

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΟΠΛΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ – ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

**ΜΑΡΟΥΔΑΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ
ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει στόχο να διερευνήσει την επιρροή των ανοιγμάτων των τοιχοπληρώσεων και να συγκρίνει πειραματικά δεδομένα και αποτελέσματα από υπάρχουσες εργασίες και έρευνες με τις παραδοχές και σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. με σκοπό να ελεγχθεί η σύγκλισή τους. Η εργασία αποτελείται από δύο ενότητες, με την πρώτη να διερευνά την ορθότητα των απλοποιητικών παραδοχών του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και την δεύτερη να αντιπροτείνει μια απλοποιητική σχέση για την μέθοδο των διαγωνίων θλιπτήρων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Οι Τοιχοπληρώσεις στην Ανάλυση των Κατασκευών

Στην Ελλάδα συνηθίζεται η κατασκευή τοίχων πληρώσεως από οπτοπλινθοδομή με σκοπό τη διαμερισματοποίηση των κτιρίων και την εξωτερική του περιβολή. Οι τοιχοπληρώσεις δε μπορούν να θεωρηθούν ως φέροντα στοιχεία των κατασκευών μολονότι έχουν συμβολή στη συνολική δυσκαμψία, αντοχή, και πλαστιμότητα των κτιρίων. Οι τοιχοπληρώσεις έχουν το πρόβλημα της προσομοίωσης, το οποίο καθίσταται ακόμα δυσκολότερο με την ύπαρξη ανοιγμάτων στην τοιχοπλήρωση.

Η συσσωρευμένη πειραματική και αναλυτική ερευνα και η εμπειρία από σεισμούς έχουν δείξει ότι οι τοιχοπληρώσεις έχουν κατά το πλείστον θετική επιρροή στη σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών. Εφόσον είναι καλά εγκιβωτισμένες από τα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος που τις περιβάλλουν, συμβάλλουν στον περιορισμό των σεισμικών μετακινήσεων του συνόλου, στην ανάληψη των σεισμικών δυνάμεων και στη συνολική απορρόφηση ενέργειας. Έτσι γενικά οι τοιχοπληρώσεις αποτελούν αντισεισμική εφεδρεία και πηγή σεισμικής υπεραντοχής για το κτίριο.

Όμως, οι τοιχοπληρώσεις μπορεί να έχουν μια πιο δυσμενή επιρροή στη συνολική σεισμική συμπεριφορά, όταν η κατανομή τους καθ' ύψος ή σε κάτοψη είναι τόσο ανομοιόμορφη, ώστε να ακυρώσει την ευρεία και ομοιόμορφη διασπορά της ανελαστικής συμπεριφοράς σε όλη την έκταση του δομικού συστήματος, στην οποία στοχεύει ο αντισεισμικός του σχεδιασμός.



Σχήμα 1: Δυσμενής επιρροή στο σεισμό, λόγω ανομοιομορφίας κατανομής (εδώ κατακόρυφης) [5]

Οι τοιχοπληρωμένοι φορείς οπλισμένου σκυροδέματος, αποτελούν τον κοινότερο τύπο κτιριακού φορέα στην Ελλάδα και σε πολλές άλλες χώρες. Οι φορείς οπλισμένου σκυροδέματος σχεδιάζονται και διαστασιολογούνται «γυμνοί», απουσία δηλαδή τοιχοπληρώσεων, και μετά τη σκυροδέτηση κτίζονται οι τοιχοπληρώσεις σύμφωνα με τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις (πλήρης κάλυψη φατνώματος ή μερική, με ανοίγματα). Στην πράξη και τις περισσότερες περιπτώσεις οι τοιχοπληρώσεις θεωρούνται ως μη φέροντα στοιχεία και απουσιάζουν από το μοντέλο και τους υπολογισμούς στο σχεδιασμό των νέων κατασκευών. Αγνοείται δηλαδή η αλληλεπίδραση τους με τον περιβάλλοντα φορέα. Παρ' όλα αυτά, η αντοχή τους δεν είναι αμελητέα, και είναι δεδομένο πως οι τοιχοπληρώσεις συνεισφέρουν θετικά όταν φορέας δέχεται πλευρικές κυρίως φορτίσεις, όπως οι σεισμικές. Αγνοώντας έτσι την παρουσία τους, συχνά κατά το σεισμό αναπτύσσονται τάσεις στην υπόλοιπη κατασκευή που διαφέρουν αρκετά από αυτές για τις οποίες διαστασιολογήθηκε. Γενικά έχει διαπιστωθεί πως η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική συμπεριφορά ενός φορέα μπορεί να είναι είτε ευμενής είτε δυσμενής, κι αυτό καθορίζεται από μια σειρά παραγόντων όπως η ύπαρξη ανοιγμάτων, το μέγεθος και η θέση τους.

1.2 Οι Τοιχοπληρώσεις Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Ο Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) για να συμπεριλάβει την επιρροή των τοιχοπληρώσεων στην κατασκευή, προτείνει μια σειρά από παραδοχές για να βρεθούν ποιες τοιχοπληρώσεις θα συμπεριληφθούν στο προσομοίωμα της κατασκευής μας. Οι παραδοχές αυτές είναι δύο ειδών. (βλ. ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.4.1(δ))

Η πρώτη κατηγορία από αυτές τις δύο αμελεί πλήρως ή αντίθετα συνυπολογίζει την τοιχοπλήρωση βάσει κάποιων περιπτώσεων που αφορούν τα ανοίγματα αυτής. Η επιρροή του μεγέθους και της θέσεως των ανοιγμάτων στην δυσκαμψία και στην φέρουσα ικανότητα των τοιχοπληρώσεων δεν μπορεί να προσομοιωθεί με απλά μέσα. Έτσι, ελλείψει λεπτομερέστερης διερευνήσεως, μπορούν να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία :

Α) Όταν υπάρχουν ανοίγματα κοντά σε αμφότερα τα άκρα του φατνώματος, η τοιχοπλήρωση του ανοίγματος αμελείται.

Β) Όταν υπάρχει άνοιγμα διαστάσεων οι οποίες δεν υπερβαίνουν το 20% των αντίστοιχων διαστάσεων του φατνώματος και είναι τοποθετημένο περίπου στο κέντρο του φατνώματος, η επιρροή του στα χαρακτηριστικά της τοιχοπληρώσεως μπορεί να αμελείται.

Γ) Όταν υπάρχει άνοιγμα, τοποθετημένο περίπου στο κέντρο του φατνώματος, του οποίου οι διαστάσεις πλησιάζουν ή υπερβαίνουν το 50% των αντίστοιχων διαστάσεων του φατνώματος, η τοιχοπλήρωση αμελείται .

Δ) Όταν υπάρχει άνοιγμα τοποθετημένο περίπου στο κέντρο του φατνώματος, του οποίου οι διαστάσεις είναι μεταξύ του 20% και του 50% των αντίστοιχων διαστάσεων του φατνώματος, τότε είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη δυο λοξοί θλιπτήρες ανά φάτνωμα. Αυτοί οι θλιπτήρες θα ξεκινούν από τα δυο άκρα της κύριας διαγωνίου και θα καταλήγουν περίπου στο μέσον της υπερκείμενης και της υποκείμενης δοκού αντιστοίχως. Σ' αυτήν την περίπτωση, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή των θλιπτήρων στην έναντι τέμνουσας ασφάλεια των δοκών.

Ε) Δυο μικρά και γειτονικά ανοίγματα σε ένα φάτνωμα μπορούν να θεωρηθούν ως ένα ισοδύναμο και ενιαίο, περιγεγραμμένο σ' αυτά.

Η δεύτερη κατηγορία προσομοίωσης από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. είναι η αποκαλούμενη Μέθοδος των Θλιπτήρων. Σε αυτήν την περίπτωση η τοιχοπλήρωση εξιδανικεύεται με ένα γραμμικό μέλος που λειτουργεί μόνο σε θλίψη όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 2: Προσομοίωση τοιχοποιίας με την μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου [3]

Εάν υπάρχουν ανοίγματα στην τοιχοπλήρωση, τότε πρέπει η προσομοίωσή της με τον διαγώνιο θλιπτήρα να προσαρμόζεται κατάλληλα. Ανάλογα με την θέση και τον αριθμό των ανοιγμάτων, μπορεί να υπάρξουν ενδεχομένως περισσότεροι από ένας θλιπτήρες, διαφορετικού μήκους και σε διαφορετικές θέσεις. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. προτείνει τιμές για το πλάτος της θλιβόμενης διαγωνίου που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση, ανάλογα με τη σκοπούμενη στάθμη επιτελεστικότητας:

Σχεδόν πλήρης λειτουργικότητα κατά το σεισμό	$w = 0.20L$
Άμεση χρήση μετά το σεισμό	$w = 0.15L$
Προστασία ζωής	$w = 0.10L$
Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης	$w = 0.00L$

Το πάχος της θλιβόμενης διαγωνίου θα λαμβάνεται ίσο με το συνολικό πάχος της τοιχοπληρώσεως και η θλιπτική αντοχή του θλιπτήρα υπολογίζεται με βάση τον EC6 ως ακολούθως: (βλ. EC6. §3.6.1.2(1)(i))

$$f_{wc} = k \cdot f_{bc}^{0.7} \cdot f_{mc}^{0.3} \quad (01)$$

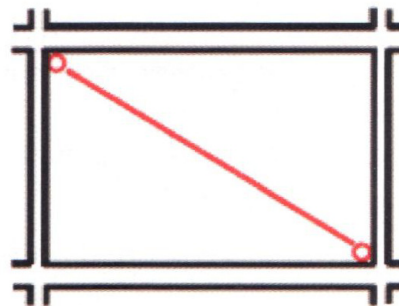
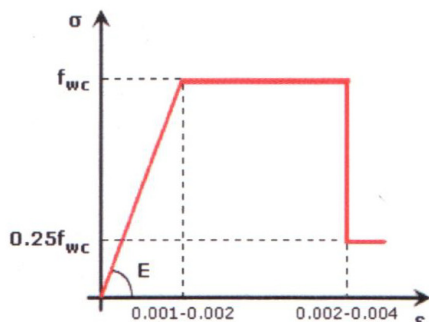
Όπου: f_{bc} είναι η μέση θλιπτική αντοχή λιθοσώματος

f_{mc} είναι η μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος

k είναι εμπειρικός συντελεστής, ο οποίος λαμβάνει υπόψη την ομάδα στην οποία κατατάσσονται τα λιθοσώματα και το είδος του κονιάματος δομήςσεως. Για συνήθη κονιάματα, ο συντελεστής παίρνει τιμές από 0.35 έως 0.55.

Το επιβατικό μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας μπορεί να εκφράζεται ως πολλαπλάσιο της θλιπτικής αντοχής: (βλ. EC6. §3.7.2(1) και (2))

$$E_E = K_E \cdot f_{wc} \quad (02)$$



Σχήμα 3: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων θλιβόμενης διαγωνίου τοιχοπλήρωσης [1]

Αυτές οι δύο κατηγορίες – παραδοχών η πρώτη, και προσομοιώσεων η δεύτερη – θα μελετηθούν και θα ελεγχθούν στα παρακάτω κεφάλαια.

2. ΑΠΛΟΠΟΙΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ Ή ΠΑΡΑΛΕΙΨΗ ΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

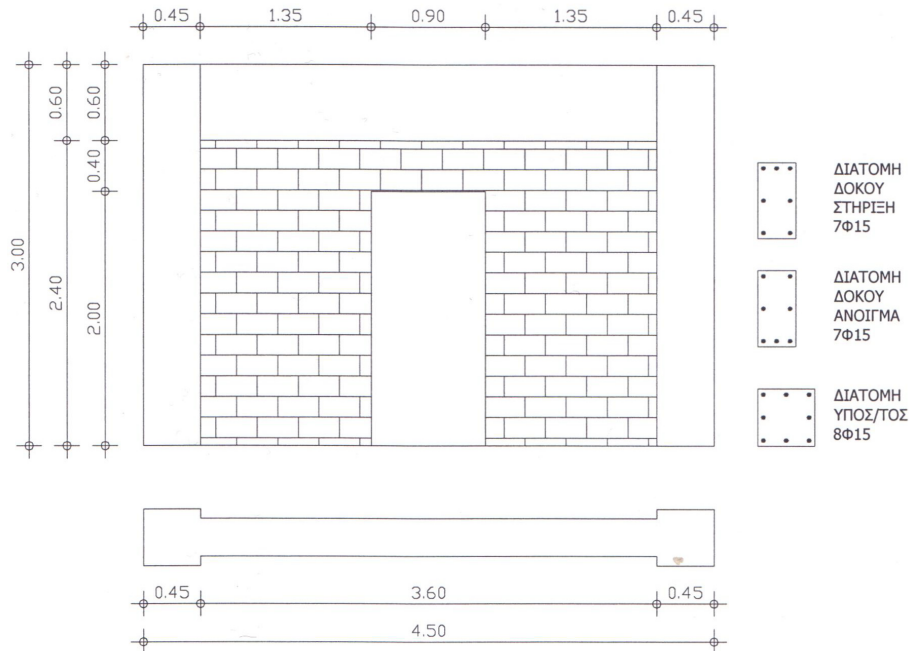
2.1 Πλαίσια που Αναλύθηκαν

Για να βρούμε εάν ισχύουν οι απλοποιητικές παραδοχές του ΚΑΝ.ΕΠΕ. θα πρέπει να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα από επιλυμένα πλαίσια για να δούμε εάν καταλήγουμε στα ίδια συμπεράσματα. Από την βιβλιογραφία μπορούμε να αντλήσουμε τις περιπτώσεις των κ.κ. Τσίκα – Δρίτσο. Τα πλαίσια αυτά, 13 στον αριθμό, έχουν αναλυθεί με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS με push over ανάλυση, και εξετάζουν την επιρροή της θέσης και του μεγέθους των ανοιγμάτων στην τοιχοπήρωση.

Τα πλαίσια αυτά – οι διαστάσεις τους και τα χαρακτηριστικά τους – πάρθηκαν από την πειραματική διερεύνηση των κ.κ. Καραγιάννη – Κακαλέτση που αφορά την οριζόντια κυκλική καταπόνηση τοιχοπληρωμένων πλαισίων με έκκεντρα ανοίγματα. Συγκεκριμένα τα πλαίσια αυτά έχουν μήκος 4.50m και ύψος 3.00m, τα υποστυλώματα έχουν διαστάσεις 0.45x0.45 ενώ η δοκός 0.30x0.60. Στο εσωτερικό των πλαισίων υπάρχει τοιχοποιία, η μορφή της οποίας είναι διαφορετική σε κάθε πλαίσιο, λόγω της αλλαγής των ανοιγμάτων.

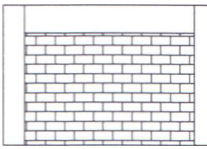
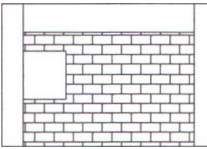
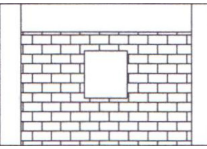
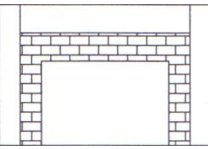
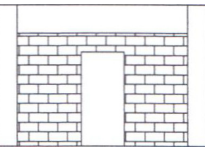
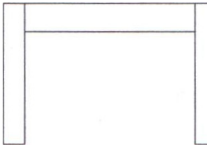
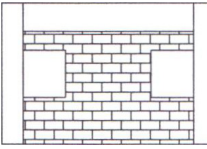
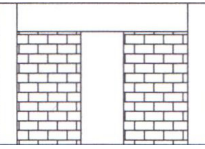
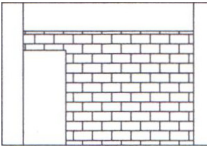
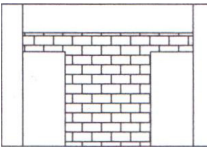
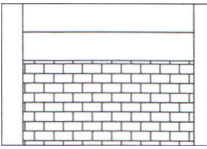
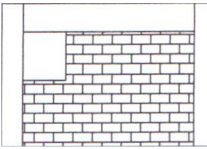
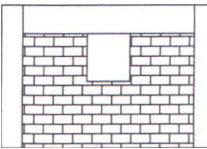
Η διαδικασία φόρτισης είναι η εξής: αφού πακτωθούν τα υποστυλώματα στο κάτω άκρο τους, εφαρμόζεται σε κάθε υποστύλωμα σταθερή αξονική δύναμη 225KN. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε ανηγμένη αξονική δύναμη $\nu = 0.1$ ώστε να χαρακτηριστεί το δομικό μέλος υποστύλωμα. Ακολούθως, εφαρμόζεται οριζόντια δύναμη στο άνω άκρο του πλαισίου, η τιμή της οποίας μεταβάλλεται σε κάθε βήμα.

Το σκυρόδεμα θεωρείται μέσης θλιπτικής αντοχής $f_{cm} = 24.65 MPa$, με μέγιστη παραμόρφωση από 2‰ έως 3.5‰ και συμπεριφορά κατά ΕΚΩΣ2000, ο χάλυβας με $\varnothing 15$ ενώ η ποιότητά του είναι S500, ενώ η συμπεριφορά του είναι κατά ΝΕΑΚ. Τέλος η τοιχοποιία έχει μέτρο ελαστικότητας $E = 1.5 GPa$, θλιπτική αντοχή $f_{wc} = 2 MPa$ και λόγο Poisson $\nu = 0.4$. Τα υπόλοιπα στοιχεία της παίρνονται είτε από τον EC6 είτε από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.



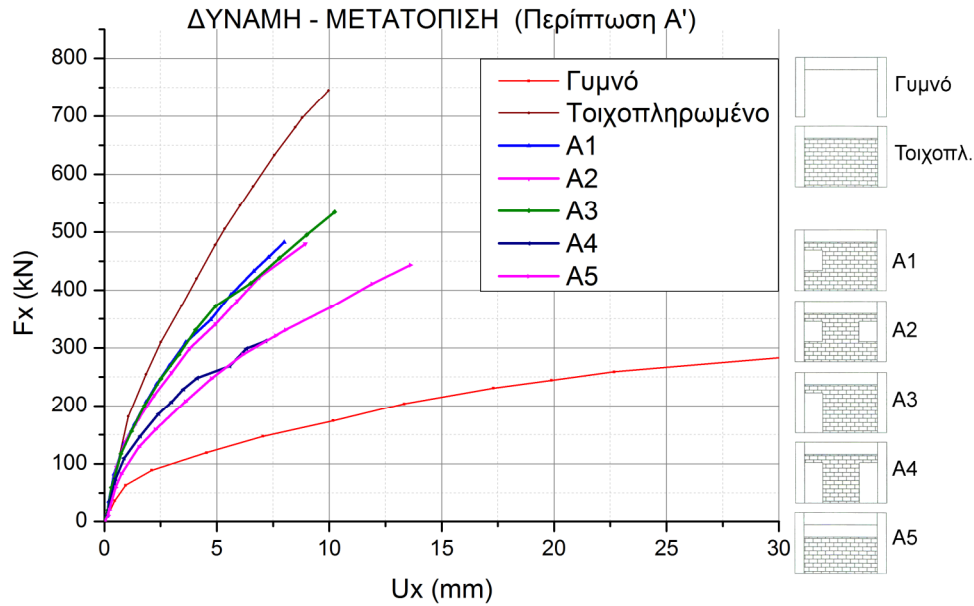
Σχήμα 4: Παράδειγμα προσομοιώματος πλαισίου των Τσίκα-Δρίτσο [2]

Τα προσομοιώματα που αναλύονται, χωρίζονται σε 5 κατηγορίες: η πρώτη αφορά το τοιχοπληρωμένο και το γυμνό πλαίσιο, βάσει των οποίων θα γίνουν οι συγκρίσεις, και οι άλλες 4 κατηγορίες αφορούν τις περιπτώσεις Α,Β,Γ και Δ του ΚΑΝ.ΕΠΕ όσον αφορά τις θέσης και τα μεγέθη των ανοιγμάτων. Τα μοντέλα που επιλύθηκαν είναι τα εξής παρακάτω.

ΓΥΜΝΟ – ΤΟΙΧΟΠΛΗ- ΡΩΜΕΝΟ	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Γ	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Δ
	ΑΚΡΑ	ΚΕΝΤΡΟ $x,y < 20\%$	ΚΕΝΤΡΟ $x,y > 50\%$	ΚΕΝΤΡΟ $20\% < x,y < 50\%$
 Πλαίσιο Τ	 Πλαίσιο Α1	 Πλαίσιο Β1	 Πλαίσιο Γ1	 Πλαίσιο Δ1
 Πλαίσιο Γ	 Πλαίσιο Α2			 Πλαίσιο Δ2
	 Πλαίσιο Α3			
	 Πλαίσιο Α4			
	 Πλαίσιο Α5			
	 Πλαίσιο Α6			
	 Πλαίσιο Α7			

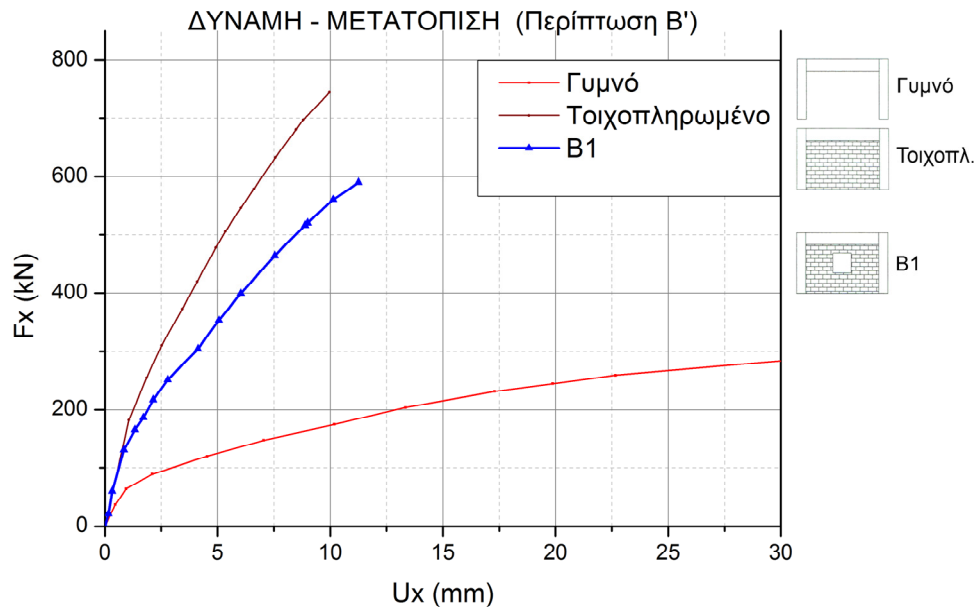
Πίνακας 1: Τα αναλυμένα με πεπερασμένα στοιχεία πλαίσια των Τσίκα-Δρίτσου [2]

Μετά την ανάλυση των πλαισίων τα αποτελέσματα μας έχουν δοθεί σε μορφή πινάκων οριζόντιας θλιπτικής δύναμης και των αντίστοιχων θλιπτικών παραμορφώσεων.



