

Διαχείριση της κατάσβεσης πυρκαγιών λόγω σεισμού σε αστικά συγκροτήματα Fire-fighting management due to earthquakes in urban areas

Μαρία ΑΛΕΞΟΥΔΗ¹, Κυριαζής ΠΙΤΙΛΑΚΗΣ²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στην εργασία παρουσιάζεται συνοπτικά το πρόβλημα της σεισμικής διακινδύνευσης και των πυρκαγιών σε μεγάλες πόλεις και παράλληλα μια προκαταρκτική μεθοδολογία για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης των βασικών συστημάτων πυρόσβεσης σε αστικές περιοχές. Η μέθοδος εφαρμόστηκε στην πόλη της Θεσσαλονίκης αξιοποιώντας τις αναμενόμενες παραμέτρους της ισχυρής σεισμικής κίνησης, τις χρήσεις γης, την χωρική διάταξη και την τυπολογία των δικτύων που εμπλέκονται στην πιθανή ανάφλεξη (φυσικό αέριο, δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας). Με την βοήθεια κατάλληλων δεικτών τρωτότητας εντοπίζονται οι πιθανές περιοχές στις οποίες αναμένονται πυρκαγιές λόγω των χρήσεων γης της περιοχής και των πιθανών αστοχιών των αγωγών φυσικού αερίου. Στην αναπτυχθείσα μεθοδολογία, η σεισμική διακινδύνευση των εγκαταστάσεων πυρόσβεσης, υπολογίζεται με βάση τον αριθμό των αναμενόμενων πυρκαγιών ανά δομημένη επιφάνεια. Σημαντικό στοιχείο της μεθοδολογίας είναι και ο προσδιορισμός της λειτουργικότητας των κρουών πυρόσβεσης κατά τον σεισμό καθώς κάθε προσπάθεια κατάσβεσης πυρκαγιάς συσχετίζεται με τη δυνατότητα ή μη τροφοδότησης των πυροσβεστικών κρουών από το δίκτυο ύδρευσης το οποίο με την σειρά του μπορεί να υποστεί σημαντικές βλάβες στις ίδιες περιοχές.

ABSTRACT : We present a methodology for the seismic risk analysis and the modelling of fire ignitions in large cities. The methodology has been applied in Thessaloniki using the available strong motion parameters, the land uses, the spatial distribution and typology of infrastructures and lifelines which are affecting fire ignitions. The location of possible areas in which fire may occur is estimated as result of land uses and gas pipe damages after applying suitable vulnerability relations. An important issue of the methodology is the estimation of the functionality of fire suppression systems which are normally parts of the water networks. Important damages in water pipes caused by seismic motion and permanent ground deformation are connected with the supply and pressure needed for the well-operability of fire suppression systems.

¹Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, MSc, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, email: alexoudi@civil.auth.gr

²Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, email: kpitlak@civil.auth.gr

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το δίκτυο πυρόσβεσης αποτελείται από τις κτιριακές εγκαταστάσεις (κτίρια διοίκησης, πυροσβεστικοί σταθμοί και αποθήκες), από το γραμμικό δίκτυο των αγωγών και των πυροσβεστικών κρουνών (ανεξάρτητο ή άμεσα εξαρτώμενο από το δίκτυο ύδρευσης), από το ανθρώπινο δυναμικό (π.χ ειδικές μονάδες, πυροσβέστες, ανθυποπυραγοί κ.λ.π) και από τα πυροσβεστικά οχήματα. Είναι προφανές ότι ο ρόλος του είναι καθοριστικός στην αντιμετώπιση κρίσιμων καταστάσεων όπως ένας ισχυρός σεισμός, πόσο μάλλον όταν τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η χρήση του φυσικού αερίου, που από την φύση του, αποτελεί μαζί με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, τον μεγαλύτερο παράγοντα εκδήλωσης πυρκαγιών σε περίπτωση ισχυρού σεισμού.

Σύμφωνα με στοιχεία από τους σεισμούς του Northridge το 1994 και του Kobe το 1995 (Borden, 1996, Ohnishi, 1996), οι βλάβες σε ηλεκτρικά κυκλώματα απετέλεσαν την κύρια αιτία πυρκαγιών, μαζί με τις αστοχίες στους αγωγούς φυσικού αερίου (California Seismic Safety Committee, 2002). Οι αστοχίες δεξαμενών υγρών καυσίμων και η διαρροή επικίνδυνων υλικών αποτελούν επίσης παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν στην εκδήλωση πυρκαγιών, αυξάνοντας την έκταση και το βαθμό των συνολικών απωλειών.

Σημαντικό ρόλο στην καταπολέμηση πυρκαγιών έχει η σωστή λειτουργία του δικτύου ύδρευσης και των κρουνών πυρόσβεσης. Κατά τη συνήθη πρακτική, δεν υπάρχει ξεχωριστό δίκτυο πυρόσβεσης και οι πυροσβεστικοί κρουνοί τροφοδοτούνται άμεσα με νερό από το δίκτυο ύδρευσης με αποτέλεσμα οι αστοχίες των αγωγών του δικτύου ύδρευσης να επηρεάζουν άμεσα την πίεση και την παροχή των κρουνών πυρόσβεσης.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια μεθοδολογία εντοπισμού των περιοχών όπου αναμένεται να εκδηλωθούν πυρκαγιές σε μία μεγάλη πόλη με ποικίλες χρήσεις γης, μετά από ένα σεισμό, και διερευνάται η κατάσταση στην οποία θα βρίσκεται το δίκτυο πυρόσβεσης. Συγκεκριμένα μελετάται μόνο το δίκτυο των αγωγών και των κρουνών πυρόσβεσης και εξαιρούνται οι κτιριακές του εγκαταστάσεις, το ανθρώπινο δυναμικό όπως και τα πυροσβεστικά οχήματα. Επίσης, δεν εξετάζεται το θέμα της προσβασιμότητας στον χώρο εκδήλωσης της πυρκαγιάς λόγω πιθανών κλεισιμάτων των οδών από τα συντρίμια παρακείμενων κτιρίων.

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΒΛΑΒΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ

Εμπειρίες μεγάλων ιστορικών σεισμών έχουν δείξει ότι οι βλάβες που προκαλούνται από τις εκδηλωθείσες πυρκαγιές μπορεί να είναι σημαντικότερες από αυτές που οφείλονται στην ίδια την εδαφική κίνηση, όπως για παράδειγμα συνέβη στο σεισμό του San Francisco το 1906, και στο σεισμό του Great Kanto το 1923 (Chen et al., 2004). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στο σεισμό του San Francisco καταστράφηκαν από τη φωτιά περισσότεροι από 28.000 κτίρια σε μια έκταση 12 km² και περισσότεροι από 3.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους. Οι απώλειες που προκλήθηκαν λόγω της πυρκαγιάς που εκδηλώθηκε μετά το σεισμό ήταν 10 φορές

μεγαλύτερες από αυτές που προκλήθηκαν από τις βλάβες στα κτίρια λόγω της εδαφικής ταλάντωσης (Charles, 2003). Η αποτελεσματικότητα του συστήματος πυρόσβεσης είναι ο βασικότερος παράγοντας περιορισμού του κινδύνου πυρκαγιών. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται μια επισκόπηση των απωλειών από πυρκαγιές και της συμπεριφοράς εγκαταστάσεων πυρόσβεσης μετά από ορισμένους ισχυρούς σεισμούς.

Πίνακας 1. Συνοπτική περιγραφή βλαβών εγκαταστάσεων πυρόσβεσης σε σημαντικούς σεισμούς.

