

Διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης δικτύων ύδρευσης. Η περίπτωση του Δήμου Θερμαϊκού στη Θεσσαλονίκη

Seismic Risk management of water systems. The case of
Thermaikos Municipality in Thessaloniki

Μαρία ΑΛΕΞΟΥΔΗ¹, Ευλαμπία- Ευτέρπη ΡΗΓΑ², Κυριαζής ΠΙΤΙΛΑΚΗΣ³

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Ο στόχος της συγκεκριμένης έρευνας είναι η παρουσίαση μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης δικτύων ύδρευσης προκειμένου να καταρτιστεί αποτελεσματικότερη η διαχείριση των μετασεισμικών επεμβάσεων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία περιλαμβάνει τη συλλογή στοιχείων για όλα τα στοιχεία του δικτύου, την ανάλυση της σεισμικής επικινδυνότητας μέσω σεισμικών σεναρίων, την εκτίμηση της τρωτότητας των στοιχείων του δικτύου με την εφαρμογή κατάλληλων καμπυλών τρωτότητας και τον υπολογισμό της εξυπηρετικότητας του δικτύου. Οι οικονομικές απώλειες από τις επικείμενες αστοχίες προσδιορίζονται μέσω του άμεσου απαιτούμενου οικονομικού κόστους για την επαναφορά του δικτύου στην πριν τον σεισμό λειτουργία. Ο προσδιορισμός της «ολικής αξίας» των στοιχείων του δικτύου δηλαδή των «ευαίσθητων σημείων» του αστικού ιστού, συντελεί στην βελτιστοποίηση των προτεραιοτήτων αποκατάστασης. Η περίπτωση των αγωγών του δικτύου ύδρευσης του Δήμου Θερμαϊκού (Θεσσαλονίκη) χρησιμοποιήθηκε ως παράδειγμα εφαρμογής της μεθοδολογίας.

ABSTRACT : The aim of this research is to develop an “efficient” seismic risk methodology for water systems in order to enhance post-earthquake actions. Inventory, seismic hazard analysis, estimation of social vulnerability (global value) and seismic vulnerability of water component after the selection of appropriate fragility curves and the calculation of system’s serviceability, is some of the steps that are essential parts of the proposed methodology. The direct economical losses in water network are resulting of the expected damages of water components. The water pipe system of Thermaikos municipality is used as a case study.

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

²Πολιτικός Μηχανικός, MSc, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, email: eviriga@gmail.com

³Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, email: kpitilakis@civil.auth.gr

