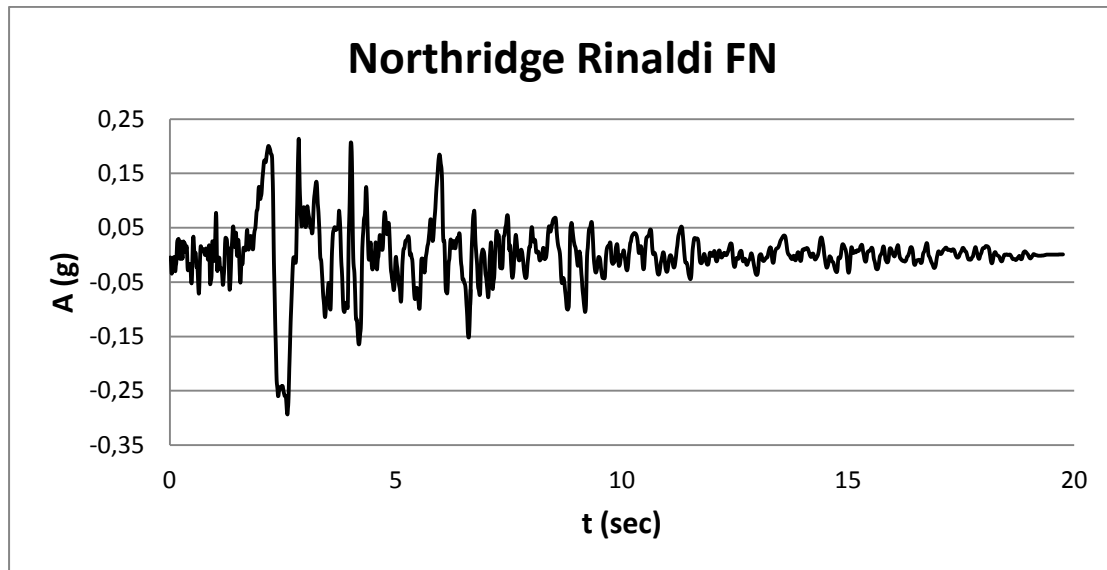


Εικ. 4.3.1.11 Σύγκριση φασμάτων Northridge LH12A FP με EC8

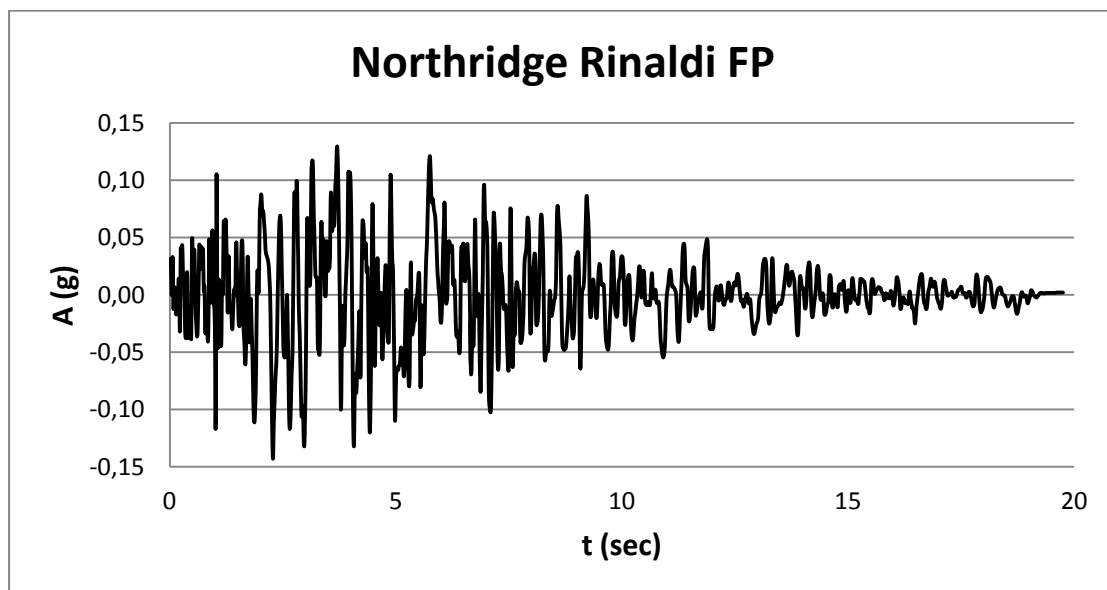


Εικ. 4.3.1.12 Σύγκριση φασμάτων Northridge LH12A Vert. με EC8

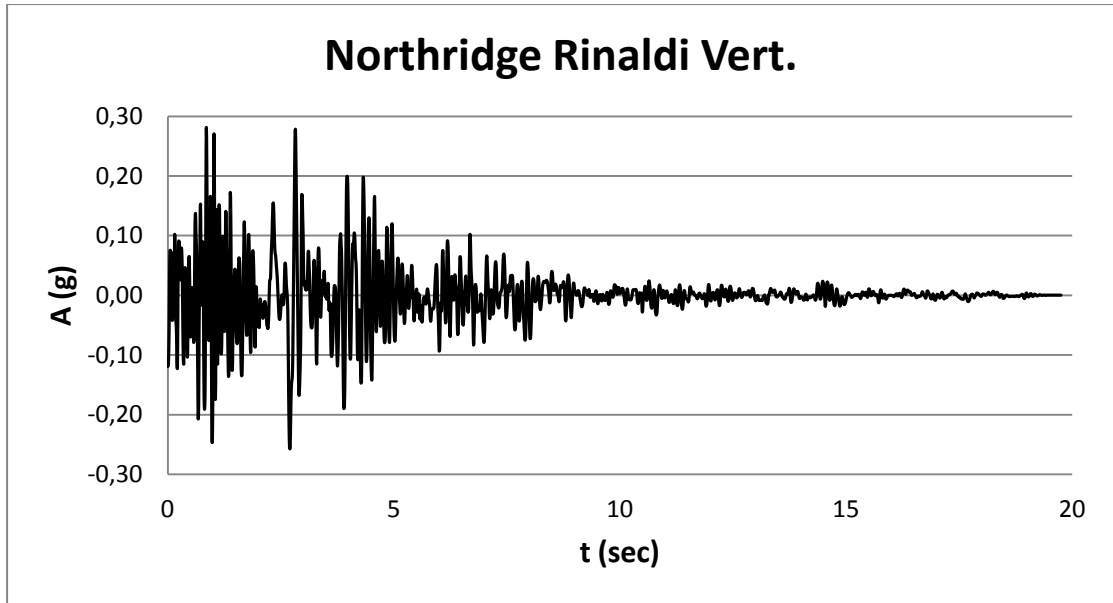
Northridge Rinaldi Station (1994)



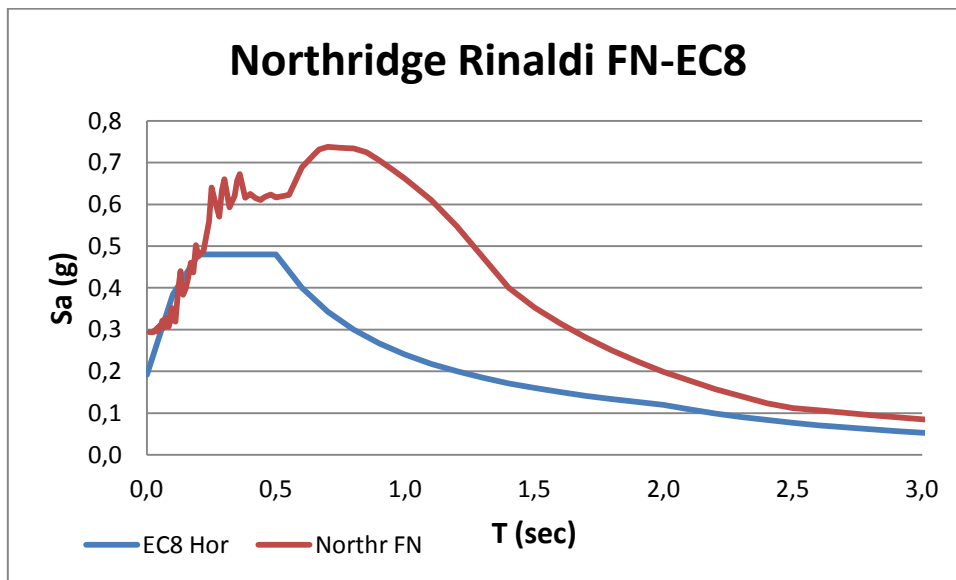
Εικ. 4.3.1.13 Επιταχυνσιογράφημα κάθετα στο ρήγμα (Northridge Rinaldi 1994)



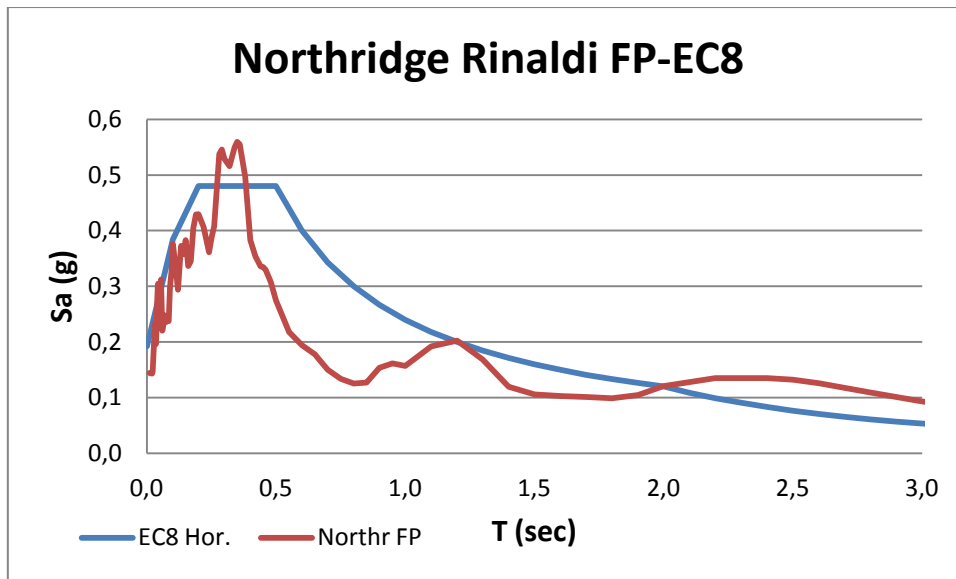
Εικ. 4.3.1.14 Επιταχυνσιογράφημα παράλληλα στο ρήγμα (Northridge Rinaldi 1994)



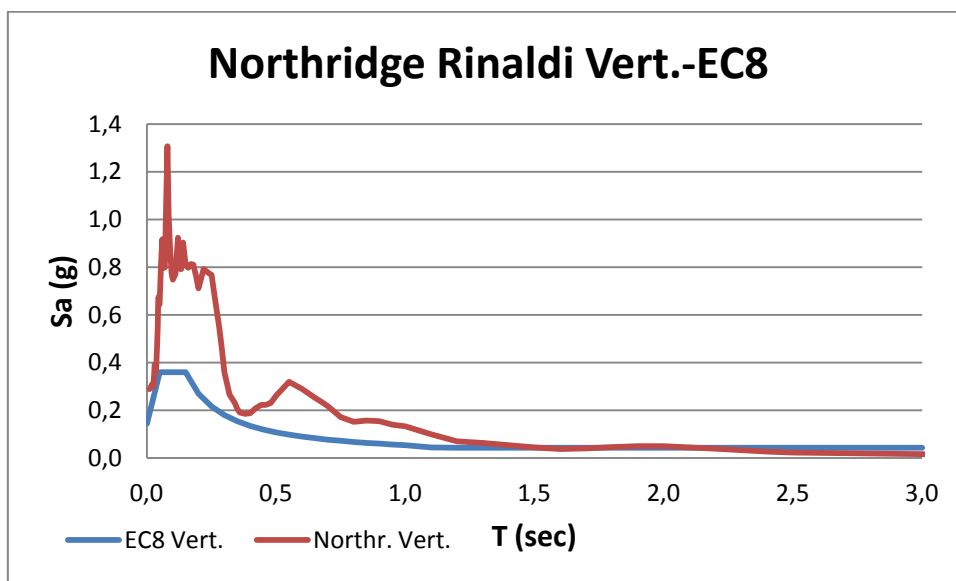
Εικ. 4.3.1.15 Επιταχυνσιογράφημα κατακόρυφα (Northridge Rinaldi 1994)



Εικ. 4.3.1.16 Σύγκριση φασμάτων Northridge Rinaldi FN με EC8



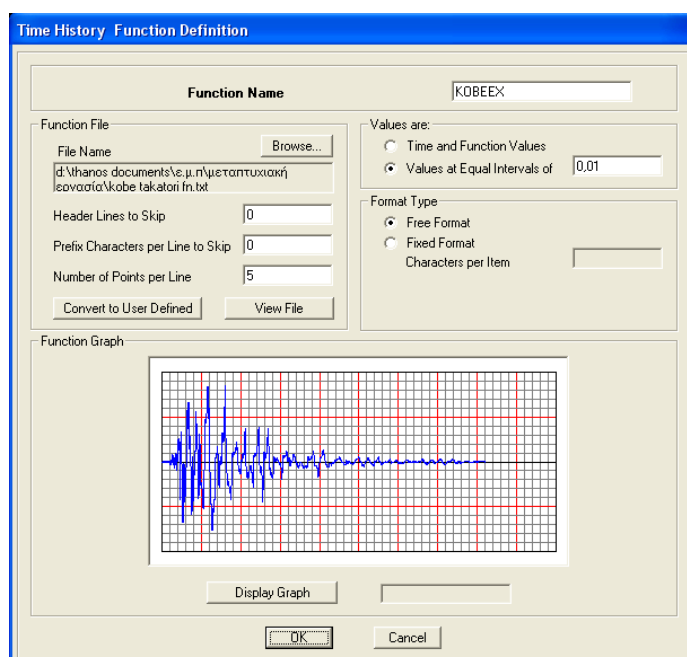
Εικ. 4.3.1.17 Σύγκριση φασμάτων Northridge Rinaldi FP με EC8



Εικ. 4.3.1.18 Σύγκριση φασμάτων Northridge Rinaldi Vert. με EC8

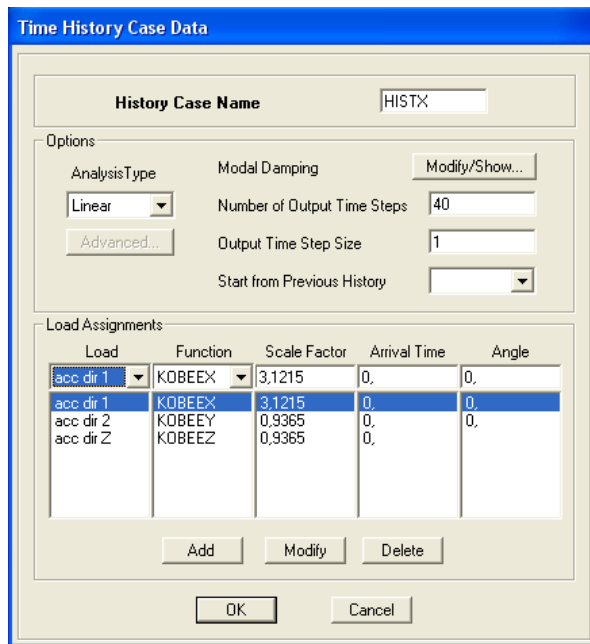
4.3.2 Καθορισμός συνδυασμών χρονοϊστορίας

Τα επιταχυνσιογραφήματα εισάγονται στο λογισμικό με την εντολή «Define<Time History Functions>...». Από την καρτέλα που εμφανίζεται επιλέγεται το είδος της συνάρτησης από τις οποίες είναι και η δυνατότητα εισαγωγής συνάρτησης δημιουργημένης από το χρήστη (Function from file), η οποία γίνεται στην παρούσα εργασία (βλ. Εικ. 4.3.2.1). Με αυτόν τον τρόπο εισάγονται τα τρία επιταχυνσιογραφήματα της κάθε σεισμικής καταγραφής.



Εικ. 4.3.2.1 Εισαγωγή επιταχυνσιογραφήματος ως αρχείο από το χρήστη

Στη συνέχεια αντιστοιχίζονται τα εισαχθέντα επιταχυνσιογραφήματα με τις αντίστοιχες διευθύνσεις X, Y, Z και οι συντελεστές με τους οποίους θα πολ/σιαστεί το κάθε ένα (βλ. Εικ. 4.3.2.2) με την εντολή «Define>Time History Cases>Add New...».



Εικ. 4.3.2.2 Αντιστοίχιση επιταχυνσιογραφημάτων με την κάθε διεύθυνση και εισαγωγή άλλων δεδομένων

Σημ.: (Οι συντελεστές με τους οποίους πολ/άζονται τα επιταχ. εξαρτώνται από τις μονάδες με τις οποίες εισάχθηκαν, τους συντελεστές προσαρμογής ώστε να προσαρμοστούν στο φάσμα του κανονισμού (βλ. παρ. 4.3.1) και τους συντελεστές της κάθε διεύθυνσης στον τελικό συνδυασμό. Για παράδειγμα, ο συντελεστής προσαρμογής της σεισμικής καταγραφής του Kobe είναι 0,3182. Επειδή τα επιταχ. εισάχθηκαν με μονάδες (g) πολ/άζεται επιπλέον με 9,81 m/sec² που έχει ως αποτέλεσμα ένα συντ. 3,12. Αν το επιταχ. συνδυάζεται με διεύθυνση η κύρια του συνδυασμού πολ/άζεται επίσης με 0,3 δίνοντας 0,936.

Στην ίδια καρτέλα επιλέγονται και άλλα δεδομένα όπως το είδος της ανάλυσης (γραμμική, μη γραμμική κλπ.) η απόσβεση για όλες ή για κάθε μία από τις ιδιομορφές (εδώ 0,05 για όλες) κα.)

Με τον παραπάνω τρόπο δημιουργούνται τρεις συνδυασμοί των τριών διευθύνσεων:

$$THistX = \pm 1,00 \cdot AccX \pm 0,30 AccY \pm 0,30 AccZ \quad \text{σχ. 4.3.2.1}$$

$$THistY = \pm 0,30 \cdot AccX \pm 1,00 AccY \pm 0,30 AccZ \quad \text{σχ. 4.3.2.2}$$

$$THistZ = \pm 0,30 \cdot AccX \pm 0,30 AccY \pm 1,00 AccZ \quad \text{σχ. 4.3.2.3}$$

Οι παραπάνω συνδυάζονται αργότερα με τις στατικές φορτίσεις με την εντολή «Define>Load Combinations>Add New...» δίνοντας τους εξής συνδυασμούς φόρτισης που επιβλήθηκαν στο προσομοίωμα:

$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistX$	σχ. 4.3.2.4
$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistY$	σχ. 4.3.2.5
$1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistZ$	σχ. 4.3.2.6

Όπου: Dead (D) τα Μόνιμα, Live (L) τα κινητά και THistX, THistY, THistZ οι συνδυασμοί σχ. 4.3.2.1-3.

Από τους παραπάνω συνδυασμούς οι δυσμενέστεροι είναι οι σχ. 4.3.2.4-5, επομένως τα αποτελέσματα που θα παρουσιασθούν στη συνέχεια θα είναι αυτών των δύο.

4.3.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Σημ.: (Υπενθυμίζεται ότι τα εντατικά μεγέθη που δίνονται σε αυτούς τους πίνακες δεν είναι ταυτόχρονα. Αναλυτικότεροι πίνακες αποτελεσμάτων δίνονται στο παράρτημα (παρ. Β.2, Πιν. Β.2.1-6).

Σημειώνεται ότι για τα υποστυλώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από τον άξονα X (δηλ. για κάμψη κατά Y) ενώ με M3 το ανάποδο. Για τα τοιχώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από άξονα κάθετο στη μεγάλη διάσταση των τοιχωμάτων (δηλ. για κάμψη κατά τη μεγάλη διάσταση), και με M3 το αντίθετο. Οι τέμνουσες V2, V3 ακολουθούν την ίδια λογική (π.χ. για υποστυλ. V2 είναι η τέμνουσα κατά τον άξονα X). Για τις δοκούς M3 και V2 είναι για κάμψη και τέμνουσα κατά τον κατακόρυφο άξονα. Τέλος οι θλιπτικές αξονικές δυνάμεις είναι αρνητικές (συμβ. με P.)

Αποτελέσματα για χρονοϊστορία από Kobe Takatori 1995

Διεύθυνση X

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistX$

Όπου: $THistX = \pm 1,00 \cdot AccX \pm 0,30 AccY \pm 0,30 AccZ$

Υπενθυμίζεται ότι το «Drift» ορίζεται ως η διαφορά των μετακινήσεων δύο αντίστοιχων κόμβων σε γειτονικούς ορόφους διαιρεμένη με την υψομετρική διαφορά των ορόφων.

Όροφος	Χαρακτηρ.	Συνδυασμός	Σημείο	X	Y	Z	DriftX	DriftY
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.4 Χ	59	10,326	1,15	9,96	0,001935	
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.4 Χ	71	12,365	9,802	9,96		0,000578
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.4 Χ	118	16,48	0	6,9	0,001918	
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.4 Χ	112	16,605	6,252	6,9		0,000738
Ορ. Ισογείου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.4 Χ	59	10,326	1,15	3,2	0,00075	
Ορ. Ισογείου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.4 Χ	112	16,605	6,252	3,2		0,000373

Πιν. 4.3.3.1 Μέγιστα «Drifts» Ορόφων και συντεταγμένες των σημείων για φόρτιση χρ. Kobe κατά Χ

Παρακάτω δίνονται τα εντατικά μεγέθη για τα ίδια δομικά στοιχεία που δόθηκαν και στη φασματική ανάλυση (βλ. παρ. 4.2.4).

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Χ		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (Α Ορ.)	-539	-221
Δ14 (Α Ορ.)	-308	148
Δ1 (Α Ορ.)	223	-224
Δ15 (Β Ορ.)	85	141
Δ17 (Β Ορ.)	125	72

Πιν. 4.3.3.2 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για φόρτιση χρ. Kobe κατά Χ

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (Β Ορ.)	-80	-46	-242	-120	-24
K4 (Α Ορ.)	-267	-48	-237	-115	-26
K4 (Ισ.)	-439	26	-226	-91	-19
K1 (Β Ορ.)	-238	-71	-117	-43	37
K1 (Α Ορ.)	-544	-78	71	-38	-41
K1 (Ισ.)	-689	-53	-32	5	-32

Πιν. 4.3.3.3 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστυλωμάτων για φόρτιση χρ. Kobe κατά Χ

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T15 (Ισ.)	-528	-21	-1912	-456	-8
T15 (Α Ορ.)	-424	-15	-709	-377	-7
T2 (Ισ.)	-896	36	-1064	-311	-21
T2 (Α Ορ.)	-423	66	-558	-230	-33
T3 (Ισ.)	-1504	42	-289	-112	16
T5 (Α Ορ.)	-224	-49	458	-217	24

Πιν. 4.3.3.4 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για φόρτιση χρ. Kobe κατά Χ

Διεύθυνση Υ

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistY$

Όπου: $THistX = \pm 0,30 \cdot AccX \pm 1,00 AccY \pm 0,30 AccZ$

Όροφος	Χαρακτηρ.	Συνδυασμός	Σημείο	X	Y	Z	DriftX	DriftY
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.5 Υ	59	10,326	1,15	9,96	0,000536	
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.5 Υ	156	5,999	1,542	9,96		0,001021
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.5 Υ	118	16,48	0	6,9	0,000632	
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.5 Υ	156	5,999	1,542	6,9		0,001045
Ορ. Ισογείου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.5 Υ	59	10,326	1,15	3,2	0,000302	
Ορ. Ισογείου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.5 Υ	4	16,48	9,802	3,2		0,000549

Πιν. 4.3.3.5 Μέγιστα «Drifts» Ορόφων και συντεταγμένες των σημείων για φόρτιση χρ. Kobe κατά Υ

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Υ		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (Α Ορ.)	-203	-118
Δ14 (Α Ορ.)	-454	233
Δ8 (Α Ορ.)	-271	196
Δ15 (Β Ορ.)	151	192
Δ14 (Β Ορ.)	127	73

Πιν. 4.3.3.6 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για φόρτιση χρ. Kobe κατά Υ

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Υ					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (B Ορ.)	-210	-35	-97	-51	-20
K4 (A Ορ.)	-346	-43	-127	-66	-23
K4 (Ισ.)	-294	-26	-109	-55	-15
K1 (B Ορ.)	-287	-134	-42	-14	-68
K1 (A Ορ.)	-655	-171	31	-16	-92
K1 (Ισ.)	-839	-116	-12	4	-22

Πιν. 4.3.3.7 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστυλωμάτων για φόρτιση χρ. Kobe κατά Υ

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T11 (Ισ.)	-519	19	-766	-257	10
T5 (A Ορ.)	-353	-13	651	-269	6
T5 (Ισ.)	-608	13	-618	-113	-6
T2 (Ισ.)	-1140	-29	-508	-185	-12
T8 (Ισ.)	-143	17	-640	-260	8
T15 (Ισ.)	-561	-44	-597	207	-16

Πιν. 4.3.3.8 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για φόρτιση χρ. Kobe κατά Υ

Αποτελέσματα για χρονοϊστορία από Northridge Lake Hughes #12A 1994

Διεύθυνση Χ

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistX$

Όπου: $THistX = \pm 1,00 \cdot AccX \pm 0,30 AccY \pm 0,30 AccZ$

Όροφος	Χαρακτηρ.	Συνδυασμός	Σημείο	X	Y	Z	DriftX	DriftY
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.4 X	59	10,326	1,15	9,96	0,001268	
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.4 X	156	5,999	1,542	9,96		0,000462
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.4 X	118	16,48	0	6,9	0,001345	
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.4 X	112	16,605	6,252	6,9		0,000643
Ορ. Ισογείου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.4 X	59	10,326	1,15	3,2	0,000521	
Ορ. Ισογείου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.4 X	112	16,605	6,252	3,2		0,000343

Πιν. 4.3.3.9 Μέγιστα «Drifts» Ορόφων και συντεταγμένες των σημείων για φόρτιση χρ. Northridge LH#12A κατά Χ

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Χ		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (Α Ορ.)	-330	-145
Δ14 (Α Ορ.)	-285	131
Δ1 (Α Ορ.)	-284	215
Δ15 (Β Ορ.)	-61	144
Δ17 (Β Ορ.)	134	75

Πιν. 4.3.3.10 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για φόρτιση χρ. Northridge LH#12A κατά Χ

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (Β Ορ.)	-96	-35	168	79	-18
K4 (Α Ορ.)	-329	-38	-181	-88	-21
K4 (Ισ.)	-543	21	-160	-68	-15
K1 (Β Ορ.)	-245	-100	-82	-29	-37
K1 (Α Ορ.)	-514	-83	53	-29	-35
K1 (Ισ.)	-667	-47	-23	4	-31

Πιν. 4.3.3.11 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστυλωμάτων για φόρτιση χρ. Northridge LH#12A κατά Χ

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T15 (Ισ.)	-606	-19	-1145	-270	9
T15 (Α Ορ.)	-413	-12	-438	-230	6
T2 (Ισ.)	-849	26	-725	-205	-16
T2 (Α Ορ.)	-435	49	440	231	15
T3 (Ισ.)	-1208	28	-240	-90	-13
T5 (Α Ορ.)	-210	-35	-445	207	-19

Πιν. 4.3.3.12 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για φόρτιση χρ. Northridge LH#12A κατά Χ

Διεύθυνση Y

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistY$

Όπου: $THistX = \pm 0,30 \cdot AccX \pm 1,00 AccY \pm 0,30 AccZ$

Όροφος	Χαρακτηρ.	Συνδυασμός	Σημείο	X	Y	Z	DriftX	DriftY
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.5 Y	59	10,326	1,15	9,96	0,000353	
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.5 Y	71	12,365	9,802	9,96		0,000569
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.5 Y	118	16,48	0	6,9	0,000443	
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.5 Y	112	16,605	6,252	6,9		0,00069
Ορ. Ισογείου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.5 Y	59	10,326	1,15	3,2	0,000233	
Ορ. Ισογείου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.5 Y	4	16,48	9,802	3,2		0,000408

Πιν. 4.3.3.13 Μέγιστα «Drifts» Ορόφων και συντεταγμένες των σημείων για φόρτιση χρ. Northridge LH#12A κατά Y

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Y		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (Α Ορ.)	-187	-92
Δ14 (Α Ορ.)	-335	168
Δ8 (Α Ορ.)	-167	150
Δ15 (Β Ορ.)	104	165
Δ14 (Β Ορ.)	149	82

Πιν. 4.3.3.14 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για φόρτιση χρ. Northridge LH#12A κατά Y

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Y					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (Β Ορ.)	-74	-31	-72	-39	-16
K4 (Α Ορ.)	-245	-37	-111	-59	-20
K4 (Ισ.)	-411	-21	-90	-50	-14
K1 (Β Ορ.)	-277	-65	-33	-11	22
K1 (Α Ορ.)	-604	-106	25	-12	-61
K1 (Ισ.)	-776	-84	-9	4	24

Πιν. 4.3.3.15 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστυλωμάτων για φόρτιση χρ. Northridge LH#12A κατά Y

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Y					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T11 (Ισ.)	-508	14	-507	-156	7
T5 (Α Ορ.)	-273	-14	473	-199	-7
T5 (Ισ.)	-489	16	-440	74	-9
T2 (Ισ.)	-726	-24	-395	-145	-11
T8 (Ισ.)	-115	11	-327	-130	5
T15 (Ισ.)	-563	-30	-456	-77	-11

Πιν. 4.3.3.16 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για φόρτιση χρ. Northridge LH#12A κατά Y

Αποτελέσματα για χρονοϊστορία από Northridge Rinaldi 1994

Διεύθυνση X

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistX$

Όπου: $THistX = \pm 1,00 \cdot AccX \pm 0,30 AccY \pm 0,30 AccZ$

Όροφος	Χαρακτηρ.	Συνδυασμός	Σημείο	X	Y	Z	DriftX	DriftY
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.4 X	59	10,326	1,15	9,96	0,001935	
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.4 X	71	12,365	9,802	9,96		0,000578
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.4 X	118	16,48	0	6,9	0,001918	
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.4 X	112	16,605	6,252	6,9		0,000738
Ορ. Ισογείου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.4 X	59	10,326	1,15	3,2	0,00075	
Ορ. Ισογείου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.4 X	112	16,605	6,252	3,2		0,000373

Πιν. 4.3.3.17 Μέγιστα «Drifts» Ορόφων και συντεταγμένες των σημείων για φόρτιση χρ. Northridge Rinaldi κατά X

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Χ		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (Α Ορ.)	-384	-164
Δ14 (Α Ορ.)	-339	153
Δ1 (Α Ορ.)	-322	229
Δ15 (Β Ορ.)	121	165
Δ17 (Β Ορ.)	150	82

Πιν. 4.3.3.18 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για φόρτιση χρ. Northridge Rinaldi κατά Χ

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (Β Ορ.)	-106	-40	-177	-89	-20
K4 (Α Ορ.)	-347	-44	-205	-101	-24
K4 (Ισ.)	-562	24	-187	-78	-18
K1 (Β Ορ.)	-259	-132	-91	-33	-62
K1 (Α Ορ.)	-545	-116	60	-32	-53
K1 (Ισ.)	-695	-52	-26	4	-32

Πιν. 4.3.3.19 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστυλωμάτων για φόρτιση χρ. Northridge Rinaldi κατά Χ

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T15 (Ισ.)	-569	-23	-1342	-313	-9
T15 (Α Ορ.)	-394	-15	-521	-278	8
T2 (Ισ.)	-1139	30	-864	-251	-19
T2 (Α Ορ.)	-524	57	597	301	-29
T3 (Ισ.)	-1323	34	-290	-130	13
T5 (Α Ορ.)	-256	-39	495	-225	-21

Πιν. 4.3.3.20 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για φόρτιση χρ. Northridge Rinaldi κατά Χ

Διεύθυνση Y

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistY$

Όπου: $THistX = \pm 0,30 \cdot AccX \pm 1,00 AccY \pm 0,30 AccZ$

Όροφος	Χαρακτηρ.	Συνδυασμός	Σημείο	X	Y	Z	DriftX	DriftY
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.5 Y	59	10,326	1,15	9,96	0,000536	
Ορ. Β Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.5 Y	156	5,999	1,542	9,96		0,001021
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.5 Y	118	16,48	0	6,9	0,000632	
Ορ. Α Ορόφου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.5 Y	156	5,999	1,542	6,9		0,001045
Ορ. Ισογείου	Max Drift X	σχ. 4.3.2.5 Y	59	10,326	1,15	3,2	0,000302	
Ορ. Ισογείου	Max Drift Y	σχ. 4.3.2.5 Y	4	16,48	9,802	3,2		0,000549

Πιν. 4.3.3.21 Μέγιστα «Drifts» Ορόφων και συντεταγμένες των σημείων για φόρτιση χρ. Northridge Rinaldi κατά Y

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Y		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (Α Ορ.)	-192	-94
Δ14 (Α Ορ.)	-383	190
Δ8 (Α Ορ.)	-221	173
Δ15 (Β Ορ.)	134	179
Δ14 (Β Ορ.)	141	78

Πιν. 4.3.3.22 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για φόρτιση χρ. Northridge Rinaldi κατά Y

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Y					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (Β Ορ.)	-78	23	-83	-44	-18
K4 (Α Ορ.)	-241	-41	-122	-64	-22
K4 (Ισ.)	-425	-24	-100	-54	-16
K1 (Β Ορ.)	-279	-126	-34	-11	66
K1 (Α Ορ.)	-610	-141	27	-14	-72
K1 (Ισ.)	-783	108	10	6	-25

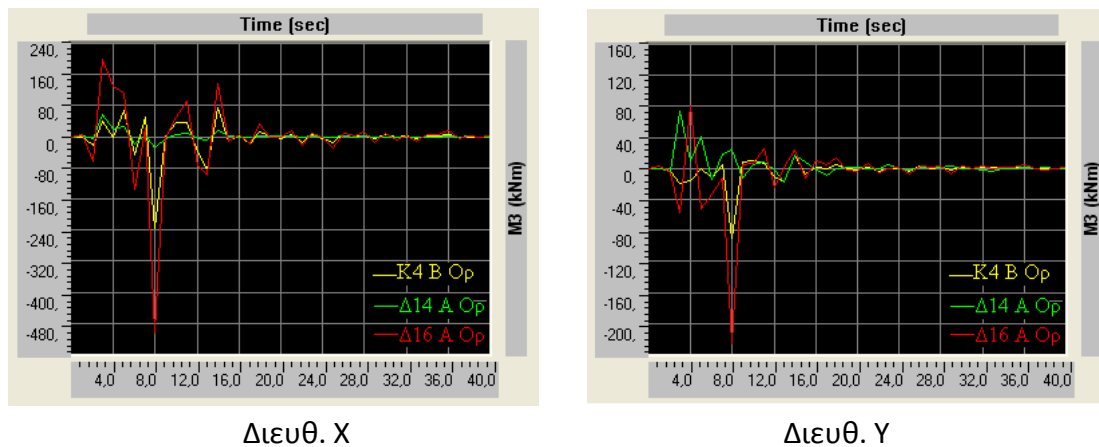
Πιν. 4.3.3.23 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστυλωμάτων για φόρτιση χρ. Northridge Rinaldi κατά Y

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T11 (Ισ.)	-510	15	770	313	8
T5 (Α Ορ.)	-293	-16	-610	260	-8
T5 (Ισ.)	-520	20	593	151	-11
T2 (Ισ.)	-1052	-27	-444	-159	-13
T8 (Ισ.)	-127	13	-526	217	6
T15 (Ισ.)	-625	38	-359	188	15

Πιν. 4.3.3.24 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για φόρτιση χρ. Northridge Rinaldi κατά Υ

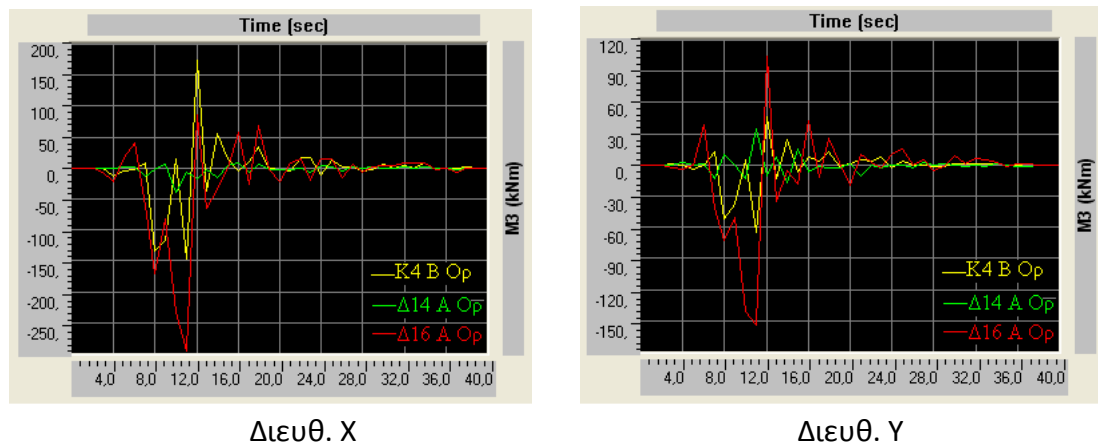
Στη συνέχεια δίνονται οι εξελίξεις των ροπών κάμψης M3 του υποστυλώματος K4 (B Ορ.), της δοκού Δ16 (Α Ορ.) που είναι τοποθετημένη κατά τον άξονα Χ και της δοκού Δ14 (Α Ορ.) που είναι τοποθετημένη κατά τον άξονα Υ σε συνάρτηση με το χρόνο για τις τρεις καταγραφές στις δύο διευθύνσεις.