Σεισμός	Συνοπτική περιγραφή βλαβών του δικτύου πυρόσβεσης
San Francisco, 18/04/1906, Mw=7.9 www.seismo.ucla.edu/ftp/pub/louie/class/100/effects-kobe.html	Το μεγαλύτερο μέρος των καταστροφών που σημειώθηκαν στο San Francisco από τον σεισμό του 1906 οφείλεται στην εκδήλωση πυρκαγιάς. Η πόλη είχε εγκατεστημένο ένα εντελώς ανεξάρτητο δίκτυο, με τις δικές του δεξαμενές, για την κάλυψη των αναγκών πυρόσβεσης. Κατά την διάρκεια του σεισμού, σημειώθηκε θραύση ενός αγωγού του δικτύου πυρόσβεσης κοντά στο ταχυδρομείο της Mission Street, με αποτέλεσμα την απορροφή όλου του ύδατος του συστήματος σε λιγότερο από 15 λεπτά. Καθώς οι περισσότερες βλάβες και φωτιές περιορίστηκαν σε περιοχές της πόλης χαμηλότερου υψομέτρου που βρίσκονταν κοντά στην ακτή, τα διαθέσιμα πυροσβεστικά πλοία ήταν σε θέση να αντλήσουν νερό από τη θάλασσα σε απόσταση μέχρι και 1.6 Km προς το εσωτερικό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να χαθούν μόνο λίγα οικοδομικά τετράγωνα.
Coaligna, California, 2/5/1983, M=6.5 (EERI, 1984)	Μετά τον σεισμό ξέσπασαν διάφορες πυρκαγιές, συμπεριλαμβανομένης και μια φωτιάς σε ένα κτίριο στην κεντρική εμπορική συνοικία. Παρά το γεγονός ότι η παροχή νερού δεν επηρεάστηκε σημαντικά, τα μπάζα που έπεσαν από το κτίριο εμπόδιζαν την ροή του νερού από τις μάνικες, με αποτέλεσμα την επέκταση της φωτιάς και στα γειτονικά κτίρια.
Loma Prieta, 18/10/1989, M=7.1 (EERI, 1990)	Στην πόλη του San Francisco ξέσπασαν 22 πυρκαγιές μετά το σεισμό. Η παροχή νερού στην πυκνοκατοικημένη περιοχή Marina District διακόπηκε εντελώς, με αποτέλεσμα η πυρκαγιά που είχε ξεσπάσει στην περιοχή να μη μπορεί να κατασβεστεί παρά μόνο μετά την παροχή νερού από ένα πυροσβεστικό πλοίο. Για το σκοπό αυτό έγινε χρήση ενός ειδικού συστήματος από μάνικες μεγάλης διαμέτρου για τη μεταφορά του νερού από την ακτή.
Cape Mendocino, California, 25/4/1992, M=7.1 και 26/4/1992, M=6.6 (EERI, 1995a)	Μετά την εκδήλωση των σεισμών, το μεγαλύτερο τμήμα της εμπορικής συνοικίας της πόλης Scotia καταστράφηκε λόγω της εκδήλωσης πυρκαγιάς. Βλάβες (θραύσεις) που σημειώθηκαν σε αγωγούς οδήγησαν σε απώλεια της συνηθισμένης παροχής νερού, ενώ ταυτόχρονα οι βλάβες που σημειώθηκαν στις μονάδες εφεδρικής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είχαν ως αποτέλεσμα την απώλεια ενός ειδικού πυροσβεστικού βρόχου υψηλής πίεσης. Τέλος, κάποιες καθυστερήσεις στην απόκριση οφείλονταν στις βλάβες που προκλήθηκαν σε έναν πυροσβεστικό σταθμό.
Hokkaido, 12/7/1993, M=7.8 (EERI, 1995a)	Οι πυροσβεστικοί κρουνοί που ήταν τοποθετημένοι στην πόλη δεν μπόρεσαν να λειτουργήσουν λόγω της ανεπαρκούς ικανότητας των κύριων αγωγών ύδρευσης, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η παροχή ικανής ποσότητας και πίεσης νερού για την κατάσβεση της μεγάλης φωτιάς που ξέσπασε μετά το σεισμό.
Hyogo-ken Nanbu (Kobe), 17/1/1995, M=7.9	Καταγράφηκαν 148 πυρκαγιές μεταξύ 17 και 20 Ιανουαρίου που προξένησαν βλάβες σε 6.900 κτίρια (660.000m ²) και προκάλεσαν 500 θανάτους. Οι πολλές ταυτόχρονες εστίες σε συνδυασμό με τις βλάβες στο δίκτυο ύδρευσης και τον αποκλεισμό των δρόμων σε πολλές περιπτώσεις έκανε αναποτελεσματικές τις επιχειρήσεις

(NIST, 1996)	πυρόσβεσης. Η κύρια αιτία ήταν οι θραύσεις αγωγών αερίου και η ανάφλεξη από πεσμένες γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας. Σημειώθηκαν βλάβες σε κτίρια πυροσβεστικών σταθμών, ενώ η πίεση νερού στους κρουνοί ήταν ανεπαρκής λόγω βλαβών στο δίκτυο ύδρευσης.
Northridge 17/1/1994, Mw=6.7 (EERI, 1995b)	Μετά το σεισμό εκδηλώθηκαν περίπου 110 πυρκαγιές, το 80% από τις οποίες αφορούσαν κτιριακές εγκαταστάσεις. Η κατάσβεση των πυρκαγιών ολοκληρώθηκε σε μικρό χρονικό διάστημα παρά τις βλάβες που σημειώθηκαν στο δίκτυο τηλεπικοινωνιών και τις εκτεταμένες απώλειες του δικτύου ύδρευσης (τουλάχιστον έξι θραύσεις σε κύρια κανάλια τροφοδοσίας και περίπου 3000 διαρροές) που χρησιμοποιούνταν για την πυρόσβεση. Οι βλάβες που σημειώθηκαν στους πυροσβεστικούς σταθμούς ήταν μικρού έως μέτριου επιπέδου με αποτέλεσμα τρεις πυροσβεστικοί σταθμοί να εκκενωθούν.

ΣΥΝΤΟΜΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ

Οι Cousins et al (1991) με βάση εμπειρικά δεδομένα σεισμών της Βόρειας Αμερικής ανέπτυξαν για την Νέα Ζηλανδία μια μέθοδο εκτίμησης των ευαίσθητων περιοχών για την εκδήλωση πυρκαγιών, που καταλήγει και στην εκτίμηση των σχετικών απωλειών σε σύγκριση με τις απώλειες λόγω εδαφικής ταλάντωσης. Οι Robertson & Mehaffey (2000) αξιοποιώντας τους κανονισμούς πυροπροστασίας των κτιρίων πρότειναν ένα σχέδιο που βασίζεται στη βέλτιστη χρήση sprinkler και άλλων μέσων πυροπροστασίας (πυροσβεστικές φωλιές). Σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας (πρώτο επίπεδο) η μεθοδολογία τους επιτρέπει την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς με τα συνήθη συστήματα πυρόσβεσης, ενώ σε δεύτερο επίπεδο η μεθοδολογία τους βασίστηκε στον σχεδιασμό και ενίσχυση των αλληλεπιδρώντων δικτύων (π.χ του δικτύου ύδρευσης) με το δίκτυο πυρόσβεσης. Οι Williamson & Groner, (2000) ερεύνησαν τις αιτίες και τις επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς μετά από σεισμό και δημιούργησαν πολλαπλά σεισμικά σενάρια ανάπτυξης πυρκαγιάς αξιοποιώντας στοιχεία από πυρκαγιές σε έντεκα σεισμούς. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το συμπέρασμα ότι κτίρια που κατασκευάστηκαν με νεότερους κανονισμούς δεν είναι ιδιαίτερα τρωτά σε αντίθεση με κτίρια που έχουν σχεδιαστεί με παλιότερους κανονισμούς, τα οποία αναμένεται να παρουσιάσουν σημαντικές αστοχίες και στον δομικό τους τύπο. Οι Chen et al., (2004) πρότειναν μια μεθοδολογία σεισμικής διακινδύνευσης με βάση την συμπεριφορά σε επίπεδο μεμονωμένου κτιρίου, όπου προτάθηκε μια διαδικασία ανάλυσης με βάση τις αναπτυσσόμενες μετακινήσεις. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τρία βασικά βήματα: (α) ανάλυση της επικινδυνότητας (σεισμικής και εκδήλωσης πυρκαγιάς), (β) ανάλυση των δομικών ή/και των μη-δομικών συστημάτων και (γ) αποτίμηση άμεσων και έμμεσων απωλειών. Μετά το σεισμό, η πραγματική κατάσταση του κτιρίου αποτιμάται, λαμβάνοντας υπόψη τρία είδη απωλειών: βλάβες στο δομικό σύστημα, βλάβες στο σύστημα πυρόσβεσης του δομικού συστήματος και βλάβες στο σύστημα πυρόσβεσης των μη-δομικών συστημάτων. Επιπλέον, γίνεται επανεκτίμηση του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς με βάση τις πιθανές βλάβες που έχει υποστεί το σύστημα πυρόσβεσης. Σε επίπεδο ολόκληρων περιοχών, οι ίδιοι ερευνητές ανέπτυξαν μια μεθοδολογία μείωσης της σεισμικής διακινδύνευσης με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Η μέθοδος αποτελεί ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων για τον προσδιορισμό και τη βελτιστοποίηση των διαδρομών των οχημάτων