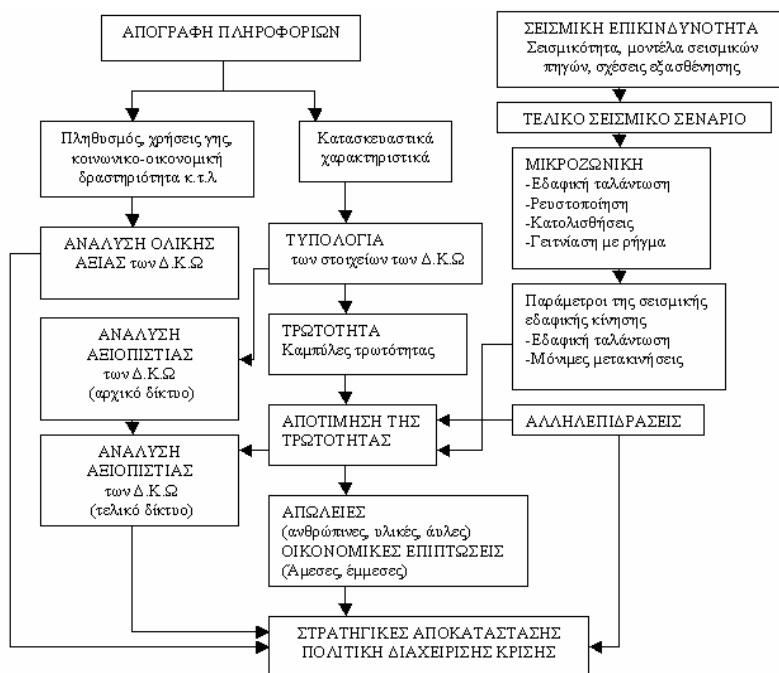
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα Δίκτυα Κοινής Ωφέλειας (Δ.Κ.Ω) είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την ποιότητα ζωής και για την ανάπτυξη των σύγχρονων αστικών συγκροτημάτων. Ένα από τα κυριότερα δίκτυα αποτελεί το δίκτυο ύδρευσης που είναι απαραίτητο για τη μεταφορά του πόσιμου νερού και την υγιεινή του κοινωνικού συνόλου. Η σημαντικότητα του δικτύου ύδρευσης σε συνδυασμό με τη μεγάλη έκτασή του, την πολυπλοκότητα και την αβεβαιότητα των συλλεχθέντων πληροφοριών των στοιχείων του (π.χ αγωγοί, δεξαμενές, αντλιοστάσια, εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, γεωτρήσεις, πηγές υδροληψίας) τις αλληλεπιδράσεις των δικτύων μεταξύ τους και με το αστικό περιβάλλον, και την χωρική μεταβλητότητα της σεισμικής κίνησης, καθιστά την εκτίμηση της απόκρισής του σε ισχυρό σεισμό μια βασική πολιτική προτεραιότητα.

Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία αποτελεί μία διαδικασία η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε δίκτυο ύδρευσης. Συνιστά απαραίτητο στοιχείο για την κατάρτιση «ευφυών» στρατηγικών διαχείρισης κρίσεων και ελέγχου των έμμεσων απωλειών από έσοδα.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η γενική δομή της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε για τη διαχείριση σεισμικού κινδύνου Δικτύων Κοινής Ωφέλειας (Δ.Κ.Ω) αστικών συγκροτημάτων στα οποία όπως προαναφέρθηκε εντάσσεται και το δίκτυο ύδρευσης, παρουσιάζεται στο Σχήμα 1 (Pitilakis K. et al, 2005, Pitilakis et al, 2006).



Σχήμα 1. Σχηματική παρουσίαση της γενικής μεθοδολογίας διαχείρισης σεισμικού κινδύνου Δ.Κ.Ω σε αστικά συγκροτήματα

α) Απογραφή πληροφοριών –Τυπολογία

Αποτελεί το αρχικό στάδιο της μεθοδολογίας και το σημαντικότερο καθώς σε αυτό συλλέγονται όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες για τα στοιχεία του δικτύου. Η απογραφή πληροφοριών είναι μια διαδικασία ιδιαίτερα χρονοβόρα, απαιτεί σημαντικό κόστος, ενέχει πολλές αβεβαιότητες που σχετίζονται με την έλλειψη πληροφοριών, με την ποιότητα των στοιχείων, με την μεγάλη έκταση του δικτύου και συχνά με την απροθυμία των διαχειριστών των δικτύων να παράσχουν πληροφορίες. Βάσει των ιδιαίτερων κατασκευαστικών χαρακτηριστικών που συλλέχθηκαν για όλα τα στοιχεία πραγματοποιήθηκε η παραδοχή ότι στοιχεία με παρόμοια κατασκευαστικά και τεχνικά χαρακτηριστικά αποκρίνονται με παρόμοιο τρόπο στη σεισμική διέγερση. Με βάση την συγκεκριμένη ομαδοποίηση προσδιορίστηκε η τυπολογία των στοιχείων.

