

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

Α.Σ.Τ.Ε. IV

Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα

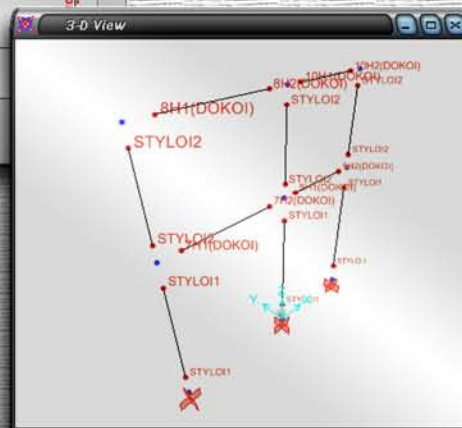
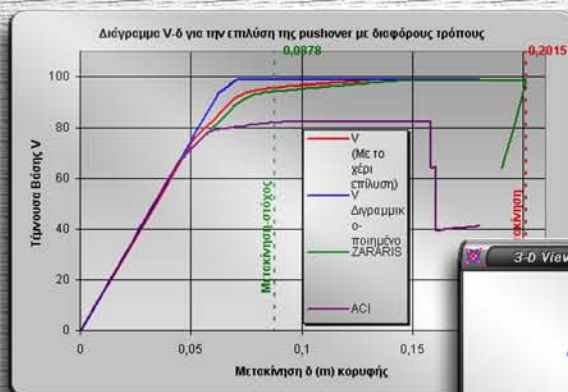
Υπεύθυνοι:

Πενέλης, Γ.

Κάλπος, Α.

Εργασία:

Θέμα εξαμήνου



Όνομα φοιτητή:
Οικονόμου Θεμιστοκλής

Δευτέρα, 3 Φεβρουαρίου 2003

Ημερομηνία: ___ / ___ / 02

Όνοματεπώνυμο: _____

ΘΕΜΑ

Δίνεται το πλαίσιο Ο/Σ (C16, S500s) του σχήματος με τις παρακάτω παραδοχές:

Φορτία Βαρύτητας

$g = 20 \text{ kN/m}$ (Ι.Β. περιλαμβάνεται)

$q = 15 \text{ kN/m}$

Μάζα (G+0.3Q)

$M_{G+0.3Q} = 34.3 \text{ t[SI]}$

Σεισμικά Φορτία

Ομάδα Δ:

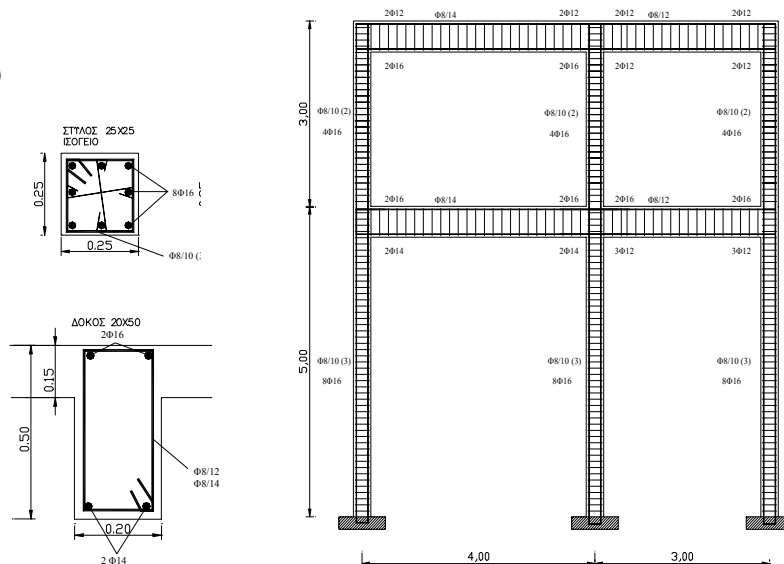
$A=0.32g$

$\theta=1.0$

$\gamma=1.0$

$\beta_0 = 2.5$

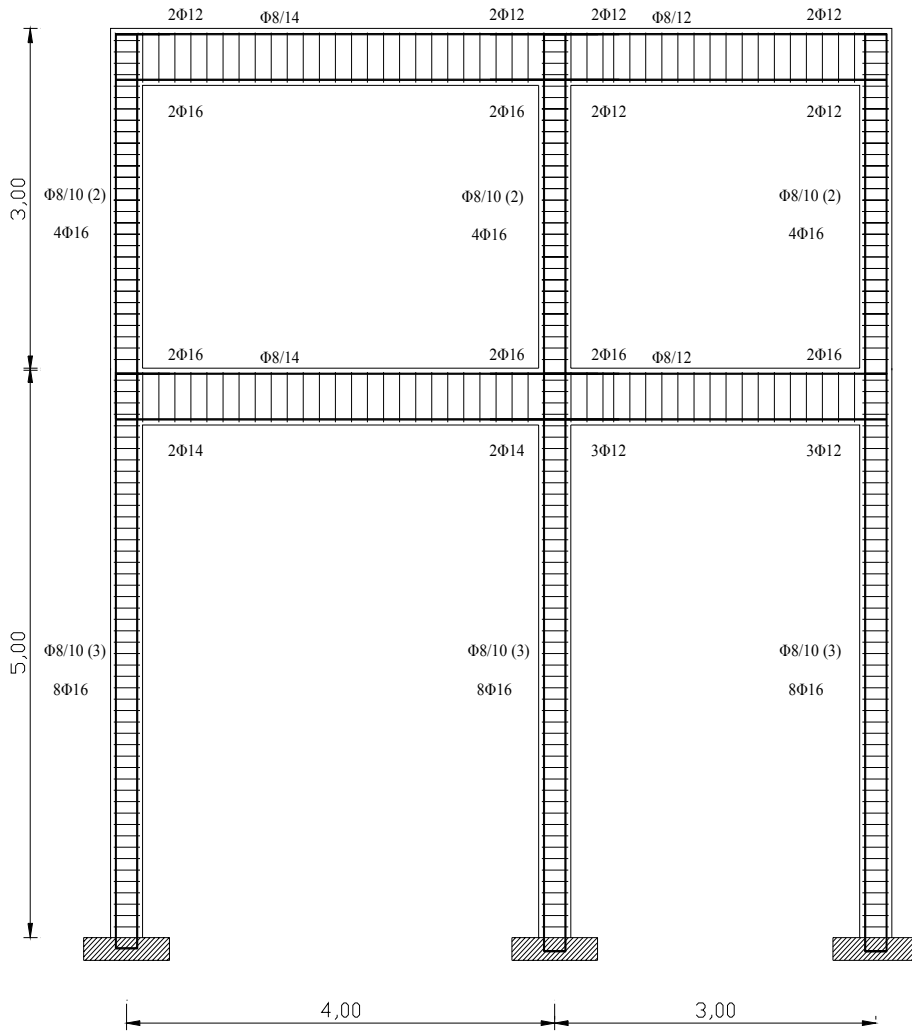
Εδάφος Α



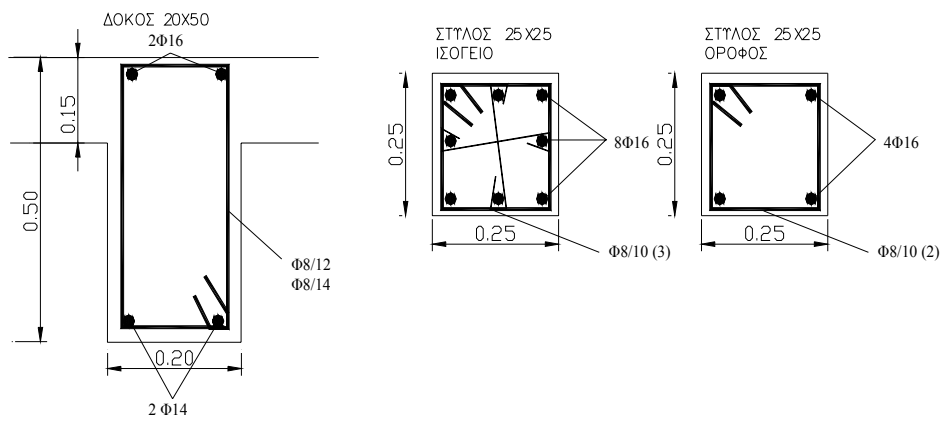
Το πλαίσιο έχει διαστασιολογηθεί με βάσει τις διατάξεις του ΕΚΟΣ&ΕΑΚ2000 θεωρώντας συντελεστή συμπεριφοράς $q=3.0$. Τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης επισυνάπτονται για λόγους πληρότητας του θέματος. Ζητείται να εκτελεστούν τα εξής :

- Στατική ανελαστική ανάλυση (pushover) του πλαισίου χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SAP2000. Η διαθέσιμη αντοχή του κάθε στοιχείου μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες του προγράμματος, ενώ η διαθέσιμη στροφή του κάθε στοιχείου από τους σχετικούς πίνακες του FEMA-273 ή του ATC-40. Σημειώνεται, ότι θα πρέπει οι διαθέσιμες στροφές του κάθε στοιχείου να ανταποκρίνονται στην εντατική του κατάσταση.
- Βήμα προς βήμα στατική ελαστική ανάλυση με αντικατάσταση κάθε άκρου στοιχείου που διαρρέει με άρθρωση, έτσι ώστε να προσεγγιστεί η καμπύλη φόρτισης-μετατόπισης του (α).
- Αποτίμηση του πλαισίου για το επίπεδο μετακίνησης που αναμένεται για το σεισμό σχεδιασμού (χρήση σχέσης δ_i από FEMA 273), και προσδιορισμό της μέγιστης επιτάχυνσης του εδάφους (pga) η οποία αντιστοιχεί στην μέγιστη δυνατή μετατόπιση του πλαισίου,
- Σχολιασμός των αποτελεσμάτων με έμφαση στη αξιοπιστία του συντελεστή συμπεριφοράς που χρησιμοποιήθηκε στην αρχική ελαστική ανάλυση, στην ακρίβεια της προσεγγιστικής μεθόδου του (b) και στον προσδιορισμό της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης που προκαλεί κατάρρευση του πλαισίου

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΕΛΕΓΧΘΗΚΕ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ



ΣΧΗΜΑ 1: ΠΛΑΙΣΙΟ



Ε - Τ ο ο Ί ς Δ ι α σ τ α σ ι ο λ ό γ η σ η

(c)2002 Έκδοση 1.1 (υλοποίηση 3010)

Προγραμματισμός

Βασίλης Παπανικολάου, Πολ.Μηχανικός ΑΠΘ, MSc DIC (billy@ee.auth.gr)
Πενέλης Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Αδειούχος χρήστης

COMP 1
ΠΕΝΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΕ

Δήλωση ευθύνης

Η ευθύνη χρήσης και αξιοπιστίας των εξαγόμενων αποτελεσμάτων
βαρύνει αποκλειστικά τον αδειούχο χρήστη και με κανένα τρόπο
τους συντελεστές ή την εταιρία Πενέλης Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.

Γενικές Πληροφορίες

Αρχείο Input : D:\My Documents\aste\ASTE2002\etabs8\asteD_Input.txt
Αρχείο Output : D:\My Documents\aste\ASTE2002\etabs8\asteD_Output.txt

Διαστασιολόγηση με κανονισμό ΕΚΟΣ + ΕΑΚ 2000
Αυτόματη δημιουργία φορτιστικών συνδυασμών

Συνδυασμοί που διαστασιολογούνται :

1.35G+1.5Q
G+0.3Q+EX+0.3Ey
G+0.3Q+EX-0.3Ey
G+0.3Q-EX+0.3Ey
G+0.3Q-EX-0.3Ey
G+0.3Q+Ey+0.3Ex
G+0.3Q+Ey-0.3Ex
G+0.3Q-Ey+0.3Ex
G+0.3Q-Ey-0.3Ex

Διαστασιολόγηση Δοκών (4 δοκοί)

Amiη : Ελάχιστος επιτρεπόμενος οπλισμός
Amax : Μέγιστος επιτρεπόμενος οπλισμός
Aca1 : Υπολογισμένος οπλισμός
Areq : Απαιτούμενος οπλισμός από το κανονισμό
Asug : Προτεινόμενος αριθμός και διάμετρος διαμήκων ράβδων

Nsd : Αξονικό φορτίο σχεδιασμού
Msd : Ροπή σχεδιασμού

Vsd : Τέμνουσα σχεδιασμού
VCD : Ικανοτική τέμνουσα σχεδιασμού
Vwd : Τέμνουσα που παραλαμβάνεται από συνδετήρες
Vdd : Τέμνουσα που παραλαμβάνεται από διαγώνιες ράβδους

Όροφος STORY1 - Δοκός B3

Δυνάμεις διάτμησης	VCD	vwd	vdd
Αριστερό άκρο	59.35	49.98	0.00
Δεξιό άκρο	59.35	50.11	0.00

2Φ16	2Φ16	2Φ16
---- Φ8/140(2) ----- ----- Φ8/140(2) ----		
2Φ14	2Φ14	2Φ14

Όροφος STORY2 - Δοκός Β3

πλακοδοκός (bw/h/bef/hf) : 0.20/0.50/0.75/0.15 γλικά C16/S500 Συνδ. S500

Οπλισμοί κάμψης	Amin	Amax	Aca1	Areq	Asug
Αριστερα κάτω	2.19	29.38	0.00	2.19	2Φ12
Αριστερα άνω	2.19	16.10	1.91	2.19	2Φ12
Κέντρο κάτω	2.19	73.00	1.37	2.19	2Φ12
Κέντρο άνω	2.19	40.00	0.00	2.19	2Φ12
Δεξιό κάτω	2.19	29.38	0.66	2.19	2Φ12
Δεξιό άνω	2.19	16.10	0.80	2.19	2Φ12

Δυνάμεις κάμψης	Nsd	Msd	Συνδυασμός
Αριστερα κάτω	-	-	
Αριστερα άνω	0.00	-36.55	1.35G+1.5Q
Κέντρο κάτω	0.00	27.24	1.35G+1.5Q
Κέντρο άνω	-	-	
Δεξιό κάτω	0.00	13.24	G+0.3Q+Ex+0.3Ey
Δεξιό άνω	0.00	-15.78	G+0.3Q-Ex+0.3Ey

Οπλισμοί διάτμησης	Συνδετήρες	Διαγώνιοι
Αριστερό άκρο	Φ8/120(2)	Όχι
Δεξιό άκρο	Φ8/120(2)	Όχι

Δυνάμεις διάτμησης	VCD	vwd	vdd
Αριστερό άκρο	19.85	10.82	0.00
Δεξιό άκρο	19.85	10.82	0.00

2Φ12	2Φ12	2Φ12
---- Φ8/120(2) ----- ----- Φ8/120(2) ----		
2Φ12	2Φ12	2Φ12

Όροφος STORY2 - Δοκός Β1

πλακοδοκός (bw/h/bef/hf) : 0.20/0.50/0.75/0.15 γλικά C16/S500 Συνδ. S500

Οπλισμοί κάμψης	Amin	Amax	Aca1	Areq	Asug
Αριστερα κάτω	2.19	29.38	0.60	2.19	2Φ16
Αριστερα άνω	2.19	16.10	0.85	2.19	2Φ12
Κέντρο κάτω	2.19	73.00	3.25	3.25	2Φ16
Κέντρο άνω	2.19	40.00	0.00	2.19	2Φ12
Δεξιό κάτω	2.19	29.38	0.00	2.19	2Φ16
Δεξιό άνω	2.19	16.10	2.07	2.19	2Φ12

Δυνάμεις κάμψης	Nsd	Msd	Συνδυασμός
-----------------	-----	-----	------------

Αριστερα κάτω	0.00	12.07	G+0.3Q+Ex+0.3Ey
Αριστερα άνω	0.00	-16.81	G+0.3Q-Ex+0.3Ey
Κέντρο κάτω	0.00	64.82	1.35G+1.5Q
Κέντρο άνω	-	-	
Δεξιά κάτω	-	-	
Δεξιά άνω	0.00	-39.60	1.35G+1.5Q

Οπλισμοί διάτμησης Συνδετήρες Διαγώνιοι

Αριστερό άκρο	Φ8/120(2)	Όχι
Δεξιό άκρο	Φ8/120(2)	Όχι

Δυνάμεις διάτμησης	VCD	vwd	vdd
Αριστερό άκρο	16.27	7.25	0.00
Δεξιό άκρο	16.27	7.25	0.00

2Φ12	2Φ12	2Φ12
---- Φ8/120(2) ----- ----- Φ8/120(2) ----		
2Φ16	2Φ16	2Φ16

Διαστασιολόγηση Υποστυλωμάτων (6 υποστυλώματα)

Am_{in} : Ελάχιστος επιτρεπόμενος οπλισμός
A_{max} : Μέγιστος επιτρεπόμενος οπλισμός
A_{ca1} : Υπολογισμένος οπλισμός
A_{req} : Απαιτούμενος οπλισμός από το κανονισμό
A_{sug} : Προτεινόμενος αριθμός και διαμέτρος διαμήκων ράβδων

N_{sd} : Αξονικό φορτίο σχεδιασμού
M_{2sd} : Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση 2
M_{3sd} : Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση 3

v_{sd} : Τέμνουσα σχεδιασμού
VCD : Ικανοτική τέμνουσα σχεδιασμού
v_{wd} : Τέμνουσα που παραλαμβάνεται από συνδετήρες
v_{dd} : Τέμνουσα που παραλαμβάνεται από διαγώνιες ράβδους

Όροφος STORY1 - Υποστώλιωμα C2

Ορθογωνική διατομή (b/h) : 0.25/0.25 Υλικό C16/S500 Συνδ. S500

Οπλισμοί κάμψης	A _{in}	A _{max}	A _{ca1}	A _{req}	A _{sug}
Κεφαλή	6.25	25.00	9.39	9.39	8Φ16
Πόδας	6.25	25.00	13.76	13.76	8Φ16

Δυνάμεις κάμψης	N _{sd}	M _{2sd}	M _{3sd}	Συνδυασμός
Κεφαλή	-21.76	0.00	36.48	G+0.3Q+Ex+0.3Ey
Πόδας	-21.76	0.00	50.37	G+0.3Q+Ex+0.3Ey

Οπλισμοί διάτμησης	Συνδετήρες	Συνδετήρες	Διαγώνιες
Περιοχή	Κρίσιμη	Μη Κρίσιμη	Ράβδοι
Κεφαλή	Φ8/100(3)	Φ8/200(3)	Όχι
Πόδας	Φ8/100(3)	Φ8/200(3)	Όχι

Δυνάμεις διάτμησης	VCD	vwd	vdd
--------------------	-----	-----	-----

Κεφαλή	25.88	18.27	0.00
Πόδας	25.88	17.87	0.00

.....