έκτακτης ανάγκης (όπως π.χ. τα πυροσβεστικά οχήματα) λαμβάνοντας υπόψη την χωρική κατανομή των πυρκαγιών που μπορεί να έχουν προκληθεί και των τραυματιών, τις τοποθεσίες των κρίσιμων υποδομών (κέντρα διαχείρισης της κρίσης, εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης, πυροσβεστικοί σταθμοί, αστυνομικά τμήματα, κτλ), και τέλος τις βλάβες που έχουν υποστεί τα δίκτυα κοινής ωφέλειας και τα μεταφορικά δίκτυα.

Το HAZUS 2004 αξιοποιώντας την εργασία των Eidinger et al (1995) προτείνει την παρακάτω σχέση για την εκτίμηση του αριθμού των αναμενόμενων πυρκαγιών ανά τετραγωνικά μέτρα δομημένης επιφάνειας (Ignition Rate: IGN).

$$\text{IGN/ m}^2 = 10.764 * (-0.025 + (0.59 * \text{PGA}) - (0.29 * \text{PGA}^2)) \quad (1)$$

Όπου PGA είναι μέγιστη αναπτυσσόμενη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση (g).

Ο Scawthorn (1986, 1987, 1991, 1997, ICLR 2001), ανέπτυξε μοντέλα επέκτασης πυρκαγιάς μετά τον σεισμό σε αστικές περιοχές εκτιμώντας παράλληλα το ετήσιο αναμενόμενο οικονομικό κόστος από τις πιθανές απώλειες λαμβάνοντας υπόψη την οικιστική πυκνότητα, την ταχύτητα του ανέμου, την αμεσότητα αντίδρασης του προσωπικού και των οχημάτων του δικτύου πυρόσβεσης και την σεισμική ένταση. Μετά από την συλλογή και την επεξεργασία 59 περιστατικών στην Καλιφόρνια ο Scawthorn πρότεινε την παρακάτω σχέση σε αντιπαραβολή με την σχέση του HAZUS:

$$\text{IGN/ 1.000.000 feet}^2 = 0.028 * \exp(4.16 * \text{PGA}), r^2 = 0.2 \quad (2)$$

Μολονότι οι σχέσεις 1 και 2 έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα από τις ασφαλιστικές εταιρείες, ενέχουν σημαντικές αβεβαιότητες καθώς ο αριθμός των αναμενόμενων πυρκαγιών συσχετίζεται μόνο με το μέγεθος της ισχυρής εδαφικής κίνησης (PGA) και όχι με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής. Στην πραγματικότητα ο ρυθμός ανάφλεξης συνδέεται άμεσα με τις χρήσεις γης της περιοχής (κατοικία, εμπόριο, βιομηχανία- βιοτεχνία), με το δομικό τύπο των κατασκευών (ξύλινες ή μη ξύλινες κατασκευές), με το επίπεδο αστοχίας των κτιρίων της περιοχής (μικρή, μέτρια, σημαντική, εκτεταμένη, ολοκληρωτική καταστροφή), με την πυκνότητα δόμησης (πυκνή δόμηση πιο εύκολη επέκταση πυρκαγιάς), με το εάν το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είχε υποστεί ολοκληρωτική αστοχία ήδη από τα πρώτα δευτερόλεπτα του σεισμικού γεγονότος, εάν αποκαταστάθηκε η ηλεκτροδότηση άμεσα μετά το σεισμό και πριν την εγκατάλειψη των κτιρίων από τους κατοίκους της περιοχής (ώστε να μπορούν να ελεγχθούν οι συσκευές και τα συστήματα εντός των κτιρίων), από τη χρονική περίοδο (χειμώνας – μεγαλύτερη συνήθως ένταση ανέμων και χρήση συσκευών για θέρμανση, καλοκαίρι – περισσότερα κλιματιστικά), την ώρα (μεσημέρι – συνήθως λειτουργούν οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές για μαγείρεμα) και την ημέρα που πραγματοποιήθηκε ο σεισμός κ.λ.π.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ

Η μεθοδολογία αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης του δικτύου πυρόσβεσης που προτείνεται στην παρούσα εργασία περιγράφεται στο διάγραμμα του σχήματος 1 και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των πιθανών εστιών πυρκαγιάς και την διαμόρφωση κατάλληλων στρατηγικών διαχείρισής της. Το διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό και τα οχήματα δεν λαμβάνονται υπόψη. Οι πυροσβεστικοί κρουνοί θεωρούνται ως το βασικό μέσο αντιμετώπισης της πυρκαγιάς. Επίσης, γίνεται η υπόθεση ότι εφόσον οι κρουνοί είναι λειτουργικοί, τα πυροσβεστικά οχήματα με το κατάλληλο εκπαιδευμένο προσωπικό θα φτάσει έγκαιρα στην πυρκαγιά ανεξαρτήτως αστοχιών των οδικών αξόνων ή των κτιρίων που μπορούν να περιορίσουν το εύρος τους και ότι η πυρκαγιά δεν θα επεκταθεί εκτός της «ευαίσθητης ζώνης» που έχει οριστεί λόγω της έντασης των ανέμων.

Η προτεινόμενη μέθοδος περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

(α) Συλλογή δεδομένων. Η συγκεκριμένη φάση είναι πολύ σημαντική, ενέχει όμως σημαντικές αβεβαιότητες και προϋποθέτει σημαντικό κόστος και χρόνο. Η συλλογή των στοιχείων αφορά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του αστικού περιβάλλοντος, του κτιριακού δυναμικού της περιοχής και των βασικών δικτύων φυσικού αερίου και ύδρευσης που συνδέονται με την πιθανή ανάπτυξη, επέκταση της πυρκαγιάς και με τη μετασεισμική διαχείριση της κατάσβεσής της. Τα δεδομένα που θα συλλεχθούν αξιοποιούνται για τον προσδιορισμό της τυπολογίας των στοιχείων υπό κίνδυνο, καθώς και για την ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης των πυρκαγιών, οι οποίες προϋποθέτουν ακριβή γνώση του ανθρώπινου δυναμικού (αριθμός, στελέχωση), του αριθμού των πυροσβεστικών οχημάτων, της περιοχής ελέγχου των πυροσβεστικών σταθμών και της ακριβούς χωροθέτησης και κατάστασης των κρουनों πυρόσβεσης υπό κανονικές συνθήκες.