β) Σεισμική επικινδυνότητα- Ισχυρή εδαφική κίνηση:

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. Το σεισμικό φορτίο στο οποίο υποβάλλονται τα στοιχεία του δικτύου ύδρευσης ως αποτέλεσμα της εδαφικής κίνησης περιγράφεται από την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA), ταχύτητα (PGV) και από τις μόνιμες μετακινήσεις (PGD). Στην περίπτωση των αγωγών, το σεισμικό φορτίο περιγράφεται από το PGV και το PGD ενώ στην περίπτωση των κτιριακών εγκαταστάσεων των δικτύων από το PGA. Μια απλοποιημένη προσέγγιση εκτίμησης των μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων (PGA) και ταχυτήτων (PGV) λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές εδαφικές συνθήκες της περιοχής είναι η αναγωγή των αντιστοίχων τιμών των υπολογιζόμενων παραμέτρων της εδαφικής κίνησης σε βραχώδεις υπόβαθρο με τη χρήση κατάλληλων συντελεστών εδαφικής ενίσχυσης (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Συντελεστές εδαφικής ενίσχυσης (Pitilakis et al, 2004)

Κατηγορία εδάφους	Περιγραφή εδάφους	Συντελεστής ενίσχυσης
I	Προσχώσεις - αλλουβιακές αποθέσεις με επικράτηση αμμωδών οριζόντων.	1,05
II	Αποθέσεις με επικράτηση ιλυωδών οριζόντων ιλυώδεις-αμμώδεις άργιλοι με εναλλαγές αργιλωδών άμμων γενικά πάχους >60μ.και χαμηλής έως μέσης δυσστησίας.	2,5
III	Αποθέσεις με επικράτηση ιλυωδών οριζόντων ιλυώδεις-αμμώδεις άργιλοι με εναλλαγές αργιλωδών άμμων γενικά πάχους <60μ. μέσης έως υψηλής δυσστησίας	1,2

Οι μόνιμες μετακινήσεις (οριζόντια εξάπλωση και καθίζηση) μπορούν να υπολογιστούν είτε με γνωστές μεθόδους της διεθνούς βιβλιογραφίας (Ishihara K, 1993) είτε ακολουθώντας την μέθοδο που προτείνεται στο HAZUS 2004. Το HAZUS 2004, παρόλο που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες των Η.Π.Α ως μια μεθοδολογία διαχείρισης της διακινδύνευσης κτιρίων και δικτύων κοινής ωφέλειας από φυσικούς κινδύνους (σεισμούς, πλημμύρες, ανεμοστρόβιλους κ.τ.λ) εφαρμόζεται σε διεθνές επίπεδο παρέχοντας σχέσεις, καμπύλες και μεθόδους υπολογισμού αξιοποιώντας δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας και τις δυνατότητες των

Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S). Στην παρούσα εργασία ακολουθήθηκε η μέθοδος που προτείνεται από το HAZUS.

γ) Αλληλεπιδράσεις

Τα δίκτυα δεν αποτελούν αυτόνομα συστήματα αλλά επηρεάζουν και επηρεάζονται από το αστικό περιβάλλον και από τα υπόλοιπα δίκτυα. Έξι τύποι αλληλεπιδράσεων μπορούν να αναγνωριστούν: η αλληλεπίδραση λειτουργικότητας, η χωρική αλληλεπίδραση, η γενική αλληλεπίδραση, η οικονομική αλληλεπίδραση, η αλληλεπίδραση στη φάση αποκατάστασης και η αλληλεπίδραση λόγω εναλλακτικής διαδρομής.

δ) Καμπύλες Τρωτότητας- Αποτίμηση Τρωτότητας

Οι καμπύλες 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 που συνδέουν το σεισμικό φορτίο με τον αριθμό επιδιορθώσεων ανά χιλιόμετρο (R.R/km: Repair Rate/km). Στην συγκεκριμένη εργασία η εκτίμηση της τρωτότητας των αγωγών ύδρευσης, τόσο λόγω της εδαφικής ταλάντωσης όσο και λόγω μόνιμων μετακινήσεων πραγματοποιήθηκε μετά τη χρήση των σχέσεων που προτείνονται από το HAZUS 2004, δηλαδή των σχέσεων των O'Rourke & Ayala (1993) και Honegger & Eguchi (1992) αντίστοιχα. Οι συγκεκριμένες σχέσεις έχουν επιβεβαιωθεί από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στα δίκτυα ύδρευσης της Λευκάδας και της Duzce (Τουρκία) (Αλεξούδη Μ, 2005).