Καταγραφή Kobe Takatori 1995



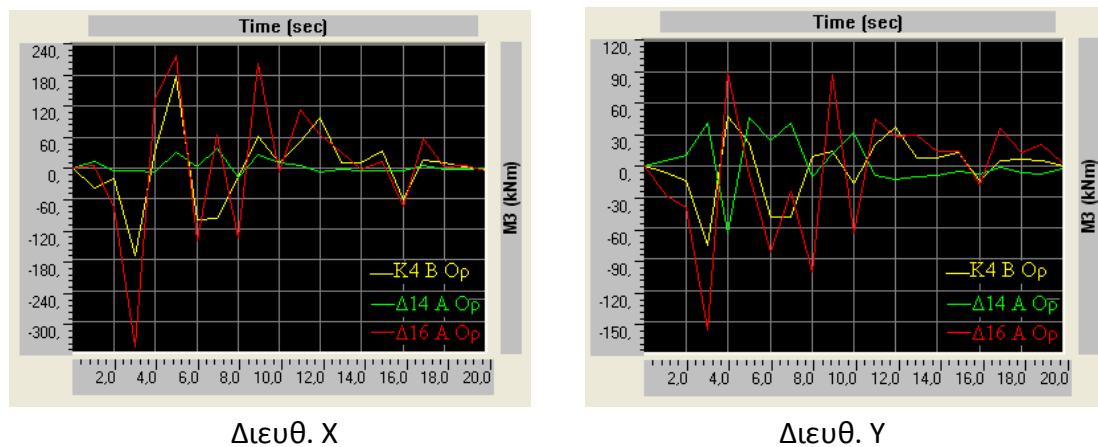
Εικ. 4.3.3.1 Εξέλιξη ροπής M3 για K4 B Ορ., Δ16 A Ορ. Και Δ14 A Ορ. για χρονοϊστορία Kobe Takatori κατά Χ και Υ

Καταγραφή Northridge Lake Hughes #12A 1994



Εικ. 4.3.3.2 Εξέλιξη ροπής M3 για K4 B Op., Δ16 A Op. Και Δ14 A Op. για χρονοϊστορία Northridge LH#12A κατά X και Y

Καταγραφή Northridge Rinaldi 1994



Εικ. 4.3.3.3 Εξέλιξη ροπής M3 για K4 B Op., Δ16 A Op. Και Δ14 A Op. για χρονοϊστορία Northridge Rinaldi κατά X και Y

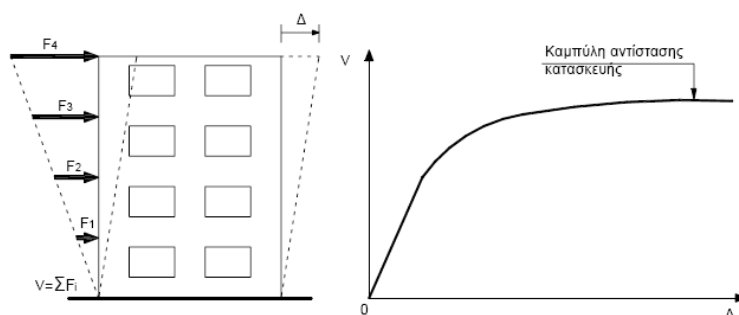
Κεφάλαιο 5 : Ανελαστική Ανάλυση Κατασκευής

5.1 Γενικά

Η συνεχώς αυξανόμενη ισχύς των υπολογιστών και η ανάπτυξη και βελτίωση λογισμικών έχει επιτρέψει τα τελευταία χρόνια την ενσωμάτωση της δυνατότητας ανελαστικής ανάλυσης σε μια πληθώρα προγραμμάτων στο αντικείμενο των μηχανικών. Αυτό εξυπηρετεί σε μεγάλο βαθμό την ολοένα αυξανόμενη τάση σχεδιασμού βάσει μετακινήσεων και αποτίμησης υφιστάμενων κατασκευών στο πλαίσιο των επεμβάσεων και ενίσχυσής τους.

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι ανελαστικής ανάλυσης, η στατική πλευρική οριακή ώθηση (Static Pushover Analysis) και η ανελαστική ανάλυση χρονοϊστορίας (Non-Linear Time History Analysis). Ο κύριος σκοπός της ανελαστικής ανάλυσης είναι η αποτίμηση των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία της κατασκευής μέσω ενός ή και των δύο παραπάνω τρόπων φόρτισης.

Υπενθυμίζεται ότι για την ανελαστική ανάλυση θεωρούνται μη γραμμική συμπεριφορά των υλικών και γεωμετρικές μη γραμμικότητες όπως περιγράφηκε στην παρ. 3.2.8.



Εικ. 5.1.1 Σχηματική διάταξη ανάλυσης Pushover και καμπύλη αντίστασης

5.2 Στατική πλευρική οριακή ώθηση (Static Pushover)

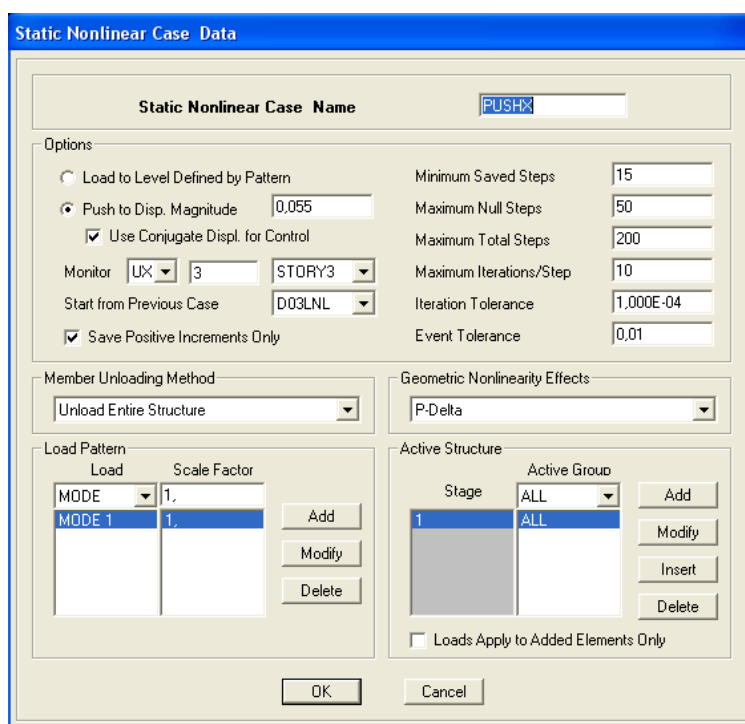
5.2.1 Ορισμός χαρακτηριστικών της ανάλυσης στο λογισμικό

Για την πραγματοποίηση ανελαστικής ανάλυσης υπενθυμίζεται ότι πρέπει να έχουν ακολουθηθεί τα βήματα που περιγράφονται στο κεφάλαιο 3 (παρ. 3.2.8) ώστε να έχουν εισαχθεί στο προσομοίωμα γεωμετρικές μη γραμμικότητες και μη γραμμική συμπεριφορά των υλικών.

Στη συνέχεια θα πρέπει να ορισθούν τα διάφορα χαρακτηριστικά της ανάλυσης. Το λογισμικό επιτρέπει δύο ειδών Pushover ανάλογα με τον τρόπο επιβολής του φορτίου, «Force control» όπου επιβάλλεται ένα μοτίβο πλευρικών δυνάμεων στο προσομοίωμα και καταγράφεται η μετατόπιση ενός σημείου (π.χ. κορυφής) σε συνάρτηση με την τέμνουσα βάση ή «Displacement control» όπου ορίζεται η μέγιστη μετατόπιση σε ένα σημείο της κατασκευής και η κατασκευή «σπρώχνεται» σταδιακά έως την τιμή αυτή, ενώ καταγράφεται η τέμνουσα βάση σε συνάρτηση με τη μετατόπιση. Η πρώτη περίπτωση προτείνεται από το εγχειρίδιο του λογισμικού όταν είναι γνωστό το επιβαλλόμενο φορτίο (π.χ. φορτίο βαρύτητας), ενώ η δεύτερη περίπτωση όταν το φορτίο δεν είναι εκ των προτέρων γνωστό και περιμένουμε η κατασκευή να χάσει αντοχή ή να γίνει ασταθής.

Αρχικά πρέπει να φορτιστεί η κατασκευή με τα στατικά φορτία με μη γραμμικό τρόπο ώστε στη συνέχεια να επιβληθεί η πλευρική φόρτιση. Αυτό γίνεται ορίζοντας κανονικά τον επιθυμητό συνδυασμό μόνιμων και κινητών (εδώ D+0.30L) όπως και στην ελαστική ανάλυση (βλ. παρ. 4.2.3) και στη συνέχεια με την εντολή «Define» Convert Combos to Non-Linear Cases» μετατρέπεται σε μη γραμμική φόρτιση και εμφανίζεται το παράθυρο ορισμού μη-γραμμικής φόρτισης (βλ. Εικ. 5.2.1.1). Για αυτή τη φάση φόρτισης επιλέχθηκε «Force control».

Το επόμενο βήμα είναι ο ορισμός της Pushover με την εντολή «Define» Static Nonlinear/Pushover Cases» Add New Case...», με την οποία εμφανίζεται το ίδιο παράθυρο όπως προηγουμένως και ορίζονται τα χαρακτηριστικά της φόρτισης (βλ. Εικ. 5.2.1.1). Για αυτή τη φάση φόρτισης επιλέχθηκε «Displacement control».



Εικ. 5.2.1.1 Καθορισμός πλευρικής οριακής ώθησης (Pushover)

Σημ.: (Στο παράθυρο που εμφανίζεται για τον καθορισμό των μη γραμμικών φορτίσεων, αρχικά επιλέγεται αν η φόρτιση θα είναι «force control» (Load to Level Defined by Pattern) ή «displacement control» (Push to Disp. Magnitude). Στη δεύτερη περίπτωση εισάγεται η μέγιστη μετατόπιση του υπό έλεγχο κόμβου. Κατόπιν ο βαθμός ελευθερίας που ελέγχεται (εδώ UX ή UY ανάλογα με τη διεύθυνση της πλευρικής φόρτισης), ο κόμβος και ο όροφος στον οποίο βρίσκεται (εδώ STORY3, κορυφή υποστυλ. K4). Ένας τρόπος καθορισμού της βέλτιστης τιμής της μέγιστης μετατόπισης είναι με δοκιμές έτσι ώστε να μην επιτραπεί στην κατασκευή να προχωρήσει μετά από το σημείο κατάρρευσης καθώς από εκεί και πέρα εμφανίζεται στην καμπύλη αντίστασης μία υποχώρηση του μοντέλου προς την αντίθετη πλευρά της φόρτισης, κάτι που δεν είναι αντιπροσωπευτικό της πραγματικότητας. Οι δοκιμές αυτές όμως μπορεί να είναι χρονοβόρες αν το μοντέλο είναι πολύ μεγάλο. Επίσης επιλέγεται η ανελαστική φόρτιση από την οποία είναι επιθυμητό να συνεχίζει η παρούσα. Στην περίπτωση της D+0.30L, αυτή η επιλογή αφήνεται κενή, αλλά στην περίπτωση της Pushover επιλέγεται η ανάλυση να ξεκινάει από το τέλος της D+0.30L.

Παρακάτω επιλέγεται ο τρόπος ανακατανομής των φορτίων στο προσομοίωμα μετά από τη διαρροή κάποιας υποψήφιας πλαστικής άρθρωσης. Εδώ επιλέχθηκε να γίνεται ανακατανομή σε ολόκληρη την κατασκευή για μεγαλύτερη ακρίβεια (Unload Entire Structure). Επίσης επιλέγεται και αν θα υπάρξουν φαινόμενα 2ας τάξης όπως «P-Delta» και «Large Displacements». Για τους σκοπούς αυτής της εργασίας επιλέχθηκαν μόνο P-Delta effects όπου στις εξισώσεις ισορροπίας λαμβάνεται μερικώς υπόψη η παραμορφωμένη κατάσταση της κατασκευής (αντίθετα με την περίπτωση των «Large Displacements» όπου οι εξισώσεις ισορ. κατασκευάζονται εξολοκλήρου στην παραμορφωμένη κατάσταση) και απαιτείται μέτριος υπολογιστικός φόρτος. Με την επιλογή P-Delta οι ελκυστικές δυνάμεις δημιουργούν αντίσταση στην περιστροφή των στοιχείων και κάνουν πιο δύσκαμπτη την κατασκευή, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τις θλιπτικές δυνάμεις.

Τέλος επιλέγεται η μορφή της πλευρικής φόρτισης (Load Pattern) και ο επιθυμητός συντελεστής. Παρ' όλο που έχει επιλεχθεί ελεγχόμενη μετακίνηση στην πραγματικότητα το πρόγραμμα επιβάλλει τη φόρτιση που επιλέγεται εδω σταδιακά αυξομειώνοντας ανάλογα το φορτίο μέχρι την επιθυμητή μετατόπιση. Και για τις δύο φάσεις της ανάλυσης επιλέχθηκε η φόρτιση να έχει τη μορφή της πρώτης ιδιομορφής για πλευρική φόρτιση κατά X και της δεύτερης για φόρτιση κατά Y.)

Στη συνέχεια αφού έχει γίνει η ελαστική ανάλυση του προσομοιώματος, πραγματοποιείται και η ανελαστική με «Analyze> Run Static Nonlinear Analysis».

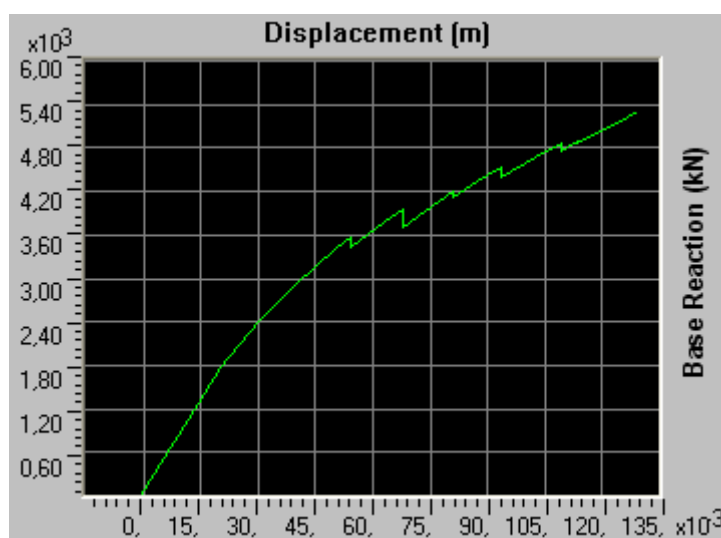
Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, πραγματοποιήθηκε επιπλέον ανάλυση με τα τοιχώματα αυτή τη φορά προσομοιωμένα με γραμμικά στοιχεία σαν υποστυλώματα με μεγάλη διατομή και άκαμπτα οριζόντια στοιχεία να καλύπτουν το μήκος τους στις ενώσεις των ορόφων (WCA). Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων των δύο φάσεων.

5.2.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων πρώτης φάσης

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι καμπύλες αντίστασης για φόρτιση σε κάθε διεύθυνση και η μετατροπή της καμπύλης σε ADRS (ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα) σύμφωνα με τον ATC-40 (1996), όπου φαίνεται σε ποιο σημείο της καμπύλης θα φτάσει η κατασκευή για ένα σεισμό που αντιστοιχεί στο φάσμα σχεδιασμού του EC8 (το λεγόμενο «Performance Point»). Επίσης δίνεται μια σειρά από εικόνες όπου φαίνονται οι διαδοχικές πλαστικοποιήσεις των μελών της κατασκευής και τέλος δίνονται πίνακες με τα μέγιστα εντατικά μεγέθη που εμφανίστηκαν στα δομικά στοιχεία που μελετήθηκαν και στην ελαστική ανάλυση, καθώς και πίνακες με τις καταστάσεις και τις στροφές όλων των πλαστικών αρθρώσεων που ξεπέρασαν τη στάθμη της «Άμεσης Χρήσης» (ΙΟ).

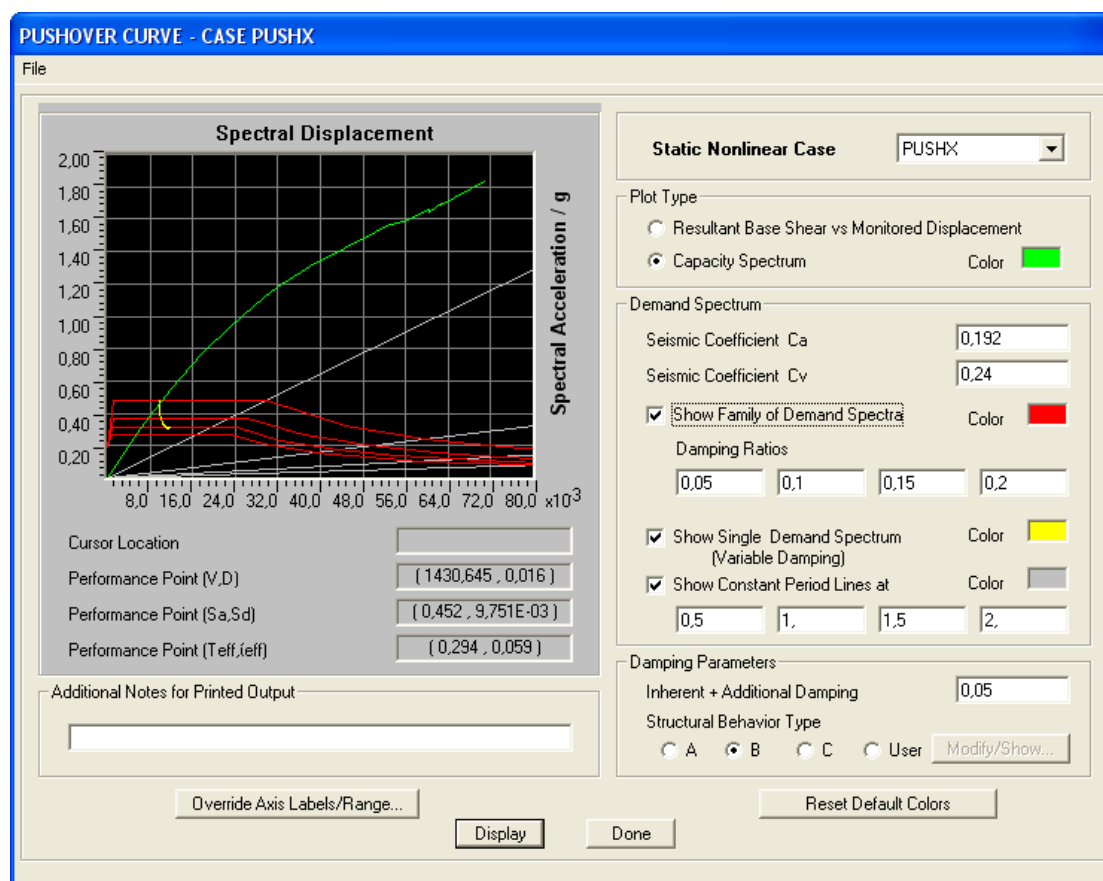
Διεύθυνση X

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + PushX$



Εικ. 5.2.2.1 Καμπύλη αντίστασης (Pushover) για φόρτιση κατά X

Από την παραπάνω καμπύλη φαίνεται ότι η κατασκευή έχει μεγάλη αντίσταση ακόμα και μετά τις πρώτες διαρροές των στοιχείων (έναρξη καμπύλωσης) και ο μετελαστικός κλάδος δεν παίρνει μεγάλη κλίση από τον ελαστικό, μέχρι και το πέρας της ανάλυσης, το οποίο μπορεί να οφείλεται σε υπολογιστική αδυναμία του λογισμικού να βρει αντιπροσωπευτική λύση για το επόμενο βήμα.

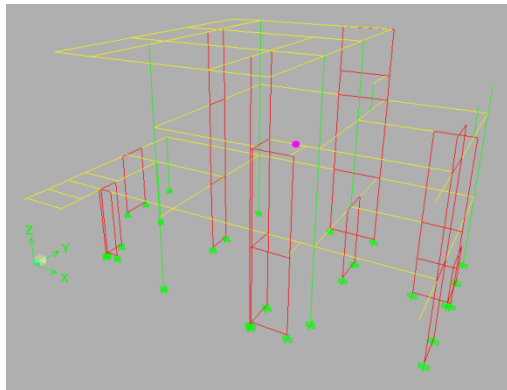


Εικ. 5.2.2.2 Μετατροπή καμπύλης σε ADRS και σημείο επιτελεστικότητας κατασκευής (Performance Point) για φόρτιση κατά X

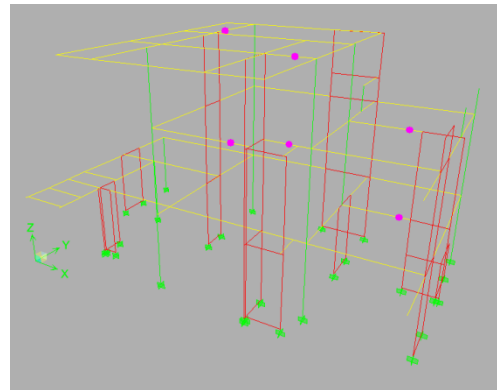
Στο παραπάνω διάγραμμα έχει μετατραπεί η καμπύλη αντίστασης (ADRS) έτσι ώστε να αντιστοιχεί σε επιτάχυνση και μετατόπιση μονοβαθμίου συστήματος (SA,SD) έτσι ώστε να μπορεί να συγκριθεί με το φάσμα του EC8 (με κόκκινο χρώμα για διάφορους συντελεστές απόσβεσης). Με κίτρινο φαίνεται το φάσμα απαίτησης.

Σημ.: (Στην πραγματικότητα στην παραπάνω καρτέλα το λογισμικό δίνει το φάσμα του κανονισμού της Καλιφόρνιας (ATC-40), γι' αυτό το λόγο επιλέχθηκαν τιμές για τους συντελεστές C_a , C_v που ελέγχουν τη μορφή του φάσματος έτσι ώστε αυτό να πάρει τη μορφή του φάσματος του EC8 που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενες αναλύσεις.)

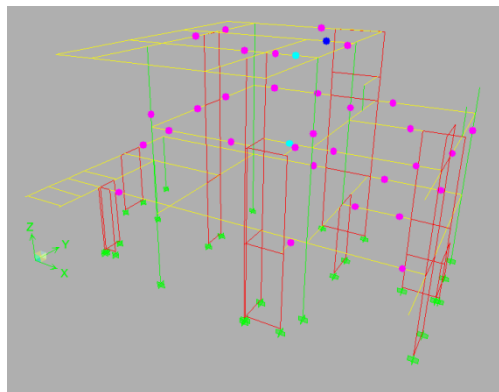
Είναι φανερό ότι το «Performance Point» της κατασκευής (1431 kN, 16 mm) για ένα σεισμό που αντιστοιχεί στο φάσμα του EC8, βρίσκεται πολύ χαμηλά στην καμπύλη αντίστασης. Ουσιαστικά λίγο μετά το όριο της ελαστικής απόκρισης το οποίο σημαίνει ότι η κατασκευή σε έναν τέτοιο σεισμό δε θα παρουσιάσει κανένα πρόβλημα και θα βρίσκεται πριν από το σημείο «Άμεσης Χρήσης» (ΙΟ).



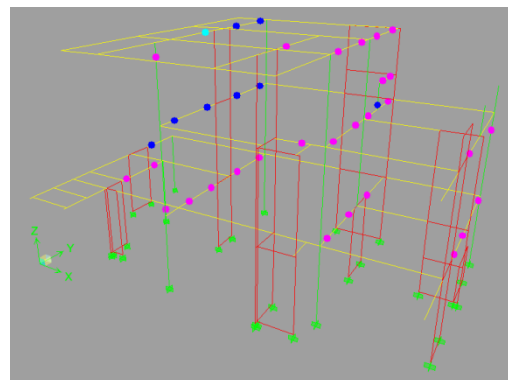
A



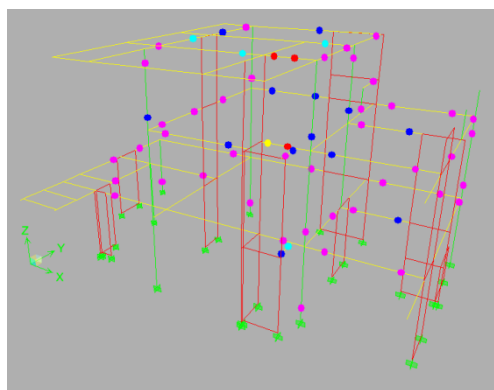
B



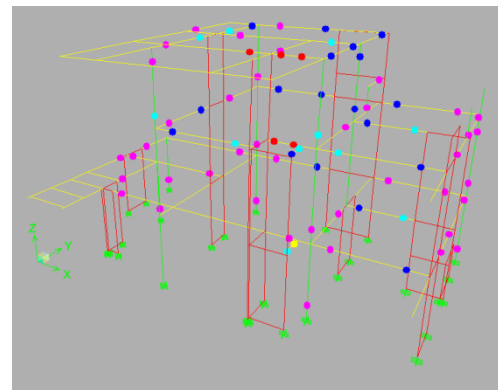
Γ



Δ



E



ΣΤ



Εικ. 5.2.2.3 Διαδοχικά στάδια της Pushover X και πλαστικοποιήσεις στοιχείων

Στις παραπάνω εικόνες φαίνονται κάποια από τα βήματα της πλευρικής οριακής φόρτισης κατά Χ και οι πλαστικές αρθρώσεις που εμφανίζονται στα στοιχεία διαδοχικά. Τα διάφορα χρώματα ορίζουν την κατάσταση της πλαστικής άρθρωσης όπως φαίνεται και στο υπόμνημα. Συγκεκριμένα IO για Immediate Occurance, LS για Life Safety και CP για Collapse Prevention. Τα B (σημείο διαρροής), C, D, E είναι τα διαδοχικά σημεία πάνω στο διάγραμμα που ορίζει τη συμπεριφορά της πλαστικής άρθρωσης (βλ. Εικ. 3.2.8.1).

Η εικόνα Β αντιστοιχεί στο «Performance Point» της κατασκευής για το φάσμα του EC8, όπου φαίνεται ότι οι επιπτώσεις είναι απλώς κάποια δοκάρια που έχουν φτάσει στο σημείο διαρροής τους. Η εικόνα ΣΤ αντιστοιχεί στο τελικό βήμα της ανάλυσης όπου φαίνεται να έχουν πλαστικοποιηθεί πολύ περισσότερα μέλη. Τα στοιχεία με τις μεγαλύτερες βλάβες είναι δοκοί που βρίσκονται κοντά σε τοιχώματα και κυρίως κοντά στα τοιχώματα T2 και T3 που είναι και ο «πυρήνας» της κατασκευής.

Συγκεκριμένα με κόκκινο χρώμα (ολοκληρωτική θραύση) φαίνονται οι δοκοί:

Δ5 (B Op.), Δ6 (B Op.), Δ2 (A Op.)

Και με κίτρινο (όριο κατάρρευσης):

Δ18 (Ισ.)

Από τα υποστυλώματα αυτά που έχουν τις μεγαλύτερες βλάβες (Life Safety) με γαλάζιο χρώμα είναι τα:

K1 (B Op.) και K4 (B Op.)

Παρακάτω δίνονται τα εντατικά μεγέθη για τα στοιχεία που εξετάστηκαν και στις προηγούμενες αναλύσεις και οι στροφές για τα στοιχεία που ξεπέρασαν τη στάθμη IO.

Σημ.: (Υπενθυμίζεται ότι τα εντατικά μεγέθη που δίνονται σε αυτούς τους πίνακες δεν είναι ταυτόχρονα. Αναλυτικότεροι πίνακες αποτελεσμάτων δίνονται στο παράρτημα (παρ. Β.3.1, Πιν. Β.3.1.1-6).

Σημειώνεται ότι για τα υποστυλώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από τον άξονα Χ (δηλ. για κάμψη κατά Υ) ενώ με M3 το ανάποδο. Για τα τοιχώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από άξονα κάθετο στη μεγάλη διάσταση των τοιχωμάτων (δηλ. για κάμψη κατά τη μεγάλη διάσταση), και με M3 το αντίθετο. Οι τέμνουσες V2, V3 ακολουθούν την ίδια λογική (π.χ. για υποστυλ. V2 είναι η τέμνουσα κατά τον άξονα Χ). Για τις δοκούς M3 και V2 είναι για κάμψη και τέμνουσα κατά τον κατακόρυφο άξονα. Τέλος οι θλιπτικές αξονικές δυνάμεις είναι αρνητικές (συμβ. με Ρ.)

