

Σεισμική Συμπεριφορά Δικτύων Παροχής Φυσικού Αερίου Εγκατεστημένων σε Κτίρια Οπλισμένου Σκυροδέματος

Στυλιανός Ι. Παρδαλόπουλος¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η δυνατότητα της χρήσης του φυσικού αερίου για την κάλυψη οικιακών αναγκών που από το δεύτερο μισό της δεκαετίας του 2000 παρέχεται στην Αττική, στη Θεσσαλονίκη, στη Λάρισα και στο Βόλο, έχει ως αποτέλεσμα τη ραγδαία εξάπλωση σε κτίρια των αστικών αυτών κέντρων οικιακών δικτύων παροχής φυσικού αερίου, τα οποία μεταφέρουν το αέριο σε κάθε σημείο ενός κτιρίου, τόσο εξωτερικά όσο εσωτερικά. Οι ισχύοντες κανονισμοί παρουσιάζουν σαφές έλλειμμα αναφορικά με τον αντισεισμικό σχεδιασμό προσαρμογών αυτού του τύπου, ενώ στην πράξη η σχεδίαση και η εγκατάσταση οικιακών δικτύων φυσικού αερίου υλοποιούνται χωρίς καμία αντισεισμική μελέτη, με βάση τις εμπειρικές αρχές. Στο πλαίσιο της προσπάθειας για μείωση της σεισμικής επικινδυνότητας που προέρχεται από τα οικιακά δίκτυα παροχής φυσικού αερίου, η εργασία εισάγει μια νέα μεθοδολογία προσδιορισμού της σεισμικής απαίτησης από αυτά. Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται στον προσδιορισμό της σεισμικής συμπεριφοράς των δικτύων αερίου με βάση τις παραμορφώσεις που εισάγονται σε αυτά από το κτίριο στήριξης, γεγονός που αποτελεί ουσιαστική διαφοροποίηση από τις ισχύουσες μεθόδους και πρακτικές σχεδιασμού αυτού του είδους των συστημάτων.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δυνατότητα της χρήσης του φυσικού αερίου για την κάλυψη οικιακών αναγκών, η οποία από το δεύτερο μισό της δεκαετίας του 2000 παρέχεται στην Αττική, στη Θεσσαλονίκη, στη Λάρισα και στο Βόλο, έχει ως αποτέλεσμα τη ραγδαία εξάπλωση σε κτίρια των αστικών αυτών κέντρων οικιακών δικτύων παροχής φυσικού αερίου, τα οποία μεταφέρουν το αέριο σε κάθε σημείο ενός κτιρίου, τόσο εξωτερικά όσο εσωτερικά. Τα οικιακά δίκτυα παροχής φυσικού αερίου, που εγκαθίστανται κυρίως σε υφιστάμενα κτίρια χωρίς αντίστοιχη υποδομή, σχεδιάζονται και υλοποιούνται από τις κατά τόπους Δημόσιες Επιχειρήσεις Αερίου, μέχρι στιγμής χωρίς καμία αντισεισμική μελέτη, με βάση τις εμπειρικές αρχές που προβλέπονται στους ισχύοντες κανονισμούς εσωτερικών εγκαταστάσεων φυσικού αερίου [1, 2].

Σε κατοικημένες περιοχές του εξωτερικού όπου το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται για την κάλυψη οικιακών αναγκών από τη δεκαετία του 1930, η αστοχία οικιακών δικτύων παροχής αερίου σε περιπτώσεις ισχυρών σεισμικών διεγέρσεων έχει πολλές φορές ενοχοποιηθεί για την