(β) Τυπολογία. Με βάση τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν στο προηγούμενο στάδιο προσδιορίζονται οι χρήσεις γης (κατοικία, εμπόριο, βιομηχανία- βιοτεχνία) και η τυπολογία των κτιρίων που εκτίθενται σε κίνδυνο πυρκαγιάς καθώς και των δικτύων του φυσικού αερίου, της ύδρευσης-πυρόσβεσης καθώς και της ηλεκτρικής ενέργειας.

(γ) Σεισμική επικινδυνότητα- Ισχυρή εδαφική κίνηση. Το κτιριακό δυναμικό και τα δίκτυα είναι τρωτά σε αστοχίες λόγω εδαφικής ταλάντωσης, μόνιμων μετακινήσεων ή και σε συνδυασμό αυτών. Η σεισμική κίνηση εκτιμάται με βάση την σεισμικότητα, την γεωλογία και τις τοπικές εδαφικές συνθήκες της περιοχής. Η χωρική μεταβλητότητα της εδαφικής κίνησης επηρεάζεται επίσης από την τοπογραφία. Το σεισμικό φορτίο στο οποίο υποβάλλονται οι κατασκευές ως αποτέλεσμα της εδαφικής κίνησης, περιγράφεται από τις βασικές παραμέτρους της, δηλαδή από τις εδαφικές παραμορφώσεις (ϵ), την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA), τις φασματικές επιταχύνσεις (PSA), από την μέγιστη εδαφική ταχύτητα (PGV), τις μόνιμες μετακινήσεις (PGD) και σε κάποιες περιπτώσεις απλούστερα από την ένταση (IMM). Στην περίπτωση των αγωγών, το σεισμικό φορτίο περιγράφεται καλύτερα από τις παραμέτρους, ϵ , PGV και PGD, ενώ στην περίπτωση κτιριακών εγκαταστάσεων από τις PGD, PGA και PSA.

(δ) Συναρτήσεις τρωτότητας. Οι συναρτήσεις τρωτότητας δίνουν την πιθανότητα το υπό εξέταση στοιχείο να βρίσκεται ή να έχει υπερβεί ένα δεδομένο επίπεδο βλάβης κάτω από την επίδραση μιας σεισμικής διέγερσης συγκεκριμένης έντασης. Οι καμπύλες τρωτότητας συχνά εκφράζονται ως λογαριθμοκανονικές συναρτήσεις σωρευτικής κατανομής δύο παραμέτρων (μέση τιμή και διασπορά) για κάθε επίπεδο βλάβης. Στην περίπτωση αγωγών η τρωτότητά τους υπολογίζεται βάσει σχέσεων τρωτότητας που συνδέουν το σεισμικό φορτίο με τον αριθμό επιδιορθώσεων ανά χιλιόμετρο (RR/km). Στο συγκεκριμένο άρθρο η εκτίμηση της τρωτότητας των αγωγών ύδρευσης/ πυρόσβεσης τόσο λόγω της εδαφικής ταλάντωσης όσο και των μόνιμων μετακινήσεων πραγματοποιήθηκε μετά τη χρήση των σχέσεων που προτείνονται από το HAZUS 2004 (O'Rourke, M.J. & Ayala, G. (1993): σχέση 3 και Honegger & Eguchi (1992): σχέση 5). Η εκτίμηση της τρωτότητας των αγωγών φυσικού αερίου, για την περίπτωση της εδαφικής ταλάντωσης πραγματοποιήθηκε με βάση τους O'Rourke & Deyoe (2004) (Σχέση 4) ενώ στην περίπτωση των μόνιμων μετακινήσεων χρησιμοποιήθηκε η σχέση των Honegger & Eguchi (1992) (Σχέση 5).

$$R.R/km = K * (0.0001 * PGV^{2.25})$$

(3)

$$R.R/km = k1 * 513 * \epsilon^{0.89}$$

(4)

$$R.R/km = K * (7.821 * PGD^{0.56})$$

(5)

Όπου ϵ οι εδαφικές παραμορφώσεις, $k1=1.0$ για την περίπτωση των άκαμπτων αγωγών PGD (m) η μόνιμη μετακίνηση του εδάφους και K συντελεστής που σχετίζεται με το υλικό του αγωγού

(ε) Αποτίμηση τρωτότητας. Η αποτίμηση της τρωτότητας πραγματοποιείται με την εφαρμογή των κατάλληλων σχέσεων τρωτότητας μετά τον ορισμό των επιπέδων αστοχίας. Στην περίπτωση των αγωγών έγινε η υπόθεση δύο επιπέδων αστοχίας: θραύση και διαρροή. Οι δύο καταστάσεις αστοχίας εκτιμώνται εμμέσως με βάση την τοπολογία των αγωγών σε ζώνες μόνιμων εδαφικών παραμορφώσεων ή εδαφικών ταλαντώσεων. Την συγκεκριμένη προσέγγιση χρησιμοποιεί και το HAZUS 2004, το οποίο υποθέτει ότι όταν ένας αγωγός ύδρευσης αστοχεί λόγω μόνιμων εδαφικών παραμορφώσεων (PGD), ο τύπος της αστοχίας που αναμένεται να παρουσιάσει είναι θραύση, ενώ όταν η αστοχία οφείλεται σε εδαφική ταλάντωση (PGV), ο τύπος αστοχίας είναι αξονικός εφελκυσμός ή τοπική σύνθλιψη των συνδέσεων. Γενικά, γίνεται η υπόθεση ότι σε περιοχές με εδαφική ταλάντωση, το 80% των αστοχιών οφείλεται σε διαρροές και το 20% σε θραύσεις. Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση των μόνιμων εδαφικών παραμορφώσεων.

(στ) Χωροθέτηση θέσεων πυρκαγιών. Με βάση τις αστοχίες του δικτύου του φυσικού αερίου και τις χρήσεις γης της περιοχής, εντοπίζονται τα οικοδομικά τετράγωνα που έχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα να παρουσιάσουν εστίες πυρκαγιάς.

(ζ) Στρατηγικές διαχείρισης πυρκαγιάς. Σημαντικό σημείο στην κατάρτιση αξιόπιστων στρατηγικών διαχείρισης της κατάσβεσης πυρκαγιάς εκτός από τον εντοπισμό των

επικείμενων πυρκαγιών, τον αριθμό τους, το διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό και τα οχήματα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι κρουνοί πυρόσβεσης. Η κατάσταση τους καθορίζεται από την διαθέσιμη παροχή και πίεση. Οι συγκεκριμένοι παράμετροι συνδέονται άμεσα με την κατάσταση του δικτύου ύδρευσης, τον αριθμό των αστοχιών του και συγκεκριμένα με την χωροθέτησή τους.



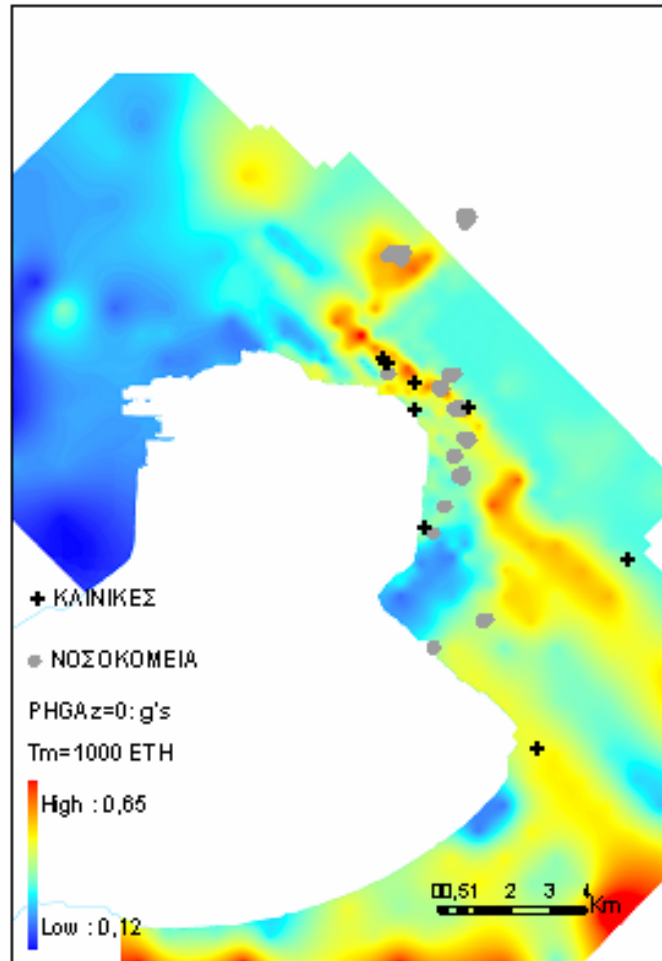
Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής της διαδικασίας σεισμικής διακινδύνευσης του δικτύου πυρόσβεσης