Κατάσταση Πλαστικών Αρθρ. Δοκών		
Δοκός	R3 Plastic	Hinge Status
Δ6 (B Ορ.) Αρ.	-0,0085	>CP
Δ6 (B Ορ.) Δεξ.	0,0085	>CP
Δ5 (B Ορ.) Δεξ.	0,0280	>CP
Δ2 (A Ορ.) Αρ.	0,0085	>CP
Δ2 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0085	>CP
Δ18 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0060	>CP
Δ4 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0100	LS to CP
Δ4 (A Ορ.) Αρ.	0,0046	IO to LS
Δ15 (Ισ.) Δεξ.	-0,0080	LS to CP
Δ15 (Ισ.) Αρ.	0,0045	IO to LS
Δ1 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0144	LS to CP
Δ1 (A Ορ.) Αρ.	0,0092	IO to LS
Δ8 (B Ορ.) Αρ. Μέση	0,0093	LS to CP
Δ15 (B Ορ.) Δεξ.	-0,0122	LS to CP
Δ16 (B Ορ.) Αρ.	0,0107	LS to CP
Δ16 (B Ορ.) Δεξ.	-0,0040	IO to LS
Δ9 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0117	LS to CP
Δ9 (A Ορ.) Αρ.	0,0070	IO to LS
Δ18 (Ισ.) Αρ.	0,0039	LS to CP
Δ3 (A Ορ.) Αρ.	0,0112	LS to CP
Δ3 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0068	IO to LS
Δ21 (B Ορ.) Δεξ.	-0,0064	IO to LS
Δ20 (B Ορ.) Αρ.	0,0060	IO to LS
Δ20 (B Ορ.) Δεξ.	-0,0058	IO to LS
Δ7 (A Ορ.) Δεξ.	0,0042	IO to LS
Δ10 (B Ορ.) Δεξ.	-0,0096	IO to LS
Δ5 (A Ορ.) Αρ.	0,0061	IO to LS
Δ5 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0073	IO to LS
Δ2 (Ισ.) Αρ.	-0,0056	IO to LS
Δ6 (A Ορ.) Αρ.	0,0069	IO to LS
Δ13 (Ισ.) Δεξ.	-0,0063	IO to LS

Πιν. 5.2.2.1 Κατάσταση και στροφές πλαστικών αρθρώσεων δοκών για Pushover X

Κατάσταση Πλαστικών Αρθρ. Υποστυλωμάτων				
Υποστυλ.	U1 Plastic	R2 Plastic	R3 Plastic	Hinge Status
Κ4 (B Ορ.) Κάτω	0,0026	0,0150	0,0150	LS to CP
Κ1 (B Ορ.) Κάτω	0,0013	0,0158	0,0158	LS to CP
Τ11 (B Ορ.) Κάτω	0,0010	0,0108	0,0108	IO to LS
Τ11 (B Ορ.) Πάνω	0,0007	0,0069	0,0069	IO to LS

Πιν. 5.2.2.2 Κατάσταση και στροφές πλαστικών αρθρώσεων υποστ. Για Pushover X

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Χ		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (Α Ορ.)	829	417
Δ14 (Α Ορ.)	769	-254
Δ1 (Α Ορ.)	-577	399
Δ15 (Β Ορ.)	356	321
Δ17 (Β Ορ.)	220	114

Πιν. 5.2.2.3 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για Pushover Χ

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (Β Ορ.)	65	151	605	222	98
K4 (Α Ορ.)	-260	141	711	171	78
K4 (Ισ.)	-1190	76	645	221	58
K1 (Β Ορ.)	-389	564	324	158	-353
K1 (Α Ορ.)	-614	-401	175	97	-134
K1 (Ισ.)	-857	-201	141	-2	99

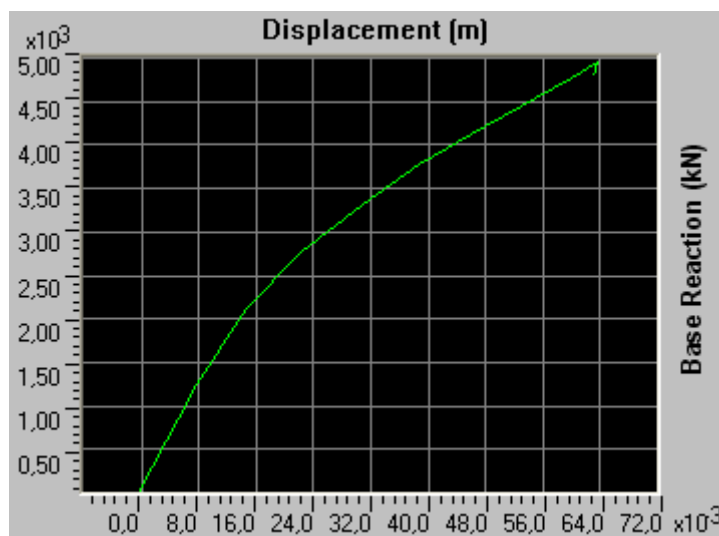
Πιν. 5.2.2.4 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστ. Για Pushover Χ

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T15 (Ισ.)	-531	83	9976	2184	33
T15 (Α Ορ.)	-316	44	3406	615	-14
T2 (Ισ.)	-6453	-175	4643	651	90
T2 (Α Ορ.)	-2800	-341	5767	2224	168
T3 (Ισ.)	6620	-264	1614	843	-140
T5 (Α Ορ.)	-13	-254	2327	1030	-129

Πιν. 5.2.2.5 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για Pushover Χ

Διεύθυνση Y

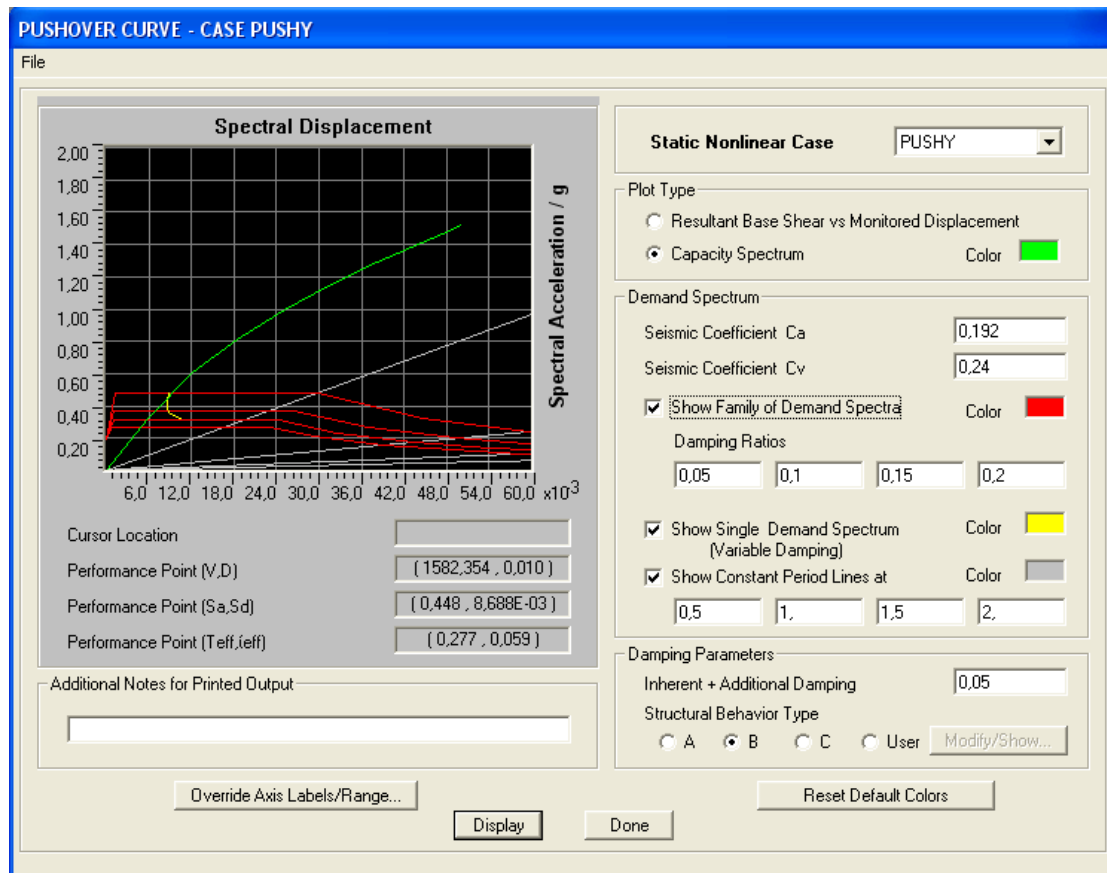
Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + PushY$



Εικ. 5.2.2.4 Καμπύλη αντίστασης (Pushover) για φόρτιση κατά Y

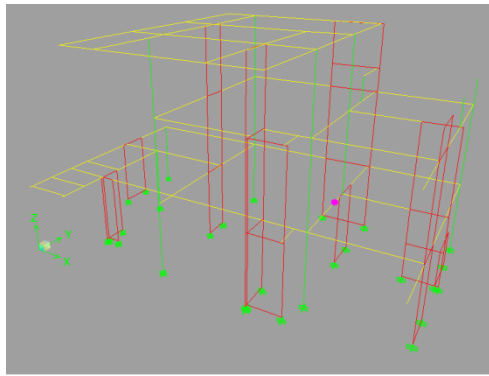
Όπως και στη διεύθυνση X έτσι και εδώ φαίνεται ότι η κατασκευή έχει παραμένουσες αντιστάσεις και μετά τη διαρροή (κράτυνση), διατηρεί δηλαδή μεγάλη δυσκαμψία μέχρι το τέλος της ανάλυσης.

Παρακάτω (Εικ. 5.2.2.5) δίνεται η καμπύλη αντίστασης τροποποιημένη σε ADRS (S_a , S_d) ώστε να συγκριθεί με το φάσμα του EC8 όπως προηγουμένως. Και εδώ φαίνεται ότι το σημείο επιτελεστικότητας («Performance Point») της κατασκευής (1582 kN, 10 mm) για ένα σεισμό που αντιστοιχεί στο φάσμα του EC8, βρίσκεται πολύ χαμηλά στην καμπύλη αντίστασης. Επομένως ούτε στη διεύθυνση Y δε θα παρουσιαστούν προβλήματα για ένα τέτοιο σεισμό και θα βρίσκεται πριν τη στάθμη επιτελεστικότητας «Άμεσης Χρήσης» (IO).

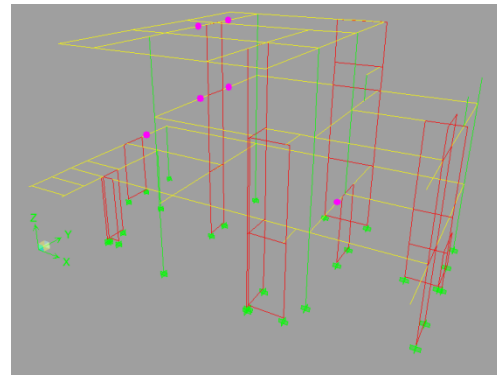


Εικ. 5.2.2.5 Μετατροπή καμπύλης σε ADRS και σημείο επιτελεστικότητας κατασκευής (Performance Point) για φόρτιση κατά Y

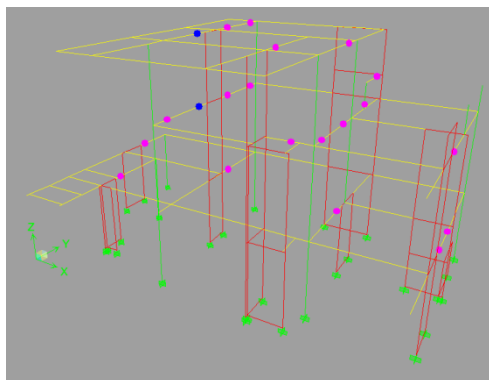
Σημ.: (Στην πραγματικότητα στην παραπάνω καρτέλα το λογισμικό δίνει το φάσμα του κανονισμού της Καλιφόρνιας (ATC-40), γι' αυτό το λόγο επιλέχθηκαν τιμές για τους συντελεστές C_a , C_v που ελέγχουν τη μορφή του φάσματος έτσι ώστε αυτό να πάρει τη μορφή του φάσματος του EC8 που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενες αναλύσεις.)



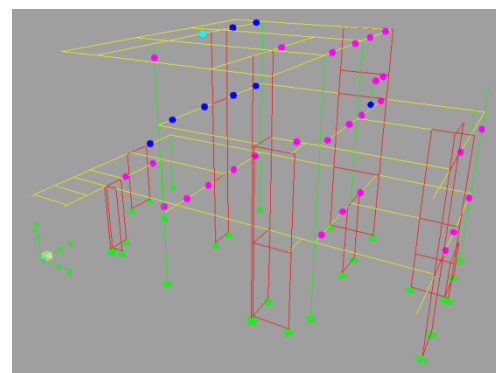
A



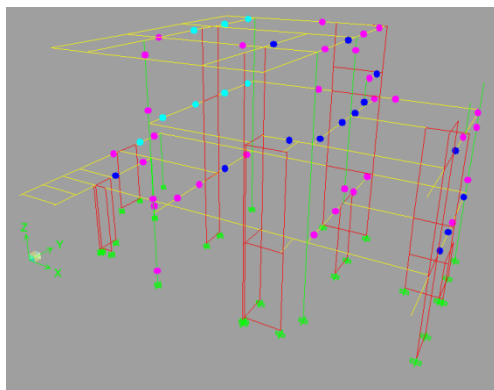
B



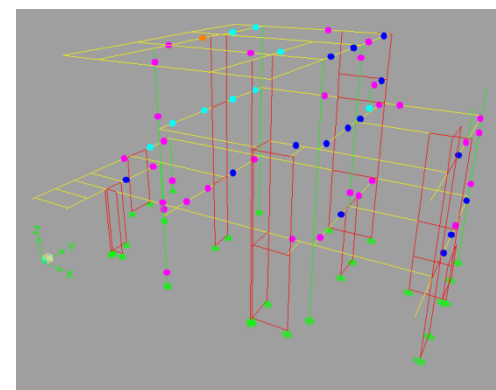
Γ



Δ



E



ΣΤ



Εικ. 5.2.2.6 Διαδοχικά στάδια της Pushover γ και πλαστικοποιήσεις στοιχείων

Στις παραπάνω εικόνες φαίνονται κάποια από τα βήματα της πλευρικής οριακής φόρτισης κατά γ και οι πλαστικές αρθρώσεις που εμφανίζονται στα στοιχεία διαδοχικά. Τα διάφορα χρώματα ορίζουν την κατάσταση της πλαστικής άρθρωσης

όπως φαίνεται και στο υπόμνημα. Συγκεκριμένα IO για Immediate Occurance, LS για Life Safety και CP για Collapse Prevention. Τα B (σημείο διαρροής), C, D, E είναι τα διαδοχικά σημεία πάνω στο διάγραμμα που ορίζει τη συμπεριφορά της πλαστικής άρθρωσης (βλ. Εικ. 3.2.8.1).

Η εικόνα B αντιστοιχεί στο «Performance Point» της κατασκευής για το φάσμα του EC8, όπου φαίνεται ότι οι επιπτώσεις είναι απλώς κάποια δοκάρια που έχουν φτάσει στο σημείο διαρροής τους. Η εικόνα ΣΤ αντιστοιχεί στο τελικό βήμα της ανάλυσης όπου φαίνεται να έχουν πλαστικοποιηθεί πολύ περισσότερα μέλη. Τα στοιχεία με τις μεγαλύτερες βλάβες είναι δοκοί που βρίσκονται κοντά σε τοιχώματα και κυρίως κοντά στο τοίχωμα T10.

Συγκεκριμένα με πορτοκαλί χρώμα (Θραύση) έχουμε τη δοκό:

Δ15 (B Ορ.)

Και με γαλάζιο χρώμα (Προστασία Ζωής, LS):

Δ16 (B Ορ.), Δ18 (B Ορ.), Δ7 (A Ορ.), Δ8 (A Ορ.), Δ7 (Ισ.)

Από τα υποστυλώματα αυτό που έχει τις μεγαλύτερες βλάβες (Life Safety) με γαλάζιο χρώμα είναι το:

T17 (B Ορ.)

Παρακάτω δίνονται τα εντατικά μεγέθη για τα στοιχεία που εξετάστηκαν και στις προηγούμενες αναλύσεις και οι στροφές για τα στοιχεία που ξεπέρασαν τη στάθμη IO.

Σημ.: (Υπενθυμίζεται ότι τα εντατικά μεγέθη που δίνονται σε αυτούς τους πίνακες δεν είναι ταυτόχρονα. Αναλυτικότεροι πίνακες αποτελεσμάτων δίνονται στο παράρτημα (παρ. Β.3.1, Πιν. Β.3.1.1-6).

Σημειώνεται ότι για τα υποστυλώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από τον άξονα X (δηλ. για κάμψη κατά Y) ενώ με M3 το ανάποδο. Για τα τοιχώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από άξονα κάθετο στη μεγάλη διάσταση των τοιχωμάτων (δηλ. για κάμψη κατά τη μεγάλη διάσταση), και με M3 το αντίθετο. Οι τέμνουσες V2, V3 ακολουθούν την ίδια λογική (π.χ. για υποστυλ. V2 είναι η τέμνουσα κατά τον άξονα X). Για τις δοκούς M3 και V2 είναι για κάμψη και τέμνουσα κατά τον κατακόρυφο άξονα. Τέλος οι θλιπτικές αξονικές δυνάμεις είναι αρνητικές (συμβ. με P.)

Κατάσταση Πλαστικών Αρθρ. Δοκών		
Δοκός	R3 Plastic	Hinge Status
Δ15 (B Ορ.) Αρ. Μέση	0,0175	>CP
Δ7 (Ισ.) Αρ.	0,0056	LS to CP
Δ18 (B Ορ.) Αρ.	-0,0105	LS to CP
Δ8 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0116	LS to CP
Δ8 (A Ορ.) Αρ.	0,013	LS to CP
Δ7 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0136	LS to CP
Δ7 (A Ορ.) Αρ.	0,0112	LS to CP
Δ16 (B Ορ.) Αρ.	-0,0148	LS to CP
Δ16 (B Ορ.) Δεξ.	0,0118	LS to CP
Δ14 (A Ορ.) Αρ.	0,0068	IO to LS
Δ4 (Ισ.) Δεξ.	-0,0047	IO to LS
Δ4 (Ισ.) Αρ.	0,0046	IO to LS
Δ2 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0025	IO to LS
Δ11 (A Ορ.) Αρ.	-0,0066	IO to LS
Δ11 (A Ορ.) Δεξ.	0,0068	IO to LS
Δ21 (B Ορ.) Δεξ.	-0,0056	IO to LS
Δ20 (B Ορ.) Αρ.	0,0056	IO to LS
Δ20 (B Ορ.) Δεξ.	-0,0066	IO to LS
Δ20 (Ισ.) Αρ.	0,0057	IO to LS
Δ19 (Ισ.) Δεξ.	-0,0061	IO to LS
Δ12 (Ημιωρ.) Δεξ.	-0,0069	IO to LS
Δ10 (Ισ.) Αρ.	0,0053	IO to LS
Δ5 (Ισ.) Δεξ.	-0,0038	IO to LS
Δ12 (A Ορ.) Αρ.	0,0047	IO to LS

Πιν. 5.2.2.6 Κατάσταση και στροφές πλαστικών αρθρώσεων δοκών για Pushover Y

Κατάσταση Πλαστικών Αρθρ. Υποστυλωμάτων				
Υποστυλ.	U1 Plastic	R2 Plastic	R3 Plastic	Hinge Status
T17 (Ημιωρ.) Κάτω	0,001	0,0073	0,0073	LS to CP

Πιν. 5.2.2.7 Κατάσταση και στροφές πλαστικών αρθρώσεων υποστ. για Pushover Y

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Υ		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (Α Ορ.)	700	296
Δ14 (Α Ορ.)	832	-629
Δ8 (Α Ορ.)	360	-281
Δ15 (Β Ορ.)	-448	-192
Δ14 (Β Ορ.)	27	30

Πιν. 5.2.2.8 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για Pushover Υ

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Υ					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (Β Ορ.)	-92	149	-253	-51	97
K4 (Α Ορ.)	-603	183	-355	193	90
K4 (Ισ.)	-1343	112	229	173	56
K1 (Β Ορ.)	-35	477	-130	-54	324
K1 (Α Ορ.)	-120	574	-55	-36	152
K1 (Ισ.)	-237	580	42	30	21

Πιν. 5.2.2.9 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστ. Για Pushover Υ

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T11 (Ισ.)	-353	-11	4483	1440	0
T5 (Α Ορ.)	533	9	2373	1226	-4
T5 (Ισ.)	595	60	3194	429	-35
T2 (Ισ.)	4217	161	1934	1189	61
T8 (Ισ.)	97	-32	4397	1534	10
T15 (Ισ.)	-843	225	3124	-1139	54

Πιν. 5.2.2.10 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για Pushover Υ

5.2.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων δεύτερης φάσης

Όπως είναι φανερό τα εντατικά μεγέθη ορισμένων τοιχωμάτων στην προηγούμενη φάση της ανελαστικής ανάλυσης υπήρξαν ιδιαίτερος αυξημένα (αρκετά πάνω από την αντοχή τους), το οποίο σημαίνει ότι αν συμπεριφέρονταν και αυτά ανελαστικά θα έπρεπε να είχαν διαρρεύσει. Αυτό οδήγησε στην αντικατάσταση των τοιχωμάτων (WCA) ώστε να τοποθετηθούν πλαστικές αρθρώσεις (βλ. παρ. 3.2.8) και σε αυτά και να επαναληφθεί η ανάλυση ώστε να εκτιμηθεί η επιρροή τους και η διαφορά στην ανάλυση.

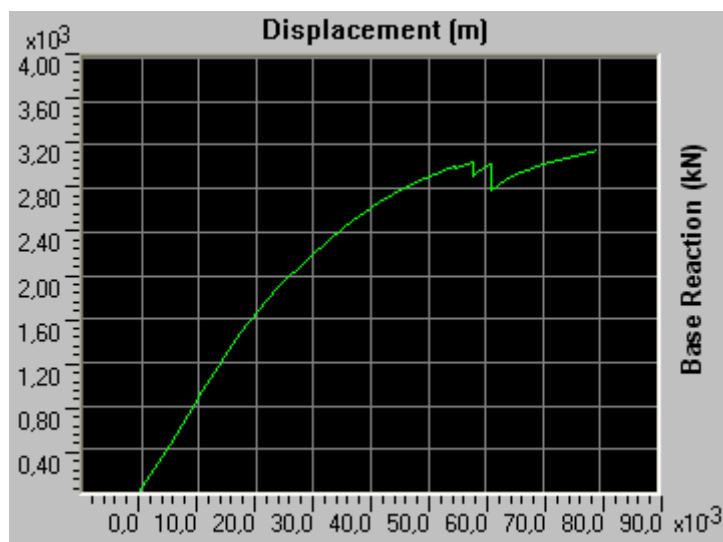
Όπως είναι αναμενόμενο με την αντικατάσταση αυτή υπήρξε κάποια διαφοροποίηση στην ιδιομορφική ανάλυση της κατασκευής η οποία όμως δεν είναι σημαντική. Αυτό φαίνεται στον παρακάτω πίνακα όπου παρουσιάζονται οι ιδιομορφές, οι ιδιοπερίοδοι και τα ποσοστά ιδιομορφικής μάζας σε κάθε διαφραγματικό βαθμό ελευθερίας του νέου προσομοιώματος (ανάλογος του Πιν. 4.2.1.1).

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος (sec)	UX	UY	RZ
1	0,2956	37,0004	15,3032	12,3220
2	0,2730	19,3046	54,0437	0,5782
3	0,1866	17,2433	4,3843	47,1752
4	0,1506	0,0087	0,2283	1,2726
5	0,1465	0,0096	0,0002	0,0710
6	0,1269	2,6246	1,1266	2,8683
7	0,1213	4,7189	0,1850	5,0834
8	0,0960	0,0003	0,0685	0,0136
9	0,0936	0,3458	0,0614	0,2733
10	0,0807	0,0563	9,3925	2,1688
11	0,0783	0,0220	2,6173	0,0153
12	0,0721	0,0207	0,0712	0,0957

Πιν. 5.2.3.1 Ιδιομορφές, ιδιοπερίοδοι και ποσοστά ιδιομορφικής μάζας σε κάθε διαφραγματικό βαθμό ελευθερίας του προσομοιώματος της 2^{ης} φάσης

Διεύθυνση X

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + PushX$

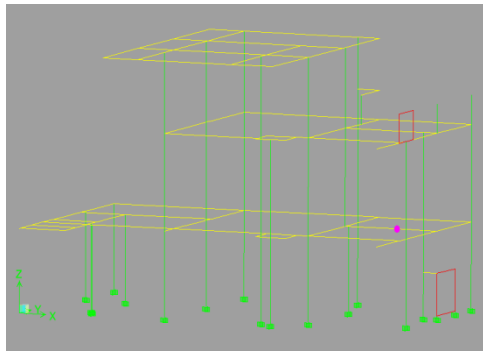


Εικ. 5.2.3.1 Καμπύλη αντίστασης (Pushover) για φόρτιση κατά X

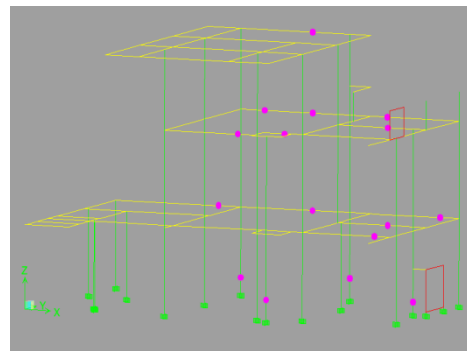
Στην παραπάνω καμπύλη αντίστασης φαίνεται ότι με την προσθήκη πλαστικών αρθρώσεων και στα τοιχώματα έχει μειωθεί η μετελαστική δυσκαμψία της κατασκευής (συγκριτικά βλ. Εικ. 5.2.2.1) και η καμπύλη φθάνει σε μικρότερη τέμνουσα βάση. Παρ' όλα αυτά η κατασκευή έχει ακόμα αντίσταση και ο μετελαστικός κλάδος έχει κάποια κράτυνση ακόμα μέχρι το πέρας της ανάλυσης.

Δυστυχώς σε αυτή τη φάση της ανάλυσης για φόρτιση κατά τη διεύθυνση X το λογισμικό παρουσίασε κάποιο σφάλμα στην μετατροπή της καμπύλης αντίστασης σε ADRS, με αποτέλεσμα να μην έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει το σημείο επιτελεστικότητας («Performance Point») της κατασκευής. Παρ' όλα αυτά συγκριτικά με τη φάση 1 που τα σημεία επιτελεστικότητας της κατασκευής για της δύο διευθύνσεις ήταν πολύ κοντά, θα μπορούσε να γίνει μια υπόθεση ότι και σε αυτή την περίπτωση δεν θα έχουν μεγάλη διαφορά. Επομένως για τέμνουσα βάση κοντά στα 2500 kN που υπολογίσθηκε για φόρτιση Y (βλ. παρακάτω) το σημείο επιτελεστικότητας θα βρισκόταν πιο δεξιά στο μετελαστικό κλάδο από ότι στην 1^η φάση, κάτι που είναι λογικό λόγω των επιπλέον αρθρώσεων, ίσως λίγο μετά την άμεση χρήση (ΙΟ).

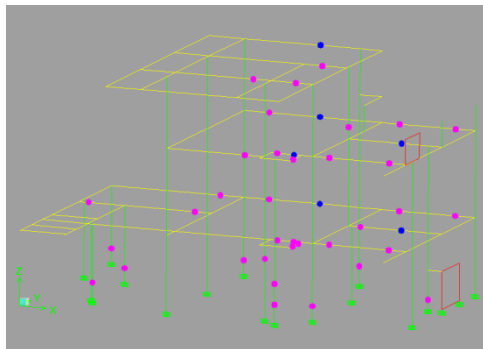
Παρακάτω στις εικόνες φαίνονται διαδοχικά βήματα της ανάλυσης με τις πλαστικοποιήσεις των αρθρώσεων. Το σημείο επιτελεστικότητας υποθέτεται στο βήμα Β.



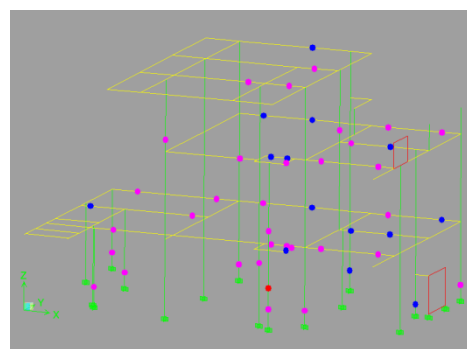
A



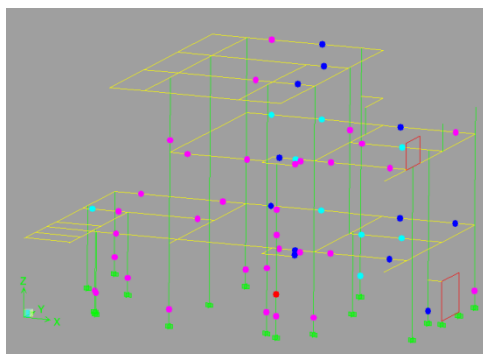
B



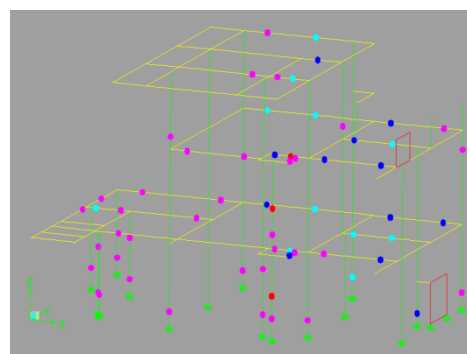
Γ



Δ



E



ΣΤ



Εικ. 5.2.3.2 Διαδοχικά στάδια της Pushover X και πλαστικοποιήσεις στοιχείων

Τα διάφορα χρώματα ορίζουν την κατάσταση της πλαστικής άρθρωσης όπως φαίνεται και στο υπόμνημα. Συγκεκριμένα IO για Immediate Occurance, LS για Life Safety και CP για Collapse Prevention. Τα B (σημείο διαρροής), C, D, E είναι τα διαδοχικά σημεία πάνω στο διάγραμμα που ορίζει τη συμπεριφορά της πλαστικής άρθρωσης (βλ. Εικ. 3.2.8.1).

Στο βήμα Β όπου υποθέτεται το σημείο επιτελεστικότητας φαίνεται ότι έχουν διαρρεύσει απλώς κάποιες δοκοί και οι βάσεις κάποιων τοιχωμάτων και υποστυλωμάτων. Η εικόνα ΣΤ αντιστοιχεί στο τελικό βήμα της ανάλυσης όπου φαίνεται να έχουν πλαστικοποιηθεί πολύ περισσότερα μέλη, ανάμεσά τους και τοιχώματα που έχουν πλαστικοποιηθεί είτε καμπτικά, είτε διατμητικά (στο μέσο του ύψους). Τα στοιχεία με τις μεγαλύτερες βλάβες είναι δοκοί που βρίσκονται κοντά σε τοιχώματα και το τοίχωμα T2.

Συγκεκριμένα με κόκκινο χρώμα (ολική θραύση) έχουμε τη δοκό:

Δ2 (Α Ορ.)

Και με γαλάζιο χρώμα (Προστασία Ζωής, LS):

Δ8 (Ισ.), Δ2 (Ισ.), Δ12 (Ισ.), Δ15 (Ισ.), Δ4 (Α Ορ.), Δ5 (Α Ορ.), Δ6 (Β Ορ.), Δ10 (Β Ορ.)

Από τα τοιχώματα αυτό που έχει τις μεγαλύτερες βλάβες (ολική θραύση) με κόκκινο χρώμα είναι το: T2 (Ισ., Α Ορ.) (διατμητική θραύση)

Και με γαλάζιο (Life Safety): T15 (Ισ.)

Παρακάτω δίνονται τα εντατικά μεγέθη για τα στοιχεία που εξετάστηκαν και στις προηγούμενες αναλύσεις καθώς και οι καταστάσεις πλαστικών αρθρώσεων για τα στοιχεία που ξεπέρασαν τη στάθμη ΙΟ.

Σημ.: (Υπενθυμίζεται ότι τα εντατικά μεγέθη που δίνονται σε αυτούς τους πίνακες δεν είναι ταυτόχρονα. Αναλυτικότεροι πίνακες αποτελεσμάτων δίνονται στο παράρτημα (παρ. Β.3.2, Πιν. Β.3.2.1-6).

Σημειώνεται ότι για τα υποστυλώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από τον άξονα Χ (δηλ. για κάμψη κατά Υ) ενώ με M3 το ανάποδο. Για τα τοιχώματα το ίδιο. Οι τέμνουσες V2, V3 ακολουθούν την ίδια λογική (π.χ. V2 είναι η τέμνουσα κατά τον άξονα Χ). Για τις δοκούς M3 και V2 είναι για κάμψη και τέμνουσα κατά τον κατακόρυφο άξονα. Τέλος οι θλιπτικές αξονικές δυνάμεις είναι αρνητικές (συμβ. με Ρ.)

Κατάσταση Πλαστικών Αρθρ. Τοιχωμάτων				
Τοίχωμα	U1 Plastic	R2 Plastic	R3 Plastic	Hinge Status
T2 (Ισ.) (V2)	-	-	-	>CP
T2 (Α Ορ.) (V2)	-	-	-	>CP
T15 (Ισ.) Κάτω (P-M-M)	0,0071	0,0079	0,0079	LS to CP
T12 (Ισ.) Κάτω (P-M-M)	0,0041	0,0068	0,0068	IO to LS

Πιν. 5.2.3.2 Κατάσταση και στροφές πλαστικών αρθρώσεων τοιχωμάτων για Pushover X

Κατάσταση Πλαστικών Αρθρ. Δοκών		
Δοκός	R3 Plastic	Hinge Status
Δ6 (B Ορ.) Δεξ.	0,0032	LS to CP
Δ2 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0085	>CP
Δ2 (A Ορ.) Αρ.	0,0029	IO to LS
Δ4 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0104	LS to CP
Δ4 (A Ορ.) Αρ.	0,0041	IO to LS
Δ15 (Ισ.) Αρ.	0,0101	LS to CP
Δ15 (Ισ.) Δεξ.	-0,0116	LS to CP
Δ8 (B Ορ.) Δεξ.	0,0040	IO to LS
Δ18 (Ισ.) Αρ.	0,0018	IO to LS
Δ3 (A Ορ.) Αρ.	0,0066	IO to LS
Δ3 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0064	IO to LS
Δ10 (B Ορ.) Δεξ.	-0,0113	LS to CP
Δ5 (A Ορ.) Αρ.	0,0091	LS to CP
Δ5 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0104	LS to CP
Δ2 (Ισ.) Αρ.	-0,0123	LS to CP
Δ2 (Ισ.) Δεξ.	0,0080	IO to LS
Δ6 (A Ορ.) Αρ.	0,0060	IO to LS
Δ13 (Ισ.) Δεξ.	-0,0090	IO to LS
Δ8 (Ισ.) Αρ.	0,0061	LS to CP
Δ12 (Ισ.) Δεξ.	-0,0053	LS to CP
Δ3 (Ισ.) Αρ.	0,0059	IO to LS
Δ3 (Ισ.) Δεξ.	-0,0084	IO to LS

Πιν. 5.2.3.3 Κατάσταση και στροφές πλαστικών αρθρώσεων δοκών για Pushover X

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά X		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (A Ορ.)	848	408
Δ14 (A Ορ.)	363	-185
Δ1 (A Ορ.)	444	235
Δ15 (B Ορ.)	96	123
Δ17 (B Ορ.)	156	85

Πιν. 5.2.3.4 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για Pushover X

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (B Ορ.)	-315	35	-277	76	21
K4 (A Ορ.)	-388	51	611	300	27
K4 (Ισ.)	-996	-31	500	209	21
K1 (B Ορ.)	-216	-25	158	67	-13
K1 (A Ορ.)	-455	-241	-207	97	-123
K1 (Ισ.)	-698	-75	242	64	36

Πιν. 5.2.3.5 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστ. για Pushover Χ

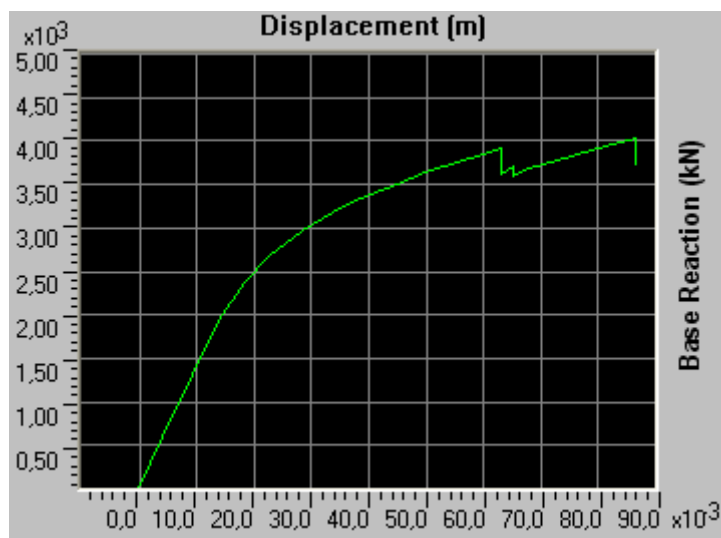
Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T15 (Ισ.)	-335	9	3684	1125	5
T15 (A Ορ.)	-168	-15	-2282	774	6
T2 (Ισ.)	-1447	4	-47	0	0
T2 (A Ορ.)	-1277	-10	-210	0	-5
T3 (Ισ.)	1607	-639	400	236	167
T5 (A Ορ.)	-288	384	306	130	23

Πιν. 5.2.3.6 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για Pushover Χ

Από τον πίνακα των πλαστικών αρθρώσεων των δοκών φαίνεται ότι τα στοιχεία που καταπονήθηκαν περισσότερο είναι περίπου τα ίδια με την 1^η φάση. Επίσης μειώθηκαν πολύ οι εντάσεις των τοιχωμάτων λόγω των πλαστικών αρθρώσεων και της ανακατανομής που πραγματοποιήθηκε για αυτό το λόγο.