¹ Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, stylpard@civil.auth.gr

πρόκληση καταστροφικών αποτελεσμάτων στα κτίρια και στους ενοίκους τους, όπως δηλητηριάσεις ενοίκων από διαρροή αερίου, πυρκαγιές, εκρήξεις και καταρρεύσεις κτιρίων. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν μέχρι σήμερα καταγραφές και παρατηρήσεις πεδίου για την πραγματική συμπεριφορά των οικιακών δικτύων παροχής φυσικού αερίου σε σεισμό, καθώς από την έναρξη της εγκατάστασής τους στα 4 προαναφερθέντα αστικά κέντρα δεν έχει εκδηλωθεί ισχυρός σεισμός. Δεδομένης όμως της κατά το παρελθόν εκδήλωσης καταστρεπτικών σεισμών σε αυτές τις περιοχές (Λάρισα 1/3/1941 M6.3, Βόλος 19/4/1955 M6.2, Θεσσαλονίκη 20/6/1978 M6.5, Αθήνα 7/9/1999 M5.9), όπου συνδυαστικά συγκεντρώνεται άνω του 60% του συνολικού πληθυσμού της χώρας, καθώς και της εκδηλωμένης πρόθεσης της πολιτείας για επέκταση της οικιακής χρήσης του φυσικού αερίου σταδιακά και σε περιοχές της Ελληνικής επικράτειας με ακόμη μεγαλύτερη σεισμικότητα, σε συνδυασμό με την διεθνή εμπειρία σχετικά με την σεισμική τρωτότητα των οικιακών δικτύων παροχής αερίου, καθίσταται επιτακτική για την προστασία της ζωής και της περιουσίας του κοινωνικού συνόλου η διατύπωση κανόνων που θα εξασφαλίζουν την αντισεισμική απόκριση υφιστάμενων και νέων οικιακών δικτύων παροχής φυσικού αερίου.

Στο πλαίσιο της προσπάθειας για μείωση της σεισμικής επικινδυνότητας που προέρχεται από τα οικιακά δίκτυα παροχής φυσικού αερίου, η εργασία παρουσιάζει μια μέθοδο προσδιορισμού της σεισμικής απαίτησης από οικιακά δίκτυα παροχής φυσικού αερίου εγκατεστημένα σε πολυώροφα κτίρια με εξασφαλισμένη διαφραγματική λειτουργία στα επίπεδα των ορόφων τους. Η μέθοδος βασίζεται στον προσδιορισμό του σχήματος παραμόρφωσης του κτιρίου στήριξης τη στιγμή της μέγιστης σεισμικής του απόκρισης, το οποίο και καθορίζει την σεισμική συμπεριφορά του εκάστοτε δικτύου παροχής φυσικού αερίου.

2 ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΕΡΙΟΥ

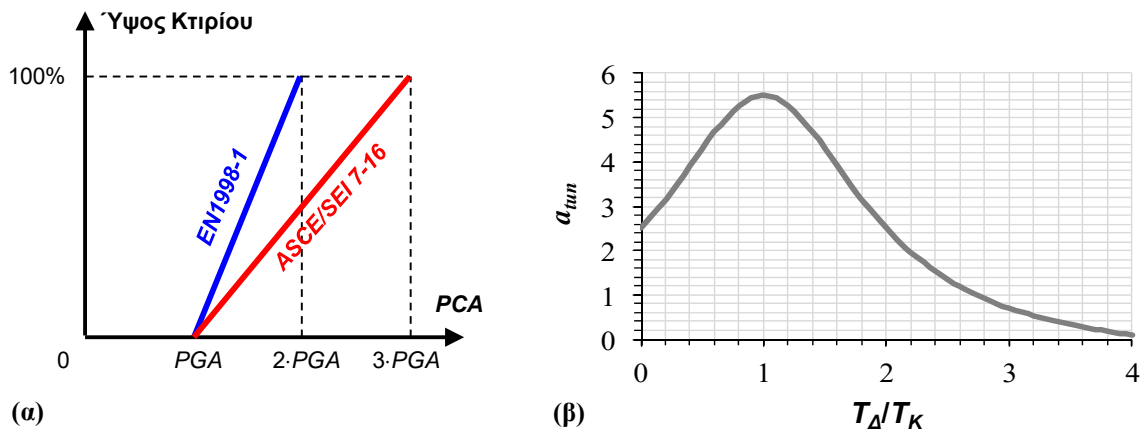
Ο αντισεισμικός σχεδιασμός οικιακών δικτύων παροχής φυσικού αερίου καλύπτεται σε παγκόσμιο επίπεδο από δύο κανονισμούς, τον ASCE/SEI 7-16 [3] και τον EN1998-1 [4]. Σύμφωνα και με τους δύο κανονισμούς, τα δίκτυα παροχής αερίου που είναι εγκατεστημένα σε κτίρια είναι προσαρτήματα ευαίσθητα στις επιταχύνσεις που προέρχονται από την σεισμική διέγερση του κτιρίου στήριξης και ο προσδιορισμός της σεισμικής απαίτησης από αυτά πραγματοποιείται βάσει υπολογισμού των αδρανειακών δυνάμεων που αναπτύσσονται στο κέντρο μάζας (KM) των δικτύων. Αυτές οι αδρανειακές δυνάμεις στη συνέχεια κατανομούνται στα επιμέρους τμήματα του δικτύου με βάση την κατανομή της συνολικής μάζας σε αυτά και αποτελούν βάση υπολογισμού των εντατικών μεγεθών στους αγωγούς και τις στηρίξεις του δικτύου. Τέλος και οι δύο κανονισμοί θεωρούν ότι οι επιταχύνσεις που αναπτύσσονται στα KM των οικιακών δικτύων παροχής αερίου είναι αποτέλεσμα της επίδρασης δύο παραμέτρων, της μεγέθυνσης της σεισμικής επιτάχυνσης καθ' ύψος του κτιρίου στήριξης και μιας ακόμη μεγέθυνσης λόγω του ποσοστού συντονισμού μεταξύ του κτιρίου στήριξης και των δικτύων.

