



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

***«Συγκριτική αποτίμηση σε σεισμό δύο τοιχοπληρωμένων πλαισίων  
σχεδιασμένων με παλιότερους και νέους κανονισμούς»***

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΛΕΝΗ ΣΠΑΝΑΚΗ

Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΧΡΗΣΤΟΣ ΖΕΡΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ :

ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

Αθήνα,

Φεβρουάριος 2022

*Το δε ζητούμενον αλωτόν, εκφεύγειν δε ταμελούμενον..»*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Και κάπως έτσι ολοκληρώνεται ο δεύτερος κύκλος σπουδών μου... Η ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί το νέο ξεκίνημα, τους νέους στόχους, μία νέα εποχή. Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους, με τον δικό τους τρόπο συνέβαλαν σε αυτήν.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας μου, κο Ζέρη Χρήστο, Καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π για την καθοδήγηση και τη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής.

Ευχαριστώ τον κο Βουγιούκα Εμμανουήλ, Επίκουρο καθηγητή του Ε.Μ.Π και τον κο Φραγκιαδάκη Μιχαήλ, Αναπληρωτή Καθηγητή του Ε.Μ.Π ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένειά μου για την συνεχή καθοδήγηση που μου παρείχε, τους φίλους μου Θανάση και Σταύρο που είχα την τύχη να γνωρίσω κατά τη διάρκεια αυτού του ταξιδιού και τέλος το σύντροφό μου Γιώργο για την πίστη που μου έδειξε μέχρι το τέλος.

## Περίληψη

Η ύπαρξη των τοιχοπληρώσεων στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί την πλέον συνήθη επιλογή των μηχανικών. Ωστόσο, η συνεισφορά τους στην αντισεισμική ανάλυση των κατασκευών αγνοείται καθώς οι σύγχρονοι κανονισμοί δεν τις εντάσσουν στα φέροντα μέλη της κατασκευής. Παρ' όλ' αυτά, οι τοιχοπληρώσεις έχουν άμεση επίδραση στην συμπεριφορά του φορέα υπό τη δράση σεισμικών φορτίων χωρίς όμως να μπορεί να θεωρηθεί αμιγώς θετική ή αρνητική. Ο τρόπος με τον οποίο οι τοιχοπληρώσεις συμβάλουν στην αντίσταση του συνολικού φορέα στις σεισμικές δυνάμεις, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων θεωρείται η διάταξή τους σε κάτοψη και τομή.

Το προαναφερθέν, λοιπόν, υπόβαθρο, έδωσε το έναυσμα για ενασχόληση στην παρούσα διπλωματική με τη αποτίμηση της συμβολής της τοιχοπλήρωσης στην συμπεριφορά πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πιο συγκεκριμένα, έχοντας ήδη μελετηθεί στη διπλωματική εργασία ([2]) του κου Σταθόπουλου Χαράλαμπου, η επιρροή της τοιχοπλήρωσης στη σεισμική απόκριση ενός τυπικού υφιστάμενου επίπεδου πλαισίου (σχεδιασμένου σύμφωνα με τους κανονισμούς του '59) με καθαρό άνοιγμα φανώματος ίσο με  $L=3.20$  και ύψος  $H=2.5m$ , στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η επιρροή της στη σεισμική απόκριση δύο πλαισίων σχεδιασμένων κατασκευασμένων το '70 και το '90 αντίστοιχα. Οι διαστάσεις των ανοιγμάτων μεταβάλλονται καθ' ύψος εξαιτίας της μειούμενης διατομής των υποστυλωμάτων ξεκινώντας στο μεν πλαίσιο του '70 με διαστάσεις ανοιγμάτων στα ακραία φανώματα ίσα με  $4.975m$  και στα ενδιάμεσα με  $5.10m$  και στο δε πλαίσιο του '90 με  $5.20m$  στα ακραία φανώματα και  $5.30m$  στα ενδιάμεσα. Οι οπλισμοί ήταν σαφώς ισχυρότεροι και στα δύο πλαίσια συγκριτικά με εκείνου που σχεδιάστηκε το '59.

Και για τα δύο πλαίσια του '70 και του '90 διερευνάται και αποτιμάται η συμπεριφορά τους υπό τη δράση της σεισμικής δύναμης εφαρμόζοντας στατική υπερωθητική ανάλυση. Παρατίθεται συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τόσο μεταξύ των δύο πλαισίων των διαφορετικών χρονολογιών όσο και μεταξύ των περιπτώσεων α) του γυμνού β) του πλήρως τοιχοπληρωμένου και γ) του τοιχοπληρωμένου πλαισίου με ύπαρξη PILOTIS.

Η υλοποίηση όλων των προαναφερθέντων, πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής ενός κατάλληλου λογισμικού προγράμματος (LS DYNA). Το LS DYNA αναπτύχθηκε από την εταιρία Livermore Software Technology Corporation (LSTC) και πρόκειται για λογισμικό πακέτο υψηλής τεχνολογίας, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως

σήμερα, τόσο στον ερευνητικό χώρο όσο και στη σύγχρονη αγορά, από μεγάλες τεχνικές εταιρίες σε εξωτερικό και εσωτερικό και του οποίου η αξιοπιστία είναι αποδεδειγμένη.

**Λέξεις κλειδιά:**

Τοιχοπληρωμένο πλαίσιο, Γυμνό πλαίσιο, PILOTIS, αντισεισμική ανάλυση, αποτίμηση, LS DYNA

## **Abstract**

Masonry infill walls are commonly used in the frames of reinforced concrete (RC) buildings around the world. However, their contribution to the seismic analysis is ignored since they are defined as “non-structural” elements by modern codes. Masonry infill walls have a direct impact on the seismic response of RC frames but that impact cannot be assumed as purely positive or negative. Distribution of infill walls plays an important role on the resistance of the frame under seismic loads. Non-uniform distribution along the length or the height of the building may lead to undesirable seismic performance of the structure.

In 2008, Mr. Stathopoulos Charalampos, civil engineer NTUA, investigated the seismic performance of a typical 5-storey RC frame designed following the 59 Seismic Code ([2]). The length of the infill wall bay was 3.20m and the height was equal to 2.5m. Motivated by this, the present thesis focuses on the evaluation of the effect of infill walls on seismic performance of two 7-storey RC frames of different dimensions and different infill wall bay length. More specifically, the first frame considered, is designed following the 85 Seismic Code, while the second one following the Greek Seismic Code (E.A.K). The dimensions of both RC frames differ along the frame height. Regarding the frame of 70s, the infill wall length of the 1<sup>st</sup> and 4<sup>th</sup> bay in the ground floor is equal to 4.975m, while of the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> is equal to 5.10m. Regarding the frame of 90s, the infill wall length of the 1<sup>st</sup> and 4<sup>th</sup> bay in the ground floor is equal to 5.20, while of the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> is equal to 5.30m. The reinforcement used in both frames was stronger compared to the frame studied by Stathopoulos.

For both RC frames, the performance under the action of seismic loads is investigated applying Pushover Analysis. The results of the analysis for both frames of the 70s and the 90s are compared as well as the results for the cases of a) bare frames b) fully in-filled and c) PILOTIS.

The implementation of all the above is achieved applying a general purpose finite element program (LS DYNA). LS DYNA has been developed by the former Livermore Software Technology Corporation (LSTC) and it is used by researchers as well as by industry individuals.

### **Keywords:**

In-filled frame, bare frame, PILOTIS, seismic analysis, pushover analysis, LS DYNA

# Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
Περίληψη .....	4
Abstract.....	6
Ευρετήριο Εικόνων .....	9
Ευρετήριο Πινάκων.....	14
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	15
1.1 Θεωρητικό υπόβαθρο τοιχοποιίας.....	15
1.2 Επιρροή της τοιχοπλήρωσης στο φέρον οργανισμό .....	16
1.3 Συμπεριφορά της Τοιχοπλήρωσης υπό οριζόντια μετακίνηση .....	18
1.4 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	19
1.6 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας.....	20
Κεφάλαιο 2: Περιγραφή εξεταζόμενων πλαισίων .....	22
2.1: Γενικά.....	22
2.1.1 Χαρακτηριστικά πλαισίου '70.....	22
2.1.2 Χαρακτηριστικά πλαισίου '90.....	26
Κεφάλαιο 3: Προσομοίωση με το LS DYNA .....	30
3.1 Δημιουργία και διακριτοποίηση διατομών.....	31
3.1.1 Δοκοί-υποστυλώματα-τοιχοπλήρωση.....	31
3.1.2 Οπλισμοί .....	32
3.2 Απόδοση υλικών στα μέλη .....	34
3.3 Προσομοίωση σύνδεσης επιμέρους μελών .....	34
3.4 Συνοριακές συνθήκες .....	37
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα αποτίμησης σε σεισμό.....	38
4.1 Αποτελέσματα Ιδιομορφικής ανάλυσης .....	38
4.2 Αποτελέσματα Υπερωθητικής ανάλυσης .....	41
4.2.1 Γυμνά Πλαίσια '70 και '90 .....	44
4.2.2 Τοιχοπληρωμένα Πλαίσια '70 και '90 .....	51

4.2.3 Τοιχοπληρωμένα Πλαίσια '70 και '90 με PILOTIS .....	64
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα.....	75
Κεφάλαιο 6: Βιβλιογραφία .....	77



## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1: Δρομική τοιχοποιία πάχους 9 εκατοστών.....	16
Εικόνα 1.2: Δρομική τοιχοποιία πάχους 12 εκατοστών .....	16
Εικόνα 1.3: Μπατική τοιχοποιία πάχους 19 εκατοστών.....	16
Εικόνα 1.4: Υπερμπατική τοιχοποιία πάχους 29 εκατοστών .....	16
Εικόνα 1.5: Δυσμενής διάταξη τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος.....	17
Εικόνα 1.6: Μορφές αστοχίας τοιχοπλήρωσης α) Αστοχία στις γωνίες της τοιχοπλήρωσης β) Αστοχία λόγω διατμητικής ολίσθησης γ) Αστοχία στην κεντρική περιοχή δ) Ρωγμή θλιβόμενης διαγωνίου ε) Αστοχία πλαισίου.....	19
Εικόνα 2.1: Όψη περιμετρικού πλαισίου '70 με τις διαστάσεις του .....	23
Εικόνα 2.2: Φόρτιση δοκών και υποστυλωμάτων γυμνού πλαισίου '70 λόγω ίδιου βάρους, φορτίων πλακών.....	25
Εικόνα 2.3: Φόρτιση δοκών και υποστυλωμάτων τοιχοπληρωμένου πλαισίου '70 λόγω ίδιου βάρους, φορτίων πλακών και τοιχοπλήρωσης .....	25
Εικόνα 2.4 Καμπύλη κατακόρυφης φόρτισης πλαισίου .....	26
Εικόνα 2.5: Όψη περιμετρικού πλαισίου '90 με τις διαστάσεις του .....	27
Εικόνα 2.6: Φόρτιση δοκών και υποστυλωμάτων γυμνού πλαισίου '90 λόγω ίδιου βάρους, φορτίων πλακών.....	29
Εικόνα 2.7: Φόρτιση δοκών και υποστυλωμάτων τοιχοπληρωμένου πλαισίου '90 λόγω ίδιου βάρους, φορτίων πλακών και τοιχοπλήρωσης .....	29
Εικόνα 3.1 Εξαεδρικό στοιχείο όγκου σταθερής τάσης (one point quadrature) .....	31
Εικόνα 3.2 Εργαλείο «Shape mesher» για την εισαγωγή και διακριτοποίηση στοιχείων .....	32
Εικόνα 3.3 Διακριτοποίηση (meshing) α) υποστυλώματος β) δοκού γ) τοιχοπλήρωσης.....	32
Εικόνα 3.4 Εισαγωγή οπλισμών στο προσομοίωμα ως στοιχεία δοκού.....	33
Εικόνα 3.5: Απαίτηση κοινής διακριτοποίησης στο σύνορο μεταξύ των δύο parts...	35
Εικόνα 3.6 Εξάρτηση οπλισμών με τα στοιχεία των δοκών και των υποστυλωμάτων .....	36
Εικόνα 3.7: Χρήση διεπιφάνειας «Contact_Automatic_Surface_to_Surface» .....	37

Εικόνα 3.8: Καθολικό Σύστημα συντεταγμένων και προσανατολισμός μελών βάσει αυτού .....	37
Εικόνα 4.1: 1 <sup>η</sup> ιδιομορφή Γυμνού πλαισίου '70.....	39
Εικόνα 4.2: 1 <sup>η</sup> ιδιομορφή Τοιχοπληρωμένου πλαισίου '70.....	39
Εικόνα 4.3: 1 <sup>η</sup> ιδιομορφή πλαισίου '70 με ύπαρξη PILOTIS .....	39
Εικόνα 4.4: 1 <sup>η</sup> ιδιομορφή Γυμνού πλαισίου '90.....	40
Εικόνα 4.5: 1 <sup>η</sup> ιδιομορφή Τοιχοπληρωμένου πλαισίου '90.....	40
Εικόνα 4.6: 1 <sup>η</sup> ιδιομορφή πλαισίου '90 με ύπαρξη PILOTIS .....	40
Εικόνα 4.7: Διάγραμμα Επιβαλλόμενης μετακίνησης (m) συναρτήσει του χρόνου (sec).....	41
Εικόνα 4.8: Εφαρμοζόμενοι επαυξητικοί συντελεστές για την προσομοίωση της τριγωνικής κατανομής .....	42
Εικόνα 4.9: Υπερωθητική καμπύλη πλαισίου '70 για την περίπτωση (α) Γυμνού, (β) Τοιχοπληρωμένου και (γ) Pilotis .....	43
Εικόνα 4.10: Υπερωθητική καμπύλη πλαισίου '90 για την περίπτωση (α) Γυμνού, (β) Τοιχοπληρωμένου και (γ) Pilotis .....	43
Εικόνα 4.11: Υπερωθητική καμπύλη πλαισίων '70 και '90 για την περίπτωση (α) Γυμνού, (β) Τοιχοπληρωμένου και (γ) Pilotis .....	43
Εικόνα 4.12: Καμπύλη Τέμνουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής γυμνών πλαισίων '70 και '90 .....	45
Εικόνα 4.13: Βλάβες σε στοιχεία δοκών-υποστυλωμάτων για μετακίνηση $d=0.034m$ ( $t=0.14sec$ ) .....	45
.....	45
Εικόνα 4.14: Οπλισμοί δοκών 5 <sup>ου</sup> και 6 <sup>ου</sup> ορόφου που έχουν διαρρεύσει για μετακίνηση $d=0.11m$ ( $t=0.21sec$ ) .....	46
Εικόνα 4.15: Διαγράμματα αξονικών τάσεων-χρόνου για τους οπλισμούς που έχουν διαρρεύσει για μετακίνηση $d=0.11m$ ( $t=0.21sec$ ).....	46
Εικόνα 4.16: Βλάβες στοιχείων για μετακίνηση $d=0.308m$ ( $t=0.40sec$ ) .....	47
Εικόνα 4.17: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης για μετακίνηση $d=0.308m$ ( $t=0.40sec$ ) και displacement scale factor= 10. ....	47
Εικόνα 4.18: Αναπτυσσόμενες τάσεις στο δεξιό υποστύλωμα του 4 <sup>ου</sup> φανώματος του 1 <sup>ου</sup> ορόφου συναρτήσει του χρόνου του Πλαισίου '70 .....	48

Εικόνα 4.19: Αναπτυσσόμενες τάσεις στη δοκό του 4 <sup>ου</sup> φατνώματος του 5 <sup>ου</sup> ορόφου συναρτήσεως του χρόνου του πλαισίου '70 .....	48
Εικόνα 4.20: Βλάβες στοιχείων δοκών-υποστυλωμάτων για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.019m (t=0.13 sec), .....	49
Εικόνα 4.21: Διάγραμμα αξονικών τάσεων-χρόνου των οπλισμών που διέρρευσαν για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.019m (t=0.13 sec), .....	49
Εικόνα 4.22: Βλάβες στοιχείων (δοκών-υποστυλωμάτων) για μετακίνηση οροφής ίση με 0.352m (t=0.40 sec) Πλαισίου '90 με displacement scale factor = 10 .....	50
Εικόνα 4.23: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης για μετακίνηση οροφής ίση με 0.352m (t=0.40 sec) Πλαισίου '90 .....	50
Εικόνα 4.24: Αναπτυσσόμενες τάσεις στο δεξιό υποστύλωμα του 4 <sup>ου</sup> φατνώματος του 1 <sup>ου</sup> ορόφου συναρτήσεως του χρόνου του Πλαισίου '90 .....	51
Εικόνα 4.25: Καμπύλη Τέμνουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής πλαισίου '70 για την περίπτωση ασθενούς(1MPa) και ισχυρού τοίχου(2MPa).....	52
Εικόνα 4.26: Καμπύλη Τέμνουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής πλαισίου '90 για την περίπτωση ασθενούς(1MPa) και ισχυρού τοίχου(2MPa).....	52
Εικόνα 4.27: Οπλισμοί δοκών 4 <sup>ου</sup> φατνώματος του 1 <sup>ου</sup> ορόφου που έχουν διαρρεύσει για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.082m (t=0.19sec).....	53
Εικόνα 4.28: Διάγραμμα αξονικών τάσεων-χρόνου οπλισμών που διέρρευσαν για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.082m (t=0.19sec) .....	53
Εικόνα 4.29: Βλάβες στοιχείων (δοκών-υποστυλωμάτων) για μετακίνηση οροφής ίση με 0.082m (t=0.19 sec) Πλαισίου '70 .....	54
Εικόνα 4.30: Εμφανιζόμενες βλάβες σε δοκούς και υποστυλώματα πλαισίου '70 για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.29 m (t=0.385 sec) .....	55
Εικόνα 4.31: Παραμορφωμένη κατάσταση δοκών και υποστυλωμάτων πλαισίου '70 για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.29 m (t=0.385 sec) .....	55
Εικόνα 4.33: Διάγραμμα Ελάχιστων Κύριων τάσεων συναρτήσεως της σχετικής μετακίνησης ορόφου του 1 <sup>ου</sup> υποστυλώματος οροφής ισογείου του πλαισίου '70	56
Εικόνα 4.34: Ρωγμές που έχουν αναπτυχθεί στην τοιχοπλήρωση του '70 για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.29 m (t=0.385 sec). .....	56
Εικόνα 4.35: Παραμορφωμένη κατάσταση τοιχοπληρωμένου πλαισίου '70 στον t=0.385 sec.για displacement scale factor=10 .....	57

Εικόνα 4.36: Διάγραμμα $F_{\theta\lambda\upsilon\pi\tau\eta\rho\alpha}-\delta$ για το $1^\circ$ και το $4^\circ$ φάτνωμα του ισογείου του '70 .....	57
Εικόνα 4.37: Διάγραμμα $\theta-\delta$ $1^{ou}$ και $4^{ou}$ φαντώματος ισογείου κτιρίου '70 .....	58
Εικόνα 4.38.: Θέση του θλιπτήρα α) στο $1^\circ$ και β) $4^\circ$ φάτνωμα του ισογείου του Πλαισίου '70 .....	58
Εικόνα 4.39: Οπλισμοί που διέρρευσαν για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.069m (t=0.19 sec) .....	59
Εικόνα 4.40: Διάγραμμα αξονικών τάσεων-χρόνου οπλισμών που διέρρευσαν για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.069m (t=0.19 sec) .....	59
Εικόνα 4.41: Βλάβες που εμφανίζονται στα στοιχεία δοκών-υποστυλωμάτων για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.28m (t=0.39 sec) .....	60
Εικόνα 4.42: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.28m (t=0.39 sec) και για displacement scale factor=10.....	60
Εικόνα 4.43: Διάγραμμα Ελάχιστων Κύριων τάσεων συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου του $5^{ou}$ υποστυλώματος οροφής ισογείου του πλαισίου '90	61
Εικόνα 4.44: Ρωγμές στην τοιχοπλήρωση μαζί με τις ελάχιστες κύριες τάσεις για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.28m (t=0.39 sec) .....	62
Εικόνα 4.45: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης δοκών-πλαισίων-τοιχοπλήρωσης για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.28m (t=0.39 sec).....	62
Εικόνα 4.46: Διάγραμμα $F_{\theta\lambda\upsilon\pi\tau\eta\rho\alpha}-\delta$ για το $1^\circ$ και το $4^\circ$ φάτνωμα του ισογείου του '90 .....	63
Εικόνα 4.47: Διάγραμμα $\theta-\delta$ για το $1^\circ$ και το $4^\circ$ φάτνωμα του ισογείου του '90.....	64
Εικόνα 4.48: Θέση του θλιπτήρα α) στο $1^\circ$ και β) $4^\circ$ φάτνωμα του ισογείου του Πλαισίου '90 .....	64
Εικόνα 4.49: Διάγραμμα Τέμνουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής για ισχυρή και ασθενή τοιχοπλήρωση πλαισίου PILOTIS '70 .....	65
Εικόνα 4.50: Διάγραμμα Τέμνουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής για ισχυρή και ασθενή τοιχοπλήρωση πλαισίου PILOTIS '90 .....	65
Εικόνα 4.51: Βλάβες που εμφανίζονται στα στοιχεία δοκών-υποστυλωμάτων για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.098 m (t=0.39sec) .....	67
Εικόνα 4.52: Ρωγμές τοιχοπλήρωσης Pilotis '70 για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.098 m (t=0.39sec) .....	67

Εικόνα 4.53: Βλάβες σε δοκούς και υποστυλώματα για πλευρική μετακίνηση $\delta=0.268\text{m}$ ( $t=0.355\text{sec}$ ) .....	68
Εικόνα 4.54: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης δοκών και υποστυλωμάτων για πλευρική μετακίνηση $\delta=0.268\text{m}$ ( $t=0.355\text{sec}$ ) πλαισίου με PILOTIS '70 (displacement scale factor=10).....	68
Εικόνα 4.55: Διάγραμμα Ελάχιστων Κύριων τάσεων συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου της 1 <sup>ης</sup> δοκού του 1 <sup>ου</sup> ορόφου του πλαισίου '70 με PILOTIS...	69
Εικόνα 4.56: Διάγραμμα Ελάχιστων Κύριων τάσεων συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου του 5 <sup>ου</sup> υποστυλώματος οροφής ισογείου του πλαισίου '70 με PILOTIS .....	69
Εικόνα 4.57: Ρωγμές τοιχοπλήρωσης PILOTIS '70 για πλευρική μετακίνηση $\delta=0.268\text{m}$ ( $t=0.355\text{sec}$ ) .....	70
Εικόνα 4.58: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης PILOTIS '70 για πλευρική μετακίνηση $\delta=0.268\text{m}$ ( $t=0.355\text{sec}$ ) .....	70
Εικόνα 4.59: Διάγραμμα αξονικών τάσεων-χρόνου οπλισμών που διέρρευσαν στο βήμα $t= 0.19\text{sec}$ .....	71
Εικόνα 4.60: Βλάβες που εμφανίζονται στα στοιχεία δοκών-υποστυλωμάτων για πλευρική μετακίνηση ίση με $0.068\text{ m}$ ( $t=0.19\text{sec}$ ) .....	72
Εικόνα 4.61: Ρωγμές τοιχοπλήρωσης PILOTIS '90 για πλευρική μετακίνηση ίση με $0.068\text{ m}$ ( $t=0.19\text{sec}$ ) .....	72
Εικόνα 4.62: Βλάβες στοιχείων δοκών-υποστυλωμάτων PILOTIS '90 για μετακίνηση κορυφής ίση με $0.276\text{m}$ ( $t=0.395\text{sec}$ ).....	73
Εικόνα 4.63: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης δοκών-υποστυλωμάτων PILOTIS '90 για μετακίνηση κορυφής ίση με $0.276\text{m}$ ( $t=0.395\text{sec}$ ) (displacement scale factor=10).....	73
Εικόνα 4.64: Διάγραμμα Ελάχιστων Κύριων τάσεων συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου του 5 <sup>ου</sup> υποστυλώματος οροφής ισογείου του πλαισίου '90 με PILOTIS .....	74
Εικόνα 4.65: Ρωγμές τοιχοπληρώσεων PILOTIS '90 για μετακίνηση κορυφής ίση με $0.276\text{m}$ ( $t=0.395\text{sec}$ ) .....	74
Εικόνα 4.66: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης PILOTIS '90 για μετακίνηση κορυφής ίση με $0.276\text{m}$ ( $t=0.395\text{sec}$ ).....	74

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Διαστάσεις υποστυλωμάτων και τοιχοπληρώσεων πλαισίου '70.....	22
Πίνακας 2.2: Διαμήκεις οπλισμοί δοκών καθ ύψος Πλαισίου '70.....	23
Πίνακας 2.3: Διαμήκεις οπλισμοί υποστυλωμάτων καθ ύψος Πλαισίου '70.....	24
Πίνακας 2.4: Διαστάσεις υποστυλωμάτων και τοιχοπληρώσεων πλαισίου '90.....	27
Πίνακας 2.5: Διαμήκεις οπλισμοί δοκών καθ ύψος Πλαισίου '90.....	28
Πίνακας 2.6: Διαμήκεις οπλισμοί υποστυλωμάτων καθ ύψος Πλαισίου '90.....	28
Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα Ιδιομορφικής Ανάλυσης γυμνού πλαισίου '70 και '90 .	38
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα Ιδιομορφικής Ανάλυσης τοιχοπληρωμένου πλαισίου '70 και '90 .....	38
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα Ιδιομορφικής Ανάλυσης πλαισίου τύπου Pilotis '70 και '90 .....	38
Πίνακας 4.4: Μέγιστες επιβαλλόμενες μετακινήσεις σε κάθε όροφο για κάθε εξεταζόμενο πλαίσιο .....	42
Πίνακας 4.5: Τέμνουσα βάσης με αντίστοιχη μετατόπιση κορυφής κάθε εξεταζόμενου πλαισίου .....	44
Πίνακας 4.6: Μέγιστες μετακινήσεις πλαισίων στον χρόνο τερματισμού της Υπερωθητικής Ανάλυσης.....	44
Πίνακας 4.7: Μέγιστες τιμές Τέμνουσας βάσης-μετακίνηση κορυφής για κάθε αντοχή τοιχοπλήρωσης για κάθε πλαίσιο .....	52
Πίνακας 4.8: Μέγιστες τιμές τεμνουσών βάσης και αντίστοιχης μετατόπισης κορυφής στο χρονικό βήμα $t=0.4\text{sec}$ .....	65

# Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

## 1.1 Θεωρητικό υπόβαθρο τοιχοποιίας

Στη σημερινή εποχή οι εμφανιζόμενες τοιχοπληρώσεις χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΟΣ) με κύριο σκοπό την μερική ή ολική πλήρωση των περιμετρικών φατνωμάτων. Στην περίπτωση αυτή, η τοιχοπλήρωση ονομάζεται εξωτερική. Εάν χρησιμοποιείται για την εσωτερική διαμόρφωση του κτιρίου, δηλαδή τα χωρίσματα των επιμέρους χώρων, τότε ονομάζεται εσωτερική.

Σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, οι τοιχοπληρώσεις δεν παραλαμβάνουν κατακόρυφα ή οριζόντια φορτία και δεν σχεδιάζονται ως αντισεισμικά φέροντα στοιχεία, αλλά λαμβάνονται υπ' όψιν σαν φορτίο σε συνδυασμούς κατακορύφων και /ή σεισμό. Για το λόγο αυτό, κατασκευάζονται αφού πρώτα ολοκληρωθεί η κατασκευή των πλαισίων.

Για την ασφάλεια της κατασκευής, οι τοιχοπληρώσεις θα πρέπει να καλύπτουν ορισμένες απαιτήσεις. Σχετικά με τη δομική ευστάθεια, οι τοιχοπληρώσεις θα πρέπει να μελετώνται σύμφωνα με τις προδιαγραφές των ισχυόντων κανονισμών ώστε να εξασφαλίζεται η μη κατάρρευσή της (αστοχία εντός ή/ και εκτός επιπέδου) αλλά και να περιορίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο η εμφάνιση βλαβών. Πέραν όμως από κατασκευαστικές απαιτήσεις, οι τοιχοπληρώσεις θα πρέπει να παρέχουν πυρασφάλεια, θερμική άνεση, ηχομόνωση, υγραμόνωση και ανθεκτικότητα. Η συμμόρφωση με όλες τις παραπάνω απαιτήσεις είναι επιτακτική για την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα της κατασκευής.

Υπάρχουν αρκετά υλικά από τα οποία μπορεί να συντεθεί η τοιχοπλήρωση. Το βασικότερο εξ αυτών, είναι οι οπτόπλινθοι, δηλαδή μίγμα πηλού και νερού ψημένα σε θερμοκρασία 800-1000 βαθμών Κελσίου. Με βάση τις διαστάσεις των πλίνθων, τη θέση και τον προσανατολισμό τους, η τοιχοπλήρωση κατηγοριοποιείται σε

- α) Ορθοδρομική στην οποία ο τοίχος έχει πάχος 6 εκατοστά
- β) Δρομική πάχους 9 εκατοστών (Εικόνα 1.1) ,
- γ) Δρομική πάχους 12 εκατοστών (Εικόνα 1.2),
- δ) Μπατική στην οποία ο τοίχος έχει πάχος όσο το μήκος του πλίνθου, δηλαδή 19 εκατοστά (Εικόνα 1.3),
- ε) Υπερμπατική στην οποία ο τοίχος έχει πάχος 29 εκατοστά δηλαδή όσο ένας δρομικός και ένας μπατικός μαζί (Εικόνα 1.4). Η συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμόζεται κυρίως σε περιπτώσεις φέρουσας τοιχοποιίας αν και δεν θεωρείται ιδιαίτερα συχνή και

- στ) Ψαθωτή στην οποία υπάρχει κενό στο εσωτερικό της. Αποτελείται από δύο σειρές οπτόπλινθων εγκαρσίως τοποθετημένων οι οποίοι ανά αποστάσεις συνδέονται μεταξύ τους με οπτόπλινθους που τοποθετούνται κάθετα. Στις μέρες μας το είδος αυτό θεωρείται απαρχαιωμένο.
- ζ) Με διάκενο. Παραλλαγή της προηγούμενης, χωρίς καμιά σύνδεση των δύο φύλλων δόμησης, για την τοποθέτηση θερμομόνωσης και / ή την απόσυρση συρόμενων κουφωμάτων. Τεχνικοί λόγοι καθώς και οι βλάβες τους κατά τον σεισμό της Αθήνας (1999) τείνουν να εξαλειφθούν, αν και έχουν χρησιμοποιηθεί συστηματικά στη γενιά 1970 – 80.

Η εσωτερική τοιχοπλήρωση είναι συνήθως δρομική ενώ η εξωτερική είναι μπατική.



Εικόνα 1.1: Δρομική τοιχοποιία πάχους 9 εκατοστών



Εικόνα 1.2: Δρομική τοιχοποιία πάχους 12 εκατοστών



Εικόνα 1.3: Μπατική τοιχοποιία πάχους 19 εκατοστών



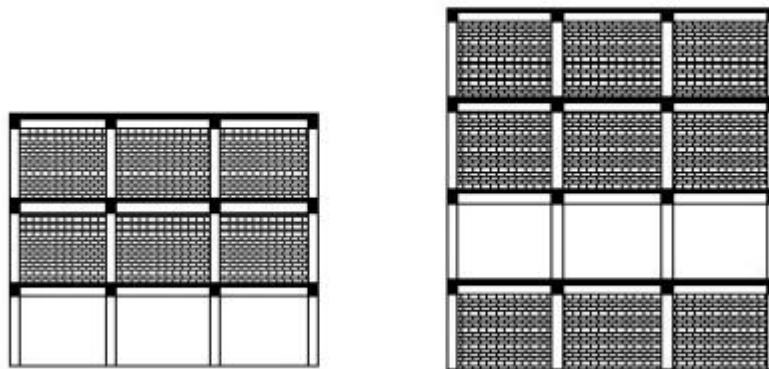
Εικόνα 1.4: Υπερμπατική τοιχοποιία πάχους 29 εκατοστών

## 1.2 Επιρροή της τοιχοπλήρωσης στο φέροντα οργανισμό

Η επίδραση της τοιχοπλήρωσης στη σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών έχει αποτελέσει κατά καιρούς αντικείμενο συνεχούς έρευνας καθώς δεν μπορεί να θεωρηθεί αμιγώς θετική ή αρνητική. Σαφώς η ενσωμάτωσή της αυξάνει την υπεραντοχή και την πλευρική δυσκαμψία των κτιρίων αλλά δεν αποκλείεται να συμβάλει στο σχηματισμό μηχανισμού ορόφου ή/και στρεπτικών φαινομένων εάν η κατανομή τους δεν είναι ομοιόμορφη. Για το λόγο αυτό, η διάταξή τους σε κάτοψη και τομή θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ομοιόμορφη χωρίς απότομες μεταβολές



κατά πλάτος και ασυνέχειες καθ' ύψος. Εξαιτίας όμως, κυρίως, των αρχιτεκτονικών περιορισμών, η διάταξη των τοιχοπληρώσεων σπάνια πληροί όλες τις προϋποθέσεις για να θεωρηθεί ομοιόμορφη. Έτσι, η απότομη αύξηση της διατμητικής αντοχής ενός ορόφου, έχει ως συνέπεια την παρεμποδιζόμενη παραμόρφωση του εν λόγω ορόφου και τη συγκέντρωση των μετακινήσεων στους μη τοιχοπληρωμένους ορόφους. Κατά συνέπεια, δημιουργείται μηχανισμός με πλαστικές αρθρώσεις στην κορυφή και τη βάση του λιγότερο έως καθόλου τοιχοπληρωμένου ορόφου, ο οποίος από ένα σημείο και μετά δεν μπορεί να φέρει τα κατακόρυφα φορτία και αστοχεί. Ορισμένες περιπτώσεις ανομοιομορφίας της τοιχοπλήρωσης φαίνονται στην Εικόνα 1.5.



Εικόνα 1.5: Δυσμενής διάταξη τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος

Πέραν όμως, από την ασυνέχεια των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος των ορόφων, υπάρχει η πιθανότητα διακοπής τους εντός του φαντώματός τους, λόγω ύπαρξης ανοιγμάτων (πόρτες και παράθυρα) με αποτέλεσμα τη δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων ή δοκών, μικρής καμπτικής λυγηρότητας και αυξημένης δυσκαμψίας που καταπονούνται σημαντικά κατά τη διάρκεια της σεισμικής φόρτισης. Κυρίως τέτοια στοιχεία αστοχούν διατμητικά μέσω της διαμόρφωσης δισδιαγώνιων ρωγμών χωρίς προειδοποίηση.

Τοπικές αστοχίες μπορεί να δημιουργηθούν και στην περίπτωση μεγάλης διαφοράς στην αντοχή μεταξύ των πλαισίων και των τοιχοπληρώσεων. Ασθενή πλαίσια που εμφανίζονται με ισχυρές τοιχοπληρώσεις, μπορεί να υποβληθούν σε μεγάλα διατμητικά φορτία προερχόμενα από τον τοίχο τα οποία αδυνατούν να φέρουν. Επίσης, επακόλουθο του αδύναμου πλαισίου έναντι της ισχυρής τοιχοπλήρωσης είναι η μεταφορά της ρηγμάτωσης που μπορεί να αναπτυχθεί στην τοιχοπλήρωση εντός του στοιχείου του κόμβου και να επιφέρει την αστοχία του.

Τέλος, δεν είναι η σπάνια η δημιουργία στρεπτικά ευαίσθητου φορέα λόγω της ανομοιόμορφης κατανομής των τοιχοπληρώσεων στην κάτοψη που προκαλεί

μονομερή συγκέντρωση της δυσκαμψίας και απομάκρυνση του κέντρου της από το κέντρο μάζας.