Διεύθυνση Y

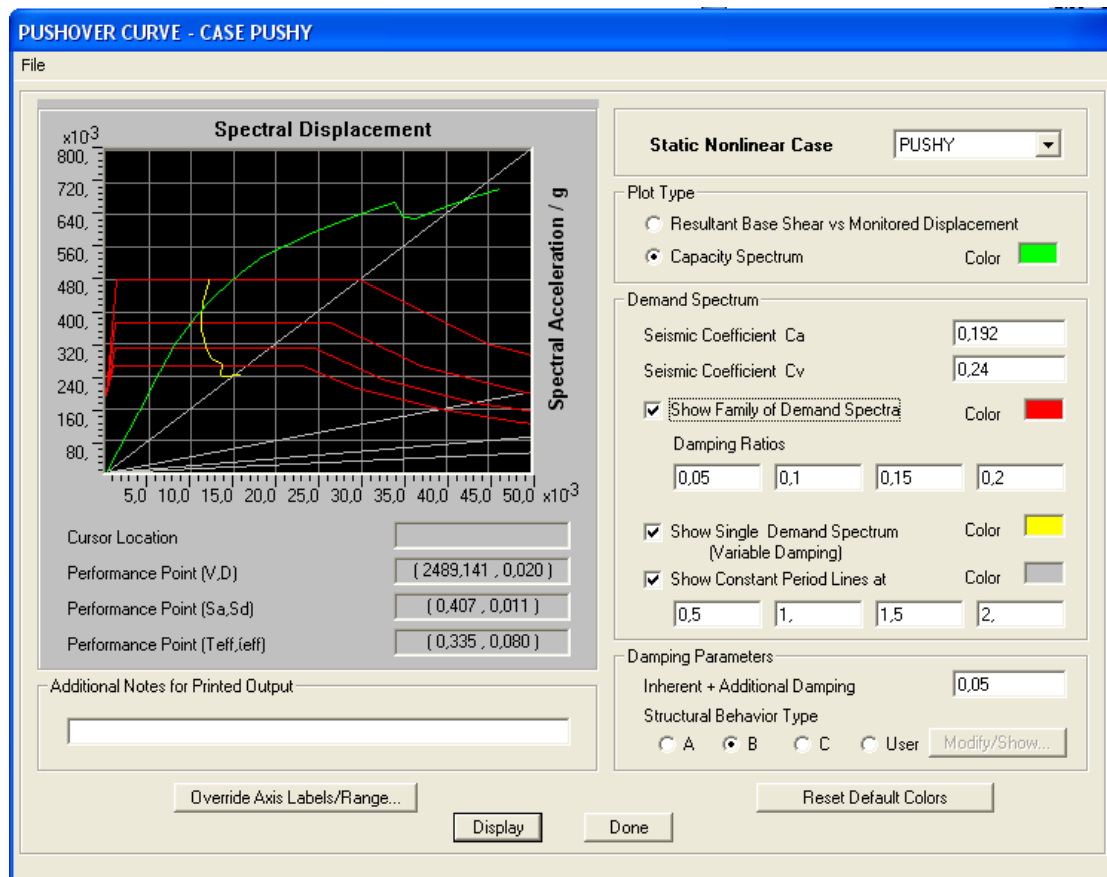
Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + PushY$



Εικ. 5.2.3.3 Καμπύλη αντίστασης (Pushover) για φόρτιση κατά Y

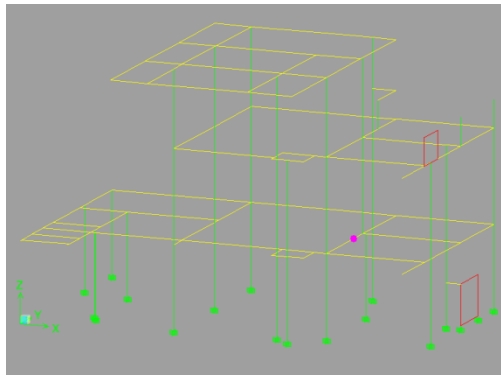
Και για τη διεύθυνση Y ισχύει το ίδιο με την X, δηλαδή με την προσθήκη των πλαστικών αρθρώσεων στα τοιχώματα έχει μειωθεί η μετελαστική δυσκαμψία της κατασκευής (συγκριτικά βλ. Εικ. 5.2.2.4) και η καμπύλη φθάνει σε μικρότερη τέμνουσα βάση. Παρ' όλα αυτά η κατασκευή έχει ακόμα αντίσταση και ο μετελαστικός κλάδος έχει κάποια κράτυνση ακόμα μέχρι το πέρας της ανάλυσης.

Παρακάτω (Εικ. 5.2.2.5) δίνεται η καμπύλη αντίστασης τροποποιημένη σε ADRS (S_a , S_d) ώστε να συγκριθεί με το φάσμα του EC8 όπως. Φαίνεται ότι το σημείο επιτελεσματικότητας («Performance Point») της κατασκευής (2500 kN, 20 mm) για ένα σεισμό που αντιστοιχεί στο φάσμα του EC8, βρίσκεται πιο ψηλά στην καμπύλη αντίστασης από ότι στην 1^η φάση ανάλυσης. Όχι πάρα πού όμως αφού και εδώ βρίσκεται κοντά στο σημεί άμεσης χρήσης (IO). Επομένως ούτε στη 2^η φάση δε θα παρουσιαστούν προβλήματα για ένα τέτοιο σεισμό.

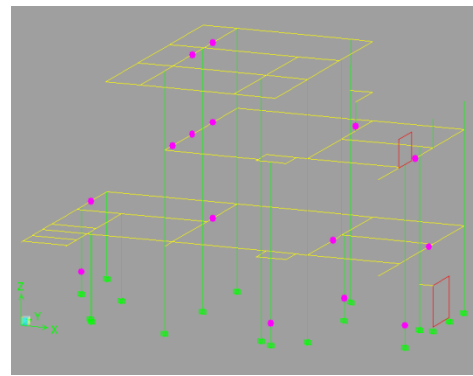


Εικ. 5.2.3.4 Μετατροπή καμπύλης σε ADRS και σημείο επιτελεστικότητας κατασκευής (Performance Point) για φόρτιση κατά Y

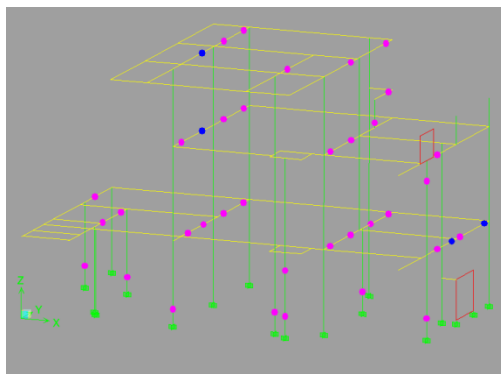
Σημ.: (Στην πραγματικότητα στην παραπάνω καρτέλα το λογισμικό δίνει το φάσμα του κανονισμού της Καλιφόρνιας (ATC-40), γι' αυτό το λόγο επιλέχθηκαν τιμές για τους συντελεστές C_a , C_v που ελέγχουν τη μορφή του φάσματος έτσι ώστε αυτό να πάρει τη μορφή του φάσματος του EC8 που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενες αναλύσεις.)



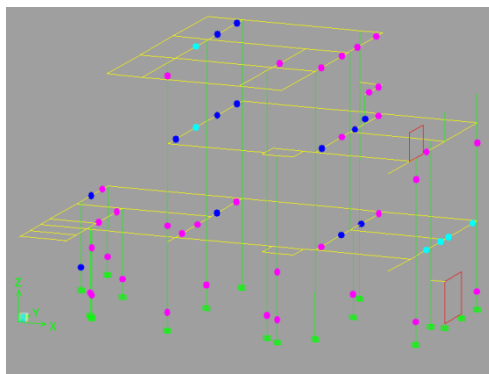
A



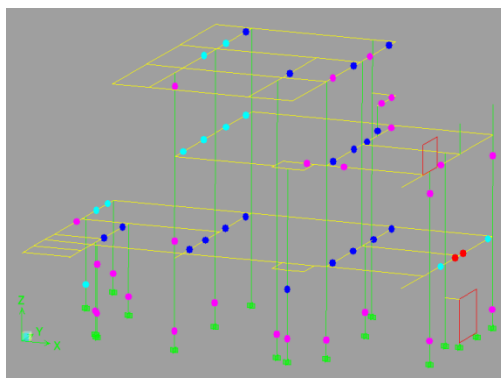
B



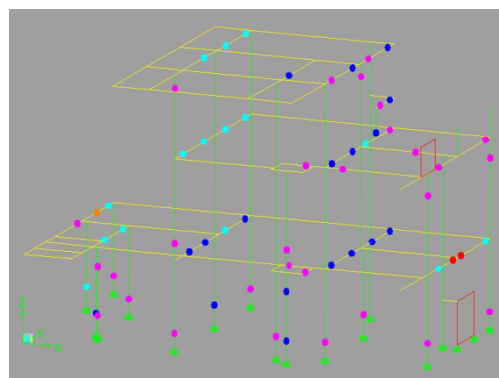
Γ



Δ



E



ΣΤ



Εικ. 5.2.3.5 Διαδοχικά στάδια της Pushover γ και πλαστικοποιήσεις στοιχείων

Στις παραπάνω εικόνες φαίνονται κάποια από τα βήματα της πλευρικής οριακής φόρτισης κατά γ και οι πλαστικές αρθρώσεις που εμφανίζονται στα στοιχεία διαδοχικά. Τα διάφορα χρώματα ορίζουν την κατάσταση της πλαστικής άρθρωσης

όπως φαίνεται και στο υπόμνημα. Συγκεκριμένα IO για Immediate Occurance, LS για Life Safety και CP για Collapse Prevention. Τα B (σημείο διαρροής), C, D, E είναι τα διαδοχικά σημεία πάνω στο διάγραμμα που ορίζει τη συμπεριφορά της πλαστικής άρθρωσης (βλ. Εικ. 3.2.8.1).

Η εικόνα B αντιστοιχεί στο «Performance Point» της κατασκευής για το φάσμα του EC8, όπου φαίνεται ότι οι επιπτώσεις είναι απλώς κάποια δοκάρια και κάποια τοιχώματα που έχουν φτάσει στο σημείο διαρροής τους. Η εικόνα ΣΤ αντιστοιχεί στο τελικό βήμα της ανάλυσης όπου φαίνεται να έχουν πλαστικοποιηθεί πολύ περισσότερα μέλη. Τα στοιχεία με τις μεγαλύτερες βλάβες είναι δοκοί που βρίσκονται κοντά σε τοιχώματα.

Συγκεκριμένα με κόκκινο χρώμα (ολική θραύση) έχουμε τις δοκούς:

Δ5 και Δ4 (Ισ.)

Με πορτοκαλί (θραύση) τη δοκό:

Δ7 (Ισ.)

Και με γαλάζιο χρώμα (Προστασία Ζωής, LS):

Δ16 (B Ορ.), Δ15 (B Ορ.), Δ7 (A Ορ.), Δ8 (A Ορ.), Δ12 (A Ορ.), Δ7 (Ισ.), Δ10 (Ισ.), Δ20 (Ισ.), Δ4 (Ισ.) και Δ5 (Ισ.).

Από τοιχώματα με γαλάζιο χρώμα (Προστασία Ζωής, LS):

T8 (Ισ.) (Καμπτικά στη βάση)

Παρατηρείται ότι και στις δύο διευθύνσεις τα υποστυλώματα δεν έχουν πάθει βλάβες τώρα που τα τοιχώματα δε συμπεριφέρονται πια ελαστικά.

Παρακάτω δίνονται τα εντατικά μεγέθη για τα στοιχεία που εξετάστηκαν και στις προηγούμενες αναλύσεις καθώς και οι καταστάσεις πλαστικών αρθρώσεων για τα στοιχεία που ξεπέρασαν τη στάθμη IO.

Σημ.: (Υπενθυμίζεται ότι τα εντατικά μεγέθη που δίνονται σε αυτούς τους πίνακες δεν είναι ταυτόχρονα. Αναλυτικότεροι πίνακες αποτελεσμάτων δίνονται στο παράρτημα (παρ. Β.3.2, Πιν. Β.3.2.1-6).

Σημειώνεται ότι για τα υποστυλώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από τον άξονα X (δηλ. για κάμψη κατά Y) ενώ με M3 το ανάποδο. Για τα τοιχώματα το ίδιο. Οι τέμνουσες V2, V3 ακολουθούν την ίδια λογική (π.χ. V2 είναι η τέμνουσα κατά τον άξονα X). Για τις δοκούς M3 και V2 είναι για κάμψη και τέμνουσα κατά τον κατακόρυφο άξονα. Τέλος οι θλιπτικές αξονικές δυνάμεις είναι αρνητικές (συμβ. με P.)

Κατάσταση Πλαστικών Αρθρ. Δοκών		
Δοκός	R3 Plastic	Hinge Status
Δ15 (B Ορ.) Δεξ. Μέση	0,011	LS to CP
Δ7 (Ισ.) Αρ.	0,013	>CP
Δ7 (Ισ.) Δεξ.	0,009	LS to CP
Δ18 (B Ορ.) Αρ.	-0,0076	IO to LS
Δ8 (A Ορ.) Αρ.	-0,01	LS to CP
Δ8 (A Ορ.) Δεξ.	0,0104	LS to CP
Δ7 (A Ορ.) Δεξ.	-0,0121	LS to CP
Δ7 (A Ορ.) Αρ.	0,0116	LS to CP
Δ16 (B Ορ.) Αρ.	-0,0097	LS to CP
Δ16 (B Ορ.) Δεξ.	0,0077	LS to CP
Δ4 (Ισ.) Δεξ.	-0,014	>CP
Δ4 (Ισ.) Αρ.	0,0088	LS to CP
Δ11 (A Ορ.) Αρ.	-0,0095	IO to LS
Δ11 (A Ορ.) Δεξ.	0,0081	IO to LS
Δ21 (B Ορ.) Δεξ.	-0,008	IO to LS
Δ20 (B Ορ.) Δεξ.	-0,0065	IO to LS
Δ20 (Ισ.) Αρ.	0,0102	LS to CP
Δ20 (Ισ.) Δεξ.	-0,0098	IO to LS
Δ19 (Ισ.) Δεξ.	-0,0116	IO to LS
Δ19 (Ισ.) Αρ.	0,0083	IO to LS
Δ12 (Ημιωρ.) Δεξ.	-0,0055	IO to LS
Δ10 (Ισ.) Αρ.	0,009	LS to CP
Δ10 (Ισ.) Δεξ.	-0,0085	LS to CP
Δ5 (Ισ.) Αρ.	0,014	>CP
Δ5 (Ισ.) Δεξ.	-0,0085	LS to CP
Δ12 (A Ορ.) Αρ.	0,0051	LS to CP
Δ21 (Ισ.) Αρ.	-0,0119	IO to LS
Δ21 (Ισ.) Δεξ.	0,0116	IO to LS
Δ32 (Ισ.) Δεξ.	-0,0095	IO to LS
Δ32 (Ισ.) Αρ.	0,01	IO to LS

Πιν. 5.2.3.7 Κατάσταση και στροφές πλαστικών αρθρώσεων δοκών για Pushover Y

Κατάσταση Πλαστικών Αρθρ. Υποστυλωμάτων				
Υποστυλ.	U1 Plastic	R2 Plastic	R3 Plastic	Hinge Status
T17 (Ημιωρ.) Κάτω	0,0007	0,005	0,005	IO to LS

Πιν. 5.2.3.8 Κατάσταση και στροφές πλαστικών αρθρώσεων υποστ. για Pushover Y

Κατάσταση Πλαστικών Αρθρ. Τοιχωμάτων				
Τοίχωμα	U1 Plastic	R2 Plastic	R3 Plastic	Hinge Status
T8 Ισ. Κάτω (P-M-M)	0,0005	0,013	0,013	LS to CP
T7 Ισ. Κάτω (P-M-M)	0,0013	0,0068	0,0068	IO to LS
T10 Ισ. Κάτω (P-M-M)	0,0012	0,0053	0,0053	IO to LS
T2 Ισ. Κάτω (P-M-M)	0,0026	0,004	0,004	IO to LS
T2 Ισ. Πάνω (P-M-M)	0,0039	0,0055	0,0055	IO to LS

Πιν. 5.2.3.9 Κατάσταση και στροφές πλαστικών αρθρώσεων τοιχωμάτων για Pushover Y

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Y		
Δοκός	M3 (kN)	V2 (kN)
Δ6 (Α Ορ.)	380	157
Δ14 (Α Ορ.)	777	-540
Δ8 (Α Ορ.)	373	-282
Δ15 (Β Ορ.)	-380	-223
Δ14 (Β Ορ.)	92	57

Πιν. 5.2.3.10 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων δοκών για Pushover Y

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Y					
Υποστυλ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
K4 (Β Ορ.)	-7	-123	-36	19	62
K4 (Α Ορ.)	-444	109	-103	24	59
K4 (Ισ.)	-1137	277	-354	232	131
K1 (Β Ορ.)	-47	-511	-91	-35	169
K1 (Α Ορ.)	-101	554	-79	-44	280
K1 (Ισ.)	-185	649	-54	40	65

Πιν. 5.2.3.11 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων υποστ. για Pushover Y

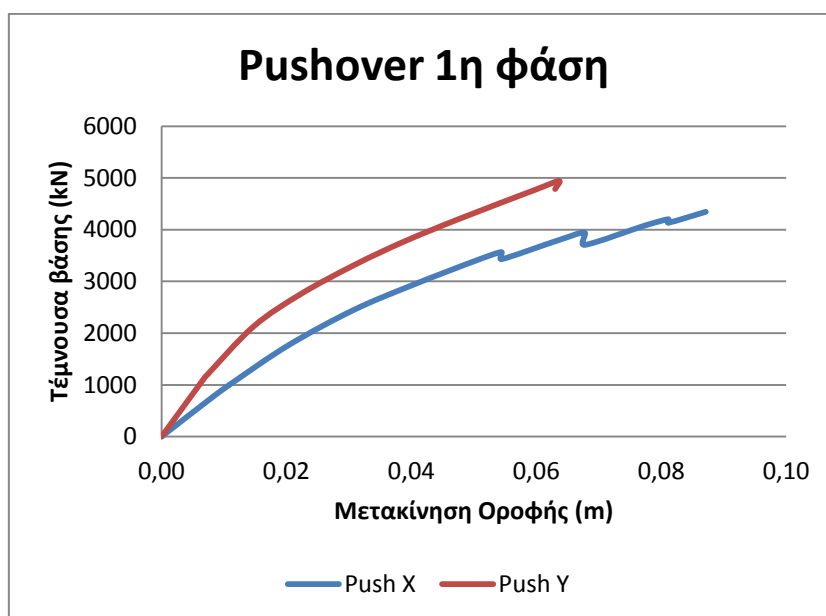
Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Y					
Τοιχ.	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	V2 (kN)	V3 (kN)
T11 (Ισ.)	-551	1288	59	17	500
T5 (Α Ορ.)	499	-1265	20	7	506
T5 (Ισ.)	497	1140	-93	-19	636
T2 (Ισ.)	2112	320	-19	2	126
T8 (Ισ.)	-65	1260	100	-47	492
T15 (Ισ.)	-865	480	1165	-507	188

Πιν. 5.2.3.12 Συγκεντρωτικός Πίνακας δυσμενέστερων τοιχωμάτων για Pushover Y

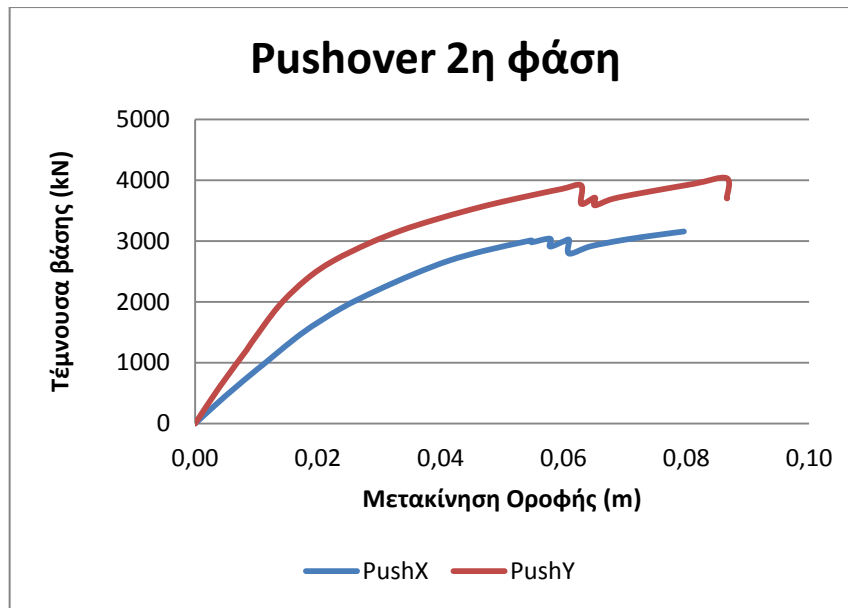
5.2.4 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται κάποιες καμπύλες αντίστασης προηγούμενων αναλύσεων στο ίδιο διάγραμμα για να γίνει μια σύγκριση των αποτελεσμάτων. Επίσης πραγματοποιούνται ορισμένες συμπληρωματικές αναλύσεις με κάποιες διαφοροποιήσεις στην προσομοίωση ώστε να φανούν οι επιπτώσεις της αλλαγής του προσομοιώματος στη συμπεριφορά της κατασκευής.

Στα δύο παρακάτω γραφήματα συγκρίνονται οι καμπύλες αντίστασης για ανάλυση της κατασκευής κατά τη διεύθυνση X και Y σε ξεχωριστό διάγραμμα για κάθε μία από τις δύο φάσεις. Είναι φανερό ότι η κατασκευή είναι πιο δύσκαμπτη κατά τη διεύθυνση Y, παρ' όλο που είναι η μικρότερη διάσταση. Αυτό οφείλεται στο ότι υπάρχουν περισσότερα τοιχώματα κατά την Y διεύθυνση. Το ίδιο παρατηρείται και στην ανάλυση με την ανελαστική συμπεριφορά τοιχωμάτων (WCA - 2^η φάση). Πιο συγκεκριμένα η δυσκαμψία του ελαστικού κλάδου για τη διεύθυνση X είναι $1500/0,017 = 88235 \text{ kN/m}$, ενώ για την Y είναι $2000/0,014 = 142857 \text{ kN/m}$.

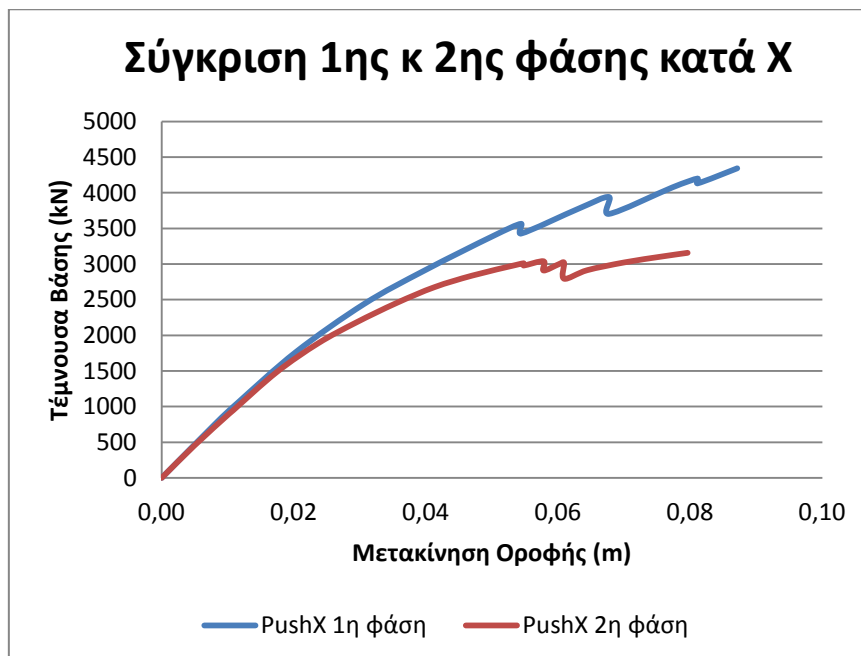


Εικ. 5.2.4.1 Σύγκριση καμπύλων αντίστασης κατά X και Y 1^{ης} φάσης

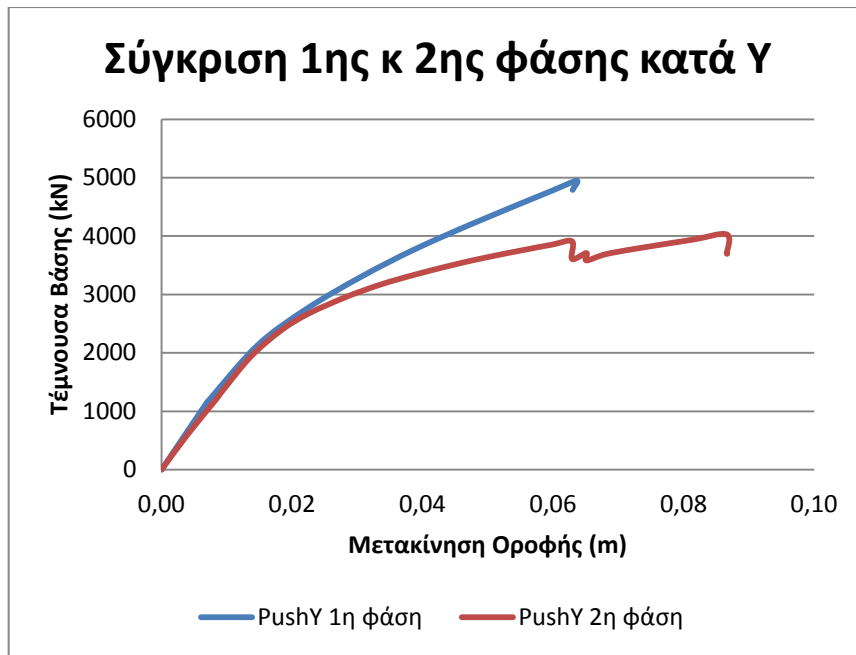


Εικ. 5.2.4.2 Σύγκριση καμπύλων αντίστασης κατά X και Y 2^{ης} φάσης

Στη συνέχεια γίνεται η σύγκριση των δύο φάσεων ανάλυσης για κάθε διεύθυνση ξεχωριστά. Είναι φανερό ότι η εισαγωγή των πλαστικών αρθρώσεων των τοιχωμάτων είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της μετελαστικής δυσκαμψίας του προσομοιώματος και στις δύο περιπτώσεις.



Εικ. 5.2.4.3 Σύγκριση καμπύλων αντίστασης 1^{ης} και 2^{ης} φάσης κατά X



Εικ. 5.2.4.4 Σύγκριση καμπύλων αντίστασης 1^{ης} και 2^{ης} φάσης κατά Υ

Για την διεύθυνση Χ η μετελαστική δυσκαμψία (κράτυνση) της 1^{ης} φάσης είναι :

$$(4344-1500)/(0,087-0,017) = 40629 \text{ kN/m}$$

Ενώ για τη 2^η φάση:

$$(3155-1500)/(0,08-0,017) = 26270 \text{ kN/m}$$

Για την διεύθυνση Υ η μετελαστική δυσκαμψία (κράτυνση) της 1^{ης} φάσης είναι:

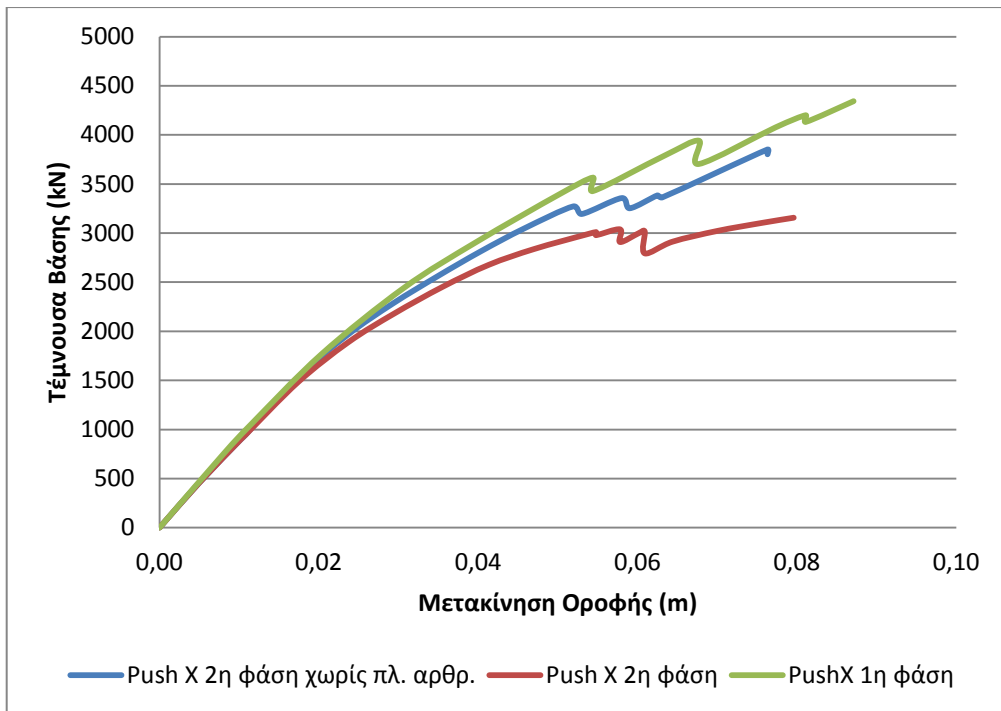
$$(4950-2000)/(0,064-0,014) = 59000 \text{ kN/m}$$

Ενώ για τη 2^η φάση:

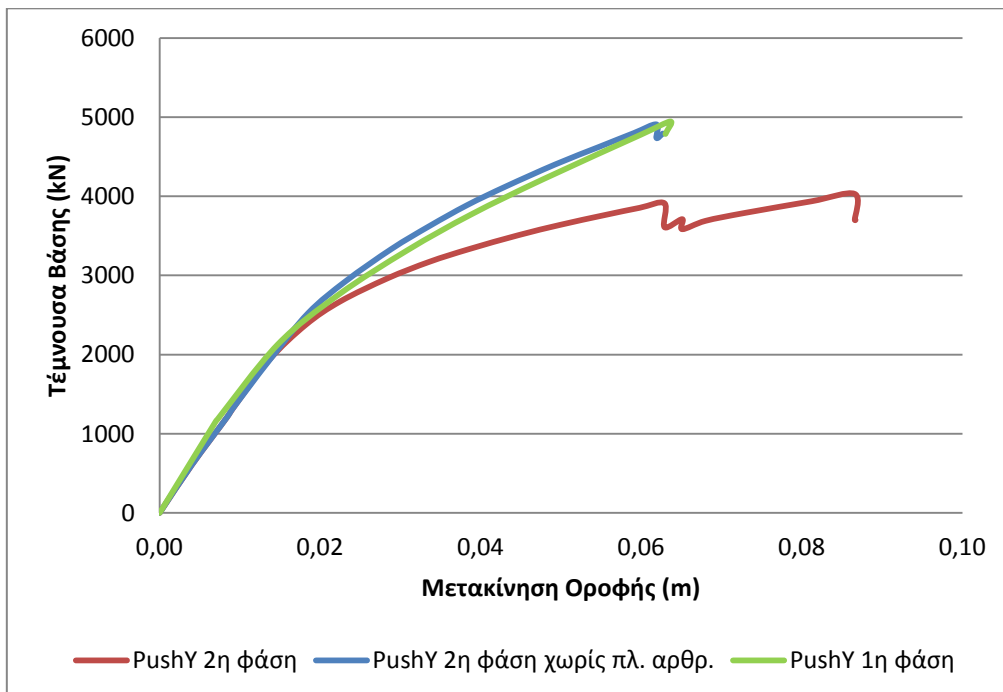
$$(4030-2000)/(0,087-0,014) = 27808 \text{ kN/m}$$

Δηλαδή για τη διεύθυνση Χ από την 1^η φάση στη 2^η υπάρχει μια μείωση της δυσκαμψίας του ανελαστικού κλάδου περίπου 35%, ενώ για τη διεύθυνση Υ περίπου 53%.

Στη συνέχεια έγιναν κάποιες συμπληρωματικές αναλύσεις. Υπολογίστηκαν οι καμπύλες αντίστασης για το προσομοίωμα με τοιχώματα σχεδιασμένα με στοιχεία πλαισίου (WCA) χωρίς πλαστικές αρθρώσεις (ελαστικά δηλαδή) και συγκρίνονται με τις προηγούμενες αναλύσεις. Επίσης έγιναν και αναλύσεις για τοιχώματα WCA μόνο με πλαστικές αρθρώσεις τέμνουσας ή μόνο με αρθρώσεις ροπής αξονικής. Οι περιπτώσεις αστοχίας τοιχώματος σε τέμνουσα ήταν ελάχιστες και οι διαφορές ήταν αμελητέες, γι' αυτό δεν παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα. Οι καμπύλες δηλαδή έπεφταν ακριβώς πάνω σε αυτές της 1^{ης} ή της 2^{ης} φάσης ανάλογα με το αν υπήρχαν οι αρθρώσεις ροπής-αξονικής ή όχι.