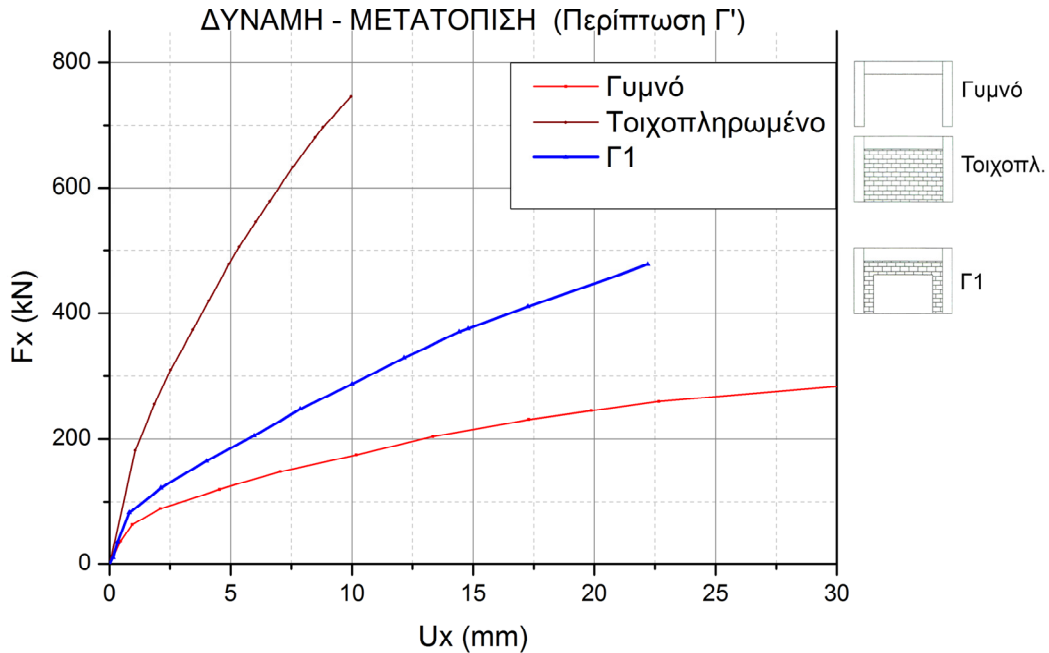
Σχήμα 5: Συγκριτικό διάγραμμα δύναμης-μετατόπισης της Α' Κατηγορίας πλαισίων [2]

Στην Περίπτωση Α βλέπουμε πως και τα πέντε πλαίσια, και ειδικότερα αυτά που έχουν εμβαδόν ανοίγματος μικρότερο από περίπου 20% (δηλαδή όλα πλην των Α4 και Α5), τείνουν να συμπεριφερθούν περισσότερο όπως το τοιχοπληρωμένο πλαίσιο παρά όπως το γυμνό.



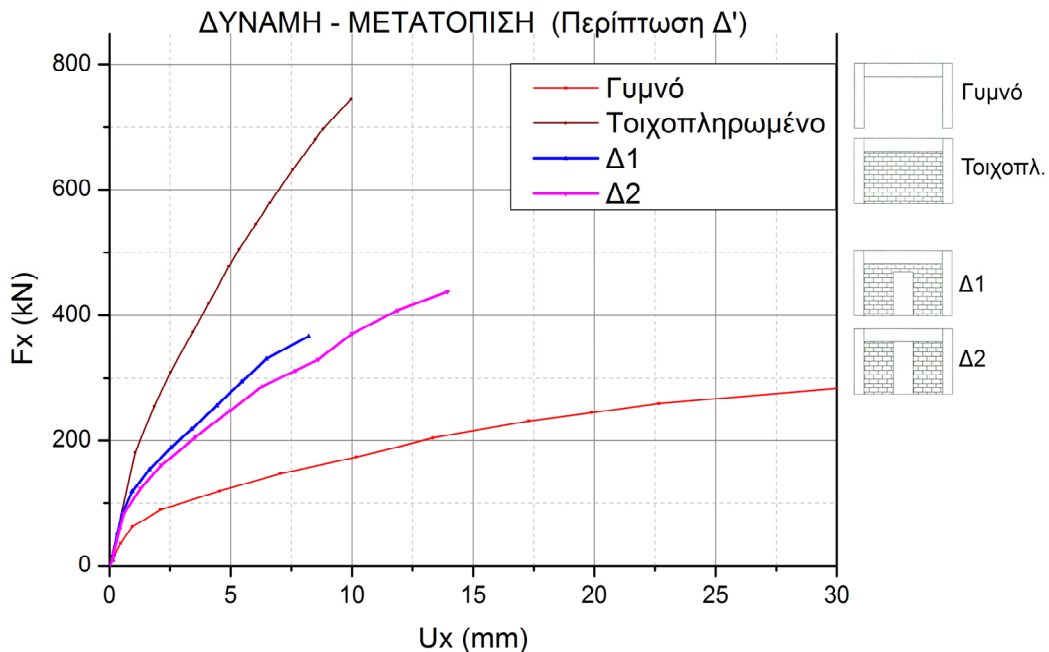
Σχήμα 6: Συγκριτικό διάγραμμα δύναμης-μετατόπισης της Β' Κατηγορίας πλαισίων [2]

Στην περίπτωση Β, δηλαδή με ανοίγμα στο κέντρο και με εμβαδόν ανοίγματος μικρότερο του 20% σε σχέση με τον εμβαδόν της τοιχοπλήρωσης του πλαισίου, παρατηρούμε πως όντως το πλαίσιο συμπεριφέρεται παρομοίως με το πληρωμένο, αλλά όχι τελείως.



Σχήμα 7: Συγκριτικό διάγραμμα δύναμης-μετατόπισης της Γ' Κατηγορίας πλαισίων [2]

Για την Περίπτωση Γ, τα πράγματα είναι πιο ξεκάθαρα και σαν αποτέλεσμα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η συμπεριφορά του πλαισίου τείνει πιο κοντά σε αυτή του γυμνού πλαισίου απ' ό,τι σε αυτή του πληρωμένου.



Σχήμα 7: Συγκριτικό διάγραμμα δύναμης-μετατόπισης της Δ' Κατηγορίας πλαισίων [2]

Τέλος για την Περίπτωση Δ, μπορούμε να πούμε πως όντως η συμπεριφορά των πλαισίων είναι περίπου μεταξύ των δύο άκρων μας, δηλαδή του πληρωμένου και του γυμνού πλαισίου.

2.2 Σύγκριση με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Θεωρώντας λοιπόν αστοχία του πλαισίου από αστοχία της τοιχοπλήρωσης που θεωρείται όταν αυτή έχει φτάσει σε 3.5% θλιπτική παραμόρφωση, μπορούμε να πάρουμε τις ανηγμένες Φέρουσες Ικανότητες και τις ανηγμένες Παραμορφώσεις των πλαισίων, σε σχέση και με το ανηγμένο εμβαδόν τους a' ως προς το γυμνό πλαίσιο.

	F_x	U_x	A	f_x	u_x	f_x'	u_x'	a'	k'
	KN	mm	m^2	–	–	–	–	–	–
T	680.587	8.485	8.64	1.000	1.000	2.787	0.427	1.00	6.53
Γ	244.186	19.874	0.00	0.359	2.342	1.000	1.000	0.00	1.00
A1	456.802	7.293	0.90	0.761	0.860	1.871	0.367	0.10	5.10
A2	479.729	8.933	1.80	0.705	1.053	1.965	0.449	0.21	4.37
A3	412.159	6.508	1.80	0.606	0.767	1.688	0.327	0.21	5.15
A4	311.657	7.181	3.60	0.458	0.846	1.278	0.361	0.42	3.53
A5	320.598	7.613	2.16	0.471	0.897	1.313	0.383	0.25	3.43
A6	366.611	10.562	0.90	0.539	1.245	1.501	0.531	0.10	2.82
A7	449.072	6.557	0.90	0.660	0.773	1.839	0.330	0.10	5.57
B1	520.152	9.004	0.90	0.764	1.061	2.130	0.453	0.10	4.70
Γ1	375.122	14.790	4.86	0.551	1.743	1.536	0.744	0.56	2.06
Δ1	366.285	8.216	1.80	0.538	0.968	1.500	0.413	0.21	3.63
Δ2	312.159	7.678	2.16	0.459	0.905	1.278	0.386	0.25	3.31

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικός πίνακας φερουσών ικανοτήτων και μετατοπίσεων των αναλυμένων πλαισίων των Τσίκα-Δρίτσου [2]

Όπου: F_x είναι η φέρουσα ικανότητα κάθε πλαισίου στην αστοχία

U_x είναι η μετατόπιση του πλαισίου στην αστοχία

A είναι το εμβαδόν του ανοίγματος της τοιχοποιίας

f_x είναι η φέρουσα ικανότητα κάθε πλαισίου ανηγμένη ως προς πληρωμένο πλαίσιο

u_x είναι η μετατόπιση του πλαισίου ανηγμένη ως προς πληρωμένο πλαίσιο

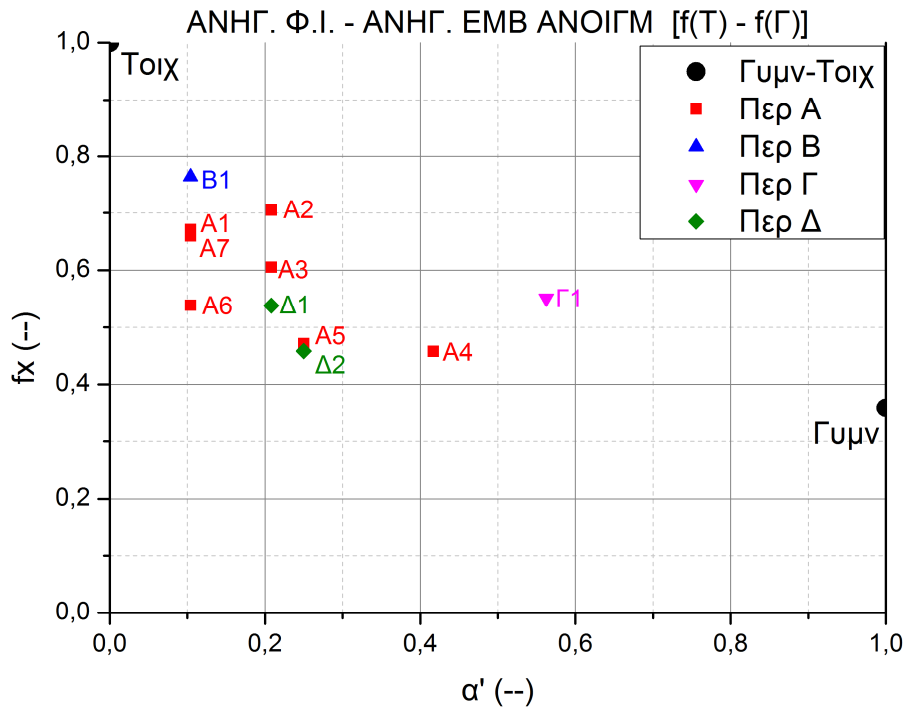
f_x' είναι η φέρουσα ικανότητα κάθε πλαισίου ανηγμένη ως προς γυμνό πλαίσιο