Ο αριθμός επιδιορθώσεων ανά χιλιόμετρο (R.R/km) για την περίπτωση της εδαφικής ταλάντωσης δίνεται από την σχέση O'Rourke & Ayala (1993):

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

(1)

Όπου: PGV (cm/sec) και K συντελεστής που σχετίζεται με το υλικό του αγωγού (εύκαμπτος, άκαμπτος)

Ο αριθμός επιδιορθώσεων ανά χιλιόμετρο για την περίπτωση των μόνιμων μετακινήσεων δίνεται από την σχέση των Honegger & Eguchi (1992):

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

(2)

Όπου: PGD (m) και K συντελεστής που σχετίζεται με το υλικό του αγωγού

Η αποτίμηση της τρωτότητας πραγματοποιείται με την εφαρμογή των κατάλληλων σχέσεων τρωτότητας μετά τον ορισμό των επιπέδων αστοχίας. Στην περίπτωση των αγωγών γίνεται συνήθως 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 στο οποίο γίνεται η υπόθεση ότι σε περιοχές με εδαφική ταλάντωση, το 80% των αστοχιών οφείλεται σε διαρροές και το 20% σε θραύσεις. Το αντίθετο ισχύει στην περίπτωση των μόνιμων εδαφικών παραμορφώσεων.

ε) Ολική αξία

Η διεθνής πρακτική σε θέματα διαχείρισης κρίσεων ορίζει τρεις περιόδους λειτουργίας των συστημάτων (κανονική, κρίση, αποκατάσταση). Για αυτές τις 3 περιόδους είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός και η αποτίμηση της «ολικής αξίας» δηλαδή της σπουδαιότητας (ύψιστης σημασίας, σημαντικά, δευτερεύουσας σημασίας) των στοιχείων υπό κίνδυνο (Αλεξούδη Μ, 2005) βάσει ανάλογων δεικτών που έχουν επιλεγεί. Τα βασικά βήματα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι:

1. Ανάλυση του δικτύου στα στοιχεία από τα οποία αποτελείται (π.χ αγωγοί, αντλιοστάσια κ.λ.π).
2. Επιλογή κατάλληλων δικτύων που να περιγράφουν τα υποστοιχεία των δικτύων. Απόφαση για τη συμμετοχή ή μη των δεικτών στην κάθε περίοδο.
3. Βαθμολογία κάθε δείκτη από το 0- 1 ανάλογα με τη σημαντικότητά του (γνώμη ειδικών). Το «0» αντιστοιχεί σε «ασήμαντη σπουδαιότητα» και το «1» στην «μέγιστη σπουδαιότητα». Άθροιση του συνόλου των βαθμολογιών για κάθε δείκτη σε μια τιμή ανάλογα με τη συμμετοχή του ή μη στην περίοδο που εξετάζεται. Η τιμή που προκύπτει από αυτή τη διαδικασία αντιπροσωπεύει την «ολική αξία» κάθε στοιχείου για κάθε περίοδο.
4. Εκτίμηση και κατηγοριοποίηση των στοιχείων υπό κίνδυνο μέσω της διαδικασίας «ολικής αξίας». Στατιστική επεξεργασία των τιμών που προέκυψαν από την ανάλυση και τελικά καθορισμός της σπουδαιότητας των στοιχείων (ύψιστης σημασίας, σημαντικά, δευτερεύουσας σημασίας) για κάθε περίοδο.

Στους Πίνακες 4 και 5 παρουσιάζονται οι δείκτες που έχουν επιλεγεί για την αποτίμηση της ολικής αξίας των αγωγών ύδρευσης καθώς και η συμβολή τους ανά περίοδο.