Εικ. 5.2.4.5 Σύγκριση 1^{ης}, 2^{ης} και 2^{ης} φάσης χωρίς πλαστικές αρθρώσεις στα τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ



Εικ. 5.2.4.6 Σύγκριση 1^{ης}, 2^{ης} και 2^{ης} φάσης χωρίς πλαστικές αρθρώσεις στα τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ

Είναι φανερό λοιπόν η επίδραση των πλαστικών αρθρώσεων των τοιχωμάτων στο προσομοίωμα, ενώ η αλλαγή του τρόπου προσομοίωσης των τοιχωμάτων επιφέρει ελάχιστες αλλαγές, ιδιαίτερα κατά τη διεύθυνση Y που οι καμπύλες αντίστασης των δύο φάσεων με ελαστικά τοιχώματα είναι σχεδόν ίδιες.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

6.1 Γενικά

Κατά την αποτίμηση ή το σχεδιασμό μιας κατασκευής ξεχωρίζουν δύο πλευρές του προβλήματος που απαιτούν την προσοχή του μηχανικού και χρήζουν πάντα περαιτέρω εμβάθυνσης και διερεύνησης ώστε να εκτιμηθούν οι πραγματικές παράμετροι. Αυτές αφορούν την προσομοίωση της κατασκευής και την επιλογή των μεθόδων ανάλυσης, που διακρίνονται σε ελαστική ανάλυση (δυναμική φασματική, ανάλυση χρονοϊστορίας κλπ.) και ανελαστική (πλευρική οριακή ώθηση (Pushover), δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας κλπ.).

Όσον αφορά την ανάλυση πρέπει να γίνει επιλογή τόσο των μεθοδολογιών όσο και του τρόπου εφαρμογής τους, δηλαδή του καθορισμού διάφορων παραγόντων και λεπτομερειών που συνθέτουν τη μεθοδολογία. Η ελαστική ανάλυση χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση μιας κατασκευής ανάλογα και με τις κανονιστικές διατάξεις κάθε χώρας. Στη συγκεκριμένη εργασία που αφορούσε υφιστάμενη κατασκευή η διαστασιολόγηση ήταν δεδομένη και έτσι οι ελαστικές αναλύσεις που έγιναν είχαν χαρακτήρα ενδεικτικό και συγκριτικό. Υπήρξε μια πρώτη εκτίμηση της συμπεριφοράς της κατασκευής, της ιδιομορφικής της ανάλυσης, υπολογίστηκαν οι σχετικές μετακινήσεις ορόφων, «Drifts» και από τα εντατικά μεγέθη που υπολογίστηκαν προέκυψαν τα δομικά στοιχεία που παραλαμβάνουν τη μεγαλύτερη ένταση. Το τελευταίο συμφωνεί και με την υπάρχουσα διαστασιολόγηση και σε γενικές γραμμές τα στοιχεία που καταπονήθηκαν περισσότερο ήταν τα ίδια σε κάθε ανάλυση που πραγματοποιήθηκε.

Η ανελαστική απόκριση της κατασκευής αποτελεί το βασικό αντικείμενο της εργασίας χρησιμοποιείται τελευταία για την αποτίμηση της συμπεριφοράς και της επάρκειας μιας υφιστάμενης κατασκευής. Όντας πιο σύγχρονη, για την οποία δεν έχουν προκύψει ακόμα γενικά στοιχεία, χρήζει και της μεγαλύτερης προσοχής για εύστοχες επιλογές από την πλευρά του μηχανικού. Οι δύο πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι η πλευρική εξώθηση (Pushover) και η μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε μόνο η ανάλυση Pushover. Υπάρχουν διάφορα θέματα που μπορεί να επηρεάσουν αρκετά την ανάλυση και να διαφοροποιήσουν τα αποτελέσματα ανάλογα με το πως θα αντιμετωπιστούν. Παρακάτω παρατίθενται κάποια από αυτά που προέκυψαν και από τη συγκεκριμένη εργασία.

Ένα από αυτά είναι ο τρόπος που θα οριστεί η ανελαστική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων. Όπως περιγράφηκε και στην εργασία στα καμπτόμενα στοιχεία εισάγονται μοντέλα συμπεριφοράς πλαστικής άρθρωσης κυρίως ροπής ή αλληλεπίδρασης διαξονικής ροπής και αξονικής δύναμης. Για τον ορισμό αυτών των μοντέλων απαραίτητος είναι ο υπολογισμός των στροφών (θ_u, θ_y) των στοιχείων. Υπάρχει μια πληθώρα τύπων στη διεθνή βιβλιογραφία με τη βοήθεια των οποίων είναι αυτό δυνατό (ΚΑΝΕΠΕ, EC8, FEMA κλπ) κάτι που οδηγεί και σε μια πληθώρα διαφορετικών αποτελεσμάτων που διαφέρουν άλλα λιγότερο άλλα περισσότερο. Οι τύποι αυτοί εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως το μήκος πλαστικής άρθρωσης, την ολίσθηση ή όχι του σπλισμού, την καμπυλότητα των διατομών στη διαρροή ή στη θραύση κα. Ανάλογα με τη θεώρηση που θα γίνει για τον κάθε παράγοντα τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν αρκετά, για αυτό το λόγο και στη συγκεκριμένη εργασία δεν θεωρήθηκε ακριβής τιμή στροφών για κάθε μέλος, αλλά ομαδοποιήθηκαν τα μέλη σε κατηγορίες. Επίσης για τη χρήση αυτών των τύπων απαραίτητα είναι τα διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων των διατομών των στοιχείων από τα οποία πρέπει να ληφθούν οι τιμές καμπυλοτήτων για τη διαρροή και τη θραύση, κάτι που δεν είναι πάντα εύκολο όπως περιγράφηκε και στην παρ. 3.2.8 (Εικ. 3.2.8.3). Ένα άλλο θέμα που καλείται να επιλέξει ο μηχανικός είναι η φόρτιση που θα επιβληθεί στην κατασκευή, για παράδειγμα αν θα είναι ελεγχόμενου φορτίου «Force control» ή ελεγχόμενης μετακίνησης «Displacement control» (βλ. παρ. 5.2.1), αν θα συμπεριληφθούν φαινόμενα 2ας τάξεως «P-Delta» και τέλος η μορφή του φορτίου π.χ αν θα έχει τη μορφή ιδιομορφής ή επιτάχυνσης. Το τελευταίο αν και δεν εξετάστηκε στο παρόν κείμενο από κάποιες διερευνητικές αναλύσεις που έγιναν φάνηκε ότι μπορεί να επιφέρει κάποιες διαφορές στη μορφή της καμπύλης αντίστασης. Όλα τα παραπάνω χρήζουν διερεύνησης και κρίσης - εκτίμησης από το μηχανικό ώστε να είναι σε θέση να ελέγξει τα αποτελέσματα και να τα συγκρίνει με άλλα.

Όσον αφορά την προσομοίωση της κατασκευής, ανάλογα και με το λογισμικό που χρησιμοποιείται ή και το είδος της κατασκευής που προσομοιώνεται, υπάρχει πλήθος άλλων λεπτομερειών στις οποίες πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε να ληφθούν ρεαλιστικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα, ανεξάρτητα της ελαστικής ή ανελαστικής ανάλυσης, μπορεί να επιφέρει η ακαμψία που θα θεωρηθεί στους κόμβους των στοιχείων (Rigid end length offsets, βλ. παρ. 3.2.1), το πόσο άκαμπτα δηλαδή θα θεωρηθούν τα άκρα των στοιχείων και για τι μήκος από το κέντρο του κόμβου. Επίσης άλλο ένα σημείο που επισημάνθηκε αρχικά (παρ. 3.2.1) είναι η προσομοίωση της διαφραγματικής λειτουργίας όπου αυτή υπάρχει καθώς και η μετακίνηση των δοκών στις πραγματικές «περασιές», κατά τρόπο που δεν επιτρέπει την ανάπτυξη αξονικών δυνάμεων. Αυτά αφορούν και την ελαστική αλλά και την ανελαστική ανάλυση. Μία λεπτομέρεια προσομοίωσης που αφορά την ανελαστική ανάλυση είναι όπως

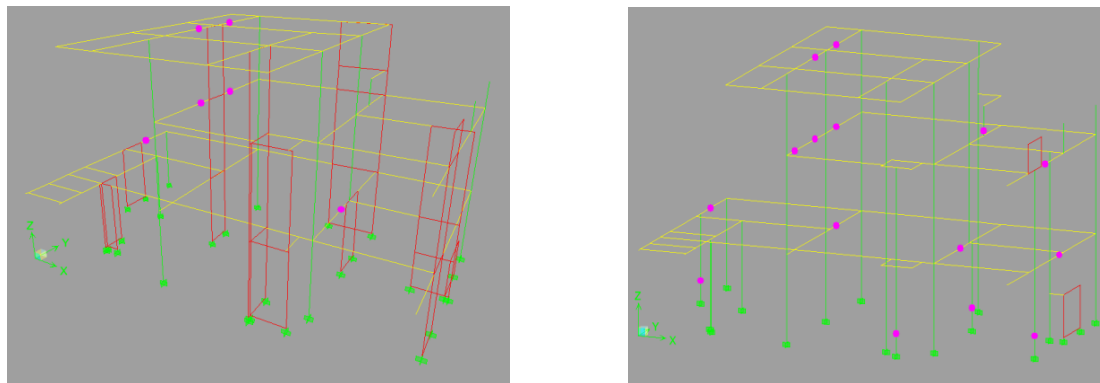
προέκυψε από την εργασία ο τρόπος προσομοίωσης των τοιχωμάτων. Η προσομοίωσή τους με στοιχεία κελύφους είναι πιο εύκολη και πιο πρακτική από τη λεγόμενη θεώρηση της πλατειάς κολώνας «Wide Column Analogy (WCA)» με στοιχεία πλαισίου, όμως δε δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής πλαστικών αρθρώσεων και επομένως ανελαστικής συμπεριφοράς (περιορισμός του χρησιμοποιηθέντος προγράμματος ETABS). Αυτό όπως φάνηκε οδηγεί σε αυξημένες αντιστάσεις της κατασκευής και ανακρίβεια αποτελεσμάτων. Επίσης κρίσιμης σημασίας είναι και η τοποθέτηση των πλαστικών αρθρώσεων και το είδος που θα χρησιμοποιηθούν για το κάθε στοιχείο. Για παράδειγμα αν θα χρησιμοποιηθεί πλαστική ολίσθηση («πλαστικές αρθρώσεις») τέμνουσας (V) για τα τοιχώματα ή και αλληλεπίδρασης ροπής αξονικής (P-M-M), κάτι που αναφέρθηκε στο τέλος του προηγούμενου κεφαλαίου όπου φάνηκε ότι πρώτα θα αστοχήσουν οι P-M-M και αργότερα οι V με αποτέλεσμα οι δεύτερες να μην επηρεάζουν ιδιαίτερα το τελικό αποτέλεσμα. Αυτό φυσικά εξαρτάται και από την αντοχή των τοιχωμάτων (τη διαστασιολόγησή τους δηλαδή) σε τέμνουσα και κάμψη. Επίσης ένα δεύτερο παράδειγμα είναι το αν χρειάζεται άρθρωση τύπου P-M-M σε κάποιες δοκούς που μπορεί να αναπτύξουν πολύ μεγάλες αξονικές και βρίσκονται εκτός διαφραγματικής λειτουργίας, αντί για απλή άρθρωση ροπής (M) που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα ανάλυση.

6.2 Περί του συγκεκριμένου προσομοιώματος

Συγκεκριμένα για την κατασκευή και το προσομοίωμα με τα οποία ασχολήθηκε η παρούσα εργασία, φάνηκε ότι παρά τη μη κανονικότητα των κατόψεων και τις τυχούσες εντάσεις που μπορεί να προκληθούν στα δομικά στοιχεία εξαιτίας αυτού, μία κατασκευή η οποία έχει μελετηθεί και κατασκευαστεί σύμφωνα με τους σύγχρονους κανονισμούς, δε θα αντιμετωπίσει ιδιαίτερα προβλήματα σε κάποιο σεισμό σημαντικής έντασης. Αυτό φάνηκε από το γεγονός ότι παρά τις διαφοροποιήσεις που έγιναν στις ανελαστικές αναλύσεις, η στάθμη επιτελεστικότητας της κατασκευής είναι ουσιαστικά για όλες «Άμεση χρήση μετά το σεισμό» (Immediate Occupancy) για ένα σεισμό σχεδιασμού του Ευρωκώδικα με εδαφική επιτάχυνση 0,24 g και κατηγορία εδάφους B.

Στην πρώτη φάση της ανελαστικής ανάλυσης τα τοιχώματα προσομοιώθηκαν με στοιχεία κελύφους με αποτέλεσμα να θεωρηθεί ότι συμπεριφέρονται ελαστικά. Αυτό είχε ως συνέπεια να παραλάβουν κάποια από αυτά μεγαλύτερη ένταση απ' την αντοχή τους και το προσομοίωμα φάνηκε ότι είχε μεγαλύτερες αντοχές. Στη δεύτερη φάση όπου αντικαταστάθηκαν τα στοιχεία κελύφους με στοιχεία πλαισίου για τα τοιχώματα και προσομοιώθηκε η ανελαστική συμπεριφορά και των τοιχωμάτων η κατασκευή έριξε λίγο τις αντοχές της, όχι όμως τόσο ώστε να αλλάξει τη στάθμη επιτελεστικότητας «Performance Level». Όπως φάνηκε και από τις

εικόνες των πλαστικοποιήσεων των στοιχείων στο κεφ.5 στο «Performance Point» η κατασκευή θα έχει υποστεί κάποιες διαρροές δοκών, ενώ στη δεύτερη φάση προστέθηκαν και κάποιες διαρροές τοιχωμάτων, όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 6.2.1.



Εικ. 6.2.1 Πλαστικοποιήσεις στοιχείων στο σημείο επιτελεστικότητας για τις δύο φάσεις ανάλυσης κατά Y

Βέβαια οι συντεταγμένες του σημείου επιτελεστικότητας άλλαξαν, αφού άλλαξε και η μορφή της καμπύλης. Πιο συγκεκριμένα για την πρώτη φάση ανάλυσης το σ.ε. ήταν για φόρτιση κατά X (1431 kN, 16 mm) και κατά Y (1582 kN, 10 mm). Στη δεύτερη φάση το σ.ε. κατά X δεν ήταν δυνατό να υπολογιστεί όπως περιγράφηκε και παραπάνω, αλλά με την υπόθεση που έγινε και προηγουμένως ότι η τέμνουσα βάσης θα είναι κοντά σε αυτή της φόρτισης κατά X, υπολογίζεται περίπου για 2400kN με μετακίνηση οροφής κοντά στα 30mm. Για την διεύθυνση Y ήταν (2500 kN, 20 mm). Βλέπουμε ότι υπάρχει σημαντική αύξηση της μετακίνησης οροφής στη 2^η φάση. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι μετακινήσεις του ίδιου σημείου (κορυφή υποστ. K4) για τις παραπάνω περιπτώσεις καθώς και για τις ελαστικές αναλύσεις. Φαίνεται ότι οι μετακινήσεις της δυναμικής φασματικής ανάλυσης είναι πολύ κοντά σε αυτές της πρώτης φάσης της ανελαστικής με τα ελαστικά τοιχώματα, ξεφεύγουν όμως οι μετακινήσεις της δεύτερης ανάλυσης. Από τα αποτελέσματα των χρονοϊστοριών πιο κοντά είναι αυτά του σεισμού του Kobe.

Μέγιστες Μετακινήσεις Κορυφής Υποστ. K4						
Φόρτιση κατά	Ελαστική Ανάλυση				Ανελαστική Ανάλυση	
	Δυναμική Φασματική	Χρονοϊστ. Kobe Tak.	Χρονοϊστ. Northr. LH.	Χρονοϊστ. Northr. Rin.	Pushover 1η φάση	Pushover 2η φάση
X	0,015	0,013	0,009	0,010	0,016	Υποθ. 0,030?
Y	0,012	0,008	0,005	0,006	0,010	0,020

Πιν. 6.2.1 Μέγιστες Μετακινήσεις Κορυφής Υποστ. K4 για όλες τις αναλύσεις

Η αλλαγή που επέφεραν οι πλαστικές αρθρώσεις των τοιχωμάτων στη συμπεριφορά της κατασκευής ήταν μεγαλύτερη για φόρτιση κατά τη δύσκαμπτη διεύθυνση του προσομοιώματος, την Υ. Όπως αναφέρθηκε και λίγο παραπάνω η μείωση της δυσκαμψίας του μετελαστικού κλάδου από την 1^η φάση στη 2^η για φόρτιση κατά Υ ήταν 53%, ενώ για φόρτιση κατά Χ μόνο 35%, το οποίο δικαιολογείται αφού τα περισσότερα τοιχώματα είναι προσανατολισμένα με τη μεγάλη τους διάσταση στην Υ διεύθυνση.

Ωστόσο για να εξακριβωθεί ότι οι αλλαγές αυτές προέκυψαν από την ανελαστική συμπεριφορά των τοιχωμάτων και όχι από την αλλαγή του τρόπου προσομοίωσης έγιναν όπως περιγράφεται στο τέλος του προηγούμενου κεφαλαίου και κάποιες συμπληρωματικές αναλύσεις που έδειξαν ότι οι δύο διαφορετικές προσεγγίσεις των τοιχωμάτων (με στοιχεία κελύφους και WCA) δεν έχουν μεγάλες διαφορές (βλ. Εικ. 5.2.4.5-6). Έτσι μπορούν να θεωρηθούν όλα τα παραπάνω συμπεράσματα ασφαλή.

Τέλος, από τα τελευταία στάδια της ανάλυσης, φάνηκε ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα αντιμετώπισαν οριζόντια στοιχεία και συγκεκριμένα οι δοκοί που βρίσκονται κοντά σε τοιχώματα, ιδιαίτερα δε δοκοί μικρού μήκους κοντά στον πυρήνα της κατασκευής (τοιχ. T2 και T3). Τα υποστυλώματα υπέστησαν ελάχιστες ζημιές, ενώ στη δεύτερη φάση καθόλου, όπου και όλες οι βλάβες των κατακόρυφων στοιχείων παρουσιάστηκαν στα τοιχώματα με μορφή καμπτικής αστοχίας, η οποία είναι και προτιμότερο να προηγείται της διατμητικής που είναι ψαθυρή και άρα ανεπιθύμητη.

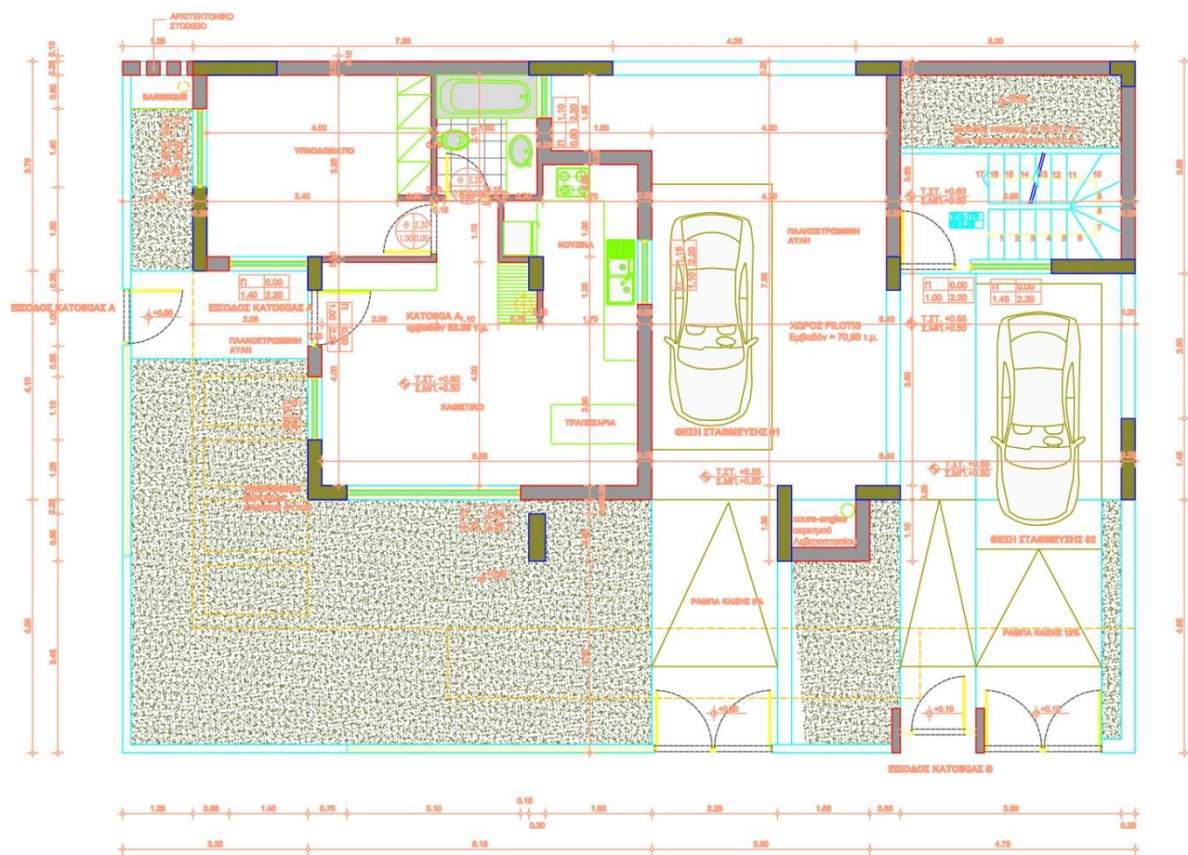
Βιβλιογραφία

- ΕΑΚ 2000**, Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, ΟΑΣΠ
- ΕΚΩΣ 2000**, Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος, ΟΑΣΠ
- Eurocode 8 [2003]**, Design of structures for earthquake resistance (English version, prEN 1998), CEN
- ΚΑΝΕΠΕ [2009]**, Κανονισμός Επεμβάσεων, Τελικό Σχέδιο Κειμένου-3, ΟΑΣΠ
- Eurocode 2 [2002]**, Design of concrete structures (English version, prEN 1992), CEN
- ATC-40 [1996]**, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, California Seismic Safety Commission
- Ψυχάρης Γ. [2007]**, Αντισεισμικός σχεδιασμός με στάθμες επιτελεστικότητας, Σημειώσεις του μαθήματος Αντισεισμική Τεχνολογία 2
- Τάσιος Θ.Π. [2010]**, Θεωρία σχεδιασμού επισκευών και ενισχύσεων
- Σταυρίδης Λ.Θ. [2006]**, Στατική των δομικών φορέων (Μέρος Β)
- Rana R., Jin L., Zekioglu A. [2004]**, Pushover analysis of a 19 story concrete shear wall building, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada
- CSI [2005]**, CSI analysis reference manual for SAP, ETABS, SAFE
- CSI [2005]**, ETABS section designer manual
- PEER [2011]**, User's manual for the PEER ground motion database web application, Pacific Earthquake Engineering Research Center ground motion database
http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database/
- PEER [2011]**, Technical report for the PEER ground motion database web application, Pacific Earthquake Engineering Research Center ground motion database

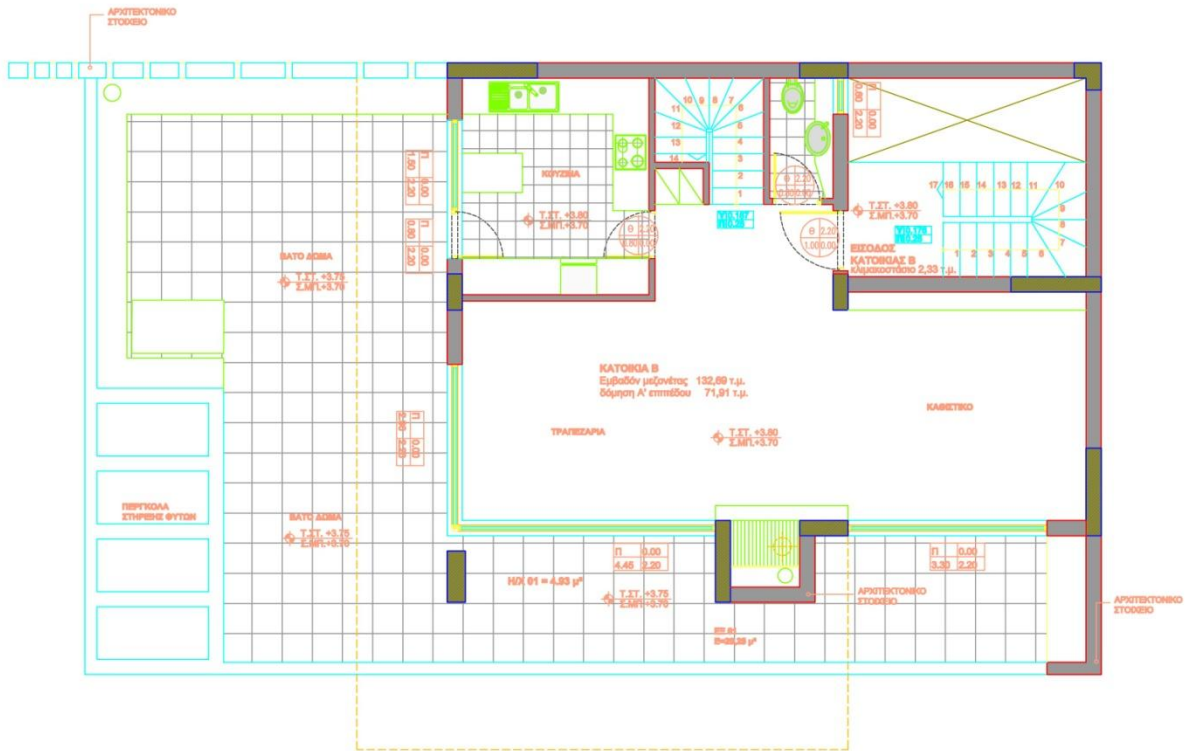
Παράρτημα Α

A.1. Ξυλότυποι και κατόψεις κατασκευής

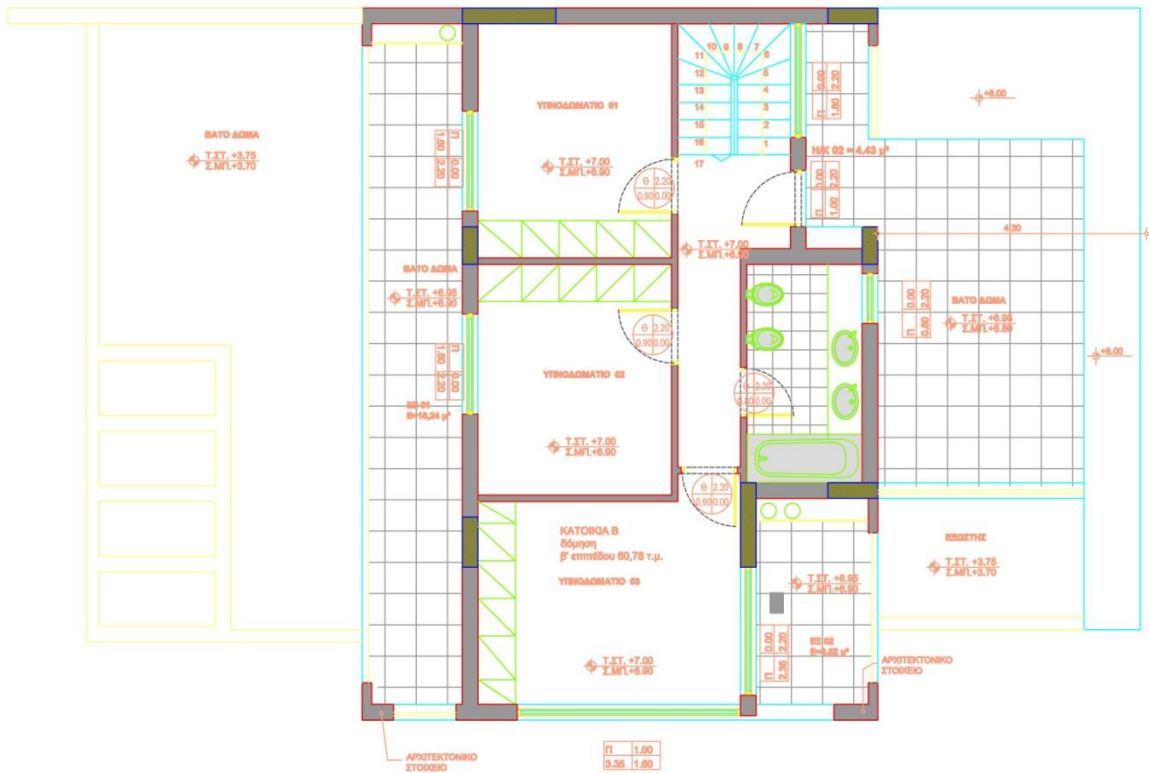
Εδώ δίνονται οι κατόψεις της κατασκευής καθώς και οι ξυλότυποι μεγαλύτεροι από ότι στο Κεφ. 3 ώστε να φαίνεται καλύτερα ο σπλισμός των στοιχείων και οι διαστάσεις.



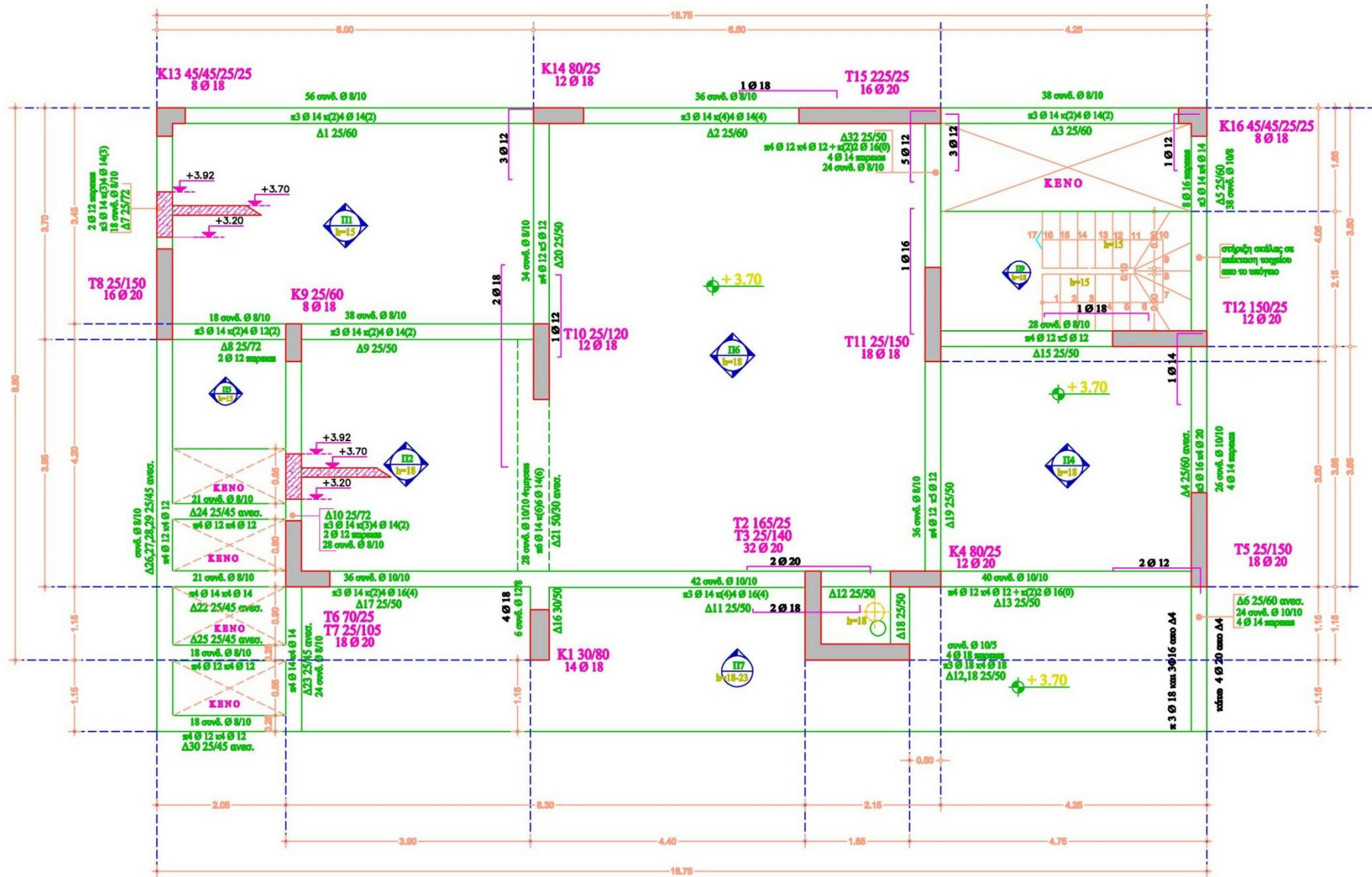
Εικ. A.1.1 Κάτοψη Ισογείου



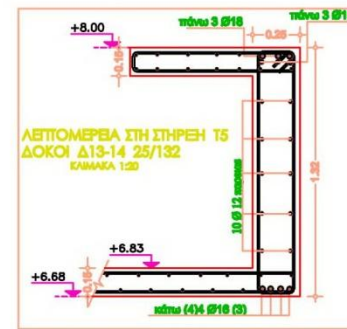
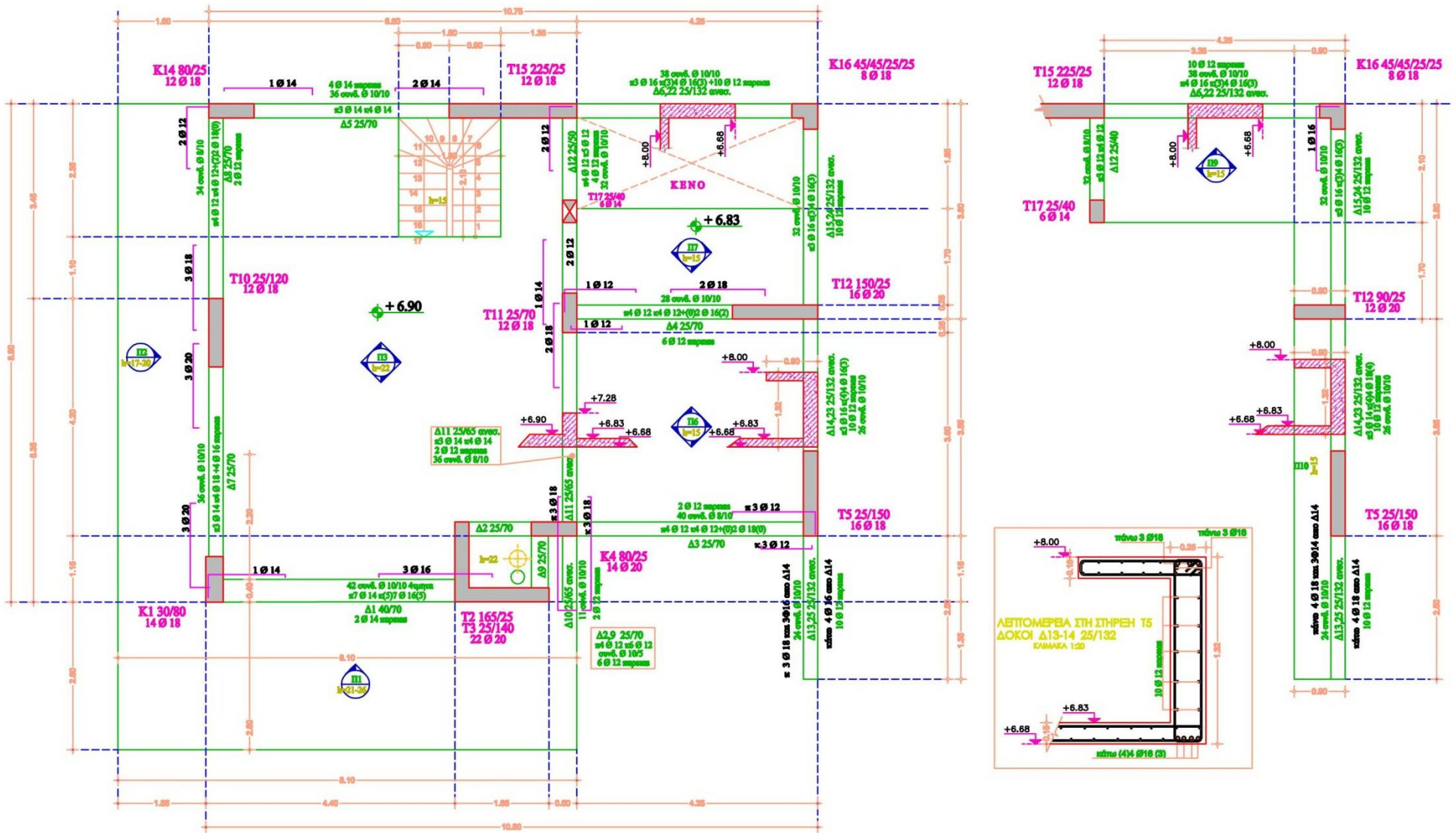
Εικ. Α.1.2 Κάτοψη Α Ορόφου