Όροφος STORY1 - Υποστύλωμα C1

Ορθογωνική διατομή (b/h) : 0.25/0.25 γλικά C16/S500 Συνδ. S500

Οπλισμοί κάμψης	Amin	Amax	Aca1	Areq	Asug
Κεφαλή	6.25	25.00	9.10	9.10	8φ16
Πόδας	6.25	25.00	12.81	12.81	8φ16

Δυνάμεις κάμψης	Nsd	M2sd	M3sd	Συνδυασμός
Κεφαλή	-202.09	0.00	-41.26	G+0.3Q-Ex+0.3Ey
Πόδας	-183.39	0.00	51.48	G+0.3Q+Ex+0.3Ey

Οπλισμοί διάτμησης περιοχή	Συνδετήρες κρίσιμη	Συνδετήρες Μή κρίσιμη	Διαγώνιες Ράβδοι
Κεφαλή	φ8/100(3)	φ8/200(3)	Όχι
Πόδας	φ8/100(3)	φ8/200(3)	Όχι

Δυνάμεις διάτμησης	VCD	vwd	vdd
Κεφαλή	27.67	0.00	0.00
Πόδας	27.67	0.00	0.00

.....

Όροφος STORY1 - Υποστύλωμα C0-2

Ορθογωνική διατομή (b/h) : 0.25/0.25 γλικά C16/S500 Συνδ. S500

Οπλισμοί κάμψης	Amin	Amax	Aca1	Areq	Asug
Κεφαλή	6.25	25.00	9.78	9.78	8φ16
Πόδας	6.25	25.00	12.78	12.78	8φ16

Δυνάμεις κάμψης	Nsd	M2sd	M3sd	Συνδυασμός
Κεφαλή	-58.67	0.00	39.84	G+0.3Q+Ex+0.3Ey
Πόδας	-119.15	0.00	-50.55	G+0.3Q-Ex+0.3Ey

Οπλισμοί διάτμησης περιοχή	Συνδετήρες κρίσιμη	Συνδετήρες Μή κρίσιμη	Διαγώνιες Ράβδοι
Κεφαλή	φ8/100(3)	φ8/200(3)	Όχι
Πόδας	φ8/100(3)	φ8/200(3)	Όχι

Δυνάμεις διάτμησης	VCD	vwd	vdd
Κεφαλή	26.83	0.00	0.00
Πόδας	26.83	0.00	0.00

.....

Όροφος STORY2 - Υποστύλωμα C2

Ορθογωνική διατομή (b/h) : 0.25/0.25 γλικά C16/S500 Συνδ. S500

Οπλισμοί κάμψης	Amin	Amax	Aca1	Areq	Asug
-----------------	------	------	------	------	------

Κεφαλή	6.25	25.00	2.40	6.25	4φ16
Πόδας	6.25	25.00	3.87	6.25	4φ16
Δυνάμεις κάμψης	Nsd	M2sd	M3sd	Συνδυασμός	
Κεφαλή	-38.58	0.00	-14.00	G+0.3Q-Ex+0.3Ey	
Πόδας	-22.70	0.00	18.02	G+0.3Q+Ex+0.3Ey	
Οπλισμοί διάτμησης Περιοχή	Συνδετήρες Κρίσιμη	Συνδετήρες Μή κρίσιμη	Διαγώνιες Ράβδοι		
Κεφαλή	φ8/100(2)	φ8/200(2)	Όχι		
Πόδας	φ8/100(2)	φ8/200(2)	Όχι		
Δυνάμεις διάτμησης	VCD	vwd	vdd		
Κεφαλή	28.95	21.60	0.00		
Πόδας	28.95	21.60	0.00		

Όροφος STORY2 - Υποστύλωμα C1

Ορθογωνική διατομή (b/h) : 0.25/0.25 Υλικά C16/S500 Συνδ. S500

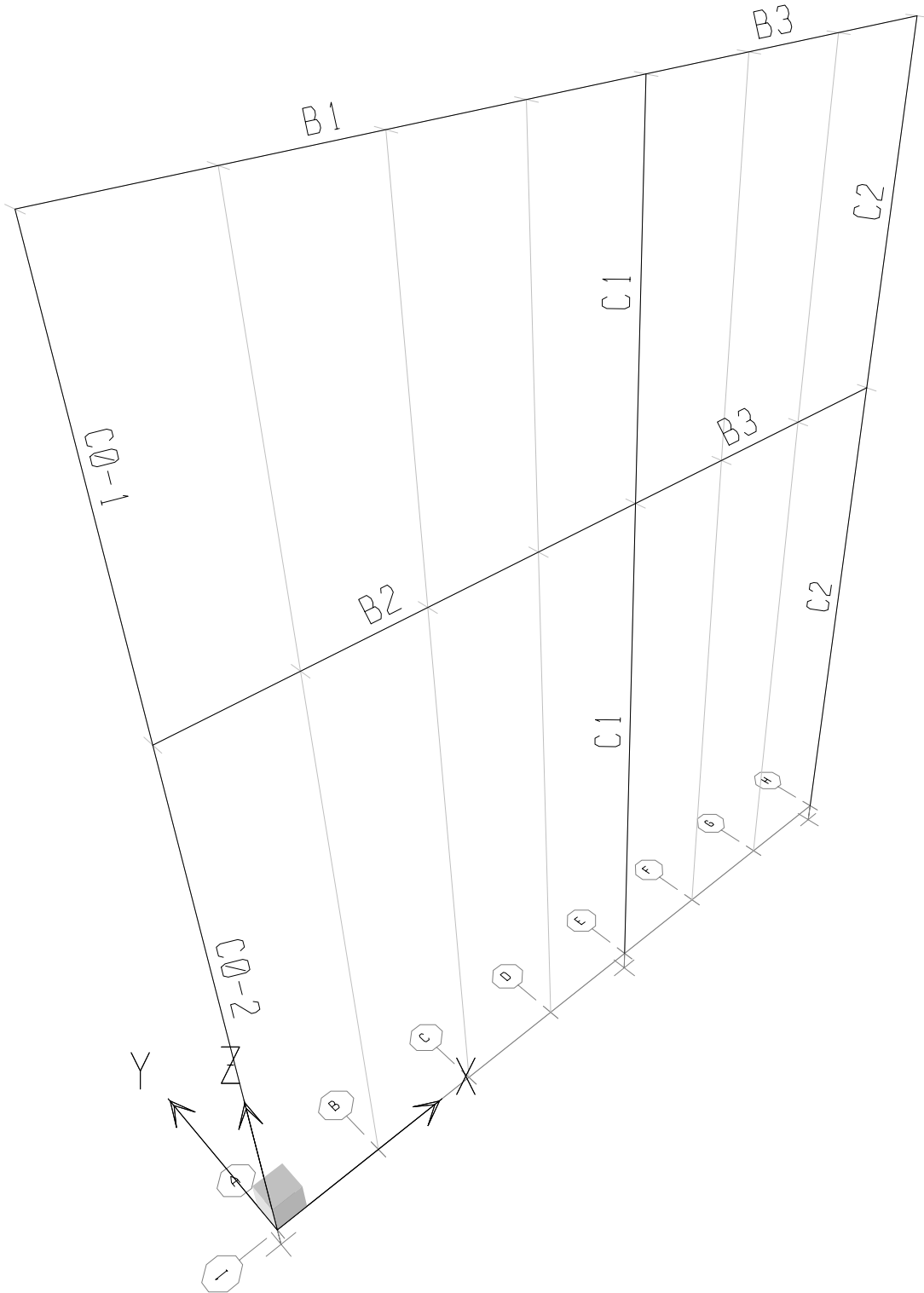
Οπλισμοί κάμψης	Amín	Amax	Aca1	Areq	Asug
Κεφαλή	6.25	25.00	1.33	6.25	4φ16
Πόδας	6.25	25.00	3.47	6.25	4φ16
Δυνάμεις κάμψης	Nsd	M2sd	M3sd	Συνδυασμός	
Κεφαλή	-97.89	0.00	-14.71	G+0.3Q-Ex+0.3Ey	
Πόδας	-95.03	0.00	21.59	G+0.3Q+Ex+0.3Ey	
Οπλισμοί διάτμησης Περιοχή	Συνδετήρες Κρίσιμη	Συνδετήρες Μή κρίσιμη	Διαγώνιες Ράβδοι		
Κεφαλή	φ8/100(2)	φ8/200(2)	Όχι		
Πόδας	φ8/100(2)	φ8/200(2)	Όχι		
Δυνάμεις διάτμησης	VCD	vwd	vdd		
Κεφαλή	33.32	2.87	0.00		
Πόδας	33.26	2.80	0.00		

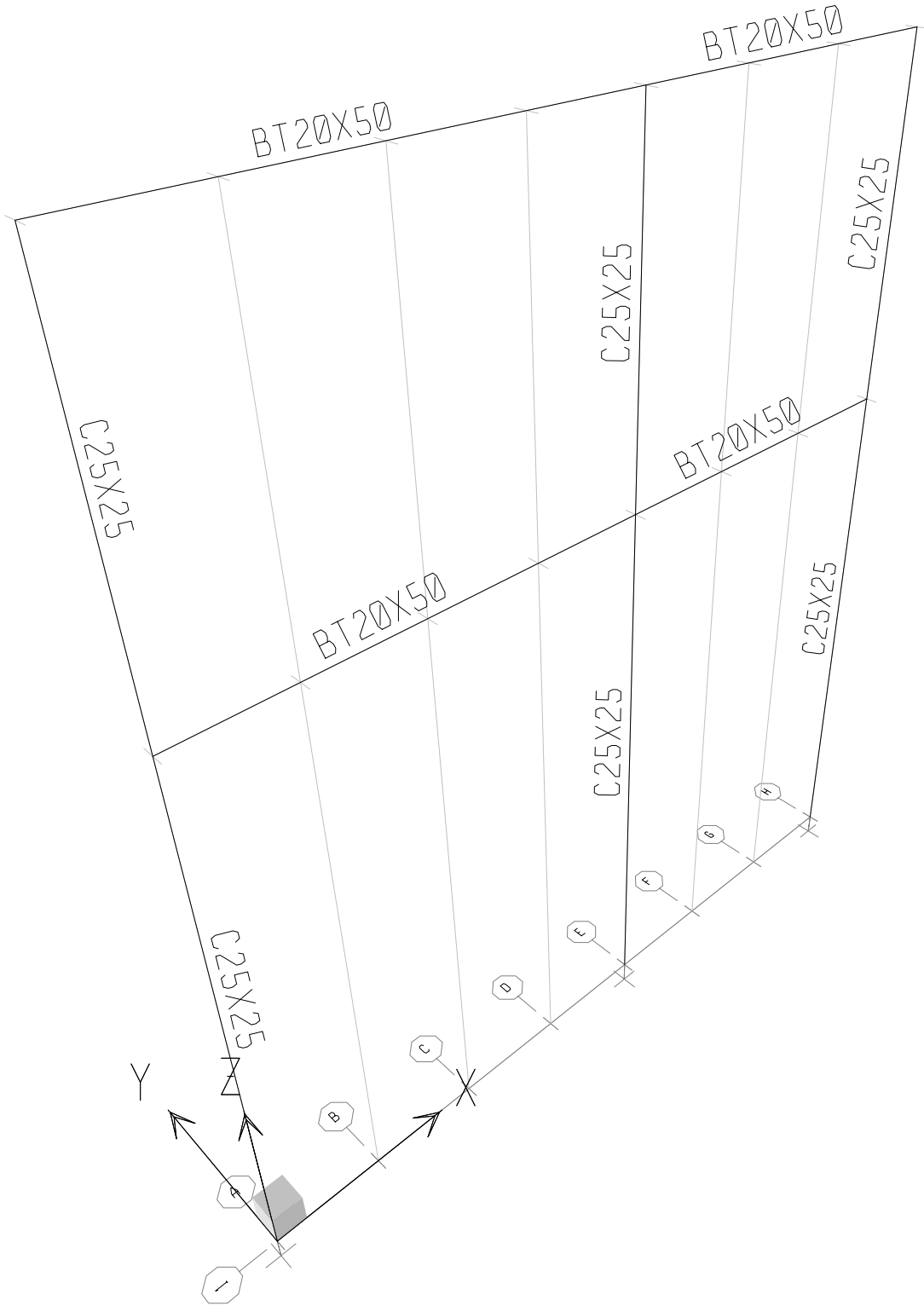
Όροφος STORY2 - Υποστύλωμα C0-1

Ορθογωνική διατομή (b/h) : 0.25/0.25 Υλικά C16/S500 Συνδ. S500

Οπλισμοί κάμψης	Amín	Amax	Aca1	Areq	Asug
Κεφαλή	6.25	25.00	2.92	6.25	4φ16
Πόδας	6.25	25.00	3.81	6.25	4φ16
Δυνάμεις κάμψης	Nsd	M2sd	M3sd	Συνδυασμός	
Κεφαλή	-37.90	0.00	15.83	G+0.3Q+Ex+0.3Ey	
Πόδας	-50.92	0.00	-19.95	G+0.3Q-Ex+0.3Ey	
Οπλισμοί διάτμησης	Συνδετήρες	Συνδετήρες	Διαγώνιες		

Περιοχή	Κρίσιμη	Μή Κρίσιμη	Ράβδοι
Κεφαλή	Φ8/100(2)	Φ8/200(2)	Όχι
Πόδας	Φ8/100(2)	Φ8/200(2)	Όχι
Δυνάμεις διάτμησης	VCD	vwd	vdd
Κεφαλή	27.87	19.42	0.00
Πόδας	27.87	19.42	0.00





Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας των Κατασκευών

Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών
«Αντισεισμικός Σχεδιασμός Τεχνικών Έργων»

**Μάθημα: «Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών από
σκυρόδεμα», (Α.Σ.Τ.Ε. 4)**

ΘΕΜΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

Εισαγωγικά στοιχεία**Δεδομένα**

Υλικά κατασκευής Σκυρόδεμα: C16
 Χάλυβας: S500

Φορτία βαρύτητας Μόνιμο : $g = 20 \text{ kN/m}$
 Κινητό : $q = 15 \text{ kN/m}$

Μάζα (λόγω κατακορύφων φορτίων $G+0,3Q$): $M_{G+0,3Q} = 34,3 \text{ t}$

Σεισμικά Φορτία: Εδαφική επιτάχυνση : $A = 0,32g$
 Κατηγορία εδάφους : A
 Συντελεστής σπουδαιότητας : $\gamma_1 = 1,0$
 Συντελεστής θεμελίωσης : $\theta = 1,0$
 Συντελεστής φασματικής ενίσχυσης: $\beta_0 = 2,5$
 Συντελεστής συμπεριφοράς : $q = 3,0$

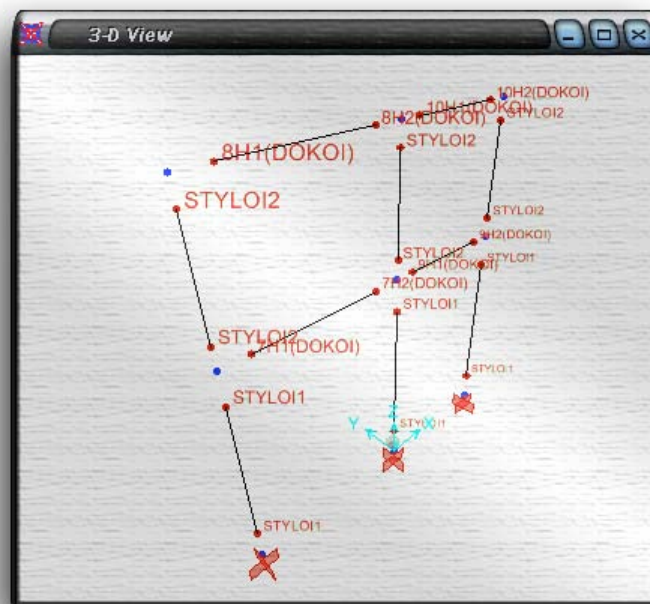
Διαστάσεις δομικών στοιχείων: Δοκοί: 4 τύπων, ανάλογα με το είδος όπλισης.
 Διατομή: 20/50 (cm).
 Οπλισμοί: Αναγράφονται στην εκφώνηση.
 Συνδετήρες: Αναγράφονται στην εκφώνηση.