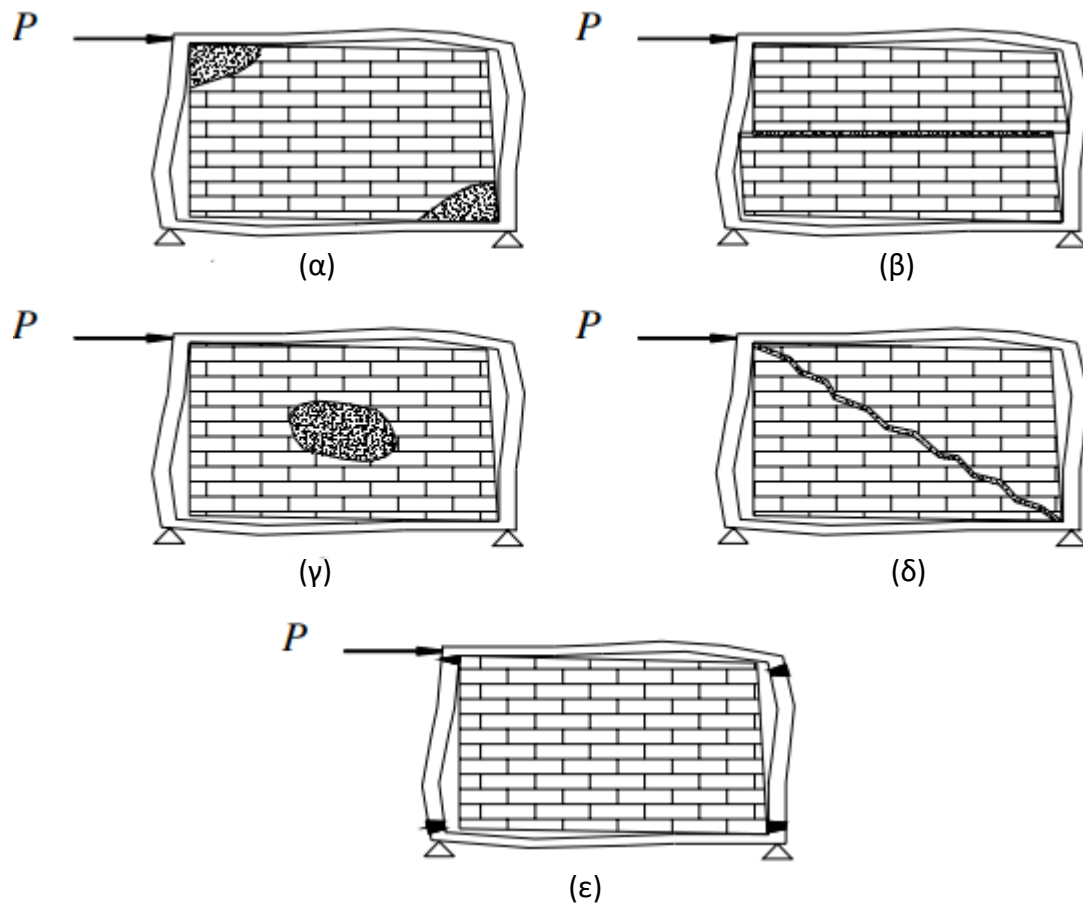
### 1.3 Συμπεριφορά της Τοιχοπλήρωσης υπό οριζόντια μετακίνηση

Είναι γνωστό πως η τοιχοπλήρωση δεν λαμβάνεται υπ' όψιν στο σχεδιασμό, με αποτέλεσμα η αλληλεπίδραση μεταξύ πλαισίων-τοιχοπλήρωσης να αγνοείται. Καθώς βρίσκεται υπό οριζόντια φόρτιση και στο βαθμό που δεν είναι απομονωμένη επαρκώς από το περιβάλλον φάτνωμα, η τοιχοπλήρωση συμμετέχει στη μεταφορά του φορτίου στα πλαίσια, έχοντας ως απόρροια τη συγκέντρωση υψηλών τάσεων στις περιοχές των κόμβων. Οι κύριες θλιπτικές τάσεις, σχηματίζουν μία θλιβόμενη ζώνη που έχει την κατεύθυνση της διαγωνίου.

Από πειραματικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, η αστοχία της τοιχοπλήρωσης μπορεί να εμφανιστεί με τις εξής μορφές:

1. Αστοχία στις γωνίες της τοιχοπλήρωσης-Corner Crushing Mode (Εικόνα 1.6α). Η συγκεκριμένη αστοχία εμφανίζεται συνήθως σε ασθενείς τοιχοπληρώσεις εμφανωμένες σε ισχυρά πλαίσια των οποίων όμως οι κόμβοι παρουσιάζουν σχετική αδυναμία.
2. Αστοχία λόγω διατμητικής ολίσθησης-Sliding Shear Mode(Εικόνα 1.6β).Η εν λόγω αστοχία μπορεί να προκύψει στις περιπτώσεις ασθενούς κονιάματος τοιχοπλήρωσης και ισχυρού περιβάλλοντος πλαισίου.
3. Αστοχία στην κεντρική περιοχή-Diagonal Cracking Mode (Εικόνα 1.6γ). Λυγηρές τοιχοπληρώσεις μπορούν να εμφανίσουν αυτής της μορφής αστοχία η οποία καταλήγει σε εκτός επιπέδου λυγισμό (ειδικά οι πληρώσεις με διάκενο). Βέβαια η εν λόγω μορφή αστοχίας είναι σπάνια στην εμφάνισή της καθώς οι συνήθεις διαστάσεις τοιχοπληρώσεων που εφαρμόζονται για την ικανοποίηση των απαραίτητων απαιτήσεων δεν παρουσιάζουν υψηλό βαθμό λυγηρότας.
4. Ρωγμή εγκάρσιως της θλιβόμενης διαγωνίου-Diagonal Cracking Mode (Εικόνα 1.6δ). Έχουμε σχηματισμό μίας διαγώνιας συνεχούς ή κλιμακωτής ρωγμής που συνδέει τους δύο διαγώνιους φορτιζόμενους κόμβους. Ασθενές πλαίσιο με ασθενούς κόμβους και ισχυρές τοιχοπληρώσεις, μπορεί να οδηγήσουν και τέτοιου είδους αστοχία. Βέβαια, ακόμα και μετά το σχηματισμό ρωγμών οι τοιχοπληρώσεις εξακολουθούν NA μπορούν να φέρουν φορτία και σπάνια καταλήγουν σε αστοχία.
5. Αστοχία πλαισίου-Frame Failure Mode (Εικόνα 1.6ε) με το σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα ή στη σύνδεση δοκών-υποστυλωμάτων. Όπως και η Αστοχία θλιβόμενης διαγωνίου, συνδέεται με την

ύπαρξη ασθενούς πλαισίου με ασθενείς κόμβους και ισχυρές τοιχοπληρώσεις. Η εν λόγω μορφή αστοχίας συνδέεται συνήθως σε φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα καθώς σε μεταλλικούς φορείς σπάνια εμφανίζεται.



Εικόνα 1.6: Μορφές αστοχίας τοιχοπλήρωσης α) Αστοχία στις γωνίες της τοιχοπλήρωσης β) Αστοχία λόγω διατμητικής ολίσθησης γ) Αστοχία στην κεντρική περιοχή δ) Ρωγμή θλιβόμενης διαγωνίου ε) Αστοχία πλαισίου

## 1.4 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Σε προηγούμενη διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε από τον κο Σταθόπουλο Χαράλαμπο, πολιτικό μηχανικό Ε.Μ.Π, διερευνήθηκε με σύνθετα αναλυτικά εργαλεία μη γραμμικής ανάλυσης με χωρικά πεπερασμένα στοιχεία η επίδραση της τοιχοπλήρωσης στην σεισμική απόκριση ενός τυπικού υφιστάμενου 5ώροφου πλαισίου σχεδιασμένου με τον Κανονισμό του '59 ([2]). Το εν λόγω πλαίσιο αποτελούνταν από υποστυλώματα διατομής 0.35x0.35m στη στάθμη του ισογείου και 0.30x0.30m στους υπόλοιπους ορόφους. Οι δοκοί ήταν διαστάσεων 0.20x0.50m σε όλους τους ορόφους. Το τυπικό φάνωμα του ισογείου είχε μήκος ίσο με 3.20m και ύψος 2.5. Η μελέτη αυτή έδειξε πως η αντοχή και η δυσκαμψία της κατασκευής ήταν σαφώς μεγαλύτερα στην περίπτωση του τοιχοπληρωμένου πλαισίου απ' ότι στο γυμνό. Το τοιχοπληρωμένο πλαίσιο με πυλωτή παρουσίασε μηχανισμό μαλακού

ορόφου στο ισόγειο λόγω της δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα και καταπόνησης των κόμβων.

Ορμώμενη, λοιπόν, από τις διαπιστώσεις αυτές σε ένα πλαίσιο με τις προαναφερθέντες διαστάσεις, θεωρήθηκε σκόπιμη στην παρούσα η περεταίρω διερεύνηση της επιρροής της τοιχοπλήρωσης στη σεισμική απόκριση, θεωρώντας σε αυτή την εργασία δύο διαφορετικά επίπεδα πλαίσια τα οποία: α) είναι σχεδιασμένα με νέους και παλιούς κανονισμούς, β) εμφανίζουν μεγαλύτερο μήκος ανοίγματος του φαντώματος, με περισσότερους ορόφους και με μειούμενη διατομή υποστυλωμάτων καθ' ύψος, τυπικού της τεχνοτροπίας δόμησης της δεκαετίας μετά το 1970 στην Ελλάδα.

Συγκεκριμένα, κάθε ένα από τα εν λόγω πλαίσια, αποτελεί το τυπικό περιμετρικό πλαίσιο κτιρίων κατασκευασμένων το '70 και το '90 αντίστοιχα. Πραγματοποιείται μια συγκριτική αποτίμηση των δύο πλαισίων τόσο μεταξύ τους όσο και μεταξύ των περιπτώσεων του γυμνού, του πλήρως τοιχοπληρωμένου και του πλαισίου με P-ILOTIS. Επίσης, γίνεται καταγραφή της συνολικής τέμνουσας βάσης του κάθε πλαισίου ('70 και '90) στην περίπτωση χρήσης ισχυρής και ασθενούς αντοχής τοιχοπλήρωσης (2 MPa και 1 MPa) ώστε να καταγραφεί η επίδραση της αντοχής της τοιχοπλήρωσης στην συμπεριφορά του φορέα υπό τη δράση των σεισμικών φορτίων.

Για την υλοποίηση όλων των προαναφερθέντων, πραγματοποιείται μοντελοποίηση και ανάλυση με βάση τις μετακινήσεις εφαρμόζοντας το λογισμικό τρισδιάστατων πεπερασμένων στοιχείων LS DYNA.

## 1.6 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο της τοιχοπλήρωσης και στο πώς επιδρά στην επιτελεσματικότητα του φορέα υπό τη δράση σεισμικών φορτίων. Περιγράφεται η συμπεριφορά της τοιχοπλήρωσης υπό οριζόντια μετακίνηση εντός κι εκτός του επιπέδου της και τέλος, αναγράφονται οι συνηθέστεροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να προσομοιωθεί.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γνωστοποιούνται τα χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων πλαισίων. Πιο συγκεκριμένα, καταγράφονται οι διαστάσεις των επιμέρους μελών (δοκών, υποστυλωμάτων και τοιχοπλήρωσης), οι διάμετροι των οπλισμών και δίνονται πληροφορίες για τις ιδιότητες των υλικών. Περιγράφεται ο τρόπος υπολογισμού των φορτίων που λήφθηκαν υπ' όψιν καθώς επίσης και των επιπλέον μαζών από τα εκτός επιπέδου στοιχεία.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο πραγματοποιείται μία γρήγορα αναφορά στο λογισμικό LS DYNA και παρουσιάζεται ο τρόπος εισαγωγής των δεδομένων σε αυτό. Περιγράφεται η διαδικασία της διακριτοποίησης που ακολουθήθηκε και καταγράφονται οι καταστατικοί νόμοι των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος, αναφέρονται οι τρόποι με τους οποίους πραγματοποιήθηκε η σύνδεση των επιμέρους μελών και η εξασφάλιση της συνέχειας.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο καταγράφονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την Ιδιομορφική και την Υπερωθητική ανάλυση των δύο εξεταζόμενων πλαισίων ('70 και '90). Διερευνάται η επίδραση της τοιχοπλήρωσης στην επιτελεστικότητα του φορέα του '70 συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των τριών περιπτώσεων: του γυμνού πλαισίου, του πλήρως τοιχοπληρωμένου και του πλαισίου με PILOTIS τόσο μεταξύ τους όσο και με τα αντίστοιχα του φορέα του '90.

Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα διπλωματική.

Τέλος, στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, καταγράφονται οι βιβλιογραφικές αναφορές.

## Κεφάλαιο 2: Περιγραφή εξεταζόμενων πλαισίων

### 2.1: Γενικά

Τα κτίρια που λήφθηκαν υπ' όψιν, μελετήθηκαν με δύο διαφορετικούς αντισεισμικούς κανονισμούς. Το πρώτο κτίριο αφορά μία τυπική κατασκευή του 1970, σχεδιασμένη με τον αντισεισμικό κανονισμό του '59. Το δεύτερο αφορά μία τυπική κατασκευή του 1990, σχεδιασμένη σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Ελληνικού Αντισεισμικού κανονισμού και Κανονισμού Έργων από Σκυρόδεμα (ΕΑΚ-ΕΚΩΣ). Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάστηκε το περιμετρικό πλαίσιο του κάθε κτιρίου, με σκοπό την αξιολόγηση της επιρροής της εξωτερικής τοιχοπλήρωσης στην συμπεριφορά του φορέα υπό τη δράση των σεισμικών φορτίων. Και τα δύο πλαίσια που μελετήθηκαν, αποτελούνται από τέσσερα φατνώματα κατά μήκος και από επτά επίπεδα καθ' ύψος. Το συνολικό ύψος και των δύο πλαισίων ανέρχεται στα 21.0 m, με σταθερό ύψος ορόφου ίσο με 3,0m.

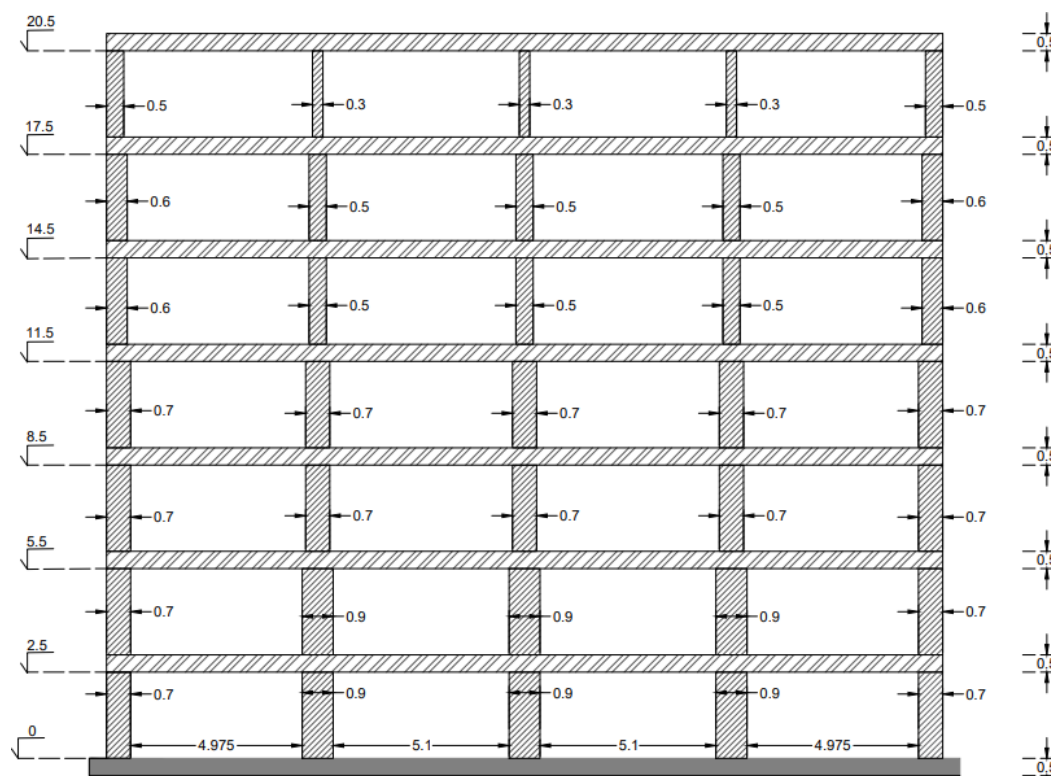
#### 2.1.1 Χαρακτηριστικά πλαισίου "70

- Διαστάσεις Δοκών-υποστυλωμάτων-τοιχοπλήρωσης

Το πλαίσιο '70 έχει εξωτερικές διαστάσεις μήκος x ύψος = 24.25m x 21.0m, ενώ τα ενδιάμεσα ανοίγματα μεταξύ των υποστυλωμάτων μεταβάλλονται καθ' ύψος εξαιτίας της απομειούμενης διατομής των υποστυλωμάτων. Το πάχος των δοκών και των υποστυλωμάτων είναι σταθερό και ίσο με 0.25m. Στην Εικόνα 2.1 φαίνεται το εξεταζόμενο επίπεδο πλαίσιο μαζί με τις διαστάσεις του οι οποίες συνοψίζονται και στον Πίνακα 2.1. Οι δοκοί έχουν σταθερές διαστάσεις 24.25x0.25x0.50.

	Υποστυλώματα (μήκος x πάχος x ύψος)					Τοιχοπλήρωση (μήκος x πάχος x ύψος)			
	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>	3 <sup>ο</sup>	4 <sup>ο</sup>	5 <sup>ο</sup>	1 <sup>ο</sup> φάτνωμα	2 <sup>ο</sup> φάτνωμα	3 <sup>ο</sup> φάτνωμα	4 <sup>ο</sup> φάτνωμα
Ισόγειο	0.70 x 0.25 x 2.50	0.90 x 0.25 x 2.50	0.90 x 0.25 x 2.50	0.90 x 0.25 x 2.50	0.70 x 0.25 x 2.50	4.975 x 0.25 x 2.50	5.10 x 0.25 x 2.50	5.10 x 0.25 x 2.50	4.975 x 0.25 x 2.50
1 <sup>ος</sup> όροφος	0.70 x 0.25 x 2.50	0.90 x 0.25 x 2.50	0.90 x 0.25 x 2.50	0.90 x 0.25 x 2.50	0.70 x 0.25 x 2.50	4.975 x 0.25 x 2.50	5.10 x 0.25 x 2.50	5.10 x 0.25 x 2.50	4.975 x 0.25 x 2.50
2 <sup>ος</sup> όροφος	0.70 x 0.25 x 2.50	0.70 x 0.25 x 2.50	0.70 x 0.25 x 2.50	0.70 x 0.25 x 2.50	0.70 x 0.25 x 2.50	5.075 x 0.25 x 2.50	5.30 x 0.25 x 2.50	5.30 x 0.25 x 2.50	5.075 x 0.25 x 2.50
3 <sup>ος</sup> όροφος	0.70 x 0.25 x 2.50	0.70 x 0.25 x 2.50	0.70 x 0.25 x 2.50	0.70 x 0.25 x 2.50	0.70 x 0.25 x 2.50	5.075 x 0.25 x 2.50	5.30 x 0.25 x 2.50	5.30 x 0.25 x 2.50	5.075 x 0.25 x 2.50
4 <sup>ος</sup> όροφος	0.60 x 0.25 x 2.50	0.50 x 0.25 x 2.50	0.50 x 0.25 x 2.50	0.50 x 0.25 x 2.50	0.60 x 0.25 x 2.50	5.275 x 0.25 x 2.50	5.50 x 0.25 x 2.50	5.50 x 0.25 x 2.50	5.275 x 0.25 x 2.50
5 <sup>ος</sup> όροφος	0.60 x 0.25 x 2.50	0.50 x 0.25 x 2.50	0.50 x 0.25 x 2.50	0.50 x 0.25 x 2.50	0.60 x 0.25 x 2.50	5.275 x 0.25 x 2.50	5.50 x 0.25 x 2.50	5.50 x 0.25 x 2.50	5.275 x 0.25 x 2.50
6 <sup>ος</sup> όροφος	0.50 x 0.25 x 2.50	0.30 x 0.25 x 2.50	0.30 x 0.25 x 2.50	0.30 x 0.25 x 2.50	0.50 x 0.25 x 2.50	5.475 x 0.25 x 2.50	5.70 x 0.25 x 2.50	5.70 x 0.25 x 2.50	5.475 x 0.25 x 2.50

Πίνακας 2.1: Διαστάσεις υποστυλωμάτων και τοιχοπλήρωσεων πλαισίου '70.



Εικόνα 2.1: Όψη περιμετρικού πλαισίου '70 με τις διαστάσεις του

• Διάμετροι οπλισμών

Οι διαμήκεις οπλισμοί των στοιχείων, τόσο δοκών όσο και υποστυλωμάτων διαφοροποιούνταν σε ορισμένες θέσεις κατά μήκος και καθ' ύψος. Στον Πίνακα 2.2 αναγράφονται οι οπλισμοί των δοκών κάτω στα ακραία και τα ενδιάμεσα ανοίγματα καθώς και οι πρόσθετοι οπλισμοί άνω στις περιοχές των στηρίξεων, καθ ύψος των ορόφων. Στον Πίνακα 2.3, αναγράφονται οι οπλισμοί των υποστυλωμάτων. Ως προς τους εγκάρσιους οπλισμούς (συνδετήρες), στην περίπτωση των δοκών χρησιμοποιήθηκαν Φ8/40 και των υποστυλωμάτων 2τμητοι Φ8/15.

Να σημειωθεί, πως εξαιτίας του περιορισμού του κανάβου, αγνοήθηκε η επικάλυψη και χρησιμοποιήθηκε ισοδύναμο εμβαδόν οπλισμών ώστε να ληφθεί υπ' όψιν το πραγματικό εμβαδόν του οπλισμού.

	Κάτω				Πάνω		
	Ακραία Ανοίγματα	Ενδιάμεσα Ανοίγματα	Πρόσθετα		Ακραία Ανοίγματα	Ενδιάμεσα Ανοίγματα	Πρόσθετα
			Ακραία Υποστυλώματα	Ενδιάμεσα Υποστυλώματα			Ενδιάμεσα Υποστυλώματα
1 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ12	5Φ10	5Φ12	1Φ10	2Φ10	2Φ10	2Φ12
2 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ12	5Φ10	8Φ10	1Φ12	2Φ10	2Φ10	2Φ12
3 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ12	5Φ10	5Φ12	1Φ12	2Φ10	2Φ10	2Φ12
4 <sup>ος</sup> όροφος	5Φ10	4Φ10	7Φ10	-	2Φ10	2Φ10	1Φ12
5 <sup>ος</sup> όροφος	5Φ10	4Φ10	5Φ12	-	2Φ10	2Φ10	1Φ12
6 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ10	4Φ10	4Φ12	-	2Φ10	2Φ10	1Φ12
7 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ10	4Φ10	1Φ12	-	2Φ10	2Φ10	-

Πίνακας 2.2: Διαμήκεις οπλισμοί δοκών καθ ύψος Πλαισίου '70

	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>	3 <sup>ο</sup>	4 <sup>ο</sup>	5 <sup>ο</sup>
1 <sup>ο</sup> όροφος	8Φ20	8Φ18 + 2Φ14	8Φ18 + 2Φ14	8Φ18 + 2Φ14	8Φ20
2 <sup>ο</sup> όροφος	8Φ20	8Φ18 + 2Φ14	8Φ18 + 2Φ14	8Φ18 + 2Φ14	8Φ20
3 <sup>ο</sup> όροφος	12Φ16	8Φ16 + 2Φ14	8Φ16 + 2Φ14	8Φ16 + 2Φ14	12Φ16
4 <sup>ο</sup> όροφος	12Φ16	8Φ16 + 2Φ14	8Φ16 + 2Φ14	8Φ16 + 2Φ14	12Φ16
5 <sup>ο</sup> όροφος	6Φ18 + 1Φ20 + 1Φ14	4Φ20 + 2Φ14	4Φ20 + 2Φ14	4Φ20 + 2Φ14	6Φ18 + 1Φ20 + 1Φ14
6 <sup>ο</sup> όροφος	6Φ18 + 1Φ20 + 1Φ14	4Φ20 + 2Φ14	4Φ20 + 2Φ14	4Φ20 + 2Φ14	6Φ18 + 1Φ20 + 1Φ14
7 <sup>ο</sup> όροφος	6Φ16 + 2Φ20	4Φ16	4Φ16	4Φ16	6Φ16 + 2Φ20

Πίνακας 2.3: Διαμήκεις οπλισμοί υποστυλωμάτων καθ ύψος Πλαισίου '70

- Ιδιότητες υλικών

Ο φέρων οργανισμός (υποστυλώματα και δοκοί) είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας αντοχής C20/25 και πυκνότητα  $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$ .

Η τοιχοπλήρωση του πλαισίου είναι μπατική με θλιπτική αντοχή  $f_m = 2.0 \text{ MPa}$ , εφελκυστική αντοχή  $f_t = 0.2 \text{ MPa}$ , πυκνότητα  $\rho = 580 \text{ kg/m}^3$  και μέτρο ελαστικότητας  $E = 2.9 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$ . Ο λόγος Poisson θεωρήθηκε ίσος με  $\nu = 0.25$ .

Οι διαμήκεις οπλισμοί των δοκών και των υποστυλωμάτων είναι S400, έχουν πυκνότητα  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ , μέτρο ελαστικότητας  $E = 2 \times 10^8 \text{ KN/m}^2$ . Ο λόγος Poisson θεωρήθηκε ίσος με  $\nu = 0.30$ . Οι εγκάρσιοι οπλισμοί έχουν αντοχή διαρροής 220 MPa. Οι υπόλοιπες ιδιότητές τους είναι κοινές με αυτές των διαμηκών.

- Φόρτιση επιμέρους στοιχείων πλαισίου

Εντός επιπέδου, το πλαίσιο φορτίστηκε με το ίδιο βάρος του και ταυτόχρονα οι δοκοί έλαβαν και το ίδιο βάρος των τοιχοπληρώσεων που καταλήγει σε αυτές. Εκτός επιπέδου, οι δοκοί φορτίστηκαν με τα φορτία των πλακών και τα υποστυλώματα από τις εγκάρσιες δοκούς που στηρίζονται σε αυτά και φέρουν τα φορτία των πλακών και των τοιχοπληρώσεων.

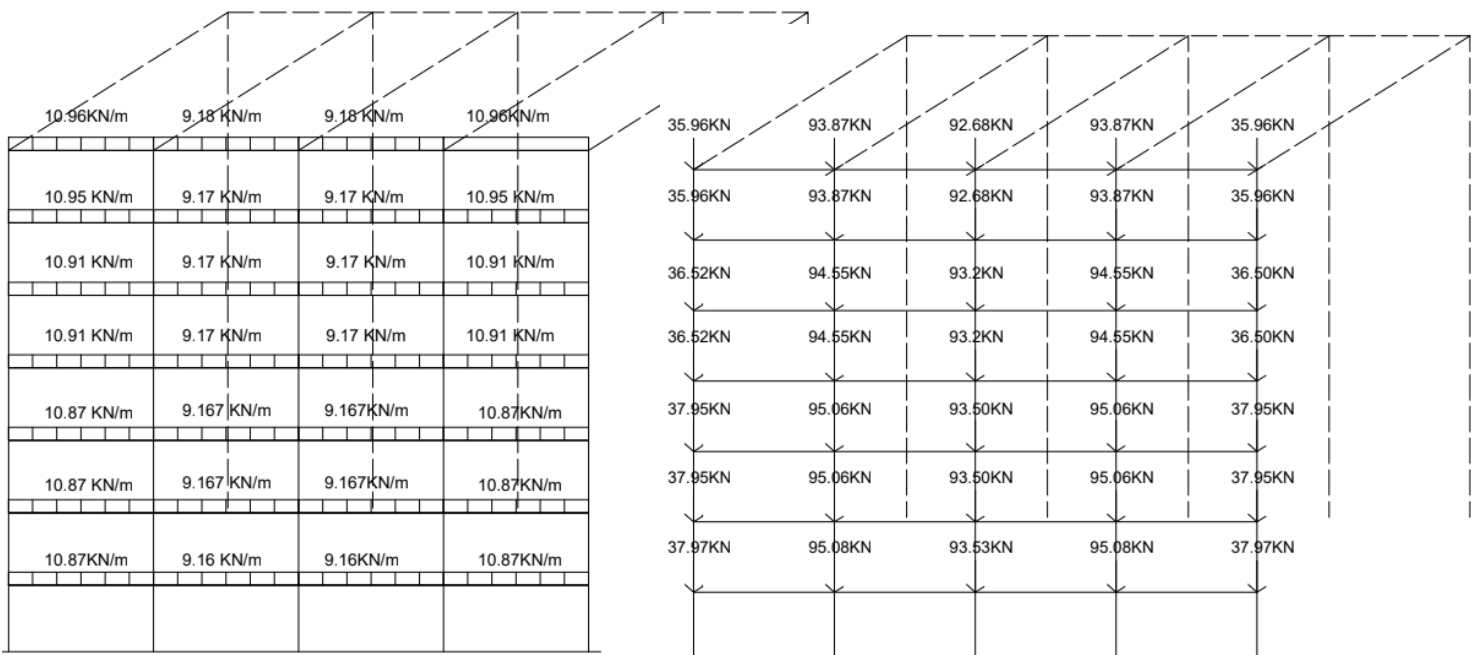
Το ίδιο βάρος των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα (δοκών και υποστυλωμάτων) θεωρήθηκε ίσο με  $\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$ . Για την περιμετρική τοιχοπλήρωση το ίδιο βάρος της λήφθηκε ως  $\gamma = 3.6 \text{ KN/m}^2$ , ενώ για την εσωτερική τοιχοπλήρωση ως  $\gamma = 2.1 \text{ KN/m}^2$ .

Για τα φορτία που προέρχονται από τις πλάκες πάχους  $h = 0.16 \text{ m}$ , θωρήθηκε μόνιμο φορτίο λόγω ίδιου βάρους  $g_{\text{πλ}} = 4 \text{ KN/m}^2$ , πρόσθετο φορτίο λόγω επικάλυψης  $g_{\text{επικ}} = 1.5 \text{ KN/m}^2$  και κινητό φορτίο κατοικίας  $q = 2 \text{ KN/m}^2$ . Με σκοπό την όσο το δυνατόν ακριβέστερη κατανομή των φορτίων των πλακών στις δοκούς του φορέα, χρησιμοποιήθηκαν οι πίνακες Cherny. Να σημειωθεί πως οι ακραίες δοκοί φορτίζονται μόνο από μία πλάκα, ενώ οι ενδιάμεσες και από τις δύο που βρίσκονται εκατέρωθεν. Κατ' αντιστοιχία και για τα υποστυλώματα του πλαισίου. Τα φορτία

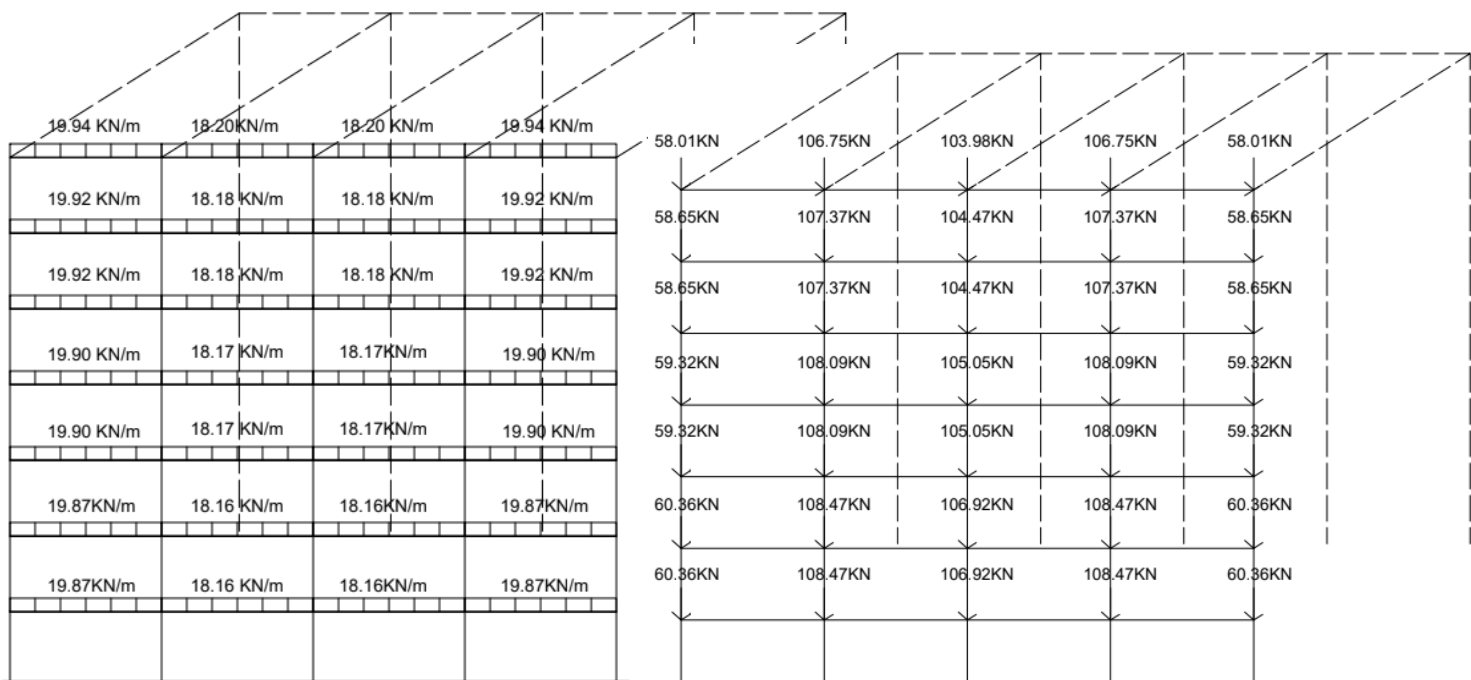


επιβάλλονται κατανεμημένα στις δοκούς από την πλάκα και κατανεμημένα στο υποστύλωμα, από τις εγκάρσιες δοκούς (εκτός επιπέδου) που αγνοούνται στο προσομοίωμα. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν για το σεισμικό συνδυασμό  $G+\psi_2 \times Q$ .

Στις Εικόνες 2.2~2.3 παρουσιάζονται σχηματικά οι φορτίσεις του πλαισίου '70 για την περίπτωση του γυμνού και του τοιχοπληρωμένου αντίστοιχα.

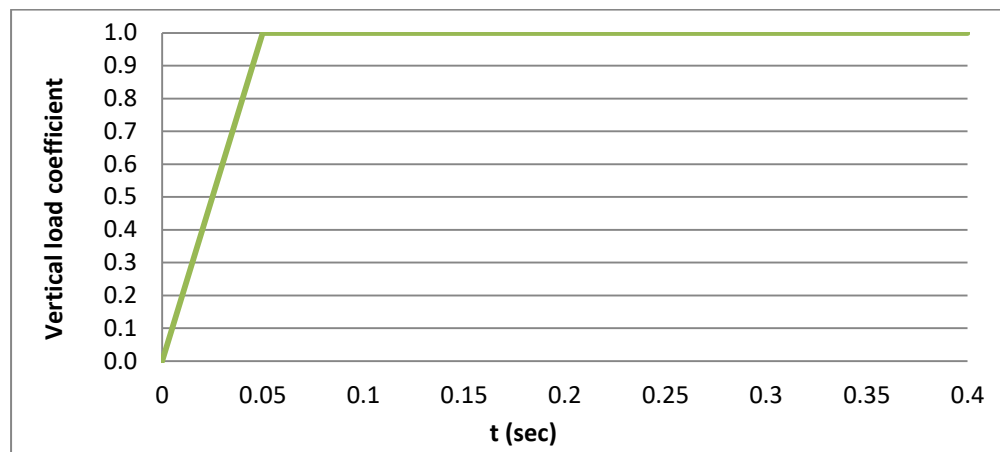


Εικόνα 2.2: Φόρτιση δοκών και υποστυλωμάτων γυμνού πλαισίου '70 λόγω ίδιου βάρους, φορτίων πλακών



Εικόνα 2.3: Φόρτιση δοκών και υποστυλωμάτων τοιχοπληρωμένου πλαισίου '70 λόγω ίδιου βάρους, φορτίων πλακών και τοιχοπλήρωσης

Με σκοπό την προσομοίωση της σταδιακής ρηγμάτωσης του πλαισίου από τα κατακόρυφα φορτία βαρύτητας, χρησιμοποιήθηκε η διγραμμική καμπύλη φόρτισης (ράμπα) που φαίνεται στην Εικόνα 2.4. Η επιβολή της φόρτισης με τα κατακόρυφα φορτία βαρύτητας ξεκινά στο χρονικό βήμα  $t=0$  και ολοκληρώνεται στο  $t=0.05$  sec. Ο συντελεστής 1.0 υποδηλώνει πως το πλαίσιο έχει πλέον φορτιστεί με το συνολικό κατακόρυφο φορτίο που του αναλογεί.



Εικόνα 2.4 Καμπύλη κατακόρυφης φόρτισης πλαισίου

Πέραν, όμως από τη φόρτιση του πλαισίου, τα εν λόγω φορτία θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και ως μάζα. Δεδομένου ότι 1kN ισοδυναμεί με 101.97kg, οι τιμές των επιπλέον μαζών προέκυψαν από τον πολλαπλασιασμό των φορτίων που ήδη παρουσιάστηκαν με τον αριθμό αυτό.