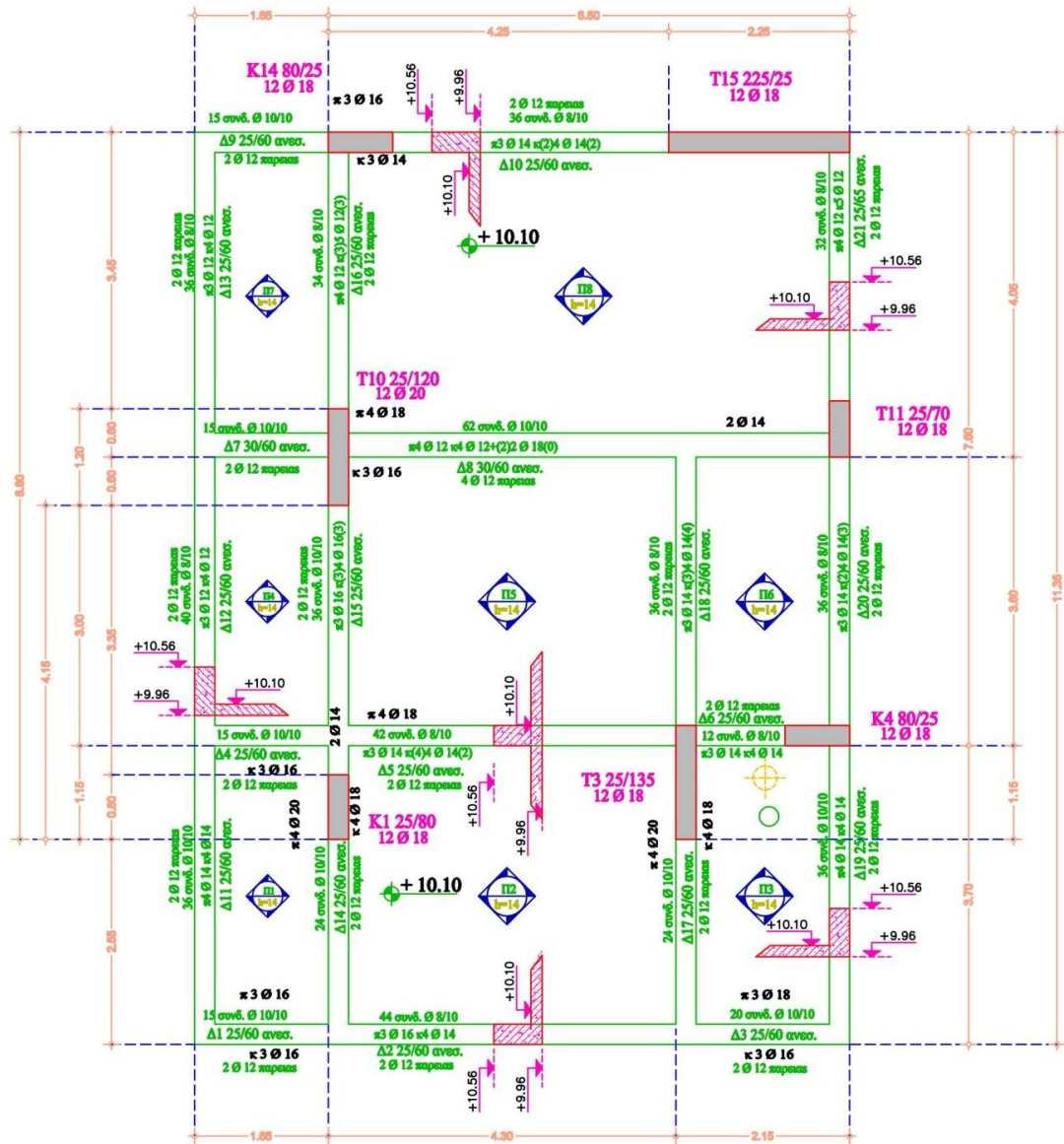
Εικ. Α.1.3 Κάτοψη Β Ορόφου



Εικ. Α.1.4 Ξυλότυπος Οροφής Ισογείου



Εικ. Α.1.5 Ξυλότυπος Οροφής Α Ορόφου



Εικ. Α.1.6 Ξυλότυπος Οροφής Β Ορόφου

Παράρτημα Β

B.1. Αποτελέσματα δυναμικής φασματικής ανάλυσης

Αποτελέσματα για φόρτιση στη διεύθυνση X

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L \pm 1,00 \cdot E_x \pm 0,30 \cdot E_y \pm 0,30 \cdot E_z$

Σημ.: (Σημειώνεται ότι για τα υποστυλώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από τον άξονα X (δηλ. για κάμψη κατά Y) ενώ με M3 το ανάποδο. Για τα τοιχώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από άξονα κάθετο στη μεγάλη διάσταση των τοιχωμάτων (δηλ. για κάμψη κατά τη μεγάλη διάσταση), και με M3 το αντίθετο. Οι τέμνουσες V2, V3 ακολουθούν την ίδια λογική (π.χ. για υποστυλ. V2 είναι η τέμνουσα κατά τον άξονα X). Για τις δοκούς M3 και V2 είναι για κάμψη και τέμνουσα κατά τον κατακόρυφο άξονα. Τέλος οι θλιπτικές αξονικές δυνάμεις είναι αρνητικές (συμβ. με P) και η στρέψη συμβολίζεται με T.)

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά X								
Δοκός	Φόρτιση	Θέση κατά μήκος στο στοιχείο	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
Δ6 A Op.	Ex Min	0,00	-120,71	-244,49	-0,33	-0,95	-0,45	-623,16
Δ6 A Op.	Ex Min	0,47	-120,71	-237,80	-0,33	-0,95	-0,30	-509,07
Δ6 A Op.	Ex Min	0,95	-120,71	-231,11	-0,33	-0,95	-0,14	-398,16
Δ6 A Op.	Ex Max	3,79	114,45	224,49	0,40	0,40	0,81	200,91
Δ6 A Op.	Ex Min	1,42	-120,71	-224,41	-0,33	-0,95	-0,03	-290,41
Δ6 A Op.	Ex Max	3,31	114,45	217,80	0,40	0,40	0,65	109,01
Δ6 A Op.	Ex Min	1,89	-120,71	-217,72	-0,33	-0,95	-0,19	-185,83
Δ6 A Op.	Ex Max	2,84	114,45	211,11	0,40	0,40	0,50	16,57
Δ6 A Op.	Ex Min	2,37	-120,71	-211,03	-0,33	-0,95	-0,38	-84,44
Δ6 A Op.	Ex Max	2,37	114,45	204,41	0,40	0,40	0,34	108,52
Δ6 A Op.	Ex Min	2,84	-120,71	-204,33	-0,33	-0,95	-0,57	7,47
Δ6 A Op.	Ex Max	1,89	114,45	197,72	0,40	0,40	0,18	203,61
Δ6 A Op.	Ex Min	3,31	-120,71	-197,64	-0,33	-0,95	-0,76	-91,35
Δ6 A Op.	Ex Max	1,42	114,45	191,03	0,40	0,40	0,06	295,56
Δ6 A Op.	Ex Min	3,79	-120,71	-190,95	-0,33	-0,95	-0,95	-195,94
Δ6 A Op.	Ex Max	0,95	114,45	184,34	0,40	0,40	0,20	384,35
Δ6 A Op.	Ex Max	0,47	114,45	177,64	0,40	0,40	0,39	469,98
Δ6 A Op.	Ex Max	0,00	114,45	170,95	0,40	0,40	0,58	552,43
Δ14 A Op.	Ex Max	2,45	0,00	308,02	0,00	1,91	0,00	545,69
Δ14 A Op.	Ex Max	1,98	0,00	301,04	0,00	1,91	0,00	438,87
Δ14 A Op.	Ex Max	1,52	0,00	294,06	0,00	1,91	0,00	329,30
Δ14 A Op.	Ex Max	1,05	0,00	287,07	0,00	1,91	0,00	217,66
Δ14 A Op.	Ex Max	0,59	0,00	280,09	0,00	1,91	0,00	107,03

Δ14 A Op.	Ex Max	0,13	0,00	273,11	0,00	1,91	0,00	68,38
Δ14 A Op.	Ex Min	0,13	0,00	-263,10	0,00	-2,15	0,00	-77,97
Δ14 A Op.	Ex Min	0,59	0,00	-256,11	0,00	-2,15	0,00	-124,51
Δ14 A Op.	Ex Min	1,05	0,00	-249,13	0,00	-2,15	0,00	-249,51
Δ14 A Op.	Ex Min	1,52	0,00	-242,15	0,00	-2,15	0,00	-382,01
Δ14 A Op.	Ex Min	1,98	0,00	-235,16	0,00	-2,15	0,00	-518,92
Δ14 A Op.	Ex Min	2,45	0,00	-228,18	0,00	-2,15	0,00	-659,57
Δ1 A Op.	Ex Max	4,20	0,00	291,05	0,00	2,88	0,00	320,99
Δ1 A Op.	Ex Min	0,15	0,00	-264,70	0,00	-2,13	0,00	-247,88
Δ1 A Op.	Ex Max	3,75	0,00	263,33	0,00	2,88	0,00	308,05
Δ1 A Op.	Ex Min	0,60	0,00	-236,98	0,00	-2,13	0,00	-135,29
Δ1 A Op.	Ex Max	3,30	0,00	235,62	0,00	2,88	0,00	282,72
Δ1 A Op.	Ex Min	1,05	0,00	-209,26	0,00	-2,13	0,00	-35,49
Δ1 A Op.	Ex Max	2,85	0,00	207,90	0,00	2,88	0,00	245,08
Δ1 A Op.	Ex Min	1,50	0,00	-181,55	0,00	-2,13	0,00	48,26
Δ1 A Op.	Ex Max	2,40	0,00	180,19	0,00	2,88	0,00	195,30
Δ1 A Op.	Ex Min	1,95	0,00	-153,83	0,00	-2,13	0,00	20,61
Δ1 A Op.	Ex Max	1,95	0,00	152,47	0,00	2,88	0,00	133,84
Δ1 A Op.	Ex Min	2,40	0,00	-126,12	0,00	-2,13	0,00	-52,72
Δ1 A Op.	Ex Max	1,50	0,00	124,75	0,00	2,88	0,00	93,10
Δ1 A Op.	Ex Min	2,85	0,00	-98,40	0,00	-2,13	0,00	-139,32
Δ1 A Op.	Ex Max	1,05	0,00	97,04	0,00	2,88	0,00	138,80
Δ1 A Op.	Ex Min	3,30	0,00	-70,68	0,00	-2,13	0,00	-238,73
Δ1 A Op.	Ex Max	0,60	0,00	69,32	0,00	2,88	0,00	175,60
Δ1 A Op.	Ex Min	3,75	0,00	-42,97	0,00	-2,13	0,00	-350,79
Δ1 A Op.	Ex Max	0,15	0,00	41,61	0,00	2,88	0,00	200,24
Δ1 A Op.	Ex Min	4,20	0,00	-15,25	0,00	-2,13	0,00	-475,41
Δ15 B Op.	Ex Max	0,40	0,00	271,35	0,00	19,33	0,00	210,57
Δ15 B Op.	Ex Max	0,88	0,00	263,45	0,00	19,33	0,00	107,07
Δ15 B Op.	Ex Min	3,74	0,00	-134,40	0,00	-1,75	0,00	-193,71
Δ15 B Op.	Ex Min	3,27	0,00	-127,59	0,00	-1,75	0,00	-151,54
Δ15 B Op.	Ex Max	0,88	0,00	126,72	0,00	3,16	0,00	111,75
Δ15 B Op.	Ex Min	2,79	0,00	-120,78	0,00	-1,75	0,00	-106,81
Δ15 B Op.	Ex Max	1,36	0,00	119,91	0,00	3,16	0,00	53,28
Δ15 B Op.	Ex Min	2,31	0,00	-113,98	0,00	-1,75	0,00	-62,62
Δ15 B Op.	Ex Max	1,84	0,00	113,11	0,00	3,16	0,00	-0,76
Δ15 B Op.	Ex Min	1,84	0,00	-107,17	0,00	-1,75	0,00	-27,48
Δ15 B Op.	Ex Max	2,31	0,00	106,30	0,00	3,16	0,00	34,81
Δ15 B Op.	Ex Min	1,36	0,00	-100,36	0,00	-1,75	0,00	-75,43
Δ15 B Op.	Ex Max	2,79	0,00	99,49	0,00	3,16	0,00	85,90
Δ15 B Op.	Ex Min	0,88	0,00	-93,55	0,00	-1,75	0,00	-121,34
Δ15 B Op.	Ex Max	3,27	0,00	92,68	0,00	3,16	0,00	144,02
Δ15 B Op.	Ex Max	3,74	0,00	85,88	0,00	3,16	0,00	206,08
Δ15 B Op.	Ex Min	0,88	0,00	-39,92	0,00	-20,08	0,00	-120,82
Δ15 B Op.	Ex Min	0,40	0,00	-32,03	0,00	-20,08	0,00	-112,45

Δ17 Β Ορ.	Ex Max	0,00	0,00	142,19	0,00	7,80	0,00	294,81
Δ17 Β Ορ.	Ex Max	0,46	0,00	134,76	0,00	7,80	0,00	231,25
Δ17 Β Ορ.	Ex Max	0,92	0,00	127,32	0,00	7,80	0,00	171,11
Δ17 Β Ορ.	Ex Max	1,38	0,00	119,88	0,00	7,80	0,00	114,39
Δ17 Β Ορ.	Ex Max	1,84	0,00	112,44	0,00	7,80	0,00	61,09
Δ17 Β Ορ.	Ex Max	2,30	0,00	105,00	0,00	7,80	0,00	11,38
Δ17 Β Ορ.	Ex Min	2,30	0,00	-43,38	0,00	-7,21	0,00	-5,05
Δ17 Β Ορ.	Ex Min	1,84	0,00	-35,94	0,00	-7,21	0,00	-23,05
Δ17 Β Ορ.	Ex Min	1,38	0,00	-28,50	0,00	-7,21	0,00	-37,82
Δ17 Β Ορ.	Ex Min	0,92	0,00	-21,06	0,00	-7,21	0,00	-49,19
Δ17 Β Ορ.	Ex Min	0,46	0,00	-13,63	0,00	-7,21	0,00	-57,15
Δ17 Β Ορ.	Ex Min	0,00	0,00	-6,19	0,00	-7,21	0,00	-61,69

Πιν. Β.1.1 Αποτελέσματα Δυναμικής Φασματικής Ανάλυσης (Δοκοί για φόρτιση κατά Χ)

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ								
Υποστυλώμα	Φόρτιση	Θέση καθ' ύψος του στοιχείου	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
K4 Β Ορ.	Ex Min	0,00	-166,03	-213,86	-46,67	-1,11	-78,74	-435,70
K4 Β Ορ.	Ex Max	0,00	36,99	202,79	43,94	1,08	64,94	421,16
K4 Β Ορ.	Ex Max	3,06	51,41	202,79	43,94	1,08	65,36	220,05
K4 Β Ορ.	Ex Min	3,06	-151,61	-213,86	-46,67	-1,11	-70,80	-200,74
K4 Β Ορ.	Ex Max	1,53	44,20	202,79	43,94	1,08	8,17	112,48
K4 Β Ορ.	Ex Min	1,53	-158,82	-213,86	-46,67	-1,11	-17,78	-110,09
K4 Α Ορ.	Ex Min	0,00	-516,56	-141,93	-37,14	-0,61	-69,18	-290,72
K4 Α Ορ.	Ex Max	0,00	111,07	96,05	26,99	0,53	52,52	189,87
K4 Α Ορ.	Ex Max	3,00	125,21	96,05	26,99	0,53	42,28	139,61
K4 Α Ορ.	Ex Min	3,00	-502,43	-141,93	-37,14	-0,61	-28,49	-102,83
K4 Α Ορ.	Ex Min	1,50	-509,49	-141,93	-37,14	-0,61	-13,51	-90,88
K4 Α Ορ.	Ex Max	1,50	118,14	96,05	26,99	0,53	12,07	58,85
K4 Ισ.	Ex Min	0,00	-845,22	-113,08	-28,58	-0,23	-39,71	-274,89
K4 Ισ.	Ex Max	0,00	191,74	81,99	23,68	0,21	33,51	232,60
K4 Ισ.	Ex Min	1,35	-838,86	-113,08	-28,58	-0,23	-3,90	-122,67
K4 Ισ.	Ex Max	1,35	198,10	81,99	23,68	0,21	4,31	122,36
K4 Ισ.	Ex Max	2,70	204,46	81,99	23,68	0,21	37,55	51,60
K4 Ισ.	Ex Min	2,70	-832,50	-113,08	-28,58	-0,23	-30,52	-9,93
K1 Β Ορ.	Ex Min	0,00	-411,78	-64,55	-147,42	-1,83	-238,51	-173,09
K1 Β Ορ.	Ex Max	0,00	-19,53	52,75	157,49	1,78	187,77	135,72
K1 Β Ορ.	Ex Min	1,53	-403,13	-64,55	-147,42	-1,83	-92,57	-75,10
K1 Β Ορ.	Ex Max	1,53	-10,88	52,75	157,49	1,78	26,43	55,78
K1 Β Ορ.	Ex Min	3,06	-394,48	-64,55	-147,42	-1,83	-300,83	-27,03

K1 B Op.	Ex Max	3,06	-2,22	52,75	157,49	1,78	219,29	25,77
K1 A Op.	Ex Max	3,00	-171,05	30,85	46,62	0,88	90,58	85,94
K1 A Op.	Ex Min	0,00	-728,86	-47,49	-85,56	-1,01	-183,82	-56,63
K1 A Op.	Ex Min	3,00	-711,90	-47,49	-85,56	-1,01	-46,99	-53,73
K1 A Op.	Ex Max	0,00	-188,02	30,85	46,62	0,88	110,60	38,89
K1 A Op.	Ex Max	1,50	-179,53	30,85	46,62	0,88	48,92	15,92
K1 A Op.	Ex Min	1,50	-720,38	-47,49	-85,56	-1,01	-63,73	-8,69
K1 Ισ.	Ex Min	2,70	-888,15	-3,99	-45,85	-0,38	-58,59	-41,10
K1 Ισ.	Ex Min	1,35	-895,79	-3,99	-45,85	-0,38	-60,55	-30,76
K1 Ισ.	Ex Max	2,70	-336,84	9,50	6,43	0,34	122,15	29,82
K1 Ισ.	Ex Max	0,00	-352,11	9,50	6,43	0,34	48,37	27,69
K1 Ισ.	Ex Max	1,35	-344,48	9,50	6,43	0,34	70,89	26,92
K1 Ισ.	Ex Min	0,00	-903,42	-3,99	-45,85	-0,38	-91,25	-24,09

Πιν. Β.1.2 Αποτελέσματα Δυναμικής Φασματικής Ανάλυσης (Υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ)

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ								
Τοίχωμα	Φόρτιση	Θέση	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
T15 Ισ.	Ex Max	Κάτω	-396,96	591,56	19,85	16,25	44,53	2097,30
T15 Ισ.	Ex Max	Πάνω	-313,38	591,56	19,85	16,25	16,79	593,82
T15 Ισ.	Ex Min	Κάτω	-675,93	-593,24	-19,76	-15,19	-47,19	-2157,35
T15 Ισ.	Ex Min	Πάνω	-592,35	-593,24	-19,76	-15,19	-19,74	-648,51
T15 A Op.	Ex Max	Κάτω	-131,14	428,79	18,03	25,81	22,11	812,31
T15 A Op.	Ex Max	Πάνω	-243,10	428,79	18,03	25,81	33,22	810,63
T15 A Op.	Ex Min	Κάτω	-464,41	-462,22	-12,68	-24,79	-25,15	-918,16
T15 A Op.	Ex Min	Πάνω	-352,45	-462,22	-12,68	-24,79	-33,83	-796,14
T2 Ισ.	Ex Min	Κάτω	-1657,11	-375,10	-29,93	-11,60	-48,79	-1279,96
T2 Ισ.	Ex Min	Πάνω	-1521,56	-375,10	-29,93	-11,60	-44,73	-370,90
T2 Ισ.	Ex Max	Κάτω	633,56	355,11	27,83	10,98	44,73	1193,11
T2 Ισ.	Ex Max	Πάνω	769,10	355,11	27,83	10,98	47,40	348,00
T2 A Op.	Ex Min	Κάτω	-713,55	-424,77	-44,26	-23,75	-75,88	-990,36
T2 A Op.	Ex Min	Πάνω	-496,17	-424,77	-44,26	-23,75	-76,06	-845,11
T2 A Op.	Ex Max	Κάτω	88,12	511,34	39,04	20,70	68,47	1051,19
T2 A Op.	Ex Max	Πάνω	305,50	511,34	39,04	20,70	87,95	585,63
T3 Ισ.	Ex Min	Κάτω	-2032,96	-219,18	-29,01	-4,37	-58,99	-583,00
T3 Ισ.	Ex Min	Πάνω	-1945,78	-219,18	-29,01	-4,37	-16,05	-184,70
T3 Ισ.	Ex Max	Κάτω	957,33	137,12	21,65	1,65	53,40	439,03
T3 Ισ.	Ex Max	Πάνω	1044,50	137,12	21,65	1,65	34,03	303,35
T5 A Op.	Ex Min	Πάνω	-329,95	-454,93	-36,63	-24,15	-63,58	-949,87
T5 A Op.	Ex Min	Κάτω	-381,07	-454,93	-36,63	-24,15	-66,87	-705,39
T5 A Op.	Ex Max	Πάνω	125,18	442,42	31,73	25,57	68,93	988,41

T5 A Op.	Ex Max	Κάτω	74,06	442,42	31,73	25,57	54,11	697,65
----------	--------	------	-------	--------	-------	-------	-------	--------

Πιν. Β.1.3 Αποτελέσματα Δυναμικής Φασματικής Ανάλυσης (Τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ)

Αποτελέσματα για φόρτιση στη διεύθυνση Υ

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L \pm 0,30 \cdot Ex \pm 1,00 \cdot Ey \pm 0,30 \cdot Ez$

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Υ								
Δοκός	Φόρτιση	Θέση κατά μήκος στο στοιχείο	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
Δ6 A Op.	EY Min	0,00	-74,91	-168,92	-0,26	-1,26	-0,35	-411,53
Δ6 A Op.	EY Min	0,47	-74,91	-162,23	-0,26	-1,26	-0,23	-333,20
Δ6 A Op.	EY Min	0,95	-74,91	-155,54	-0,26	-1,26	-0,11	-258,03
Δ6 A Op.	EY Max	3,79	68,64	148,93	0,33	0,71	0,63	126,50
Δ6 A Op.	EY Min	1,42	-74,91	-148,84	-0,26	-1,26	-0,02	-186,03
Δ6 A Op.	EY Max	3,31	68,64	142,23	0,33	0,71	0,50	70,34
Δ6 A Op.	EY Min	1,89	-74,91	-142,15	-0,26	-1,26	-0,15	-117,20
Δ6 A Op.	EY Max	2,84	68,64	135,54	0,33	0,71	0,38	15,05
Δ6 A Op.	EY Min	2,37	-74,91	-135,46	-0,26	-1,26	-0,31	-51,54
Δ6 A Op.	EY Max	2,37	68,64	128,85	0,33	0,71	0,26	75,62
Δ6 A Op.	EY Min	2,84	-74,91	-128,77	-0,26	-1,26	-0,46	8,99
Δ6 A Op.	EY Max	1,89	68,64	122,15	0,33	0,71	0,14	134,98
Δ6 A Op.	EY Min	3,31	-74,91	-122,07	-0,26	-1,26	-0,62	-52,67
Δ6 A Op.	EY Max	1,42	68,64	115,46	0,33	0,71	0,04	191,19
Δ6 A Op.	EY Min	3,79	-74,91	-115,38	-0,26	-1,26	-0,77	-121,53
Δ6 A Op.	EY Max	0,95	68,64	108,77	0,33	0,71	0,17	244,23
Δ6 A Op.	EY Max	0,47	68,64	102,08	0,33	0,71	0,32	294,10
Δ6 A Op.	EY Max	0,00	68,64	95,38	0,33	0,71	0,48	340,81
Δ14 A Op.	EY Max	2,45	0,00	385,49	0,00	0,76	0,00	674,07
Δ14 A Op.	EY Max	1,98	0,00	378,50	0,00	0,76	0,00	530,77
Δ14 A Op.	EY Max	1,52	0,00	371,52	0,00	0,76	0,00	384,39
Δ14 A Op.	EY Max	1,05	0,00	364,54	0,00	0,76	0,00	235,16
Δ14 A Op.	EY Max	0,59	0,00	357,55	0,00	0,76	0,00	84,20
Δ14 A Op.	EY Max	0,13	0,00	350,57	0,00	0,76	0,00	83,00
Δ14 A Op.	EY Min	0,13	0,00	-340,56	0,00	-1,01	0,00	-92,59
Δ14 A Op.	EY Min	0,59	0,00	-333,58	0,00	-1,01	0,00	-101,68
Δ14 A Op.	EY Min	1,05	0,00	-326,60	0,00	-1,01	0,00	-267,01
Δ14 A Op.	EY Min	1,52	0,00	-319,61	0,00	-1,01	0,00	-437,10
Δ14 A Op.	EY Min	1,98	0,00	-312,63	0,00	-1,01	0,00	-610,83
Δ14 A Op.	EY Min	2,45	0,00	-305,65	0,00	-1,01	0,00	-787,95
Δ8 A Op.	EY Max	3,32	0,00	271,20	0,00	1,11	0,00	350,20

Δ8 A Op.	EY Min	0,13	0,00	-253,66	0,00	-0,66	0,00	-190,10
Δ8 A Op.	EY Max	2,86	0,00	247,09	0,00	1,11	0,00	306,01
Δ8 A Op.	EY Min	0,58	0,00	-229,55	0,00	-0,66	0,00	-79,97
Δ8 A Op.	EY Max	2,41	0,00	222,97	0,00	1,11	0,00	250,83
Δ8 A Op.	EY Min	1,04	0,00	-205,44	0,00	-0,66	0,00	18,91
Δ8 A Op.	EY Max	1,95	0,00	198,86	0,00	1,11	0,00	184,66
Δ8 A Op.	EY Min	1,49	0,00	-181,32	0,00	-0,66	0,00	-30,59
Δ8 A Op.	EY Max	1,49	0,00	174,75	0,00	1,11	0,00	107,54
Δ8 A Op.	EY Min	1,95	0,00	-157,21	0,00	-0,66	0,00	-115,70
Δ8 A Op.	EY Max	1,04	0,00	150,63	0,00	1,11	0,00	44,06
Δ8 A Op.	EY Min	2,41	0,00	-133,10	0,00	-0,66	0,00	-211,85
Δ8 A Op.	EY Max	0,58	0,00	126,52	0,00	1,11	0,00	106,95
Δ8 A Op.	EY Min	2,86	0,00	-108,99	0,00	-0,66	0,00	-319,00
Δ8 A Op.	EY Max	0,13	0,00	102,41	0,00	1,11	0,00	159,11
Δ8 A Op.	EY Min	3,32	0,00	-84,87	0,00	-0,66	0,00	-437,15
Δ15 B Op.	EY Max	0,40	0,00	314,25	0,00	11,25	0,00	262,74
Δ15 B Op.	EY Max	0,88	0,00	306,35	0,00	11,25	0,00	138,29
Δ15 B Op.	EY Min	3,74	0,00	-165,54	0,00	-1,15	0,00	-250,54
Δ15 B Op.	EY Min	3,27	0,00	-158,73	0,00	-1,15	0,00	-193,53
Δ15 B Op.	EY Max	0,88	0,00	157,86	0,00	2,56	0,00	143,98
Δ15 B Op.	EY Min	2,79	0,00	-151,93	0,00	-1,15	0,00	-133,96
Δ15 B Op.	EY Max	1,36	0,00	151,06	0,00	2,56	0,00	70,66
Δ15 B Op.	EY Min	2,31	0,00	-145,12	0,00	-1,15	0,00	-74,93
Δ15 B Op.	EY Max	1,84	0,00	144,25	0,00	2,56	0,00	1,49
Δ15 B Op.	EY Min	1,84	0,00	-138,31	0,00	-1,15	0,00	-29,72
Δ15 B Op.	EY Max	2,31	0,00	137,44	0,00	2,56	0,00	47,11
Δ15 B Op.	EY Min	1,36	0,00	-131,50	0,00	-1,15	0,00	-92,82
Δ15 B Op.	EY Max	2,79	0,00	130,63	0,00	2,56	0,00	113,04
Δ15 B Op.	EY Min	0,88	0,00	-124,70	0,00	-1,15	0,00	-153,57
Δ15 B Op.	EY Max	3,27	0,00	123,83	0,00	2,56	0,00	186,01
Δ15 B Op.	EY Max	3,74	0,00	117,02	0,00	2,56	0,00	262,91
Δ15 B Op.	EY Min	0,88	0,00	-82,82	0,00	-12,01	0,00	-152,04
Δ15 B Op.	EY Min	0,40	0,00	-74,92	0,00	-12,01	0,00	-164,62
Δ14 B Op.	EY Max	0,40	0,00	134,10	0,00	4,49	0,00	273,20
Δ14 B Op.	EY Max	0,86	0,00	126,93	0,00	4,49	0,00	213,51
Δ14 B Op.	EY Max	1,32	0,00	119,76	0,00	4,49	0,00	157,11
Δ14 B Op.	EY Max	1,77	0,00	112,59	0,00	4,49	0,00	103,99
Δ14 B Op.	EY Max	2,23	0,00	105,42	0,00	4,49	0,00	54,15
Δ14 B Op.	EY Max	2,69	0,00	98,25	0,00	4,49	0,00	7,81
Δ14 B Op.	EY Min	2,69	0,00	-38,18	0,00	-3,99	0,00	-4,34
Δ14 B Op.	EY Min	2,23	0,00	-31,01	0,00	-3,99	0,00	-19,94
Δ14 B Op.	EY Min	1,77	0,00	-23,84	0,00	-3,99	0,00	-32,47
Δ14 B Op.	EY Min	1,32	0,00	-16,67	0,00	-3,99	0,00	-41,72
Δ14 B Op.	EY Min	0,86	0,00	-9,50	0,00	-3,99	0,00	-47,70
Δ14 B Op.	EY Min	0,40	0,00	-2,33	0,00	-3,99	0,00	-50,41

Πιν. Β.1.4 Αποτελέσματα Δυναμικής Φασματικής Ανάλυσης (Δοκοί για φόρτιση κατά Υ)

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Υ								
Υποστυλώμα	Φόρτιση	Θέση καθ' ύψος του στοιχείου	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
K4 Β Ορ.	EY Min	3,06	-106,47	-114,81	-46,82	-0,66	-75,59	-110,84
K4 Β Ορ.	EY Min	0,00	-120,89	-114,81	-46,82	-0,66	-74,33	-222,74
K4 Β Ορ.	EY Max	3,06	6,27	103,75	44,09	0,63	70,16	130,15
K4 Β Ορ.	EY Max	0,00	-8,15	103,75	44,09	0,63	60,54	208,20
K4 Β Ορ.	EY Min	1,53	-113,68	-114,81	-46,82	-0,66	-14,43	-49,29
K4 Β Ορ.	EY Max	1,53	-0,94	103,75	44,09	0,63	4,81	51,68
K4 Α Ορ.	EY Min	0,00	-355,08	-107,40	-41,25	-0,40	-76,95	-187,60
K4 Α Ορ.	EY Max	0,00	-50,41	61,52	31,10	0,32	60,29	86,75
K4 Α Ορ.	EY Max	3,00	-36,27	61,52	31,10	0,32	46,84	136,33
K4 Α Ορ.	EY Min	3,00	-340,95	-107,40	-41,25	-0,40	-33,06	-99,54
K4 Α Ορ.	EY Min	1,50	-348,01	-107,40	-41,25	-0,40	-15,11	-48,03
K4 Α Ορ.	EY Max	1,50	-43,34	61,52	31,10	0,32	13,67	16,00
K4 Ισ.	EY Min	0,00	-610,06	-93,47	-29,58	-0,14	-46,66	-172,98
K4 Ισ.	EY Max	0,00	-43,43	62,38	24,68	0,12	40,46	130,69
K4 Ισ.	EY Max	2,70	-30,71	62,38	24,68	0,12	33,25	86,80
K4 Ισ.	EY Min	2,70	-597,33	-93,47	-29,58	-0,14	-26,23	-45,14
K4 Ισ.	EY Max	1,35	-37,07	62,38	24,68	0,12	8,04	47,37
K4 Ισ.	EY Min	1,35	-603,70	-93,47	-29,58	-0,14	-7,63	-47,68
K1 Β Ορ.	EY Min	3,06	-445,57	-33,70	-171,48	-1,09	-349,39	-16,01
K1 Β Ορ.	EY Max	3,06	48,87	21,90	181,55	1,04	267,85	14,75
K1 Β Ορ.	EY Min	0,00	-462,88	-33,70	-171,48	-1,09	-263,94	-89,76
K1 Β Ορ.	EY Max	0,00	31,57	21,90	181,55	1,04	213,20	52,38
K1 Β Ορ.	EY Min	1,53	-454,22	-33,70	-171,48	-1,09	-90,97	-38,97
K1 Β Ορ.	EY Max	1,53	40,22	21,90	181,55	1,04	24,83	19,66
K1 Α Ορ.	EY Min	0,00	-904,79	-25,66	-143,64	-0,66	-271,98	-32,71
K1 Α Ορ.	EY Max	0,00	-12,09	9,01	104,70	0,53	198,76	14,97
K1 Α Ορ.	EY Max	3,00	4,88	9,01	104,70	0,53	166,30	44,37
K1 Α Ορ.	EY Min	3,00	-887,83	-25,66	-143,64	-0,66	-122,71	-12,16
K1 Α Ορ.	EY Min	1,50	-896,31	-25,66	-143,64	-0,66	-64,00	-2,49
K1 Α Ορ.	EY Max	1,50	-3,60	9,01	104,70	0,53	49,19	9,72
K1 Ισ.	EY Max	2,70	-143,52	10,74	-2,95	0,20	192,65	10,94
K1 Ισ.	EY Min	0,00	-1096,74	-5,23	-36,48	-0,23	-179,63	-17,31
K1 Ισ.	EY Max	1,35	-151,16	10,74	-2,95	0,20	158,96	10,20
K1 Ισ.	EY Min	1,35	-1089,10	-5,23	-36,48	-0,23	-148,62	-14,04
K1 Ισ.	EY Max	0,00	-158,79	10,74	-2,95	0,20	136,74	20,90
K1 Ισ.	EY Min	2,70	-1081,47	-5,23	-36,48	-0,23	-129,09	-22,21

Πιν. Β.1.5 Αποτελέσματα Δυναμικής Φασματικής Ανάλυσης (Υποστυλώματα για φόρτιση κατά Υ)

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ								
Τοίχωμα	Φόρτιση	Θέση	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
T11 Ισ.	EY Min	Κάτω	-570,99	-456,19	-7,02	-4,79	-17,92	-1318,69
T11 Ισ.	EY Min	Πάνω	-448,07	-456,19	-7,02	-4,79	-16,77	-340,48
T11 Ισ.	EY Max	Κάτω	-414,72	533,32	13,06	2,86	25,78	1374,25
T11 Ισ.	EY Max	Πάνω	-291,80	533,32	13,06	2,86	5,31	149,22
T5 Α Ορ.	EY Min	Κάτω	-490,43	-511,87	-14,11	-10,53	-26,86	-722,32
T5 Α Ορ.	EY Min	Πάνω	-439,31	-511,87	-14,11	-10,53	-20,35	-1143,08
T5 Α Ορ.	EY Max	Πάνω	234,54	499,36	9,21	11,95	25,70	1181,62
T5 Α Ορ.	EY Max	Κάτω	183,42	499,36	9,21	11,95	14,10	714,58
T5 Ισ.	EY Min	Κάτω	-805,67	-216,68	-19,76	-5,18	-33,96	-1094,01
T5 Ισ.	EY Min	Πάνω	-757,25	-216,68	-19,76	-5,18	-5,76	-494,03
T5 Ισ.	EY Max	Πάνω	210,92	269,15	9,71	8,41	29,37	328,41
T5 Ισ.	EY Max	Κάτω	162,50	269,15	9,71	8,41	25,42	1096,31
T2 Ισ.	EY Min	Κάτω	-1689,92	-340,66	-24,68	-8,23	-55,51	-848,61
T2 Ισ.	EY Min	Πάνω	-1554,38	-340,66	-24,68	-8,23	-21,18	-400,04
T2 Ισ.	EY Max	Πάνω	801,92	320,67	22,58	7,61	23,84	377,14
T2 Ισ.	EY Max	Κάτω	666,37	320,67	22,58	7,61	51,45	761,76
T8 Ισ.	EY Min	Κάτω	-209,26	-517,44	-9,55	-4,61	-19,36	-1272,56
T8 Ισ.	EY Min	Πάνω	-163,78	-517,44	-9,55	-4,61	-18,89	-416,55
T8 Ισ.	EY Max	Πάνω	118,55	541,97	12,14	3,73	14,74	383,46
T8 Ισ.	EY Max	Κάτω	73,07	541,97	12,14	3,73	23,48	1317,98
T15 Ισ.	EY Min	Κάτω	-716,12	-413,96	-27,87	-19,53	-73,70	-1018,12
T15 Ισ.	EY Min	Πάνω	-632,54	-413,96	-27,87	-19,53	-19,25	-849,23
T15 Ισ.	EY Max	Κάτω	-356,77	412,28	27,96	20,58	71,03	958,07
T15 Ισ.	EY Max	Πάνω	-273,19	412,28	27,96	20,58	16,30	794,54

Πιν Β.1.6 Αποτελέσματα Δυναμικής Φασματικής Ανάλυσης (Τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ)

B.2 Αποτελέσματα ανάλυσης χρονοϊστορίας

Παρουσιάζονται αναλυτικά αποτελέσματα μόνο για τη χρονοϊστορία του Kobe Takatori 1995 ενδεικτικά για οικονομία χώρου. Για συγκεντρωτικά αποτελέσματα και των τριών χρονοϊστοριών βλ. παρ. 4.3.3.