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε, υπό τις προϋποθέσεις που περιγράφηκαν παραπάνω, στο αστικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης για το σεισμικό σενάριο των 1000 ετών (Σχήμα 2). Ο βασικός λόγος της επιλογής του συγκεκριμένου σεισμικού σεναρίου είναι ο προσδιορισμός της χωροθέτησης των πιθανών εστιών πυρκαγιάς στην πόλη και η εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης του δικτύου πυρόσβεσης στην περίπτωση ενός πολύ μεγάλου σεισμού (M7.0).

Προκειμένου να εκτιμηθεί ο αριθμός των αναμενόμενων πυρκαγιών ανά οικοδομικό τετράγωνο λόγω των συγκεκριμένων χρήσεων γης και άλλων δραστηριοτήτων, αρχικά χρησιμοποιήθηκε η εμπειρική σχέση των Eidinger et al (1995). Συγκεκριμένα, γνωρίζοντας το δομήσιμο εμβαδόν κάθε οικοδομικού τετραγώνου στην περιοχή και την χωρική μεταβλητότητα της εδαφικής κίνησης για το σεισμικό σενάριο των 1000 χρόνων (Σχήμα 2), προσδιορίστηκαν οι περιοχές που έχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα να εκδηλωθεί η

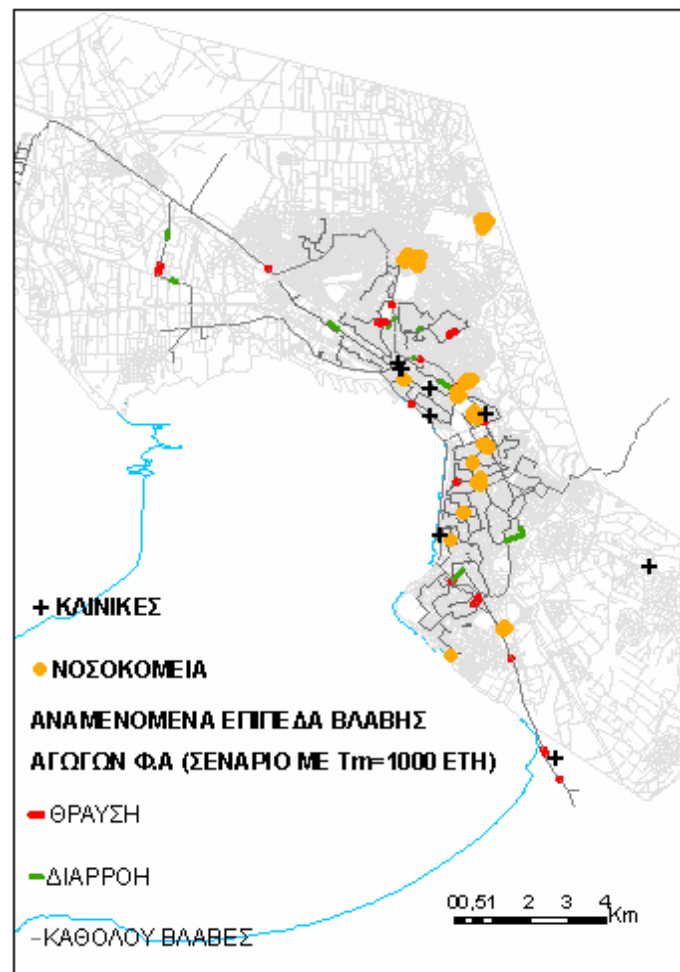
πυρκαγιά. Υπολογίστηκαν λοιπόν πιθανές εστίες πυρκαγιάς σε συνολικά δέκα (10) οικοδομικά τετράγωνα, από το σύνολο των έντεκα χιλιάδων τετρακοσίων τριάντα τριών (11.433) οικοδομικών τετραγώνων που εξετάστηκαν.



Σχήμα 2. Χάρτης εκτιμώμενων εδαφικών επιταχύνσεων/ οικοδομικό τετράγωνο. Σεισμικό σενάριο: 1000 χρόνια (Κ.Πιπλάκης και συνεργάτες SRM-LIFE, 2007)

Για το σεισμικό σενάριο των 1000 ετών, ο εκτιμώμενος αριθμός πυρκαγιών λόγω αστοχιών των αγωγών του φυσικού αερίου (θραύσεων, διαρροών) μετά την εφαρμογή των σχέσεων τρωτότητας του HAZUS 2004 είναι 99. Τονίζεται ότι έγινε η υπόθεση ότι οποιαδήποτε αστοχία των αγωγών φυσικού αερίου, θραύση είτε διαρροή, μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιά. Φυσικά η πιθανότητα ενδεχόμενης πυρκαγιάς αυξάνεται όταν η εκτιμώμενη αστοχία είναι θραύση. Επίσης, επειδή δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί επακριβώς η εστία της πυρκαγιάς (το μήκος των αγωγών φυσικού αερίου είναι της τάξης των 100- 150 μέτρων) η «επικίνδυνη ζώνη» μπορεί να εκτιμηθεί μόνο κατά προσέγγιση και σχετική αβεβαιότητα στον ορισμό ομόκεντρων κύκλων επιρροής συγκεκριμένης ακτίνας γύρω από την αναμενόμενη εστία. Συγκεκριμένα, έγινε η υπόθεση ότι τα οικοδομικά τετράγωνα εκατέρωθεν των αγωγών φυσικού αερίου που αστόχησαν μπορεί να αντιμετωπίσουν εξίσου τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Ενδεικτικά, στα Σχήματα 3 και 4 εντοπίζονται για το σενάριο των 1000 χρόνων, οι

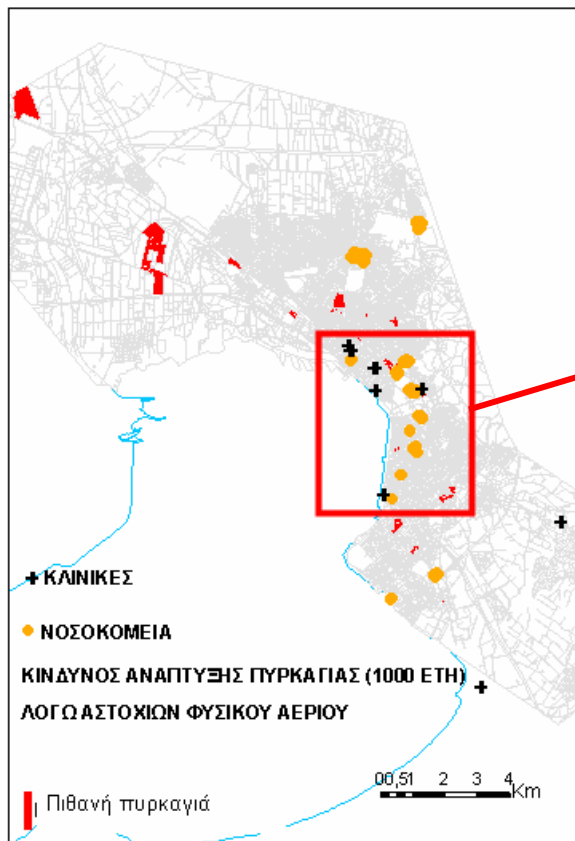
εκτιμώμενες αστοχίες των αγωγών φυσικού αερίου και παράλληλα προσδιορίζονται οι «ευαίσθητες περιοχές» λόγω του συγκεκριμένου αιτίου.