u_x' είναι η μετατόπιση του πλαισίου ανηγμένη ως προς γυμνό πλαίσιο

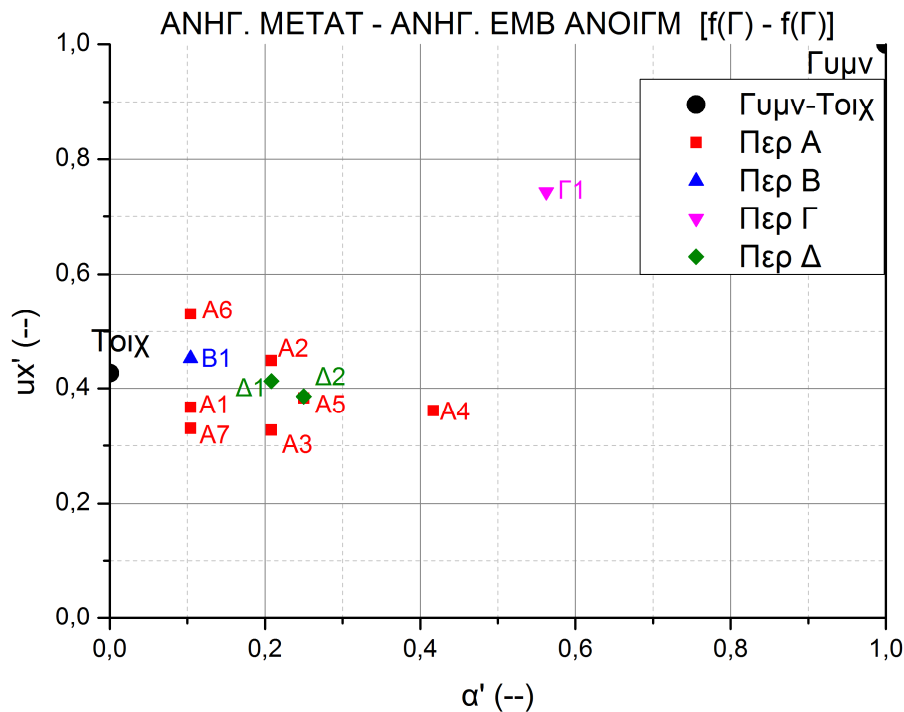
a' είναι το εμβαδόν του ανοίγματος της τοιχοποιίας ανηγμένο ως προς γυμνό πλαίσιο

k' είναι η δυσκαμψία του πλαισίου στην αστοχία ανηγμένη ως προς γυμνό πλαίσιο

Βάσει αυτών των δεδομένων, και με την βοήθεια των παρακάτω διαγραμμάτων που εκφράζουν, το ένα την ανηγμένη φέρουσα ικανότητα κάθε πλαισίου σε σχέση με το ανηγμένο εμβαδόν, και το άλλο την ανηγμένη μετατόπιση κάθε πλαισίου σε σχέση με το γυμνό συναρτήσει του ανηγμένου εμβαδού, μπορούμε να εξάγουμε κάποια πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα.



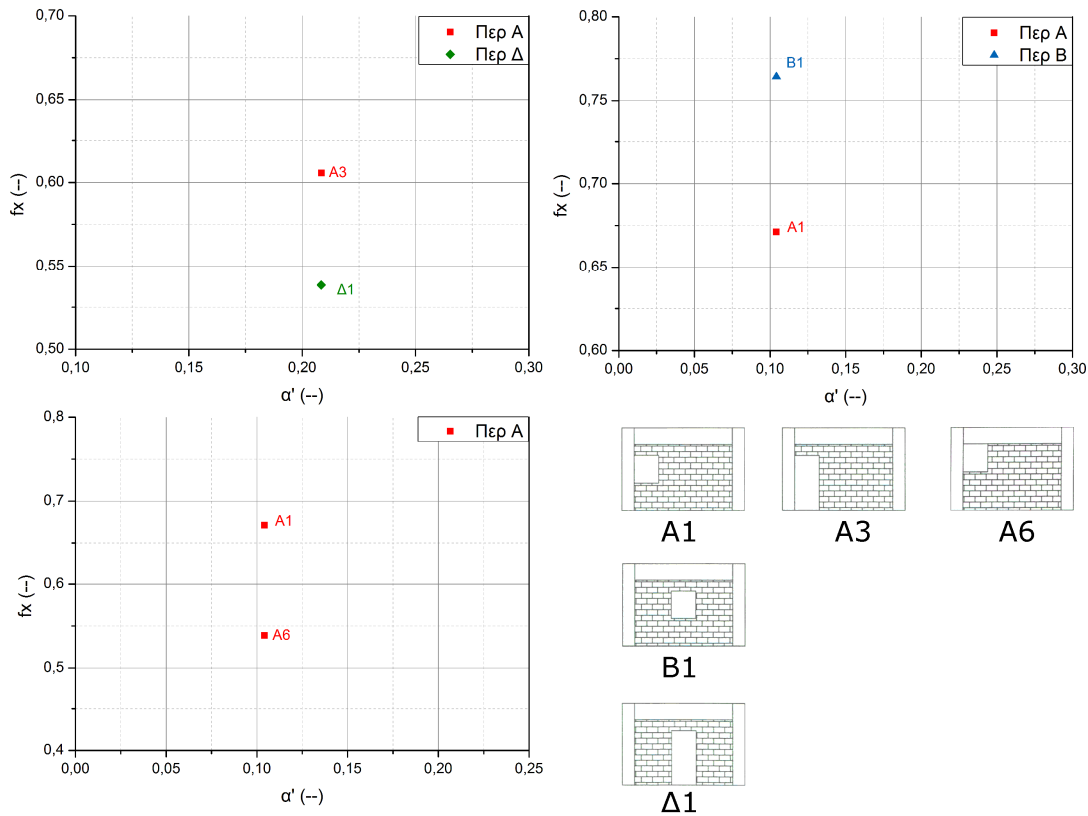
Σχήμα 8: Διάγραμμα Ανηγμένων Φ.Ι. - Ανηγμένου Εμβαδού Ανοίγματος όλων των πλαισίων [2]



Σχήμα 9: Διάγραμμα Ανηγ. Μετατοπίσεων – Ανηγ. Εμβαδού Ανοίγματος όλων των πλαισίων [2]

Από τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε πως οι αντοχές τους είναι σχεδόν σε όλα (πλην αυτών που έχουν μεγάλα ανοίγματα, δηλ το Α4 και αυτά που έχουν ανοίγματα που κόβουν την τοιχοποιία πλήρως, δηλ . τα Α5 και Δ2) πιο κοντά στο τοιχοπληρωμένο πλαίσιο, και ακόμα, οι μετατοπίσεις τους είναι σε όλα (πλην αυτών με τα μεγάλα ανοίγματα) πολύ πιο κοντά στο τοιχοπληρωμένο πλαίσιο, παρά στο τελείως γυμνό.

Ακόμα, παρατηρούμε πως και η θέση στην οποία θα βρίσκεται το άνοιγμα μέσα στην τοιχοπλήρωση παίζει ρόλο στην αντοχή του πλαισίου, διότι όσο πιο πολύ τέμνει το άνοιγμα την διαγώνιο, τόσο απομειώνεται η αντοχή της τοιχοποιίας και συνεπώς του όλου πλαισίου.



Σχήμα 10: Διάγραμμα Ανηγ. Φ.Ι. – Ανηγ. Εμβαδού Ανοίγματος μεταξύ ζευγών πλαισίων [2]

Αφού έγιναν λοιπόν όλες οι αναλύσεις πρέπει να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης με τις συστάσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Στην πρώτη κατηγορία κατατάσσονται τα πλαίσια που έχουν άνοιγμα κοντά στα άκρα. Για αυτήν την περίπτωση ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. προτείνει η τοιχοπλήρωση να αγνοηθεί. Όμως βλέπουμε ότι η ανηγμένη δύναμη αστοχίας ως προς το γυμνό πλαίσιο κυμαίνεται από 1.278 (για το πλαίσιο A4) έως 1.965 φορές (για το πλαίσιο A2) περισσότερο απ' ότι στο γυμνό. Ακόμα και το πλαίσιο με την διακοπή της τοιχοπλήρωσης καθ' ύψος μέσα στο φάτνωμα, που έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων, έχει κατά 30% περίπου μεγαλύτερη αντοχή απ' ότι το γυμνό.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
f_x' (ΑΝΑΛΥΣ)	1.88	1.97	1.69	1.28	1.31	1.50	1.84
f_x' (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Πίνακας 3: Σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων ανάλυσης με τις συστάσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Στην δεύτερη κατηγορία κατατάσσονται τα πλαίσια των οποίων οι διαστάσεις του ανοίγματος είναι μικρότερες από το 20% των αντίστοιχων διαστάσεων του φαντώματος και είναι τοποθετημένα κοντά στο κέντρο αυτού. Γι αυτήν την περίπτωση ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. προτείνει να αγνοηθεί η επιρροή του ανοίγματος στα χαρακτηριστικά της τοιχοπλήρωσης και

να ληφθεί υπ' όψιν το φάτνωμα σα πληρωμένο. Αναλύοντας το πλαίσιο βλέπουμε πως η δύναμη αστοχίας του είναι περίπου ίση με το 75% της δύναμης αστοχίας του πληρωμένου.

	B1
f_x' (ΑΝΑΛΥΣ)	0.76
f_x' (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)	1.00

Πίνακας 4: Σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων ανάλυσης με τις συστάσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Στην τρίτη κατηγορία βρίσκονται τα πλαίσια των οποίων οι διαστάσεις του ανοίγματος είναι μεγαλύτερες από το 50% των αντίστοιχων διαστάσεων του φαντώματος και είναι τοποθετημένα κοντά στο κέντρο αυτού. Γι αυτήν την περίπτωση ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. προτείνει να αγνοείται ολόκληρη η τοιχοπλήρωση. Αναλύοντας λοιπόν το πλαίσιο διαπιστώσαμε ότι η δύναμη αστοχίας του είναι 0.54 φορές πάνω από αυτήν του γυμνού πλαισίου

	Γ1
f_x' (ΑΝΑΛΥΣ)	1.54
f_x' (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)	1.00

Πίνακας 5: Σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων ανάλυσης με τις συστάσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Στην τέταρτη κατηγορία βρίσκονται τα πλαίσια των οποίων οι διαστάσεις του ανοίγματος είναι μεταξύ του 20% και 50% των αντίστοιχων διαστάσεων του φαντώματος και είναι τοποθετημένα κοντά στο κέντρο αυτού. Γι αυτήν την περίπτωση ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. μία λύση που προτείνει είναι η χρήση δύο λοξών θλιπτήρων ανά φάτνωμα (για την οποία θα αναφερθούμε και στο επόμενο κεφάλαιο) ενώ μια άλλη λύση θα ήταν να γίνει γραμμική παρεμβολή (μεταξύ των πλαισίων με ανοίγματα 20% [δηλαδή θεωρηθέντα πληρωμένα] και 50% [που θεωρούνται γυμνά]) για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών του φαντώματος. Κάνοντας λοιπόν γραμμική παρεμβολή βρίσκουμε τα εξής:

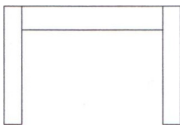
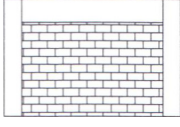
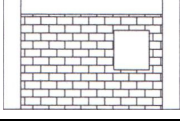
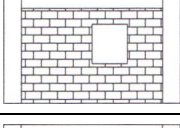
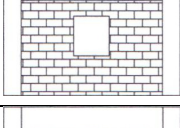
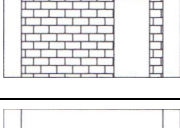
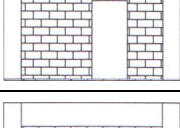
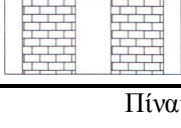
	Δ1		Δ2	
	F_x	f_x''	F_x	f_x''
f_x' (ΑΝΑΛΥΣ)	386.285	0.55	312.096	1.51
f_x' (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)	666.040	1.00	607.854	1.00

Πίνακας 6: Σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων ανάλυσης με τις συστάσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Άρα συνολικά βλέπουμε πως οι συστάσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την απλοποίηση των πλαισίων δεν μας καλύπτουν και βοηθούν καθόλου, αφού παρατηρούμε μεγάλες αποκλίσεις από την πραγματικότητα, με αντοχές που φτάνουν από μια φορά (σχεδόν) πάνω από αυτό που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. σε μία από τις περιπτώσεις (A2) και έως 25% κάτω από αυτά σε άλλη περίπτωση (B1). Ως αποτέλεσμα, υπάρχει από την μία πλευρά το πρόβλημα να υποεκτιμηθούν καταστάσεις και αντοχές κτιρίων, που σε έναν τομέα όπως αυτός των ενισχύσεων είναι σημαντικό να συμπεριληφθούν στην αντοχή μιας κατασκευής όσο το δυνατόν περισσότερα διαθέσιμα στοιχεία, και από την άλλη πλευρά υπάρχει ο κίνδυνος για κτίρια με μικρά ανοίγματα σε σχέση με τα φαντώματα του, να υπερ-υπολογιστεί η αντοχή του με επικίνδυνες συνέπειες μετέπειτα.