Η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο κανονισμών έγκειται στις διαδικασίες υπολογισμού του μεγέθους των επιταχύνσεων που αναπτύσσονται στη στάθμη του KM των δικτύων παροχής αερίου. Ο ASCE/SEI 7-16 θεωρεί ως ασύζευκτα φαινόμενα τη μεγέθυνση των σεισμικών

επιταχύνσεων καθ' ύψος του κτιρίου στήριξης και τον συντονισμό μεταξύ κτιρίου στήριξης και δικτύου αερίου. Ως προς τη μέγιστη επιτάχυνση στο δίκτυο (PCA) λόγω της εντός κτιρίου μεγέθυνσης των σεισμικών επιταχύνσεων ο ASCE/SEI 7-16 θεωρεί ότι αυτή πραγματοποιείται γραμμικά, από μια τιμή ίση με τη μέγιστη επιτάχυνση εδάφους (PGA) στη βάση του κτιρίου, έως το τριπλάσιο αυτής της τιμής στη κορυφή του (Σχήμα 1(α)), ενώ η περαιτέρω μεγέθυνση της επιτάχυνσης λόγω του συντονισμού μεταξύ του κτιρίου στήριξης και του δικτύου ο κανονισμός θεωρεί ότι είναι ίση με 2.5 φορές. Αντιθέτως, ο EN1998-1 θεωρεί ότι η εντός κτιρίου στήριξης μεγέθυνση των σεισμικών επιταχύνσεων και ο συντονισμός μεταξύ κτιρίου και δικτύου είναι συζευγμένα φαινόμενα, τα οποία εξαρτώνται από τη στάθμη του ΚΜ του δικτύου, z , ως προς το συνολικό ύψος του κτιρίου στήριξης, H_{tot} και από τον λόγο της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του δικτύου, T_{Δ} , προς τη θεμελιώδη μεταφορική ιδιοπερίοδο του κτιρίου στήριξης στην διεύθυνση δράσης του σεισμού, T_K . Οι σχέσεις υπολογισμού των επιταχύνσεων στη στάθμη του ΚΜ ενός δικτύου παροχής αερίου, όπως αυτές προβλέπονται και από τους δύο κανονισμούς, παρουσιάζονται στην Εξίσωση 1, ενώ το Σχήμα 1(β) παρουσιάζει τη διακύμανση του συντελεστή συντονισμού δικτύου-κτιρίου, a_{tun} , στην κορυφή του κτιρίου στήριξης σύμφωνα με τον EN1998-1, ως συνάρτηση του λόγου T_{Δ}/T_K .

$$\text{ASCE/SEI 7-16: } PCA = PGA \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{z}{H_{tot}} \right) \cdot 2.5 \quad (1\alpha)$$

$$\text{EN1998-1: } PCA = PGA \cdot \left[\frac{3 \cdot (1 + z/H_{tot})}{1 + (1 - T_{\Delta}/T_K)^2} - 0.5 \right] \quad (1\beta)$$



Σχήμα 1: (α) Μεγέθυνση των σεισμικών επιταχύνσεων καθ' ύψος του κτιρίου στήριξης, όπως αυτή προβλέπεται στους EN1998-1 και ASCE/SEI 7-16; (β) Διακύμανση του συντελεστή μεγέθυνσης λόγω συντονισμού μεταξύ δικτύου και κτιρίου στήριξης, a_{tun} , στην κορυφή του κτιρίου στήριξης, σύμφωνα με τον EN1998-1.