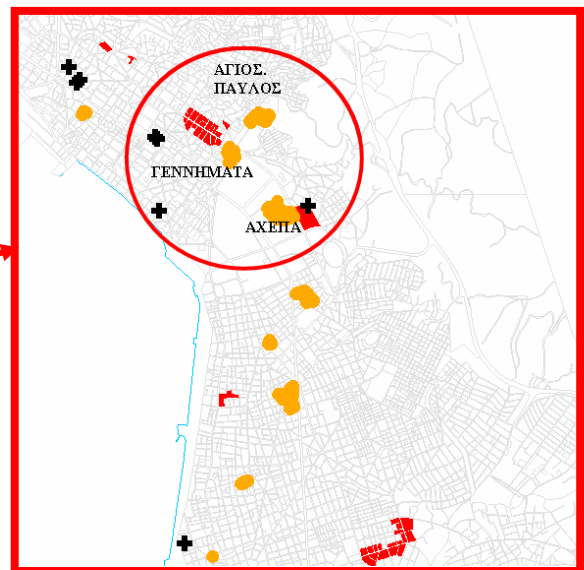
Σχήμα 3. Αστοχίες φυσικού αερίου για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης (Σεισμικό σενάριο: 1000 έτη).

Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται ταυτόχρονα το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης και η περιοχή του Λευκού Πύργου και τα Πανεπιστήμια, σε συνδυασμό με τις περιοχές στις οποίες εκτιμήθηκε πιθανή πυρκαγιά λόγω αστοχιών του φυσικού αερίου για το σεισμικό σενάριο των 1000 χρόνων. Παρατηρούμε ότι σε τρία κεντρικά νοσοκομεία της Θεσσαλονίκης στο «Γενικό Νοσοκομείο- Γεννηματάς», στο «ΑΧΕΠΑ» και στον «Άγιο Παύλο» αναμένονται σε κοντινή απόσταση εστίες πυρκαγιάς. Η συγκεκριμένη διαπίστωση έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να αποκλειστούν κεντρικοί άξονες της πόλης από συντρίμμια κτιρίων, να δημιουργηθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση λόγω του επικείμενου πανικού και τελικά σημαντικό τμήμα του πληθυσμού της πυκνοκατοικημένης περιοχής του κέντρου της Θεσσαλονίκης να δυσκολευτεί στην πρόσβαση του στα εν λόγω νοσοκομεία και κλινικές.

α)



β)



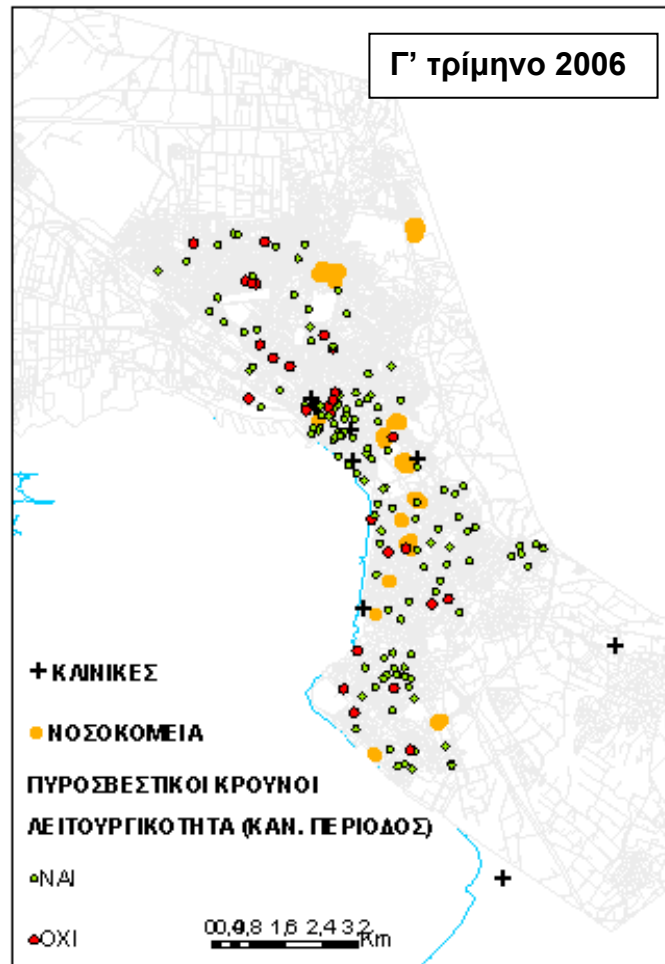
Σχήμα 4. Χωρική κατανομή των «ευαίσθητων οικοδομικών τετραγώνων» λόγω του πιθανού κινδύνου ανάπτυξης πυρκαγιών από τις αστοχίες του φυσικού αερίου (Σεισμικό σενάριο: 1000 έτη).

Δίκτυο πυρόσβεσης

Στα πλαίσια της άμεσης κατάσβεσης πυρκαγιών είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της κατάστασης λειτουργικότητας του δικτύου πυρόσβεσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει ανεξάρτητο δίκτυο πυρόσβεσης στη Θεσσαλονίκη αλλά οι πυροσβεστικοί κρουνοί συνδέονται άμεσα με το δίκτυο ύδρευσης με αποτέλεσμα η τρωτότητα των αγωγών ύδρευσης να επηρεάζει άμεσα τη λειτουργικότητα των κρουνών. Παρόλο που οι δυσλειτουργίες των κρουνών συσχετίζονται με τη δυνατότητα ή μη τροφοδότησης αυτών με νερό από το δίκτυο ύδρευσης, είναι αναγκαίο να διευκρινισθεί ότι η λειτουργικότητά τους, ακόμη κατά την κανονική περίοδο, δεν είναι πάντα στο επιθυμητό επίπεδο (Σχήμα 5). Συγκεκριμένα από τους 155 πυροσβεστικούς κρουνοί οι 27 ήταν εκτός λειτουργίας την περίοδο Ιουλίου – Σεπτεμβρίου 2006 (Γ' τρίμηνο 2006), όποτε και πραγματοποιήθηκε η συγκεκριμένη καταγραφή. Ενδεχομένως κάποιοι από αυτούς μπορεί να επιδιορθώθηκαν στην παρούσα φάση ενώ πιθανόν κάποιοι άλλοι μπορεί να έχουν παρουσιάσει δυσλειτουργίες.