2.3 Έλεγχος Αξιοπιστίας Προσομοιωμάτων Τσίκα-Δρίτσου

Όσον αφορά την αξιοπιστία και την ορθότητα αυτών των προσομοιώσεων των πλαισίων για την εξαγωγή των παραπάνω συμπερασμάτων, μερικά από τα παραπάνω πλαίσια ξαναμελετήθηκαν και υπολογίστηκαν σε κλίμακα 1:3. Αφού λοιπόν διαπιστώθηκαν σταθεροί λόγοι δυνάμεων (1:9) και μετατοπίσεων (1:3) με αυτά σε κανονικό μέγεθος (κλίμακα 1:1) καθιστώντας τα μικρά πλαίσια ισοδύναμα με τα μεγάλα, συγκρίθηκαν με αυτά τα πλαίσια της εργασίας των κ.κ. Καραγιάννη-Κακαλέτση [4] υπό οριζόντια κυκλική καταπόνηση. Τα αποτελέσματα λοιπόν για την στιγμή της αστοχίας είναι τα εξής.

	x/l	ΤΣΙΚΑΣ– ΔΡΙΤΣΟΣ		ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ– ΚΑΚΑΛΕΤΣΗΣ	
		F_x	f_x'	F_x	f_x'
		[KN]	[-]	[KN]	[-]
	–	39.42	1.00	44.27	1.00
	–	78.12	1.98	81.46	1.84
	0.833	69.19	1.76	72.71	1.64
	0.666	61.55	1.56	72.19	1.63
	0.500	58.70	1.49	66.56	1.50
	0.833	54.82	1.39	64.69	1.46
	0.666	52.62	1.33	61.04	1.38
	0.500	54.17	1.37	61.56	1.39

Πίνακας 7: Πίνακας σύγκρισης προσομοιωμάτων με πειραματικά δεδομένα [3]

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα βλέπουμε πως είμαστε αρκετά κοντά σε αυτά, και επιπλέον δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η τοιχοποιία δεν έχει τα ίδια χαρακτηριστικά και ακόμα ότι στους Τσικά-Δρίτσο έχει θεωρηθεί αστοχία σε θλιπτική παραμόρφωση της τοιχοποιίας 3.5%, ενώ για τα πλαίσια των Καραγιάννη-Κακαλέτση έχει ληφθεί η μέγιστη τιμή από τα διαγράμματα δύναμης μετατόπισης για το κάθε πλαίσιο. Τέλος, όντας τα πραγματικά πλαίσια υπό κλίμακα αλλάζουν οι ιδιότητες και η συμπεριφορά της τοιχοποιίας δημιουργώντας έτσι διαφορά με τα αποτελέσματα του H/Y.

3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΔΙΑΓΩΝΙΟΥ ΘΛΙΠΤΗΡΑ

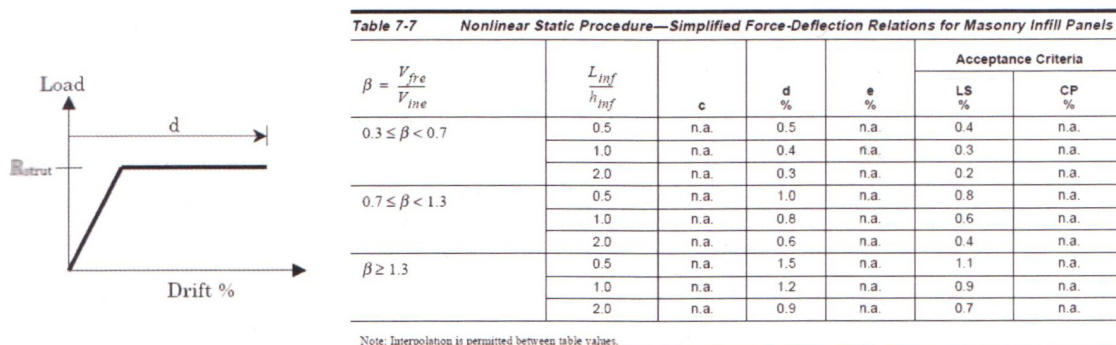
3.1 Προταθέντα Προσομοιώματα Μεθόδου Θλιπτήρων

Γενικά μια τοιχοπλήρωση (με ανοίγματα ή μη) μπορεί να προσομοιωθεί είτε με χρήση πεπερασμένων επιφανειακών στοιχείων είτε με χρήση γραμμικών στοιχείων. Σημαντικές προς υπολογισμό παράμετροι είναι το πλάτος της θλιβόμενης διαγωνίου, η μηχανική της συμπεριφορά και ο τρόπος υπολογισμού της αντοχής της. Τα δημοφιλέστερα προσομοιώματα στα οποία θα κάνουμε σύντομη αναφορά παρακάτω είναι τα εξής: FEMA, Παναγιωτάκου – Φαρδή, Al-Chaar, Mostafaei – Kabeyasawa και Τσικά – Δρίτσο. Σε όλα αυτά τα μοντέλα ο υπολογισμός του πλάτους της θλιβόμενης διαγωνίου γίνεται βάση της σχέσης Later, Mainstone (1971):

$$w = 0.175 \cdot (\lambda \cdot h)^{-0.4} \cdot d_m \quad (03)$$

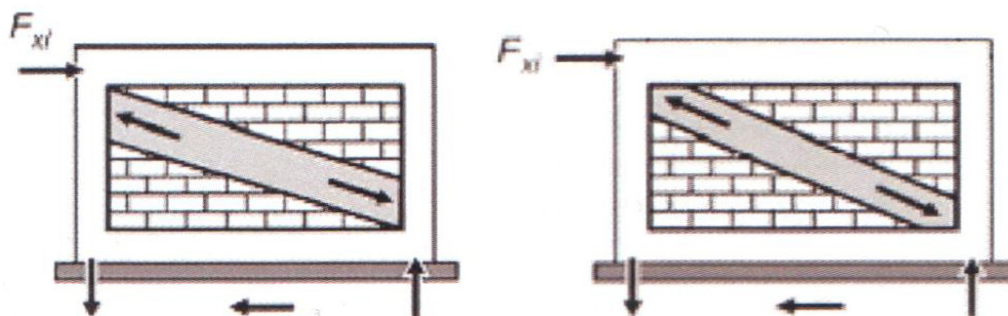
3.1.1. FEMA

Σύμφωνα με την Federal Emergency Management Agency, προτείνεται η μέθοδος της θλιβόμενης διαγωνίου, με χρήση διγραμμικού διαγράμματος της ακόλουθης μορφής:



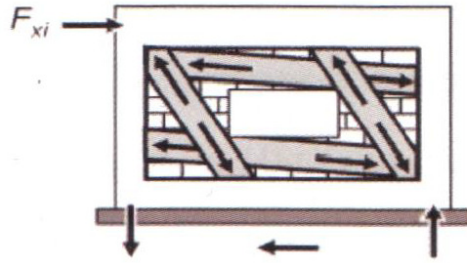
Σχήμα 11: Διάγραμμα του Θλιπτήρα και τιμές για αυτό σύμφωνα με την FEMA [3]

Όσον αφορά τον σχεδιασμό θλιπτήρων, έχουμε τους εξής δύο τρόπους να τοποθετηθούν:



Σχήμα 12: Διαφορετικές εκδοχές τοποθέτησης του θλιπτήρα σε πλήρες πλαίσιο [3]

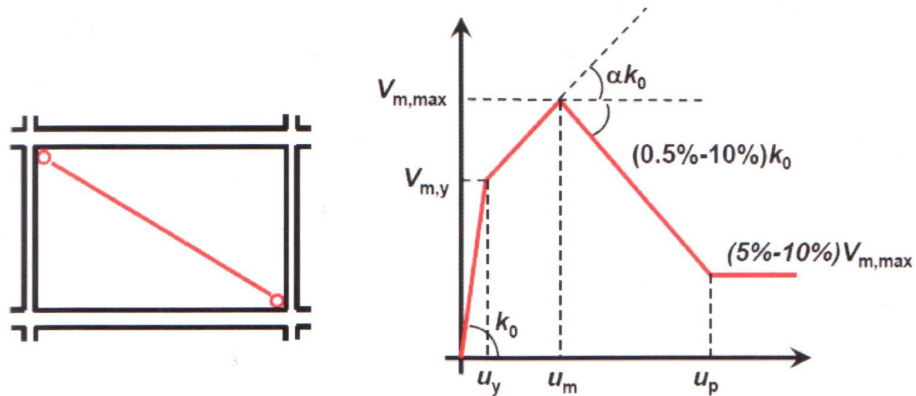
Υπάρχει ακόμα ένας τρόπος, για όταν υπάρχει άνοιγμα μέσα στην τοιχοπλήρωση, για να προσαρμόζονται οι θλιπτήρες κατάλληλα γύρω από το άνοιγμα όπως στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 13: Σχήμα τοποθέτησης του θλιπτήρα σε πλαίσιο με άνοιγμα [3]

3.1.2. ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΚΟΣ – ΦΑΡΔΗΣ (1994)

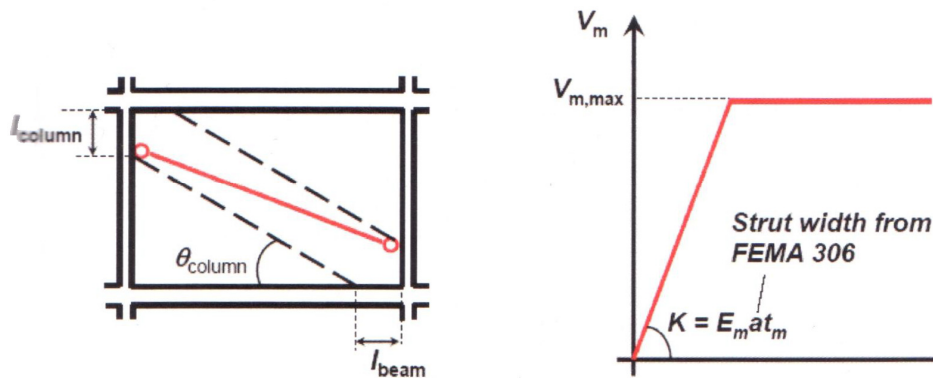
Σε αντίθεση με τη FEMA που χρησιμοποιεί διγραμμικό διάγραμμα για την προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς της θλιβόμενης διαγωνίου, αυτό το προσομοίωμα χρησιμοποιεί πολυγραμμικό διάγραμμα της ακόλουθης μορφής:



Σχήμα 14: Μηχανισμός Θλιβόμενης διαγωνίου και διάγραμμα διατμητικής δύναμης τοιχοποιίας – οριζόντιας μετατόπισης [3]

3.1.3. AL-CHAAR (2002)

Αυτό το προσομοίωμα κάνει χρήση διγραμμικού διαγράμματος όπως και η FEMA, όπως μας δείχνει και το σχήμα παρακάτω:



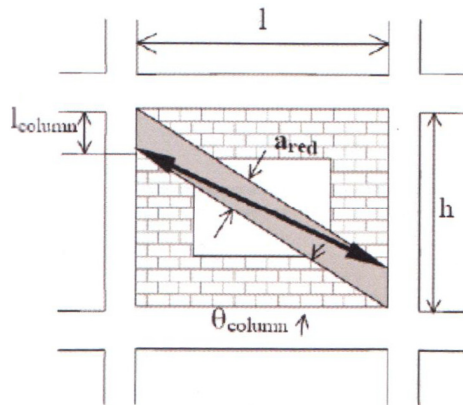
Σχήμα 15: Μηχανισμός Θλιβόμενης διαγωνίου και διάγραμμα διατμητικής δύναμης τοιχοποιίας – οριζόντιας μετατόπισης [3]