3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΑΙΤΗΣΗΣ ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΕΡΙΟΥ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΑ ΣΕ ΠΟΛΥΩΡΟΦΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΜΕΝΗ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Όπως προσφάτως αποδείχθηκε μέσω της διατύπωσης της εξίσωσης δυναμικής απόκρισης του σύνθετου συστήματος που περιλαμβάνει το κτίριο στήριξης και το δίκτυο παροχής αερίου και επιβεβαιώθηκε μέσω διεξαγωγής σειράς παραμετρικών δυναμικών αναλύσεων σε αντίστοιχα προσομοιώματα του σύνθετου συστήματος κτίριο-δίκτυο [5, 6], η σεισμική απόκριση οικιακών δικτύων παροχής φυσικού αερίου καθορίζεται αποκλειστικά από τις παραμορφώσεις που εισάγονται στα δίκτυα από το ταλαντευόμενο κτίριο στήριξης, καθώς οι αδρανειακές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα δίκτυα είναι αμελητέες σε σχέση με τις εντάσεις που οφείλονται στις καταναγκασμένες παραμορφώσεις τους. Στο πλαίσιο αυτό, ακολούθως παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος προσδιορισμού της σεισμικής απαίτησης από δίκτυα παροχής φυσικού αερίου εγκατεστημένα σε πολώροφα κτίρια με εξασφαλισμένη διαφραγματική λειτουργία στις στάθμες τους. Η μέθοδος αυτή είναι μια διαδικασία 2 βημάτων, τα οποία συνοπτικά παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.

Βήμα 1^ο: Προσέγγιση του παραμορφωμένου σχήματος του κτιρίου στήριξης κατά τη μέγιστη οριζόντια μετακίνηση κορυφής.

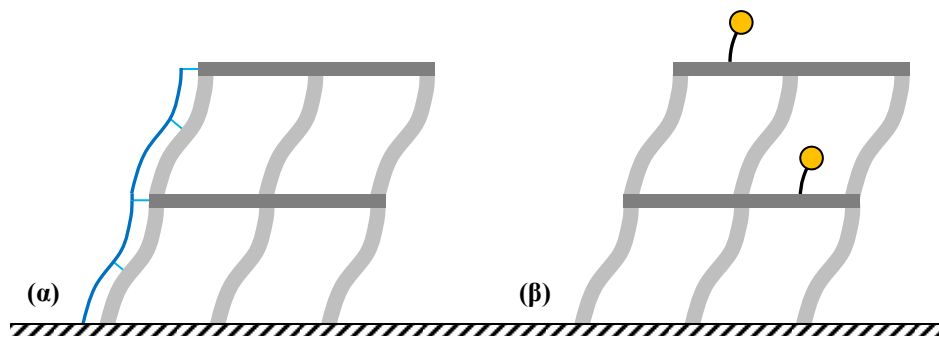


Βήμα 2^ο: Προσδιορισμός της σεισμικής απαίτησης από το δίκτυο παροχής αερίου ως συνάρτηση των γεωμετρικών του χαρακτηριστικών.

Σχήμα 2: Διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας προσδιορισμού της σεισμικής απαίτησης από δίκτυα παροχής φυσικού αερίου εγκατεστημένα σε πολώροφα κτίρια με εξασφαλισμένη διαφραγματική λειτουργία.

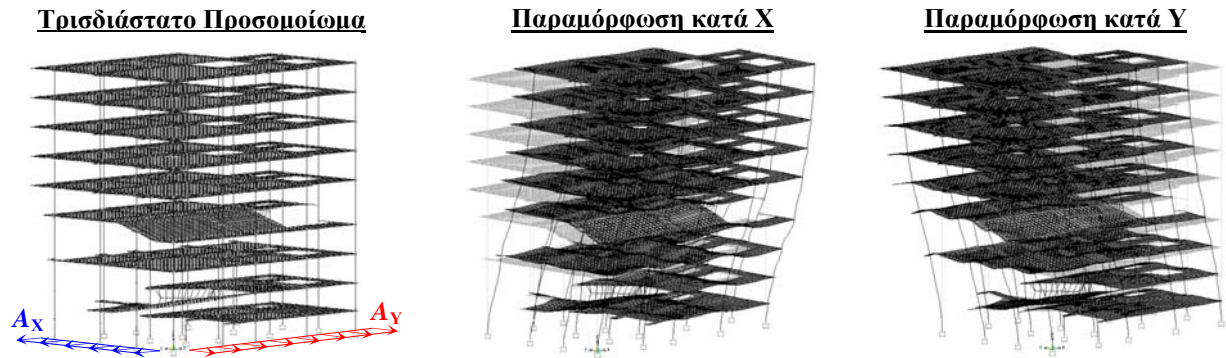
3.1 Προσέγγιση του παραμορφωμένου σχήματος του κτιρίου στήριξης κατά τη μέγιστη οριζόντια μετακίνηση κορυφή