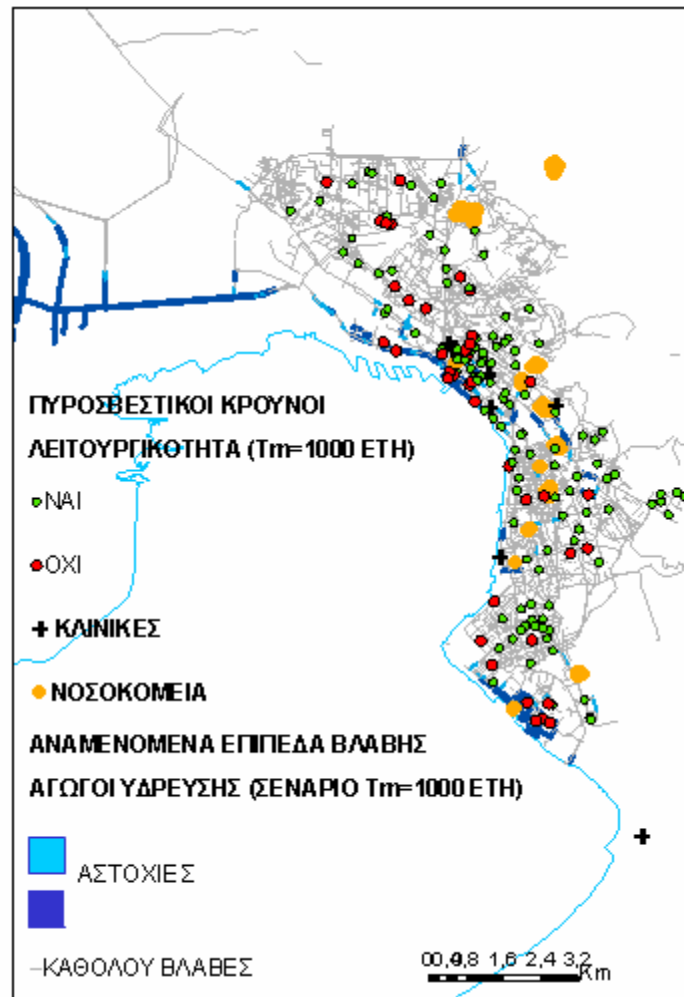
Η ανάλυση της τρωτότητας για τους αγωγούς ύδρευσης έγινε με βάση τις σχέσεις που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Συνολικά εκτιμήθηκαν 365 αστοχίες (265 θραύσεις, 100 διαρροές) στο σύνολο των 25.879 αγωγών του δικτύου ύδρευσης μήκους 1.085km με ταυτόχρονο εντοπισμό των πιθανών θέσεων αστοχίας τους. Οι αστοχίες των αγωγών ύδρευσης επηρεάζουν άμεσα την λειτουργία των πυροσβεστικών κρουνών, αφού είτε δεν θα

μπορέσουν να τους τροφοδοτήσουν με νερό είτε θα τους τροφοδοτήσουν σε περιορισμένη πίεση που δεν θα επαρκεί για την σωστή λειτουργία τους. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται οι πυροσβεστικοί κρουνοί που αναμένεται να παρουσιάσουν δυσλειτουργίες σε συνδυασμό με τις αστοχίες του δικτύου ύδρευσης για το σεισμικό σενάριο των 1000 ετών. Συνολικά, από τους 155 πυροσβεστικούς κρουνοί οι 40 δεν θα λειτουργούν μετά τον ισχυρό σεισμό, δηλαδή 13 περισσότεροι από την κανονική περίοδο.



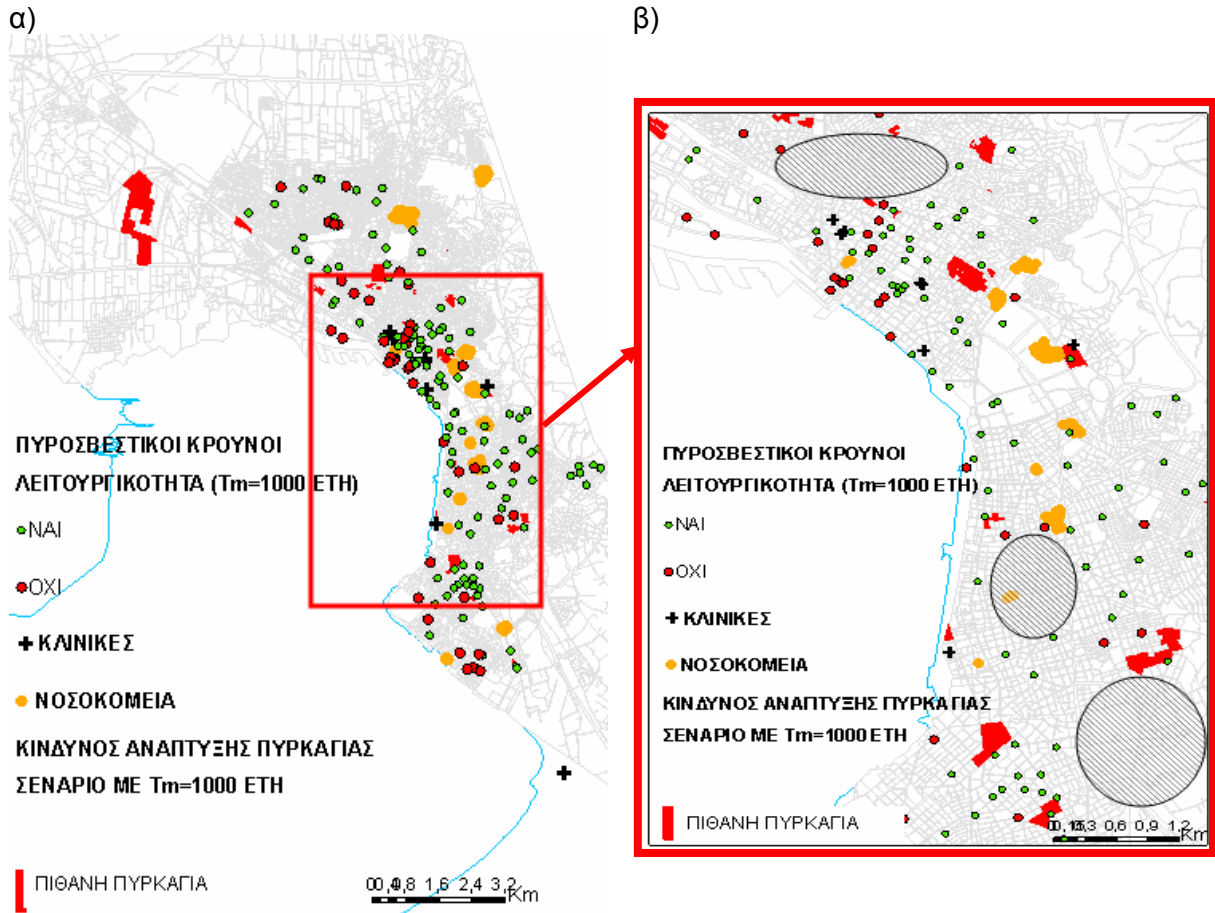
Σχήμα 5. Χωρική κατανομή των πυροσβεστικών κρουνών που δυσλειτουργούν στην κανονική περίοδο

Εκατόν εννιά (109) οικοδομικά τετράγωνα αναμένεται να παρουσιάσουν πυρκαγιές από οποιαδήποτε αιτία (αστοχία αγωγών φυσικού αερίου και χρήσεις γης) για το σενάριο των 1000 ετών. Τα οικοδομικά τετράγωνα που ενδέχεται να παρουσιάσουν πυρκαγιές λόγω των αστοχιών του φυσικού αερίου και των χρήσεων γης της περιοχής είναι διαφορετικά (Σχήμα 7). Επίσης, στο σχήμα 7 παρουσιάζονται με μεγαλύτερη ευκρίνεια για την περιοχή του Λευκού Πύργου – Πανεπιστήμιο η κατάσταση των πυροσβεστικών κρουνών και οι θέσεις των πιθανών πυρκαγιών πάντα σε συνδυασμό με τα νοσοκομεία και τις κλινικές. Με σκιαγράφιση οριοθετούνται οι περιοχές της Θεσσαλονίκης στις οποίες προτείνεται μεγαλύτερη πύκνωση των πυροσβεστικών κρουνών ώστε να βελτιστοποιηθεί η αντιμετώπιση των πιθανών πυρκαγιών.



Σχήμα 6. Σεισμικό σενάριο 1000 ετών. Αστοχίες στο δίκτυο ύδρευσης και πυρόσβεσης (πυροσβεστικοί κρουνοί)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στις περιοχές που εντοπίζεται μεγάλη πιθανότητα πυρκαγιάς όλοι οι κρουνοί είναι σε λειτουργία για το σεισμικό σενάριο των 1000 χρόνων, τουλάχιστον με τα δεδομένα της λειτουργικότητας των πυροσβεστικών κρουνών του Γ΄ τμήνου του 2006. Είναι αναγκαίο οι πυροσβεστικοί κρουνοί οι οποίοι βρίσκονται κοντά σε νοσοκομεία και κλινικές ή στις «επικίνδυνες περιοχές για πυρκαγιά» ή σε ιδιαίτερα πυκνοκατοικημένες περιοχές, να είναι πάντα σε πλήρη κατάσταση λειτουργίας ακόμη και για ένα ισχυρότατο σεισμό.