 Στύλοι: 2 τύπων, ανάλογα με το είδος όπλισης.
 Διατομή: 25/25 (cm).
 Οπλισμοί: Αναγράφονται στην εκφώνηση.
 Συνδετήρες: Αναγράφονται στην εκφώνηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

1.1 Προσομοίωση κατασκευής

Η προσομοίωση της κατασκευής έγινε με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία με την παραδοχή ανελαστικής συμπεριφοράς μόνο στα άκρα τους, δεδομένου ότι οι περιοχές αυτές αποτελούν τα σημεία κρίσιμης απόκρισης της κατασκευής όπου αναμένεται να συγκεντρωθούν οι ανελαστικές παραμορφώσεις υπό σεισμική φόρτιση. Οι κρίσιμες αυτές διατομές φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Διατομές κρίσιμης απόκρισης της κατασκευής.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε δυναμική ελαστική φασματική επίλυση του φορέα με το σεισμό σχεδιασμού του ΕΑΚ. Οι τιμές δυσκαμψίας και δυστημσίας των δομικών στοιχείων του φορέα λήφθηκαν μειωμένες ως προς τις τιμές που προκύπτουν από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διατομών τους κατά τους μειωτικούς συντελεστές που δίνονται στον ακόλουθο πίνακα, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η ενυπάρχουσα ρηγμάτωση του οπλισμένου σκυροδέματος σε κάθε δομικό στοιχείο. Η μείωση της δυστένειας των δομικών στοιχείων δε λήφθηκε υπόψη, δεδομένου ότι η επίδρασή της στην απόκριση της συγκεκριμένης κατασκευής υπό σεισμική φόρτιση είναι αμελητέα.

Μειωτικοί συντελεστές δυσκαμψίας και δυστημσίας κατά Ε.Α.Κ.		
Δομικό στοιχείο	Συν/τής μείωσης δυσκαμψίας	Συν/τής μείωσης δυστένειας
Δοκοί	0,5	0,1
Υποστυλώματα	1	0,1

Τα συνεργαζόμενα πλάτη πλακοδοκών προέκυψαν από την σχέση $b_{eff} = 8 \times h_f + b_w$. Οι ιδιότητες των υλικών (αντοχές σε ορθές και διατμητικές τάσεις) που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Σκυρόδεμα		Χάλυβας	
f_c	f_{cs}	f_y	f_{ys}
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
24	0,22	500	500

Όπως είναι φανερό από τον πίνακα, για το σκυρόδεμα χρησιμοποιήσαμε μία μέση αντοχή f_c , μεγαλύτερη από αυτή των 28 ημερών, αφού η κατασκευή είναι υφιστάμενη και προφανώς το σκυρόδεμα έχει αποκτήσει τις τελικές του αντοχές.

Δεχόμαστε ότι η μάζα ισοκατανέμεται ανά όροφο, οπότε, σε καθένα από τους δύο ορόφους αντιστοιχεί μάζα ίση με $m=17,15t$. Η επικάλυψη λήφθηκε ίση με $4cm$, οπότε για τα υποτυλώματα που είναι $25cm$, ισχύει $d_i/h = 4/25 = 0,16 \approx 0,15$ (για τους αντίστοιχους πίνακες του Ζαράρη).

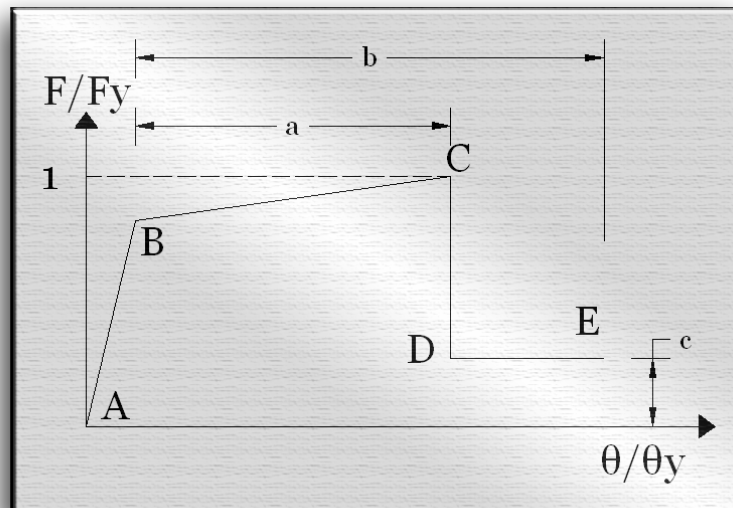
1.2 Σεισμικά φορτία σχεδιασμού

Σύμφωνα με τα ανωτέρω δεδομένα, δημιουργείται το αντίστοιχο μοντέλο στο πρόγραμμα SAP 2000 που υποβάλλεται σε ελαστική δυναμική ανάλυση σύμφωνα με τον ΕΑΚ. Τα ακραία εντατική μεγέθη του σεισμού, επαλληλίζονται με τα φορτία λόγω του ίδιου βάρους του ($G+0,3Q\pm E$). Τα αποτελέσματα, συνοψίζονται στον κάτωθι πίνακα:

		Φορτιστική κατάσταση $G+0,3Q\pm E$					
		maxN	minN	maxV	minV	maxM	minM
Element 1	Κάτω	-59,5146	-117,1833	17,5424	-19,6629	46,3921	-49,7804
	Πάνω	-59,5146	-117,1833	17,5424	-19,6629	48,5344	-41,3201
Element 2	Κάτω	-37,5836	-50,2571	2,0967	-14,8822	1,5058	-20,0814
	Πάνω	-37,5836	-50,2571	2,0967	-14,8822	24,5700	-4,7890
Element 3	Κάτω	-183,4859	-204,6850	20,5434	-19,6598	51,3751	-49,7752
	Πάνω	-183,4859	-204,6850	20,5434	-19,6598	48,5237	-51,3422
Element 4	Κάτω	-95,6183	-99,5979	15,9774	-10,7504	23,6217	-15,9648
	Πάνω	-95,6183	-99,5979	15,9774	-10,7504	16,2865	-24,3106
Element 5	Κάτω	-21,1317	-99,9995	19,5086	-18,2718	49,6568	-47,4705
	Πάνω	-21,1317	-99,9995	19,5086	-18,2718	43,8883	-47,8863
Element 6	Κάτω	-21,6450	-38,2980	13,0000	-5,4415	17,7918	-6,8393
	Πάνω	-21,6450	-38,2980	13,0000	-5,4415	9,4877	-21,2106
Element 7	Αριστερά	0,0000	0,0000	-21,9184	0,0000	42,7348	0,0000
	Δεξιά	0,0000	0,0000	76,0816	-17,9387	3,2302	16,3527
Element 8	Αριστερά	0,0000	0,0000	-37,5836	0,0000	4,7890	0,0000
	Δεξιά	0,0000	0,0000	60,4164	-1,2571	-19,5409	26,9423
Element 9	Αριστερά	0,0000	0,0000	-11,7810	0,0000	9,3115	0,0000
	Δεξιά	0,0000	0,0000	61,7190	-37,2808	50,6452	-0,5795
Element 10	Αριστερά	0,0000	0,0000	-35,2020	0,0000	-16,5664	0,0000
	Δεξιά	0,0000	0,0000	38,2980	-15,1050	9,4877	8,6735

Φορτιστική κατάσταση $G+0,3Q\pm E$

Τα δομικά στοιχεία προσομοιώθηκαν με στοιχεία σημειακής πλαστικότητας. Η συμπεριφορά των τελευταίων είναι διγραμμική για να συμφωνεί με τις αντίστοιχες διατάξεις του FEMA-273. Οι διατάξεις αυτές προσδιορίζουν τιμές των χαρακτηριστικών σημείων του διαγράμματος ανηγμένης δύναμης – ανηγμένης παραμόρφωσης, σε συνδυασμό με τις τιμές των ορίων κάθε επιπέδου επιτελεσματικότητας. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται η μορφή του προαναφερθέντος διαγράμματος για καμπτόμενα στοιχεία, καθώς και οι σχετικές παράμετροι που προβλέπονται από το FEMA-273.



Διάγραμμα ανηγμένης δύναμης – ανηγμένης παραμόρφωσης

Τα επίπεδα επιτελεσματικότητας που καθορίζονται από το FEMA-273 είναι τρία και είναι τα εξής:

IO: Immediate Occurance (Άμεση χρήση μετά το σεισμό – Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας).

LS: Life Saving (Προστασία ανθρώπινης ζωής).

CP: Collapse Prevention (Αποφυγή κατάρρευσης).

Οι παράμετροι a , b , η παραμένουσα αντοχή c , όπως και οι τιμές των ορίων που καθορίζουν το επίπεδο επιτελεσματικότητας κάθε δομικού στοιχείου, εξαρτώνται από το ποσοστό του διαμήκους οπλισμού κάθε στοιχείου, το μέγεθος της διατμητικής και αξονικής καταπόνησης και την ελάρκεια της περισφιξης. Από τον πίνακα που προηγήθηκε, όπως και από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διατομών, προσδιορίζονται οι τιμές των παραμέτρων a , b και c για κάθε κρίσιμη διατομή καθώς και οι τιμές των ορίων IO, LS, CP, κάνοντας την παραδοχή ότι οι δοκοί και τα υποστυλώματα λειτουργούν κυρίως καμπτικά.

Η ανωτέρω διαδικασία πινακοποιήθηκε με τη βοήθεια του Excel, και παρουσιάζεται παρακάτω:

	b_w m	d m	$A=b_w \times d$ m^2	A_s	A'_s	ρ	ρ'	ρ_{bal}	$(\rho-\rho')/\rho_{bal}$
Δοκοί Element 7	0,20	0,46	0,0920	0,000402	0,000308	0,004370	0,003348	0,013718	0,0745
Element 8	0,20	0,46	0,0920	0,000226	0,000402	0,002457	0,004370	0,016100	-0,1188
Element 9	0,20	0,46	0,0920	0,000402	0,000339	0,004370	0,003685	0,014048	0,0458
Element 10	0,20	0,46	0,0920	0,000226	0,000226	0,002457	0,002457	0,016100	0,0000

	$ \max V $ [KN]	$\tau/\sqrt{f_c}$	a	b	c	IO	LS	CP
Δοκοί Element 7	76,082	0,1688	0,025	0,050	0,200	0,005	0,020	0,025
Element 8	60,416	0,1340	0,025	0,050	0,200	0,005	0,020	0,025
Element 9	61,719	0,1369	0,025	0,050	0,200	0,005	0,020	0,025
Element 10	38,298	0,0850	0,025	0,050	0,200	0,005	0,020	0,025

	b_w m	d m	A m^2	$ \max N $ [KN]	$ \max V $ [KN]	v	$\tau/\sqrt{f_c}$
Στόλοι Element 1	0,25	0,21	0,0625	59,515	17,542	0,0397	0,0682
Element 2	0,25	0,21	0,0625	37,584	2,097	0,0251	0,0082
Element 3	0,25	0,21	0,0625	183,486	20,543	0,1223	0,0799
Element 4	0,25	0,21	0,0625	95,618	15,977	0,0637	0,0621
Element 5	0,25	0,21	0,0625	21,132	19,509	0,0141	0,0759
Element 6	0,25	0,21	0,0625	21,645	13,000	0,0144	0,0505

	a	b	c	IO	LS	CP
Στόλοι Element 1	0,020	0,030	0,200	0,005	0,010	0,020
Element 2	0,020	0,030	0,200	0,005	0,010	0,020
Element 3	0,020	0,030	0,200	0,005	0,010	0,020
Element 4	0,020	0,030	0,200	0,005	0,010	0,020
Element 5	0,020	0,030	0,200	0,005	0,010	0,020
Element 6	0,020	0,030	0,200	0,005	0,010	0,020

Παράμετροι διαγραμμάτων ανηγμένης δύναμης - παραμόρφωσης

Επιπλέον, έχουν υπολογιστεί οι τιμές των $\frac{\rho-\rho'}{\rho_{bal}}$, $\frac{V}{b_w \times d \times \sqrt{f_{cm}}}$ και $\frac{N}{A_g \times f_{cm}}$.

- N: Αξονική δύναμη κάθε διατομής,
- V: Τέμνουσα δύναμη κάθε διατομής,
- $\rho=\rho'$: Ποσοστά οπλισμού άνω και κάτω παρειάς,
- ρ_{bal} : Μέγιστο προβλεπόμενο ποσοστό οπλισμού,
- f_{cm} : Μέση αντοχή του σκυροδέματος.

1.3 Καθορισμός στατικών ανελαστικών αναλύσεων

Καθορίζουμε τα διαγράμματα των ανηγμένων ροπών-στροφών στην εντολή "hinge properties" του προγράμματος SAP2000, σύμφωνα με τον ανωτέρω πίνακα με τις παραμέτρους των διαγραμμάτων ανηγμένης δύναμης-παραμόρφωσης:

Frame Hinge Property Data for STYLO1 - PMM

Edit

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.03
D-	-0.2	-0.02
C-	-1	-0.02
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	0.02
D	0.2	0.02
E	0.2	0.03

Hinge is Rigid Plastic
 Symmetric

Scaling for Moment and Rotation

Positive Negative

Use Yield Moment Moment SF

Use Yield Rotation Rotation SF 1.

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Positive Negative

Immediate Occupancy 5.000E-03

Life Safety 0.01

Collapse Prevention 0.02

Axial Load - Displacement Relationship

Define/Show Interaction

Proportional to Moment - Rotation

Rigid - Perfectly Plastic

OK
Cancel

Ιδιότητες για τους στύλους

Frame Hinge Property Data for DOK01 - M3

Edit

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.05
D-	-0.2	-0.025
C-	-1	-0.025
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	0.025
D	0.2	0.025
E	0.2	0.05

Hinge is Rigid Plastic
 Symmetric

Scaling for Moment and Rotation

Positive Negative

Use Yield Moment Moment SF

Use Yield Rotation Rotation SF 1.

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

Positive Negative

Immediate Occupancy 5.000E-03

Life Safety 0.02

Collapse Prevention 0.025

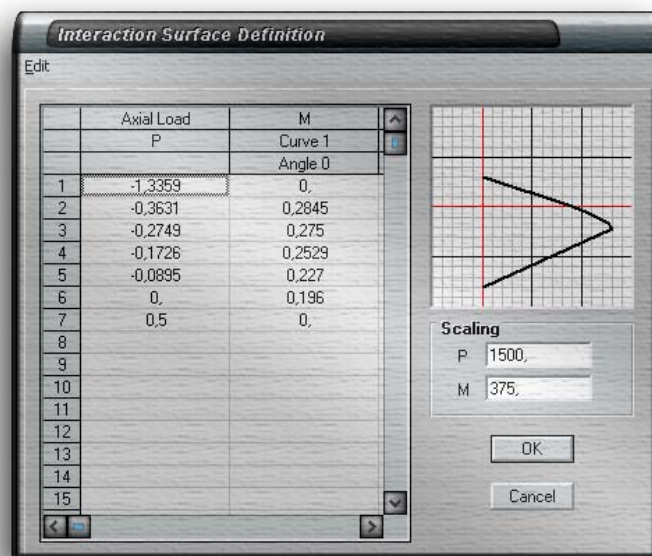
OK
Cancel

Ιδιότητες για τις δοκούς

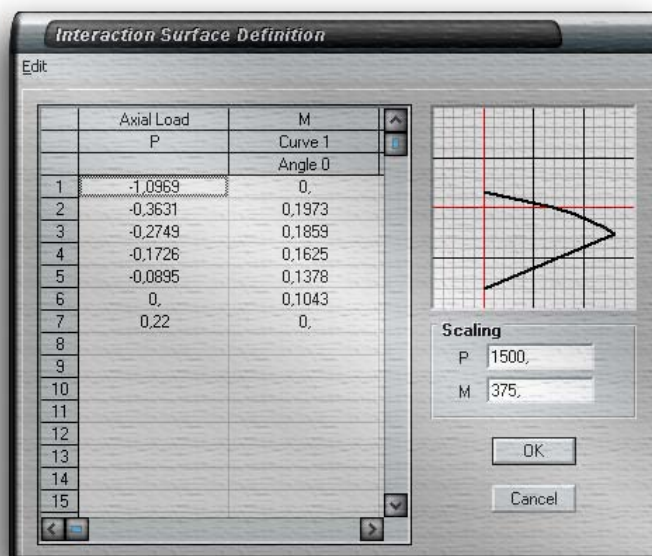
Ο τύπος των στοιχείων hinges που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για τις δοκούς “hinge type: Moment M3”, ενώ για τα υποστυλώματα ήταν «hinge type: P-M2-M3”. Η φέρουσα ικανότητα των διατομών υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα.

Το πρόβλημα λύθηκε με δύο τρόπους:

Ο πρώτος (βάσει ACI) ήταν με αυτόματο υπολογισμό της αλληλεπίδρασης καμπτικής ροπής και αξονικής δύναμης μέσω των ενσωματωμένων αντίστοιχων ρουτίνων του προγράμματος SAP2000. Ο δεύτερος ήταν με χειρονακτική εισαγωγή των αντίστοιχων παραμέτρων με βοήθεια τις καμπύλες αλληλεπίδρασης που βρίσκονται στο βιβλίο «Σιδηροπαγές Σκυρόδεμα I, Ζαράρης , Παπαγιάννη». Αυτό γίνεται με υπολογισμό του ποσοστού οπλισμού και τη γεωμετρία της κάθε διατομής. Επειδή περιοριζόμαστε σε μια μικρή περιοχή του διαγράμματος αλληλεπίδρασης, προσέχουμε σε αυτό το κομμάτι (μικρά αρνητικά αξονικά) να είμαστε αρκετά ακριβείς στην περιγραφή της καμπύλης και αντίστοιχα δεν μας ενδιαφέρει τόσο πολύ η ακριβής περιγραφή της έξω από τα μεγάλα αρνητικά αξονικά. Ακολουθεί στιγμιότυπο από το χειρονακτικό προσδιορισμό των διαγραμμάτων:



$$\omega_{tot} = 0,5362 \text{ (στύλοι ισογείου)}$$



$$\omega_{tot} = 0,2681 \text{ (στύλοι 1ου ορόφου)}$$

Λόγω του ντετερμινιστικού χαρακτήρα των κατακορύφων φορτίων, σε συνδυασμό με τον πιθανοτικό χαρακτήρα της σεισμικής δράσης, η στατική ανελαστική ανάλυση του φορέα πρέπει να γίνει με την ακόλουθη διαδικασία:

1) Η στατική ανελαστική ανάλυση του φορέα πρέπει να γίνει αρχικά μόνο για τα κατακόρυφα φορτία του σεισμικού συνδυασμού δράσεων μέχρι το επίπεδο της τιμής τους:



Εισαγωγή των δεδομένων για την pushover για G+0,3Q

Θα προκύψει η οριζόντια εντατική κατάσταση του φορέα, στην οποία θα έρθει να προστεθεί η σεισμική φόρτιση (προσοχή στην κατάλληλη πλήρωση του "Start from Previous Pushover").