Όπως έχει αποδειχθεί σε πρόσφατες έρευνες [5, 6] το παραμορφωμένο σχήμα που ένα κτίριο που υποβάλλεται σε σεισμική διέγερση αποκτά τη στιγμή της μέγιστης οριζόντιας μετακίνησης της κορυφής του, Ψ , είναι καθοριστικό για τον προσδιορισμό της σεισμικής συμπεριφοράς τόσο των σημειακών προσαρτημάτων, που συνδέονται στο κτίριο στήριξης μέσω ενός μόνο σημείου και είναι ευαίσθητα στις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις (κεραίες, οικιακός εξοπλισμός, κ.λπ., Σχήμα 3(β)), όσο και των εκτεταμένων προσαρτημάτων, που συνδέονται με το κτίριο στήριξης μέσω πολλαπλών σημείων (δίκτυα παροχής αερίου, συστήματα ανελκυστήρων, κ.λπ., Σχήμα 3(α)). Στην περίπτωση των οικιακών δικτύων παροχής φυσικού αερίου το σχήμα παραμόρφωσης Ψ καθορίζει το μέγεθος των σχετικών παραμορφώσεων που εισάγονται στα δίκτυα μέσω των διαδοχικών τους σημείων στήριξης και οι οποίες ελέγχουν το μέγεθος των αναπτυσσόμενων σε αυτά εντατικών μεγεθών.

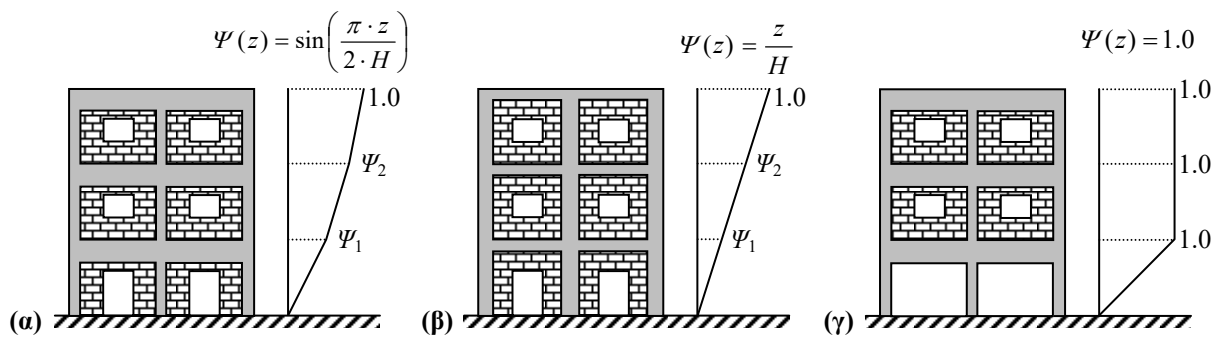


Σχήμα 3: Απόκριση (α) εκτεταμένων προσαρτημάτων και (β) σημειακών προσαρτημάτων, εγκατεστημένων σε κτίριο που υποβάλλεται σε σεισμική διέγερση.