Σχήμα 7. Χωρική κατανομή των «ευαίσθητων οικοδομικών τετραγώνων» λόγω του πιθανού κινδύνου ανάπτυξης πυρκαγιών από οποιαδήποτε αίτιο (Σεισμικό σενάριο: 1000 έτη).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αποτελεσματική διαχείριση κινδύνου προερχόμενου από πυρκαγιά λόγω σεισμού προϋποθέτει την εκτίμηση των πιθανών εστιών της ώστε να επιτευχθεί η άμεση κατάσβεσή της από το δίκτυο πυρόσβεσης (ανθρώπινο δυναμικό και τεχνική υποδομή). Η μεθοδολογία που προτείνεται επικεντρώνεται ακριβώς σε αυτό το σημείο δηλαδή στον εντοπισμό των πιθανών εστιών πυρκαγιάς. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας πραγματοποιείται στο αστικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Μολονότι τις σημαντικές αβεβαιότητες που ενέχει οποιαδήποτε προσέγγιση αφού σχετίζεται με την ώρα της ημέρας, την ημέρα της εβδομάδας, των αριθμό των εστιών, το διαθέσιμο προσωπικό και τα πυροσβεστικά οχήματα, την τοπογραφία της περιοχής, την ταχύτητα του ανέμου, τον καιρό και την εποχή, οι άμεσες και έμμεσες απώλειες από πυρκαγιές είναι ιδιαίτερα σημαντικές, και είναι αναγκαία η προετοιμασία της ελληνικής πολιτείας για διάφορα πιθανά σεισμικά σενάρια. Η πιθανή εκδήλωση πυρκαγιάς σε περιοχές που αναμένεται να στηθούν καταυλισμοί μετά το σεισμό ή κοντά σε σχολεία και νοσοκομεία που αναμένεται να εξυπηρετήσουν τραυματίες έχει επίσης ιδιαίτερη σημασία, καθώς σχετίζεται άμεσα με την αποτελεσματικότητα των σχεδίων εκτάκτων αναγκών και την μείωση των ανθρώπινων απωλειών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τμήμα της έρευνας που παρουσιάστηκε πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια εκπόνησης του προγράμματος SRMLIFE («Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας δικτύων κοινής ωφέλειας, υποδομών, κτιρίων στρατηγικής σημασίας για τη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου σε πολεοδομικά συγκροτήματα. Εφαρμογή στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης». Κωδ.: ΔΠ19) με χρηματοδότηση από την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) στα πλαίσια του προγράμματος ΕΠΑΝ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλεξούδη Μ (2005). «Συμβολή στην ανάλυση της σεισμικής τρωτότητας Δικτύων Κοινής Ωφέλειας σε αστικό περιβάλλον. Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας διαχείρισης της σεισμικής διακινδύνευσης» Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης
- Borden F. W. (1996). "The 1994 Northridge Earthquake and the Fires That Followed", *Thirteenth Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety*, NISTIR 6030, pp.303-312, March 13-20.
- Charles Scawthorn (2003). "Fire following earthquakes", *Earthquake Engineering Handbook*, W.F. Chen (editor).
- Chen S. W., Lee G. C. and Shinozuka M. (2004). "Hazard Mitigation for Earthquake and Subsequent Fire", MCEER, progress report.
- Cousins W J, Dowrick D J and Sritharan S, (1991) "Fire Following Earthquake", *Proc. Institution of Fire Engineers Conference*, New Plymouth, August.
- EERI (1995a). "Fire", Hokkaido Earthquake Reconnaissance Report, *Earthquake Spectra*, Vol. 11, Issue S1, pp. 33-40, April 1995.
- EERI (1995b). "Fire-related aspects", Northridge Earthquake Reconnaissance Report, *Earthquake Spectra*, Vol. 11, Issue S2, pp. 419-435, April 1995.
- EERI (1990) "Loma Prieta earthquake reconnaissance report" *Earthquake Spectra*, Supplement to Vol.6, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA
- EERI (1990). "Performance of the san Francisco Auxiliary and Portable Water Supply Systems in the 17 October 1989 Loma Prieta Earthquake", *Proceedings of the 4th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*.
- EERI (1984). "Fire-Related Aspects of the Coalinga Earthquake", Coalinga, California, Earthquake of May 2, 1983: Reconnaissance Report, Report 84-03.
- Eidinger J. M, Goettel K.A, Lee D (1995) "Fire and Economic Impacts of Earthquakes" *Proceedings of the Fourth U.S Conference of Lifeline Earthquake Engineering*, TCLEE, Monograph No.6, Edited by M.J.'ORourke, pp.80-87.
- HAZUS (2004). "Earthquake Loss Estimation Methodology" HAZUS 99, Service Release 2, Technical Manual, FEMA, Washington DC, <http://www.fema.gov/hazus>.
- Honegger, D. G., R.T. Eguchi (1992). "Determination of the Relative Vulnerabilities to Seismic Damage for Dan Diego Country Water Authority (SDCWA) Water Transmission Pipelines".

- ICLR, (2001) "Assessment of Risk due to Fire Following Earthquake" Lower Mainland, British Columbia, report prepared for the Institute for Catastrophic Loss Reduction, Toronto, by C. Swawthorn and F. Waisman, EQE International, Oakland, CA
- O'Rourke, M.J. & Ayala, G. (1993). "Pipeline damage due to wave propagation." *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE. 119 (9), 1490-1498.
- O'Rourke & Deyoe E (2004) "Seismic Damage to Segmented Buried Pipe" *Earthquake Spectra*, Vol.20, No.4, pp.1167-1183.
- Ohnishi Kazuyoshi (1996) "Causes of the Seismic Fires Following the Great Hanshin-Awaji Earthquake-Survey", *Thirteenth Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety*, NISTIR 6030, p337-344, March 13-20.
- NIST (1996) "The January 17, 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake, Performance of Structures, Lifelines and Fire Protection System", Special Publication 902 (ICSSC TR18), Gaithersburg, Maryland.
- Robertson J and Mehaffey J, (2000) "Accounting for Fire Following Earthquakes in the Development of Performance Based Building Codes" *Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland.
- Scawthorn C, (1986). "Simulation Modelling of Fire Following Earthquake", *Proc. Third US National Conference on Earthquake Engineering*, Charleston.
- Scawthorn C, (1987). "Fire Following Earthquake: Estimates of the Conflagration risk to insured Property in Greater Los Angeles and San Francisco", All-Industry Research Advisory Council.
- Scawthorn C, Iemura H, and Yamada Y, (1991). "Model for Urban Post-earthquake Fire Hazard Disaster" *The International Journal of Disaster Studies and Practice*, London, Vol 5, No 2.
- Scawthorn C, Cowell A, and Borden F, (1997). "Fire-related Aspects of the Northridge Earthquake", Report by EQE International for the National Institute of Standards and Technology, San Francisco.
- SRM-LIFE, (2003-2007), «Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας δικτύων κοινής ωφέλειας, υποδομών, κτιρίων στρατηγικής σημασίας για τη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου σε πολεοδομικά συγκροτήματα. Εφαρμογή στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης», *Ερευνητικό Πρόγραμμα*, Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ).
- SSC, (2002) "Improving Natural Gas Safety in Earthquakes", Adopted July 11, 2002, Prepared by: ASCE- 25 Task Committee on Earthquake Safety Issues for Gas Systems, for the California Seismic Safety Commission, Report No. SSC-02-03, Sacramento.
- Williamson R B and Groner R, (2000) "Ignition of Fires Following Earthquakes Associated With Natural Gas and Electric Distribution Systems", Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/effects-kobe.html