Πίνακας 4. Κλίμακες και τιμές σχετικής αξίας των δεικτών ολικής αξίας για τους αγωγούς

Αγωγοί			
Συνιστώσες	Δείκτες	Περιγραφή	Σχ. Τιμή
Λειτουργία	Διάμετρος (mm)	Διάμετρος ≥ 600mm	1.00
		600mm > Διάμετρος ≥ 250mm	0.50
		Διάμετρος < 250mm	0.25
Λειτουργία	Σύστημα αυτόματου ελέγχου	Ναι	1.00
		Όχι	0.00
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	Σύνδεση με το δίκτυο πυρόσβεσης	Άμεση σύνδεση με κρουνοί	1.00
		Έμμεση σύνδεση	0.50
		Καμία σύνδεση	0.00
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	Σύνδεση με κρίσιμες υποδομές/ κτίρια στρατηγικής σημασίας	Άμεση σύνδεση	1.00
		Έμμεση σύνδεση	0.50
		Καμία σύνδεση	0.00

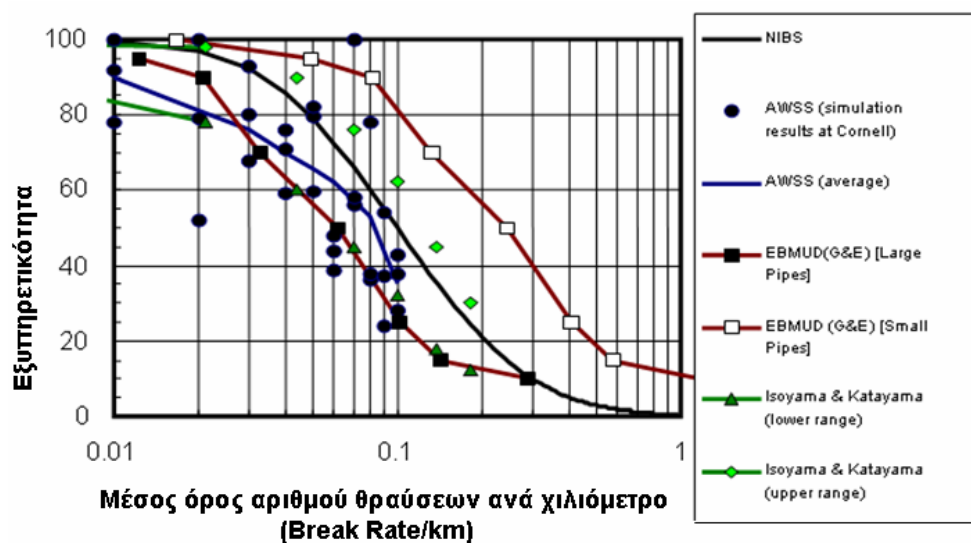
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	Ακτινοβολία	Μεγάλη	1.00
		Μεσαία	0.50
		Μικρή	0.25
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	Ακτίνα επιρροής	>=950 κάτοικοι/Ha	1.00
		200-950 κάτοικοι/Ha	0.50
		<200 κάτοικοι/Ha	0.25
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	Εναλλακτικοί τρόποι υδροληψίας	Όχι	1.00
		Μερικοί (1-3)	0.50
		Πολλοί (>4)	0