Στο πλαίσιο της προτεινόμενης μεθόδου προσδιορισμού της σεισμικής συμπεριφοράς οικιακών δικτύων παροχής φυσικού αερίου, το σχήμα παραμόρφωσης του κτιρίου στήριξης τη στιγμή της μέγιστης οριζόντιας μετατόπισης της κορυφής του ως προς κάθε μια από τις δύο κύριες διευθύνσεις της κάτοψής του, i , ($i = X$ ή Y), Ψ_i , μπορεί να προσδιοριστεί με 3 εναλλακτικές διαδικασίες, ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια στα αποτελέσματα και το διαθέσιμο υπολογιστικό κόστος. Η διαδικασία που παρέχει τη μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό του σχήματος Ψ_i , η οποία όμως συνοδεύεται και από το μεγαλύτερο υπολογιστικό κόστος, είναι η εφαρμογή της Αδρανειακής Υπερωθητικής Στατικής Ανάλυσης (Inertial Pushover [7]). Σύμφωνα με την Αδρανειακή Υπερωθητική Στατική Ανάλυση, το κτίριο στήριξης προσομοιώνεται ως τρισδιάστατο προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων, θεωρώντας ανάλογα με τον τύπο του φέροντος οργανισμού ελαστική, ή ανελαστική απόκριση και στη συνέχεια υποβάλλεται σε στατική ανάλυση μετά από τη φόρτισή του με τα κατακόρυφα φορτία του σεισμικού συνδυασμού $G+\psi_E \cdot Q$ [4] και οριζόντια επιτάχυνση εδάφους σε κάθε μια από τις δύο κύριες διευθύνσεις της κάτοψης, i (Σχήμα 4). Η δεύτερη εναλλακτική διαδικασία προσδιορισμού του σχήματος Ψ , η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε πολώροφα κτίρια έως 6 ορόφων με σταθερό ύψος και μάζα σε κάθε όροφο (τύπος κτιρίων που αντιπροσωπεύει τα περισσότερα κτίρια Ο.Σ. των αστικών κέντρων της χώρας), είναι η χρήση των εξισώσεων του Πίνακα 1, στις οποίες το σχήμα παραμόρφωσης του κτιρίου στήριξης προκύπτει ως συνάρτηση της συνολικής μεταφορικής δυσκαμψίας κάθε ενός από τους j ($j = 1$ έως 6) ορόφους του, K_j . Τέλος, στην περίπτωση επιτόπου εφαρμογών, όπου απαιτείται η ταχεία προσέγγιση του σχήματος Ψ , παρέχονται προσεγγιστικά σχήματα παραμόρφωσης (Σχήμα 5), ανάλογα με τον τύπο του εξεταζόμενου κτιρίου (κτίριο κατασκευασμένο με παλαιούς κανονισμούς, σύγχρονη κατασκευή, κτίριο τύπου Pilotis [8]).



Σχήμα 4: Εφαρμογή της Αδρανειακής Υπερωθητικής Στατικής Ανάλυσης στον προσδιορισμό του σχήματος παραμόρφωσης Ψ πολύροφου κτιρίου με εξασφαλισμένη διαφραγματική λειτουργία στις στάθμες των ορόφων του.



Σχήμα 5: Προσεγγιστικά σχήματα παραμόρφωσης, Ψ , αντιπροσωπευτικών κατηγοριών πολύροφων κτιρίων με εξασφαλισμένη διαφραγματική λειτουργία: (α) παλαιού τύπου κατασκευές, με συγκέντρωση των παραμορφώσεων στους χαμηλότερους ορόφους, (β) νέου τύπου κατασκευές με ομοιόμορφη κατανομή οριζόντιων παραμορφώσεων καθ' ύψος, (γ) κτίρια τύπου Pilotis.

Πίνακας 1: Εξισώσεις προσδιορισμού του σχήματος παραμόρφωσης Ψ πολυώροφων κτιρίων έως και 6 ορόφων, με εξασφαλισμένη διαφραγματική λειτουργία στους ορόφους τους.