Στην περίπτωση που υπάρχει άνοιγμα ο θλιπτήρας σχεδιάζεται στο κέντρο και ακολούθως μειώνεται το πάχος του από a σε a_{ref} ως ακολούθως :

$$a_{ref} = a \cdot R_1 \cdot R_2 \quad (04)$$

$$\text{Όπου } R_1 = 0.6 \cdot \left(\frac{E_{\text{ΑΝΟΙΓΜ}}}{E_{\text{ΤΟΙΧ.ΠΛΑ}}} \right)^2 - 1.6 \cdot \left(\frac{E_{\text{ΑΝΟΙΓΜ}}}{E_{\text{ΤΟΙΧ.ΠΛΑ}}} \right) + 1 \quad (05)$$

$$R_2 = \ll\text{από πίνακα}\gg$$

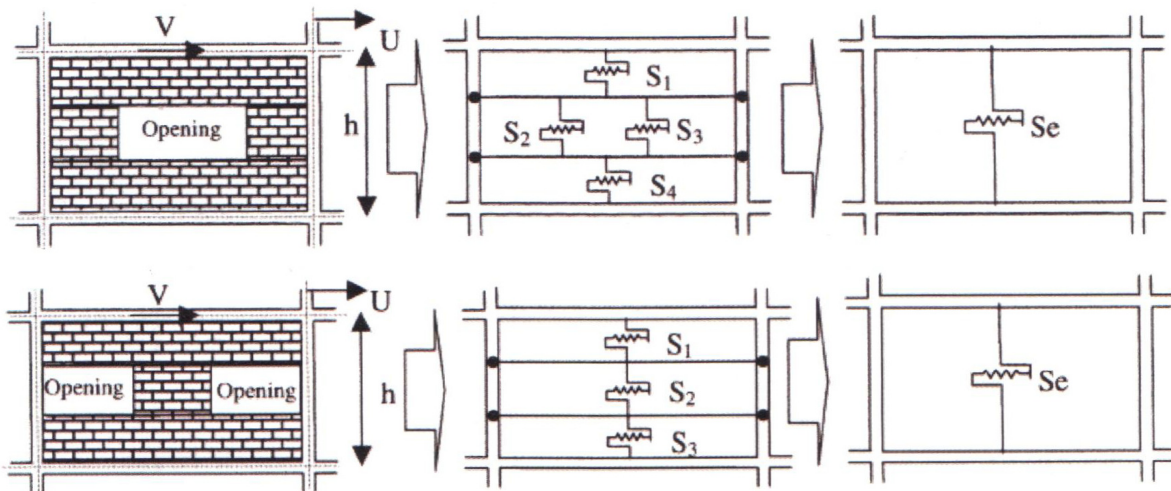


h_m/t	R2	
	Moderate	Severe
≤ 21	0.7	0.4
> 21	Requires Repair	

Σχήμα 16: Προσομοίωση πλαισίου με κεντρικό άνοιγμα [3]

3.1.3. MOSTAFAEI & KABEYASAWA (2004)

Κι αυτό το προσομοίωμα κάνει χρήση πολυγραμμικού διαγράμματος όπως κι αυτό των Φαρδή & Παναγιωτάκου. Στην περίπτωση ύπαρξης ενός η περισσοτέρων ανοιγμάτων η τοιχοπλήρωση αντικαθίσταται από νοητά τμήματα καθ' ύψος που καθένα από τα οποία με τη σειρά του αντικαθίσταται από ένα οριζόντιο ελατήριο όπως στα ακόλουθα σχήματα.



Σχήμα 17: Προσομοίωση πλαισίων με ένα κεντρικό και με δύο πλάγια ανοίγματα [3]

3.1.4. ΤΣΙΚΑΣ – ΔΡΙΤΣΟΣ (2009)

Οι Τσίκας-Δρίτσος με βάση την αριθμητική ανάλυση δεδομένων και με διαδικασία που θα αναλυθεί παρακάτω προτείνει τις ακόλουθες σχέσεις για υπολογισμό του πλάτους του θλιπτήρα a_{ref} λαμβάνοντας υπόψη την ύπαρξη ανοίγματος (μέγεθος και θέση) :

$$a_{ref} = a \cdot R_1 \cdot R_2 \quad (06)$$

$$\text{Όπου: } R_1 = 2.24 \cdot \left(\frac{E_{\text{ΑΝΟΙΓΜ}}}{E_{\text{ΤΟΙΧ.ΠΛ}}} \right)^2 - 2.77 \cdot \left(\frac{E_{\text{ΑΝΟΙΓΜ}}}{E_{\text{ΤΟΙΧ.ΠΛ}}} \right) + 1 \quad (07)$$

$$R_2 = 0.32 \cdot \left(\frac{X}{L} \right) + 0.86 \quad , \quad \text{για ΠΑΡΑΘΥΡΑ με } \frac{Y}{H} = 0.50$$

$$R_2 = 0.61 \cdot \left(\frac{X}{L} \right)^2 - 1.24 \cdot \left(\frac{X}{L} \right) + 0.56 \quad , \quad \text{για ΠΑΡΑΘΥΡΑ με } \frac{Y}{H} = 0.63$$

$$R_2 = 0.77 \cdot \left(\frac{X}{L} \right)^2 - 0.07 \cdot \left(\frac{X}{L} \right) + 0.81 \quad , \quad \text{για ΘΥΡΕΣ}$$

Όπου: R_1 είναι μειωτικός συντελεστής της επιρροής του μεγέθους του ανοίγματος

R_2 είναι μειωτικός συντελεστής της επιρροής της θέσης του ανοίγματος

X είναι η απόσταση του κέντρου βάρους ανοίγματος από υποστώλιωμα

Y είναι η απόσταση του κέντρου βάρους ανοίγματος από δοκό

L είναι το μήκος του φανώματος

H είναι το ύψος του φανώματος

3.2 Επιλογή Προσομοιώματος

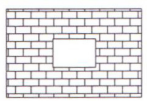
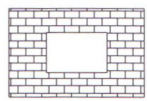
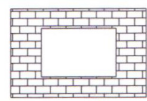
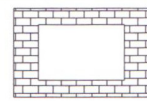
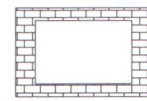
Από όλα τα παραπάνω προσομοιώματα που αναφέρθηκαν και παρουσιάστηκαν συνοπτικά, εμείς για την περαιτέρω ανάλυση μας θα επιλέξουμε αυτό των Τσίκα-Δρίτσου (2009) ως απλούστερο αφού βασίζεται στην θεώρηση και χρήση ενός μόνο θλιπτήρα σε αντίθεση με τα άλλα μοντέλα που κάνουν χρήση πολλαπλών θλιπτήρων. Αυτό το μοντέλο όμως παρουσιάζει το προφανές μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να προσομοιώνονται οι τοπικές επιρροές, και επιπλέον δεν έχει γίνει περαιτέρω διερεύνηση για παραπάνω από ένα ανοίγματα.

3.3 Ανάλυση Προσομοιώματος Τσίκα-Δρίτσου

Παραπάνω δόθηκε η μορφή της σχέσεως καθώς και οι σχέσεις με βάση τις οποίες προκύπτουν οι συντελεστές R_1 και R_2 του προσομοιώματος. Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιάσουμε την πορεία που ακολουθήθηκε για την απόδειξη της σχέσεως.

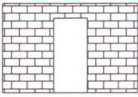
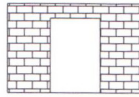
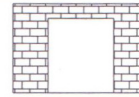
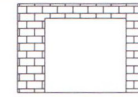
3.3.1. Επιρροή μεγέθους ανοίγματος

Αρχικά αναλύθηκαν τα ακόλουθα 5 πλαίσια με άνοιγμα μορφής παραθύρου που καταλάμβανε διαδοχικά το 10%, 20%, 30%, 40% και 50% του συνολικού εμβαδού της τοιχοπλήρωσης όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

Πλαίσιο 1	Πλαίσιο 2	Πλαίσιο 3	Πλαίσιο 4	Πλαίσιο 5
				
10% φανώματος	20% φανώματος	30% φανώματος	40% φανώματος	50% φανώματος
0.74	0.52	0.36	0.21	0.15

Πίνακας 8: Μορφή πλαισίων και αποτελέσματα του συντελεστή R_1 [3]

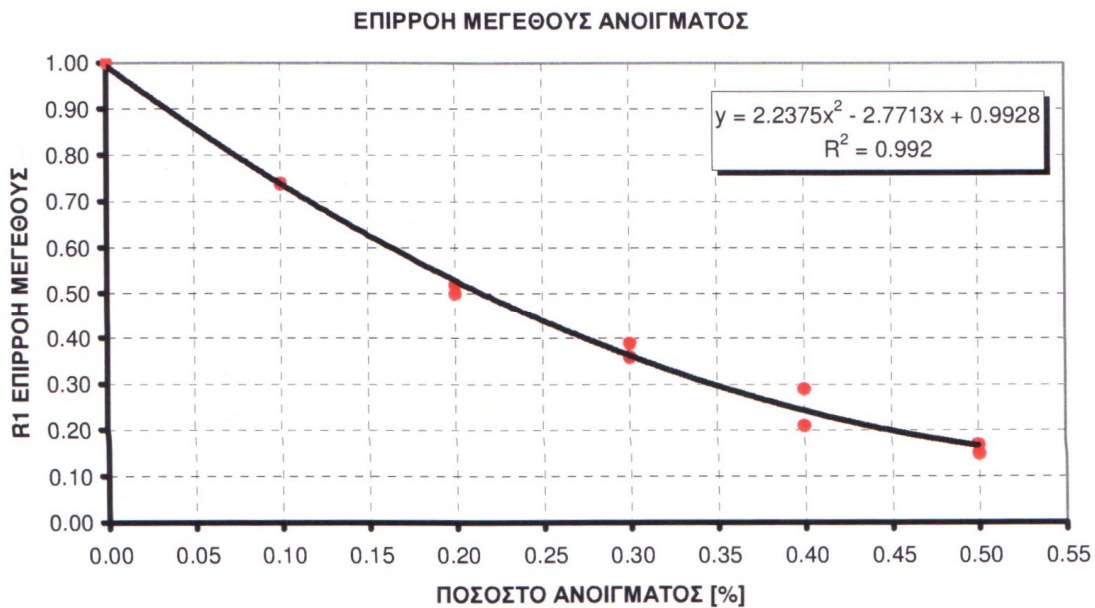
Έπειτα αναλύθηκαν τα ακόλουθα 5 πλαίσια με άνοιγμα μορφής θύρας που καταλάμβανε διαδοχικά 20%, 30%, 40% και 50% του συνολικού εμβαδού της τοιχοπλήρωσης όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

Πλαίσιο 1	Πλαίσιο 2	Πλαίσιο 3	Πλαίσιο 4
			
20% φατνώματος	30% φατνώματος	40% φατνώματος	50% φατνώματος
0.50	0.39	0.29	0.17

Πίνακας 9: Μορφή πλαισίων και αποτελέσματα του συντελεστή R_1 [3]

Τα δεδομένα από τις δυο παραπάνω αναλύσεις εισάγονται στο επόμενο διάγραμμα κι έτσι προκύπτει η σχέση :

$$R_1 = 2.24 \cdot \left(\frac{E_{\text{ΑΝΟΙΓΜ}}}{E_{\text{ΤΟΙΧ.ΠΛ}}} \right)^2 - 2.77 \cdot \left(\frac{E_{\text{ΑΝΟΙΓΜ}}}{E_{\text{ΤΟΙΧ.ΠΛ}}} \right) + 1 \quad (07)$$