2) Η στατική ανελαστική ανάλυση για τη σεισμική τέμνουσα πραγματοποιήθηκε με αφετηρία τη στατική ανελαστική ανάλυση του φορέα για τα κατακόρυφα φορτία του σεισμικού συνδυασμού με σημείο ελέγχου τον κόμβο 3 και μετακίνηση ελέγχου την οριζόντια μετατόπιση του κόμβου κατά τη κατεύθυνση της σεισμικής τέμνουσας.

Κατά την ανάλυση αυτή τα φορτία των ορόφων αυξάνονται σταδιακά σύμφωνα με την πρώτη ιδιομορφή της κατασκευής. Ως όριο για τον τερματισμό της ανάλυσης αυτής δόθηκε αρχικά τιμή της μετακίνησης ελέγχου ίση με 32 cm που αντιστοιχεί σε κλίση του άξονα των υποστρωμάτων 4%, η οποία μπορεί να θεωρηθεί κρίσιμη για την ισορροπία του φορέα. Τέλος, προκειμένου να εκτιμηθεί η κατάσταση του φορέα κατά την ανάπτυξη της μετακίνησης στόχου, επαναλήφθηκε η ανάλυση με όριο στην μετακίνηση ελέγχου την τιμή της μετακίνησης στόχου, όπως αυτή υπολογίστηκε από τα αποτελέσματα της πρώτης ανάλυσης.

Κατά την διενέργεια όλων των αναλύσεων, δε λήφθηκαν υπόψη τα φαινόμενα 2ης τάξης, ενώ ως μέθοδος αποφόρτισης των δομικών στοιχείων επιλέχθηκε η δυνατότητα του προγράμματος για συνολική αποφόρτιση του φορέα.

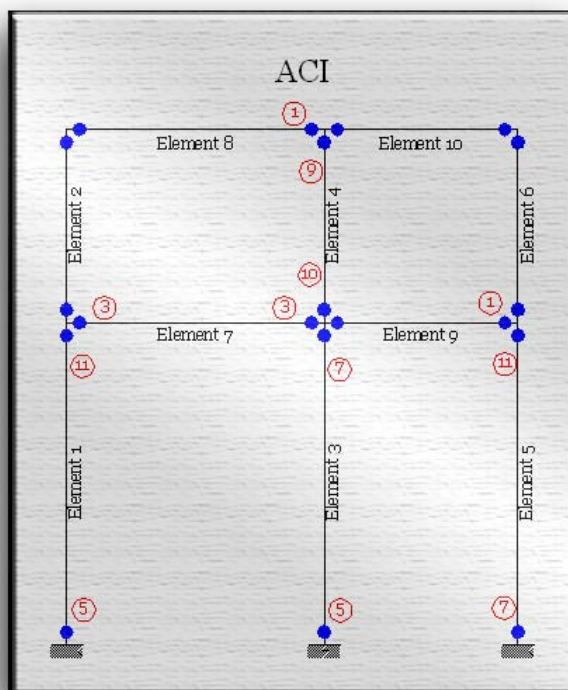
Οι ανωτέρω παρατηρήσεις συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα εισαγωγής δεδομένων στο πρόγραμμα SAP2000:

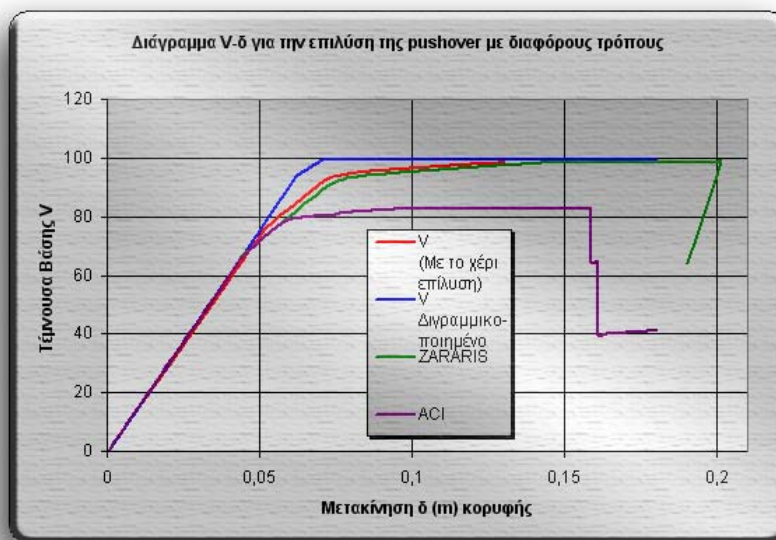
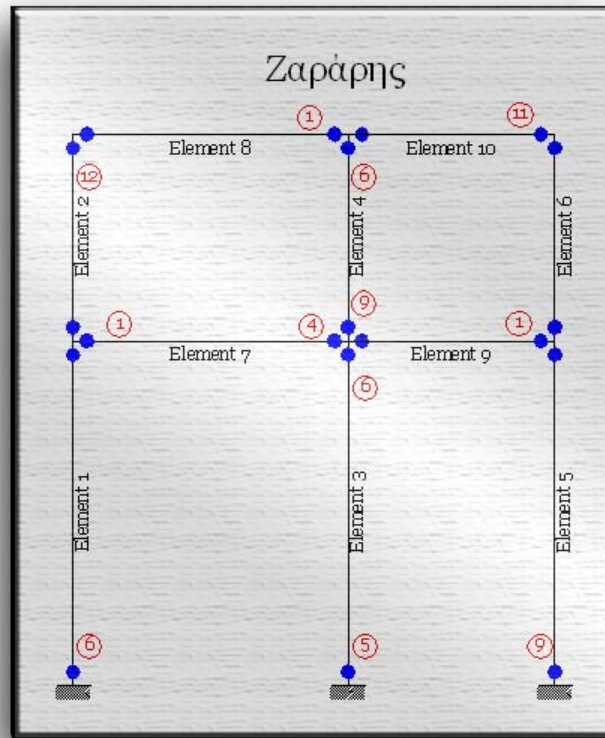


Εισαγωγή των δεδομένων για την pushover μετά το $G+0,3Q$

1.4 Αποτελέσματα της στατικής ανελαστικής ανάλυσης

Ανάλογα με το ποια μέθοδος ακολουθήθηκε, έχουμε και τα αντίστοιχα αποτελέσματα στη διαδικασία εμφάνισης πλαστικών αρθρώσεων στις κρίσιμες διατομές του φορέα. Οι διατομές που έχουν ίδια νούμερα εμφάνισης πλαστικών αρθρώσεων, τις εμφάνισαν στο ίδιο βήμα.





Διάγραμμα συσχετισμού της σεισμικής τέμνουσας με μετακίνηση ελέγχου (u_x , κόμβος 3)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο**ΒΗΜΑ ΠΡΟΣ ΒΗΜΑ ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ****2.1 Προσομοίωση κατασκευής – Σεισμικά φορτία σχεδιασμού.**

Για τη στατική ελαστική ανάλυση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε το ίδιο προσομοίωμα με αυτό της ανελαστικής ανάλυσης με εφαρμογή των ίδιων μειωτικών συντελεστών για τις τιμές δυσκαμψίας και δυστημψίας των δομικών στοιχείων του φορέα (FEMA-273).

Τα σεισμικά φορτία σχεδιασμού που εφαρμόστηκαν προφανώς ήταν αυτά που υπολογίστηκαν στην παράγραφο 1.2.

2.2 Βήμα προς βήμα στατική ελαστική ανάλυση του φορέα.

Για την εφαρμογή της μεθόδου «βήμα προς βήμα» στατικής ελαστικής ανάλυσης του φορέα, ο υπολογισμός των καμπτικών ροπών αντοχής σε κάθε άκρο των δομικών στοιχείων της κατασκευής έγινε ως εξής:

Δοκοί: Το μηχανικό ποσοστό οπλισμού προκύπτει: $\omega = \frac{A_s}{b \times d} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$

Η αντίστοιχη ανηγμένη καμπτική ροπή μ_{sd} προκύπτει με τη βοήθεια των πινάκων του βιβλίου του Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος I, οπότε η τιμή της καμπτικής ροπής αντοχής είναι: $M_{sd} = \mu_{sd} \times b \times d^2 \times f_{cd}$.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται παρακάτω :

πλακοδοκοί [ροπές (+) στο E _κ]				
	A _s κάτω ινας	ω	μ _{sd}	M _{sd}
δοκός 1	3,079	0,00996	0,00949	67,440
δοκός 2	4,021	0,01301	0,01239	88,084
δοκός 3	3,393	0,01098	0,01045	74,321
δοκός 4	2,262	0,00732	0,00697	49,547

ορθογωνικές [ροπές (-) στο E _κ]				
	A _s άνω ινας	ω	μ _{sd}	M _{sd}
δοκός 1	4,021	0,02106	0,08550	86,841
δοκός 2	2,262	0,05122	0,04909	49,855
δοκός 3	4,021	0,02106	0,08550	86,841
δοκός 4	2,262	0,05122	0,04909	49,855

Αποτελέσματα δοκών

Υποστυλώματα: Το μηχανικό ποσοστό οπλισμού τόσο στην κεφαλή όσο και στον πόδα του υποστυλώματος προκύπτει: $\omega_{tot} = \frac{A_s}{b \times h} \times \frac{f_{sd}}{f_{cd}}$

Το ανηγμένο αξονικό φορτίο και η αντίστοιχη καμπτική ροπή αντοχής προκύπτουν σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$v_{sd} = \frac{N_{sd}}{b \times h \times f_{cd}}, \quad M_{sd} = \mu_{sd} \times b \times h^2 \times f_{cd}$$

όπου N_{sd}: το αξονικό φορτίο της διατομής υπό το σεισμικό συνδυασμό

δράσεων και μ_{sd} η αντίστοιχη ανηγμένη καμπτική ροπή όπως προκύπτει από τα σχετικά διαγράμματα αλληλεπίδρασης αξονικής δύναμης και καμπτικής ροπής ως συνάρτηση των v_{sd} και ω_{tot} .

Οι σχετικοί υπολογισμοί για την κεφαλή και τον πόδα κάθε στύλου, όπως και η σύνοψη των αποτελεσμάτων για κάθε δοκό, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

		G+0,3Q								
Βήμα 0		N	M	v_{sd}	v_{sd} (cm)	ω_{tot}	μ_{Rd} (cm)	μ_{Rd}	M^o_{Rd}	
Υποστυλώματα	Element 1	Κάτω	-86,809	-1,308	-0,0579	0,45	0,5362	3,40	0,2150	80,611
		Πάνω	-86,809	2,812	-0,0579	0,45	0,5362	3,40	0,2150	80,611
	Element 2	Κάτω	-43,245	-7,073	-0,0288	0,23	0,2681	1,85	0,1170	43,862
		Πάνω	-43,245	7,454	-0,0288	0,23	0,2681	1,85	0,1170	43,862
	Element 3	Κάτω	-197,669	0,632	-0,1318	1,03	0,5362	3,77	0,2384	89,384
		Πάνω	-197,669	-1,106	-0,1318	1,03	0,5362	3,77	0,2384	89,384
	Element 4	Κάτω	-99,177	2,940	-0,0661	0,52	0,2681	2,05	0,1296	48,604
		Πάνω	-99,177	-3,056	-0,0661	0,52	0,2681	2,05	0,1296	48,604
	Element 5	Κάτω	-58,522	0,846	-0,0390	0,31	0,5362	3,35	0,2118	79,426
		Πάνω	-58,522	-1,537	-0,0390	0,31	0,5362	3,35	0,2118	79,426
	Element 6	Κάτω	-29,077	4,132	-0,0194	0,15	0,2681	1,75	0,1106	41,491
		Πάνω	-29,077	-4,398	-0,0194	0,15	0,2681	1,75	0,1106	41,491
Δοκάρια	Element 7	Αριστερά		-9,885						67,440
		Δεξιά		-31,032						86,841
	Element 8	Αριστερά		-7,454						88,084
		Δεξιά		-30,472						49,855
	Element 9	Αριστερά		-27,586						74,321
		Δεξιά		-5,669						86,841
	Element 10	Αριστερά		-27,416						49,547
		Δεξιά		-4,398						49,855

Σύνοψη υπολογισμών δοκών και υποστυλωμάτων για φορτία G+0,3Q

Επειδή σε κάθε βήμα το αξονικό φορτίο των στύλων αλλάζει, μεταβάλλεται αντίστοιχα και η φέρουσα ικανότητα του στύλου λόγω αλληλεπίδρασης ροπής-αξονικού, κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς.

Τέλος, θα έπρεπε η ροπή αντοχής των δοκών ελέγχεται βήμα προς βήμα, ώστε να ελέγχεται διαρκώς ο τρόπος λειτουργίας τους (πλακοδοκός ή ορθογωνική διατομή). Με δεδομένη όμως τη μορφή της φόρτισης, αυτό δεν είναι απαραίτητο, αφού το πώς τείνουν να αστοχήσουν τα στοιχεία είναι εμφανέστατο ότι καθορίζεται από την οριζόντια φόρτιση.

Συνεπώς υπόψη λαμβάνονται μόνο οι αντίστοιχες αντοχές. Επειδή όμως η ροπή αντοχής των αντίστοιχων διατομών αυξάνεται λόγω του ίδιου βάρους, ορισμένες διατομές φορτίζονται ανάποδα σε σχέση με την φόρτιση τους λόγω σεισμού (π.χ. δοκάρια στις αριστερές πλευρές τους). Τα στοιχεία αυτά λειτουργούν σα να έχουν μεγαλύτερη ροπή αντοχής από αυτήν που έχουν σε ηρεμία (είναι ανάποδα προφορτισμένα). Για το λόγο αυτό, αυξάνουμε ανάλο τη ροπή αντοχής των διατομών (τόσο όσο είναι η αντίστοιχη ροπή λόγω G+0,3Q).

Ακολουθήσαμε δύο διαφορετικές διαδικασίες για την εφαρμογή της μεθόδου «βήμα προς βήμα» στατικής ελαστικής ανάλυσης του φορέα με το χέρι, για αποφυγή λαθών. Οι τρόποι αυτοί είναι οι εξής:

1) 1^{ος} τρόπος (Βήμα-βήμα με μηδενισμό των ροπών):

- Επιλύεται ελαστικά ο φορέας για φόρτιση G+0,3Q.
- Βήμα 0: Υπολογίζεται για το δεδομένο αξονικό της ανωτέρω φόρτισης, η μέγιστη ροπή που μπορεί να αναλάβει κάθε στύλος (βλ. και διαγράμματα αλληλεπίδρασης Ζαράρη). Με πιο απλή διαδικασία (αποδοσμευμένη από την ύπαρξη αξονικών) ακολουθείται για τις δοκούς που λειτουργούν είτε σαν πλακοδοκοί, είτε σαν ορθογωνικής διατομής.

- 1^ο βήμα: Διερευνάται η ανακουφιστική ή μη δράση της τριγωνικής κατανομής. Αν δρα ανακουφιστικά, τότε η ροπή που μπορεί να αναλάβει κάθε στοιχείο αυξάνεται, αλλιώς μειώνεται. Η τιμή της αύξησης ή μείωσης είναι ίση με την αντίστοιχη ροπή σε απόλυτο της $G+o,3Q$. Υπολογίζεται ο λόγος λ (πάντα θετικός) που δίνει το πόσες φορές μεγαλύτερη πρέπει να είναι η τριγωνική φόρτιση για να φτάσει ανά διατομή την μέγιστη ροπή αντοχής της. Η μικρότερη από αυτές τις τιμές είναι η λ_{\min} , που καθορίζει την πιο ευαίσθητη διατομή, η οποία είναι και αυτή που διαρρέει πρώτη.
- Υπολογίζεται πόση ροπή απομένει σε κάθε διατομή μετά την εφαρμογή λ_{\min} φορές μεγαλύτερης τριγωνικής φόρτισης. Επίσης, για τους στύλους υπολογίζεται το νέο αξονικό ($N_{\lambda} \times \lambda_{\min}$), το οποίο θα δώσει την νέα ροπή αντοχής της κάθε διατομής μέσω των διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης. Η απομένουσα ροπή στύλων διορθώνεται μέσω της διαφοράς της ροπής αντοχής από το πρώτο στο δεύτερο βήμα.
- Δημιουργία πλαστικής άρθρωσης στο πιο αδύνατο σημείο, αποφόρτιση του φορέα και επανεπίλυση στο SAP2000.
- 2^ο βήμα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τη διορθωμένη ροπή αντοχής υποστρωμάτων και την σταθερή πλέον ροπή αντοχής δοκών. Διαδοχική δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων, αντίστοιχη διόρθωση του αρχείου SAP2000 και επαν-επιλύσεις μέχρι την κατάρρευση του φορέα.