Πίνακας 5. Συμμετοχή των δεικτών ολικής αξίας των αγωγών ανά περίοδο

Αγωγοί		Περιγραφή	Περίοδος		
Συνιστώσες	Δείκτες		Κανονική	Κρίσης	Αποκατάστασης
Λειτουργία	Διάμετρος (RV1)	Με βάση τη διάμετρο του αγωγού	•	•	•
Λειτουργία	Σύστημα αυτόματου ελέγχου (RV2)	Ύπαρξη συστήματος αυτόματου ελέγχου (SCADA)	•	•	•
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	Σύνδεση με το δίκτυο πυρόσβεσης (RV3)	Με βάση τον τύπο σύνδεσης με τους κρουνοί του δικτύου πυρόσβεσης	-	•	•
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	Σύνδεση με κρίσιμες υποδομές/ κτίρια στρατηγικής σημασίας (RV4)	Με βάση τον τύπο σύνδεσης και την σπουδαιότητα χρήσης των κρίσιμων υποδομών/ κτιρίων στρατηγικής σημασίας	•	•	•
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	Ακτινοβολία (RV5)	Με βάση τη σημαντικότητα των περιοχών που εξυπηρετεί	•	-	•
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	Ακτίνα επιρροής (RV6)	Με βάση την επίπτωση στο ανθρωπογενές περιβάλλον	•	•	•
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	Εναλλακτικοί τρόποι υδροληψίας (RV7)	Με βάση το πλήθος εναλλακτικών τρόπων υδροληψίας	-	•	•

στ) Ανάλυση αξιοπιστίας

Στην περίπτωση δικτύων ύδρευσης, η ανάλυση αξιοπιστίας του δικτύου έγκειται σε μια ανάλυση εξυπηρετικότητας. Η τελευταία υπολογίζεται από το διάγραμμα του Σχήματος 2 που συνδέει τον αριθμό των θραύσεων του δικτύου ανά χιλιόμετρο με τη μείωση της εξυπηρετικότητας. Το 100 στον κατακόρυφο άξονα υποδηλώνει ότι είτε δεν υπήρχαν αστοχίες στο δίκτυο, είτε ήταν τόσο περιορισμένες ώστε δεν επηρέασαν την αρχική εξυπηρετικότητα (εξυπηρετικότητα 100%). Η ανάλυση εξυπηρετικότητας προϋποθέτει κανονικά την συνολική υδραυλική ανάλυση του δικτύου. Στα πλαίσια μιας τέτοιας πλήρους ανάλυσης είναι απαραίτητος ο ορισμός κάποιων σημείων (κόμβοι) του δικτύου ύδρευσης στους οποίους θα πραγματοποιηθεί η σύγκριση στο επίπεδο της παροχής και πίεσης, πριν και μετά το σεισμό. Η μείωση είτε της παροχής είτε της πίεσης στους προκαθορισμένους κόμβους καταδεικνύει τη μείωση της εξυπηρετικότητας του δικτύου.



Σχήμα 2. Δείκτης βλάβης που συνδέει τον μέσο όρο των θραύσεων του δικτύου με τη μετασεισμική εξυπηρετικότητα (HAZUS, 2004)

η) Απώλειες- Οικονομικές επιπτώσεις

Οι οικονομικές απώλειες διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες. Οι έμμεσες απώλειες προέρχονται από τα έσοδα που χάνονται από την υπηρεσία που διαχειρίζεται την υδροδότηση της περιοχής, από την αναστάτωση που προκαλείται στην περιοχή, από την πιθανότητα ανασφαλών συνθηκών διαβίωσης των κατοίκων, από πιθανές απώλειες εισοδημάτων επιχειρήσεων που προαπαιτείται το νερό στην παραγωγή τους κ.λ.π. Οι άμεσες οικονομικές επιπτώσεις προέρχονται από την ανακατασκευή των τμημάτων του δικτύου που υπέστησαν αστοχίες προκειμένου το δίκτυο να επανέλθει στην πριν το σεισμό κατάσταση. Οι Alexoudi et al (2007) παρουσίασαν το κόστος κατασκευής βασικών στοιχείων του δικτύου ύδρευσης μετά από συλλογή και επεξεργασία σχετικών έργων της ΕΥΑΘ (Εταιρία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης). Για την περίπτωση των αγωγών ύδρευσης το κόστος αντικατάστασης τους κυμαίνεται από 1500- 2700 ευρώ ανάλογα με το υλικό και τη διάμετρο του.