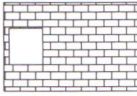
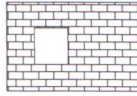
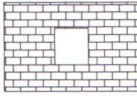
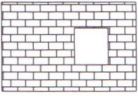
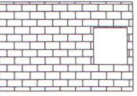


Σχήμα 18: Προσαρμογή πολυωνυμικής καμπύλης δευτέρου βαθμού στα αποτελέσματα [3]

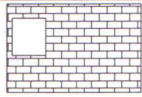
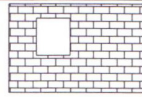
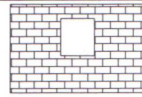
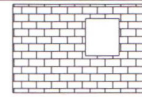
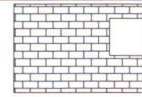
3.3.2. Επιρροή θέσης ανοίγματος

Χωρίζοντας αυτήν την ενότητα, σε δύο μέρη – **το πρώτο για τα παράθυρα**, και το δεύτερο για τις θύρες – έχουμε για το πρώτο τα εξής: σε αυτό το μέρος αναλύθηκαν δυο ομάδες των 5 πλαισίων. Στην πρώτη ομάδα το άνοιγμα βρίσκεται στο κέντρο ακριβώς του ύψους της τοιχοπλήρωσης, ενώ στη δεύτερη ομάδα βρίσκεται ελαφρώς πάνω από το κέντρο σε θέση ίση με 0.625 του ύψους της τοιχοπλήρωσης (H). Οι δυο ομάδες πλαισίων καθώς και οι κατά μήκος θέση των ανοιγμάτων φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα.

$$y/H=0.500$$

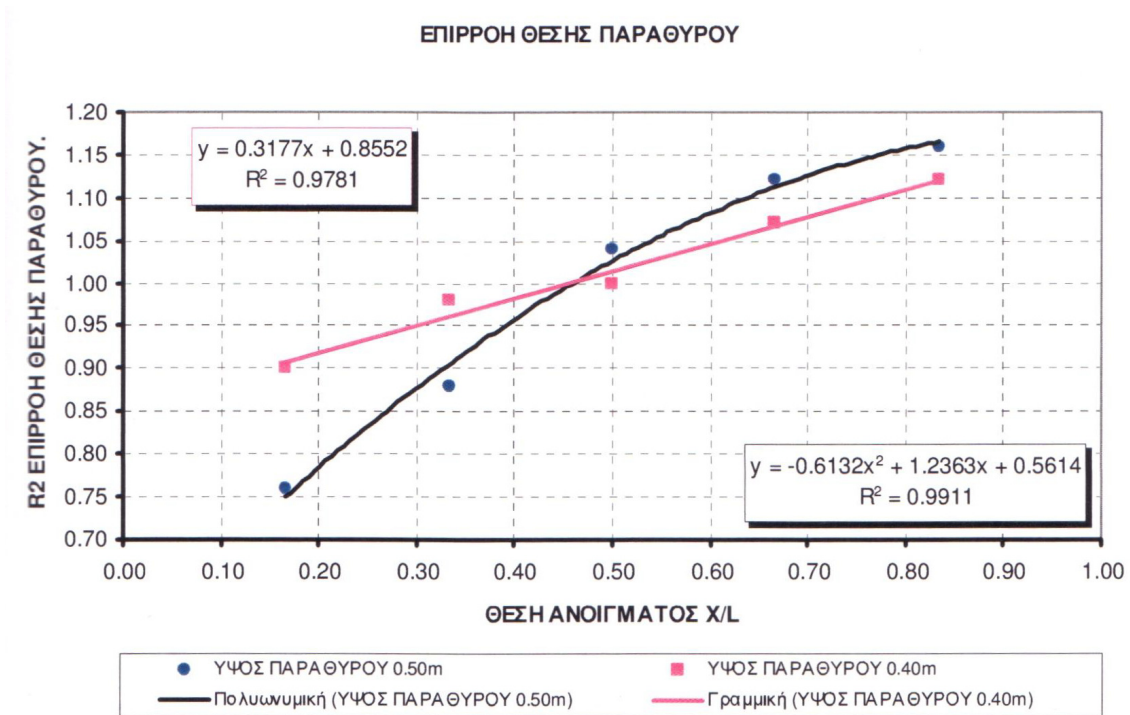
Πλαίσιο 1	Πλαίσιο 2	Πλαίσιο 3	Πλαίσιο 4	Πλαίσιο 5
				
X/L=0.16	X/L=0.33	X/L=0.50	X/L=0.66	X/L=0.83
0.90	0.98	1.00	1.07	1.12

$$y/H=0.625$$

Πλαίσιο 1	Πλαίσιο 2	Πλαίσιο 3	Πλαίσιο 4	Πλαίσιο 5
				
X/L=0.16	X/L=0.33	X/L=0.50	X/L=0.66	X/L=0.83
0.76	0.88	1.04	1.12	1.16

Πίνακας 10: Μορφή πλαισίων και αποτελέσματα του συντελεστή R_2 για τα παράθυρα [3]

Τα αριθμητικά δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση των παραπάνω δυο ομάδων πλαισίων τώρα εισάγονται με σκοπό την επεξεργασία τους και την προσαρμογή κατάλληλων καμπύλων σε αυτά ως ακολούθως.



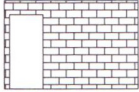
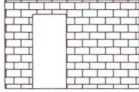
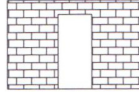
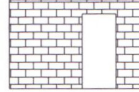
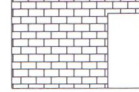
Σχήμα 19: Προσαρμογή πολυωνυμικών καμπυλών δευτέρου βαθμού στα αποτελέσματα [3]

Οπότε με βάση το παραπάνω διάγραμμα των αναλύσεων προκύπτουν οι ακόλουθες σχέσεις για κάθε μία από τις περιπτώσεις:

$$R_2 = 0.32 \cdot \left(\frac{X}{L}\right) + 0.86 \quad , \quad \text{για ΠΑΡΑΘΥΡΑ με } \frac{Y}{H} = 0.50 \quad (08)$$

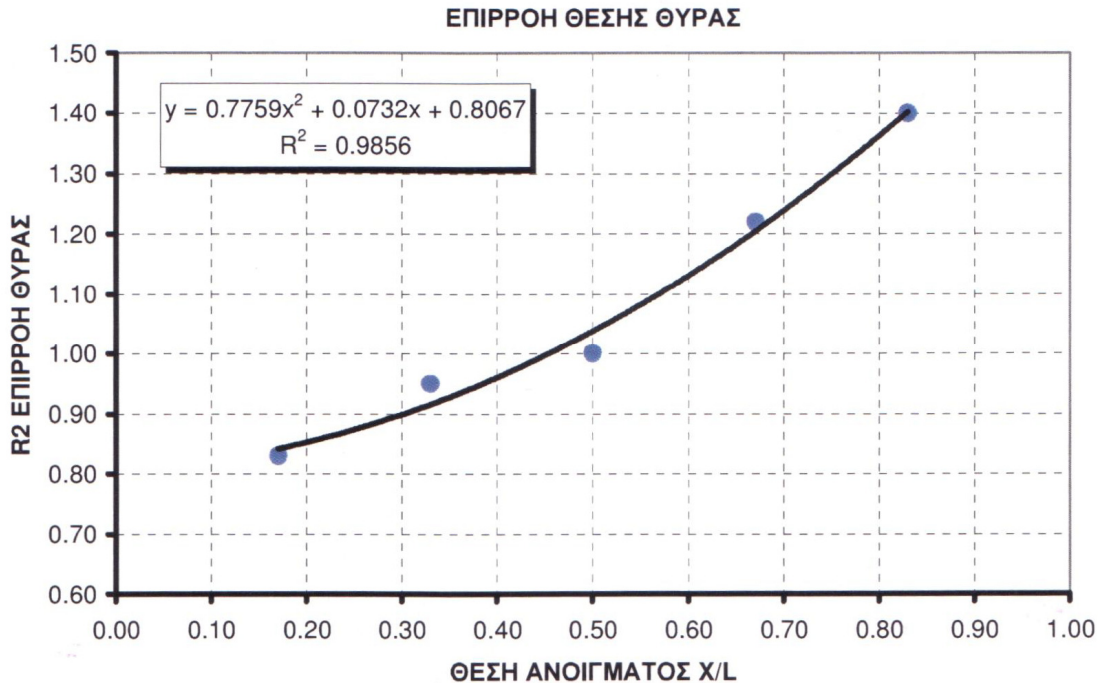
$$R_2 = 0.61 \cdot \left(\frac{X}{L}\right)^2 - 1.24 \cdot \left(\frac{X}{L}\right) + 0.56 \quad , \quad \text{για ΠΑΡΑΘΥΡΑ με } \frac{Y}{H} = 0.63 \quad (09)$$

Στο δεύτερο μέρος, που αφορά τις θύρες, αναλύθηκαν 5 πλαίσια με άνοιγμα θύρας η θέση του οποίου μεταβαλλόταν. Τα πλαίσια που μελετήθηκαν είναι τα ακόλουθα :

Πλαίσιο 1	Πλαίσιο 2	Πλαίσιο 3	Πλαίσιο 4	Πλαίσιο 5
				
X/L=0.16	X/L=0.33	X/L=0.50	X/L=0.66	X/L=0.83
0.83	0.95	1.00	1.22	1.40

Πίνακας 11: Μορφή πλαισίων και αποτελέσματα του συντελεστή R₂ για τις θύρες [3]

Τα δεδομένα από την ανάλυση τους μετά από επεξεργασία και προσαρμογή καμπύλης μας έδωσαν το ακόλουθο διάγραμμα.



Σχήμα 20: Προσαρμογή πολυωνυμικής καμπύλης δευτέρου βαθμού στα αποτελέσματα [3]

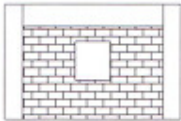
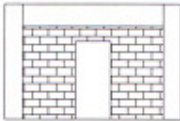
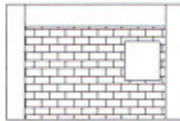
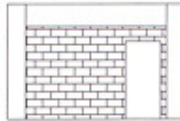
Άρα η σχέση που ανταποκρίνεται σε αυτά τα δεδομένα και προέκυψε από την προσαρμογή της καμπύλης είναι η ακόλουθη :

$$R_2 = 0.77 \cdot \left(\frac{X}{L}\right)^2 - 0.07 \cdot \left(\frac{X}{L}\right) + 0.81 \quad (10)$$