Αποτελέσματα για χρονοϊστορία από Kobe Takatori 1995

Διεύθυνση X

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistY$

Όπου: $THistX = \pm 1,00 \cdot AccX \pm 0,30 AccY \pm 0,30 AccZ$

Σημ.: (Σημειώνεται ότι για τα υποστυλώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από τον άξονα X (δηλ. για κάμψη κατά Y) ενώ με M3 το ανάποδο. Για τα τοιχώματα με M2 συμβολίζονται οι ροπές γύρω από άξονα κάθετο στη μεγάλη διάσταση των τοιχωμάτων (δηλ. για κάμψη κατά τη μεγάλη διάσταση), και με M3 το αντίθετο. Οι τέμνουσες V2, V3 ακολουθούν την ίδια λογική (π.χ. για υποστυλ. V2 είναι η τέμνουσα κατά τον άξονα X). Για τις δοκούς M3 και V2 είναι για κάμψη και τέμνουσα κατά τον κατακόρυφο άξονα. Τέλος οι θλιπτικές αξονικές δυνάμεις είναι αρνητικές (συμβ. με P) και η στρέψη συμβολίζεται με T.)

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά X								
Δοκός	Φόρτιση	Θέση κατά μήκος στο στοιχείο	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
Δ6 (A Op.)	THX Max	0	43,6	35,72	0,27	-0,193	0,375	164,038
Δ6 (A Op.)	THX Max	0,486	43,6	42,59	0,27	-0,193	0,246	145,009
Δ6 (A Op.)	THX Max	0,972	43,6	49,47	0,27	-0,193	0,117	122,641
Δ6 (A Op.)	THX Max	1,458	43,6	56,34	0,27	-0,193	0,047	96,932
Δ6 (A Op.)	THX Max	1,944	43,6	63,22	0,27	-0,193	0,095	67,882
Δ6 (A Op.)	THX Max	2,43	43,6	70,09	0,27	-0,193	0,143	35,492
Δ6 (A Op.)	THX Max	2,916	43,6	76,97	0,27	-0,193	0,19	44,252
Δ6 (A Op.)	THX Max	3,402	43,6	83,84	0,27	-0,193	0,238	129,735
Δ6 (A Op.)	THX Max	3,888	43,6	90,71	0,27	-0,193	0,285	211,877
Δ6 (A Op.)	THX Min	0	-113,19	-220,59	-0,1	-0,662	-0,095	-538,795
Δ6 (A Op.)	THX Min	0,486	-113,19	-213,72	-0,1	-0,662	-0,048	-433,269
Δ6 (A Op.)	THX Min	0,972	-113,19	-206,85	-0,1	-0,662	0	-331,084
Δ6 (A Op.)	THX Min	1,458	-113,19	-199,97	-0,1	-0,662	-0,012	-232,239
Δ6 (A Op.)	THX Min	1,944	-113,19	-193,1	-0,1	-0,662	-0,142	-136,735
Δ6 (A Op.)	THX Min	2,43	-113,19	-186,22	-0,1	-0,662	-0,271	-44,571
Δ6 (A Op.)	THX Min	2,916	-113,19	-179,35	-0,1	-0,662	-0,4	-0,238

Δ6 (A Op.)	THX Min	3,402	-113,19	-172,47	-0,1	-0,662	-0,529	-39,309
Δ6 (A Op.)	THX Min	3,888	-113,19	-165,6	-0,1	-0,662	-0,658	-81,721
Δ14 (A Op.)	THX Max	0	0	110,99	0	1,312	0	54,075
Δ14 (A Op.)	THX Max	0,489	0	118,35	0	1,312	0	13,88
Δ14 (A Op.)	THX Max	0,979	0	125,71	0	1,312	0	11,073
Δ14 (A Op.)	THX Max	1,468	0	133,07	0	1,312	0	4,664
Δ14 (A Op.)	THX Max	1,957	0	140,43	0	1,312	0	-5,345
Δ14 (A Op.)	THX Max	2,447	0	147,79	0	1,312	0	-18,955
Δ14 (A Op.)	THX Min	0	0	-8,68	0	-0,601	0	-31,586
Δ14 (A Op.)	THX Min	0,489	0	-1,32	0	-0,601	0	-79,703
Δ14 (A Op.)	THX Min	0,979	0	6,03	0	-0,601	0	-131,421
Δ14 (A Op.)	THX Min	1,468	0	13,39	0	-0,601	0	-186,74
Δ14 (A Op.)	THX Min	1,957	0	20,75	0	-0,601	0	-245,66
Δ14 (A Op.)	THX Min	2,447	0	28,11	0	-0,601	0	-308,18
Δ1 (A Op.)	THX Max	0,15	2,04	-73,19	0,37	1,572	0,474	30,79
Δ1 (A Op.)	THX Max	0,614	2,04	-44,62	0,37	1,572	0,302	58,127
Δ1 (A Op.)	THX Max	1,078	2,04	-16,05	0,37	1,572	0,13	72,205
Δ1 (A Op.)	THX Max	1,542	2,04	12,52	0,37	1,572	0,02	73,762
Δ1 (A Op.)	THX Max	2,006	2,04	41,09	0,37	1,572	0,075	125,417
Δ1 (A Op.)	THX Max	2,47	2,04	69,66	0,37	1,572	0,129	169,59
Δ1 (A Op.)	THX Max	2,934	2,04	98,23	0,37	1,572	0,184	200,505
Δ1 (A Op.)	THX Max	3,398	2,04	126,8	0,37	1,572	0,238	218,16
Δ1 (A Op.)	THX Max	3,862	2,04	155,38	0,37	1,572	0,293	222,557
Δ1 (A Op.)	THX Max	4,327	2,04	183,95	0,37	1,572	0,347	213,696
Δ1 (A Op.)	THX Min	0,15	-5,96	-223,76	-0,12	0,02	-0,143	-183,861
Δ1 (A Op.)	THX Min	0,614	-5,96	-195,19	-0,12	0,02	-0,089	-86,653
Δ1 (A Op.)	THX Min	1,078	-5,96	-166,62	-0,12	0,02	-0,034	-2,705
Δ1 (A Op.)	THX Min	1,542	-5,96	-138,05	-0,12	0,02	-0,041	67,986
Δ1 (A Op.)	THX Min	2,006	-5,96	-109,47	-0,12	0,02	-0,213	60,585
Δ1 (A Op.)	THX Min	2,47	-5,96	-80,9	-0,12	0,02	-0,385	34,887
Δ1 (A Op.)	THX Min	2,934	-5,96	-52,33	-0,12	0,02	-0,556	-4,07
Δ1 (A Op.)	THX Min	3,398	-5,96	-23,76	-0,12	0,02	-0,728	-56,285
Δ1 (A Op.)	THX Min	3,862	-5,96	4,81	-0,12	0,02	-0,899	-121,758
Δ1 (A Op.)	THX Min	4,327	-5,96	33,38	-0,12	0,02	-1,071	-200,49
Δ15 (B Op.)	THX Max	0,4	0	140,85	0	10,291	0	84,986
Δ15 (B Op.)	THX Max	0,883	0	132,95	0	10,291	0	18,807
Δ15 (B Op.)	THX Max	0,883	0	42,69	0	1,129	0	21,45
Δ15 (B Op.)	THX Max	1,36	0	35,88	0	1,129	0	2,724
Δ15 (B Op.)	THX Max	1,837	0	29,07	0	1,129	0	-12,757
Δ15 (B Op.)	THX Max	2,313	0	22,27	0	1,129	0	-3,742
Δ15 (B Op.)	THX Max	2,79	0	15,46	0	1,129	0	10,562
Δ15 (B Op.)	THX Max	3,267	0	8,65	0	1,129	0	28,11
Δ15 (B Op.)	THX Max	3,743	0	1,84	0	1,129	0	48,904
Δ15 (B Op.)	THX Min	0,4	0	102,39	0	-4,245	0	20,838
Δ15 (B Op.)	THX Min	0,883	0	94,49	0	-4,245	0	-29,013

Δ15 (B Op.)	THX Min	0,883	0	-6,18	0	-0,374	0	-27,183
Δ15 (B Op.)	THX Min	1,36	0	-12,99	0	-0,374	0	-22,615
Δ15 (B Op.)	THX Min	1,837	0	-19,8	0	-0,374	0	-14,801
Δ15 (B Op.)	THX Min	2,313	0	-26,6	0	-0,374	0	-24,993
Δ15 (B Op.)	THX Min	2,79	0	-33,41	0	-0,374	0	-33,984
Δ15 (B Op.)	THX Min	3,267	0	-40,22	0	-0,374	0	-39,731
Δ15 (B Op.)	THX Min	3,743	0	-47,03	0	-0,374	0	-42,232
Δ17 (B Op.)	THX Max	0	0	71,55	0	1,539	0	124,853
Δ17 (B Op.)	THX Max	0,484	0	63,7	0	1,539	0	92,122
Δ17 (B Op.)	THX Max	0,968	0	55,86	0	1,539	0	63,188
Δ17 (B Op.)	THX Max	1,452	0	48,02	0	1,539	0	38,049
Δ17 (B Op.)	THX Max	1,936	0	40,17	0	1,539	0	16,707
Δ17 (B Op.)	THX Max	2,42	0	32,33	0	1,539	0	0,216
Δ17 (B Op.)	THX Min	0	0	63,13	0	-3,149	0	105,54
Δ17 (B Op.)	THX Min	0,484	0	55,29	0	-3,149	0	76,882
Δ17 (B Op.)	THX Min	0,968	0	47,44	0	-3,149	0	52,021
Δ17 (B Op.)	THX Min	1,452	0	39,6	0	-3,149	0	30,956
Δ17 (B Op.)	THX Min	1,936	0	31,76	0	-3,149	0	13,542
Δ17 (B Op.)	THX Min	2,42	0	23,91	0	-3,149	0	-0,838

Πιν. Β.2.1 Αποτελέσματα Ανάλυσης χρονοϊστορίας Kobe Takatori 1995 (Δοκοί για φόρτιση κατά Χ)

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ								
Υποστυλώμα	Φόρτιση	Θέση καθ' ύψος του στοιχείου	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
K4 (B Op.)	THX Max	0	-24,09	31,51	3,78	0,18	2,755	69,247
K4 (B Op.)	THX Max	1,23	-18,29	31,51	3,78	0,18	-1,899	30,49
K4 (B Op.)	THX Max	2,46	-12,5	31,51	3,78	0,18	12,003	53,908
K4 (B Op.)	THX Min	0	-79,83	-120,19	-23,63	-0,488	-46,132	-241,765
K4 (B Op.)	THX Min	1,23	-74,03	-120,19	-23,63	-0,488	-17,064	-93,929
K4 (B Op.)	THX Min	2,46	-68,24	-120,19	-23,63	-0,488	-6,552	-8,268
K4 (A Op.)	THX Max	0	-1,68	1,75	-0,9	0,069	-0,369	3,56
K4 (A Op.)	THX Max	1,5	5,39	1,75	-0,9	0,069	0,984	0,929
K4 (A Op.)	THX Max	3	12,46	1,75	-0,9	0,069	29,448	106,961
K4 (A Op.)	THX Min	0	-266,52	-114,75	-25,66	-0,311	-47,519	-237,279
K4 (A Op.)	THX Min	1,5	-259,45	-114,75	-25,66	-0,311	-9,035	-65,159
K4 (A Op.)	THX Min	3	-252,38	-114,75	-25,66	-0,311	2,337	-1,701
K4 (Ισ.)	THX Max	0	51,37	3,9	1,08	0,021	0,818	37,15
K4 (Ισ.)	THX Max	1,35	57,73	3,9	1,08	0,021	0,993	31,884
K4 (Ισ.)	THX Max	2,7	64,09	3,9	1,08	0,021	26,442	36,89
K4 (Ισ.)	THX Min	0	-439,43	-91,12	-18,85	-0,116	-24,455	-226,291

K4 (Ισ.)	THX Min	1,35	-433,07	-91,12	-18,85	-0,116	-2,318	-103,285
K4 (Ισ.)	THX Min	2,7	-426,71	-91,12	-18,85	-0,116	-2,109	15,13
K1 (B Ορ.)	THX Max	0	-195,44	7,04	37,02	0,297	28,458	15,827
K1 (B Ορ.)	THX Max	1,23	-188,48	7,04	37,02	0,297	-17,079	7,164
K1 (B Ορ.)	THX Max	2,46	-181,53	7,04	37,02	0,297	-8,822	-1,498
K1 (B Ορ.)	THX Min	0	-238,34	-42,66	-22,87	-0,802	-70,658	-117,101
K1 (B Ορ.)	THX Min	1,23	-231,39	-42,66	-22,87	-0,802	-42,533	-64,628
K1 (B Ορ.)	THX Min	2,46	-224,43	-42,66	-22,87	-0,802	-62,617	-12,155
K1 (A Ορ.)	THX Max	0	-419,69	1,73	-7,18	0,114	-6,344	3,216
K1 (A Ορ.)	THX Max	1,5	-411,21	1,73	-7,18	0,114	12,78	13,744
K1 (A Ορ.)	THX Max	3	-402,73	1,73	-7,18	0,114	45,299	71,295
K1 (A Ορ.)	THX Min	0	-544,41	-38,37	-40,99	-0,511	-78,342	-43,806
K1 (A Ορ.)	THX Min	1,5	-535,93	-38,37	-40,99	-0,511	-19,335	0,616
K1 (A Ορ.)	THX Min	3	-527,45	-38,37	-40,99	-0,511	15,186	-1,984
K1 (Ισ.)	THX Max	0	-589,03	4,84	-15,63	0,034	-17,162	7,321
K1 (Ισ.)	THX Max	1,35	-581,39	4,84	-15,63	0,034	16,153	5,345
K1 (Ισ.)	THX Max	2,7	-573,76	4,84	-15,63	0,034	49,468	3,369
K1 (Ισ.)	THX Min	0	-688,91	1,08	-32,04	-0,191	-53,161	-18,996
K1 (Ισ.)	THX Min	1,35	-681,27	1,08	-32,04	-0,191	-23,829	-25,527
K1 (Ισ.)	THX Min	2,7	-673,64	1,08	-32,04	-0,191	5,382	-32,058

Πιν. Β.2.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης χρονοϊστορίας Kobe Takatori 1995
(Υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ)

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ								
Τοίχωμα	Φόρτιση	Θέση	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
T15 (Ισ.)	THX Max	Πάνω	-363,68	244,25	1,12	1,426	6,367	109,799
T15 (Ισ.)	THX Max	Κάτω	-447,27	244,25	1,12	1,426	0,631	816,707
T15 (Ισ.)	THX Min	Πάνω	-514,26	-456,42	-8,39	-6,347	-3,065	-451,33
T15 (Ισ.)	THX Min	Κάτω	-597,84	-456,42	-8,39	-6,347	-20,469	-1911,861
T15 (Α Ορ.)	THX Max	Πάνω	-178,92	90,96	4,79	3,742	11,378	687,054
T15 (Α Ορ.)	THX Max	Κάτω	-290,88	90,96	4,79	3,742	8,008	147,292
T15 (Α Ορ.)	THX Min	Πάνω	-312,24	-377,21	-7,08	-10,671	-9,73	-207,698
T15 (Α Ορ.)	THX Min	Κάτω	-424,2	-377,21	-7,08	-10,671	-14,825	-708,618
T2 (Ισ.)	THX Max	Πάνω	265,69	63,28	3,89	1,675	35,809	54,146
T2 (Ισ.)	THX Max	Κάτω	130,14	63,28	3,89	1,675	3,336	239,841
T2 (Ισ.)	THX Min	Πάνω	-759,95	-310,86	-20,51	-7,5	-9,113	-80,934
T2 (Ισ.)	THX Min	Κάτω	-895,5	-310,86	-20,51	-7,5	-29,824	-1064,432
T2 (Α Ορ.)	THX Max	Πάνω	36,56	157,51	5,27	3,285	65,763	293,348
T2 (Α Ορ.)	THX Max	Κάτω	-180,82	157,51	5,27	3,285	9,351	284,696
T2 (Α Ορ.)	THX Min	Πάνω	-205,29	-230,13	-32,84	-15,951	-10,158	-298,279
T2 (Α Ορ.)	THX Min	Κάτω	-422,66	-230,13	-32,84	-15,951	-55,736	-558,118
T3 (Ισ.)	THX Max	Πάνω	-68,48	-25,69	16,31	0,452	12,8	120,478

T3 (Ισ.)	THX Max	Κάτω	-155,65	-25,69	16,31	0,452	42,493	-40,98
T3 (Ισ.)	THX Min	Πάνω	-1504,53	-111,52	-8,83	-2,559	-9,688	-16,197
T3 (Ισ.)	THX Min	Κάτω	-1591,7	-111,52	-8,83	-2,559	-15,46	-289,335
T5 (Α Ορ.)	THX Max	Πάνω	-79,26	32,85	24,39	6,38	19,518	457,531
T5 (Α Ορ.)	THX Max	Κάτω	-130,38	32,85	24,39	6,38	41,514	70,07
T5 (Α Ορ.)	THX Min	Πάνω	-223,87	-216,7	-11,19	-15,651	-48,713	-51,458
T5 (Α Ορ.)	THX Min	Κάτω	-275	-216,7	-11,19	-15,651	-21,9	-344,269

Πιν. Β.2.3 Αποτελέσματα Ανάλυσης χρονοϊστορίας Kobe Takatori 1995 (Τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ)

Διεύθυνση Υ

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + THistY$

Όπου: $THistX = \pm 0,30 \cdot AccX \pm 1,00 AccY \pm 0,30 AccZ$

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Υ								
Δοκός	Φόρτιση	Θέση κατά μήκος στο στοιχείο	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
Δ6 (Α Ορ.)	THY MAX	0	15,22	-6,73	0,18	-0,158	0,258	47,787
Δ6 (Α Ορ.)	THY MAX	0,486	15,22	0,14	0,18	-0,158	0,172	49,388
Δ6 (Α Ορ.)	THY MAX	0,972	15,22	7,02	0,18	-0,158	0,086	47,648
Δ6 (Α Ορ.)	THY MAX	1,458	15,22	13,89	0,18	-0,158	0,022	42,568
Δ6 (Α Ορ.)	THY MAX	1,944	15,22	20,77	0,18	-0,158	0,017	34,148
Δ6 (Α Ορ.)	THY MAX	2,43	15,22	27,64	0,18	-0,158	0,017	22,387
Δ6 (Α Ορ.)	THY MAX	2,916	15,22	34,51	0,18	-0,158	0,017	25,267
Δ6 (Α Ορ.)	THY MAX	3,402	15,22	41,39	0,18	-0,158	0,017	60,998
Δ6 (Α Ορ.)	THY MAX	3,888	15,22	48,26	0,18	-0,158	0,016	93,389
Δ6 (Α Ορ.)	THY MIN	0	-50,06	-118,21	0	-0,749	0,018	-259,27
Δ6 (Α Ορ.)	THY MIN	0,486	-50,06	-111,34	0	-0,749	0,018	-203,496
Δ6 (Α Ορ.)	THY MIN	0,972	-50,06	-104,46	0	-0,749	0,018	-151,063
Δ6 (Α Ορ.)	THY MIN	1,458	-50,06	-97,59	0	-0,749	0	-101,97
Δ6 (Α Ορ.)	THY MIN	1,944	-50,06	-90,72	0	-0,749	-0,086	-56,217
Δ6 (Α Ορ.)	THY MIN	2,43	-50,06	-83,84	0	-0,749	-0,172	-13,805
Δ6 (Α Ορ.)	THY MIN	2,916	-50,06	-76,97	0	-0,749	-0,258	7,286
Δ6 (Α Ορ.)	THY MIN	3,402	-50,06	-70,09	0	-0,749	-0,344	-11,156
Δ6 (Α Ορ.)	THY MIN	3,888	-50,06	-63,22	0	-0,749	-0,43	-32,939
Δ14 (Α Ορ.)	THY MAX	0	0	196,46	0	0,233	0	71,185
Δ14 (Α Ορ.)	THY MAX	0,489	0	203,81	0	0,233	0	-3,093
Δ14 (Α Ορ.)	THY MAX	0,979	0	211,17	0	0,233	0	4,897
Δ14 (Α Ορ.)	THY MAX	1,468	0	218,53	0	0,233	0	11,374

Δ14 (A Op.)	THY MAX	1,957	0	225,89	0	0,233	0	14,954
Δ14 (A Op.)	THY MAX	2,447	0	233,25	0	0,233	0	14,934
Δ14 (A Op.)	THY MIN	0	0	-33,07	0	-0,318	0	-20,973
Δ14 (A Op.)	THY MIN	0,489	0	-25,71	0	-0,318	0	-40,708
Δ14 (A Op.)	THY MIN	0,979	0	-18,36	0	-0,318	0	-128,275
Δ14 (A Op.)	THY MIN	1,468	0	-11	0	-0,318	0	-233,406
Δ14 (A Op.)	THY MIN	1,957	0	-3,64	0	-0,318	0	-342,138
Δ14 (A Op.)	THY MIN	2,447	0	3,72	0	-0,318	0	-454,471
Δ8 (A Op.)	THY MAX	0,125	0	26,75	0	0,49	0	84,533
Δ8 (A Op.)	THY MAX	0,581	0	50,97	0	0,49	0	66,815
Δ8 (A Op.)	THY MAX	1,037	0	75,19	0	0,49	0	38,054
Δ8 (A Op.)	THY MAX	1,493	0	99,41	0	0,49	0	51,397
Δ8 (A Op.)	THY MAX	1,949	0	123,63	0	0,49	0	61,649
Δ8 (A Op.)	THY MAX	2,405	0	147,85	0	0,49	0	60,859
Δ8 (A Op.)	THY MAX	2,861	0	172,07	0	0,49	0	49,025
Δ8 (A Op.)	THY MAX	3,317	0	196,29	0	0,49	0	26,148
Δ8 (A Op.)	THY MIN	0,125	0	-107,26	0	0,044	0	-45,619
Δ8 (A Op.)	THY MIN	0,581	0	-83,04	0	0,044	0	-2,237
Δ8 (A Op.)	THY MIN	1,037	0	-58,82	0	0,044	0	30,101
Δ8 (A Op.)	THY MIN	1,493	0	-34,6	0	0,044	0	-1,75
Δ8 (A Op.)	THY MIN	1,949	0	-10,38	0	0,044	0	-52,598
Δ8 (A Op.)	THY MIN	2,405	0	13,84	0	0,044	0	-114,488
Δ8 (A Op.)	THY MIN	2,861	0	38,06	0	0,044	0	-187,422
Δ8 (A Op.)	THY MIN	3,317	0	62,29	0	0,044	0	-271,398
Δ15 (B Op.)	THY MAX	0,4	0	191,79	0	1,507	0	150,888
Δ15 (B Op.)	THY MAX	0,883	0	183,9	0	1,507	0	60,084
Δ15 (B Op.)	THY MAX	0,883	0	85,52	0	1,209	0	63,785
Δ15 (B Op.)	THY MAX	1,36	0	78,71	0	1,209	0	24,642
Δ15 (B Op.)	THY MAX	1,837	0	71,91	0	1,209	0	-11,255
Δ15 (B Op.)	THY MAX	2,313	0	65,1	0	1,209	0	-4,063
Δ15 (B Op.)	THY MAX	2,79	0	58,29	0	1,209	0	10,15
Δ15 (B Op.)	THY MAX	3,267	0	51,48	0	1,209	0	27,607
Δ15 (B Op.)	THY MAX	3,743	0	44,68	0	1,209	0	48,309
Δ15 (B Op.)	THY MIN	0,4	0	97,3	0	-3,454	0	16,337
Δ15 (B Op.)	THY MIN	0,883	0	89,41	0	-3,454	0	-28,791
Δ15 (B Op.)	THY MIN	0,883	0	-5,99	0	0,474	0	-27,23
Δ15 (B Op.)	THY MIN	1,36	0	-12,8	0	0,474	0	-22,752
Δ15 (B Op.)	THY MIN	1,837	0	-19,6	0	0,474	0	-15,03
Δ15 (B Op.)	THY MIN	2,313	0	-26,41	0	0,474	0	-43,908
Δ15 (B Op.)	THY MIN	2,79	0	-33,22	0	0,474	0	-73,316
Δ15 (B Op.)	THY MIN	3,267	0	-40,03	0	0,474	0	-99,478
Δ15 (B Op.)	THY MIN	3,743	0	-46,83	0	0,474	0	-122,396
Δ14 (B Op.)	THY MAX	0,4	0	72,7	0	0,951	0	127,376
Δ14 (B Op.)	THY MAX	0,882	0	65,14	0	0,951	0	94,133
Δ14 (B Op.)	THY MAX	1,365	0	57,58	0	0,951	0	64,537

Δ14 (B Ορ.)	THY MAX	1,847	0	50,02	0	0,951	0	38,588
Δ14 (B Ορ.)	THY MAX	2,329	0	42,46	0	0,951	0	16,286
Δ14 (B Ορ.)	THY MAX	2,812	0	34,9	0	0,951	0	-1,631
Δ14 (B Ορ.)	THY MIN	0,4	0	63,01	0	-0,55	0	104,731
Δ14 (B Ορ.)	THY MIN	0,882	0	55,45	0	-0,55	0	76,164
Δ14 (B Ορ.)	THY MIN	1,365	0	47,89	0	-0,55	0	51,245
Δ14 (B Ορ.)	THY MIN	1,847	0	40,32	0	-0,55	0	29,972
Δ14 (B Ορ.)	THY MIN	2,329	0	32,76	0	-0,55	0	12,347
Δ14 (B Ορ.)	THY MIN	2,812	0	25,2	0	-0,55	0	-2,5

Πιν. Β.2.4 Αποτελέσματα Ανάλυσης χρονοϊστορίας Kobe Takatori 1995 (Δοκοί για φόρτιση κατά Υ)

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Υ								
Υποστυλώμα	Φόρτιση	Θέση καθ' ύψος του στοιχείου	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
K4 (B Ορ.)	THY MAX	0	-52,75	2,65	1,62	0,154	-2,817	10,18
K4 (B Ορ.)	THY MAX	1,23	-46,95	2,65	1,62	0,154	-4,463	6,924
K4 (B Ορ.)	THY MAX	2,46	-41,16	2,65	1,62	0,154	14,735	28,904
K4 (B Ορ.)	THY MIN	0	-72,27	-50,99	-20,22	-0,125	-34,997	-96,531
K4 (B Ορ.)	THY MIN	1,23	-66,48	-50,99	-20,22	-0,125	-11,972	-33,813
K4 (B Ορ.)	THY MIN	2,46	-60,68	-50,99	-20,22	-0,125	-6,976	3,668
K4 (A Ορ.)	THY MAX	0	-127,92	-16,88	-1,82	0,065	-2,158	-42,029
K4 (A Ορ.)	THY MAX	1,5	-120,85	-16,88	-1,82	0,065	0,567	-8,915
K4 (A Ορ.)	THY MAX	3	-113,78	-16,88	-1,82	0,065	26,953	70,438
K4 (A Ορ.)	THY MIN	0	-217,4	-65,73	-23,18	-0,105	-42,587	-126,752
K4 (A Ορ.)	THY MIN	1,5	-210,33	-65,73	-23,18	-0,105	-7,817	-28,157
K4 (A Ορ.)	THY MIN	3	-203,26	-65,73	-23,18	-0,105	3,292	7,125
K4 (Ισ.)	THY MAX	0	-172,25	-10,17	-0,2	-0,002	1,136	-9,162
K4 (Ισ.)	THY MAX	1,35	-165,89	-10,17	-0,2	-0,002	1,53	8,561
K4 (Ισ.)	THY MAX	2,7	-159,53	-10,17	-0,2	-0,002	16,705	61,9
K4 (Ισ.)	THY MIN	0	-346,27	-55,4	-15,46	-0,055	-25,602	-108,865
K4 (Ισ.)	THY MIN	1,35	-339,91	-55,4	-15,46	-0,055	-4,728	-34,077
K4 (Ισ.)	THY MIN	2,7	-333,55	-55,4	-15,46	-0,055	1,244	9,264
K1 (B Ορ.)	THY MAX	0	-191,64	1,29	29,62	0,253	12,297	-0,447
K1 (B Ορ.)	THY MAX	1,23	-184,69	1,29	29,62	0,253	-24,139	-2,038
K1 (B Ορ.)	THY MAX	2,46	-177,73	1,29	29,62	0,253	33,694	-3,331
K1 (B Ορ.)	THY MIN	0	-294,14	-14,38	-68,31	-0,206	-134,343	-41,951
K1 (B Ορ.)	THY MIN	1,23	-287,18	-14,38	-68,31	-0,206	-50,325	-24,262
K1 (B Ορ.)	THY MIN	2,46	-280,23	-14,38	-68,31	-0,206	-60,575	-6,572
K1 (A Ορ.)	THY MAX	0	-406,46	-3,41	1,9	0,107	4,771	-0,786
K1 (A Ορ.)	THY MAX	1,5	-397,98	-3,41	1,9	0,107	1,921	7,338
K1 (A Ορ.)	THY MAX	3	-389,5	-3,41	1,9	0,107	105,472	30,811

K1 (Α Ορ.)	THY MIN	0	-655,01	-15,65	-92,07	-0,173	-170,752	-16,135
K1 (Α Ορ.)	THY MIN	1,5	-646,53	-15,65	-92,07	-0,173	-32,64	2,968
K1 (Α Ορ.)	THY MIN	3	-638,05	-15,65	-92,07	-0,173	-0,928	9,448
K1 (Ισ.)	THY MAX	0	-569,97	4,23	-18,27	-0,004	3,125	3,491
K1 (Ισ.)	THY MAX	1,35	-562,34	4,23	-18,27	-0,004	31,456	-0,122
K1 (Ισ.)	THY MAX	2,7	-554,71	4,23	-18,27	-0,004	59,788	-0,474
K1 (Ισ.)	THY MIN	0	-839,27	-1,48	-21,83	-0,091	-116,105	-8,463
K1 (Ισ.)	THY MIN	1,35	-831,63	-1,48	-21,83	-0,091	-88,773	-10,035
K1 (Ισ.)	THY MIN	2,7	-824	-1,48	-21,83	-0,091	-61,44	-11,606