2) 2^{ος} τρόπος (Βήμα-βήμα χωρίς μηδενισμό των ροπών):

- Επιλύεται ελαστικά ο φορέας για φόρτιση $G+o,3Q$.
- Βήμα 0: Υπολογίζεται για το δεδομένο αξονικό της ανωτέρω φόρτισης, η μέγιστη ροπή που μπορεί να αναλάβει κάθε στύλος (βλ. και διαγράμματα αλληλεπίδρασης Ζαράρη). Με πιο απλή διαδικασία (αποδεσμευμένη από την ύπαρξη αξονικών) ακολουθείται για τις δοκούς που λειτουργούν είτε σαν πλακοδοκοί, είτε σαν ορθογωνικής διατομής.
- 1^ο βήμα: Διερευνάται η ανακουφιστική ή μη δράση της τριγωνικής κατανομής. Αν δρα ανακουφιστικά, τότε η ροπή που μπορεί να αναλάβει κάθε στοιχείο αυξάνεται, αλλιώς μειώνεται. Η τιμή της αύξησης ή μείωσης είναι ίση με την αντίστοιχη ροπή σε απόλυτο της $G+o,3Q$. Υπολογίζεται ο λόγος λ (πάντα θετικός) που δίνει το πόσες φορές μεγαλύτερη πρέπει να είναι η τριγωνική φόρτιση για να φτάσει ανά διατομή την μέγιστη ροπή αντοχής της. Η μικρότερη από αυτές τις τιμές είναι η λ_{\min} , που καθορίζει την πιο ευαίσθητη διατομή, η οποία είναι και αυτή που διαρρέει πρώτη.
- Η ροπή στις υπόλοιπες διατομές παραμένει. Για τους στύλους υπολογίζεται το νέο αξονικό ($N_{\lambda} \times \lambda_{\min}$), το οποίο θα δώσει την νέα ροπή αντοχής της κάθε διατομής μέσω των διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης. Αυτή η ροπή θα διορθωθεί σύμφωνα με την ανακουφιστική ή μη δράση του $G+o,3Q$ (βήμα 0). Η αντοχή των δοκών παραμένει ως έχει.
- Δημιουργία πλαστικής άρθρωσης στο πιο αδύνατο σημείο, αποφόρτιση του φορέα και επανεπίλυση στο SAP2000.
- 2^ο βήμα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τη διορθωμένη ροπή αντοχής υποστρωμάτων και την σταθερή πλέον ροπή αντοχής δοκών. Η ανακουφιστική ή μη δράση των τριγωνικών φορτίων ως προς το πού έχουμε το διάγραμμα ροπών λαμβάνεται ανάλογα υπόψη. Διαδοχική δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων, αντίστοιχη διόρθωση του αρχείου SAP2000 και επαν-επιλύσεις μέχρι την κατάρρευση του φορέα.

Οι δύο τρόποι έδωσαν ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα, που μπορούν να ελεγχθούν μέσω των αντίστοιχων δύο προγραμματισμένων αρχείων Excel.

Παρουσιάζεται σε πινακοποιημένη μορφή ο δεύτερος τρόπος επίλυσης:

		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$									
Βήμα 1		N	M	N	M	(Απο)φορτ	M ^ο _{nd}	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	M* $\lambda_{i,min}$	Πλαστ:	
Υπερτοκώματα	Element 1	Κάτω	86,809	1,308	0,869	1,355	Δ	80,611	81,919	60,470	45,997	62,313	
		Πάνω	-86,809	2,812	0,869	-1,287	Α	80,611	83,423	64,897	45,997	-59,182	
	Element 2	Κάτω	-43,245	-7,073	0,199	0,324	Α	43,862	50,235	129,138	45,997	18,142	
		Πάνω	43,245	7,151	0,199	-0,176	Α	43,862	51,316	107,800	45,997	-21,894	
	Element 3	Κάτω	-197,669	0,692	0,304	1,110	Φ	89,384	88,752	62,921	45,997	61,877	
		Πάνω	197,669	-1,106	0,304	-1,399	Φ	89,384	88,278	63,088	45,997	-64,363	
Element 4	Κάτω	-99,177	2,940	0,060	0,599	Φ	48,604	45,663	76,208	45,997	27,561		
	Πάνω	99,177	-3,056	0,060	-0,607	Φ	48,604	45,547	74,989	45,997	-27,938		
Element 5	Κάτω	-58,522	0,846	-1,173	1,365	Φ	79,426	78,580	57,548	45,997	62,808		
	Πάνω	58,522	-1,537	-1,173	-1,308	Φ	79,426	77,889	59,529	45,997	-60,184		
Element 6	Κάτω	-29,077	4,132	-0,260	0,430	Φ	41,491	37,359	86,894	45,997	19,776		
	Πάνω	29,077	-4,398	-0,260	-0,493	Φ	41,491	37,093	75,233	45,997	-22,678		
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά		-0,895		1,681	Α	67,440	77,325	45,997	45,997	77,325	X
		Δεξιά		-31,632		-0,996	Φ	86,811	55,209	55,106	45,997	-15,831	
	Element 8	Αριστερά		-7,151		0,176	Α	88,081	95,538	200,699	45,997	21,894	
		Δεξιά		-30,472		-0,322	Φ	49,855	19,383	60,243	45,997	-14,799	
Element 9	Αριστερά		-27,586		1,002	Α	74,321	101,907	101,703	45,997	46,089		
	Δεξιά		-5,669		-1,738	Φ	86,841	81,172	46,695	45,997	-79,960		
Element 10	Αριστερά		-27,416		0,286	Α	49,547	76,993	269,444	45,997	13,138		
	Δεξιά		-4,398		-0,493	Φ	49,855	45,457	92,198	45,997	-22,678		
						$\lambda =$	45,997	$u_{x,y} =$	0,001098	$\lambda \times u_{x,y} =$	0,050505		

Βήμα 1						
N _{tot}	V _{sd}	V _{sd} (cm)	ω _{tot}	μ _{nd} (cm)	μ _{nd}	M ^ο _{nd}
-46,845	-0,0312	0,24	0,5362	3,30	0,2086	78,240
-46,845	-0,0312	0,24	0,5362	3,30	0,2086	78,240
-34,072	-0,0227	0,18	0,2681	1,79	0,1132	42,439
-34,072	-0,0227	0,18	0,2681	1,79	0,1132	42,439
-183,678	-0,1225	0,96	0,5362	3,75	0,2371	88,909
-183,678	-0,1225	0,96	0,5362	3,75	0,2371	88,909
-96,412	-0,0643	0,50	0,2681	2,00	0,1264	47,418
-96,412	-0,0643	0,50	0,2681	2,00	0,1264	47,418
-112,477	-0,0750	0,59	0,5362	3,50	0,2213	82,982
-112,477	-0,0750	0,59	0,5362	3,50	0,2213	82,982
-41,016	-0,0273	0,21	0,2681	1,83	0,1157	43,388
-41,016	-0,0273	0,21	0,2681	1,83	0,1157	43,388

		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$										
Βήμα 2		N	M	N	M	Φορτ/αποφ	M ^{na}	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	M* $\lambda_{i,min}$	Πλαστ:		
Υπερτοκώματα	Element 1	Κάτω	0,862	1,355	0,335	1,155	Φ	72,548	62,313	14,224	0,530	62,925		
		Πάνω	0,862	-1,287	0,335	-0,638	Φ	81,052	-52,182	34,224	0,530	-52,521		
	Element 2	Κάτω	0,122	0,324	0,152	-0,638	A	42,512	18,142	106,088	0,530	17,804		
		Πάνω	0,122	-0,176	0,152	-0,225	Φ	42,823	-21,806	124,219	0,530	-22,015		
	Element 3	Κάτω	0,304	1,110	1,168	1,625	Φ	88,277	64,877	14,398	0,530	65,739		
		Πάνω	0,304	-1,392	1,468	-1,588	Φ	87,804	-64,363	14,762	0,530	-65,204		
	Element 4	Κάτω	0,060	0,522	0,289	0,895	Φ	44,478	27,561	18,202	0,530	28,036		
		Πάνω	0,060	-0,607	0,289	-0,293	Φ	44,362	-27,938	17,607	0,530	-28,432		
	Element 5	Κάτω	-1,173	1,365	-1,803	1,524	Φ	82,137	62,808	12,124	0,530	63,653		
		Πάνω	-1,173	-1,308	-1,803	-1,525	Φ	81,445	-60,184	13,941	0,530	-60,992		
	Element 6	Κάτω	-0,260	0,430	-0,448	0,762	Φ	39,255	19,776	25,549	0,530	20,180		
		Πάνω	-0,260	-0,493	-0,448	-0,822	Φ	38,990	-22,678	19,842	0,530	-23,114		
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά		1,681		0,000	X	X	X	X	X	X	X	
		Δεξιά		-0,296		-0,705	Φ	55,202	-15,831	13,228	0,530	-16,208		
	Element 8	Αριστερά		0,176		0,225	Φ	25,538	21,896	326,736	0,530	22,015		
		Δεξιά		-0,322		-0,411	Φ	19,383	-14,799	11,159	0,530	-15,017		
	Element 9	Αριστερά		1,002		1,778	Φ	101,907	46,089	31,395	0,530	47,032		
		Δεξιά		-1,738		-2,287	Φ	81,172	-72,260	0,530	0,530	-81,172	X	
	Element 10	Αριστερά		0,286		0,522	Φ	76,963	13,138	122,247	0,530	13,415		
		Δεξιά		-0,493		-0,822	Φ	45,457	-22,678	27,709	0,530	-23,114		
							$\lambda =$	0,530			$u_{x,y} =$	0,001363	$\lambda * u_{x,y} =$	0,000717

Βήμα 2						
N _{tot}	V _{sd}	V _{sd} (cm)	θ _{tot}	μ _{sd} (cm)	μ _{sd}	M ^{na}
-46,667	-0,0311	0,24	0,5362	3,30	0,2086	78,240
-46,667	-0,0311	0,24	0,5362	3,30	0,2086	78,240
-33,987	-0,0227	0,18	0,2681	1,79	0,1132	42,439
-33,987	-0,0227	0,18	0,2681	1,79	0,1132	42,439
-182,200	-0,1219	0,25	0,5362	3,74	0,2365	88,672
-182,200	-0,1219	0,25	0,5362	3,74	0,2365	88,672
-26,259	-0,0642	0,50	0,2681	2,00	0,1264	47,418
-26,259	-0,0642	0,50	0,2681	2,00	0,1264	47,418
-113,433	-0,0756	0,59	0,5362	3,50	0,2213	82,982
-113,433	-0,0756	0,59	0,5362	3,50	0,2213	82,982
-41,254	-0,0275	0,22	0,2681	1,85	0,1170	43,862
-41,254	-0,0275	0,22	0,2681	1,85	0,1170	43,862

		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$									
Βήμα 3		N	M	N	M	Φορτ/αποφ	M rd	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	M* $\lambda_{i,min}$	Πλαστ:	
Υπερτεκτόμιατα	Element 1	Κάτω	0,335	1,155	0,723	1,402	Φ	79,548	62,925	11,860	5,663	70,862	
		Πάνω	0,335	-0,638	0,723	-0,646	Φ	81,052	-50,521	33,347	5,663	-63,177	
	Element 2	Κάτω	0,152	-0,638	0,341	-0,646	A	40,512	17,804	104,260	5,663	14,148	
		Πάνω	0,152	-0,225	0,341	-0,592	Φ	40,803	-22,015	17,058	5,663	-25,370	
	Element 3	Κάτω	1,468	1,625	0,401	2,058	Φ	88,040	65,739	10,835	5,663	77,396	
		Πάνω	1,468	-1,588	0,401	-1,072	Φ	87,567	-65,204	11,339	5,663	-76,374	
	Element 4	Κάτω	0,289	0,895	0,134	1,505	Φ	44,478	28,036	10,927	5,663	36,557	
		Πάνω	0,289	-0,933	0,134	-1,602	Φ	44,362	-28,432	9,945	5,663	-37,503	
	Element 5	Κάτω	-1,803	1,594	-1,124	1,402	Φ	82,137	63,653	13,188	5,663	71,591	
		Πάνω	-1,803	-1,525	-1,124	-0,646	Φ	81,445	-60,992	31,678	5,663	-64,642	
Element 6	Κάτω	-0,448	0,762	-0,474	-0,646	A	39,730	20,180	92,790	5,663	16,523		
	Πάνω	-0,448	-0,822	-0,474	-0,592	Φ	39,464	-23,114	27,596	5,663	-26,470		
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
		Δεξιά		-0,705		-1,529	Φ	55,209	-16,208	5,880	5,663	-54,865	
	Element 8	Αριστερά		0,225		0,592	Φ	95,538	22,015	124,108	5,663	25,370	
		Δεξιά		-0,411		-0,771	Φ	19,383	-15,017	5,663	5,663	-19,383	X
	Element 9	Αριστερά		1,778		1,948	Φ	101,907	47,032	28,165	5,663	58,066	
		Δεξιά		-2,287		0,000	X	X	X	X	X	X	X
	Element 10	Αριστερά		0,522		0,831	Φ	76,993	13,415	76,487	5,663	18,120	
		Δεξιά		-0,822		-0,592	Φ	45,457	-23,114	37,711	5,663	-26,470	
							$\lambda =$	5,663	$u_{x,3} =$	0,001863	$\lambda \cdot u_{x,3} =$	0,010551	

Βήμα 3						
N _{tot}	V _{sd}	V _{sd} (cm)	ω _{tot}	μ _{sd} (cm)	μ _{rd}	M rd
-42,573	-0,0284	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-42,573	-0,0284	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-32,057	-0,0214	0,17	0,2681	1,78	0,1125	42,202
-32,057	-0,0214	0,17	0,2681	1,78	0,1125	42,202
-180,629	-0,1204	0,94	0,5362	3,73	0,2358	88,435
-180,629	-0,1204	0,94	0,5362	3,73	0,2358	88,435
-95,502	-0,0637	0,50	0,2681	2,00	0,1264	47,418
-95,502	-0,0637	0,50	0,2681	2,00	0,1264	47,410
-119,798	-0,0799	0,62	0,5362	3,53	0,2232	83,693
-119,798	-0,0799	0,62	0,5362	3,53	0,2232	83,693
-43,941	-0,0293	0,23	0,2681	1,86	0,1176	44,099
-43,941	-0,0293	0,23	0,2681	1,86	0,1176	44,099

		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$									
Βήμα 4		N	M	N	M	Φορτ/αποφ	M ^{na}	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	M* $\lambda_{i,min}$	Πλαστ.	
Υπερτεκνώματα	Element 1	Κάτω	0,723	1,402	0,533	1,406	Φ	79,311	70,862	6,009	0,221	71,173	
		Πάνω	0,723	-0,646	0,533	-0,644	Φ	80,815	-63,177	27,385	0,221	-63,319	
	Element 2	Κάτω	0,341	-0,646	0,143	-0,644	A	40,275	14,148	08,470	0,221	14,005	
		Πάνω	0,341	-0,592	0,143	-0,574	Φ	40,656	-25,370	42,316	0,221	-25,497	
	Element 3	Κάτω	0,401	2,058	0,840	2,068	Φ	87,803	77,396	5,033	0,221	77,853	
		Πάνω	0,401	-1,972	0,840	-1,981	Φ	87,330	-76,374	5,530	0,221	-76,811	
	Element 4	Κάτω	0,134	1,505	0,589	1,502	Φ	44,478	36,557	5,274	0,221	36,880	
		Πάνω	0,134	-1,602	0,589	-1,547	Φ	44,362	-37,503	4,434	0,221	-37,845	
	Element 5	Κάτω	-1,124	1,402	-1,373	1,398	Φ	82,848	71,591	8,053	0,221	71,900	
		Πάνω	-1,124	-0,646	-1,373	-0,628	Φ	82,157	-64,649	27,888	0,221	-64,788	
	Element 6	Κάτω	-0,474	-0,646	-0,732	-0,628	A	39,967	16,523	89,983	0,221	16,385	
		Πάνω	-0,474	-0,592	-0,732	-0,649	Φ	39,701	-26,470	20,377	0,221	-26,613	
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
		Δεξιά		-1,529		-1,500	Φ	55,209	-54,865	0,221	0,221	-55,209	X
	Element 8	Αριστερά	0,592		0,574		Φ	95,538	25,370	122,260	0,221	25,497	X
		Δεξιά		-0,771		0,000	X	X	X	X	X	X	X
	Element 9	Αριστερά		1,948		1,923	Φ	101,907	58,066	22,796	0,221	58,491	X
		Δεξιά		0,000		0,000	X	X	X	X	X	X	X
Element 10	Αριστερά		0,831		1,547	Φ	76,993	18,120	38,042	0,221	18,462		
	Δεξιά		-0,592		-0,649	Φ	45,457	-26,470	29,242	0,221	-26,613		
						$\lambda =$	0,221		$u_{x,y} =$	0,001882		$\lambda * u_{x,y} =$	0,000416

Βήμα 4						
Ntot	Vsd	Vsd (cm)	θtot	μnd (cm)	μnd	M ^{na}
-42,455	-0,0283	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-42,455	-0,0283	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-32,025	-0,0214	0,17	0,2681	1,78	0,1125	42,202
-32,025	-0,0214	0,17	0,2681	1,78	0,1125	42,202
-180,444	-0,1203	0,04	0,5362	3,73	0,2358	88,435
-180,444	-0,1207	0,04	0,5362	3,77	0,2358	88,435
-95,372	-0,0636	0,50	0,2681	2,00	0,1264	47,418
-95,372	-0,0636	0,50	0,2681	2,00	0,1264	47,418
-120,101	-0,0801	0,63	0,5362	3,54	0,2238	83,930
-120,101	-0,0801	0,63	0,5362	3,54	0,2238	83,930
-44,102	-0,0294	0,23	0,2681	1,86	0,1176	44,099
-44,102	-0,0294	0,23	0,2681	1,86	0,1176	44,099