3.4 Έλεγχος Αξιοπιστίας Προσομοιώματος Τσίκα-Δρίτσου

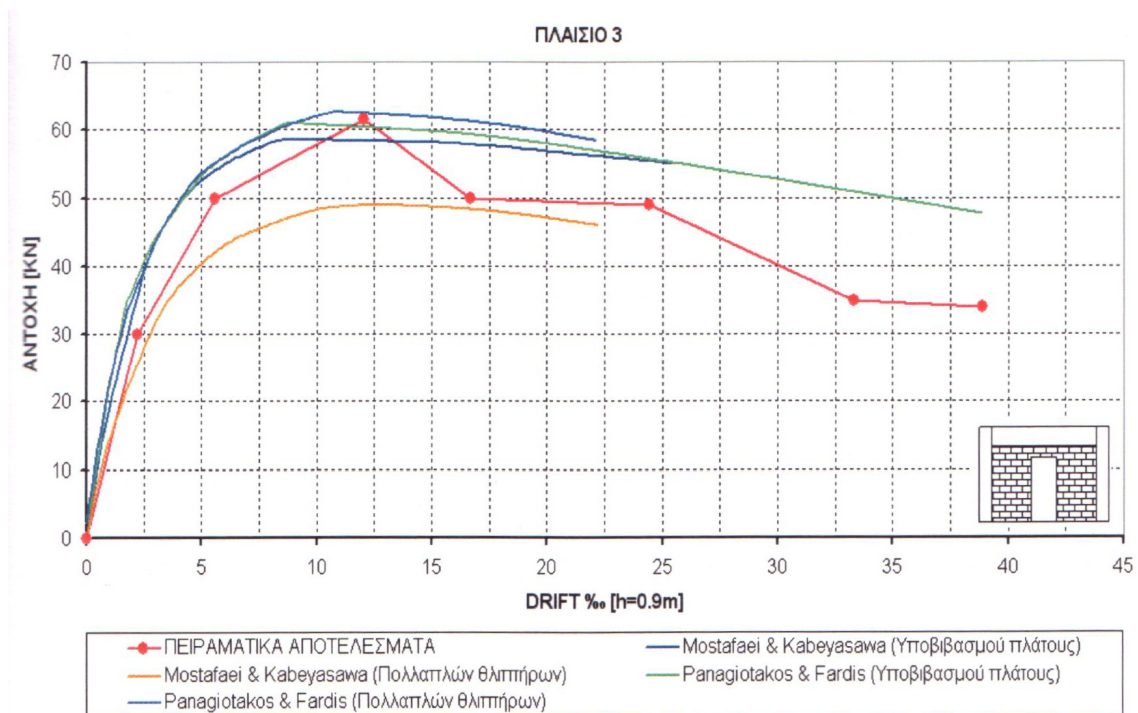
Για να ελεγχθεί η αξιοπιστία του μοντέλου των Τσίκα-Δρίτσου για τον υποβιβασμό του θλιπτήρα θα αναλυθούν τέσσερα πλαίσια, τα οποία έχουν ελεγχθεί πειραματικά κι από τους Χ. Καραγιάννη και Δ. Κακαλέτση. Τα πλαίσια αυτά είναι κλίμακας 1:3 για να προκύψουν συγκρίσιμα αποτελέσματα με τα πειράματα, και έχουν με τα υπόλοιπα πλαίσια κλίμακας 1:1 σταθερούς λόγους δυνάμεων και μετατοπίσεων. Αυτοί οι λόγοι είναι, για τις μεν δυνάμεις 1:9, ενώ δε για τις μετατοπίσεις 1:3. Επομένως συγκρίνοντας τα πλαίσια 1:3 με τα πραγματικά των πειραμάτων Καραγιάννη-Κακαλέτση, μπορούμε να εξάγουμε αποτελέσματα για τα 1:1, και το αντίστροφο.

Η μορφή και τα χαρακτηριστικά του κάθε πλαισίου καθώς και ο λόγος μείωσης του πλάτους του θλιπτήρα φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

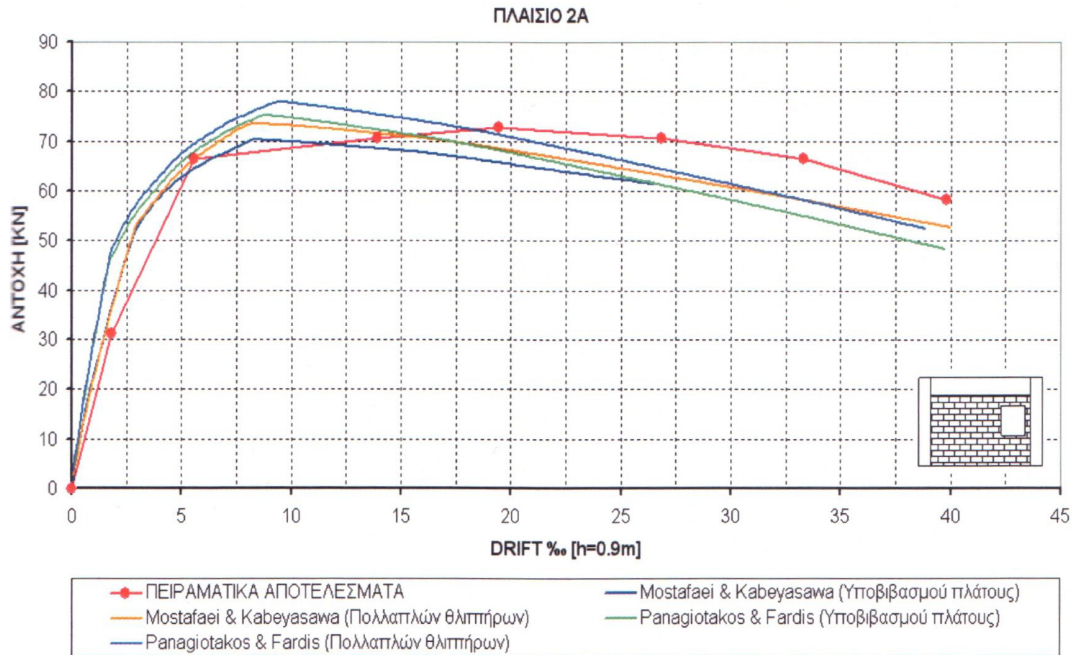
Πλαίσιο 2	Πλαίσιο 3	Πλαίσιο 2Α	Πλαίσιο 3Α
			
Μέγεθος: 10%	Μέγεθος: 20%	Μέγεθος: 10%	Μέγεθος: 20%
Θέση: X/L=0.500 Y/H=0.625	Θέση: X/L=0.500	Θέση: X/L=0.833 Y/H=0.625	Θέση: X/L=0.833
R₁=0.74 R₂=1.00 R=0.74	R₁=0.50 R₂=1.00 R=0.50	R₁=0.74 R₂=1.16 R=0.85	R₁=0.50 R₂=1.40 R=0.70

Πίνακας 12: Δεδομένα των τεσσάρων πλαισίων που θα χρησιμοποιηθούν [3]

Για την προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς του διαγώνιου θλιπτήρα χρησιμοποιούνται από τα παραπάνω προσομοιώματα που αναλύονται, αυτά με τον φθίνοντα κλάδο (Παναγιωτάκος – Φαρδής και Mostafaei – Kabeyasawa). Έτσι το άνοιγμα στην τοιχοπλήρωση προσομοιώνεται με χρήση πολλαπλών θλιπτήρων (δηλαδή με τον τρόπο που συστήνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.) αλλά και με υποβιβασμό του πλάτους του θλιπτήρα (με χρήση της εξισώσεως Τσικά-Δρίτσου). Παρακάτω, δίνονται δύο από τα τέσσερα διαγράμματα για σύγκριση μεταξύ των μεθόδων.



Σχήμα 21: Αποτελέσματα ανάλυσης μεταξύ μεθόδου ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Πολλαπλών θλιπτήρων) και μεθόδου Τσικά-Δρίτσου (Υποβιβασμού πλάτους) για το πλαίσιο 3 [3]



Σχήμα 22: Αποτελέσματα ανάλυσης μεταξύ μεθόδου ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Πολλαπλών θλιπτήρων) και μεθόδου Τσίκα-Δρίτσου (Υποβιβασμού πλάτους) για το πλαίσιο 2Α [3]

Στον πίνακα που ακολουθεί παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα τις ανάλυσης των τεσσάρων πλαισίων με χρήση του προγράμματος Drain-2DX καθώς και σύγκριση αυτών με τα πειραματικά αποτελέσματα.

	Πλαίσιο 2		Πλαίσιο 3		Πλαίσιο 2Α		Πλαίσιο 3Α	
	F [KN]	u [mm]	F [KN]	u [mm]	F [KN]	u [mm]	F [KN]	u [mm]
Panagiotakos&Fardis (πολλαπλοί θλιπτήρες)	72.23	8.4	62.60	9.70	77.38	8.50	68.09	8.80
Mostafaei&Kabeyasawa (πολλαπλοί θλιπτήρες)	61.11	7.60	48.42	9.20	73.55	7.40	63.47	7.90
Panagiotakos&Fardis (υποβιβασμός πλάτους)	70.74	7.90	60.91	7.90	75.17	7.90	69.09	7.90
Mostafaei&Kabeyasawa (υποβιβασμός πλάτους)	69.58	7.40	60.30	7.40	73.84	7.40	68.03	7.40
Πειραματικές τιμές (Κακαλέτσης Δ. 2007)	66.56	10.00	61.56	10.82	72.71	18.97	64.69	12.51

Πίνακας 13: Οριζόντια δύναμη αστοχίας και οριζόντια μετακίνηση τοιχοπληρωμένων πλαισίων [3]

Απ' ό,τι βλέπουμε, όλες οι προσομοιώσεις, είτε με πολλαπλούς θλιπτήρες (κατά τον ΚΑΝ. ΕΠΕ.) είτε με υποβιβασμό του πλάτους του θλιπτήρα (όπως προτείνουν οι Τσίκας-Δρίτσος) είναι πολύ κοντά στα πειραματικά αποτελέσματα. Επομένως, οι εξισώσεις που προτείνουν οι Τσίκας-Δρίτσος είναι το ίδιο ακριβείς με αυτές του ΚΑΝ.ΕΠΕ., με το πρόσθετο όφελος ότι δεν χρειάζεται να εκτελεστούν παραπάνω από μία φορές σε περίπτωση ύπαρξης ενός ανοίγματος σε ένα τοιχοπληρωμένο πλαίσιο, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη ευκολία και εξοικονόμηση υπολογιστικού χρόνου.

4. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων από τις δύο ενότητες της εργασίας εξάγουμε τα εξής ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Για τις μεν απλοποιητικές παραδοχές του ΚΑΝ.ΕΠΕ. που αναλύονται στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, βλέπουμε πως σε μερικές περιπτώσεις δρουν υπερσυντηρητικά, ειδικά στις περιπτώσεις που υπάρχουν ανοίγματα στα άκρα των πλαισίων, αφαιρώντας από τον μελετητή διαθέσιμη πραγματική αντοχή που είναι απαραίτητη στην μελέτη και την ενίσχυση παλαιότερων κατασκευών. Και σε άλλες περιπτώσεις προσδίδουν στο τοιχοπληρωμένο πλαίσιο μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με την υπάρχουσα, θεωρώντας το πλήρες, ενώ στην πραγματικότητα αυτή είναι σαφώς μικρότερη.

Για δε την μέθοδο της προσομοίωσης με διαγώνιους θλιπτήρες, παρατηρούμε ότι η μέθοδος που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. με τους πολλαπλούς θλιπτήρες είναι πιο χρονοβόρα από την αντίστοιχη στην οποία καταλήγουν οι Τσίκας-Δρίτσος με τον υποβιβασμό του πλάτους του μοναδικού θλιπτήρα του κάθε πλαισίου. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην θεώρηση ενός και μοναδικού θλιπτήρα, το πλάτος του οποίου επηρεάζεται, μέσω δύο μειωτικών συντελεστών, από την θέση και το μέγεθος του ανοίγματος. Τα μόνα μειονεκτήματα είναι ότι αυτή η μέθοδος δεν λαμβάνει υπ' όψιν τις τοπικές επιρροές, καθώς και ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση πλαισίων ενός και μοναδικού ανοίγματος, μορφής είτε θύρας είτε παραθύρου.

5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «Κανονισμός Επεμβάσεων 2012», σελ. 3213-3216
- [2] Τσίκας Π., Δρίτσος Σ., «Διερεύνηση της επιρροής των ανοιγμάτων της τοιχοποιίας σε πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS», Πάτρα 2006.
- [3] Τσίκας Π., Δρίτσος Σ., «Διερεύνηση του τρόπου προσομοίωσης και της επιρροής τοιχοπληρώσεων με ανοίγματα σε πλαίσιακές κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος», Πάτρα 2009, σελ. 001-189, 190-205.
- [4] Κακαλέτσης Δ., Καραγιάννης Κ., «Πειραματική διερεύνηση τοιχοπληρωμένων πλαισίων Ο/Σ με κεντρικά ανοίγματα υπό κυκλική φόρτιση», Αλεξανδρούπολη 2006.
- [5] <http://www.emichanikos.gr> (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)