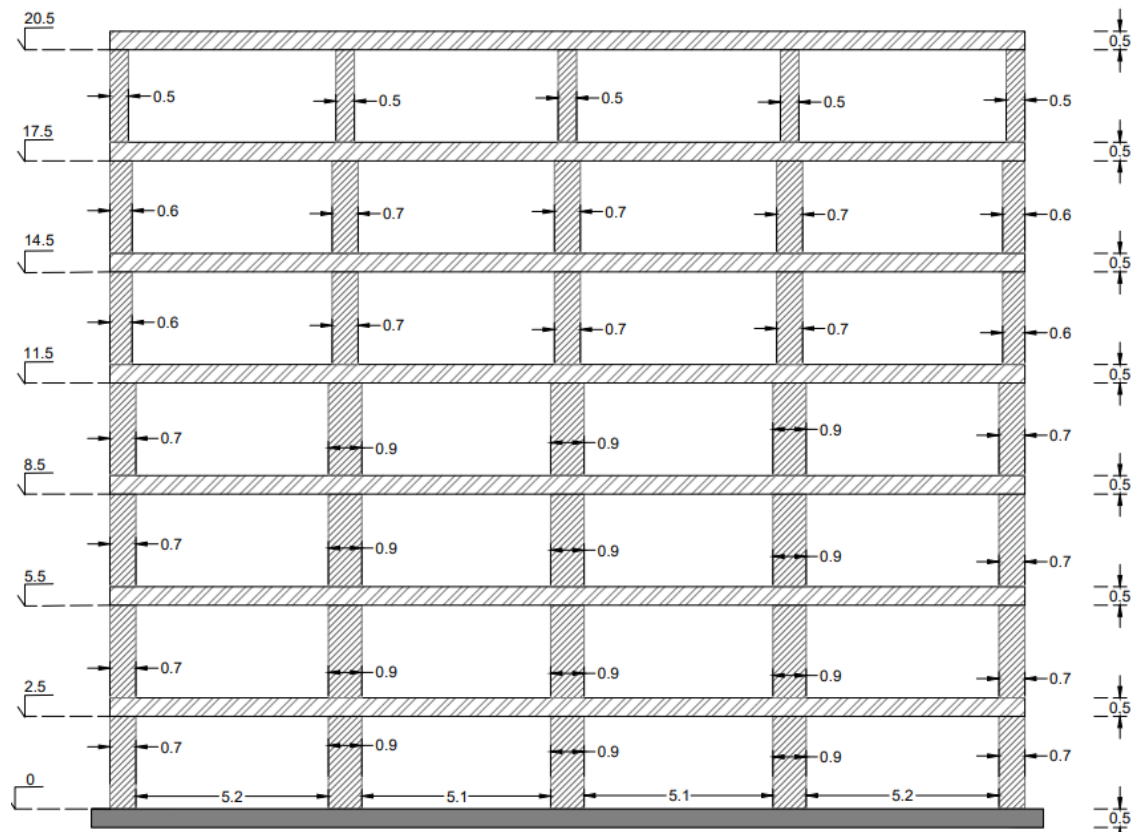
## 2.1.2 Χαρακτηριστικά πλαισίου "90

- Διαστάσεις Δοκών-υποστυλωμάτων-τοιχοπλήρωσης

Το πλαίσιο '90 έχει εξωτερικές διαστάσεις μήκους x ύψους = 24.70m x 21.0m, ενώ τα ενδιάμεσα ανοίγματα μεταξύ των υποστυλωμάτων μεταβάλλονται, κι εδώ, καθ' ύψος εξαιτίας της απομειούμενης διατομής των υποστυλωμάτων. Το πάχος των υποστυλωμάτων είναι σταθερό και ίσο με 0.30m. Στο πρωτότυπο κτίριο, το πάχος ήταν σταθερό και ίσο με 0.25m. Εξαιτίας των περιορισμών του κανάβου, οι δοκοί προσομοιώθηκαν στις περιοχές των ανοιγμάτων με σταθερό πάχος ίσο με 0.20m. Στην Εικόνα 2.5 φαίνεται το εξεταζόμενο πλαίσιο '90 μαζί με τις διαστάσεις του οι οποίες αναγράφονται και στον Πίνακα 2.4. Ως προς τις διαστάσεις των δοκών, αυτές έχουν σταθερό ύψος ίσο με 0.50m ενώ ως προς το μήκος και το πάχος τους στην περιοχή των στηρίξεων ακολουθούν αυτό των υποστυλωμάτων, ενώ στην περιοχή των ανοιγμάτων το πάχος του ισούται με 0.20m και το μήκος τους ισοδυναμεί με αυτό των τοιχοπληρώσεων.

	Υποστυλώματα (μήκος x πάχος x ύψος)					Τοιχοπλήρωση (μήκος x πάχος x ύψος)			
	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>	3 <sup>ο</sup>	4 <sup>ο</sup>	5 <sup>ο</sup>	1 <sup>ο</sup> φάτνωμα	2 <sup>ο</sup> φάτνωμα	3 <sup>ο</sup> φάτνωμα	4 <sup>ο</sup> φάτνωμα
Ισόγειο	0.70 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.70 x 0.30 x 2.50	5.20 x 0.30 x 2.50	5.10 x 0.30 x 2.50	5.10 x 0.30 x 2.50	5.20 x 0.30 x 2.50
1 <sup>ος</sup> όροφος	0.70 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.70 x 0.30 x 2.50	5.20 x 0.30 x 2.50	5.10 x 0.30 x 2.50	5.10 x 0.30 x 2.50	5.20 x 0.30 x 2.50
2 <sup>ος</sup> όροφος	0.70 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.70 x 0.30 x 2.50	5.20 x 0.30 x 2.50	5.10 x 0.30 x 2.50	5.10 x 0.30 x 2.50	5.20 x 0.30 x 2.50
3 <sup>ος</sup> όροφος	0.70 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.90 x 0.30 x 2.50	0.70 x 0.30 x 2.50	5.20 x 0.30 x 2.50	5.10 x 0.30 x 2.50	5.10 x 0.30 x 2.50	5.20 x 0.30 x 2.50
4 <sup>ος</sup> όροφος	0.60 x 0.30 x 2.50	0.70 x 0.30 x 2.50	0.70 x 0.30 x 2.50	0.70 x 0.30 x 2.50	0.60 x 0.30 x 2.50	5.40 x 0.30 x 2.50	5.30 x 0.30 x 2.50	5.30 x 0.30 x 2.50	5.40 x 0.30 x 2.50
5 <sup>ος</sup> όροφος	0.60 x 0.30 x 2.50	0.70 x 0.30 x 2.50	0.70 x 0.30 x 2.50	0.70 x 0.30 x 2.50	0.60 x 0.30 x 2.50	5.40 x 0.30 x 2.50	5.30 x 0.30 x 2.50	5.30 x 0.30 x 2.50	5.40 x 0.30 x 2.50
6 <sup>ος</sup> όροφος	0.50 x 0.30 x 2.50	0.50 x 0.30 x 2.50	0.50 x 0.30 x 2.50	0.50 x 0.30 x 2.50	0.50 x 0.30 x 2.50	5.60 x 0.30 x 2.50	5.50 x 0.30 x 2.50	5.50 x 0.30 x 2.50	5.60 x 0.30 x 2.50

Πίνακας 2.4: Διαστάσεις υποστυλωμάτων και τοιχοπληρώσεων πλαισίου '90



Εικόνα 2.5: Όψη περιμετρικού πλαισίου '90 με τις διαστάσεις του

- Διάμετροι οπλισμών

Στον Πίνακα 2.5 αναγράφονται οι διαμήκεις οπλισμοί των δοκών κάτω στα ακραία και τα ενδιάμεσα ανοίγματα καθώς και οι πρόσθετοι οπλισμοί πάνω στις περιοχές των στηρίξεων, καθ ύψος των ορόφων. Στον Πίνακα 2.6, αναγράφονται οι διαμήκεις οπλισμοί των υποστυλωμάτων. Για τις δοκούς, θεωρήθηκαν συνδετήρες Φ8/10 ενώ για τα υποστυλώματα οι εγκάρσιοι οπλισμοί ήταν 4τμητοι Φ12/10. Να σημειωθεί,

πως και στην περίπτωση του πλαισίου του '90, αγνοήθηκε η επικάλυψη λόγω περιορισμού του κανάβου, και χρησιμοποιήθηκε ισοδύναμο εμβαδόν οπλισμών ώστε να ληφθεί υπ' όψιν το πραγματικό μήκος του οπλισμού.

	Κάτω				Πάνω			
	Ακραία Ανοίγματα	Ενδιάμεσα Ανοίγματα	Πρόσθετα		Ακραία Ανοίγματα	Ενδιάμεσα Ανοίγματα	Πρόσθετα	
			Ακραία Υποστυλώματα	Ενδιάμεσα Υποστυλώματα			Ακραία υποστυλώματα	Ενδιάμεσα Υποστυλώματα
1 <sup>ος</sup> όροφος	5Φ12	4Φ12	4Φ12	1Φ12	2Φ14	2Φ14	5Φ14	3Φ14
2 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ12	4Φ12	5Φ14	2Φ12	3Φ12	2Φ14	5Φ16	4Φ14
3 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ12	4Φ12	4Φ16	3Φ14	3Φ12	3Φ12	5Φ16	4Φ14
4 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ12	4Φ12	5Φ14	2Φ14	2Φ14	2Φ14	6Φ14	4Φ14
5 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ12	4Φ12	1Φ12	-	2Φ14	2Φ14	5Φ14	4Φ12
6 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ12	4Φ12	-	-	2Φ12	2Φ12	6Φ12	2Φ16
7 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ12	4Φ12	-	-	2Φ12	-	2Φ12	-

Πίνακας 2.5: Διαμήκεις οπλισμοί δοκών καθ ύψος Πλαισίου '90

	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>	3 <sup>ο</sup>	4 <sup>ο</sup>	5 <sup>ο</sup>
1 <sup>ος</sup> όροφος	9Φ18+6Φ14	12Φ18+10Φ14	12Φ18 + 10Φ14	12Φ18+10Φ14	9Φ18+6Φ14
2 <sup>ος</sup> όροφος	6Φ16+3Φ14	12Φ18+10Φ14	12Φ18+10Φ14	12Φ18+10Φ14	6Φ16+3Φ14
3 <sup>ος</sup> όροφος	6Φ16+2Φ14+1Φ20	12Φ18+10Φ14	12Φ18+10Φ14	12Φ18+10Φ14	6Φ16+2Φ14+1Φ20
4 <sup>ος</sup> όροφος	6Φ16+2Φ14+1Φ20	12Φ18+10Φ14	12Φ18+10Φ14	12Φ18+10Φ14	6Φ16+2Φ14+1Φ20
5 <sup>ος</sup> όροφος	3Φ20+3Φ14	8Φ20+8Φ16	8Φ20+8Φ14	8Φ20+8Φ16	3Φ20+3Φ14
6 <sup>ος</sup> όροφος	3Φ18+1Φ20+1Φ14	8Φ20+8Φ16	8Φ20+8Φ16	8Φ20+8Φ16	3Φ18+1Φ20+1Φ14
7 <sup>ος</sup> όροφος	4Φ20	8Φ18 + 6Φ14	8Φ16 + 6Φ14	8Φ18 + 6Φ14	4Φ20

Πίνακας 2.6: Διαμήκεις οπλισμοί υποστυλωμάτων καθ ύψος Πλαισίου '90

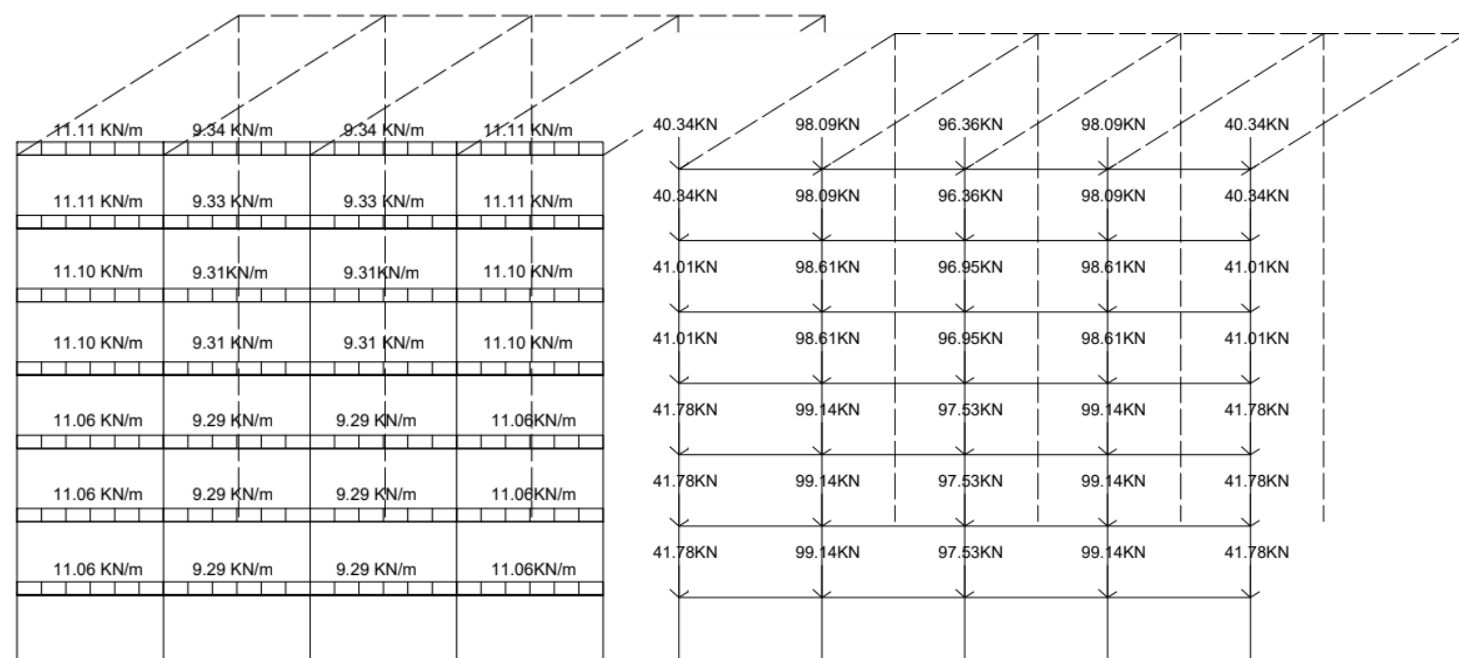
- Ιδιότητες υλικών

Για τις ιδιότητες των υλικών ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στην §2.1.2 για το πλαίσιο '70

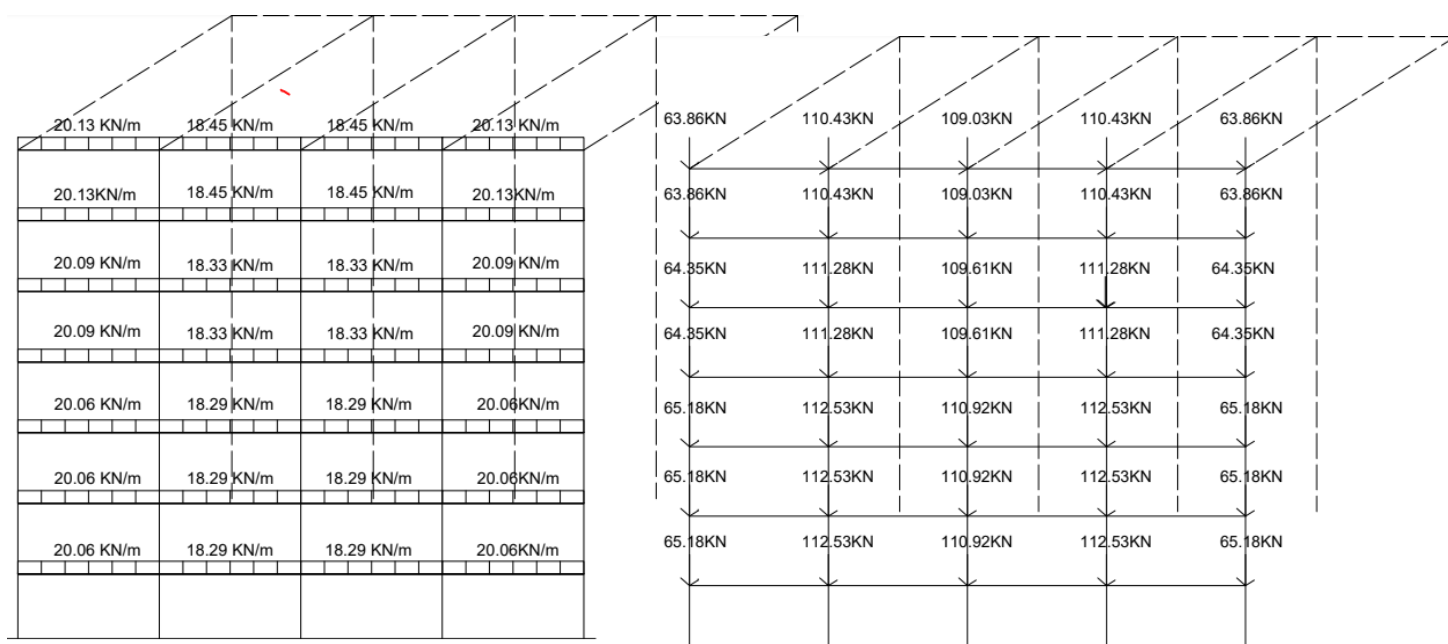
- Φόρτιση επιμέρους στοιχείων πλαισίου

Για τον τρόπο υπολογισμό των επιμέρους φορτίων επί των δοκών και των υποστυλωμάτων ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στην §2.1.2 για το πλαίσιο '70.

Στις Εικόνες 2.6~2.7 παρουσιάζονται σχηματικά οι φορτίσεις του πλαισίου '90 για την περίπτωση του γυμνού και του τοιχοπληρωμένου αντίστοιχα.



Εικόνα 2.6: Φόρτιση δοκών και υποστυλωμάτων γυμνού πλαισίου '90 λόγω ίδιου βάρους, φορτίων πλακών



Εικόνα 2.7: Φόρτιση δοκών και υποστυλωμάτων τοιχοπληρωμένου πλαισίου '90 λόγω ίδιου βάρους, φορτίων πλακών και τοιχοπλήρωσης

Με σκοπό την προσομοίωση της σταδιακής ρηγμάτωσης του πλαισίου από τα κατακόρυφα φορτία βαρύτητας, χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη που φαίνεται στην Εικόνα 2.4.

Και στην περίπτωση του πλαισίου '90, οι τιμές των επιπλέον μαζών προέκυψαν από τον πολλαπλασιασμό των φορτίων που παρουσιάστηκαν με τον αριθμό 101.97 kg ο οποίος ισοδυναμεί με το 1kN.

## Κεφάλαιο 3: Προσομοίωση με το LS DYNA

Για την αποτίμηση της συμπεριφοράς των εξεταζόμενων πλαισίων υπό τη δράση σεισμικών φορτίων, χρησιμοποιήθηκε, στην παρούσα διπλωματική εργασία, το λογισμικό LS-DYNA το οποίο αναπτύχθηκε από την εταιρία Livermore Software Technology Corporation (LSTC) και διατίθεται στο Ε.Μ.Π μέσω του ANSYS. Πρόκειται για λογισμικό υψηλών δυνατοτήτων προσομοίωσης και επίλυσης με ΠΣ, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα, τόσο στον ερευνητικό χώρο όσο και στη σύγχρονη αγορά, από μεγάλες τεχνικές εταιρίες σε εξωτερικό και εσωτερικό και του οποίου η αξιοπιστία είναι αποδεδειγμένη.

Ειδικότερα, το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων LS DYNA χρησιμοποιεί πέραν της καθιερωμένης αλγοριθμικής δυνατότητας των άλλων λογισμικών, και ρητή ολοκλήρωση της εξίσωσης κίνησης του χρόνου του φορέα (explicit time integration). Ορισμένες άλλες από τις δυνατότητες του προγράμματος είναι οι ακόλουθες:

- Σχεδιασμός σε 2D και 3D
- Μη γραμμική δυναμική ανάλυση
- Δυναμική σταθερού-άκαμπτου σώματος
- Γραμμική στατική ανάλυση
- Μη γραμμική στατική ανάλυση
- Διάδοση-εξάπλωση ρωγμών
- Φαινόμενα επαφής (contact)
- Φαινόμενα βλάβης (softening, erosion)
- Θερμομηχανική επίλυση

Περιλαμβάνει μία μεγάλη βιβλιοθήκη υλικών, διατομών, στοιχείων, αλγορίθμων επαφής κ.α ικανών να καλύψουν διάφορες και απαιτητικές ανάγκες (πυρκαγιά, πλήρης κατάρρευση κλπ).

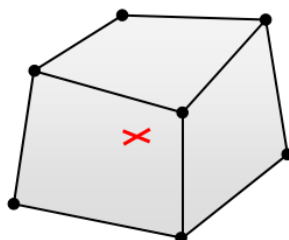
Τα δεδομένα επίλυσης περιλαμβάνονται σε ένα μοναδικό εκτελέσιμο αρχείο το οποίο είναι σε ASCII μορφή και συνεπώς μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε επεξεργαστεί κειμένου. Το εισαγόμενο αρχείο (input file) μπορεί επίσης να δημιουργηθεί μέσω γραφικού περιβάλλοντος. Η LSTC έχει αναπτύξει δικό της προ-επεξεργαστή (pre-processor), τον λεγόμενο LS-PREPOST ο οποίος χρησιμοποιείται και για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων (post-processing).

### 3.1 Δημιουργία και διακριτοποίηση διατομών

Επειδή η διαδικασία που ακολουθήθηκε αφορά και τα δύο εξεταζόμενα πλαίσια, παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα που εισήχθησαν για το ένα εκ των δύο πλαισίων (πλαίσιο '70).

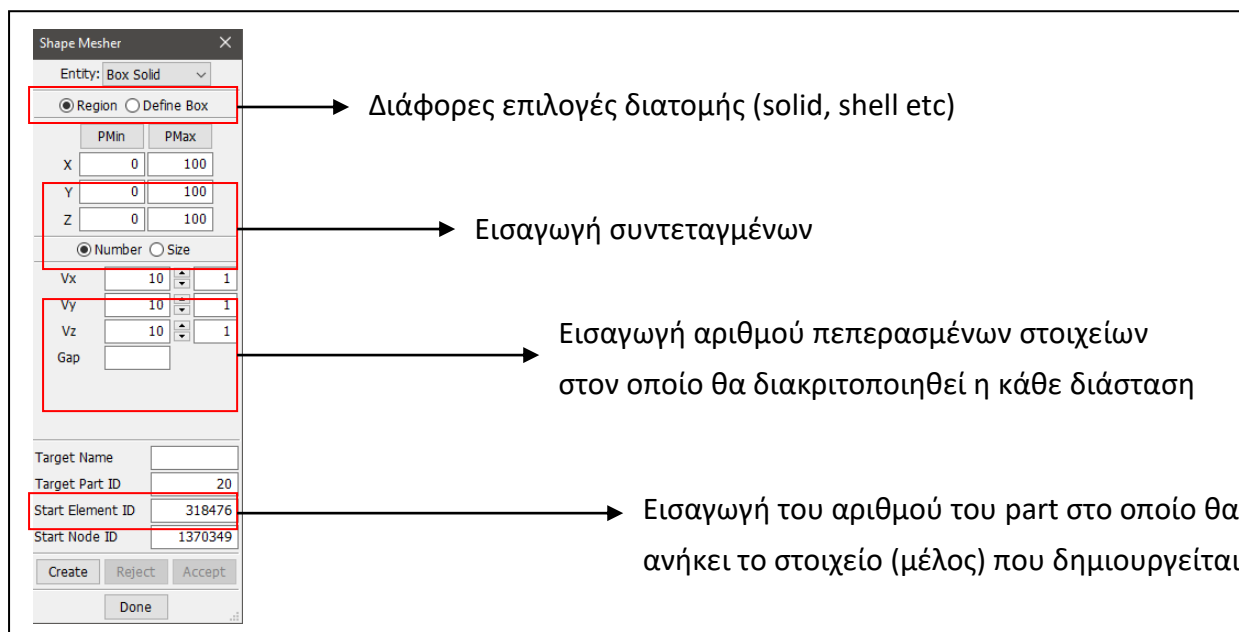
#### 3.1.1 Δοκοί-υποστυλώματα-τοιχοπλήρωση

Για την προσομοίωση των δοκών, των υποστυλωμάτων και της τοιχοπλήρωσης έγινε χρήση χωρικών πεπερασμένων στοιχείων (solid elements) δεδομένου ότι παρουσιάζουν ακριβέστερα αποτελέσματα από την περίπτωση εφαρμογής στοιχείων κελύφους (shell elements). Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκε το εξαεδρικό στοιχείο που φαίνεται στην Εικόνα 3.1 ως μια αρκετά ακριβής και αποτελεσματική προσομοίωση ακόμα και στην περίπτωση μεγάλων παραμορφώσεων.



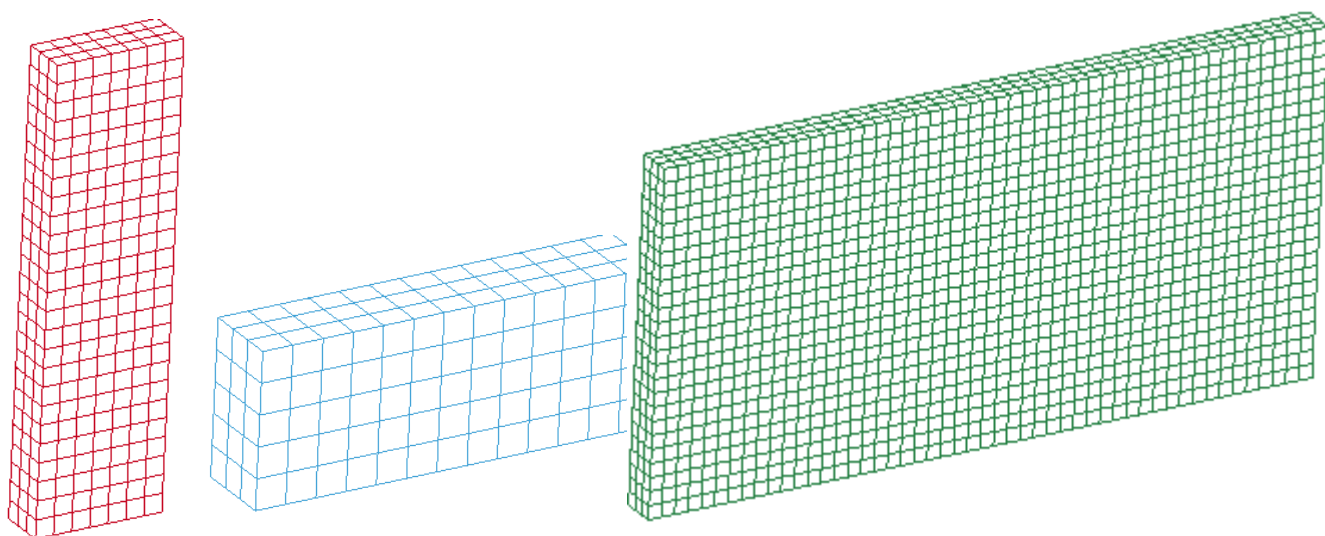
Εικόνα 3.1 Εξαεδρικό στοιχείο όγκου σταθερής τάσης (one point quadrature)

Η εισαγωγή των διαστάσεων των στοιχείων πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονα με τη διακριτοποίησή του σε επιμέρους πεπερασμένα στοιχεία χρησιμοποιώντας το εργαλείο «shape mesher» που παρέχει το LS-PREPOST (Εικόνα 3.2). Κάθε είδος μέλους ((α) δοκός (β) υποστύλωμα (γ) τοιχοπλήρωση) ανήκει σε ξεχωριστή ομάδα (part) δεδομένου ότι αποτελείται από ξεχωριστό υλικό. Πέραν τούτου όμως, με τον τρόπο αυτό γίνεται καλύτερη και ευκολότερη διαχείρισή τους τόσο σε επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων όσο και ανάγνωσης των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.



Εικόνα 3.2 Εργαλείο «Shape mesher» για την εισαγωγή και διακριτοποίηση στοιχείων

Επιλέχτηκε κάναβος 1.0m x 1.0m με γνώμονα την αποτελεσματικότερη ακρίβεια σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση χρόνου. Στην Εικόνα 3.3 φαίνεται η διακριτοποίηση που εφαρμόστηκε σε υποστύλωμα, δοκό και τοιχοπλήρωση.

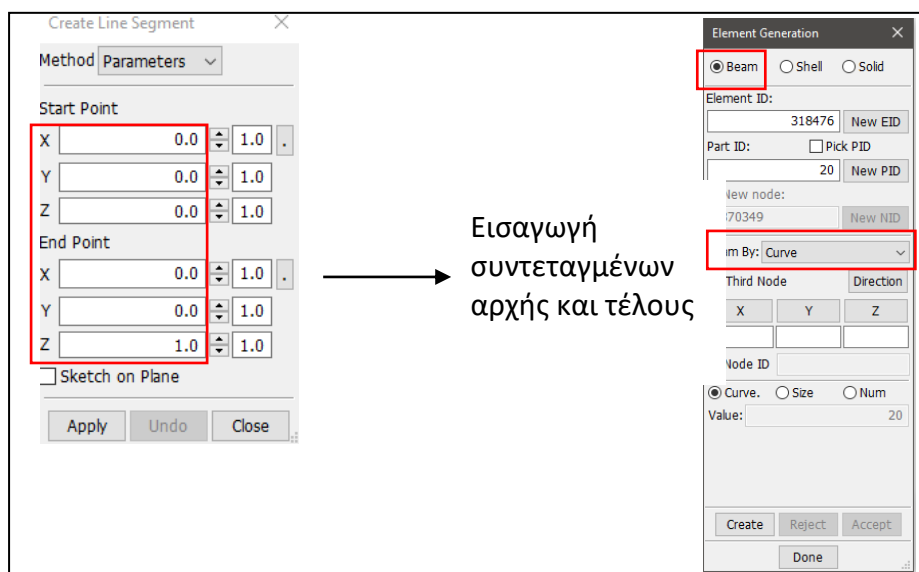


Εικόνα 3.3 Διακριτοποίηση (meshing) α) υποστυλώματος β) δοκού γ) τοιχοπλήρωσης

### 3.1.2 Οπλισμοί

Οι οπλισμοί, προσομοιώθηκαν διακριτά ως στοιχεία δοκού (beam elements). Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκαν αρχικά ως γραμμές μέσω του εργαλείου «Create Line Segment» και στη συνέχεια μετατράπηκαν σε στοιχεία δοκού χρησιμοποιώντας την εντολή «Element Generation» (Εικόνα 3.4).

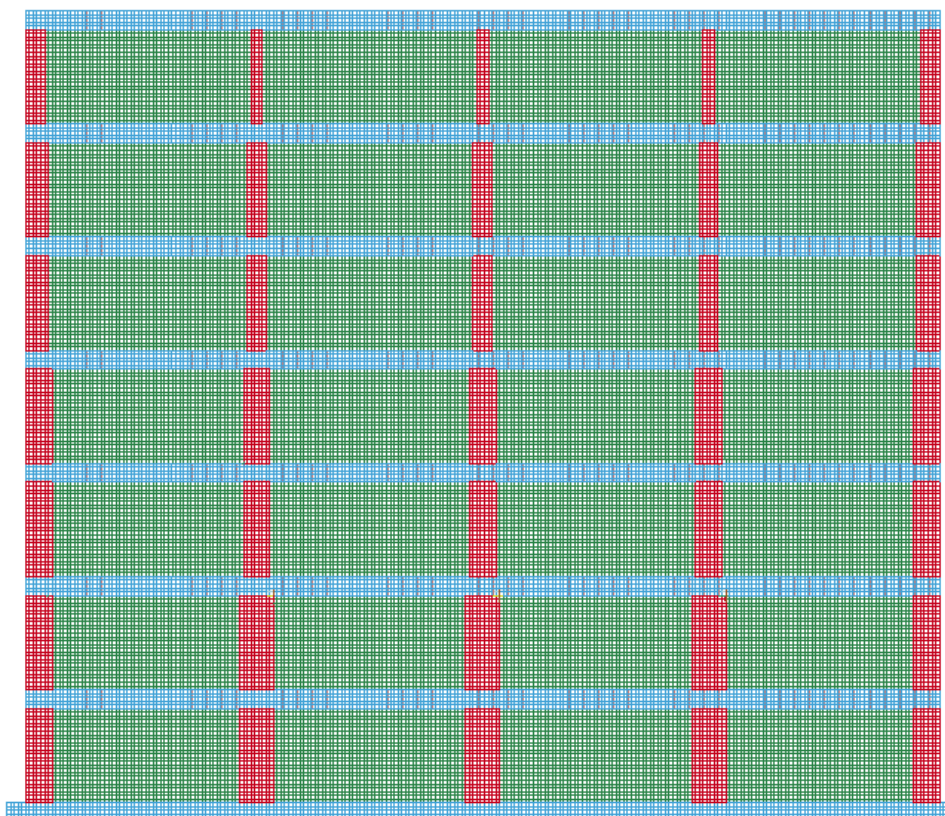




Εικόνα 3.4 Εισαγωγή οπλισμών στο προσομοίωμα ως στοιχεία δοκού

Κατά τη διαμόρφωση της διατομής τους, επιλέχθηκε να τους δοθεί η ιδιότητα του «truss element» με σκοπό να εντείνονται μόνο σε θλίψη και εφελκυσμό.

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής όλου του φορέα στο λογισμικό και της διακριτοποίησής του, το τελικό αποτέλεσμα που προέκυψε παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.4.



Εικόνα 3.4 Εμφάνιση Τελικού διαμορφωμένου φορέα

## 3.2 Απόδοση υλικών στα μέλη

### Υποστυλώματα-δοκοί → \*MAT\_CSCM\_CONCRETE (MAT-159)

Στη βιβλιοθήκη του LS DYNA υπάρχουν διαθέσιμα αρκετά καταστατικά μοντέλα τα οποία μπορούν να περιγράψουν με αποτελεσματικότητα την συμπεριφορά του οπλισμένου σκυροδέματος. Ένα από αυτά είναι το υλικό \*MAT\_CSCM\_CONCRETE ((Continuous Surface Cap Model), το οποίο επιλέχτηκε να αποδοθεί στις δοκούς και τα υποστυλώματα του φορέα. Οι προεπιλεγμένες παράμετροι εξαρτώνται από τρία δεδομένα εισόδου 1) την αντοχή σε θλίψη  $f'_c$  2) Το μέγιστο μέγεθος των αδρανών  $A_g$  και 3) τις χρησιμοποιούμενες μονάδες μέτρησης.

Το εν λόγω υλικό αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1990 και διατέθηκε περί το 2005. Έχουν δημοσιευτεί αρκετές έρευνες που αποδεικνύουν την εγκυρότητα του μοντέλου και επεξηγούν το θεωρητικό υπόβαθρο. Σε αυτό το καταστατικό μοντέλο, ο σχηματισμός των ρωγμών (crack pattern) αντικατοπτρίζεται μέσω χρήσης των ισούψων καμπύλων (contour plot of effective plastic strain).

### Τοιχοπλήρωση → MAT\_WINFRITH\_CONCRETE (MAT-084/085)

Για την τοιχοπλήρωση χρησιμοποιήθηκε το καταστατικό μοντέλο «MAT\_WINFRITH\_CONCRETE» για το οποίο έχει γίνει λόγος σε αρκετές δημοσιεύσεις που αφορούν μοντελοποίηση τοιχοπληρωμένων πλαισίων. Τα κυριότερα δεδομένα εισαγωγής αφορούν 1) το μέτρο ελαστικότητας E 2) τη μονοαξονική αντοχή σε θλίψη, 3) τη μονοαξονική αντοχή σε εφελκυσμό 4) την πυκνότητα RO και 5) το λόγο POISSON κ.α. Η χρήση του εν λόγω υλικού παρέχει τη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των ρωγμών και της διάδοσής τους στο εσωτερικό του στοιχείου συναρτήσει του χρόνου.