		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$									
Βήμα 5		N	M	N	M	Φορτ/αποφ	M ^{na}	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	M* $\lambda_{i,min}$	Πλαστ:	
Υποστοιβάματα	Element 1	Κάτω	0,533	1,406	0,157	1,436	Φ	79,311	71,173	5,666	4,210	77,220	
		Πάνω	0,533	-0,644	0,157	-0,642	Φ	80,815	-69,317	27,242	4,210	-66,029	
	Element 2	Κάτω	0,143	-0,644	0,157	-0,642	A	40,275	14,005	08,520	4,210	11,301	
		Πάνω	0,143	-0,574	0,157	-0,608	Φ	49,656	-25,197	38,460	4,210	-28,142	
	Element 3	Κάτω	0,840	2,068	1,697	2,069	Φ	87,809	77,853	4,810	4,210	86,562	
		Πάνω	0,840	-1,981	1,697	-1,920	Φ	87,330	-76,811	5,479	4,210	-84,803	
	Element 4	Κάτω	0,589	1,502	0,590	1,403	Φ	44,478	36,889	5,409	4,210	42,796	
		Πάνω	0,589	-1,547	0,590	-1,548	Φ	44,362	-37,845	4,210	4,210	-44,362	X
	Element 5	Κάτω	-1,373	1,398	-1,854	1,430	Φ	83,085	71,900	7,824	4,210	77,918	
		Πάνω	-1,373	-0,628	-1,854	-0,628	Φ	82,394	-64,788	28,013	4,210	-67,434	
	Element 6	Κάτω	-0,732	-0,628	-0,747	-0,628	A	39,967	16,385	89,660	4,210	13,739	
		Πάνω	-0,732	-0,649	-0,747	-0,692	Φ	39,701	-26,613	18,919	4,210	-29,526	
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
		Δεξιά		-1,560		0,000	X	X	X	X	X	X	X
	Element 8	Αριστερά	0,574		0,628		Φ	95,538	25,197	111,507	4,210	28,142	
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
	Element 9	Αριστερά		1,923		3,323	Φ	101,907	58,491	13,067	4,210	72,479	
		Δεξιά		0,000		0,000	X	X	X	X	X	X	X
	Element 10	Αριστερά		1,547		1,548	Φ	76,993	18,462	37,795	4,210	24,979	
		Δεξιά		-0,649		-0,692	Φ	45,457	-26,613	27,240	4,210	-29,526	
							$\lambda =$	4,210	$u_{x,y} =$	0,001949	$\lambda * u_{x,y} =$	0,008205	

Βήμα 5						
N _{tot}	V _{sd}	V _{sd} (cm)	ω _{tot}	μ _{sd} (cm)	μ _{sd}	M ^{sd}
-41,794	-0,0279	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-41,794	-0,0279	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-31,364	-0,0209	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
-31,364	-0,0209	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
-173,292	-0,1155	0,90	0,5362	3,70	0,2330	87,724
-173,292	-0,1155	0,90	0,5362	3,70	0,2330	87,724
-92,890	-0,0619	0,48	0,2681	1,98	0,1252	46,944
X	X	X	X	X	X	X
-127,907	-0,0853	0,67	0,5362	3,65	0,2308	86,538
-127,907	-0,0853	0,67	0,5362	3,65	0,2308	86,538
-47,246	-0,0315	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573
-47,246	-0,0315	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573

		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$										
Βήμα 6		N	M	N	M	Φορτ/αποφ	M ^{*_{rd}}	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	M ^{*_{\lambda_{i,min}}}}	Πλαστ:		
Υπερτεκνώματα	Element 1	Κάτω	0,157	1,436	0,313	1,437	Φ	79,311	77,220	1,456	0,228	77,548		
		Πάνω	0,157	-0,642	0,313	-0,385	Φ	80,825	-66,023	38,452	0,228	-66,111		
	Element 2	Κάτω	0,157	-0,642	0,313	-0,385	A	40,038	11,301	156,852	0,228	11,214		
		Πάνω	0,157	-0,628	0,313	-1,254	Φ	49,419	-28,142	16,969	0,228	-28,128		
	Element 3	Κάτω	1,697	2,069	1,247	2,320	Φ	87,092	86,562	0,228	0,228	87,092	X	
		Πάνω	1,697	-1,920	1,247	-2,169	Φ	86,618	-84,893	0,795	0,228	-85,388		
Element 4	Κάτω	0,590	1,403	0,111	1,237	Φ	44,004	42,796	0,976	0,228	43,078			
	Πάνω	0,590	-1,548	0,111	0,900	X	X	X	X	X	X	X		
Element 5	Κάτω	-1,854	1,430	-1,560	1,434	Φ	85,693	77,918	5,420	0,228	78,246			
	Πάνω	-1,854	-0,628	-1,560	-0,380	Φ	85,002	-67,434	46,185	0,228	-67,520			
Element 6	Κάτω	-0,747	-0,628	-0,425	-0,380	A	40,441	13,739	142,432	0,228	13,652			
	Πάνω	-0,747	-0,692	-0,425	-1,274	Φ	40,175	-29,526	8,361	0,228	-29,816			
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X	
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X	
	Element 8	Αριστερά	0,628		1,254		Φ	95,538	28,142	53,750	0,228	28,128		
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X	
	Element 9	Αριστερά	3,323		3,406		Φ	101,907	72,479	8,639	0,228	73,257		
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X	
	Element 10	Αριστερά	1,548		0,000		-	76,993	24,979	X	0,228	24,979		
		Δεξιά	-0,692		-1,274		Φ	45,457	-29,526	12,507	0,228	-29,816		
							$\lambda =$	0,228		$u_{x,y} =$	0,002397		$\lambda \cdot u_{x,y} =$	0,000547

Βήμα 6						
N _{tot}	V _{sd}	V _{sd} (cm)	θ _{tot}	μ _{rd} (cm)	μ _{rd}	M ^{*_{rd}}
-41,723	-0,0278	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-41,723	-0,0278	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-31,293	-0,0209	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
-31,293	-0,0209	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
X	X	X	X	X	X	X
-170,014	-0,1150	0,90	0,5362	3,29	0,2080	87,724
-92,865	-0,0619	0,48	0,2681	1,77	0,1252	46,944
X	X	X	X	X	X	X
-128,263	-0,0855	0,67	0,5362	3,65	0,2308	86,538
-128,263	-0,0855	0,67	0,5362	3,65	0,2308	86,538
-47,342	-0,0316	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573
-47,342	-0,0316	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573

		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$									
Βήμα 7		N	M	N	M	Φορτ/αποφ	M'nd	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	M* $\lambda_{i,min}$	Πλαστ:	
Υποστοιβάματα	Element 1	Κάτω	0,313	1,437	0,371	2,354	Φ	79,311	77,548	0,749	0,536	78,808	
		Πάνω	0,313	-0,385	0,371	-0,864	Φ	80,815	-66,111	17,021	0,536	-66,574	
	Element 2	Κάτω	0,313	-0,385	0,371	-0,864	A	40,038	11,214	60,747	0,536	10,751	
		Πάνω	0,313	-1,251	0,371	-1,183	Φ	49,419	-28,128	14,153	0,536	-29,222	
	Element 3	Κάτω	1,247	2,320	1,275	0,000	X	X	X	X	X	X	X
		Πάνω	1,247	-2,169	1,275	-1,609	Φ	86,618	-85,388	0,724	0,536	-86,208	
	Element 4	Κάτω	0,111	1,237	0,133	1,729	Φ	44,004	43,078	0,536	0,536	44,004	X
		Πάνω	0,111	0,000	0,133	0,000	X	X	X	X	X	X	X
	Element 5	Κάτω	-1,560	1,434	-1,646	2,351	Φ	85,693	78,246	3,168	0,536	79,504	
		Πάνω	-1,560	-0,380	-1,646	-0,858	Φ	85,002	-67,520	20,373	0,536	-67,980	
	Element 6	Κάτω	-0,425	0,380	-0,503	-0,858	A	40,441	13,652	63,040	0,536	13,192	
		Πάνω	-0,425	-1,274	-0,503	-1,510	Φ	40,175	-29,816	6,860	0,536	-30,625	
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
	Element 8	Αριστερά	1,251		1,183		Φ	95,538	28,128	15,219	0,536	29,222	
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
	Element 9	Αριστερά	3,406		3,427		Φ	101,907	73,257	8,359	0,536	75,992	
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
	Element 10	Αριστερά	0,000		0,000		-	76,993	24,979	X	0,536	24,979	
		Δεξιά	-1,274		-1,510		Φ	45,457	-29,816	10,358	0,536	-30,625	
							$\lambda =$	0,536	$u_{\lambda} =$	0,003523	$\lambda * u_{\lambda} =$	0,001887	

Βήμα 7						
Ntot	Vsd	Vsd (cm)	θtot	μnd (cm)	μrd	M'rd
-41,524	-0,0277	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-41,524	-0,0277	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-31,094	-0,0207	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
-31,094	-0,0207	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
X	X	X	X	X	X	X
-172,002	-0,1149	0,90	0,5362	3,70	0,2009	87,724
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
-129,145	-0,0861	0,67	0,5362	3,65	0,2308	86,538
-129,145	-0,0861	0,67	0,5362	3,65	0,2308	86,538
-47,612	-0,0317	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573
-47,612	-0,0317	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573

		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$									
Βήμα 8		N	M	N	M	Φορτ/αποφ	M^*_{rd}	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	$M^*\lambda_{i,min}$	Πλαστ.	
Υπερτεκτόμιατα	Element 1	Κάτω	0,371	2,354	0,530	2,132	Φ	79,311	78,808	0,207	0,162	79,202	
		Πάνω	0,371	-0,864	0,530	-0,651	Φ	80,815	-66,574	21,860	0,162	-66,670	
	Element 2	Κάτω	0,371	-0,864	0,530	-0,651	A	40,038	10,751	0,1774	0,162	10,645	
		Πάνω	0,371	-1,183	0,530	-2,118	Φ	49,419	-29,222	9,534	0,162	-29,566	
	Element 3	Κάτω	1,275	0,000	0,853	0,000	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		Πάνω	1,275	-1,690	0,853	-1,076	Φ	86,618	-86,298	0,162	0,162	-86,618	X
	Element 4	Κάτω	0,133	1,729	0,195	0,000	X	X	X	X	X	X	X
		Πάνω	0,133	0,000	0,195	0,000	X	X	X	X	X	X	X
	Element 5	Κάτω	-1,646	2,351	-1,383	2,426	Φ	85,693	79,504	2,551	0,162	79,898	
		Πάνω	-1,646	-0,858	-1,383	-0,640	Φ	85,002	-67,980	26,607	0,162	-68,084	
Element 6	Κάτω	-0,503	-0,858	-0,724	-0,640	A	40,441	13,192	83,835	0,162	13,089		
	Πάνω	-0,503	-1,510	-0,724	-2,173	Φ	40,175	-30,625	4,395	0,162	-30,977		
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
	Element 8	Αριστερά	1,183		2,118		Φ	95,538	29,222	31,304	0,162	29,566	
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
	Element 9	Αριστερά	3,427		1,976		Φ	101,907	75,092	13,569	0,162	75,413	
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
	Element 10	Αριστερά	0,000		0,000		-	76,993	24,979	X	0,162	24,979	
		Δεξιά	-1,510		-2,173		Φ	45,457	-30,625	6,826	0,162	-30,977	
							$\lambda =$	0,162	$u_{k,s} =$	0,004058	$\lambda * u_{k,s} =$	0,00658	

Βήμα 8						
N_{tot}	V_{sd}	V_{sd} (cm)	ω_{tot}	μ_{rd} (cm)	μ_{rd}	M^*_{rd}
-41,438	-0,0276	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-41,438	-0,0276	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-31,008	-0,0207	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
-31,008	-0,0207	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
-129,369	-0,0862	0,67	0,5362	3,65	0,2308	86,538
-129,369	-0,0862	0,67	0,5362	3,65	0,2308	86,538
-47,729	-0,0318	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573
-47,729	-0,0318	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573

		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$									
Βήμα 9		N	M	N	M	Φορτ/αποφ	M ¹ _{nd}	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	M* $\lambda_{i,min}$	Πλαστ.	
Υπερτοκώματα	Element 1	Κάτω	0,530	2,432	0,603	3,117	Φ	79,311	79,222	0,035	0,035	79,311	X
		Πάνω	0,530	-0,651	0,603	-0,258	Φ	80,815	-66,670	14,756	0,035	-66,713	
	Element 2	Κάτω	0,530	-0,651	0,603	-0,258	A	40,238	10,645	62,303	0,035	10,612	
		Πάνω	0,530	-2,118	0,603	-2,413	Φ	49,419	-29,566	8,228	0,035	-29,649	
	Element 3	Κάτω	0,853	0,000	0,226	0,000	X	X	X	X	X	X	X
		Πάνω	0,853	-1,976	0,226	0,000	X	X	X	X	X	X	X
	Element 4	Κάτω	0,195	0,000	0,226	0,000	X	X	X	X	X	X	X
		Πάνω	0,195	0,000	0,226	0,000	X	X	X	X	X	X	X
	Element 5	Κάτω	-1,383	2,426	-0,829	3,109	Φ	85,693	79,898	1,864	0,035	80,006	
		Πάνω	-1,383	-0,640	-0,829	-0,942	Φ	85,002	-68,084	17,961	0,035	-68,116	
Element 6	Κάτω	-0,724	-0,640	-0,829	-0,942	A	40,441	13,089	56,830	0,035	13,056		
	Πάνω	-0,724	-2,173	-0,829	-2,487	Φ	40,175	-30,977	3,698	0,035	-31,064		
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά	0,000	0,000	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
		Δεξιά	0,000	0,000	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
	Element 8	Αριστερά	2,118	2,413	Φ	95,538	29,566	27,317	0,035	29,649			
		Δεξιά	0,000	0,000	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Element 9	Αριστερά	1,976	0,000	-	101,907	75,413	X	0,035	75,413			
Δεξιά		0,000	0,000	X	X	X	X	X	X	X	X		
Element 10	Αριστερά	0,000	0,000	-	76,993	24,979	X	0,035	24,979				
	Δεξιά	-2,173	-2,487	Φ	45,457	-30,977	5,822	0,035	-31,064				
						$\lambda =$	0,035	$u_{x,y} =$	0,004988	$\lambda * u_{x,y} =$	0,000173		

Βήμα 9						
N _{tot}	V _{sd}	V _{sd} (cm)	ω _{tot}	μ _{nd} (cm)	μ _{nd}	M ¹ _{nd}
X	X	X	X	X	X	X
-41,417	-0,0276	0,22	0,5362	3,29	0,2080	78,003
-30,987	-0,0207	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
-30,987	-0,0207	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
-129,398	-0,0863	0,67	0,5362	3,65	0,2308	86,538
-129,398	-0,0863	0,67	0,5362	3,65	0,2308	86,538
-47,758	-0,0318	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573
-47,758	-0,0318	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573

		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$									
Βήμα 10		N	M	N	M	Φορτ/αποφ	M rd	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	M* $\lambda_{i,min}$	Πλαστ.	
Υπερτεκτόμιατα	Element 1	Κάτω	0,603	3,117	0,812	0,000	X	X	X	X	X	X	X
		Πάνω	0,603	-2,058	0,812	-0,523	Φ	80,815	-66,713	26,042	1,070	-67,273	
	Element 2	Κάτω	0,603	-0,058	0,812	-0,523	A	40,038	10,612	113,055	1,070	10,052	
		Πάνω	0,603	-2,413	0,812	-3,216	Φ	49,419	-29,649	6,090	1,070	-33,124	
	Element 3	Κάτω	0,226	0,000	0,044	0,000	X	X	X	X	X	X	X
		Πάνω	0,226	0,000	0,044	0,000	X	X	X	X	X	X	X
	Element 4	Κάτω	0,226	0,000	0,044	0,000	X	X	X	X	X	X	X
		Πάνω	0,226	0,000	0,044	0,000	X	X	X	X	X	X	X
	Element 5	Κάτω	-0,829	3,109	-0,855	5,313	Φ	85,693	80,006	1,070	1,070	85,693	X
		Πάνω	-0,829	-0,942	-0,855	-2,289	Φ	85,002	-68,116	7,378	1,070	-70,566	
	Element 6	Κάτω	-0,829	-0,942	-0,855	-2,289	A	40,441	13,056	23,376	1,070	10,606	
		Πάνω	-0,829	-2,487	-0,855	-2,566	Φ	40,175	-31,064	3,551	1,070	-33,810	
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
	Element 8	Αριστερά	2,413		3,216		Φ	95,538	29,649	20,297	1,070	33,124	
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
	Element 9	Αριστερά	0,000		0,000		-	101,907	75,413	X	1,070	75,413	X
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
Element 10	Αριστερά	0,000		0,000		-	76,993	24,979	X	1,070	24,979		
	Δεξιά	-2,487		-2,566		Φ	45,457	-31,064	5,610	1,070	-33,810		
						$\lambda=$	1,070	$u_{x,y}=$	0,007355	$\lambda \times u_{x,y}=$	0,007873		

Βήμα 10						
N _{tot}	V _{sd}	V _{sd} (cm)	ω _{tot}	μ _{rd} (cm)	μ _{rd}	M ^o _{rd}
X	X	X	X	X	X	X
-40,548	-0,0270	0,21	0,5362	3,28	0,2074	77,766
-30,119	-0,0201	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
-30,119	-0,0201	0,16	0,2681	1,77	0,1119	41,965
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
-130,313	-0,0869	0,68	0,5362	3,66	0,2314	86,776
-48,674	-0,0324	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573
-48,674	-0,0324	0,25	0,2681	1,88	0,1189	44,573