Αριθμός ορόφων	Σχήμα Παραμόρφωσης, Ψ	Βοηθητικοί όροι
2	$\tilde{\Psi} = \left\{ \frac{1}{Q_2} (1.5K_2) \right\}$	$Q_2 = 1.5K_2 + K_1$
3	$\tilde{\Psi} = \left\{ \begin{array}{c} 1 \\ \frac{1}{Q_3} (2K_2K_3 + 1.67K_1K_3) \\ \frac{1}{Q_3} (2K_2K_3) \end{array} \right\}$	$Q_3 = 2K_2K_3 + 1.67K_1K_3 + K_1K_2$
4	$\tilde{\Psi} = \left\{ \begin{array}{c} 1 \\ \frac{1}{Q_4} (2.5K_2K_3K_4 + 2.25K_1K_3K_4 + 1.75K_1K_2K_4) \\ \frac{1}{Q_4} (2.5K_2K_3K_4 + 2.25K_1K_3K_4) \\ \frac{1}{Q_4} (2.5K_2K_3K_4) \end{array} \right\}$	$Q_4 = 2.5K_2K_3K_4 + 2.25K_1K_3K_4 + 1.75K_1K_2K_4 + K_1K_2K_3$
5	$\tilde{\Psi} = \left[\begin{array}{c} 1.0 \\ \frac{1}{Q_5} (3K_2K_3K_4K_5 + 2.8K_1K_3K_4K_5 + 2.4K_1K_2K_4K_5 + 1.8K_1K_2K_3K_5) \\ \frac{1}{Q_5} (3K_2K_3K_4K_5 + 2.8K_1K_3K_4K_5 + 2.4K_1K_2K_4K_5) \\ \frac{1}{Q_5} (3K_2K_3K_4K_5 + 2.8K_1K_3K_4K_5) \\ \frac{1}{Q_5} (3K_2K_3K_4K_5) \end{array} \right]$	$Q_5 = 3K_2K_3K_4K_5 + 2.8K_1K_3K_4K_5 + 2.4K_1K_2K_4K_5 + 1.8K_1K_2K_3K_5 + K_1K_2K_3K_4$
6	$\tilde{\Psi} = \left[\begin{array}{c} 1.0 \\ \frac{1}{Q_6} (3.5K_2K_3K_4K_5K_6 + 3.33K_1K_3K_4K_5K_6 + 3K_1K_2K_4K_5K_6 + 2.5K_1K_2K_3K_5K_6 + 1.83K_1K_2K_3K_4K_6) \\ \frac{1}{Q_6} (3.5K_2K_3K_4K_5K_6 + 3.33K_1K_3K_4K_5K_6 + 3K_1K_2K_4K_5K_6 + 2.5K_1K_2K_3K_5K_6) \\ \frac{1}{Q_6} (3.5K_2K_3K_4K_5K_6 + 3.33K_1K_3K_4K_5K_6 + 3K_1K_2K_4K_5K_6) \\ \frac{1}{Q_6} (3.5K_2K_3K_4K_5K_6 + 3.33K_1K_3K_4K_5K_6) \\ \frac{1}{Q_6} (3.5K_2K_3K_4K_5K_6) \end{array} \right]$	$Q_6 = 3.5K_2K_3K_4K_5K_6 + 3.33K_1K_3K_4K_5K_6 + 3K_1K_2K_4K_5K_6 + 2.5K_1K_2K_3K_5K_6 + 1.83K_1K_2K_3K_4K_6 + K_1K_2K_3K_4K_5$

3.2 Προσδιορισμός της σεισμικής απαίτησης από το δίκτυο παροχής αερίου σε συνάρτηση με τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά

Η σεισμική απαίτηση από ένα δίκτυο παροχής φυσικού αερίου που είναι εγκατεστημένο σε πολυώροφο κτίριο υπολογίζεται σε όρους αναπτυσσόμενης τέμνουσας δύναμης, Q_L . Ο υπολογισμός γίνεται με βάση το σχήμα παραμόρφωσης του κτιρίου στήριξης τη στιγμή της μέγιστης σεισμικής του απόκρισης, Ψ , σε συνάρτηση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των επιμέρους τμημάτων του δικτύου και την ποιότητα των υλικών τους. Έτσι, για ένα τμήμα αγωγού φυσικού αερίου, μήκους L , το οποίο συνδέεται στο κτίριο στήριξης στα σημεία m και n (Σχήμα 6), η τέμνουσα δύναμη που αναπτύσσεται στο τμήμα αυτό λόγω των παραμορφώσεων που εισάγονται στον αγωγό από τα σημεία σύνδεσής του είναι ίση με:

$$Q_L = 6 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2} \cdot (\theta_m + \theta_n) \quad (2)$$

όπου, E και I είναι το μέτρο ελαστικότητας και η ροπή αδράνειας του αγωγού. Οι στροφές θ_m και θ_n στα άκρα του εξεταζόμενου αγωγού προκύπτουν από την Εξίσωση 3,

$$\theta_m = \frac{U_n - U_m}{L} + \theta_{m,m}, \quad \theta_n = \frac{U_n - U_n}{L} + \theta_{n,n} \quad (3)$$