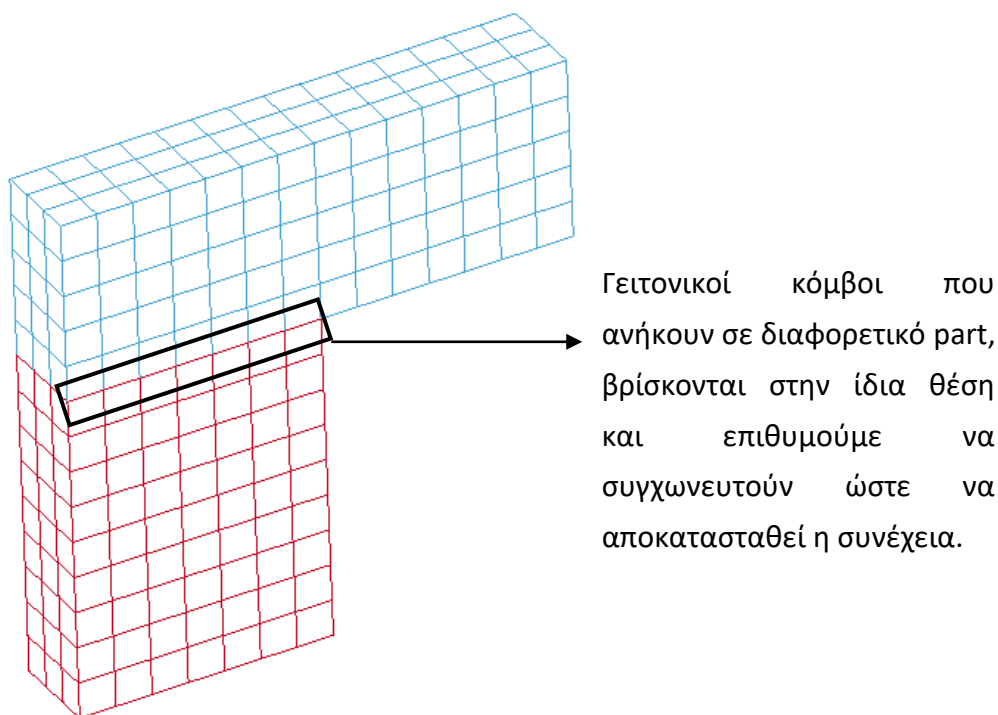
### Οπλισμοί → \*MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC (MAT-003)

Για τους διαμήκεις και εγκάρσιους οπλισμούς αποδόθηκε το υλικό \*MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC (MAT-003), το οποίο προσομοιώνει την ιστροπική και κινηματική κράτυνση του υλικού. Τα δεδομένα εισαγωγής αφορούν 1) το μέτρο ελαστικότητας E 2) την τάση διαρροής SIGY, 3) την κλίση της καμπύλης τάσεων παραμορφώσεων σε κράτυνση μετά τη διαρροή (tangent modulus) 4) την πυκνότητα RO και 5) το λόγο POISSON κ.α.

### 3.3 Προσομοίωση σύνδεσης επιμέρους μελών

#### Σύνδεση δοκών-υποστυλωμάτων

Για την αποκατάσταση της συνέχειας μεταξύ των δοκών και των υποστυλωμάτων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική των κοινών κόμβων «Shared Nodes». Η εφαρμογή της συγκεκριμένης προσέγγισης απαιτεί οι δημιουργημένοι κόμβοι από τη διακριτοποίηση κάθε μέλους, στο σύνορό τους να έχουν τις ίδιες συντεταγμένες, δηλαδή να βρίσκονται στην ίδια θέση. Έτσι, μπορούμε να προβούμε σε συγκόλληση των κόμβων που ανήκουν στα δύο διαφορετικά parts στην ίδια περιοχή ώστε να εξασφαλιστεί η επιθυμητή συνέχεια μέσω συμβατού παραμορφώσεων (Εικόνα 3.5). Προσοχή χρειάζεται, ώστε η τιμή της ανοχής που θα δοθεί να είναι τέτοια, ώστε να μην συγκολληθούν κόμβοι που δε θα θέλαμε.

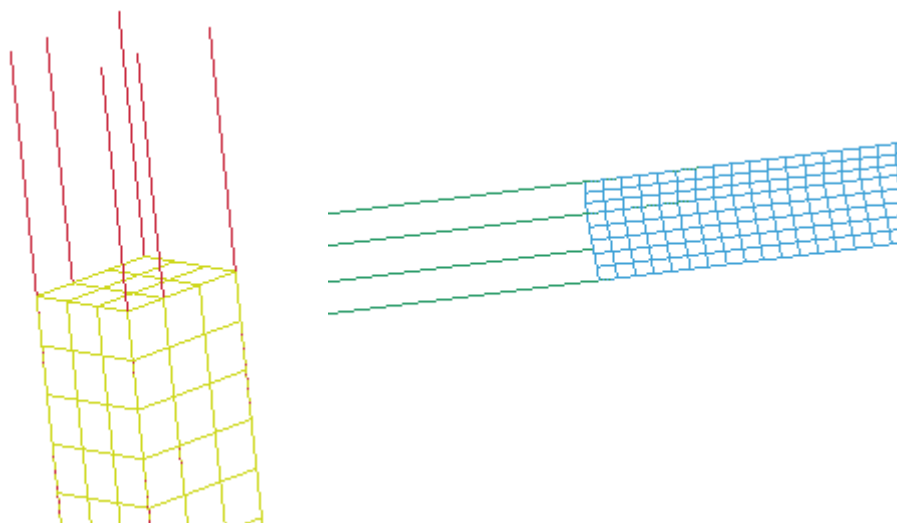


Εικόνα 3.5: Απαιτήση κοινής διακριτοποίησης στο σύνορο μεταξύ των δύο parts

#### Σύνδεση οπλισμών με δοκούς και υποστυλώματα

Για τη συμπερίληψη του οπλισμού εντός του σκυροδέματος, έγινε χρήση της λεγόμενης «constrained method». Η εν λόγω μέθοδος δεν εμπεριέχει τους περιορισμούς στην κοινή διακριτοποίηση της προηγούμενης μεθόδου (shared nodes) αλλά επιτρέπει την ανεξάρτητη δημιουργία των επιμέρους parts. Η εξασφάλιση της συνεργασίας των οπλισμών με το σκυρόδεμα πραγματοποιήθηκε μέσω εφαρμογής της εντολής «Constrained Lagrange in Solid». Προσοχή χρειάζεται στην επιλογή του

slave και του master. Στην περίπτωση μας, ως slave ορίστηκε ο οπλισμός και ως master οι δοκοί και τα υποστυλώματα.

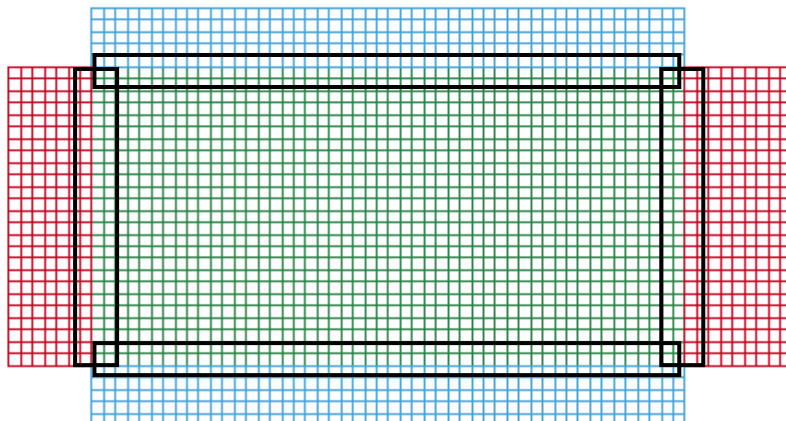


Εικόνα 3.6 Εξάρτηση οπλισμών με τα στοιχεία των δοκών και των υποστυλωμάτων

#### Επαφή μεταξύ τοιχοπλήρωσης-δοκού και τοιχοπλήρωσης-υποστυλωματος

Για τη σύνδεση τη τοιχοπλήρωσης με το φέροντα οργανισμό έγινε χρήση της προηγμένης τεχνικής των πεπερασμένων στοιχείων προσομοίωσης επαφής «Contacts» που διαθέτει σε μεγάλη ποικιλία το LS DYNA. Τα Contacts είναι στην ουσία επιφάνειες μηδενικών διαστάσεων που ορίζονται μεταξύ υφιστάμενων κόμβων και πεπερασμένων στοιχείων με σκοπό την παρεμπόδιση της διείσδυσης του ενός part στο άλλο ή/ και την παρεμπόδιση του διαχωρισμού των δύο parts μεταξύ τους, την ενσωμάτωση νόμων τριβής μέσω ολίσθησης (αν απαιτείται), κ.ά. Στην περίπτωση του φορέα μας, χρησιμοποιήθηκε η επιλογή του Contact\_Automatic\_Surface\_to\_Surface. Η συγκεκριμένη επιλογή αφορά τον εντοπισμό της διείσδυσης που προέρχεται από οποιαδήποτε από τα δύο parts μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται (Εικόνα 3.7), στην συγκεκριμένη περίπτωση η επιφάνεια της τοιχοπλήρωσης και του ΟΣ. Συνεπώς με τη χρήση των διεπιφανειών επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλης δυσκαμψίας κατά την ορθή διεύθυνση, από τη μία ανένδοτη θλίψη και από την άλλη πλήρης αποκόλληση στην περίπτωση που υφίσταται εφελκυσμός.

Αξίζει να σημειωθεί πως όταν εφαρμόζεται αυτός ο τύπος Contact, η επιλογή του slave και του master μπορεί να γίνει αυθαίρετα.

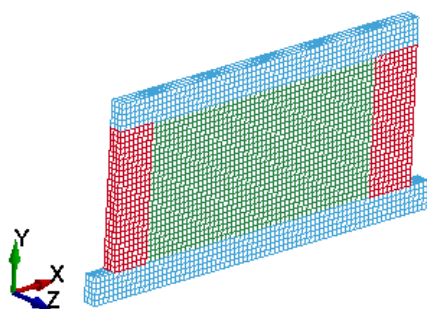


Εικόνα 3.7: Χρήση διεπιφάνειας «Contact\_Automatic\_Surface\_to\_Surface»

### 3.4 Συνοριακές συνθήκες

Τα εξεταζόμενα πλαίσια πακτώθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ για την επίτευξη της 2D ανάλυσης, δεσμεύτηκαν όλοι οι κόμβοι του προσομοιώματος για μετακίνηση στη διεύθυνση  $z$  και για στροφή περί τον  $x$  και  $y$  άξονα. Υπενθυμίζεται πως ο άξονας  $x$  αντιστοιχεί στην επιμήκη διεύθυνση του πλαισίου, ο άξονας  $y$  στην κατακόρυφη και ο  $z$  αφορά την κάθετη διεύθυνση εκτός επιπέδου (Εικόνα 3.8).

Στη βάση, η σύνδεση με την πεδλοδοκό αποφασίστηκε να μην είναι μονολιθική αλλά να εφαρμοστεί κι εδώ η τεχνική των πεπερασμένων στοιχείων προσομοίωσης επαφής «Contacts». Συνεπώς στη βάση, επιτρέπονται φαινόμενα αποκόλλησης.



Εικόνα 3.8: Καθολικό Σύστημα συντεταγμένων και προσανατολισμός μελών βάσει αυτού

## Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα αποτίμησης σε σεισμό

### 4.1 Αποτελέσματα Ιδιομορφικής ανάλυσης

Για κάθε εξεταζόμενο πλαίσιο πραγματοποιήθηκε, αρχικά, ιδιομορφική ανάλυση με σκοπό την εύρεση των ιδιοπεριόδων  $T$  και τον συνολικό αριθμό των απαιτούμενων ιδιομορφών για την επίτευξη του 90% της ενεργοποιούμενης μάζας (πληροφοριακά). Στους Πίνακες 4.1~4.3 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι τιμές των ιδιοπεριόδων  $T$ , της ιδιοσυχνότητας  $\omega$ , της συχνότητας  $f$  και του αθροιστικού ποσοστού ενεργοποιούμενης μάζας ανά ιδιομορφή για κάθε εξεταζόμενη περίπτωση πλαισίου.

Γυμνό	Ιδιομορφή	Ιδιοσυχνότητα $\omega$ (rad/sec)		Συχνότητα $f$ (Hertz)		Ιδιοπερίοδος $T$ (sec)		Ποσοστό Ενεργοποιούμενης Μάζας (%)	
		'70	'90	'70	'90	'70	'90	'70	'90
	1	7.23	5.92	1.15	0.94	0.87	1.06	72.13%	79.21%
2	20.19	19.87	3.21	3.16	0.31	0.32	84.15%	87.72%	
3	35.10	38.68	5.59	6.16	0.18	0.16	89.06%	91.98%	
4	55.62	61.35	8.85	9.76	0.11	0.10	92.52%	94.57%	

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα Ιδιομορφικής Ανάλυσης γυμνού πλαισίου '70 και '90

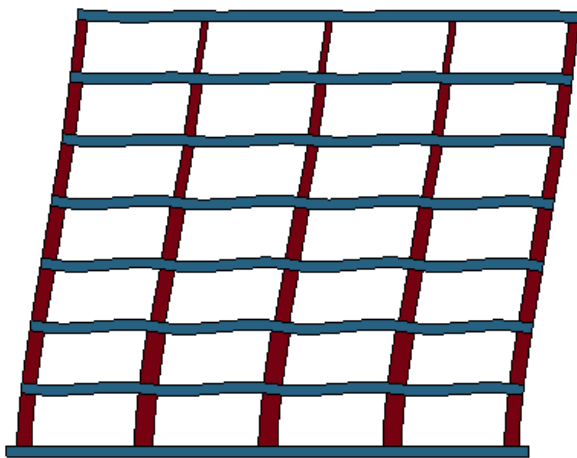
Τοιχοπληρωμένο	Ιδιομορφή	Ιδιοσυχνότητα $\omega$ (rad/sec)		Συχνότητα $f$ (Hertz)		Ιδιοπερίοδος $T$ (sec)		Ποσοστό Ενεργοποιούμενης Μάζας (%)	
		'70	'90	'70	'90	'70	'90	'70	'90
	1	17.85	16.58	2.84	2.64	0.35	0.38	77.82%	83.14%
2	51.02	53.86	8.12	8.57	0.12	0.12	90.14%	90.96%	
3	74.86	74.86	11.91	11.91	0.08	0.08	90.14%	90.96%	
4	84.75	82.02	13.49	13.05	0.07	0.08	90.59%	91.01%	

Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα Ιδιομορφικής Ανάλυσης τοιχοπληρωμένου πλαισίου '70 και '90

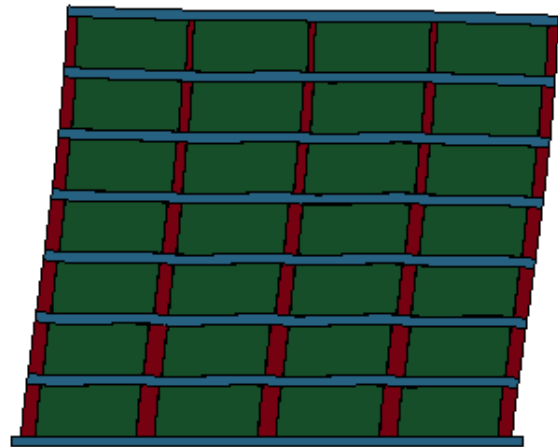
Pilotis	Ιδιομορφή	Ιδιοσυχνότητα $\omega$ (rad/sec)		Συχνότητα $f$ (Hertz)		Ιδιοπερίοδος $T$ (sec)		Ποσοστό Ενεργοποιούμενης Μάζας (%)	
		'70	'90	'70	'90	'70	'90	'70	'90
	1	15.81	14.78	2.52	2.35	0.40	0.43	86.79%	88.62%
2	45.99	49.03	7.32	7.80	0.14	0.13	95.22%	94.93%	
3	70.62	70.58	11.24	11.23	0.09	0.09	95.22%	94.93%	
4	81.44	78.80	12.96	12.54	0.08	0.08	95.45%	94.99%	

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα Ιδιομορφικής Ανάλυσης πλαισίου τύπου Pilotis '70 και '90

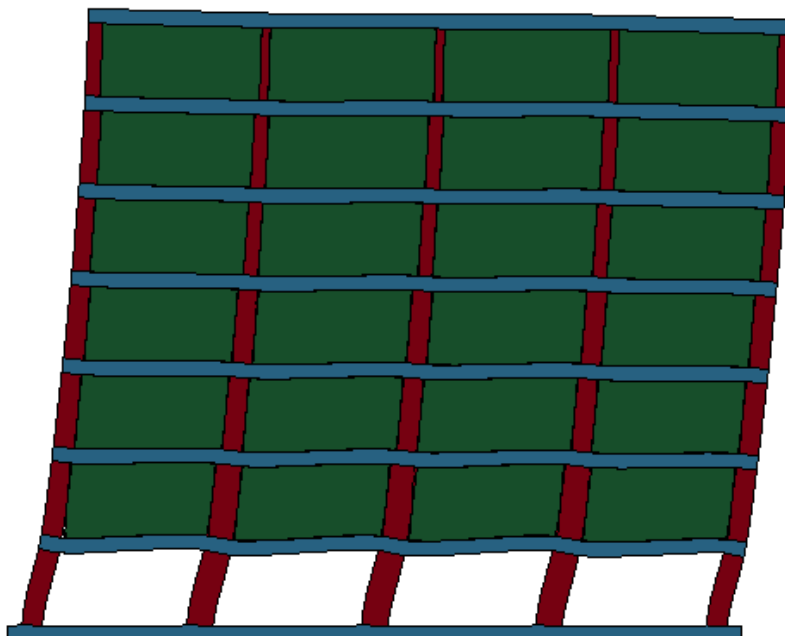
Αν και η υπερωθητική ανάλυση που ακολουθεί στην §4.2 πραγματοποιήθηκε για αυξανόμενη τριγωνική κατανομή πλευρικών μετακινήσεων, για σκοπούς πληρότητας των αποτελεσμάτων της ιδιομορφικής ανάλυσης, στις Εικόνες 4.1~4.3 και στις Εικόνες 4.4~4.6 φαίνονται οι πρώτες ιδιομορφές των πλαισίων '70 και '90 αντίστοιχα για τις περιπτώσεις του α) Γυμνού β) Πλήρως Τοιχοπληρωμένου και γ) Πλαισίου με ύπαρξη PILOTIS. Παρατηρούμε πως σε όλες τις περιπτώσεις οι πρώτες ιδιομορφές αφορούν μεταφορικές ιδιομορφές εντός του επιπέδου του πλαισίου. Η παραμόρφωση των γυμνών πλαισίων είναι περισσότερο καμπτική εν αντιθέσει με αυτή των τοιχοπληρωμένων όπου προσεγγίζει τη διατμητική παραμόρφωση.



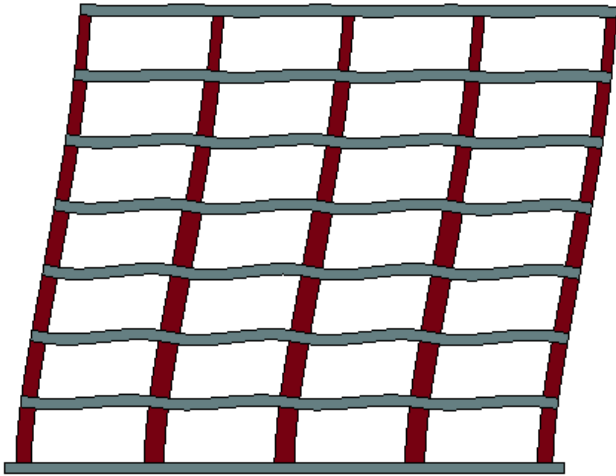
Εικόνα 4.1: 1<sup>η</sup> ιδιομορφή Γυμνού πλαισίου '70



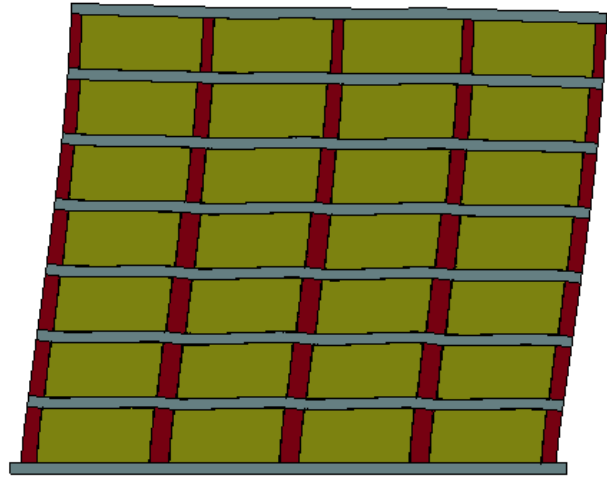
Εικόνα 4.2: 1<sup>η</sup> ιδιομορφή Τοιχοπληρωμένου πλαισίου '70



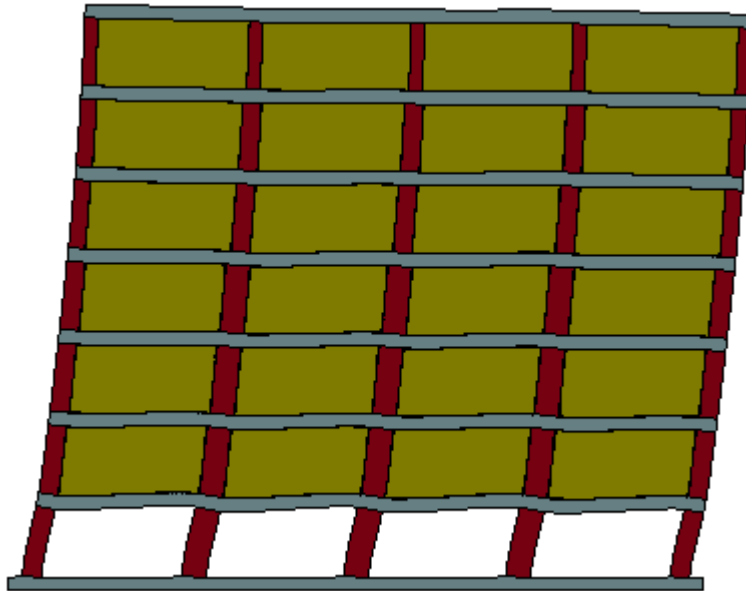
Εικόνα 4.3: 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πλαισίου '70 με ύπαρξη PILOTIS



Εικόνα 4.4: 1<sup>η</sup> ιδιομορφή Γυμνού πλαισίου '90



Εικόνα 4.5: 1<sup>η</sup> ιδιομορφή Τοιχοπληρωμένου πλαισίου '90

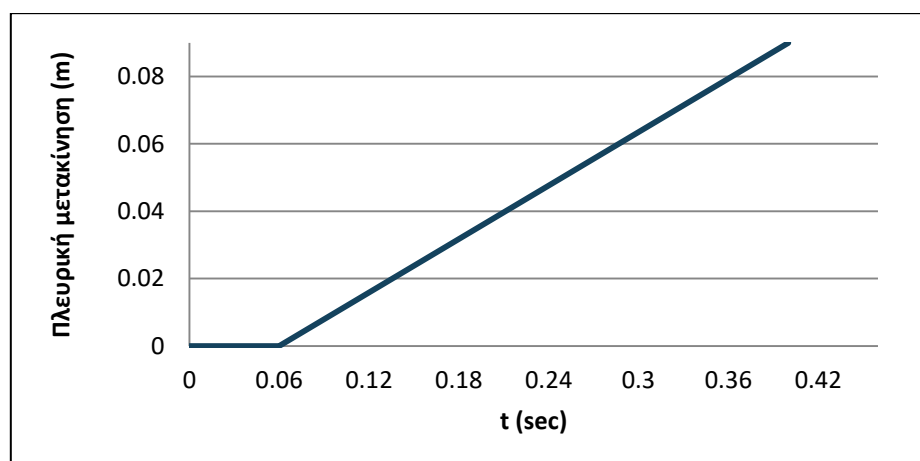


Εικόνα 4.6: 1<sup>η</sup> ιδιομορφή πλαισίου '90 με ύπαρξη PILOTIS



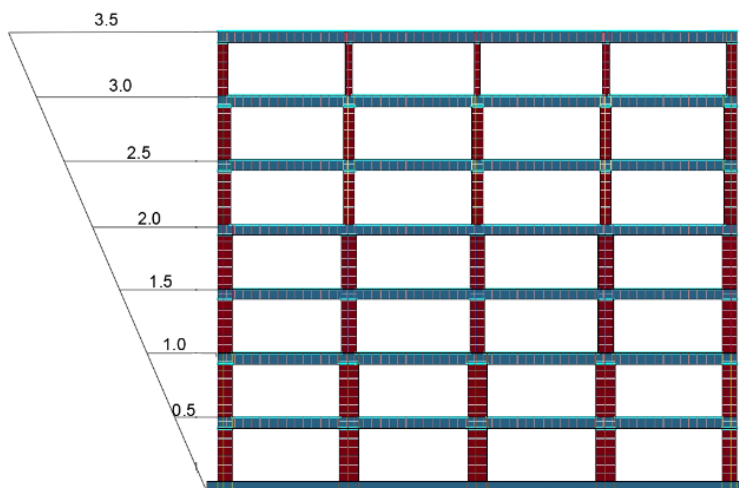
## 4.2 Αποτελέσματα Υπερωθητικής ανάλυσης

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε υπερωθητική ανάλυση με σκοπό τη διερεύνηση της μη γραμμικής συμπεριφοράς υπό αυξανόμενης έντασης, εγκάρσια επιπόνηση, του κάθε εξεταζόμενου πλαισίου. Ακολουθήθηκε προσαυξητική στατική ανάλυση ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη σχέση δύναμης-μετατόπισης. Εφαρμόστηκε αυξανόμενη τριγωνική κατανομή πλευρικών μετακινήσεων. Η πλευρική φόρτιση του κάθε πλαισίου πραγματοποιήθηκε σε όρους μετατοπίσεων. Σε κάθε πλαίσιο επιβλήθηκε πλευρική μετακίνηση σύμφωνα με την καμπύλη χρονοεξέλιξης που φαίνεται στην Εικόνα 4.7. Η μέγιστη επιβαλλόμενη μετατόπιση οροφής θεωρήθηκε ίση με το 1.5% του συνολικού ύψους και είχε τη φορά του θετικού άξονα x. Η έναρξη της εντός επιπέδου φόρτισης του πλαισίου λαμβάνει χώρα για  $t=0.06$  sec, μετά την ολοκλήρωση επιβολής της κατακόρυφης δύναμης και ολοκληρώνεται όταν  $t=0.4$ sec.



Εικόνα 4.7: Διάγραμμα Επιβαλλόμενης μετακίνησης (m) συναρτήσει του χρόνου (sec)

Για την επίτευξη της τριγωνικής κατανομής της πλευρικής μετακίνησης, εφαρμόστηκαν σε κάθε επίπεδο ορόφου διαφορετικοί συντελεστές προσαύξησης όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.8. Διευκρινίζεται πως η Εικόνα 4.8 απεικονίζει το γυμνό πλαίσιο του '70 αλλά η εν λόγω τριγωνική κατανομή εφαρμόστηκε σε όλα τα εξεταζόμενα πλαίσια.



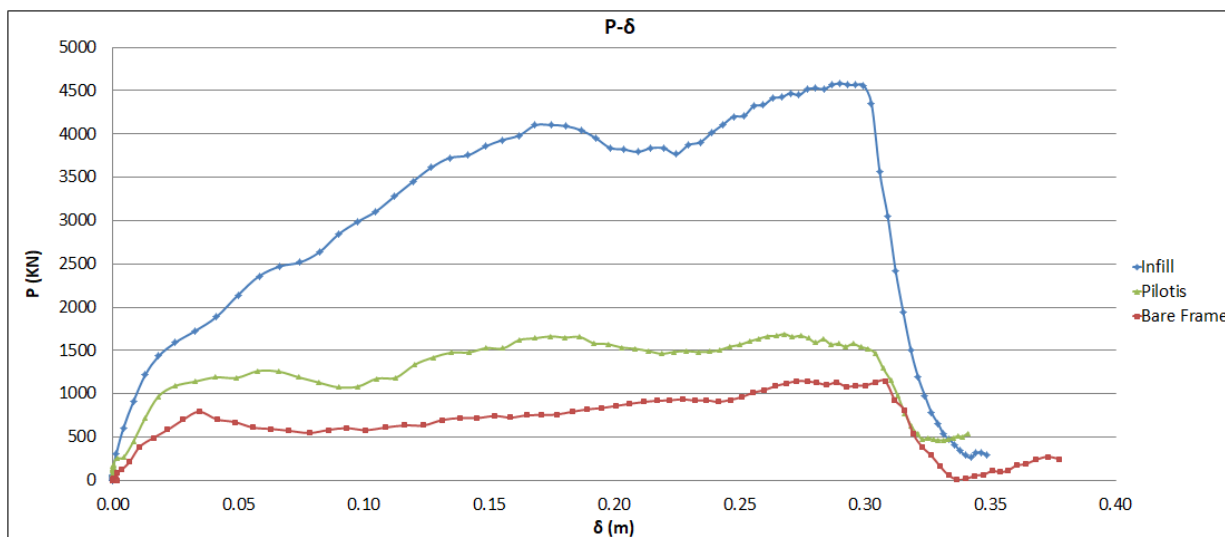
Εικόνα 4.8: Εφαρμοζόμενοι επαυξητικοί συντελεστές για την προσομοίωση της τριγωνικής κατανομής

Οι μέγιστες επιβαλλόμενες μετακινήσεις σε κάθε επίπεδο ορόφου συνοψίζονται στον Πίνακα 4.4 όπου μπορούμε να δούμε πως στον 1<sup>ο</sup> όροφο η μέγιστη επιβαλλόμενη μετακίνηση ισούται με  $0.5 \cdot 0.09 = 0.045$  m ενώ στο τελευταίο επίπεδο του 7<sup>ου</sup> ορόφου με  $3.5 \cdot 0.09 = 0.315$  m.

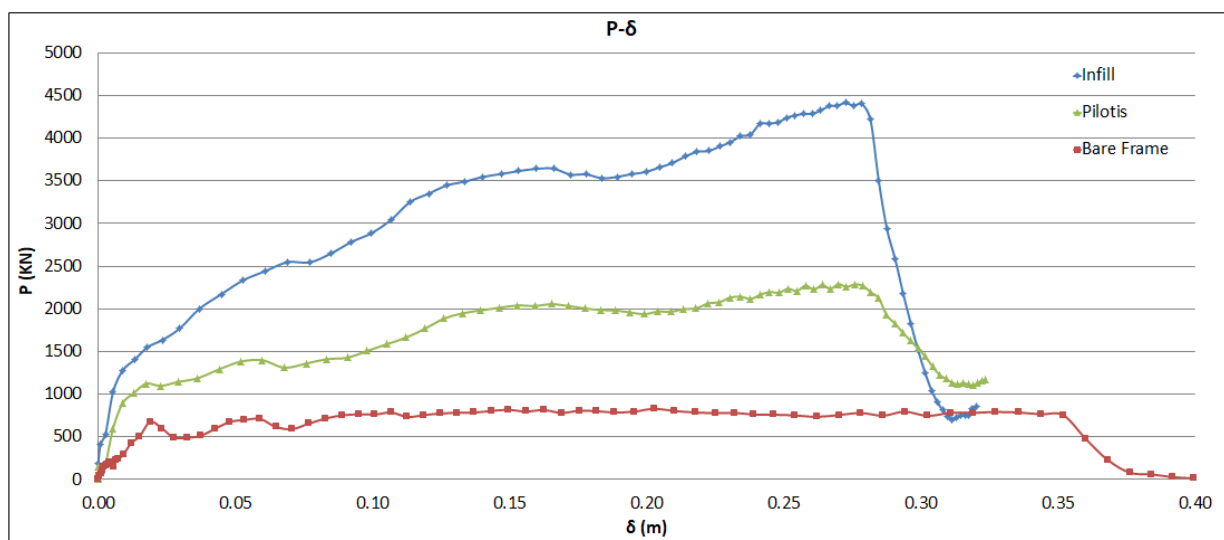
	Συντελεστής προσαύξησης (1)	Μέγιστη επιβαλλόμενη μετακίνηση (m) (2)	Τελική μέγιστη επιβαλλόμενη μετακίνηση (m) (3)=(1)*(2)
1 <sup>ος</sup> όροφος	0.50	0.09	0.045
2 <sup>ος</sup> όροφος	1.00	0.09	0.090
3 <sup>ος</sup> όροφος	1.50	0.09	0.135
4 <sup>ος</sup> όροφος	2.00	0.09	0.180
5 <sup>ος</sup> όροφος	2.50	0.09	0.225
6 <sup>ος</sup> όροφος	3.00	0.09	0.270
7 <sup>ος</sup> όροφος	3.50	0.09	0.315

Πίνακας 4.4: Μέγιστες επιβαλλόμενες μετακινήσεις σε κάθε όροφο για κάθε εξεταζόμενο πλαίσιο

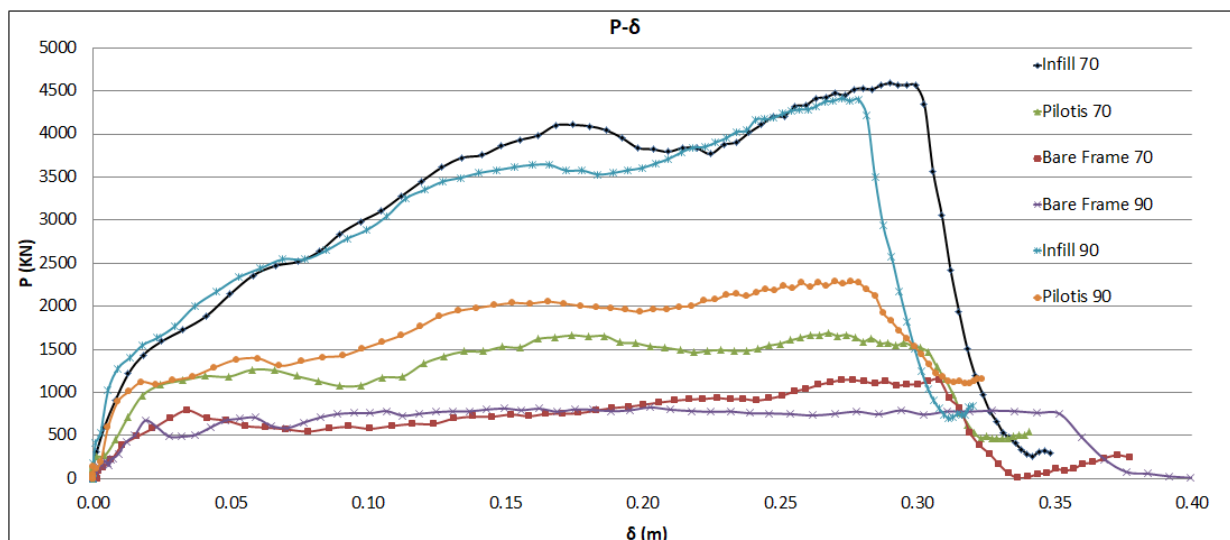
Εξάγοντας τις αντιδράσεις των κόμβων των υποστυλωμάτων στη βάση της κατασκευής μελετήθηκε η απόκριση του πλαισίου σε όρους τέμνουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής. Πιο συγκεκριμένα στην Εικόνα 4.9 φαίνεται η υπερωθητική καμπύλη του πλαισίου '70 για γυμνό και τοιχοπληρωμένο πλαίσιο καθώς και για την περίπτωση του τοιχοπληρωμένου πλαισίου με Pilotis. Στην Εικόνα 4.10 παρουσιάζεται η υπερωθητική καμπύλη του πλαισίου '90 για τις ίδιες περιπτώσεις ενώ στην Εικόνα 4.11 βλέπουμε συγκεντρωτικά τις υπερωθητικές καμπύλες για όλα τα εξεταζόμενα πλαίσια και των δύο χρονολογιών κατασκευής.



Εικόνα 4.9: Υπερωθητική καμπύλη πλαισίου '70 για την περίπτωση (α) Γυμνού, (β) Τοιχοπληρωμένου και (γ) Pilotis



Εικόνα 4.10: Υπερωθητική καμπύλη πλαισίου '90 για την περίπτωση (α) Γυμνού, (β) Τοιχοπληρωμένου και (γ) Pilotis



Εικόνα 4.11: Υπερωθητική καμπύλη πλαισίων '70 και '90 για την περίπτωση (α) Γυμνού, (β) Τοιχοπληρωμένου και (γ) Pilotis

Οι μέγιστες τιμές των τεμνουσών βάσης για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα πλαίσια και οι αντίστοιχες τιμές των μετακινήσεων φαίνονται στον Πίνακα 4.5. Στον Πίνακα 4.6 αναγράφονται οι μέγιστες τιμές των μετακινήσεων στον χρόνο τερματισμού της επιβολής της πλευρικής μετακίνησης δηλ. για  $t=0.4\text{sec}$ .