		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$		Βήμα 11							
		N	M	N	M	Φορτ/αποφ	M ¹ _{nd}	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	M* $\lambda_{i,min}$	Πλαστ.	
Υπερτοκώματα	Element 1	Κάτω	0,812	0,000	1,370	0,000	X	X	X	X	X	X	X
		Πάνω	0,812	-0,523	1,370	-4,078	Φ	80,578	-67,273	3,263	1,128	-71,871	
	Element 2	Κάτω	0,812	-0,523	1,370	-4,078	A	40,038	10,052	14,421	1,128	5,454	
		Πάνω	0,812	-3,246	1,370	-5,480	Φ	49,419	-33,124	2,974	1,128	-39,303	
	Element 3	Κάτω	0,044	0,000	0,512	0,000	X	X	X	X	X	X	X
		Πάνω	0,044	0,000	0,512	0,000	X	X	X	X	X	X	X
Element 4	Κάτω	0,044	0,000	0,512	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
	Πάνω	0,044	0,000	0,512	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
Element 5	Κάτω	-0,855	5,313	-1,882	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
	Πάνω	-0,855	-2,289	-1,882	-4,047	Φ	85,239	-70,566	3,625	1,128	-75,129		
Element 6	Κάτω	-0,855	-2,289	-1,882	-4,047	A	40,441	10,606	12,613	1,128	6,043		
	Πάνω	-0,855	-2,566	-1,882	-5,645	Φ	40,175	-33,810	1,128	1,128	-40,175	X	
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
	Element 8	Αριστερά	3,246		5,480		Φ	95,538	33,124	11,390	1,128	39,303	
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
	Element 9	Αριστερά	0,000		0,000		-	101,907	75,413	X	1,128	75,413	
		Δεξιά	0,000		0,000		X	X	X	X	X	X	X
Element 10	Αριστερά	0,000		0,000		-	76,993	24,979	X	1,128	24,979		
	Δεξιά	-2,566		-5,645		Φ	45,457	-33,810	2,063	1,128	-40,175		
						$\lambda =$	1,128	$u_{x,y} =$	0,021088	$\lambda * u_{x,y} =$	0,023777		

Βήμα 11						
N _{tot}	V _{sd}	V _{sd} (cm)	ω _{tot}	μ _{nd} (cm)	μ _{nd}	M ¹ _{nd}
X	X	X	X	X	X	X
-39,004	-0,0260	0,20	0,5362	3,27	0,2067	77,529
-28,574	-0,0190	0,15	0,2681	1,25	0,1106	41,491
-28,574	-0,0190	0,15	0,2681	1,25	0,1106	41,491
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
-132,435	-0,0883	0,69	0,5362	3,68	0,2327	87,250
-50,795	-0,0339	0,26	0,2681	1,90	0,1201	45,047
X	X	X	X	X	X	X

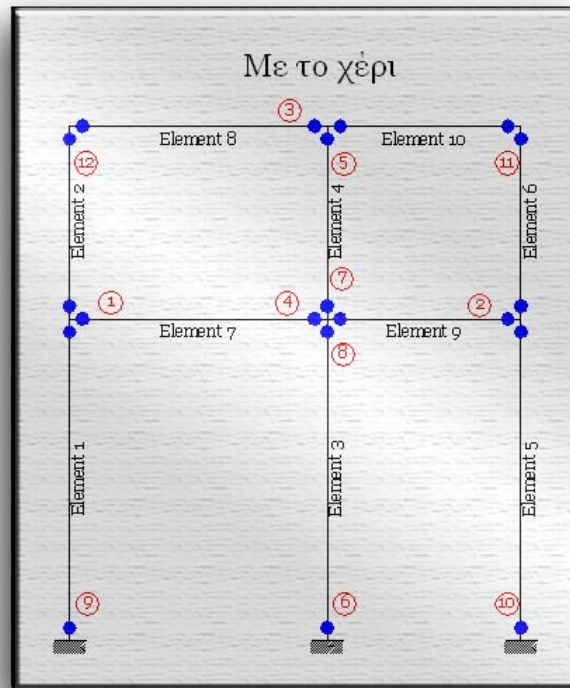
		Προηγούμενο βήμα		ΒΗΜΑΒΗΜΑ για $\lambda_i=1$										
Βήμα 12		N	M	N	M	Φορτ/αποφ	M'_{na}	M	λ_i	$\lambda_{i,min}$	$M^* \lambda_{i,min}$	Πλαστ.		
Υπερτοκώματα	Element 1	Κάτω	1,370	0,000	2,781	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
		Πάνω	1,370	-4,078	2,781	-3,044	Φ	80,341	-71,871	2,783	0,867	-74,502		
	Element 2	Κάτω	1,370	-4,078	2,781	-3,044	A	48,564	5,454	17,745	0,867	2,816		
		Πάνω	1,370	-5,480	2,781	-11,125	Φ	18,945	-39,303	0,867	0,867	-18,945	X	
	Element 3	Κάτω	0,512	0,000	-2,781	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
		Πάνω	0,512	0,000	-2,781	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
	Element 4	Κάτω	0,512	0,000	-2,781	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
		Πάνω	0,512	0,000	-2,781	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
	Element 5	Κάτω	-1,882	0,000	0,000	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
		Πάνω	-1,882	-4,047	0,000	-5,081	Φ	85,713	-75,129	2,083	0,867	-79,533		
	Element 6	Κάτω	-1,882	-4,047	0,000	-5,081	A	40,915	6,043	9,242	0,867	1,639		
		Πάνω	-1,882	-5,645	0,000	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
Δοκίμια	Element 7	Αριστερά	0,000	0,000	0,000	X	X	X	X	X	X	X		
		Δεξιά	0,000	0,000	0,000	X	X	X	X	X	X	X		
	Element 8	Αριστερά	5,180	0,000	11,125	0,000	Φ	95,538	39,303	5,055	0,867	18,945		
		Δεξιά	0,000	0,000	0,000	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
	Element 9	Αριστερά	0,000	0,000	0,000	0,000	-	101,907	75,413	X	0,867	75,413		
		Δεξιά	0,000	0,000	0,000	0,000	X	X	X	X	X	X	X	
	Element 10	Αριστερά	0,000	0,000	0,000	0,000	-	76,993	24,979	X	0,867	24,979		
		Δεξιά	0,000	-5,645	0,000	0,000	-	45,457	-40,175	X	0,867	-40,175		
							$\lambda =$	0,867			$u_{x,y} =$	0,028628	$\lambda \times u_{x,y} =$	0,024813

Βήμα 12						
N_{tot}	V_{sd}	V_{sd} (cm)	ω_{tot}	μ_{rd} (cm)	μ_{rd}	M^*_{rd}
X	X	X	X	X	X	X
-36,593	-0,0244	0,19	0,5362	3,26	0,2061	77,292
-26,163	-0,0174	0,14	0,2681	1,74	0,1100	41,254
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
-132,435	-0,0883	0,69	0,5362	3,68	0,2327	87,250
-50,795	-0,0339	0,26	0,2681	1,90	0,1201	45,047
X	X	X	X	X	X	X

Ακολουθεί η κατάρρευση του φορέα.

2.3 Αποτελέσματα της «βήμα προς βήμα» στατικής ελαστικής ανάλυσης

Από την αρχική στατική ανελαστική ανάλυση για τη σεισμική τέμνουσα προέκυψε η εξής ακολουθία πλαστικών αρθρώσεων στις κρίσιμες διατομές του φορέα που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



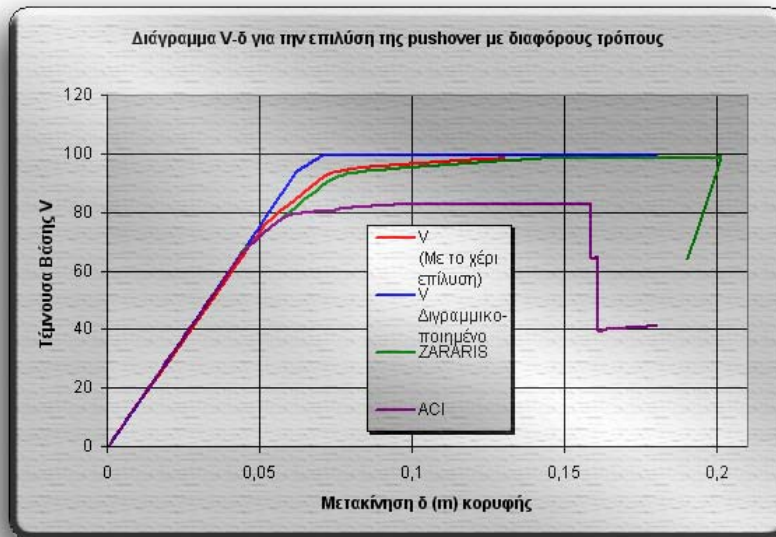
Ακολουθία πλαστικών αρθρώσεων στην επίλυση με το χέρι

Η πινακοποίηση των 12 βημάτων της ανελαστικής ανάλυσης μας βοηθά να βρούμε το διάγραμμα συσχετισμού της σεισμικής τέμνουσας με τη μετακίνηση ελέγχου. Έτσι, έχουμε:

Step	$\lambda_{i,min}$	δ	F	$V = \lambda_{i,min} \times F$	δ	V (Με το χέρι επίλυση)	K	V Διαγραμματικο- ποιημένο
0	0	0,000244	0	0	0,000244	0		0,000
1	45,9972	0,050505	1,625	74,745	0,050749	74,745	1480	76,123
2	0,5301	0,000717	1,625	0,861	0,051466	75,607	1201	77,199
3	5,6633	0,010551	1,625	9,203	0,062017	84,810	872,25	93,025
4	0,2210	0,000416	1,625	0,359	0,062433	85,169	863,44	93,649
5	4,2101	0,008205	1,625	6,841	0,070638	92,010	833,76	99,000
6	0,2289	0,000547	1,625	0,371	0,071185	92,381	677,93	99,000
7	0,5355	0,001887	1,625	0,870	0,073072	93,251	461,25	99,000
8	0,1621	0,000658	1,625	0,263	0,073730	93,515	409,44	99,000
9	0,0348	0,000173	1,625	0,257	0,073903	93,571	325,78	99,000
10	1,0704	0,007873	1,625	1,739	0,081776	95,311	220,94	99,000
11	1,1275	0,023777	1,625	1,832	0,105553	97,143	77,058	99,000
12	0,8667	0,024813	1,625	1,408	0,130366	98,551	56,763	99,000
SUM	60,6469	0,130122			0,130366	98,551	δ_y	Επιλογή K
							0,066	1500

Τιμές διαγράμματος σεισμικής τέμνουσας-μετακίνησης ελέγχου.

Παρακάτω δίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα συσχετισμού της σεισμικής τέμνουσας με την μετακίνηση ελέγχου (οριζόντια μετακίνηση κόμβου 3 – κορυφή κτιρίου).



Διάγραμμα σεισμικής τέμνουσας-μετακίνησης ελέγχου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

3.1 Υπολογισμός μετακίνησης-στόχου.

Ως μετακίνηση-στόχος δ_t ορίζεται η μέγιστη μετακίνηση που αναμένεται να παρουσιάσει η κορυφή του φορέα για το σεισμό σχεδιασμού.

Ο υπολογισμός της μετακίνησης δ_t μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά από την ακόλουθη σχέση, σύμφωνα με το FEMA-273.

$$\delta_t = C_0 \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times \frac{T_e^2}{4\pi^2} \cdot S_{pa}$$

C_0 : Συντελεστής συσχέτισης φασματικής μετακίνησης $S_d = \frac{T_e^2}{4\pi^2} \times S_{pa}$

(μονοβάθμιου συστήματος) με την μετακίνηση δ_t .

C_1 : Συντελεστής συσχέτισης αναμενόμενης μέγιστης ανελαστικής μετακίνησης με την αντίστοιχη μετακίνηση που προκύπτει από γραμμική ελαστική ανάλυση.

C_2 : Συντελεστής που εκφράζει την επιρροή στην μέγιστη απόκριση του σχήματος του βρόχου υστέρησης του φορέα υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

C_3 : Συντελεστής που εισάγει την αυξητική επιρροή των φαινομένων 2^{ης} τάξης.

T_e : Η ενεργός δεσπόζουσα ιδιοπερίοδος του φορέα.

S_{pa} : Η ελαστική φασματική ψευδοεπιτάχυνση που αντιστοιχεί στην ιδιοπερίοδο T_e .

Η ενεργός ιδιοπερίοδος T_e της κατασκευής προκύπτει από την ακόλουθη σχέση συναρτήσει της ελαστικής ιδιοπεριόδου T_i της κατασκευής και των αντιστοιχών δυσκαμψιών K_e και K_i .

$$T_e = T_i \times \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

Λόγω του ότι το διάγραμμα φόρτισης-μετατόπισης που προέκυψε από την ανελαστική ανάλυση του φορέα προσεγγίζει το διγραμμικό μοντέλο, οι τιμές των δυσκαμψιών K_e και K_i ταυτίζονται και είναι ίσες με την αρχική κλίση του διαγράμματος.

Για την μετάβασή μας στο διγραμμικοποιημένο διάγραμμα δύναμης μετατόπισης είναι, θα χρειαστεί να υπολογίσουμε ή να κάνουμε μια εκτίμηση για το K του διαγράμματος. Βάσει των δεδομένων του πίνακα, μια καλή τιμή για το K είναι:

$$K_i = K_e = \frac{P_i - P_{i-1}}{u_i - u_{i-1}} = 1500,00 \text{ kN/m}$$

Για τον ίδιο λόγο, (ισοδύναμο μονοβάθμιο μοντέλο), θα χρειαστεί να υπολογίσουμε τις παρακάτω τιμές:

$$m^* = \sum m_j \times \varphi_j = (1 \times 17,15) + (0,87 \times 17,15) = 32,0705t$$

[βάσει της ιδιομορφικής απόκρισης του φορέα για $\varphi=1$ στην κορυφή του κτιρίου]

$$T_e = T_i = 2\pi \sqrt{\frac{M^*}{K_i}} = 2\pi \sqrt{\frac{32,0705}{1500,00}} = 0,919 \text{ sec}$$

Ο συντελεστής C_0 λαμβάνεται ίσος με 1,2 (πρόκειται για διώροφο κτίριο).

Ο συντελεστής C_1 λαμβάνεται ίσος με 1,0 (ισχύει $T_e \geq T_2 = 0,40 \text{ sec}$).

Ο συντελεστής C_2 λαμβάνεται ίσος με 1,0 (η κατασκευή θεωρείται ως σύστημα υψηλής πλαστιμότητας, ανεξαρτήτως επιπέδου επιτελεστικότητας και ενεργού ιδιοπεριόδου).

Ο συντελεστής C_3 λαμβάνεται ίσος με 1,0 (συνήθη κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος).

Η ελαστική φασματική ψευδοεπιτάχυνση S_{pa} που αντιστοιχεί στην ιδιοπερίοδο T_e προκύπτει (Ε.Α.Κ.2000, Παράρτημα Α, §Α.1[1]):

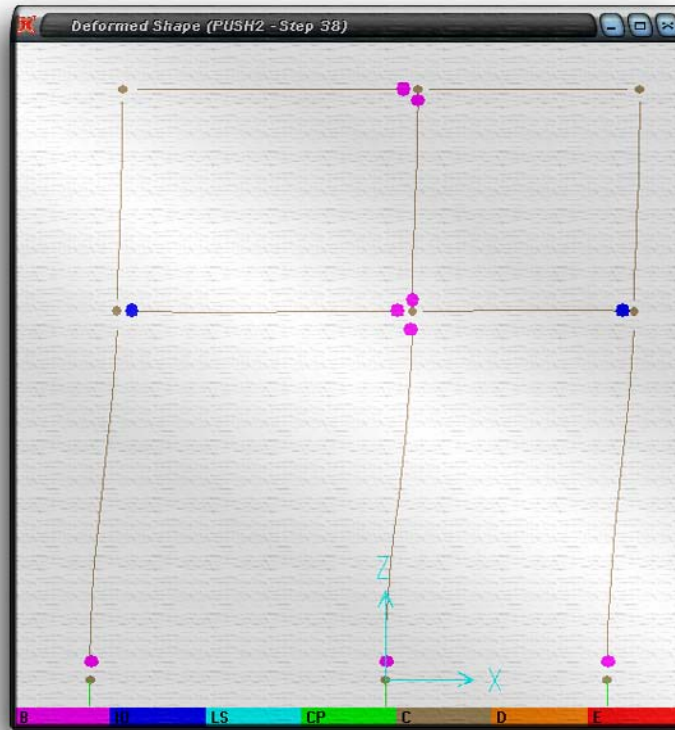
$$S_{pa} = \gamma_I \times A \times \eta \times \beta_o \times \frac{T_2}{T} = 1 \times 0,32g \times 1 \times 2,5 \times \frac{0,40}{0,919} = 3,42 \text{ m/sec}^2$$

Επομένως:

$$\delta_t = 1,2 \times 1 \times 1 \times 1 \times \frac{0,919^2}{4\pi^2} \times 3,42 = 0,0878 \text{ m}$$

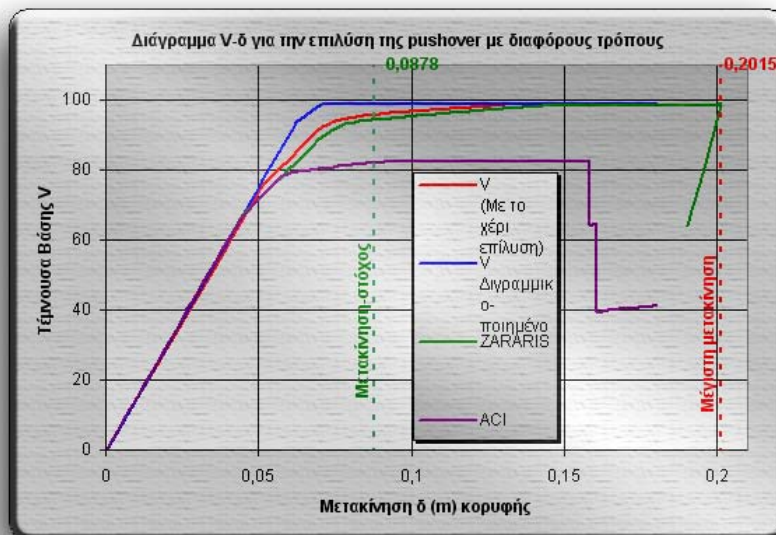
3.2 Αποτίμηση της κατασκευής για το σεισμό σχεδιασμού.