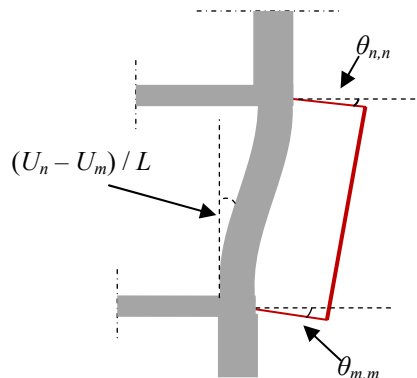
όπου, U_m και U_n είναι οι οριζόντιες μετατοπίσεις των στηρίξεων m και n αντίστοιχα για διέγερση του κτιρίου στήριξης στην εξεταζόμενη διεύθυνση της κάτοψης, i . Οι μετακινήσεις U_m και U_n προκύπτουν ως συνάρτηση του σχήματος παραμόρφωσης Ψ και της φασματικής μετακίνησης $S_d(T_{1,b})$ που αντιστοιχεί σε μονοβάθμιο ταλαντωτή με ιδιοπερίοδο ίση με τη θεμελιώδη μεταφορική ιδιοπερίοδο που το εξεταζόμενο κτίριο έχει στη διεύθυνση i , ως εξής:

$$U_k = S_d(T_{1,b}) \cdot \Psi \cdot \Gamma ; k = m \text{ ή } n ; \Gamma = \left[\frac{\left(\sum_{j=1}^N M_j \cdot \Psi_j \right)}{\left(\sum_{j=1}^N M_j \cdot \Psi_j^2 \right)} \right] \quad (4)$$

με

$$\Gamma = \left[\frac{\left(\sum_{j=1}^N M_j \cdot \Psi_j \right)}{\left(\sum_{j=1}^N M_j \cdot \Psi_j^2 \right)} \right] \quad (5)$$

και M_j τη μάζα του j -οστού ορόφου του κτιρίου στήριξης ($j = 1$ έως N).



Σχήμα 6: Σχετικές στροφές στα άκρα τμήματος δικτύου αερίου (κόκκινο χρώμα) ως συνάρτηση της σχετικής οριζόντιας μετάθεσης των ορόφων και της στροφής των αγκυρίων.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εργασία παρουσιάζει τη διατύπωση μιας νέας μεθόδου προσδιορισμού της σεισμικής απαίτησης από δίκτυα παροχής φυσικού αερίου εγκατεστημένα σε πολώροφα κτίρια με εξασφαλισμένη διαφραγματική λειτουργία στις στάθμες των ορόφων τους. Κίνητρο για τη διατύπωση της μεθοδολογίας αποτέλεσε η ανάγκη για τη μείωση της σεισμικής επικινδυνότητας που προέρχεται από τη ραγδαία εξάπλωση των οικιακών δικτύων παροχής φυσικού αερίου στα αστικά κέντρα της Ελλάδας, τα οποία εγκαθίστανται χωρίς καμία αντισεισμική μελέτη. Η προτεινόμενη μεθοδολογία διαφοροποιείται από τις ισχύουσες μεθόδους και πρακτικές σχεδιασμού αυτού του είδους των συστημάτων καθώς προσδιορίζει το μέγεθος της σεισμικής απαίτησης από τα οικιακά δίκτυα παροχής αερίου αποκλειστικά με βάση τις παραμορφώσεις που εισάγονται σε αυτά από το κτίριο στήριξης τη στιγμή της μέγιστης σεισμικής του απόκρισης.

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τεχνικός κανονισμός εσωτερικών εγκαταστάσεων φυσικού αερίου με πίεση λειτουργίας έως και 500mbar. *Εθνικό Τυπογραφείο*; ΦΕΚ 976/Β/28-03-2012: 16788–16998
2. Κανονισμός εσωτερικών εγκαταστάσεων φυσικού αερίου με πίεση λειτουργίας έως και 1 bar. *Εθνικό Τυπογραφείο*; ΦΕΚ 963/Β/15-07-2003: 13465–13682
3. ASCE/SEI 7–16. Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, Virginia; 2017.
4. EN 1998-1. Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization (CEN), Brussels; 2004.
5. Παρδαλόπουλος ΣΙ. Αντισεισμικές απαιτήσεις σχεδιασμού για τη δημιουργία παροχής φυσικού αερίου σε υφιστάμενες και νέες κατασκευές. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης; 2012.
6. Pardalopoulos SI, Pantazopoulou SJ. Seismic response of nonstructural components attached on multistorey buildings. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.* 2015; 44: 139-158. <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.2931>
7. Pardalopoulos SI, Pantazopoulou SJ. Methodology for practical seismic assessment of unreinforced masonry buildings with historical value. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.* 2017; 46: 2793-2810. <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.2931>
8. Clough RW, Penzien J. Dynamics of Structures (2nd edn). McGraw-Hill Inc.: New York; 1993.