	Bare			Infill			Pilotis		
	Time	Disp. X	Fx(KN)	Time	Disp. X	Fx(KN)	Time	Disp. X	Fx(KN)
<b>Πλαίσιο '70</b>	0.400	0.308	1147.400	0.385	0.290	4587.300	0.355	0.268	1690.900
<b>Πλαίσιο '90</b>	0.305	0.203	827.820	0.390	0.273	4413.800	0.395	0.276	2285.300

Πίνακας 4.5: Τέμνουσα βάση με αντίστοιχη μετατόπιση κορυφής κάθε εξεταζόμενου πλαισίου

Time = 0.4 sec	Πλαίσιο '70			Πλαίσιο '90		
	Bare	Infill	Pilotis	Bare	Infill	Pilotis
Disp. X (m)	0.308	0.299	0.295	0.352	0.279	0.279

Πίνακας 4.6: Μέγιστες μετακινήσεις πλαισίων στον χρόνο τερματισμού της Υπερωθητικής Ανάλυσης

Από τις Εικόνες 4.9~4.11 και από τον Πίνακα 4.5, παρατηρούμε πως στην περίπτωση του Πλαισίου '70, η αντοχή του τοιχοπληρωμένου πλαισίου είναι κατά 63% μεγαλύτερη συγκριτικά με εκείνη της Pilotis και κατά 75% υψηλότερη από εκείνη απουσίας τοιχοπλήρωσης. Κατ' αντιστοιχία, για το Πλαίσιο '90, η αντοχή του τοιχοπληρωμένου πλαισίου παρουσιάζει κατά 48% μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με την Pilotis και κατά 81% υψηλότερη από το γυμνό πλαίσιο.

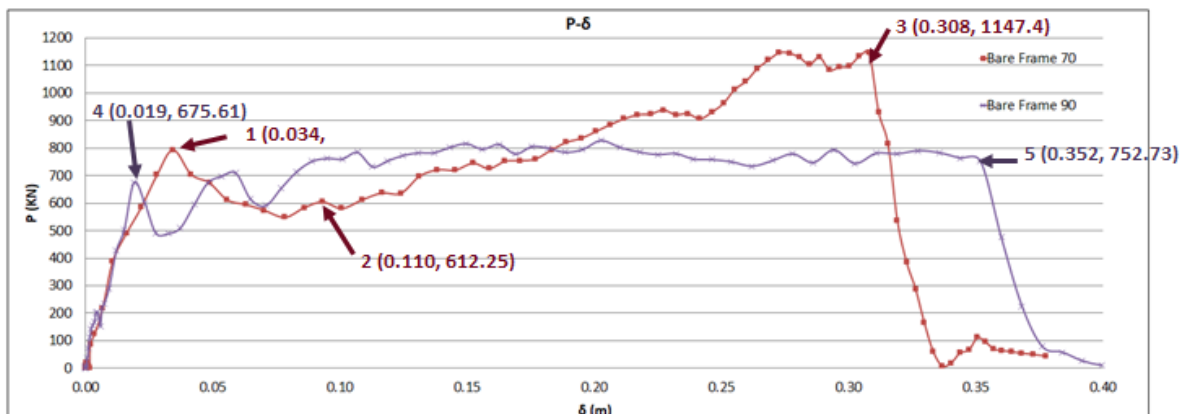
Εάν δούμε συγκριτικά τα πλαίσια των δύο χρονολογιών, μπορούμε να συμπεράνουμε πως τα τοιχοπληρωμένα πλαίσια πρακτικά παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά, γεγονός που οφείλεται στον πρωταγωνιστικό ρόλο της τοιχοπλήρωσης η οποία και στα δύο πλαίσια έχει την ίδια θλιπτική αντοχή και περίπου τις ίδιες διαστάσεις. Στο τοιχοπληρωμένο πλαίσιο '90, παρατηρείται η μείωση της αντοχής περί τα 0.31m και πρακτικά ισορροπεί σε αυτή του γυμνού πλαισίου στα 0.33m.

Στην περίπτωση της Pilotis '70 παρατηρείται διατμητική αστοχία σε σχέση με εκείνη της Pilotis '90, όπου, αντίθετα με το '70, έχουμε εφαρμογή ικανοτικού σχεδιασμού τέμνουσας στα μέλη. Επιπλέον, γίνεται αντιληπτή η υπεροχή της συμπεριφοράς των υποστρωμάτων του ισογείου του '90 σχετικά με εκείνων του '70, καθώς η μέγιστη τέμνουσα βάση στην πρώτη περίπτωση ανέρχεται στα 1,690.9 KN ενώ στη δεύτερη στα 2,285.3 KN.

#### 4.2.1 Γυμνά Πλάγια '70 και '90

Για την εποπτικότερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων παρατίθενται τα διαγράμματα που αφορούν το γυμνό (μη τοιχοπληρωμένο) πλαίσιο μεταξύ των δύο

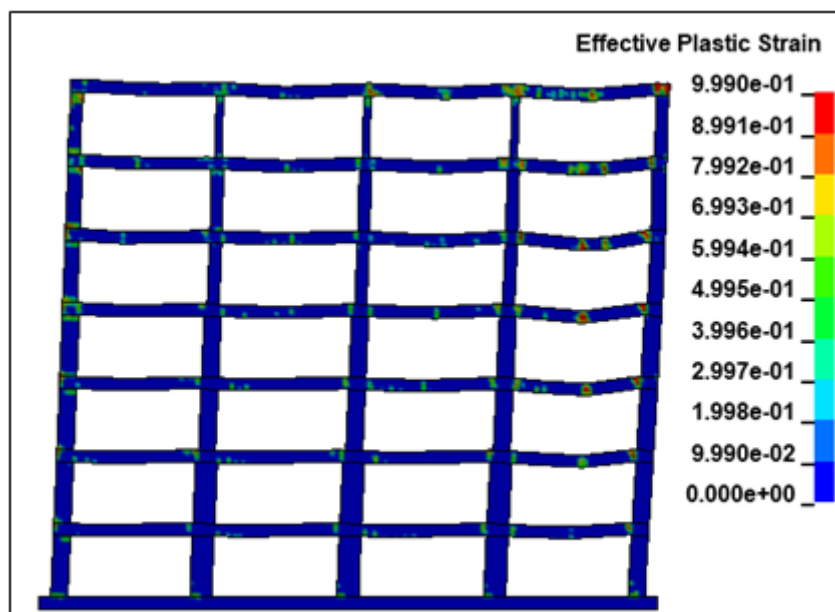
χρονολογιών, ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμα τα μεγέθη. Στην Εικόνα 4.12 παρουσιάζονται τα γυμνά πλαίσια του '70 και του '90. Για να μπορέσουμε να παρακολουθήσουμε καλύτερα τη σταδιακή ρηγμάτωση των πλαισίων (δοκών υποστυλωμάτων), έχουν σημειωθεί πάνω στις καμπύλες τα επιμέρους σημεία (1,2,3 για το πλαίσιο '70 και 4,5 για το πλαίσιο '90) που θα αξιολογηθούν αναλυτικά στη συνέχεια.



Εικόνα 4.12: Καμπύλη Τέννουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής γυμνών πλαισίων '70 και '90

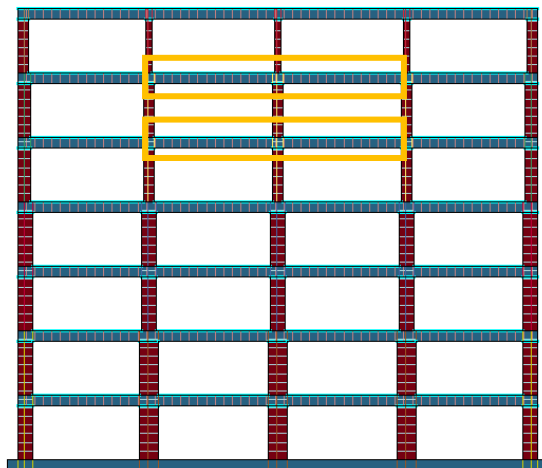
#### ❖ Γυμνό Πλαίσιο '70

Στο **σημείο 1** που αντιστοιχεί σε πλευρική μετακίνηση ίση με 0.034m ( $t=0.14\text{sec}$ ), παρατηρούνται εκτεταμένες βλάβες στο φορέα (Εικόνα 4.13) με κυριότερη την εμφάνιση στα άκρα των δοκών.

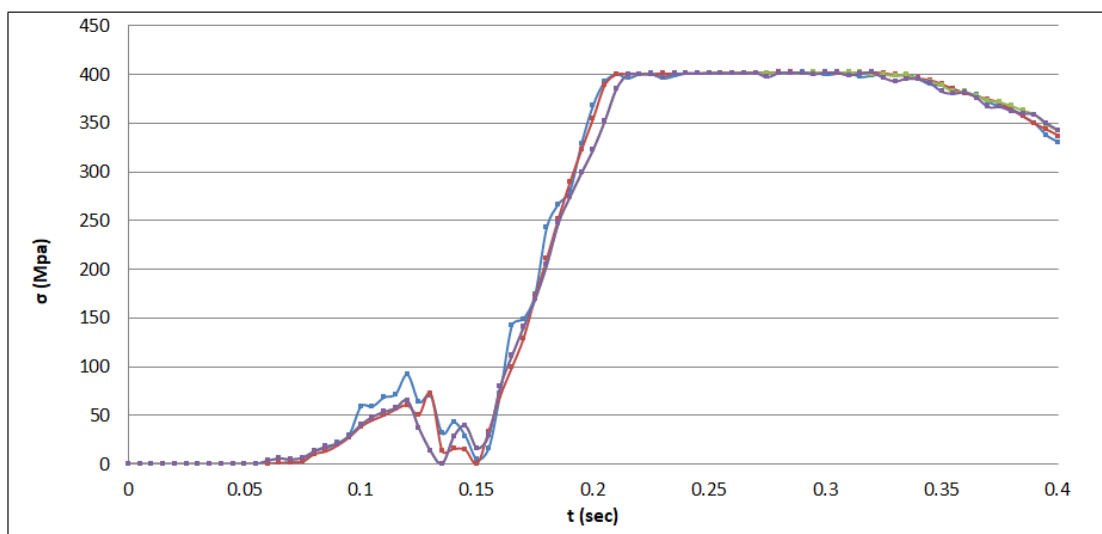


Εικόνα 4.13: Βλάβες σε στοιχεία δοκών-υποστυλωμάτων για μετακίνηση  $\delta=0.034\text{m}$  ( $t=0.14\text{sec}$ )

Στο **σημείο 2**, που αντιστοιχεί σε πλευρική μετακίνηση ίση με 0.11m ( $t=0.21$  sec) έχουμε την πρώτη διαρροή η οποία αφορά τους κάτω οπλισμούς δοκών του 5<sup>ου</sup> ορόφου και τους πάνω οπλισμούς δοκών του 6<sup>ου</sup> ορόφου όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.14. Υπενθυμίζουμε πως οι διαμήκεις οπλισμοί έχουν εφελκυστική αντοχή  $f_y=400$ MPa. Τα διαγράμματα τάσεων-χρόνου ( $\sigma$ - $t$ ) εμφανίζονται στην Εικόνα 4.15.



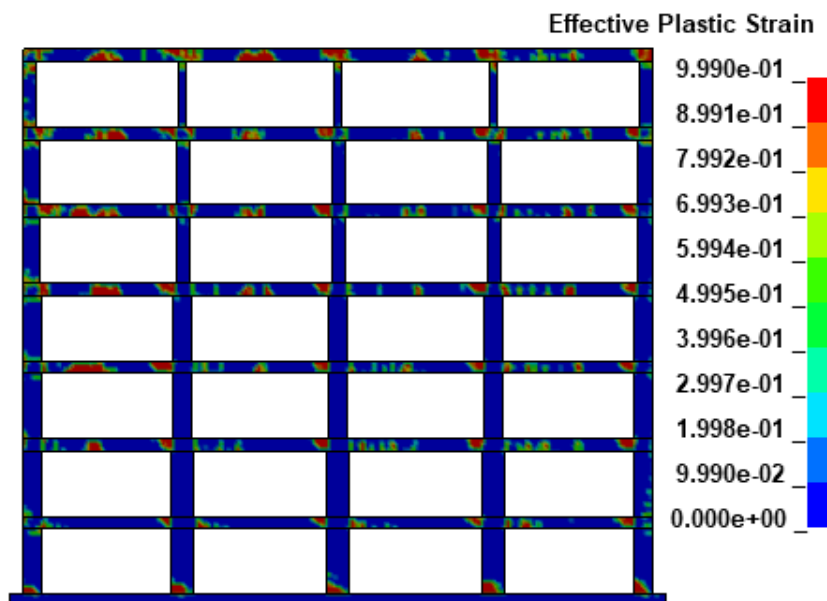
Εικόνα 4.14: Οπλισμοί δοκών 5<sup>ου</sup> και 6<sup>ου</sup> ορόφου που έχουν διαρρεύσει για μετακίνηση  $d=0.11$ m ( $t=0.21$ sec)



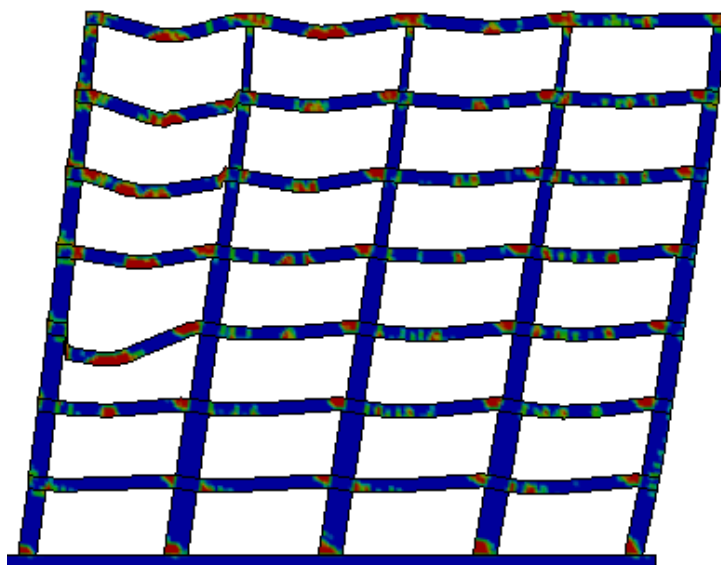
Εικόνα 4.15: Διαγράμματα αξονικών τάσεων-χρόνου για τους οπλισμούς που έχουν διαρρεύσει για μετακίνηση  $d=0.11$ m ( $t=0.21$ sec)

Στο **σημείο 3**, που αντιστοιχεί σε μετακίνηση οροφής ίση με 0.308m ( $t=0.40$  sec), οι βλάβες είναι εκτεταμένες σε αρκετά σημεία του φορέα, όπως μπορούμε να δούμε στην Εικόνα 4.16. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως η πλειοψηφία των βλαμμένων στοιχείων αφορά στοιχεία δοκών, ενώ στα υποστυλώματα οι βλάβες περιορίζονται στους πόδες του ισογείου αλλά και σε πόδα και κεφαλή των υποστυλωμάτων των τελευταίων ορόφων. Η παραμορφωμένη κατάσταση παρουσιάζεται στην Εικόνα

4.17 με εφαρμογή συντελεστή κλιμάκωσης της μετακίνησης (displacement scale factor) = 10.

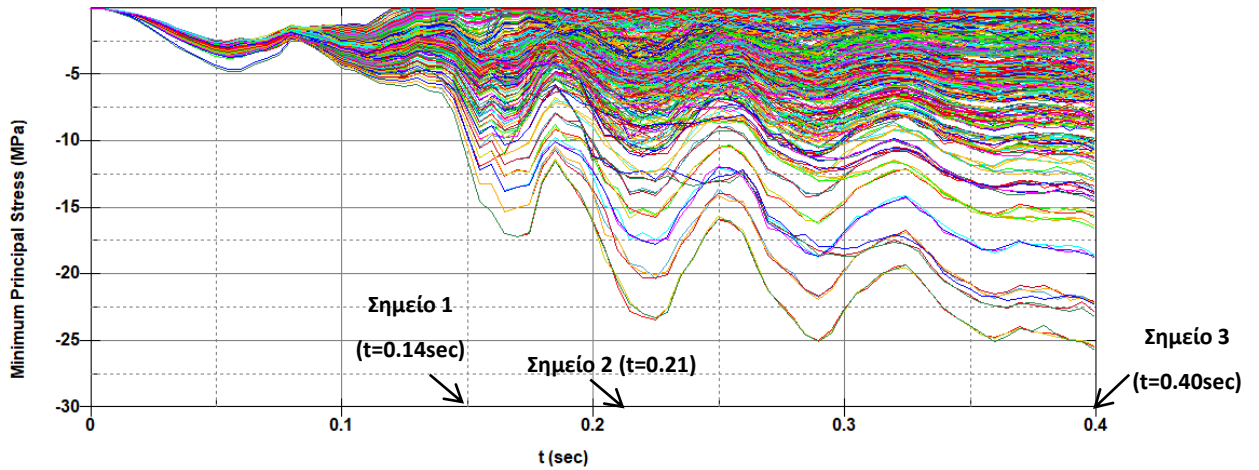


Εικόνα 4.16: Βλάβες στοιχείων για μετακίνηση  $d=0.308m$  ( $t=0.40sec$ )



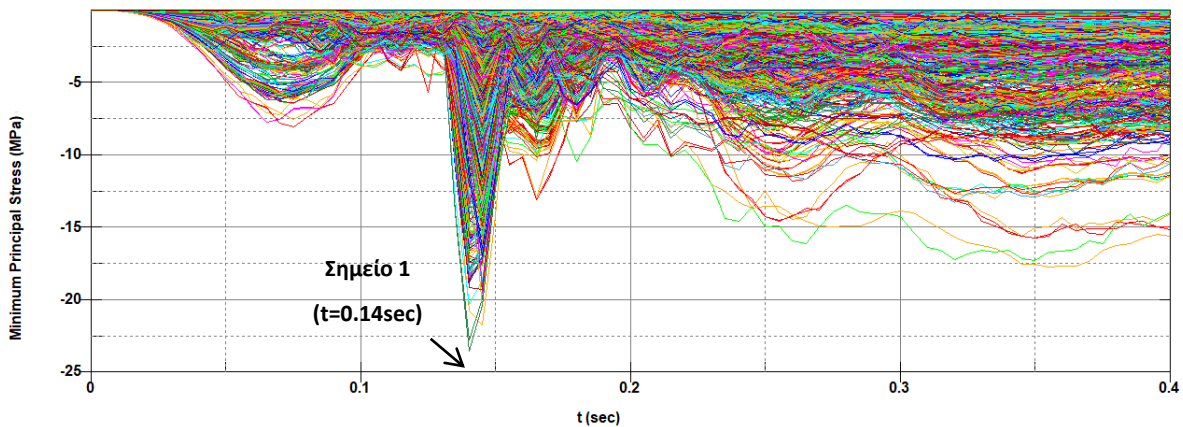
Εικόνα 4.17: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης για μετακίνηση  $d=0.308m$  ( $t=0.40sec$ ) και *displacement scale factor*= 10.

Ενδεικτικά στην Εικόνα 4.18 φαίνονται οι μέγιστες (κατ' απόλυτη τιμή) τάσεις που αναπτύσσονται στα πεπερασμένα στοιχεία του δεξιού υποστυλώματος του 4<sup>ου</sup> φανώματος του 1<sup>ου</sup> ορόφου συναρτήσει του χρόνου. Παρατηρείται, πως περί το βήμα  $t=0.21sec$  (Σημείο 2) και στο βήμα  $t=0.40sec$  (Σημείο 3) όπου παρατηρείται αυξημένη βλάβη στο εν λόγω υποστυλώμα, οι τάσεις έχουν ξεπεράσει τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (20 MPa). Οι κατώτερες καμπύλες (όπου παρατηρείται και η αυξημένη θλιπτική τάση) αφορούν τη βάση του υποστυλώματος.



Εικόνα 4.18: Αναπτυσσόμενες τάσεις στο δεξιό υποστυλώμα του 4<sup>ου</sup> φαντώματος του 1<sup>ου</sup> ορόφου συναρτήσει του χρόνου του Πλαισίου '70

Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.19 φαίνονται οι μέγιστες (κατ' απόλυτη τιμή) τάσεις που αναπτύσσονται στα πεπερασμένα στοιχεία της δοκού του 4<sup>ου</sup> φαντώματος του 5<sup>ου</sup> ορόφου συναρτήσει του χρόνου. Παρατηρείται, πως περί το βήμα  $t=0.14\text{sec}$  (Σημείο 1) οι τάσεις έχουν ξεπεράσει τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (20 MPa). Οι κατώτερες καμπύλες (όπου παρατηρείται και η αυξημένη θλιπτική τάση) αφορούν στο αριστερό άκρο της δοκού.



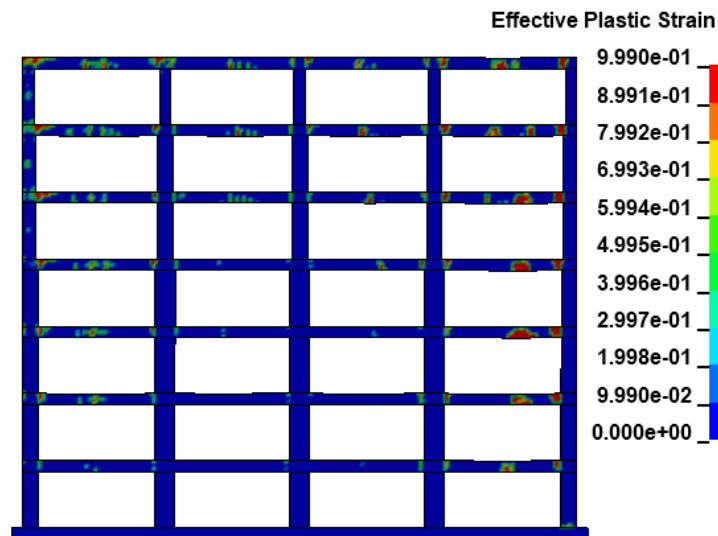
Εικόνα 4.19: Αναπτυσσόμενες τάσεις στη δοκό του 4<sup>ου</sup> φαντώματος του 5<sup>ου</sup> ορόφου συναρτήσει του χρόνου του πλαισίου '70

#### ❖ Γυμνό Πλαίσιο '90

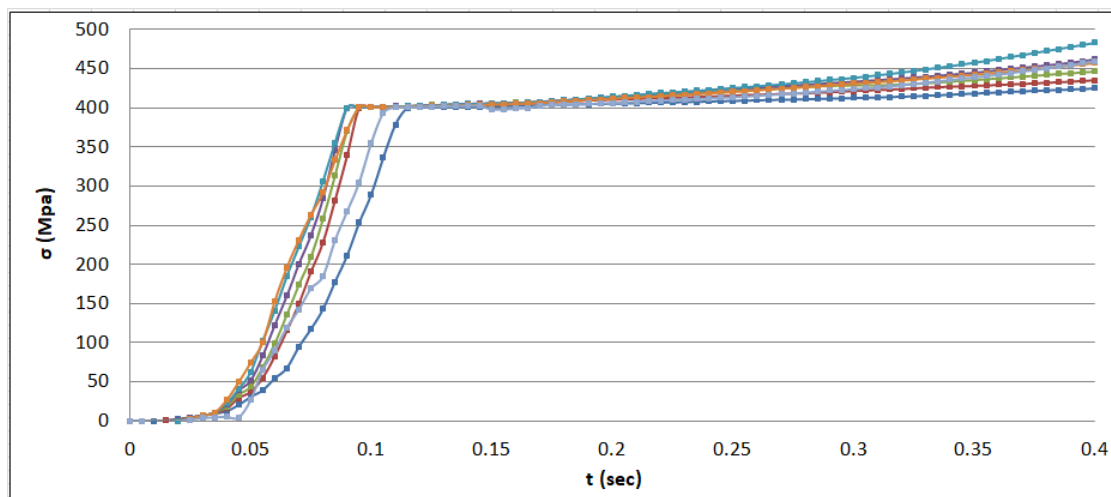
Στο **σημείο 4** που αντιστοιχεί σε πλευρική μετακίνηση ίση με 0.019m ( $t=0.13\text{ sec}$ ), παρατηρούνται εκτεταμένες βλάβες στο φορέα (Εικόνα 4.20) με κυριότερη την εμφάνιση στις δοκούς του 4<sup>ου</sup> φαντώματος. Επίσης, στην ίδια πλευρική μετακίνηση έχουμε και την πρώτη διαρροή η οποία εμφανίζεται ταυτόχρονα στις ακραίες δεξιές παρειές άνω όλων των δοκών του 4<sup>ου</sup> φαντώματος καθ' ύψος. Το διάγραμμα τάσεων-χρόνου των οπλισμών αυτών φαίνεται στην Εικόνα 4.21. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό,



πως η βλάβες που φαίνονται με έντονο κόκκινο χρώμα στην Εικόνα 4.20 οφείλονται κατά ένα ποσοστό και στη διαρροή των σπλισμών των δοκών.



Εικόνα 4.20: Βλάβες στοιχείων δοκών-υποστυλωμάτων για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.019m ( $t=0.13$  sec),

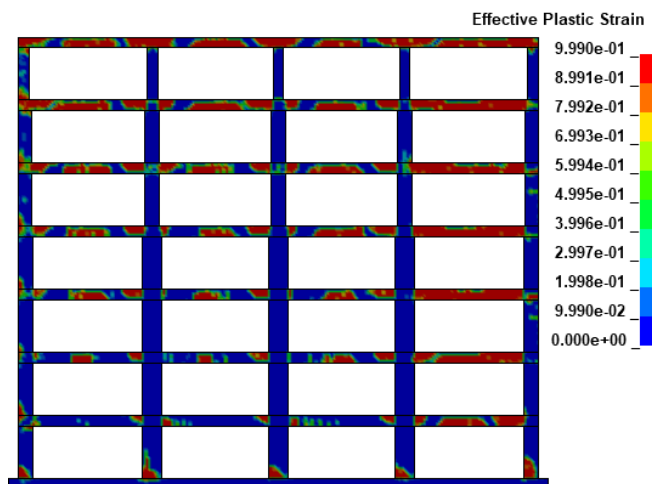


Εικόνα 4.21: Διάγραμμα αξονικών τάσεων-χρόνου των σπλισμών που διέρρευσαν για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.019m ( $t=0.13$  sec),

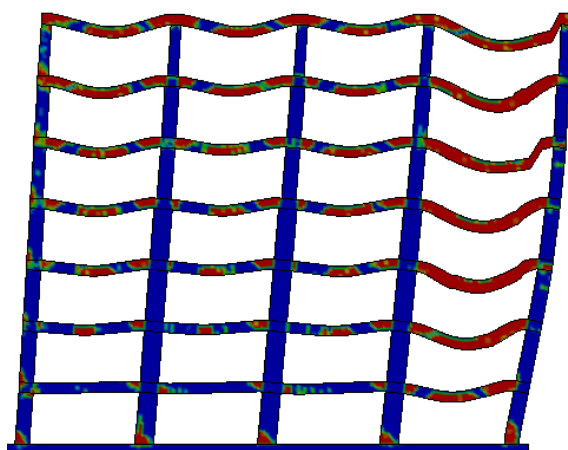
Στο **σημείο 5**, που αντιστοιχεί σε μετακίνηση οροφής ίση με 0.352m ( $t=0.40$  sec), οι βλάβες είναι εκτεταμένες σε αρκετά σημεία του φορέα, όπως μπορούμε να δούμε στην Εικόνα 4.22. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως η πλειοψηφία των βλαμμένων στοιχείων αφορά στοιχεία δοκών σχεδόν σε όλα τα φαντώματα με κυριότερη την εμφάνιση στο τελευταίο. Βασικότερο αίτιο της κατάστασης αυτής είναι το μικρό πάχος προσομοίωσης των δοκών ( $b=0.20$ m). Στα υποστυλώματα οι βλάβες περιορίζονται στους πόδες του ισογείου ενώ φαίνεται να σχηματίζονται βλάβες και στους κόμβους του αριστερού φαντώματος.

Η παραμορφωμένη κατάσταση παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.23 (με εφαρμογή displacement scale factor = 10) όπου φαίνεται το βέλος κάμψης του δεξιού φαντώματος

να είναι σημαντικά μεγαλύτερο συγκριτικά με των υπόλοιπων φατνωμάτων αλλά και με του πλαισίου '70.

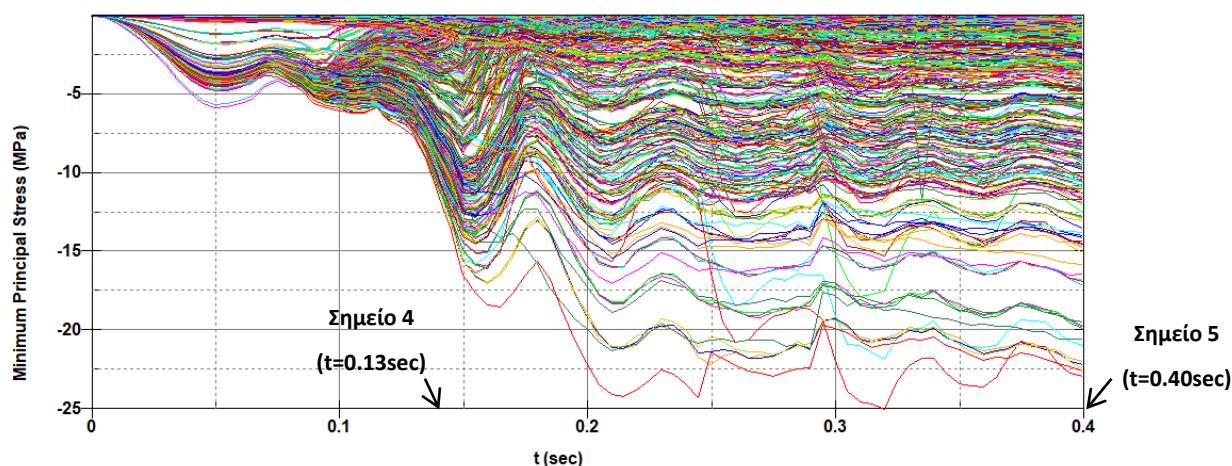


Εικόνα 4.22: Βλάβες στοιχείων (δοκών-υποστυλωμάτων) για μετακίνηση οροφής ίση με  $0.352m$  ( $t=0.40$  sec) Πλαισίου '90 με *displacement scale factor* = 10



Εικόνα 4.23: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης για μετακίνηση οροφής ίση με  $0.352m$  ( $t=0.40$  sec) Πλαισίου '90

Ενδεικτικά στην Εικόνα 4.24 φαίνονται οι ελάχιστες κύριες τάσεις για τα πεπερασμένα στοιχεία του 4<sup>ου</sup> υποστυλώματος του 1<sup>ου</sup> ορόφου συναρτήσει του χρόνου. Οι κατώτερες καμπύλες αφορούν τα στοιχεία στη βάση του υποστυλώματος. Παρατηρείται πως στη βάση, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος έχει ξεπεραστεί στο χρόνο  $t=0.40$ sec και έχει φτάσει μέχρι τα 25 MPa.

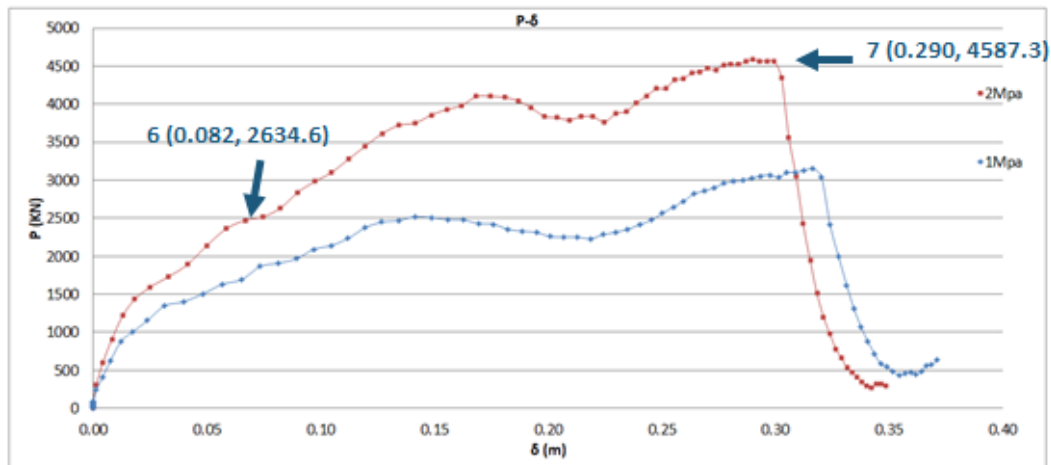


Εικόνα 4.24: Αναπτυσσόμενες τάσεις στο δεξιό υποστυλώμα του 4<sup>ου</sup> φραγνώματος του 1<sup>ου</sup> ορόφου συναρτήσει του χρόνου του Πλαισίου '90

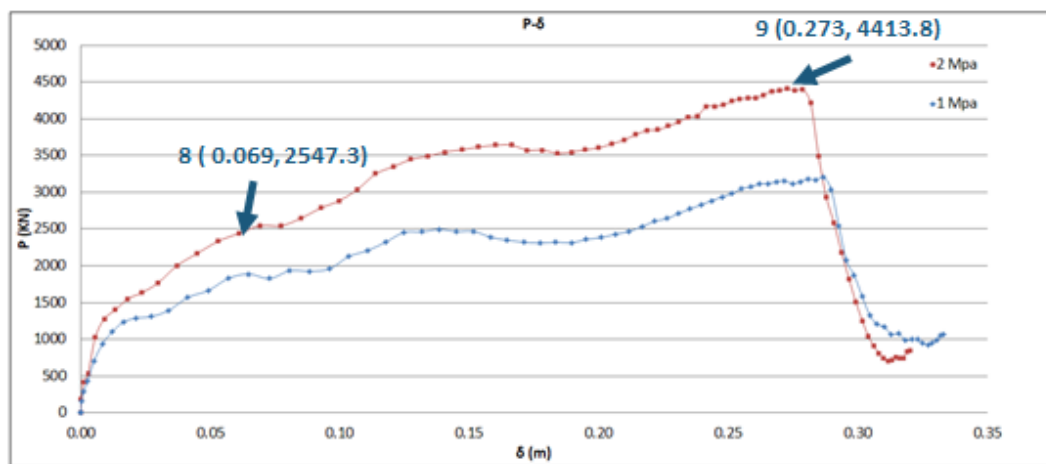
Συγκρίνοντας τα δύο πλαίσια '70 και '90, μπορούμε να παρατηρήσουμε πως οι βλάβες στην περίπτωση του Πλαισίου '70 κατανέμονται σχεδόν ομοιόμορφα σε δοκούς και υποστυλώματα, γεγονός που δεν συμβαίνει στην περίπτωση του Πλαισίου του '90 όπου είναι ιδιαίτερα εμφανής η έντονη ρηγμάτωση των δοκών έναντι των υποστυλωμάτων και για τα οποία η βλάβη παρουσιάζεται εντονότερα στη στάθμη του ισογείου.

#### 4.2.2 Τοιχοπληρωμένα Πλαίσια '70 και '90

Στην περίπτωση των τοιχοπληρωμένων πλαισίων εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις που αφορούν στην αντοχή της τοιχοπλήρωσης. Στην πρώτη περίπτωση εφαρμόστηκε ισχυρή τοιχοπλήρωση με θλιπτική αντοχή ίση με 2,0 MPa και στη δεύτερη, τοιχοπλήρωση με θλιπτική αντοχή ίση με 1,0 MPa. Σημειώνεται πως τοίχοι με θλιπτική αντοχή που κυμαίνεται από 0,5-1,5 MPa χαρακτηρίζονται ως ασθενής ποιότητας, ενώ για τιμή από 2,0-2,5 MPa, ο τοίχος θεωρείται ιδιαίτερα ισχυρός. Η εφελκυστική αντοχή της τοιχοπλήρωσης ορίστηκε ως το 10% της θλιπτικής. Για να μπορέσουμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση της θλιπτικής αντοχής του τοίχου στην συνολική συμπεριφορά του πλαισίου, παρατίθενται στις Εικόνες 4.25~4.26 τα διαγράμματα τέμνουσας βάσης – μετακίνησης κορυφής για την περίπτωση του ασθενούς (1MPa) και ισχυρού (2MPa) τοίχου για το πλαίσιο '70 και του '90 αντίστοιχα. Για καλύτερη αξιολόγηση στον Πίνακα 4.7 αναγράφονται οι μέγιστες τιμές της τέμνουσας βάσης κατά το βήμα τερματισμού της επιβολής της οριζόντιας μετατόπισης για κάθε μία υπο-περίπτωση καθώς και οι αντίστοιχες μετακινήσεις κορυφής.