Για τη μετακίνηση-στόχο $\delta_t=0,0878$ m, ο φορέας βρίσκεται στην ακόλουθη κατάσταση (σύμφωνα με το SAP2000 για την επίλυση μέσω των διαγραμμάτων σχεδιασμού του Ζαράρη):



Κατάσταση του φορέα για $\delta_t = 0,0878$ m

Όπως είναι φανερό, έχουμε μία πολύ ικανοποιητική συμπεριφορά του φορέα για μετακίνηση-στόχο δ_t . Η δυσμενέστερη απόκριση των κρίσιμων διατομών υπό το σεισμό σχεδιασμού βρίσκεται στο επίπεδο επιτελεσματικότητας IO, δηλαδή στο επίπεδο λειτουργικότητας (Immediate Occupancy). Σε αυτό το επίπεδο βρίσκονται μόνο δύο διατομές δοκών του πρώτου ορόφου. Σε άλλες διατομές, η διαρροή μόλις έχει αρχίσει. Κατά συνέπεια, η κατασκευή πληροί την απαίτηση των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών για περιορισμό των βλαβών υπό το σεισμό σχεδιασμού (Ε.Α.Κ.2000, §1.2.2[1]).



Μετακινήσεις (και επιπλέον μέγιστη και στόχου)

3.3 Εύρεση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης που αντιστοιχεί στη μέγιστη μετατόπιση του πλαισίου.

Στο ανωτέρω διάγραμμα βλέπουμε ότι η μέγιστη μετακίνηση του πλαισίου (κόμβος 3) είναι ίση με 0,2015m.

Ισχύει επίσης ότι:

$$m^* = \sum m_j \times \varphi_j = (1 \times 17,15) + (0,87 \times 17,15) = 32,0705t$$

$$T_e = T_i = 2\pi \sqrt{\frac{M^*}{K_i}} = 2\pi \sqrt{\frac{32,0705}{1500,00}} = 0,919 \text{ sec}$$

Επομένως απο τον τύπο : $\delta_t = C_0 \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times \frac{T_e^2}{4\pi^2} \times S_{pa}$ υπολογίζεται η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση για την τιμή της μέγιστης μετακίνησης :

$$0,2015 = 1,2 \times 1 \times 1 \times 1 \times \frac{0,919^2}{4\pi^2} \times S_{pa} \Rightarrow S_{pa} = \frac{0,2015 \times 4\pi^2}{1,2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,919^2} = 7,849 \text{ m/sec}^2 = 0,80g$$

Κατά συνέπεια, η κατασκευή καταρρέει με μέγιστη επιτάχυνση εδάφους της τάξης του 0,80g.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Απορρόφηση ενέργειας από την κατασκευή – Συν/τής συμπεριφοράς.

Ως γνωστόν, ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι ένας μειωτικός συντελεστής της σεισμικής φόρτισης και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$q = q_{\mu} \times q_s \times q_{\xi}$$

q_{μ} : παράγοντας πλαστιμότητας.
 q_s : παράγοντας υπεραντοχής.
 q_{ξ} : παράγοντας απόσβεσης.

1) Καθώς η κατασκευή μας δεν έχει πρόσθετες διατάξεις απόσβεσης, είναι δυνατόν να θεωρήσουμε τον παράγοντα απόσβεσης ίσο με μονάδα, καθώς αυτός διαφοροποιείται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις κτιρίων με πρόβλεψη τέτοιων διατάξεων.

2) Τα διαγράμματα φόρτισης–μετατόπισης που έχουμε υπολογίσει από τις ανελαστικές αναλύσεις στα πλαίσια του θέματος, προσεγγίζουν έντονα την συμπεριφορά του διγραμμικού μοντέλου με μηδενικής κράτυνσης. Έτσι, λοιπόν, η τέμνουσα διαρροής με την τέμνουσα αντοχής έχουν μηδαμινή διαφορά, οπότε ο παράγων υπεραντοχής (ο λόγος της δεύτερης προς την πρώτη) δύναται να θεωρηθεί και αυτός ίσος με τη μονάδα.

3) Τα ανωτέρω έχουν ως αποτέλεσμα ο συντελεστής συμπεριφοράς της υπό μελέτη κατασκευής να ταυτίζεται με την τιμή του παράγοντα που εξαρτάται από την πλαστιμότητα. Από τη θεωρία είναι γνωστό ότι αν η τιμή της ενεργούς ιδιοπεριόδου της κατασκευής είναι μεγαλύτερη από 0,5 sec ($T_e > 0,5 \text{ sec}$), ο παράγοντας της πλαστιμότητας και κατ'επέκταση και ο συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής μπορούν να θεωρηθούν ίσοι με το δείκτη πλαστιμότητας μετακινήσεων μ .

Ο μη γραμμικός χαρακτήρας της του διαγράμματος φόρτισης–μετατόπισης έχει ως αποτέλεσμα το δυσχερή εντοπισμό του σημείου της διαρροής. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι η διαρροή αρχίζει εκεί που έχουμε έντονη αλλαγή της αρχικής κλίσης του ευθύγραμμου κλάδου. Έτσι, λοιπόν, εκτιμούμε ότι η μετακίνηση διαρροής της κατασκευής είναι $u_y = 0,045 \text{ m}$.

Η τιμή της απαιτούμενης πλαστιμότητας του φορέα για το σεισμό σχεδιασμού προκύπτει:

$$\mu_{\text{απαιτ}} = \frac{\delta_t}{u_y} = \frac{0,0878}{0,045} \approx 1,95$$

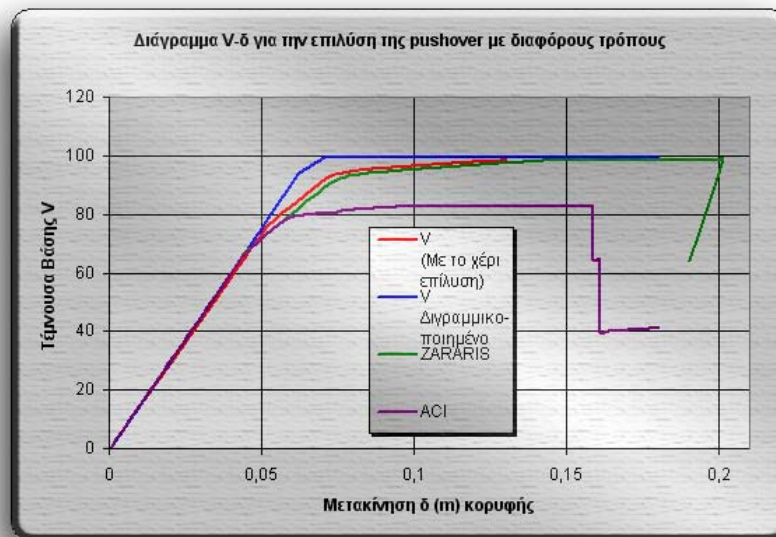
Η τιμή της διαθέσιμης πλαστιμότητας του φορέα προκύπτει:

$$\mu_{\text{διαθ.}} = \frac{\delta_{\text{max}}}{u_y} = \frac{0,2015}{0,045} \approx 4,48$$

Η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς που χρησιμοποιήθηκε για την ελαστική ανάλυση της κατασκευής ήταν $q = 3 < 4,48$ και προφανώς επαληθεύεται από την ανελαστική ανάλυση της κατασκευής ως γενικό μέτρο εκτίμησης της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας από την κατασκευή.

4.2 Συγκριτική αξιολόγηση της «βήμα προς βήμα» στατικής ελαστικής ανάλυσης.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα αποτελέσματα των επιλύσεων τόσο με το χέρι, όσο και με τους δύο τρόπους (ACI και βάσει πινάκων Ζαράρη) επίλυσης μέσω της ενσωματωμένης λειτουργίας pushover του SAP.



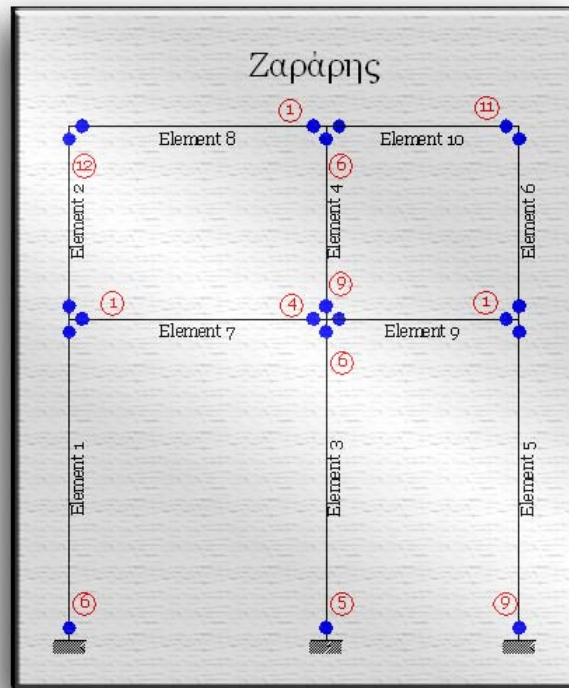
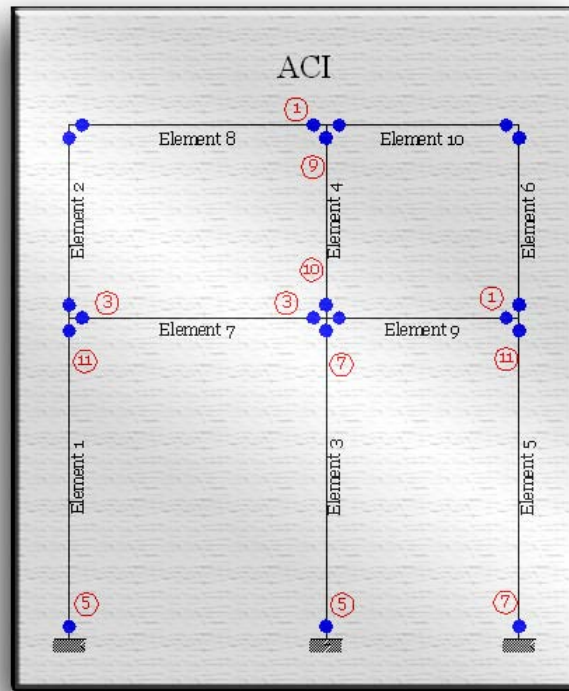
Συγκριτικό διάγραμμα καμπύλων φόρτισης–μετατόπισης

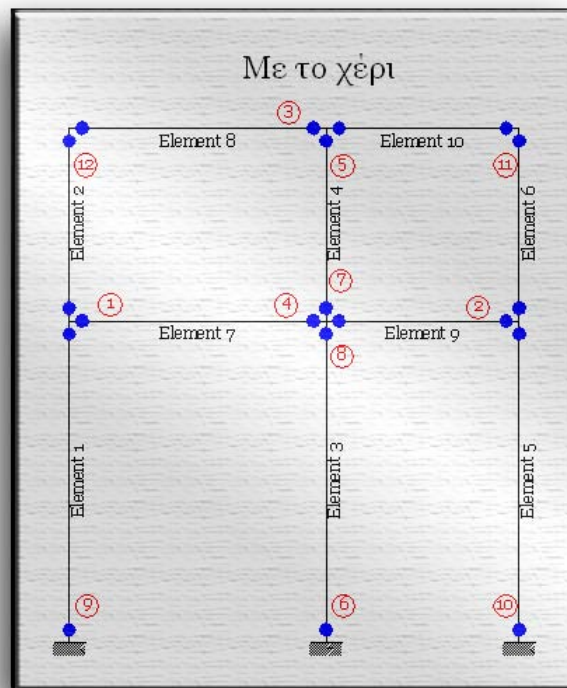
Όπως είναι φανερό από το ανωτέρω διάγραμμα, η επίλυση με το χέρι και με το SAP2000 (βάσει διαγραμμάτων Ζαράρη) έχουν σχεδόν πλήρη ταύτιση. Αυτό οφείλεται στην προσεκτική εφαρμογή της θεωρίας της μεθόδου «με το χέρι», όπως και στην σωστή εισαγωγή των διαγραμμάτων του Ζαράρη στο πρόγραμμα SAP2000. Επίσης, προσοχή δόθηκε στον αριθμό των βημάτων και των iterations του SAP2000 ώστε να δώσει τα κατάλληλα αποτελέσματα.

Πιο συγκεκριμένα, η επίλυση με το χέρι έδωσε τέμνουσα βάσης ίσης με 98,551 kN, ενώ το μοντέλο SAP2000 με τα διαγράμματα Ζαράρη έδωσε τέμνουσα βάσης ίσης με 98,4272 kN. Η προσέγγιση, δηλαδή είναι της τάξης του **0,1%**! Παρ' όλ' αυτά θα μπορούσε να είναι πολύ μεγαλύτερο, δεδομένου του ότι η εισαγωγή των πινάκων Ζαράρη στο πρόγραμμα μπορεί να συνοδεύεται από αρκετά μεγάλο λάθος λόγω λανθασμένων μετρήσεων με τον χάρακα. Η καλή προσέγγιση οφείλεται, τέλος, στο ότι τα αποτελέσματα καθενός εκ των 12 βημάτων εισήχθησαν κατ' ευθείαν στο Excel και άρα στάθηκε δυνατή η αυξημένη αξιοπιστία των εισηγμένων δεδομένων.

Αντίθετα, στην περίπτωση των συμβατών με ACI ρουτίνων του προγράμματος, τα αποτελέσματα ήταν λιγότερο ενθαρρυντικά, κυρίως λόγω της απόκλισης των αντίστοιχων διαγραμμάτων από τους πίνακες Ζαράρη (τα υπόλοιπα δεδομένα ήταν ακριβώς τα ίδια).

Ακολουθούν οι τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί εμφάνισης πλαστικών αρθρώσεων, ανάλογα με το μοντέλο και ο σχολιασμός των διαφορών τους:





Παρατηρούμε την καλή σύμπτωση των αποτελεσμάτων μεταξύ της επίλυσης με το χέρι σε σχέση με την επίλυση με το SAP2000 και τους πίνακες του Ζαράρη. Αντίθετα, το ACI οδηγεί σε ένα αρκετά διαφοροποιημένο τρόπο ανάπτυξης των πλαστικών αρθρώσεων, που έχει την εξήγηση ότι τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης είναι αρκετά διαφοροποιημένα από αυτά του Ζαράρη.

Ως γενική παρατήρηση, μπορούμε να αναφέρουμε ότι η μέθοδος της βήμα προς βήμα στατικής ελαστικής ανάλυσης αδυνατεί να προβλέψει την ακριβή δυνατότητα πλαστικών παραμορφώσεων, καθώς λαμβάνει υπόψη μόνο τον κλάδο A-B-C του διαγράμματος ανηγμένης δύναμης-ανηγμένης παραμόρφωσης των διατομών.

Θεωρώντας, μάλιστα, τον κλάδο B-C οριζόντιο και απεριόριστα εκτεινόμενο, με πέρασ όχι κάποιο όριο παραμόρφωσης, αλλά τη μετάπτωση του φορέα σε μηχανισμό, η προβλεπόμενη από τη βήμα προς βήμα μέθοδο αύξηση της φέρουσας ικανότητας του φορέα μέσω της ανελαστικής συμπεριφοράς του και της επακόλουθης ανακατανομής των εσωτερικών δυνάμεων δεν είναι αξιόπιστη. Αυτό, γιατί δεν γίνεται έλεγχος των παραμορφώσεων που είναι το πιο αξιόπιστο μέγεθος εκτίμησης της αστοχίας στο πεδίο της ανελαστικής συμπεριφοράς.

4.3 Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση.

Ο υπολογισμός της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης γίνεται ακριβώς αντίστροφα από τον υπολογισμό της μετακίνησης στόχου. Η βασική μας παραδοχή είναι ότι υποκαθιστούμε τον πολυβάθμιο φορέα με ένα μονοβάθμιο και η θεώρηση αυτή πραγματοποιείται με ικανοποιητική ακρίβεια με χρήση κάποιων διορθωτικών συντελεστών. Ουσιαστικά χρησιμοποιείται η σχέση $S_d = \omega^2 S_a$ που ισχύει για τα ελαστικά φάσματα με κάποιες διορθώσεις, οπότε τελικά υπολογίζουμε τιμή ψευδοεπιτάχυνσης.

Ο τύπος υπολογισμού μας οδηγεί σε μια αναλογική αύξηση των μεγεθών, δηλαδή μια διπλάσια επιτάχυνση θα δώσει διπλάσια μετακίνηση και το αντίστροφο. Όπως είναι φυσικό, η σχέση αυτή είναι χαμηλότερης ακρίβειας από των υπολογισμό με χρήση ανελαστικών φασμάτων αλλά εκεί που υπερτερεί είναι στην απλότητα της καθώς αποφεύγονται επαναληπτικές διαδικασίες υπολογισμών για επίτευξη κατάλληλου επιπέδου πλαστιμότητας.