Πιν. Β.2.5 Αποτελέσματα Ανάλυσης χρονοϊστορίας Kobe Takatori 1995
(Υποστυλώματα για φόρτιση κατά Υ)

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ								
Τοίχωμα	Φόρτιση	Θέση	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
T11 (Ισ.)	THY MAX	Πάνω	-349,43	104,68	10,09	-0,626	-3,306	54,664
T11 (Ισ.)	THY MAX	Κάτω	-472,35	104,68	10,09	-0,626	19,165	204,735
T11 (Ισ.)	THY MIN	Πάνω	-396,27	-256,6	0,97	-2,927	-13,135	-130,255
T11 (Ισ.)	THY MIN	Κάτω	-519,19	-256,6	0,97	-2,927	-0,296	-766,453
T5 (Α Ορ.)	THY MAX	Πάνω	-60,74	37,67	5,56	3,402	7,856	651,131
T5 (Α Ορ.)	THY MAX	Κάτω	-111,86	37,67	5,56	3,402	7,998	48,112
T5 (Α Ορ.)	THY MIN	Πάνω	-301,69	-268,72	-5,09	-3,114	-12,57	-93,893
T5 (Α Ορ.)	THY MIN	Κάτω	-352,81	-268,72	-5,09	-3,114	-10,973	-343,14
T5 (Ισ.)	THY MAX	Πάνω	-212,78	62,38	2,83	2,045	13,488	-60,82
T5 (Ισ.)	THY MAX	Κάτω	-261,2	62,38	2,83	2,045	13,209	133,098
T5 (Ισ.)	THY MIN	Πάνω	-559,48	-112,72	-6,34	-1,816	3,64	-256,927
T5 (Ισ.)	THY MIN	Κάτω	-607,9	-112,72	-6,34	-1,816	-7,075	-617,617
T2 (Ισ.)	THY MAX	Πάνω	-164,61	28,93	0,75	0,255	13,664	165,546
T2 (Ισ.)	THY MAX	Κάτω	-300,16	28,93	0,75	0,255	2,913	34,273
T2 (Ισ.)	THY MIN	Πάνω	-1004,27	-184,5	-11,61	-3,799	-0,572	-77,024
T2 (Ισ.)	THY MIN	Κάτω	-1139,81	-184,5	-11,61	-3,799	-29,134	-508,254
T8 (Ισ.)	THY MAX	Πάνω	2,07	106,32	8,49	0,213	3,602	191,521
T8 (Ισ.)	THY MAX	Κάτω	-43,41	106,32	8,49	0,213	17,325	250,651
T8 (Ισ.)	THY MIN	Πάνω	-97,83	-259,97	-1,29	-2,661	-9,831	-89,585
T8 (Ισ.)	THY MIN	Κάτω	-143,32	-259,97	-1,29	-2,661	-2,076	-640,388
T15 (Ισ.)	THY MAX	Πάνω	-348,05	206,53	3,38	2,703	7,404	70,988
T15 (Ισ.)	THY MAX	Κάτω	-431,63	206,53	3,38	2,703	7,999	250,149
T15 (Ισ.)	THY MIN	Πάνω	-477,74	-73,11	-15,94	-10,84	-3,833	-410,749
T15 (Ισ.)	THY MIN	Κάτω	-561,32	-73,11	-15,94	-10,84	-43,612	-596,905

Πιν. Β.2.6 Αποτελέσματα Ανάλυσης χρονοϊστορίας Kobe Takatori 1995 (Τοιχώματα
για φόρτιση κατά Υ)

B.3 Αποτελέσματα πλευρικής οριακής ώθησης (Pushover)

B.3.1 Πρώτη φάση ανάλυσης (τοιχώματα ελαστικά)

Διεύθυνση X

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + PushX$

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά X								
Δοκός	Φόρτιση	Θέση κατά μήκος στο στοιχείο	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	3,79	447,69	416,72	-0,94	1,17	1,90	-617,02
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	3,31	447,69	410,03	-0,94	1,17	1,46	-421,45
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	2,84	447,69	403,33	-0,94	1,17	1,01	-229,05
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	2,37	447,69	396,64	-0,94	1,17	0,57	-39,82
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	1,89	447,69	389,95	-0,94	1,17	0,13	146,25
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	1,42	447,69	383,26	-0,94	1,17	-0,32	329,15
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	0,95	447,69	376,56	-0,94	1,17	-0,76	508,89
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	0,47	447,69	369,87	-0,94	1,17	-1,21	685,45
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	0,00	447,69	363,18	-0,94	1,17	-1,65	858,86
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHX	0,59	0,00	-253,75	0,00	-5,13	0,00	335,07
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHX	1,05	0,00	-246,77	0,00	-5,13	0,00	451,27
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHX	1,52	0,00	-239,78	0,00	-5,13	0,00	564,22
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHX	1,98	0,00	-232,80	0,00	-5,13	0,00	673,94
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHX	2,45	0,00	-225,82	0,00	-5,13	0,00	780,41
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	4,20	51,83	399,31	-3,25	-15,10	9,05	-613,71
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	3,75	51,83	371,60	-3,25	-15,10	7,58	-440,19
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	3,30	51,83	343,88	-3,25	-15,10	6,12	-279,15
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	2,85	51,83	316,17	-3,25	-15,10	4,65	-130,58
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	2,40	51,83	288,45	-3,25	-15,10	3,19	5,51
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	1,95	51,83	260,73	-3,25	-15,10	1,72	129,12
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	1,50	51,83	233,02	-3,25	-15,10	0,26	240,26
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	1,05	51,83	205,30	-3,25	-15,10	-1,21	338,91
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	0,60	51,83	177,59	-3,25	-15,10	-2,67	425,10
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	0,15	51,83	149,87	-3,25	-15,10	-4,14	498,80
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	0,40	0,00	321,40	0,00	-110,03	0,00	512,57
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	0,88	0,00	313,50	0,00	-110,03	0,00	359,11
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	0,88	0,00	242,02	0,00	16,35	0,00	368,76
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	1,36	0,00	235,21	0,00	16,35	0,00	255,02
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	1,84	0,00	228,40	0,00	16,35	0,00	144,53

Δ15 (B Ορ.)	PUSHX	2,31	0,00	221,60	0,00	16,35	0,00	37,28
Δ15 (B Ορ.)	PUSHX	2,79	0,00	214,79	0,00	16,35	0,00	-66,73
Δ15 (B Ορ.)	PUSHX	3,27	0,00	207,98	0,00	16,35	0,00	-167,49
Δ15 (B Ορ.)	PUSHX	3,74	0,00	201,17	0,00	16,35	0,00	-265,00
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	0,00	0,00	114,40	0,00	51,11	0,00	225,57
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	0,46	0,00	106,96	0,00	51,11	0,00	174,76
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	0,92	0,00	99,52	0,00	51,11	0,00	127,38
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	1,38	0,00	92,08	0,00	51,11	0,00	83,41
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	1,84	0,00	84,64	0,00	51,11	0,00	42,85
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	2,30	0,00	77,20	0,00	51,11	0,00	5,70

Πιν. Β.3.1.1 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Δοκοί για φόρτιση κατά Χ)

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ								
Υποστυλώμα	Φόρτιση	Θέση καθ' ύψος του στοιχείου	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
K4 (B Ορ.)	PUSHX	0,00	51,11	222,64	97,69	10,36	156,52	618,71
K4 (B Ορ.)	PUSHX	3,06	65,53	222,64	97,69	10,36	-142,41	-62,57
K4 (B Ορ.)	PUSHX	1,53	58,32	222,64	97,69	10,36	7,06	278,07
K4 (A Ορ.)	PUSHX	0,00	-260,80	170,80	78,36	2,60	146,31	723,42
K4 (A Ορ.)	PUSHX	3,00	-246,66	170,80	78,36	2,60	-88,76	211,01
K4 (A Ορ.)	PUSHX	1,50	-253,73	170,80	78,36	2,60	28,77	467,21
K4 (Ισ.)	PUSHX	0,00	-1190,62	221,29	57,89	0,77	79,51	660,88
K4 (Ισ.)	PUSHX	2,70	-1177,89	221,29	57,89	0,77	-76,78	63,40
K4 (Ισ.)	PUSHX	1,35	-1184,25	221,29	57,89	0,77	1,36	362,14
K1 (B Ορ.)	PUSHX	3,06	-370,83	157,61	-353,20	17,03	585,62	-149,01
K1 (B Ορ.)	PUSHX	0,00	-388,13	157,61	-353,20	17,03	-495,15	333,26
K1 (B Ορ.)	PUSHX	1,53	-379,48	157,61	-353,20	17,03	45,24	92,13
K1 (A Ορ.)	PUSHX	0,00	-613,98	96,69	-134,08	4,27	-410,67	181,93
K1 (A Ορ.)	PUSHX	1,50	-605,50	96,69	-134,08	4,27	-209,55	36,90
K1 (A Ορ.)	PUSHX	3,00	-597,01	96,69	-134,08	4,27	-8,43	-108,14
K1 (Ισ.)	PUSHX	2,70	-841,91	-1,72	99,03	1,26	-208,92	141,50
K1 (Ισ.)	PUSHX	1,35	-849,54	-1,72	99,03	1,26	-75,23	139,17
K1 (Ισ.)	PUSHX	0,00	-857,18	-1,72	99,03	1,26	58,46	136,85

Πιν. Β.3.1.2 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ)

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ								
Τοίχωμα	Φόρτιση	Θέση	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
T15 (Ισ.)	PUSHX	Κάτω	-531,20	2184,10	33,40	20,93	82,83	9975,70
T15 (Ισ.)	PUSHX	Πάνω	-531,20	2184,10	33,40	26,13	-27,59	2981,45
T15 (Α Ορ.)	PUSHX	Κάτω	-315,62	615,28	-14,31	97,58	-5,52	3406,12
T15 (Α Ορ.)	PUSHX	Πάνω	-315,62	615,28	-14,31	99,75	43,56	1122,16
T2 (Ισ.)	PUSHX	Κάτω	-6453,45	651,12	90,30	33,65	132,14	4643,71
T2 (Ισ.)	PUSHX	Πάνω	-6453,45	651,12	90,30	34,03	-175,04	2456,19
T2 (Α Ορ.)	PUSHX	Κάτω	-2799,69	2224,23	167,53	106,10	280,53	5767,36
T2 (Α Ορ.)	PUSHX	Πάνω	-2799,69	2224,23	167,53	111,09	-341,02	-2593,30
T3 (Ισ.)	PUSHX	Κάτω	6619,78	843,25	-139,76	-5,59	-263,87	1613,98
T3 (Ισ.)	PUSHX	Πάνω	6619,78	843,25	-139,76	-14,44	95,21	-1071,09
T5 (Α Ορ.)	PUSHX	Κάτω	-13,39	1029,66	-128,98	115,59	-253,70	2326,91
T5 (Α Ορ.)	PUSHX	Πάνω	-13,39	1029,66	-128,98	82,03	228,90	-1482,94

Πιν. Β.3.1.3 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ)

Διεύθυνση Υ

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + PushY$

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Υ								
Δοκός	Φόρτιση	Θέση κατά μήκος στο στοιχείο	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	3,79	204,47	295,98	-1,07	4,88	2,40	-298,50
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	3,31	204,47	289,29	-1,07	4,88	1,90	-160,05
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	2,84	204,47	282,60	-1,07	4,88	1,39	-24,77
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	2,37	204,47	275,90	-1,07	4,88	0,88	107,34
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	1,89	204,47	269,21	-1,07	4,88	0,37	236,29
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	1,42	204,47	262,52	-1,07	4,88	-0,13	362,07
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	0,95	204,47	255,83	-1,07	4,88	-0,64	484,68
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	0,47	204,47	249,13	-1,07	4,88	-1,15	604,13
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	0,00	204,47	242,44	-1,07	4,88	-1,66	720,41
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	0,13	0,00	-628,81	0,00	2,22	0,00	-558,49
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	0,59	0,00	-621,83	0,00	2,22	0,00	-268,15

Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	1,05	0,00	-614,85	0,00	2,22	0,00	18,96
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	1,52	0,00	-607,86	0,00	2,22	0,00	302,82
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	1,98	0,00	-600,88	0,00	2,22	0,00	583,44
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	2,45	0,00	-593,90	0,00	2,22	0,00	860,82
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	0,13	0,00	-281,42	0,00	2,71	0,00	-261,67
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	0,58	0,00	-257,31	0,00	2,71	0,00	-138,85
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	1,04	0,00	-233,20	0,00	2,71	0,00	-27,03
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	1,49	0,00	-209,08	0,00	2,71	0,00	73,80
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	1,95	0,00	-184,97	0,00	2,71	0,00	163,63
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	2,41	0,00	-160,86	0,00	2,71	0,00	242,47
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	2,86	0,00	-136,75	0,00	2,71	0,00	310,32
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	3,32	0,00	-112,63	0,00	2,71	0,00	367,17
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	3,74	0,00	-192,02	0,00	-3,79	0,00	45,12
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	3,27	0,00	-185,21	0,00	-3,79	0,00	-44,79
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	2,79	0,00	-178,41	0,00	-3,79	0,00	-131,45
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	2,31	0,00	-171,60	0,00	-3,79	0,00	-214,87
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	1,84	0,00	-164,79	0,00	-3,79	0,00	-295,05
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	1,36	0,00	-157,98	0,00	-3,79	0,00	-371,97
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	0,88	0,00	-151,18	0,00	-3,79	0,00	-445,66
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	0,88	0,00	-29,11	0,00	28,29	0,00	-436,03
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	0,40	0,00	-21,21	0,00	28,29	0,00	-448,19
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	0,40	0,00	29,52	0,00	-2,90	0,00	26,94
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	0,86	0,00	22,35	0,00	-2,90	0,00	15,08
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	1,32	0,00	15,18	0,00	-2,90	0,00	6,50
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	1,77	0,00	8,01	0,00	-2,90	0,00	1,19
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	2,69	0,00	-6,33	0,00	-2,90	0,00	0,42
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	2,23	0,00	0,84	0,00	-2,90	0,00	-0,83

Πιν. Β.3.1.4 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Δοκοί για φόρτιση κατά Υ)

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Υ								
Υποσύλωμα	Φόρτιση	Θέση καθ' ύψος του στοιχείου	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
K4 (Β Ορ.)	PUSHY	0,00	-91,93	-50,52	96,64	-2,68	154,44	-255,68
K4 (Β Ορ.)	PUSHY	1,53	-84,72	-50,52	96,64	-2,68	6,58	-178,38
K4 (Β Ορ.)	PUSHY	3,06	-77,51	-50,52	96,64	-2,68	-141,28	-101,08
K4 (Α Ορ.)	PUSHY	0,00	-603,29	192,70	89,69	-1,09	189,28	208,36
K4 (Α Ορ.)	PUSHY	1,50	-596,22	192,70	89,69	-1,09	54,75	-80,69
K4 (Α Ορ.)	PUSHY	3,00	-589,16	192,70	89,69	-1,09	-79,78	-369,74
K4 (Ισ.)	PUSHY	0,00	-1343,16	173,45	55,60	0,08	115,07	239,92
K4 (Ισ.)	PUSHY	1,35	-1336,80	173,45	55,60	0,08	40,01	5,77

K4 (Ισ.)	PUSHY	2,70	-1330,44	173,45	55,60	0,08	-35,04	-228,38
K1 (B Ορ.)	PUSHY	0,00	-34,86	-53,62	324,26	-4,41	496,85	-132,88
K1 (B Ορ.)	PUSHY	1,53	-26,21	-53,62	324,26	-4,41	0,74	-50,85
K1 (B Ορ.)	PUSHY	3,06	-17,56	-53,62	324,26	-4,41	-495,37	31,19
K1 (A Ορ.)	PUSHY	0,00	-120,19	-36,14	152,08	-1,80	585,73	-58,00
K1 (A Ορ.)	PUSHY	1,50	-111,71	-36,14	152,08	-1,80	357,61	-3,79
K1 (A Ορ.)	PUSHY	3,00	-103,23	-36,14	152,08	-1,80	129,50	50,42
K1 (Ισ.)	PUSHY	0,00	-236,78	29,61	20,83	0,13	581,64	43,84
K1 (Ισ.)	PUSHY	1,35	-229,14	29,61	20,83	0,13	553,52	3,87
K1 (Ισ.)	PUSHY	2,70	-221,51	29,61	20,83	0,13	525,41	-36,10

Πιν. Β.3.1.5 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Υποστυλώματα για φόρτιση κατά Υ)

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ								
Τοίχωμα	Φόρτιση	Θέση	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
T11 (Ισ.)	PUSHY	Κάτω	-353,34	1439,95	0,22	2,27	-10,40	4483,44
T11 (Ισ.)	PUSHY	Πάνω	-353,34	1439,95	0,22	1,07	-10,78	-128,04
T5 (A Ορ.)	PUSHY	Κάτω	532,54	1225,96	-3,72	-20,91	-3,64	2373,48
T5 (A Ορ.)	PUSHY	Πάνω	532,54	1225,96	-3,72	-19,92	9,09	-2147,59
T5 (Ισ.)	PUSHY	Κάτω	594,52	428,57	-34,59	10,74	-49,82	3193,98
T5 (Ισ.)	PUSHY	Πάνω	594,52	428,57	-34,59	10,31	60,08	1829,36
T2 (Ισ.)	PUSHY	Κάτω	4216,80	1189,39	60,70	9,68	161,28	1933,70
T2 (Ισ.)	PUSHY	Πάνω	4216,80	1189,39	60,70	20,00	7,11	-1868,88
T8 (Ισ.)	PUSHY	Κάτω	97,35	1533,80	9,93	-2,16	0,27	4397,28
T8 (Ισ.)	PUSHY	Πάνω	97,35	1533,80	9,93	-3,41	-31,57	-509,89
T15 (Ισ.)	PUSHY	Πάνω	-843,41	-1138,87	54,19	40,44	42,97	3123,58
T15 (Ισ.)	PUSHY	Κάτω	-843,41	-1138,87	54,19	50,31	224,57	-519,72

Πιν. Β.3.1.6 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ)

B.3.2 Δεύτερη φάση ανάλυσης (τοιχώματα ανελαστικά)

Διεύθυνση Χ

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + PushX$

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Χ								
Δοκός	Φόρτιση	Θέση κατά μήκος στο στοιχείο	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	0,00	358,84	354,18	1,48	-0,76	2,02	847,98
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	0,47	358,84	360,88	1,48	-0,76	1,32	678,84
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	0,95	358,84	367,57	1,48	-0,76	0,62	506,52
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	1,42	358,84	374,26	1,48	-0,76	-0,09	331,04
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	1,89	358,84	380,95	1,48	-0,76	-0,79	152,40
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	2,37	358,84	387,65	1,48	-0,76	-1,49	-29,42
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	2,84	358,84	394,34	1,48	-0,76	-2,19	-214,40
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	3,31	358,84	401,03	1,48	-0,76	-2,89	-402,54
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHX	3,79	358,84	407,73	1,48	-0,76	-3,60	-593,85
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHX	0,13	0,00	-184,67	0,00	3,01	0,00	-25,14
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHX	0,59	0,00	-177,69	0,00	3,01	0,00	58,98
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHX	1,05	0,00	-170,70	0,00	3,01	0,00	139,86
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHX	1,52	0,00	-163,72	0,00	3,01	0,00	217,50
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHX	1,98	0,00	-156,74	0,00	3,01	0,00	291,90
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHX	2,45	0,00	-149,75	0,00	3,01	0,00	363,05
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	0,15	0,22	-13,96	-0,06	-2,47	-0,10	443,95
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	0,60	0,22	13,75	-0,06	-2,47	-0,08	444,00
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	1,05	0,22	41,47	-0,06	-2,47	-0,05	431,57
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	1,50	0,22	69,19	-0,06	-2,47	-0,03	406,66
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	1,95	0,22	96,90	-0,06	-2,47	0,00	369,28
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	2,40	0,22	124,62	-0,06	-2,47	0,03	319,42
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	2,85	0,22	152,33	-0,06	-2,47	0,05	257,08
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	3,30	0,22	180,05	-0,06	-2,47	0,08	182,26
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	3,75	0,22	207,77	-0,06	-2,47	0,10	94,97
Δ1 (Α Ορ.)	PUSHX	4,20	0,22	235,48	-0,06	-2,47	0,13	-4,80
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	0,40	0,00	122,69	0,00	-37,09	0,00	96,38
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	0,88	0,00	114,79	0,00	-37,09	0,00	38,98
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	0,88	0,00	59,53	0,00	3,81	0,00	42,38
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	1,36	0,00	52,72	0,00	3,81	0,00	15,63
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	1,84	0,00	45,92	0,00	3,81	0,00	-7,88
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	2,31	0,00	39,11	0,00	3,81	0,00	-28,15
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHX	2,79	0,00	32,30	0,00	3,81	0,00	-45,16

Δ15 (B Ορ.)	PUSHX	3,27	0,00	25,49	0,00	3,81	0,00	-58,94
Δ15 (B Ορ.)	PUSHX	3,74	0,00	18,69	0,00	3,81	0,00	-69,47
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	0,00	0,00	85,20	0,00	3,62	0,00	155,61
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	0,46	0,00	77,77	0,00	3,62	0,00	118,21
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	0,92	0,00	70,33	0,00	3,62	0,00	84,22
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	1,38	0,00	62,89	0,00	3,62	0,00	53,65
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	1,84	0,00	55,45	0,00	3,62	0,00	26,49
Δ17 (B Ορ.)	PUSHX	2,30	0,00	48,01	0,00	3,62	0,00	2,75

Πιν. Β.3.2.1 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Δοκοί για φόρτιση κατά Χ)

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ								
Υποστύλωμα	Φόρτιση	Θέση καθ' ύψος του στοιχείου	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
K4 (B Ορ.)	PUSHX	0,00	-315,09	76,07	21,32	0,43	34,71	-44,14
K4 (B Ορ.)	PUSHX	1,53	-307,88	76,07	21,32	0,43	2,08	-160,53
K4 (B Ορ.)	PUSHX	3,06	-300,67	76,07	21,32	0,43	-30,54	-276,92
K4 (A Ορ.)	PUSHX	0,00	-387,78	299,90	26,63	0,79	50,69	610,90
K4 (A Ορ.)	PUSHX	1,50	-380,71	299,90	26,63	0,79	10,74	161,05
K4 (A Ορ.)	PUSHX	3,00	-373,64	299,90	26,63	0,79	-29,20	-288,80
K4 (Ισ.)	PUSHX	0,00	-995,03	208,61	20,86	0,24	25,18	499,72
K4 (Ισ.)	PUSHX	1,35	-988,66	208,61	20,86	0,24	-2,99	218,10
K4 (Ισ.)	PUSHX	2,70	-982,30	208,61	20,86	0,24	-31,15	-63,53
K1 (B Ορ.)	PUSHX	0,00	-215,85	67,41	-13,23	0,71	-24,78	158,37
K1 (B Ορ.)	PUSHX	1,53	-207,20	67,41	-13,23	0,71	-4,54	55,24
K1 (B Ορ.)	PUSHX	3,06	-198,55	67,41	-13,23	0,71	15,70	-47,89
K1 (A Ορ.)	PUSHX	0,00	-455,17	96,68	-122,68	1,31	-241,29	82,68
K1 (A Ορ.)	PUSHX	1,50	-446,69	96,68	-122,68	1,31	-57,27	-62,34
K1 (A Ορ.)	PUSHX	3,00	-438,21	96,68	-122,68	1,31	126,75	-207,36
K1 (Ισ.)	PUSHX	0,00	-697,66	63,57	35,55	0,39	21,19	241,68
K1 (Ισ.)	PUSHX	1,35	-690,03	63,57	35,55	0,39	-26,81	155,85
K1 (Ισ.)	PUSHX	2,70	-682,39	63,57	35,55	0,39	-74,81	70,03

Πιν. Β.3.2.2 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Υποστυλώματα για φόρτιση κατά Χ)

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ								
Τοίχωμα	Φόρτιση	Θέση	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
T15 (Ισ.)	PUSHX	0,00	-335,06	1125,53	4,57	0,78	9,21	3684,00
T15 (Ισ.)	PUSHX	1,60	-313,86	1125,53	4,57	0,78	1,89	1883,15
T15 (Ισ.)	PUSHX	3,20	-279,78	1125,53	4,57	0,78	-5,43	82,29
T15 (Α Ορ.)	PUSHX	0,00	-167,71	774,35	5,79	2,63	6,74	582,34
T15 (Α Ορ.)	PUSHX	1,85	-143,20	774,35	5,79	2,63	-3,97	-850,21
T15 (Α Ορ.)	PUSHX	3,70	-101,71	774,35	5,79	2,63	-14,68	-2282,76
T2 (Ισ.)	PUSHX	0,00	-1447,22	0,02	-0,35	0,56	2,48	-46,53
T2 (Ισ.)	PUSHX	1,60	-1431,67	0,02	-0,35	0,56	3,04	-46,56
T2 (Ισ.)	PUSHX	3,20	-1379,54	0,02	-0,35	0,56	3,60	-46,59
T2 (Α Ορ.)	PUSHX	0,00	-1277,43	0,02	-4,95	1,87	-9,62	-210,24
T2 (Α Ορ.)	PUSHX	1,85	-1259,44	0,02	-4,95	1,87	-0,46	-210,27
T2 (Α Ορ.)	PUSHX	3,70	-1186,94	0,02	-4,95	1,87	8,69	-210,30
T3 (Ισ.)	PUSHX	0,00	1562,07	235,52	266,95	0,46	215,43	400,23
T3 (Ισ.)	PUSHX	1,60	1575,26	235,52	266,95	0,46	-211,68	23,40
T3 (Ισ.)	PUSHX	3,20	1607,46	235,52	266,95	0,46	-638,80	-353,43
T5 (Α Ορ.)	PUSHX	0,00	-288,02	130,28	22,76	0,50	383,96	306,38
T5 (Α Ορ.)	PUSHX	1,60	-273,88	130,28	22,76	0,50	347,55	97,94
T5 (Α Ορ.)	PUSHX	3,20	-253,44	130,28	22,76	0,50	311,13	-110,50

Πιν. Β.3.2.3 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Τοιχώματα για φόρτιση κατά Χ)

Διεύθυνση Υ

Συνδυασμός: $1,00 \cdot D + 0,30 \cdot L + PushY$

Δυσμενέστεροι δοκοί για φόρτιση κατά Υ								
Δοκός	Φόρτιση	Θέση κατά μήκος στο στοιχείο	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	0,00	107,27	103,09	-0,88	7,67	-1,30	380,18
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	0,47	107,27	109,79	-0,88	7,67	-0,89	329,83
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	0,95	107,27	116,48	-0,88	7,67	-0,48	276,31
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	1,42	107,27	123,17	-0,88	7,67	-0,06	219,62
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	1,89	107,27	129,86	-0,88	7,67	0,35	159,76
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	2,37	107,27	136,56	-0,88	7,67	0,77	96,74
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	2,84	107,27	143,25	-0,88	7,67	1,18	30,55
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	3,31	107,27	149,94	-0,88	7,67	1,60	-38,80
Δ6 (Α Ορ.)	PUSHY	3,79	107,27	156,63	-0,88	7,67	2,01	-111,33
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	0,13	0,00	-540,43	0,00	4,16	0,00	-437,53
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	0,59	0,00	-533,45	0,00	4,16	0,00	-188,22

Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	1,05	0,00	-526,46	0,00	4,16	0,00	57,85
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	1,52	0,00	-519,48	0,00	4,16	0,00	300,67
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	1,98	0,00	-512,50	0,00	4,16	0,00	540,25
Δ14 (Α Ορ.)	PUSHY	2,45	0,00	-505,51	0,00	4,16	0,00	776,59
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	0,13	0,00	-281,77	0,00	2,21	0,00	-257,12
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	0,58	0,00	-257,66	0,00	2,21	0,00	-134,14
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	1,04	0,00	-233,55	0,00	2,21	0,00	-22,16
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	1,49	0,00	-209,43	0,00	2,21	0,00	78,83
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	1,95	0,00	-185,32	0,00	2,21	0,00	168,82
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	2,41	0,00	-161,21	0,00	2,21	0,00	247,82
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	2,86	0,00	-137,10	0,00	2,21	0,00	315,82
Δ8 (Α Ορ.)	PUSHY	3,32	0,00	-112,98	0,00	2,21	0,00	372,84
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	0,40	0,00	-40,22	0,00	16,40	0,00	-380,00
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	0,88	0,00	-48,11	0,00	16,40	0,00	-358,65
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	0,88	0,00	-182,43	0,00	-1,17	0,00	-365,12
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	1,36	0,00	-189,23	0,00	-1,17	0,00	-276,55
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	1,84	0,00	-196,04	0,00	-1,17	0,00	-184,72
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	2,31	0,00	-202,85	0,00	-1,17	0,00	-89,65
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	2,79	0,00	-209,66	0,00	-1,17	0,00	8,66
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	3,27	0,00	-216,46	0,00	-1,17	0,00	110,22
Δ15 (Β Ορ.)	PUSHY	3,74	0,00	-223,27	0,00	-1,17	0,00	215,02
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	0,40	0,00	56,96	0,00	0,74	0,00	92,34
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	0,86	0,00	49,79	0,00	0,74	0,00	67,93
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	1,32	0,00	42,63	0,00	0,74	0,00	46,80
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	1,77	0,00	35,46	0,00	0,74	0,00	28,95
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	2,23	0,00	28,29	0,00	0,74	0,00	14,37
Δ14 (Β Ορ.)	PUSHY	2,69	0,00	21,12	0,00	0,74	0,00	3,07

Πιν. Β.3.2.4 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Δοκοί για φόρτιση κατά Υ)

Δυσμενέστερα υποστυλώματα για φόρτιση κατά Υ								
Υποσύλωμα	Φόρτιση	Θέση καθ' ύψος του στοιχείου	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
K4 (Β Ορ.)	PUSHY	0,00	-7,31	19,44	61,71	-1,36	66,29	23,71
K4 (Β Ορ.)	PUSHY	1,53	-0,10	19,44	61,71	-1,36	-28,12	-6,04
K4 (Β Ορ.)	PUSHY	3,06	7,11	19,44	61,71	-1,36	-122,54	-35,78
K4 (Α Ορ.)	PUSHY	0,00	-443,62	24,48	58,63	-1,02	109,02	-29,44
K4 (Α Ορ.)	PUSHY	1,50	-436,55	24,48	58,63	-1,02	21,08	-66,16
K4 (Α Ορ.)	PUSHY	3,00	-429,48	24,48	58,63	-1,02	-66,86	-102,87
K4 (Ισ.)	PUSHY	0,00	-1136,74	232,48	131,35	0,20	277,31	273,42
K4 (Ισ.)	PUSHY	1,35	-1130,37	232,48	131,35	0,20	99,99	-40,43

K4 (Ισ.)	PUSHY	2,70	-1124,01	232,48	131,35	0,20	-77,33	-354,28
K1 (B Ορ.)	PUSHY	0,00	-46,86	-34,91	169,03	-2,23	6,08	-91,17
K1 (B Ορ.)	PUSHY	1,53	-38,21	-34,91	169,03	-2,23	-252,54	-37,75
K1 (B Ορ.)	PUSHY	3,06	-29,55	-34,91	169,03	-2,23	-511,16	15,67
K1 (A Ορ.)	PUSHY	0,00	-100,72	-43,83	279,93	-1,67	554,63	-79,07
K1 (A Ορ.)	PUSHY	1,50	-92,23	-43,83	279,93	-1,67	134,73	-13,33
K1 (A Ορ.)	PUSHY	3,00	-83,75	-43,83	279,93	-1,67	-285,17	52,42
K1 (Ισ.)	PUSHY	0,00	-184,50	39,50	64,83	0,34	648,97	53,11
K1 (Ισ.)	PUSHY	1,35	-176,87	39,50	64,83	0,34	561,45	-0,21
K1 (Ισ.)	PUSHY	2,70	-169,23	39,50	64,83	0,34	473,93	-53,53

Πιν. Β.3.2.5 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Υποστυλώματα για φόρτιση κατά Υ)

Δυσμενέστερα τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ								
Τοιχώμα	Φόρτιση	Θέση	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
T11 (Ισ.)	PUSHY	0,00	-551,27	16,76	499,92	0,43	1287,82	58,67
T11 (Ισ.)	PUSHY	1,60	-537,14	16,76	499,92	0,43	487,95	31,85
T11 (Ισ.)	PUSHY	3,20	-493,42	16,76	499,92	0,43	-311,92	5,03
T5 (A Ορ.)	PUSHY	0,00	461,28	6,87	506,04	-2,15	606,76	19,92
T5 (A Ορ.)	PUSHY	1,85	477,63	6,87	506,04	-2,15	-329,41	7,21
T5 (A Ορ.)	PUSHY	3,70	498,96	6,87	506,04	-2,15	-1265,58	-5,49
T5 (Ισ.)	PUSHY	0,00	462,40	-18,53	362,76	0,43	1139,98	-93,45
T5 (Ισ.)	PUSHY	1,60	476,54	-18,53	362,76	0,43	559,56	-63,80
T5 (Ισ.)	PUSHY	3,20	496,97	-18,53	362,76	0,43	-20,86	-34,15
T2 (Ισ.)	PUSHY	0,00	2043,88	2,41	125,91	0,48	320,33	-10,88
T2 (Ισ.)	PUSHY	1,60	2059,43	2,41	125,91	0,48	118,88	-14,74
T2 (Ισ.)	PUSHY	3,20	2111,56	2,41	125,91	0,48	-82,57	-18,59
T8 (Ισ.)	PUSHY	0,00	-65,18	-47,10	492,15	0,43	1260,07	-51,15
T8 (Ισ.)	PUSHY	1,60	-51,05	-47,10	492,15	0,43	472,63	24,21
T8 (Ισ.)	PUSHY	3,20	-31,52	-47,10	492,15	0,43	-314,81	99,57
T15 (Ισ.)	PUSHY	0,00	-865,48	-506,64	188,29	0,67	480,40	-456,13
T15 (Ισ.)	PUSHY	1,60	-844,27	-506,64	188,29	0,67	179,13	354,49
T15 (Ισ.)	PUSHY	3,20	-810,20	-506,64	188,29	0,67	-122,13	1165,11

Πιν. Β.3.2.6 Αποτελέσματα ανελαστικής πλευρικής οριακής ώθησης Pushover
(Τοιχώματα για φόρτιση κατά Υ)