Εικόνα 4.25: Καμπύλη Τέμνουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής πλαισίου '70 για την περίπτωση ασθενούς(1MPa) και ισχυρού τοίχου(2MPa)



Εικόνα 4.26: Καμπύλη Τέμνουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής πλαισίου '90 για την περίπτωση ασθενούς(1MPa) και ισχυρού τοίχου(2MPa)

	f <sub>m</sub> = 2 MPa		f <sub>m</sub> = 1 MPa	
	V <sub>b</sub> (kN)	δ (m)	V <sub>b</sub> (kN)	δ (m)
Πλαίσιο '70	4,587.30	0.29	3,154.30	0.31
Πλαίσιο '90	4,413.80	0.27	3,207.00	0.28

Πίνακας 4.7: Μέγιστες τιμές Τέμνουσας βάσης-μετακίνηση κορυφής για κάθε αντοχή τοιχοπλήρωσης για κάθε πλαίσιο

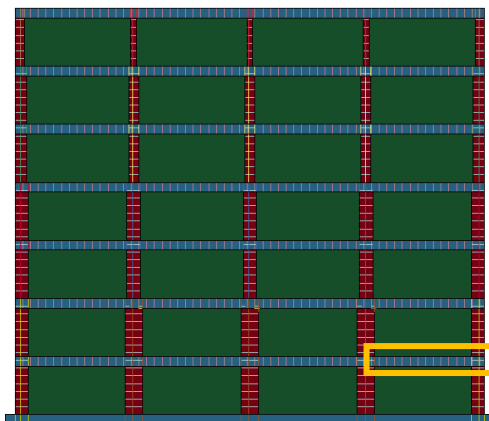
Τόσο από τα διαγράμματα όσο και από τον αντίστοιχο πίνακα φαίνεται η επιρροή της ισχυρής τοιχοπλήρωσης στην αντοχή ενός πλαισίου, καθώς και στις δύο περιπτώσεις πλαισίων, η συνολική αντοχή αυξάνεται κατά περίπου 30% όταν χρησιμοποιείται τοιχοπλήρωση με θλιπτική αντοχή 2MPa. Οι μετακινήσεις κορυφής που αντιστοιχούν στη μέγιστη τέμνουσα βάσης σε κάθε περίπτωση είναι περίπου ίδιες ανεξάρτητα με την επιλογή της αντοχής της τοιχοπλήρωσης και ισούνται περίπου με το 1.3% του ύψους. Όσον αφορά τις μέγιστες τιμές των τεμνουσών βάσης των πλαισίων '70 και '90 για κάθε μία περίπτωση αντοχής τοιχοπλήρωσης,

παρατηρούμε πως είναι αρκετά κοντά, επιβεβαιώνοντας τον πρωταγωνιστικό ρόλο της τοιχοπλήρωσης και την συμπεριφορά του φορέα ως τοιχοπληρωμένος δίσκος με νευρώσεις από σκυρόδεμα (δοκούς και υποστυλώματα).

Η μειωμένη αντοχή της τοιχοπλήρωσης εφαρμόστηκε μόνο για την σύγκριση των μέγιστων τιμών της τέμνουσας-βάσης και της αντίστοιχης μετακίνησης κορυφής. Τα αποτελέσματα που ακολουθούν αφορούν την περίπτωση της ισχυρής τοιχοπλήρωσης με θλιπτική αντοχή ίση με  $f_m=2.0$  MPa.

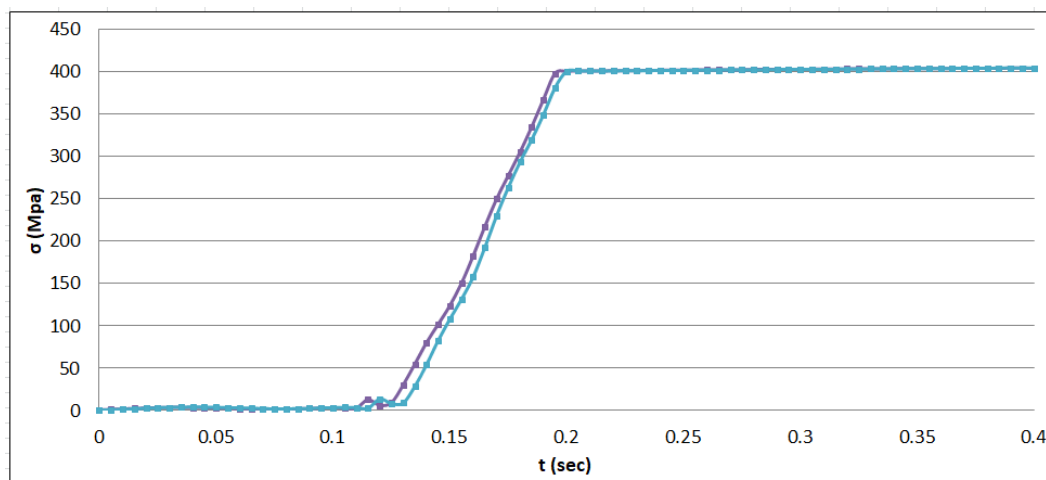
#### ❖ Τοιχοπληρωμένο Πλαίσιο '70

Στο βήμα  $t=0.19$ sec το οποίο αντιστοιχεί σε πλευρική μετακίνηση ίση με  $0.082$  m (Σημείο 6) εμφανίζεται η πρώτη διαρροή οποία αφορά τους κάτω σπλισμούς του ανοίγματος του 4<sup>ου</sup> φαντώματος του 1<sup>ου</sup> ορόφου (Εικόνα 4.27)



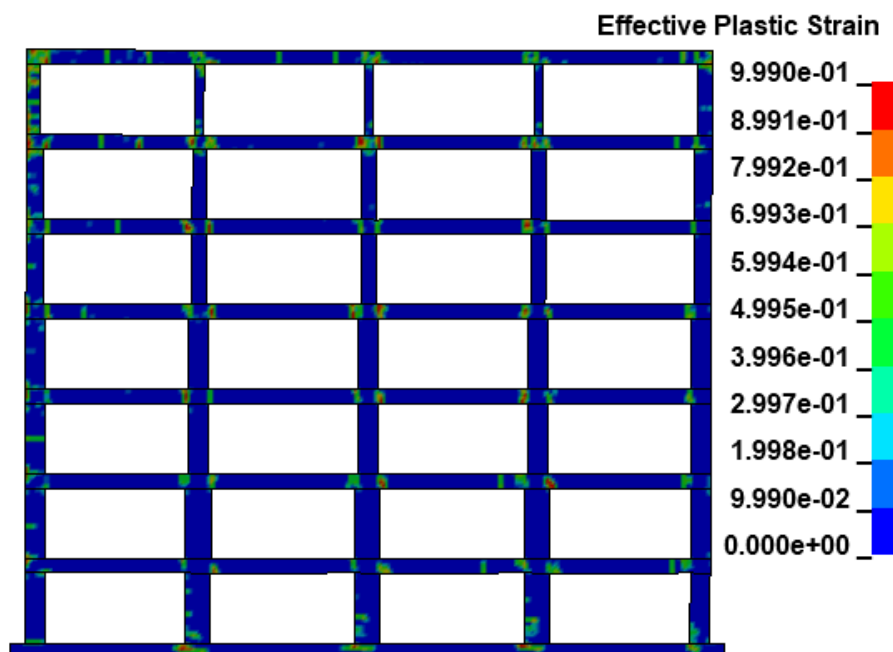
Εικόνα 4.27: Σπλισμοί δοκών 4<sup>ου</sup> φαντώματος του 1<sup>ου</sup> ορόφου που έχουν διαρρεύσει για πλευρική μετακίνηση ίση με  $0.082$ m ( $t=0.19$ sec)

Το διάγραμμα τάσεων-χρόνου για τους εν λόγω σπλισμούς φαίνεται στην Εικόνα 4.28.



Εικόνα 4.28: Διάγραμμα αξονικών τάσεων-χρόνου σπλισμών που διέρρευσαν για πλευρική μετακίνηση ίση με  $0.082$ m ( $t=0.19$ sec)

Στην Εικόνα 4.29 βλέπουμε τις βλάβες που έχουν δημιουργηθεί στις δοκούς και τα υποστυλώματα για την εν λόγω μετακίνηση ( $\delta=0.082\text{m}$ ) που αντιστοιχούν στο **Σημείο 6**. Παρατηρείται πως έχουν αρχίσει να εμφανίζονται βλάβες στο φορέα, κυρίως στα άκρα των δοκών και εντοπίζονται και στον πόδα των υποστυλωμάτων στη βάση. Να σημειωθεί πως δεν έχουν αναπτυχθεί ρωγμές στη τοιχοπλήρωση.

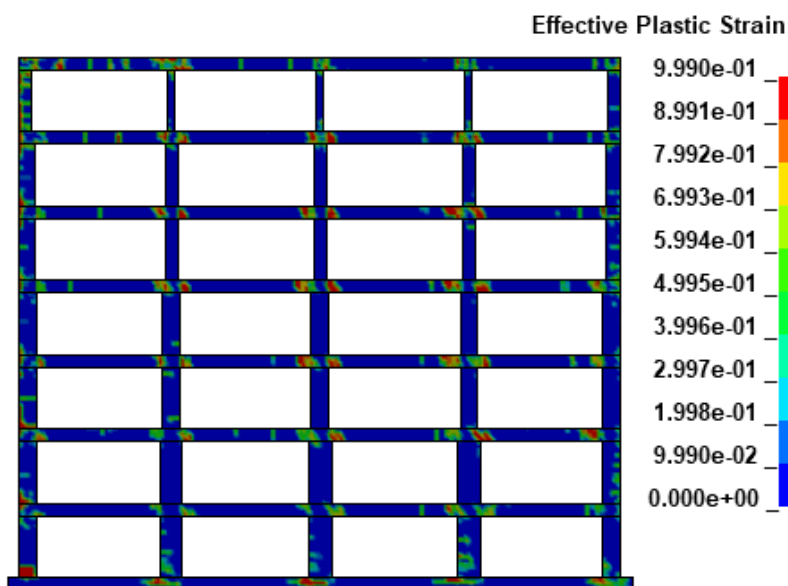


Εικόνα 4.29: Βλάβες στοιχείων (δοκών-υποστυλωμάτων) για μετακίνηση οροφής ίση με  $0.082\text{m}$  ( $t=0.19\text{ sec}$ ) Πλαισίου '70

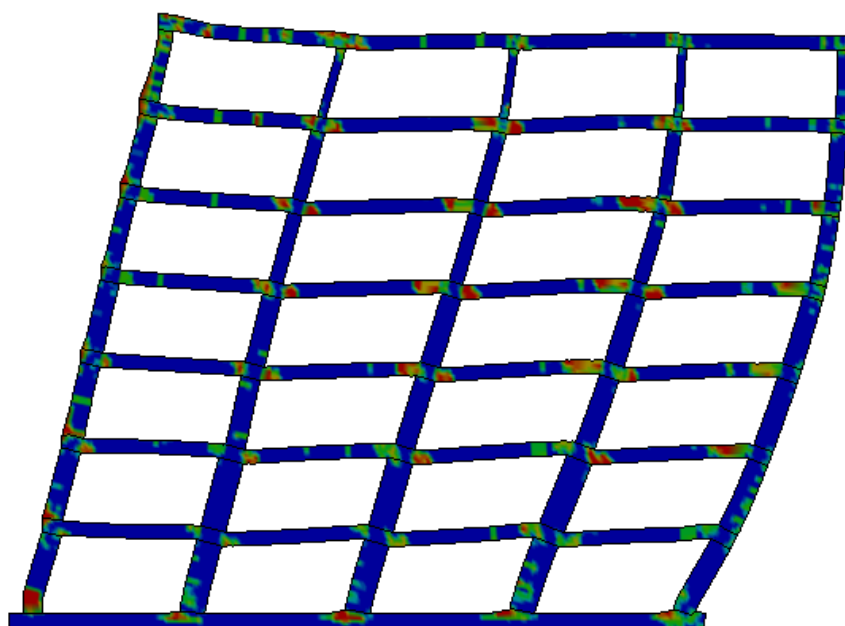
Στην Εικόνα 4.30 βλέπουμε τις βλάβες που έχουν αναπτυχθεί σε δοκούς και υποστυλώματα για πλευρική μετακίνηση ίση με  $0.29\text{ m}$  ( $t=0.385\text{ sec}$ ) (**Σημείο 7**). Παρατηρούμε οι βλάβες είναι κυρίως συγκεντρωμένες στα άκρα των δοκών. Στο μπροστινό υποστύλωμα του ισογείου φαίνεται μία πίεση στις μασχάλες ακριβώς όπως θα συνέβαινε στην περίπτωση της πλαισιακής λειτουργίας, ενώ παρατηρείται και ολίσθηση στους πόδες των υποστυλωμάτων του ισογείου.

Συγκριτικά με το γυμνό πλαίσιο, η παραμορφωμένη κατάσταση (Εικόνα 4.31) και το επίπεδο της βλάβης είναι εμφανώς καλύτερα. Σημειώνεται πως εφαρμόζεται συντελεστής κλιμάκωσης μετακίνησης=10.

Η κάμψη των δοκών παρεμποδίζεται από την ύπαρξη της τοιχοπλήρωσης. Οι δοκοί πιέζουν τον τοίχο μέχρι ενός σημείου, πέραν του οποίου έχουμε αποκόλληση λόγω εγκάρσιας παραμόρφωσης. Μπορούμε να δούμε πως το 1<sup>ο</sup> υποστύλωμα ρηγματώνεται οριζόντια στη βάση και συνεχίζει ευθεία ενώ το 4<sup>ο</sup> παραμορφώνεται διατμητικά. Επίσης, παρατηρούμε πως πολλές δοκοί παραμορφώνονται διατμητικά με τις βλάβες να προχωράνε και στους κόμβους (π.χ 2<sup>ο</sup> φάτνωμα 2<sup>ου</sup> ορόφου).

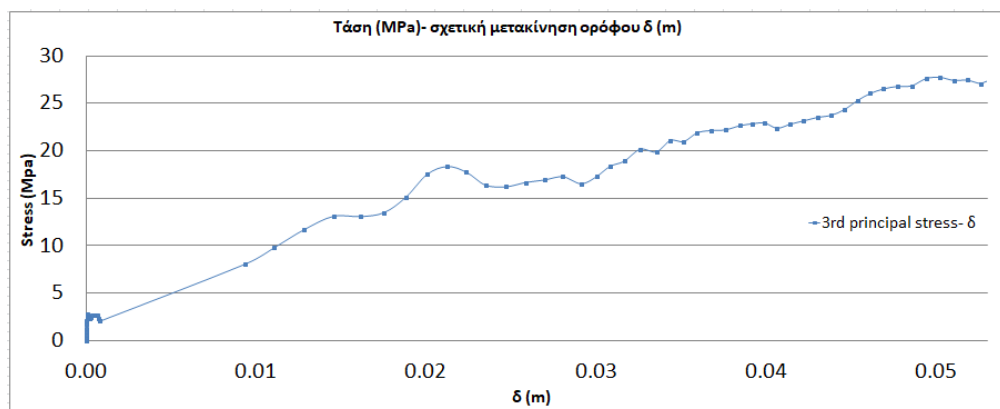


Εικόνα 4.30: Εμφανιζόμενες βλάβες σε δοκούς και υποστυλώματα πλαισίου '70 για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.29 m (t=0.385 sec)



Εικόνα 4.31: Παραμορφωμένη κατάσταση δοκών και υποστυλωμάτων πλαισίου '70 για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.29 m (t=0.385 sec)

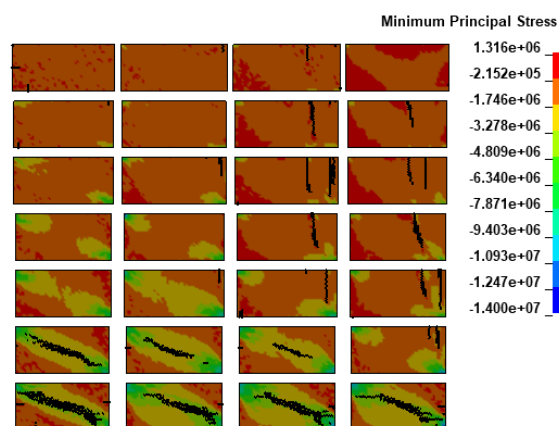
Στην Εικόνα 4.33 βλέπουμε το διάγραμμα τάσεων ( $3^{\text{rd}}$  principal stresses) συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου για το  $1^{\circ}$  υποστύλωμα του ισογείου όπου παρατηρείται αυτή η οριζόντια ρωγμή. Βλέπουμε πως η τάση αυξάνεται σταδιακά μέχρι το σημείο που η σχετική μετακίνηση ορόφου ισούται με 0.035m (t=0.285sec) και όπου η θλιπτική τάση ξεπερνά τη θλιπτική αντοχή και συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι τη μέγιστη σχετική μετατόπιση ορόφου ( $\delta=0.05\text{m}$ ).



Εικόνα 4.33: Διάγραμμα Ελάχιστων Κύριων τάσεων συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου του 1<sup>ου</sup> υποστυλώματος οροφής ισογείου του πλαισίου '70

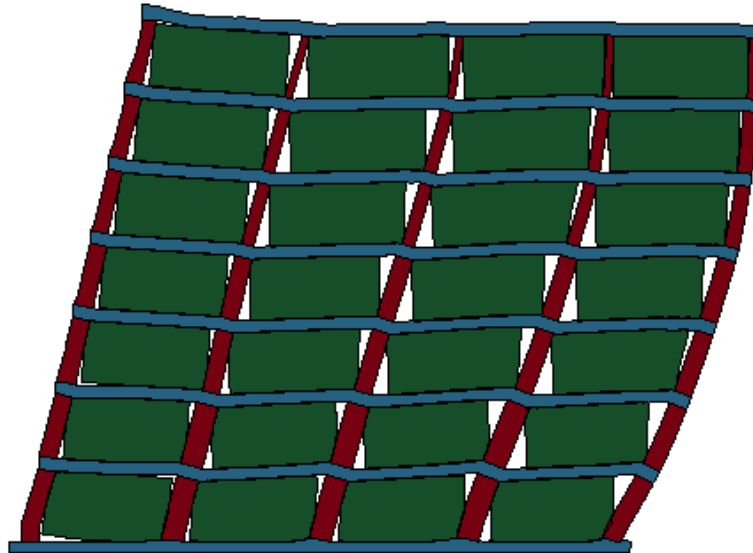
Στην Εικόνα 4.34 έχει απομονωθεί το τμήμα που αφορά την τοιχοπλήρωση και εμφανίζονται οι ρωγμές που έχουν αναπτυχθεί για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.29 m (**Σημείο 7**) μαζί με τις ελάχιστες κύριες τάσεις. Παρατηρούμε πως έχουν διαμορφωθεί ρωγμές στις τοιχοπληρώσεις και των τεσσάρων φατνωμάτων του ισογείου και των τριών πρώτων φατνωμάτων του 1<sup>ου</sup> ορόφου οι οποίες ακολουθούν τη διαγώνιο. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στους ανώτερους ορόφους οι τοιχοπληρώσεις πιέζονται μόνο κατακόρυφα από τις δοκούς γεγονός που δεν θα συμβεί σε τέτοιο βαθμό στην πράξη, καθώς αυτές τοποθετούνται μετά την εφαρμογή των μόνιμων φορτίων (πλην ερπυστικών). Παρατηρούμε, επίσης, πως οι ρωγμές εναρμονίζονται πλήρως με τις ελάχιστες κύριες τάσεις, οι οποίες στην περίπτωση του 4<sup>ου</sup> φατνώματος του 1<sup>ου</sup> ορόφου, παρουσιάζουν μικρότερες κατ' απόλυτη τιμή και γι αυτό εκεί δεν έχουν σχηματιστεί ρωγμές.

Στην Εικόνα 4.35 φαίνεται η παραμορφωμένη κατάσταση του τοιχοπληρωμένου πλαισίου '70 για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.29m ( $t=0.385$  sec). Οι τοιχοπληρώσεις αντιστέκονται και υποχρεώνουν τα υποστυλώματα σε διατμητική παραμόρφωση κοντού ορόφου.



Εικόνα 4.34: Ρωγμές που έχουν αναπτυχθεί στην τοιχοπλήρωση του '70 για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.29 m ( $t=0.385$  sec).

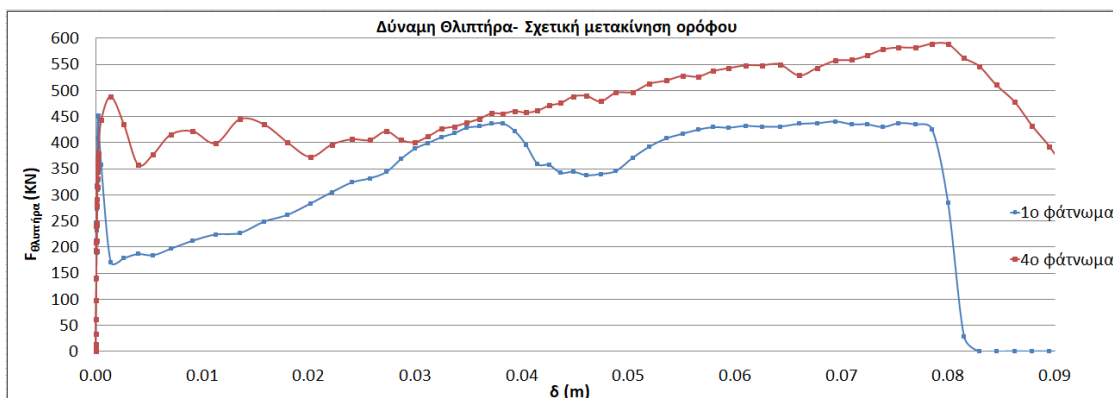




Εικόνα 4.35: Παραμορφωμένη κατάσταση τοιχοπληρωμένου πλαισίου '70 στον  $t=0.385$  sec. για displacement scale factor=10

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε το φορτίο ( $F_{\theta\lambda\iota\pi\tau\eta\rho\alpha}$ ) που παραλαμβάνεται από την τοιχοπλήρωση του 1<sup>ου</sup> και του 4<sup>ου</sup> φατνώματος του ισογείου αλλά και η γωνία που σχηματίζει ο διαγώνιος θλιπτήρας με την οριζόντιο συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου.

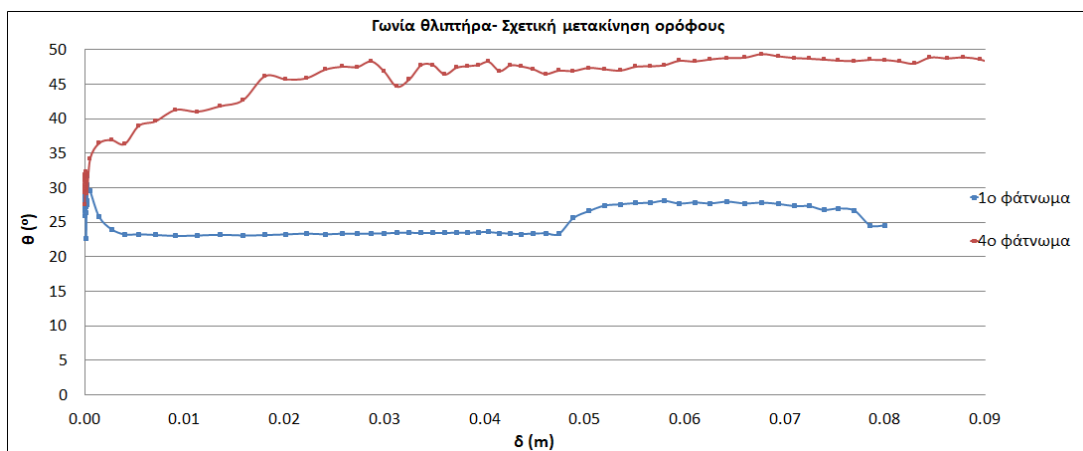
Εξάγοντας τις αντιδράσεις των κόμβων στις παρειές της τοιχοπλήρωσης κάθε φατνώματος προέκυψε το διάγραμμα  $F_{\theta\lambda\iota\pi\tau\eta\rho\alpha}$ - $\delta$  που φαίνεται στην Εικόνα 4.36 και που αφορά το 1<sup>ο</sup> και το 4<sup>ο</sup> φάτνωμα του ισογείου. Μπορούμε να παρατηρήσουμε πως η μέγιστη τιμή του φορτίου που παραλαμβάνεται από τον θλιπτήρα του 1<sup>ου</sup> φατνώματος ισούται με  $F = 451.06$  KN και είναι κατά 23.5% μικρότερη από τη μέγιστη τιμή του θλιπτήρα του 4<sup>ου</sup> φατνώματος ( $F=589.847$  KN). Βλέπουμε, επίσης, πως για  $\delta = 0.078$ m, η δύναμη του θλιπτήρα μηδενίζεται λόγω αποκόλλησης μεταξύ της τοιχοπλήρωσης και των πλαισίων στην πίσω (εφελκυσόμενη, λόγω ανατροπής) παρειά. Η δύναμη του θλιπτήρα στην περίπτωση του θλιβόμενου φατνώματος τείνει επίσης να μηδενιστεί μετά τον τερματισμό επιβολής της οριζόντιας μετατόπισης.



Εικόνα 4.36: Διάγραμμα  $F_{\theta\lambda\iota\pi\tau\eta\rho\alpha}$ - $\delta$  για το 1<sup>ο</sup> και το 4<sup>ο</sup> φάτνωμα του ισογείου του '70

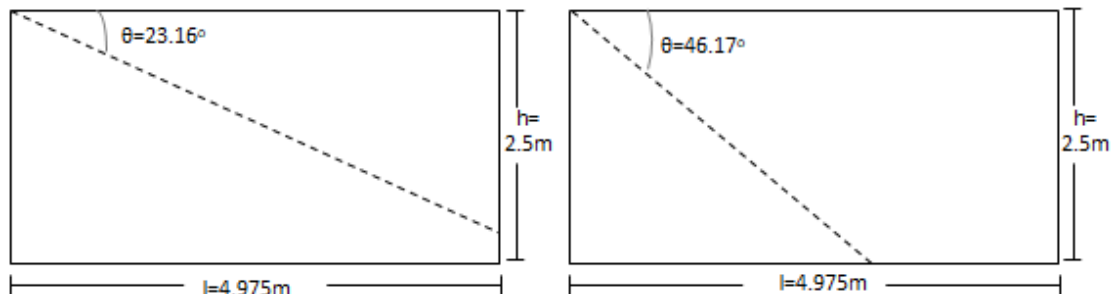
Τα δύο ακριανά φάτνωματα που μελετώνται έχουν μήκος ίσο με  $L=4.975\text{m}$  και ύψος  $H=2.5\text{m}$ . Συνεπώς η κλίση της διαγωνίου ως προς τον οριζόντιο άξονα είναι ίση με  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{2.50}{4.975}\right) = 26.68^\circ$ . Από τη μη γραμμική ανάλυση προέκυψε πως η κλίση του διαγώνιου θλιπτήρα του 1<sup>ου</sup> φάτνωματος ακολουθεί τη διαγώνιο (όπως ορίζει και ο ΚΑΝ.ΕΠΕ) και ισούται κατά μέσο όρο με  $25.95^\circ$ . Ως προς το 4<sup>ο</sup> φάτνωμα το οποίο είναι αμιγώς θλιβόμενο, προέκυψε πως ο διαγώνιος θλιπτήρας κατά μέσο όρο σχηματίζει  $40.80^\circ$  ως προς τον οριζόντιο άξονα.

Στην Εικόνα 4.37 φαίνεται η κλίση των διαγώνιων θλιπτήρων του 1<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> φάτνωματος ως προς τον οριζόντιο άξονα συναρτήσει της σχετική μετακίνησης ορόφου.



Εικόνα 4.37: Διάγραμμα  $\theta$ - $\delta$  1<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> φάτνωματος ισογείου κτιρίου '70

Στην Εικόνα 4.38 φαίνεται η θέση του θλιπτήρα σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με  $0.02\text{m}$  ( $t=0.195\text{sec}$ ) για α) το 1<sup>ο</sup> και β) το 4<sup>ο</sup> φάτνωμα του ισογείου. Παρατηρείται πως στο 1<sup>ο</sup> φάτνωμα ο θλιπτήρας καταλήγει στη βάση του υποστυλώματος ενώ στο 4<sup>ο</sup> φάτνωμα καταλήγει στη βάση στη δοκό.



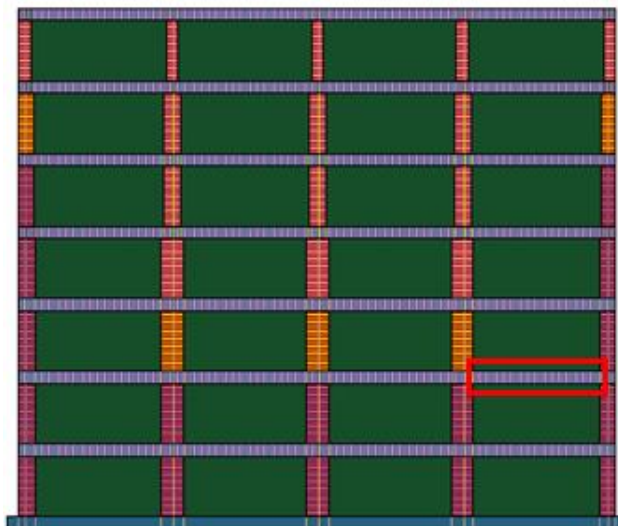
Εικόνα 4.38.: Θέση του θλιπτήρα α) στο 1<sup>ο</sup> και β) 4<sup>ο</sup> φάτνωμα του ισογείου του Πλαισίου '70

Ως προς το πλάτος του θλιπτήρα, αυτό μετρήθηκε από τις ρωγμές στο βήμα  $t=0.385\text{m}$ . Όπως ήταν αναμενόμενο, το πλάτος δεν προέκυψε σταθερό κατά τη διαγώνιο αλλά κυμάνθηκε στο 1<sup>ο</sup> φάτνωμα από  $0.36\sim 0.50\text{m}$ , ενώ στο 4<sup>ο</sup> από

0.42~0.70m. Αδρομερώς, ο Τάσιος Θεοδόσιος, καθηγητής Ε.Μ.Π υιοθέτησε στο σύγγραμμά του ([1]) την τιμή του πλάτους του διαγώνιου θλιπτήρα κατά την αστοχία του τοίχου ως το  $0.10 \cdot L$ , όπου  $L$  το μήκος της διαγωνίου. Στην περίπτωση του πλαισίου '70 το μήκος ισούται με  $L = \sqrt{2.5^2 + 4.975^2} = 5.57\text{m}$ . Συνεπώς η εκτιμώμενη τιμή του πλάτους του θλιπτήρα κατά Τάσιο είναι ίση με  $0.10 \cdot 5.57 = 0.56\text{m}$ . Παρατηρούμε πως η εκτίμηση αυτή αποδεικνύεται με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

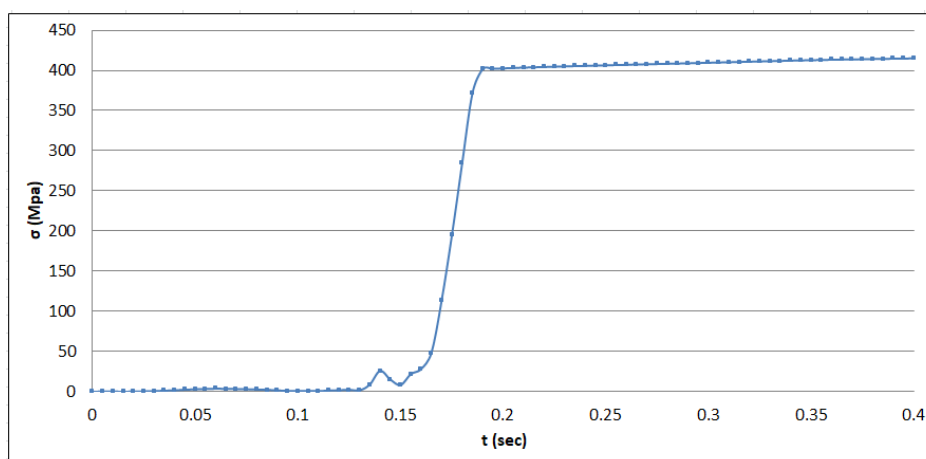
#### ❖ Τοιχοπληρωμένο Πλαίσιο '90

Στο **σημείο 8** του διαγράμματος τέμνουσας βάσης-μετατόπισης, που αντιστοιχεί στο χρονικό βήμα  $t=0.19\text{sec}$  και σε μετατόπιση κορυφής ίση με  $0.069\text{m}$ , έχουμε την πρώτη διαρροή οπλισμών που αφορούν τους πάνω οπλισμούς ανοίγματος του 4<sup>ου</sup> φανώματος του 2<sup>ου</sup> ορόφου (Εικόνα 4.39).



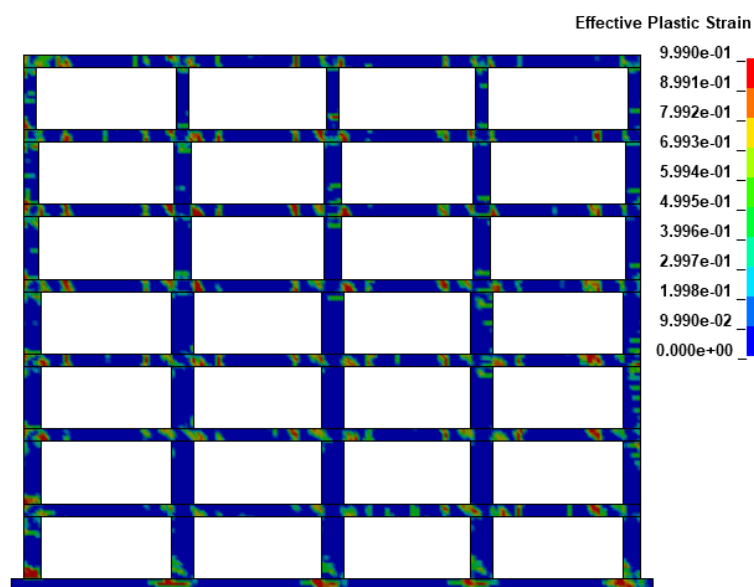
Εικόνα 4.39: Οπλισμοί που διέρρησαν για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με  $0.069\text{m}$  ( $t=0.19\text{ sec}$ )

Το διάγραμμα τάσεων-χρόνου για τους εν λόγω οπλισμούς φαίνεται στην Εικόνα 4.40.

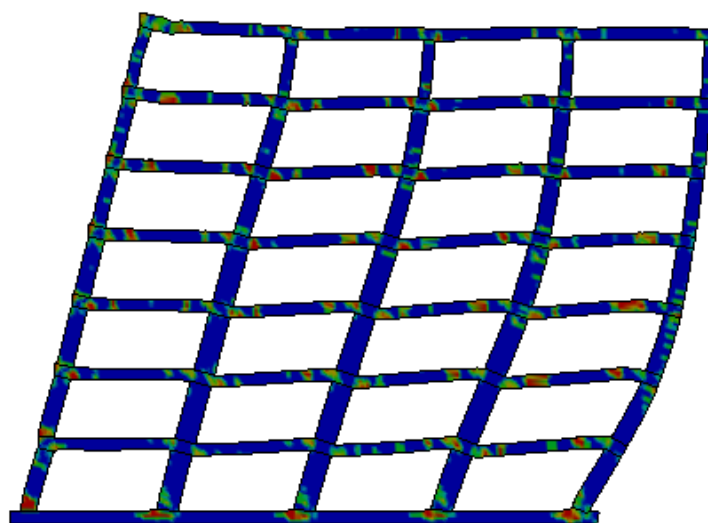


Εικόνα 4.40: Διάγραμμα αξονικών τάσεων-χρόνου οπλισμών που διέρρησαν για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με  $0.069\text{m}$  ( $t=0.19\text{ sec}$ )

Οι βλάβες που έχουν δημιουργεί σε δοκούς και υποστυλώματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.41 και αφορούν στον χρόνο  $t=0.39$  sec (Σημείο 9 στο διάγραμμα Τέμνουσα βάση-μετακίνηση κορυφής) και ο οποίος αντιστοιχεί σε μετακίνηση κορυφής ίση με 0.28m, δηλαδή στο 1.3% του ύψους. Παρατηρούμε πως οι βλάβες είναι εκτεταμένες και δημιουργούνται σχεδόν σε όλες τις δοκούς του φορέα και στην πλειοψηφία των κόμβων. Όσον αφορά τα υποστυλώματα, βλέπουμε στη βάση διαγώνιες ρωγμές αλλά και οριζόντιες που υποδηλώνουν σχετική ολίσθηση. Το κόκκινο χρώμα κάνει ιδιαίτερα αισθητή την εμφάνισή του. Η παραμορφωμένη κατάσταση φαίνεται στην Εικόνα 4.42, απ' όπου μπορούμε να διακρίνουμε την καμπτική παραμόρφωση στα πρώτα 3 φαντώματα, ενώ στο τέταρτο η παραμόρφωση είναι περισσότερο διατμητική.

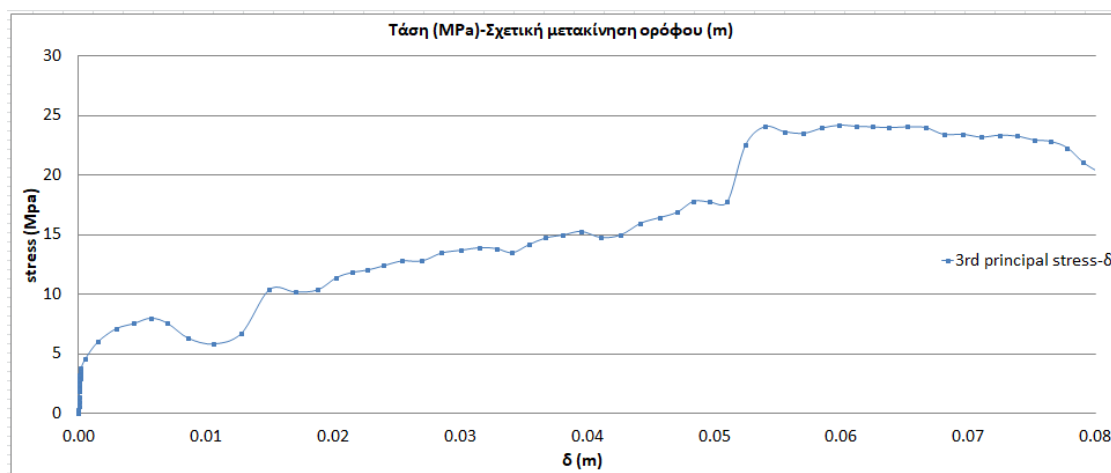


Εικόνα 4.41: Βλάβες που εμφανίζονται στα στοιχεία δοκών-υποστυλωμάτων για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.28m ( $t=0.39$  sec)



Εικόνα 4.42: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.28m ( $t=0.39$  sec) και για displacement scale factor=10

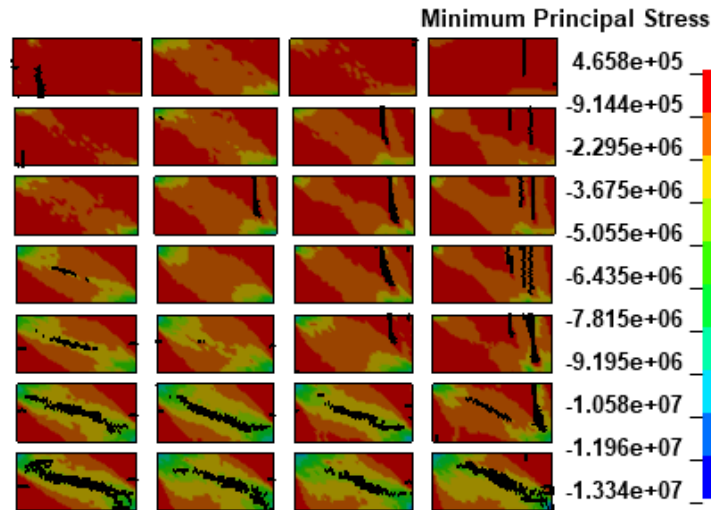
Ενδεικτικά στην Εικόνα 4.43 παρουσιάζεται το διάγραμμα τάσεων συναρτήσει της σχετικής ορόφου για το 5<sup>ο</sup> υποσύλωμα του ισογείου στο πόδα του, το οποίο παραμορφώνεται διατμητικά. Παρατηρούμε ότι η θλιπτική τάση ξεπερνά την θλιπτική αντοχή (δηλαδή τα 20 MPa) για σχετική μετακίνηση ορόφου  $\delta=0.053\text{m}$  ( $t=0.315\text{ sec}$ ) και παραμένει σταθερή μέχρι το τέλος της επιβολής της πλευρικής μετακίνησης όπου η καμπύλη αρχίζει και φθίνει.



Εικόνα 4.43: Διάγραμμα Ελάχιστων Κύριων τάσεων συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου του 5<sup>ου</sup> υποστυλώματος οροφής ισογείου του πλαισίου '90

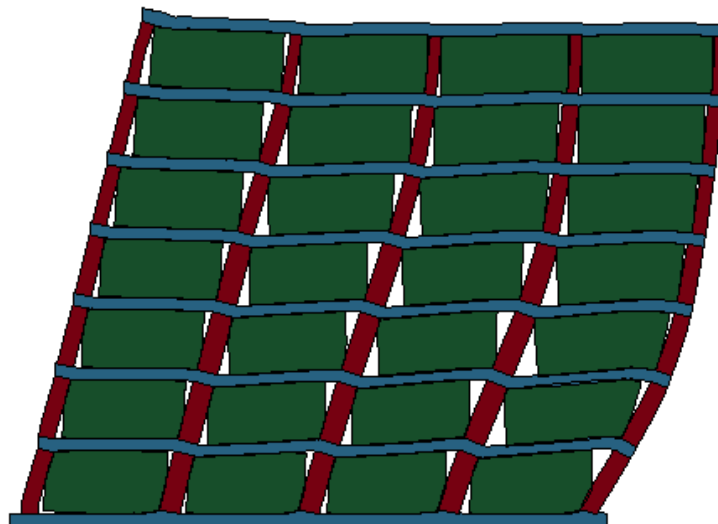
Στην Εικόνα 4.44 απομονώνεται το τμήμα που αφορά την τοιχοπλήρωση και εμφανίζονται οι ρωγμές που έχουν για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.28m ( $t=0.39\text{ sec}$ ) μαζί με τις ελάχιστες κύριες τάσεις.

Παρατηρούμε πως έχουν διαμορφωθεί ρωγμές στις τοιχοπληρώσεις και των τεσσάρων φατνωμάτων του ισογείου και του 1<sup>ου</sup> ορόφου ενώ σιγά σιγά αναπτύσσονται ρωγμές και στον 3<sup>ο</sup> όροφο. Οι θλιπτήρες έχουν αστοχήσει και στους δύο ορόφους κατά τη διαγώνιο. Βλέπουμε κι εδώ (πλαίσιο '90) τη διαμόρφωση κατακόρυφων ρωγμών σε όλους τους ορόφους του τελευταίου φατνώματος γεγονός που υποδεικνύει την πίεση των τοιχοπληρώσεων από τις δοκούς. Παρατηρούμε, επίσης, πως οι ρωγμές βρίσκονται σε απόλυτη αρμονία με τις ελάχιστες κύριες τάσεις οι οποίες, όπως ήταν αναμενόμενο, παρουσιάσουν μεγάλες τιμές κατά τη διαγώνιο.



Εικόνα 4.44: Ρωγμές στην τοιχοπλήρωση μαζί με τις ελάχιστες κύριες τάσεις για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.28m ( $t=0.39$  sec)

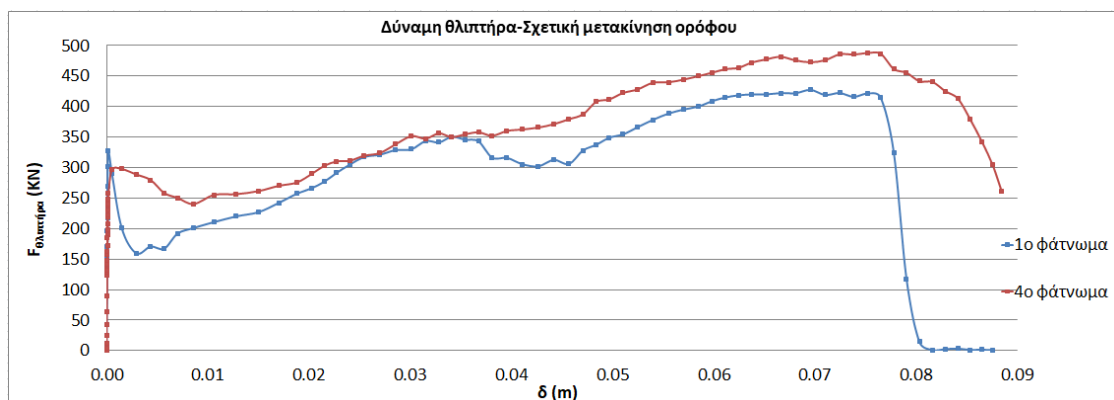
Η παραμορφωμένη κατάσταση των τοιχοπληρώσεων, των δοκών και των υποστυλωμάτων, στο χρόνο αυτό, παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.45. Βλέπουμε κι εδώ τη λειτουργία του contact που έχουμε εισάγει μεταξύ των πλαισίων και της τοιχοπλήρωσης καθώς η αποκόλληση μεταξύ τους είναι εμφανής. Οι τοιχοπληρώσεις «σπρώχνουν» τα υποστυλώματα, ενώ βλέπουμε πως στο δεξιό φάτνωμα των 3<sup>ο</sup> τελευταίων ορόφων οι τοιχοπληρώσεις και τα πλαίσια παραμορφώνονται μαζί. Στο 1<sup>ο</sup> φάτνωμα του ισογείου, η τοιχοπλήρωση εφελκύεται και αποκολλάται.



Εικόνα 4.45: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης δοκών-πλαisiών-τοιχοπλήρωσης για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.28m ( $t=0.39$  sec)

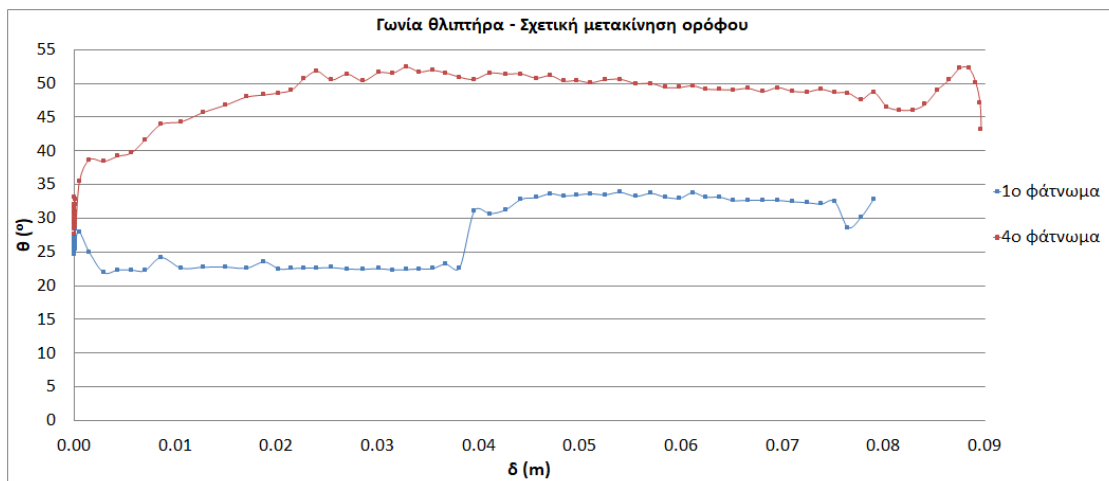
Στη συνέχεια, υπολογίστηκε το φορτίο ( $F_{\theta\lambda\iota\pi\tau\eta\rho\alpha}$ ) που παραλαμβάνεται από την τοιχοπλήρωση του 1<sup>ου</sup> και του 4<sup>ου</sup> φάτνωματος του ισογείου αλλά και η γωνία που σχηματίζει ο διαγώνιος θλιπτήρας με τον οριζόντιο άξονα συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου.

Εξάγοντας και για το πλαίσιο του '90, όπως και για του '70, τις αντιδράσεις των κόμβων στις παρειές της τοιχοπλήρωσης κάθε φατνώματος, προέκυψε το διάγραμμα  $F_{\theta\lambda\iota\pi\tau\eta\rho\alpha}-\delta$  που φαίνεται στην Εικόνα 4.46 και που αφορά το 1<sup>ο</sup> και το 4<sup>ο</sup> φατνώμα του ισογείου. Η μέγιστη τιμή του φορτίου που παραλαμβάνεται από τον θλιπτήρα του 1<sup>ου</sup> φατνώματος ισούται με  $F=427.46$  KN και είναι κατά 12.3% μικρότερη από τη μέγιστη τιμή του θλιπτήρα του 4<sup>ου</sup> φατνώματος ( $F=487.83$  KN). Βλέπουμε, επίσης, πως για  $\delta=0.0765$ m η δύναμη του θλιπτήρα μηδενίζεται λόγω αποκόλλησης μεταξύ της τοιχοπλήρωσης και των πλαισίων στην εφελκόμενη παρειά. Η δύναμη του θλιπτήρα στην περίπτωση του θλιβόμενου φατνώματος τείνει να μηδενιστεί μετά τον τερματισμό επιβολής της οριζόντιας μετατόπισης.



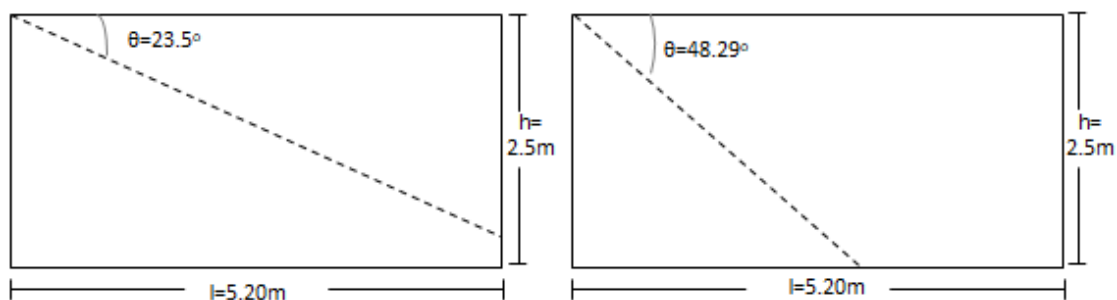
Εικόνα 4.46: Διάγραμμα  $F_{\theta\lambda\iota\pi\tau\eta\rho\alpha}-\delta$  για το 1<sup>ο</sup> και το 4<sup>ο</sup> φατνώμα του ισογείου του '90

Τα δύο ακραία φατνώματα που μελετώνται έχουν μήκος ίσο με  $L=5.20$ m και ύψος  $H=2.5$ m. Συνεπώς η κλίση της διαγωνίου ως προς τον οριζόντιο άξονα είναι ίση με  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{2.50}{5.20}\right) = 25.68^\circ$ . Από τη μη γραμμική ανάλυση προέκυψε πως η κλίση του διαγώνιου θλιπτήρα του 1<sup>ου</sup> φατνώματος ακολουθεί τη διαγώνιο και ισούται κατά μέσο όρο με  $25.60^\circ$ . Ως προς το 4<sup>ο</sup> φατνώμα, το οποίο είναι αμιγώς θλιβόμενο, προέκυψε πως ο διαγώνιος θλιπτήρας κατά μέσο όρο σχηματίζει  $43.06^\circ$  ως προς τον οριζόντιο άξονα. Στην Εικόνα 4.47 φαίνεται η κλίση των διαγώνιων θλιπτήρων του 1<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> φατνώματος ως προς τον οριζόντιο άξονα συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου.



Εικόνα 4.47: Διάγραμμα  $\theta$ - $\delta$  για το 1<sup>ο</sup> και το 4<sup>ο</sup> φάτνωμα του ισογείου του '90

Στην Εικόνα 4.48 φαίνεται η θέση του θλιπτήρα σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.02m ( $t=0.2\text{sec}$ ) για α) το 1<sup>ο</sup> και β) το 4<sup>ο</sup> φάτνωμα του ισογείου. Παρατηρείται πως στο 1<sup>ο</sup> φάτνωμα ο θλιπτήρας καταλήγει στη βάση του υποστυλώματος ενώ στο 4<sup>ο</sup> φάτνωμα καταλήγει στη βάση στη δοκό.



Εικόνα 4.48: Θέση του θλιπτήρα α) στο 1<sup>ο</sup> και β) 4<sup>ο</sup> φάτνωμα του ισογείου του Πλαισίου '90

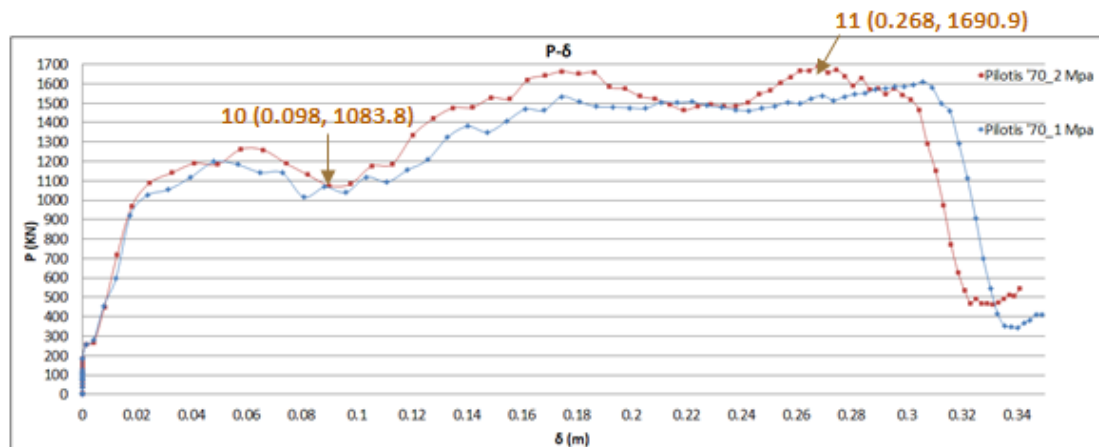
Ως προς το πλάτος του θλιπτήρα, αυτό μετρήθηκε από τις ρωγμές στο βήμα  $t=0.39\text{m}$ . Το πλάτος κυμάνθηκε στο 1<sup>ο</sup> φάτνωμα από 0.55~0.70m ενώ στο 4<sup>ο</sup> από 0.42~0.94m. Στην περίπτωση του πλαισίου '90 το μήκος ισούται με  $L = \sqrt{2.5^2 + 5.20^2} = 5.77\text{m}$ . Συνεπώς η εκτιμώμενη τιμή του πλάτους κατά Τάσιο ([1]) είναι ίση με  $0.10 \cdot 5.77 = 0.58\text{m}$ . Παρατηρούμε πως η εκτίμηση αυτή έχει μεγαλύτερη απόκλιση στην περίπτωση του '90 απ' ό,τι του '70, αλλά και πάλι οι τιμές είναι αρκετά κοντά.

### 4.2.3 Τοιχοπληρωμένα Πλαίσια '70 και '90 με PILOTIS

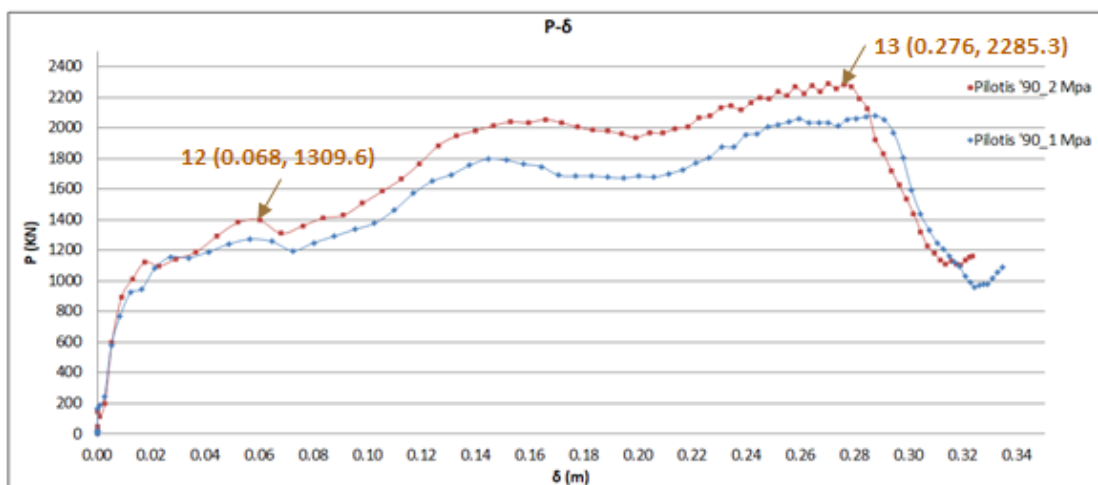
Όπως και στην περίπτωση των πλήρως τοιχοπληρωμένων πλαισίων εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις με μοναδική διαφοροποίηση τη θλιπτική αντοχή της τοιχοπλήρωσης. Υπενθυμίζουμε πως οι θλιπτικές αντοχές που εξετάστηκαν αφορούν την τιμή: 2 MPa



που αντιπροσωπεύει την ισχυρή τοιχοπλήρωση και την τιμή: 1 MPa όπου η τοιχοπλήρωση θεωρείται ασθενής. Τα διαγράμματα Τέμνουσας βάσης-μετακίνηση κορυφής παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.49~4.50 για τα πλαίσια του '70 και του '90 αντίστοιχα. Η μέγιστη τέμνουσα βάσης παρουσιάζεται για τις τέσσερις περιπτώσεις στον Πίνακα 4.8.



Εικόνα 4.49: Διάγραμμα Τέμνουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής για ισχυρή και ασθενή τοιχοπλήρωση πλαισίου PILOTIS '70



Εικόνα 4.50: Διάγραμμα Τέμνουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής για ισχυρή και ασθενή τοιχοπλήρωση πλαισίου PILOTIS '90

	f <sub>m</sub> = 2 MPa			f <sub>m</sub> = 1 MPa		
	t (sec)	V <sub>b</sub> (kN)	δ (m)	t (sec)	V <sub>b</sub> (kN)	δ (m)
Pilotis '70	0.355	1,690.0	0.268	0.395	1,609.5	0.306
Pilotis '90	0.395	2,285.3	0.276	0.395	2,079.5	0.287

Πίνακας 4.8: Μέγιστες τιμές τέμνουσών βάσης και αντίστοιχης μετατόπισης κορυφής στο χρονικό βήμα t=0.4sec

Από τον Πίνακα 4.8 μπορούμε να συμπεράνουμε πως στην περίπτωση της ισχυρής τοιχοπλήρωσης η συνολική αντοχή αυξάνεται κατά περίπου 5% στην περίπτωση του πλαισίου με Pilotis '70 και κατά περίπου 9% στην περίπτωση της Pilotis '90. Τα ποσοστά αυτά είναι αρκετά μικρότερα από των πλήρως τοιχοπληρωμένων πλαισίων

(24%). Συγκρίνοντας τα πλαίσια Pilotis '70 και '90, παρατηρούμε πως η αντοχή του δεύτερου είναι κατά περίπου 24% μεγαλύτερη για την περίπτωση της ισχυρής τοιχοπλήρωσης και κατά 22% μεγαλύτερη για την περίπτωση της ασθενούς. Από το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται η σημασία των ισχυρότερων υποστυλωμάτων του ισογείου του κτιρίου '90 έναντι εκείνων του '70. Από τα διαγράμματα των Εικόνων 4.49~4.50 γίνεται αντιληπτό πως η αντοχή της τοιχοπλήρωσης δεν παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην τελική μετακίνηση της κορυφής καθώς οι διαφορές είναι αμελητέες. Για το κτίριο του '90 η συνολική μετακίνηση είναι κατά περίπου 7% μεγαλύτερη από εκείνη του '70.

Όπως και στην περίπτωση των πλήρως τοιχοπληρωμένων πλαισίων, η μειωμένη αντοχή της τοιχοπλήρωσης εφαρμόστηκε μόνο για την σύγκριση των μέγιστων τιμών της τέμνουσας-βάσης και της αντίστοιχης μετακίνησης κορυφής. Τα αποτελέσματα που ακολουθούν αφορούν την περίπτωση της ισχυρής τοιχοπλήρωσης με θλιπτική αντοχή ίση με  $f_m=2,0 \text{ MPa}$

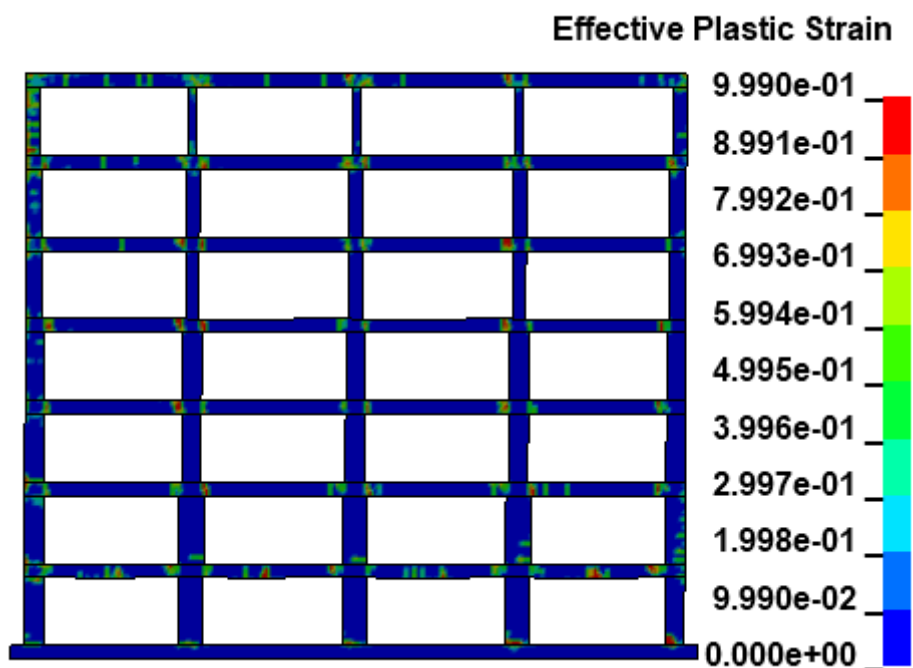
#### ❖ Τοιχοπληρωμένο Πλαίσιο '70 με PILOTIS

Στο βήμα  $t=0.20 \text{ sec}$  το οποίο αντιστοιχεί σε πλευρική μετακίνηση ίση με  $0.098 \text{ m}$  (**Σημείο 10**) εμφανίζεται η πρώτη διαρροή η οποία αφορά οπλισμούς (άνω και κάτω) του ανοίγματος του 4<sup>ου</sup> φανώματος του 1<sup>ου</sup> ορόφου, όπως ακριβώς και στην περίπτωση του πλήρως τοιχοπληρωμένου πλαισίου (Εικόνες 4.27~4.28).

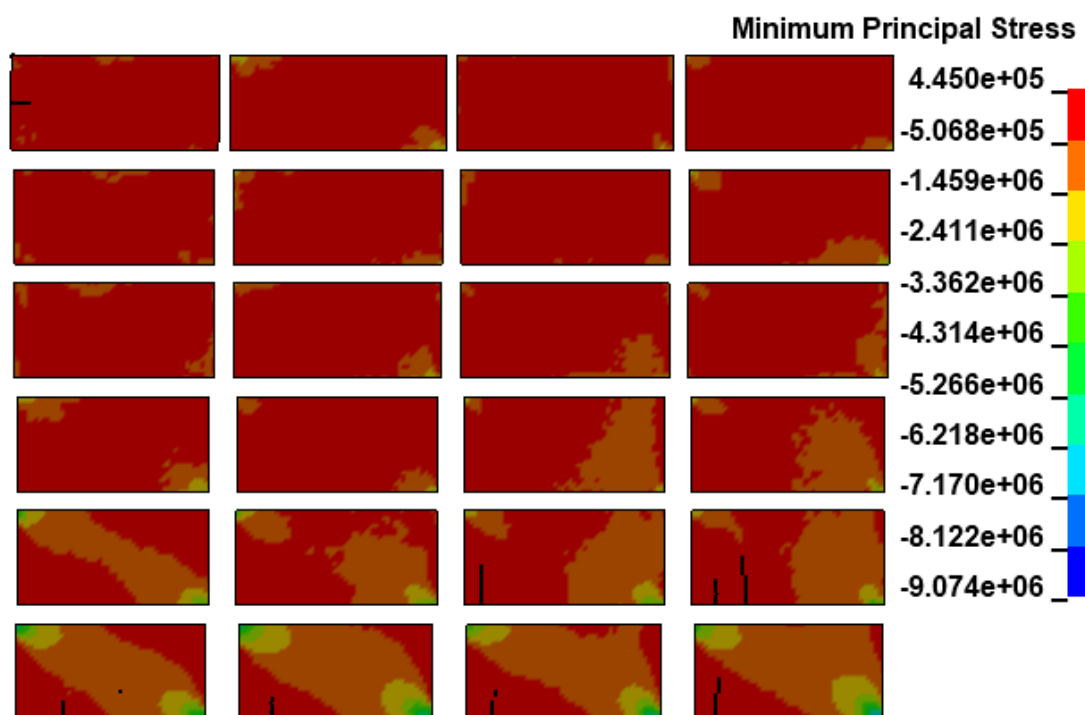
Στην εν λόγω μετακίνηση έχουν δημιουργηθεί βλάβες σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος (Εικόνα 4.51) αλλά και τοιχοπλήρωσης (Εικόνα 4.52).

Από την Εικόνα 4.51 παρατηρούμε πως οι βλάβες είναι συγκεντρωμένες στα άκρα των δοκών αλλά και στο μέσον των δοκών του 1<sup>ου</sup> ορόφου. Στους πόδες των υποστυλωμάτων του ισογείου έχουν επίσης αρχίσει να σχηματίζονται βλάβες που αντιστοιχούν στο 29% της πλήρους. Αν και με μικρό ποσοστό (της τάξης του 20%), το 1<sup>ο</sup> υποσύλωμα του 7<sup>ου</sup> ορόφου έχει υποστεί κατανεμημένη βλάβη καθ ύψος.

Όσον αφορά την Εικόνα 4.52, που αφορά στην τοιχοπλήρωση, φαίνονται κατακόρυφες ρωγμές, ενώ ταυτόχρονα οι θλιπτήρες δεν έχουν αστοχήσει, καθώς οι τάσεις κατά τη διαγώνιο των θλιπτήρων παραμένουν σε χαμηλές τιμές ( $\approx 1.0 \text{ MPa}$ ).



Εικόνα 4.51: Βλάβες που εμφανίζονται στα στοιχεία δοκών-υποστυλωμάτων για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.098 m (t=0.39sec)

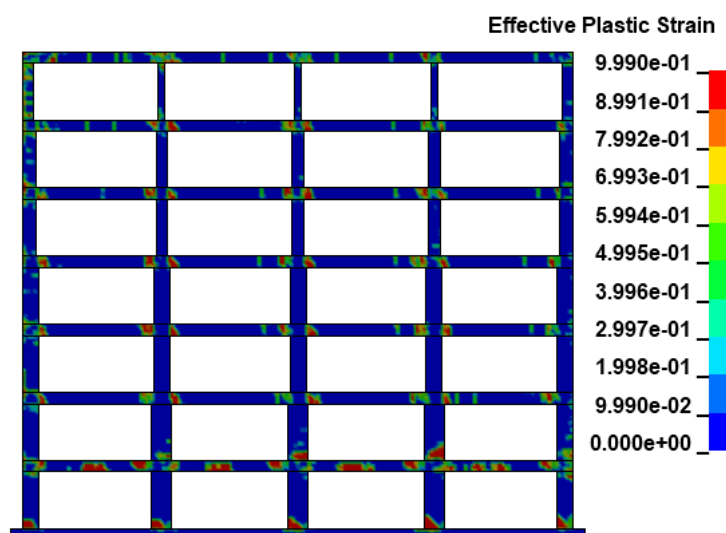


Εικόνα 4.52: Ρωγμές τοιχοπλήρωσης Pilotis '70 για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.098 m (t=0.39sec)

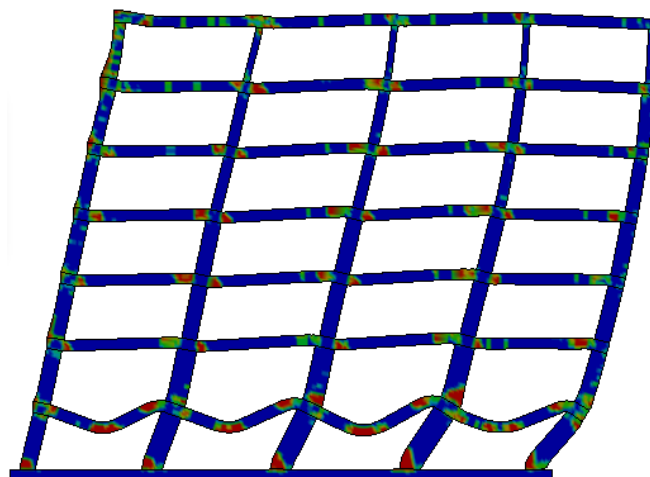
Οι βλάβες που έχουν δημιουργηθεί σε δοκούς και υποστυλώματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.53 και αφορούν στον χρόνο  $t=0.355$  sec (Σημείο 11 στο διάγραμμα Τέμνουσα βάση-μετακίνηση κορυφής) και ο οποίος αντιστοιχεί σε μετακίνηση κορυφής ίση με 0.268m, δηλαδή στο 1.28% του ύψους. Παρατηρούμε πως οι

βλάβες είναι περισσότερες στους κόμβους των στοιχείων καθώς επίσης και στις δοκούς του 1<sup>ου</sup> ορόφου όπως ήταν αναμενόμενο. Όσον αφορά τα υποστυλώματα βλέπουμε στη βάση διαγώνιες ρωγμές αλλά και οριζόντιες με αποτέλεσμα την ύπαρξη σχετικής ολίσθησης. Γενικά, τα αποτελέσματα είναι πιο δυσμενή στο ισόγειο εξαιτίας της ύπαρξης PILOTIS όπου έχουμε απότομη μεταβολή της δυσκαμψίας. Η παραμορφωμένη κατάσταση (με εφαρμογή συντελεστή κλιμάκωσης μετακίνησης =10) φαίνεται στην Εικόνα 4.54, απ' όπου μπορούμε να διακρίνουμε τα μεγάλα βέλη κάμψης στις δοκούς του ισόγειου καθώς λόγω της ανυπαρξίας των τοιχοπληρώσεων στον όροφο αυτό, η βύθισή τους δεν παρεμποδίζεται.

Από την παραμορφωμένη κατάσταση γίνεται άμεσα αντιληπτή η πλαστική απόκριση των δοκών. Ο πλαστικός μηχανισμός θεωρείται μικτός εφόσον όπως μπορούμε να δούμε η πλαστικοποίηση των δοκών στο ισόγειο εμφανίζεται στο άνοιγμα και όχι στα άκρα όπως συμβαίνει στο πλήρως τοιχοπληρωμένο πλαίσιο.



Εικόνα 4.53: Βλάβες σε δοκούς και υποστυλώματα για πλευρική μετακίνηση  $\delta=0.268m$  ( $t=0.355sec$ )

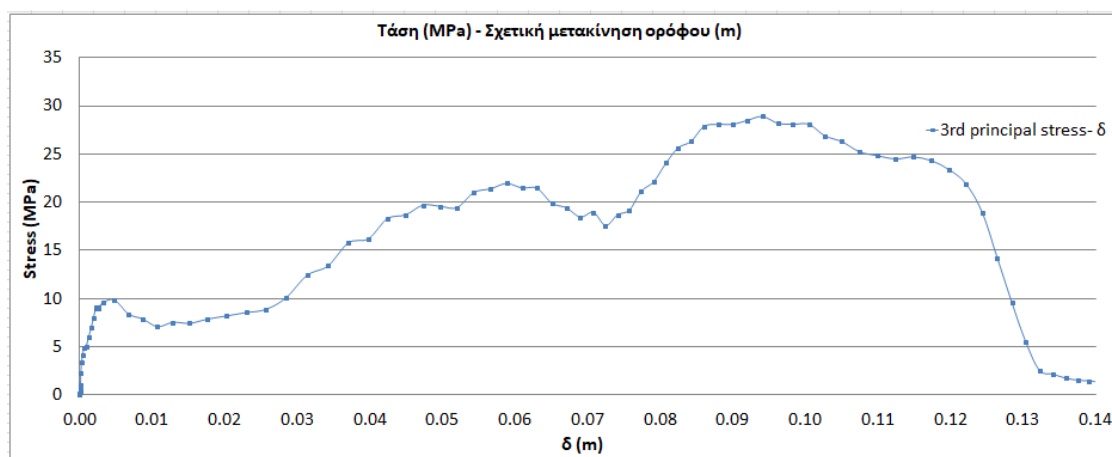


Εικόνα 4.54: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης δοκών και υποστυλωμάτων για πλευρική μετακίνηση  $\delta=0.268m$  ( $t=0.355sec$ ) πλαισίου με PILOTIS '70 (displacement scale factor=10)

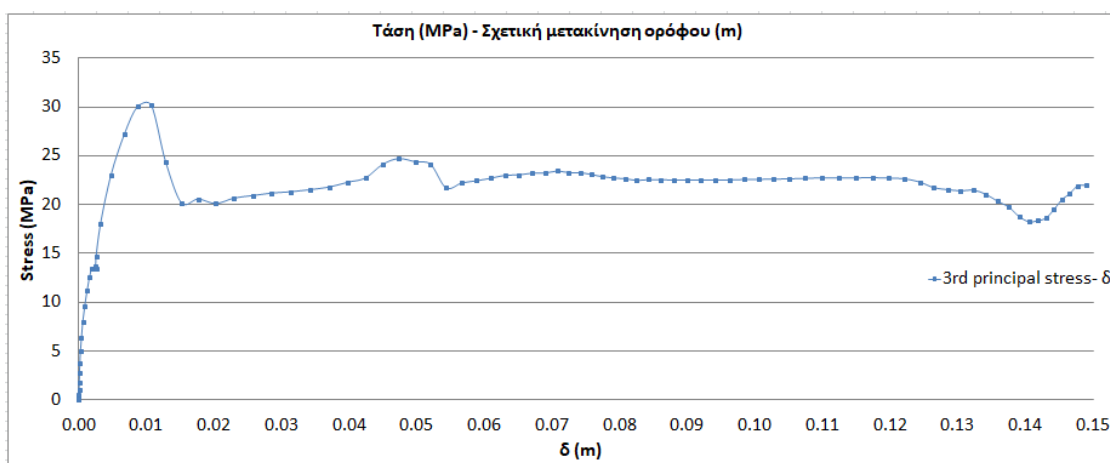
Ενδεικτικά, στις εικόνες που ακολουθούν εμφανίζονται οι ελάχιστες κύριες τάσεις της δοκού του 1<sup>ου</sup> φαντώματος του 1<sup>ου</sup> ορόφου (Εικόνα 4.55) και του 5<sup>ου</sup> υποστυλώματος του ισογείου (Εικόνα 4.56) του ισογείου συναρτήσει της σχετικής παραμόρφωσης ορόφου.

Στην περίπτωση της δοκού, το διάγραμμα αφορά πεπερασμένο στοιχείο περί το δεξιό άκρο της δοκού. Η θλιπτική τάση ξεπερνά την αντοχή για σχετική μετακίνηση ορόφου ίση με 0.06m.

Στην περίπτωση του υποστυλώματος, παρατηρούμε πως για σχετική μετακίνηση ορόφου  $\delta=0.01\text{m}$  η θλιπτική τάση ξεπερνά την αντοχή του σκυροδέματος και παραμένει σταθερή περί τα 22.5 MPa. Βλέπουμε, επίσης, τη μεγαλύτερη σχετική μετακίνηση του ορόφου του ισογείου σε σχέση με αυτή που είδαμε στην περίπτωση του πλήρως τοιχοπληρωμένου.



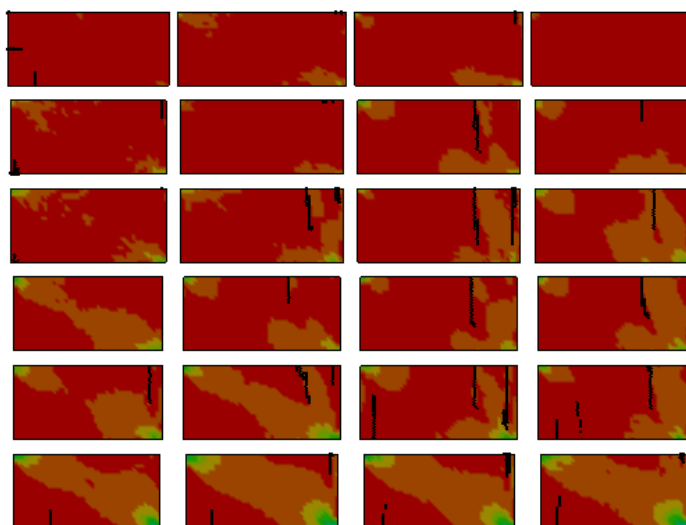
Εικόνα 4.55: Διάγραμμα Ελάχιστων Κύριων τάσεων συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου της 1<sup>ης</sup> δοκού του 1<sup>ου</sup> ορόφου του πλαισίου '70 με PILOTIS



Εικόνα 4.56: Διάγραμμα Ελάχιστων Κύριων τάσεων συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου του 5<sup>ου</sup> υποστυλώματος οροφής ισογείου του πλαισίου '70 με PILOTIS

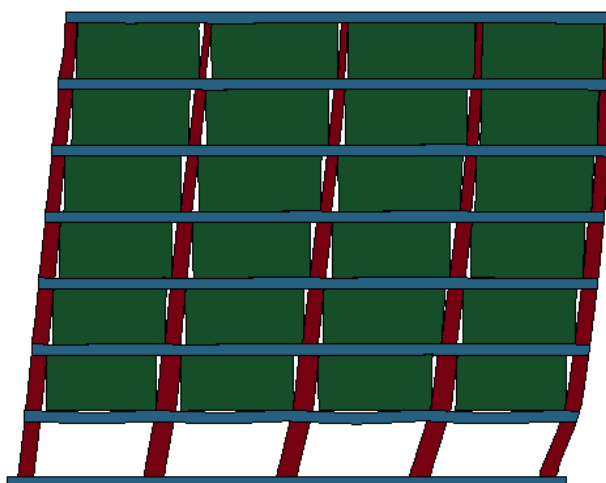
Στην Εικόνα 4.57 απομονώνεται το τμήμα που αφορά την τοιχοπλήρωση και εμφανίζονται οι ρωγμές που έχουν αναπτυχθεί στο χρόνο  $t=0.355$  sec μαζί με τις ελάχιστες κύριες τάσεις.

Παρατηρούμε πως έχουν διαμορφωθεί ρωγμές στις τοιχοπληρώσεις σχεδόν σε όλα τα φατνώματα. Οι ρωγμές είναι παντού κατακόρυφες και οι θλιπτήρες δεν έχουν αστοχήσει. Οι κύριες τάσεις είναι μεγαλύτερες στις γωνίες των φατνωμάτων όπως αναμενόταν ενώ περίπου στη μέση έχουν αρκετά μικρότερο μέγεθος με αποτέλεσμα να μη δημιουργούνται ρωγμές.



Εικόνα 4.57: Ρωγμές τοιχοπλήρωσης PILOTIS '70 για πλευρική μετακίνηση  $\delta=0.268m$  ( $t=0.355sec$ )

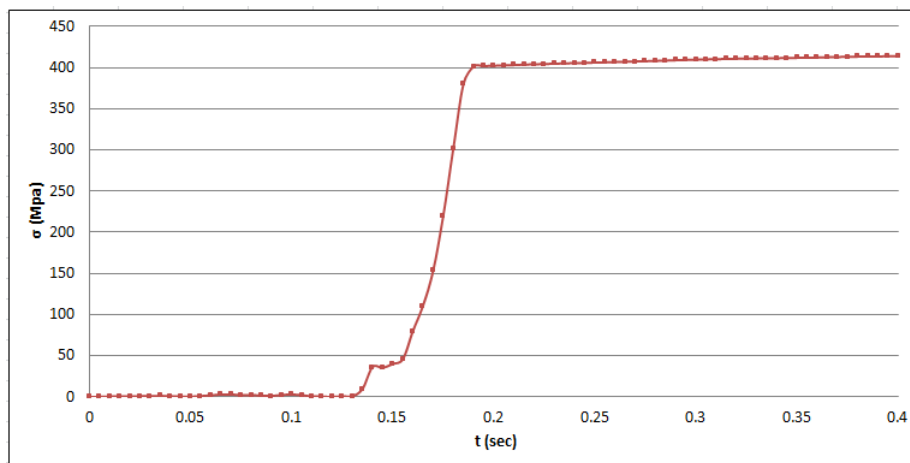
Η παραμορφωμένη κατάσταση των τοιχοπληρώσεων, των δοκών και των υποστυλωμάτων στο χρόνο αυτό, παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.58. Η τοιχοπλήρωση αποκολλάται από τα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος του 1<sup>ου</sup> ορόφου σε μεγάλο βαθμό. Τα υποστυλώματα του ισογείου έχουν σαφώς αρκετά μεγαλύτερη παραμόρφωση απ' ό τι στους υπόλοιπους ορόφους.



Εικόνα 4.58: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης PILOTIS '70 για πλευρική μετακίνηση  $\delta=0.268m$  ( $t=0.355sec$ )

## ❖ Τοιχοπληρωμένο Πλαίσιο '90 με PILOTIS

Στο **σημείο 12** που αντιστοιχεί σε χρονικό βήμα  $t=0.19$  sec και πλευρική μετακίνηση ίση με  $0.068$ m εμφανίζεται η πρώτη διαρροή των πάνω οπλισμών του ανοίγματος του 4<sup>ου</sup> φανώματος του 2<sup>ου</sup> ορόφου, ακριβώς όπως συνέβη και στο πλήρως τοιχοπληρωμένο πλαίσιο (Εικόνα 4.39). Το διάγραμμα τάσεων-χρόνου φαίνεται ακολούθως στην Εικόνα 4.59

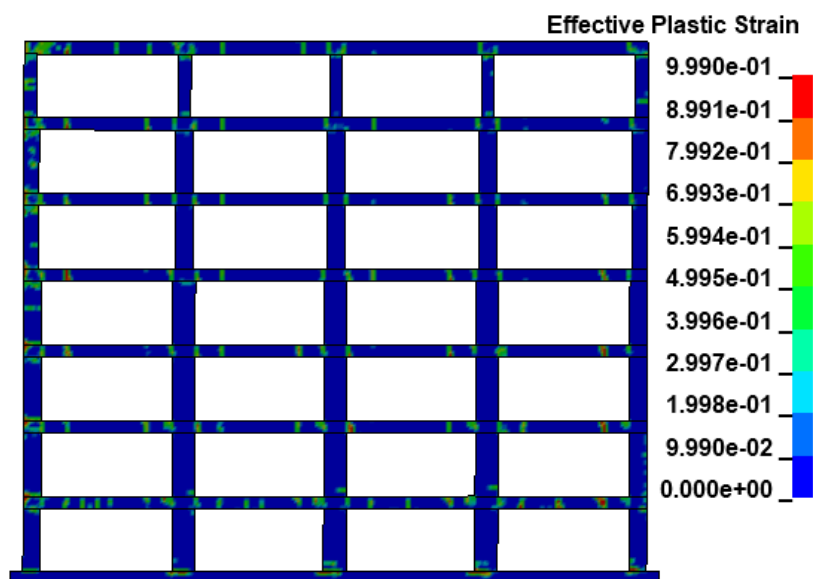


Εικόνα 4.59: Διάγραμμα αξονικών τάσεων-χρόνου οπλισμών που διέρρευσαν στο βήμα  $t= 0.19$ sec

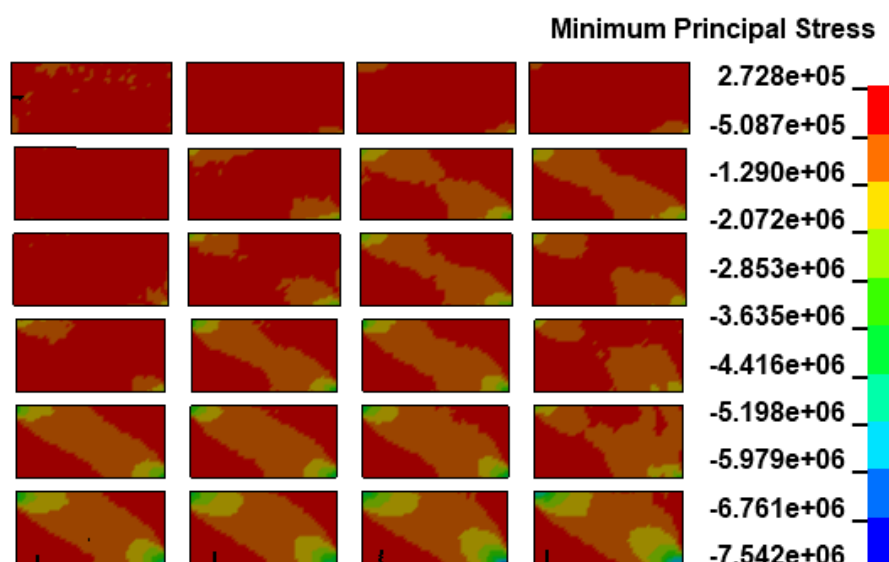
Στην εν λόγω μετακίνηση έχουν δημιουργηθεί βλάβες σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος (Εικόνα 4.60) αλλά και τοιχοπλήρωσης (Εικόνα 4.61).

Από την Εικόνα 4.60 παρατηρούμε πως οι βλάβες είναι συγκεντρωμένες στα άκρα αλλά και στο μέσον των δοκών των ορόφων. Ιδιαίτερα στη στάθμη του 1<sup>ου</sup> ορόφου οι βλάβες είναι κατανεμημένες στο μήκος της δοκού ενώ δεν απουσιάζουν και οι βλάβες των κόμβων. Στους πόδες των υποστυλωμάτων του ισογείου έχουν επίσης δημιουργηθεί βλάβες που αντιστοιχούν στο 35% της πλήρους. Τα υποστυλώματα φαίνεται πως παραμένουν αλώβητα καθ ύψος, με μικρές εξαιρέσεις στην μπροστινή πλευρά του πλαισίου.

Όσον αφορά την Εικόνα 4.61 σχετικά με την τοιχοπλήρωση, φαίνονται μικρές κατακόρυφες ρωγμές στη βάση, ενώ οι θλιπτήρες δεν έχουν αστοχήσει, καθώς οι τάσεις κατά τη διαγώνιο των θλιπτήρων παραμένουν σε χαμηλές τιμές ( $\approx 1.0$  MPa).



Εικόνα 4.60: Βλάβες που εμφανίζονται στα στοιχεία δοκών-υποστυλωμάτων για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.068 m (t=0.19sec)

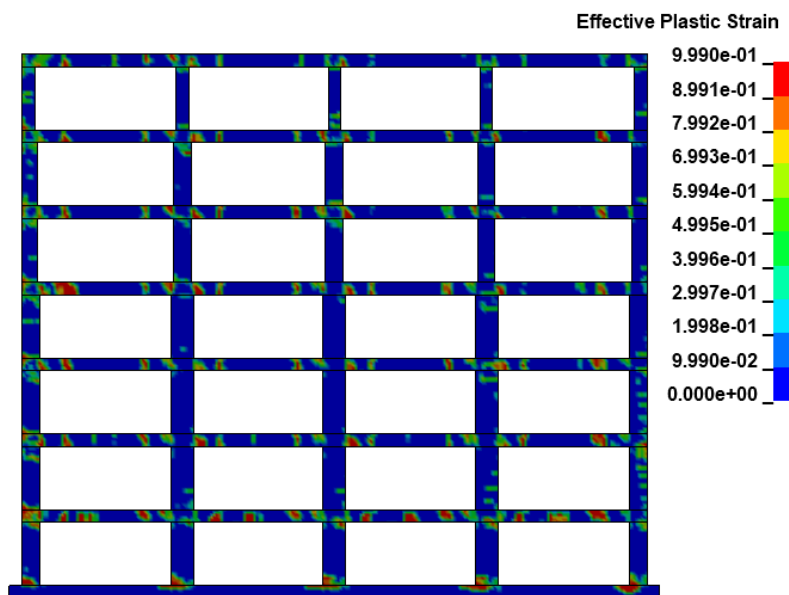


Εικόνα 4.61: Ρωγμές τοιχοπλήρωσης PILOTIS '90 για πλευρική μετακίνηση ίση με 0.068 m (t=0.19sec)

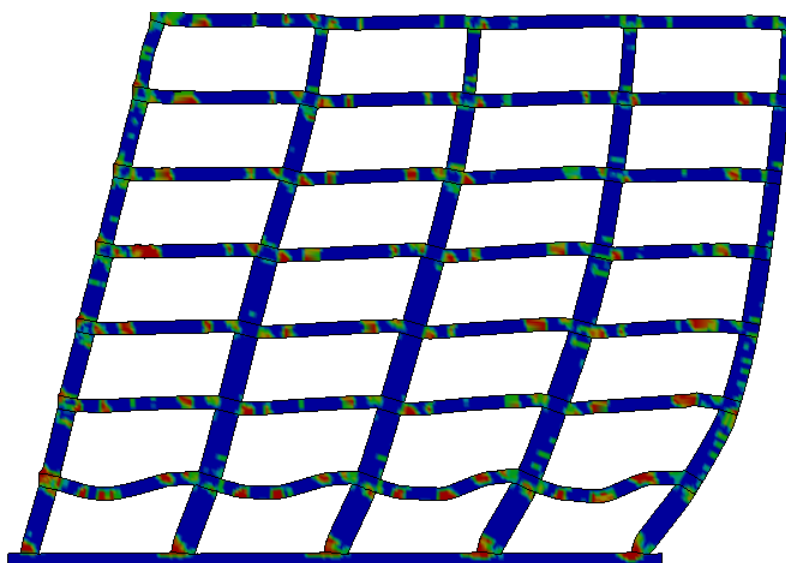
Οι βλάβες που έχουν δημιουργεί σε δοκούς και υποστυλώματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.62 και αφορούν στον χρόνο  $t=0.395$  sec όπου λαμβάνει χώρα η μέγιστη τιμή της τέμνουσας βάσης, λίγο πριν την ολοκλήρωση της επιβολής της πλευρικής μετακίνησης, (Σημείο 13 στο διάγραμμα Τέμνουσα βάση-μετακίνηση κορυφής) και ο οποίος αντιστοιχεί σε μετακίνηση κορυφής ίση με 0.276m, δηλαδή στο 1.3% του ύψους. Παρατηρούμε πως οι βλάβες είναι περισσότερες στις δοκούς του ισογείου και του 1<sup>ου</sup> ορόφου. Στο ισόγειο είναι πιο εκτεταμένες και έχουν λάβει και το κόκκινο χρώμα. Στους πόδες των υποστυλωμάτων του ισογείου βλέπουμε κι εδώ σχετική ολίσθηση και ρωγμές κατά τη διαγώνιο. Η παραμορφωμένη κατάσταση φαίνεται στην Εικόνα 4.63, απ' όπου μπορούμε να διακρίνουμε τις μεγάλες βυθίσεις



στο μέσον των δοκών του ισογείου από τη στιγμή που δεν αντιστηρίζονται (εφαρμογή displacement scale factor=10).



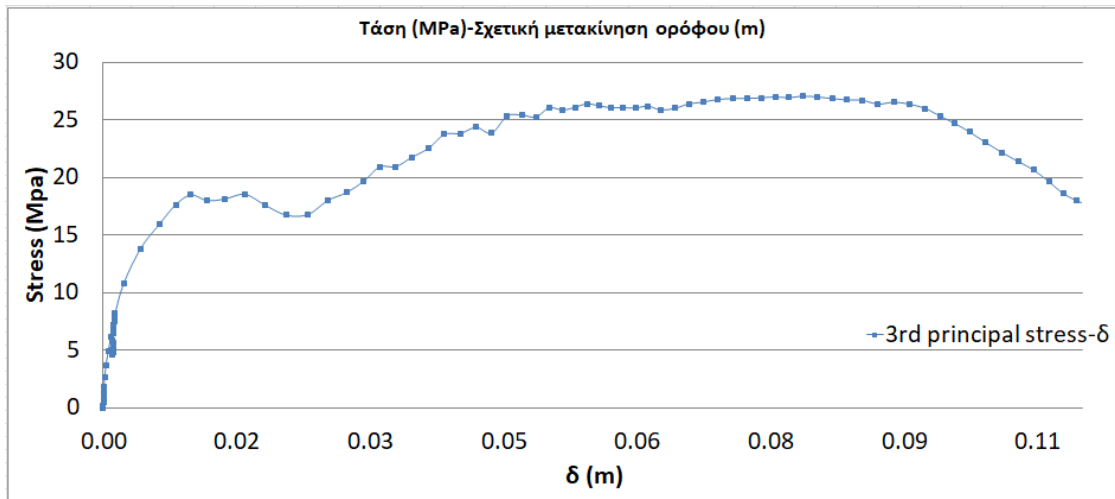
Εικόνα 4.62: Βλάβες στοιχείων δοκών-υποστυλωμάτων PILOTIS '90 για μετακίνηση κορυφής ίση με 0.276m (t=0.395sec)



Εικόνα 4.63: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης δοκών-υποστυλωμάτων PILOTIS '90 για μετακίνηση κορυφής ίση με 0.276m (t=0.395sec) (displacement scale factor=10)

Ενδεικτικά, στην Εικόνα 4.64 εμφανίζονται οι ελάχιστες κύριες τάσεις του 5<sup>ου</sup> υποστυλώματος του ισογείου συναρτήσει της σχετικής παραμόρφωσης ορόφου.

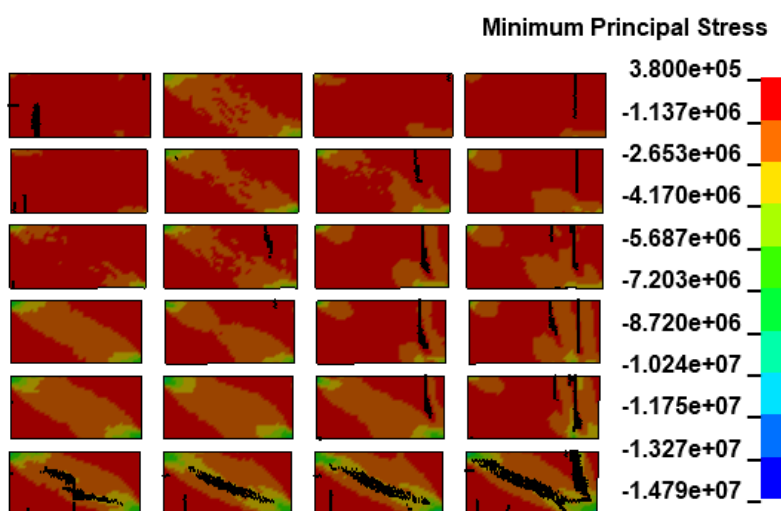
Παρατηρούμε πως για σχετική μετακίνηση ορόφου  $\delta=0.05\text{m}$  η θλιπτική τάση ξεπερνά την αντοχή του σκυροδέματος και παραμένει σταθερή περί 25.5MPa, μέχρι την σχετική μετακίνηση 0.09m όπου έχει ολοκληρωθεί η επιβολή της πλευρικής μετακίνησης.



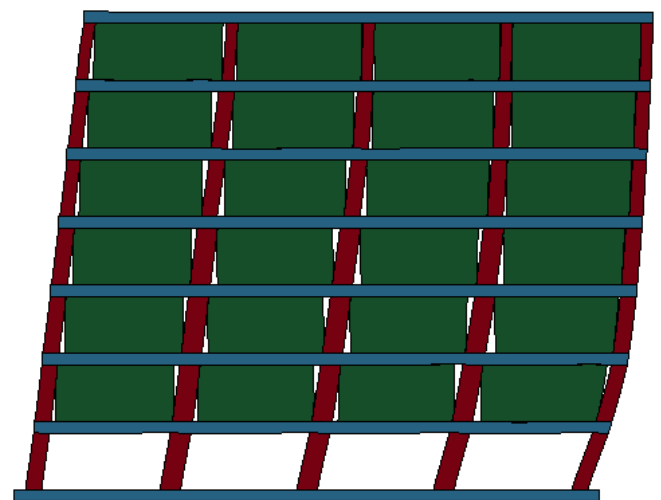
Εικόνα 4.64: Διάγραμμα Ελάχιστων Κύριων τάσεων συναρτήσει της σχετικής μετακίνησης ορόφου του 5<sup>ου</sup> υποστυλώματος οροφής ισογείου του πλαισίου '90 με PILOTIS

Στην Εικόνα 4.65 απομονώνεται το τμήμα που αφορά την τοιχοπλήρωση και εμφανίζονται οι ρωγμές που έχουν αναπτυχθεί στο χρόνο  $t=0.395$  sec μαζί με τις ελάχιστες κύριες τάσεις.

Παρατηρούμε πως έχουν διαμορφωθεί διαγώνιες ρωγμές στις τοιχοπληρώσεις σε όλα τα φατνώματα του 1<sup>ου</sup> ορόφου ενώ στους υπόλοιπους ορόφους ο τοίχος πιέζεται από τις δοκούς και ρηγματώνεται κατακόρυφα. Οι διαγώνιοι θλιπτήρες του 1<sup>ου</sup> ορόφου έχουν αστοχήσει. Οι κύριες τάσεις είναι μεγαλύτερες από την περίπτωση του κτιρίου '70 και αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρότερο πλάτος των τοιχοπληρώσεων του κτιρίου '90 που προσομοιώθηκε λόγω έλλειψης κανάβου. Η παραμορφωμένη κατάσταση στον ίδιο χρόνο παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.66.



Εικόνα 4.65: Ρωγμές τοιχοπληρώσεων PILOTIS '90 για μετακίνηση κορυφής ίση με 0.276m ( $t=0.395$ sec)



Εικόνα 4.66: Προφίλ παραμορφωμένης κατάστασης PILOTIS '90 μετακίνηση κορυφής ίση με 0.276m ( $t=0.395$ sec)

## Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν δύο περιπτώσεις πλαισίων κατασκευασμένων τη δεκαετία του '70 και του '90 αντίστοιχα, διαφορετικών διαστάσεων υποστυλωμάτων, ανοιγμάτων φατνώματος και όπλισης. Για κάθε ένα από αυτά τα πλαίσια εξετάστηκαν οι περιπτώσεις του γυμνού, του πλήρως τοιχοπληρωμένου και του τοιχοπληρωμένου με PILOTIS. Πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση με σκοπό την εύρεση των ιδιοπεριόδων, των ιδιοσυχνοτήτων και την παραμόρφωση των πρώτων ιδιομορφών. Στη συνέχεια, έλαβε χώρα η υπερωθητική ανάλυση ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της τοιχοπλήρωσης στη σεισμική απόκριση του φορέα συναρτήσει του χρόνου. Σε κάθε περίπτωση πλαισίου, εφαρμόστηκαν με προσαυξητική διαδικασία τα κατακόρυφα φορτία ώστε να ληφθεί υπ' όψιν η σταδιακή ρηγμάτωσή του και μετά την ολοκλήρωση της επιβολής, ασκήθηκε στο πλαίσιο πλευρική μετακίνηση τριγωνικής κατανομής έως το χρονικό βήμα των 0.4δευτερολέπτων.

Για την υλοποίηση όλων προαναφερθέντων, έγινε χρήση του λογισμικού LS DYNA το οποίο αφορά πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιώντας ρητή ολοκλήρωση του χρόνου (explicit time integration).

Από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, προέκυψε πως η ύπαρξη της τοιχοπλήρωσης αυξάνει αισθητά την τέμνουσα βάσης του φορέα συγκριτικά με το γυμνό πλαίσιο. Πιο συγκεκριμένα, προέκυψε ότι η αντοχή του τοιχοπληρωμένου πλαισίου είναι κατά 63% μεγαλύτερη συγκριτικά με εκείνη της PILOTIS και κατά 75% υψηλότερη από εκείνη απουσίας τοιχοπλήρωσης. Κατ' αντιστοιχία, για το Πλαίσιο '90, η αντοχή του τοιχοπληρωμένου πλαισίου παρουσιάζει κατά 48% μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με την PILOTIS και κατά 81% υψηλότερη από το γυμνό πλαίσιο. Επίσης, έγινε εφαρμογή δύο ξεχωριστών αντοχών τοιχοπλήρωσης, αυτή των 2MPa και του 1MPa οι οποίες αντιστοιχούν σε ισχυρή και ασθενή τοιχοπλήρωση αντίστοιχα. Η τιμή της τέμνουσας βάσης ήταν και για τα δύο πλαίσια κατά περίπου 30% μεγαλύτερη στην περίπτωση της ισχυρής τοιχοπλήρωσης.

Στις περιπτώσεις των γυμνών πλαισίων παρατηρήθηκαν μεγάλα βέλη κάμψης στις δοκούς και μεγάλες αναπτυσσόμενες που ξεπερνούσαν αρκετά τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (C20/25). Στην περίπτωση του πλαισίου του '70 οι βλάβες εκτείνονται σε πολλά σημεία του φορέα, κυρίως στις περιοχές των κόμβων. Για την περίπτωση του πλαισίου '90 η παραμόρφωση και οι αντίστοιχες ήταν αρκετά μεγάλες για τις δοκούς του τελευταίου φατνώματος όλων των ορόφων, ενώ η

πλειοψηφία των υποστυλωμάτων παρέμεινε αλώβητη εξαιτίας των μεγάλων διαστάσεων.

Ως προς τη ρηγμάτωση της τοιχοπλήρωσης, παρατηρήθηκε εκτεταμένη ρηγμάτωση στη στάθμη του Ισογείου στο τέλος της προσομοίωσης τόσο για το πλαίσιο του '70 όσο και του '90. Ωστόσο, στην περίπτωση του πλαισίου '90 οι διαγώνιοι θλιπτήραν ρηγματώθηκαν και στον 1<sup>ο</sup> όροφο ενώ στου '70 το τελευταίο φάτνωμα δεν εμφάνισε ρωγμές. Αξιοσημείωτη ήταν η εμφάνιση και στα δύο πλαίσια των κατακόρυφων ρωγμών στους υψηλότερους ορόφους, γεγονός που υποδεικνύει την ισχυρή κατακόρυφη πίεση από τις δοκούς.

Ως προς την κλίση του διαγώνιου θλιπτήρα σε σχέση με την οριζόντια διεύθυνση, στο 1<sup>ο</sup> φάτνωμα, ο διαγώνιος θλιπτήρας ακολουθεί τη διαγώνιο μέχρι το σημείο που υφίσταται αποκόλληση και έχουμε μηδενισμό της διεπιφάνειας (contact). Πιο συγκεκριμένα και στα δύο πλαίσια η κλίση της διαγωνίου προέκυψε περί τις 26<sup>ο</sup> και ταυτόχρονα η κλίση του διαγώνιου θλιπτήρα από τη μη γραμμική ανάλυση προέκυψε περίπου ίσος με 25.5<sup>ο</sup>. Στην περίπτωση του 4<sup>ου</sup> φαντώματος, η κλίση του διαγώνιου θλιπτήρα είχε τιμή περί τις 40<sup>ο</sup>. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως και στα δύο πλαίσια ('70 και '90) το 1<sup>ο</sup> φάτνωμα παραλαμβάνει αρκετά μεγάλη τιμή του διαγώνιου αξονικού η οποία είναι και άμεσα συγκρίσιμη με αυτή του 4<sup>ου</sup> φαντώματος, γεγονός που δεν παρατηρήθηκε στο πλαίσιο με τις μικρότερες διαστάσεις τυπικού φαντώματος αναλογίας πλάτους προς ύψος ίσα με 3.20/2.50 (τυπικό της γενιάς του 60 με πυκνότερη υποστύλωση) που μελετήθηκε από το Σταθόπουλο ([2]).

Τέλος, από την οπτική παρακολούθηση των θλιπτικών τάσεων από τη μη γραμμική ανάλυση, παρατηρήθηκε πως και στα δύο τοιχοπληρωμένα πλαίσια ('70 και '90) το πλάτος του διαμορφωμένου θλιπτήρα στο τέλος της επιβολής της πλευρικής μετατόπισης, ήταν αρκετά κοντά στην τιμή του  $0.10 \cdot L$  που θεωρεί προσεγγιστικά ο Τάσιος ([1]).

## Κεφάλαιο 6: Βιβλιογραφία

1. Τάσιος Θ., “Η Μηχανική της τοιχοποιίας”, Έκδοση Ε.Μ.Π, Αθήνα (1986)
2. Χρήστος Ζέρης, Χαράλαμπος Σταθόπουλος, “Διερεύνηση της μη γραμμικής απόκρισης τυπικής υφισταμένης κατασκευής ΟΣ με τοιχοπληρώσεις”, 3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής μηχανικής & τεχνικής Σεισμολογίας, 5-7 Νοεμβρίου, 2008
3. M. S. Razzaghi & M. Javidnia, “Evaluation of the effect of infill walls on seismic performance of RC dual frames”, International Journal of Advanced Structural Engineering (IJASE) volume 7, pages49–54 (2015)
4. Kai Qian, M.ASCE; and Bing Li, M.ASCE, “Effects of Masonry Infill Wall on the Performance of RC Frames to Resist Progressive Collapse”, Journal of Structural Engineering, Volume 143 Issue 9 (2017)
5. Qian, K., Weng, Y., Fu, F. ORCID: 0000-0002-9176-8159 and Deng, X. “Numerical Evaluation of the Reliability of Using Single-Story Substructures to Study Progressive Collapse Behavior of Multi-Story RC Frames”, Journal of Building Engineering, 33 (2020)
6. Kwang Mo Lim, Taek Hee Han and Joo Ha Lee, “Numerical Simulation on Dynamic Behavior of Slab–Column Connections Subjected to Blast Loads”, Appl. Sci. 2021, 11, 7573
7. C V R MURTY, Sudhir K JAIN2, “Beneficial Influence of masonry infill walls on seismic performance of RC frame buildings”, 12 WCEE 2000
8. Christoph BUTENWEG, Marko MARINKOVIĆ, Ekkehard FEHLING, Thomas PFETZING, Thomas KUBALSKI5, “Experimental and Numerical investigations of reinforced Concrete Frames with masonry infills under combined in-and out-of-plane seismic loading”, Conference: 16th European Conference on Earthquake Engineering At Thessaloniki, Greece
9. Onur Ozturkoglu, Taner Ucar and Yusuf Yesilce, “Effect of masonry infill walls with openings on nonlinear response of reinforced concrete frames” Earthquakes and Structures, Vol. 12, No. 3 (2017) 333-347
10. André FURTADO, Hugo RODRIGUES, António ARÊDE, Humberto VARUM, “Mechanical properties characterization of different types of masonry infill walls”, Higher Education Press and Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020
11. Siamak Sattar and Abbie B. Liel, “Seismic Performance of reinforced concrete frame structures with and without masonry infill walls”,

- Proceedings of the 9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, July 25-29, 2010, Toronto, Ontario, Canada • Paper No 583
12. Len Schwer, "An Introduction to the Winfrith Concrete Model", April 2010
  13. Prachand Man Pradhan, "Equivalent Strut Width for Partial Infilled Frames", *Journal of Civil Engineering Research* 2012, 2(5): 42-48
  14. Juechun Xu, Chengqing Wu, Zhong-Xian Li, Ching-Tai Ng, "Numerical analysis of shear transfer across an initially uncrack reinforced concrete member", *Engineering Structures* 102 (2015) 296–309
  15. Brent Wybenga, "Capacity Quantification of Two-Way Arching Reinforced Masonry Walls under Blast Loads", A Thesis Submitted to the School of Graduate Studies In Partial Fulfillment of the Requirements For the Degree of Master of Applied Science McMaster University
  16. Jun Yua, Yi-Ping Gana, Jun Wuc, Hao Wud, "Effect of concrete masonry infill walls on progressive collapse performance of reinforced concrete infilled frames", Volume 191, 15 July 2019, Pages 179-193
  17. T. Kubalsk, M. Marinković, C. Butenweg, "Numerical investigation of masonry infilled R.C. frames", Conference: 16th International Brick and Block Masonry Conference, At Padova, June 2016
  18. Laura Liberatore, Marta Bruno, Omar AlShawa, Monica Pasca and Luigi Sorrentino, "Finite-discrete element modelling of masonry infill walls subjected to out-of-plane loads", VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Crete Island, Greece, 5–10 June 2016
  19. S Bhargavi and Ramancharla Pradeep Kumar, "Effect of Lintel and Lintel Band on the Global Performance of Reinforced Concrete Masonry In-filled Frames", International Conference on Professional Engineers: Challenges in Disaster Management (2014)
  20. Siamak Epackachi, Nam H. Nguyen, Efe G. Kurt, Andrew S. Whittaker and Amit H. Varma, "Numerical and experimental investigation of the in-plane behavior of rectangular steel-plate composite walls", Conference: Structures Congress, Boston, Massachusetts, United States, 2014
  21. Wolfram Jäger, Tammam Bakeer, Peter Schöps, "Simulation of Masonry in ANSYS and LS-DYNA The Features and Challenges", ANSYS Conference & 27th CADFEM Users' Meeting 2009, November 18-20, 2009 Congress Center Leipzig, German
  22. Liu Xiao-bin, Chen Guo-ping, "Anti-seismic Analysis of Masonry-Reinforced concrete Structure Based on LS-DYNA", *Applied Mechanics and Materials* Vols. 99-100 (2011) pp 870-874
  23. Lihui Yang, "Impact of Wall Openings on the Seismic Performance of Brick Masonry Structure", *Advanced Materials Research* Vol 804 (2013) pp 307-310

24. D.J. Kakaletsis, K.N. David, C.G. Karayannis, "Effectiveness of some conventional seismic retrofitting techniques for bare and infilled R/C frames", *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 39, No. 4 (2011) 499-520
25. Paolo Morandi, "Performance-based interpretation of in-plane cyclic tests on RC frames with strong masonry infills", *Engineering Structures* 56(1):503–521, (2018)