θ) Πολιτική διαχείρισης κρίσης

Η κατάρτιση «ευφυών» στρατηγικών διαχείρισης κρίσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς καθορίζει τη βελτιστοποίηση της αποκατάστασης, τη μείωση των οικονομικών απωλειών και τον καθορισμό προτεραιοτήτων αποκατάστασης με βάση την τρωτότητα των στοιχείων, την εξυπηρετικότητα και την ολική αξία του δικτύου.

Στην περίπτωση των μετασεισμικών επεμβάσεων σημαντικό ρόλο στη γρήγορη επαναφορά του συστήματος στην πριν το σεισμό κατάσταση, έχει ο προσδιορισμός των προτεραιοτήτων αποκατάστασης των αγωγών του δικτύου (Πίνακας 6).

Πίνακας 6. Προτεραιότητες αποκατάστασης αγωγών ανάλογα με τη σπουδαιότητα και το επίπεδο βλάβης

Σπουδαιότητα/ Επίπεδο βλάβης	Πρωταρχική	Σημαντική	Δευτερεύουσα
Θραύση	1η προτεραιότητα	1η προτεραιότητα	2η προτεραιότητα
Διαρροή	2η προτεραιότητα	3η προτεραιότητα	4η προτεραιότητα

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΘΕΡΜΑΪΚΟΥ

Περιγραφή – Τυπολογία

Το δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Θερμαϊκού είναι ένα αυτόνομο δίκτυο μήκους 602,88km που αποτελείται από 20 υδρογεωτρήσεις, 12 δεξαμενές και από το εξωτερικό και εσωτερικό δίκτυο αγωγών. Η ηλικία του δικτύου κυμαίνεται από 5-15 χρόνια μπορεί δηλαδή να χαρακτηριστεί ως νέο δίκτυο, καθότι οι συγκεκριμένες περιοχές άρχισαν πρόσφατα να αναπτύσσονται. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί ότι τέσσερις από τις υδρογεωτρήσεις δεν λειτουργούν ακόμη αλλά προβλέπεται να λειτουργήσουν εντός της επόμενης πενταετίας.

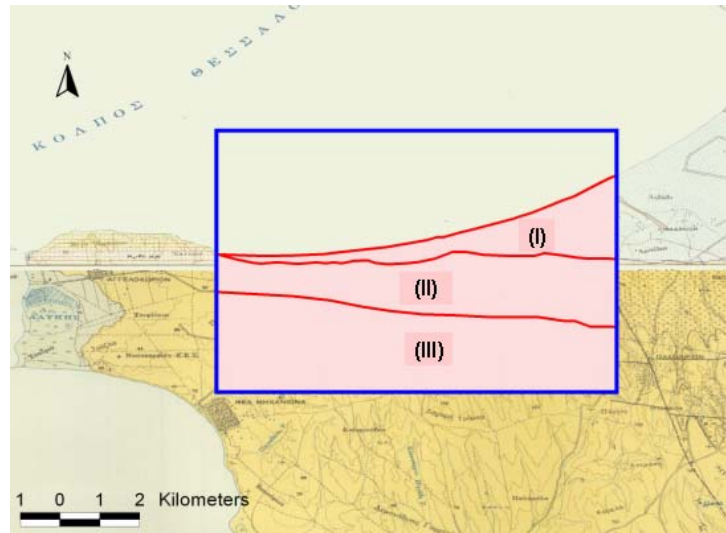
Η τυπολογία των αγωγών εξαρτάται κυρίως από το υλικό τους και το είδος σύνδεσής τους. Οι αγωγοί της περιοχής είναι τοποθετημένοι σε βάθος 2m, είναι κατασκευασμένοι από PVC, με εύκαμπτους συνδέσμους, ενώ οι διάμετροι του εσωτερικού δικτύου κυμαίνονται από 20mm - 110mm και του εξωτερικού δικτύου από 140mm - 250mm.

Σεισμική επικινδυνότητα- Ισχυρή εδαφική κίνηση

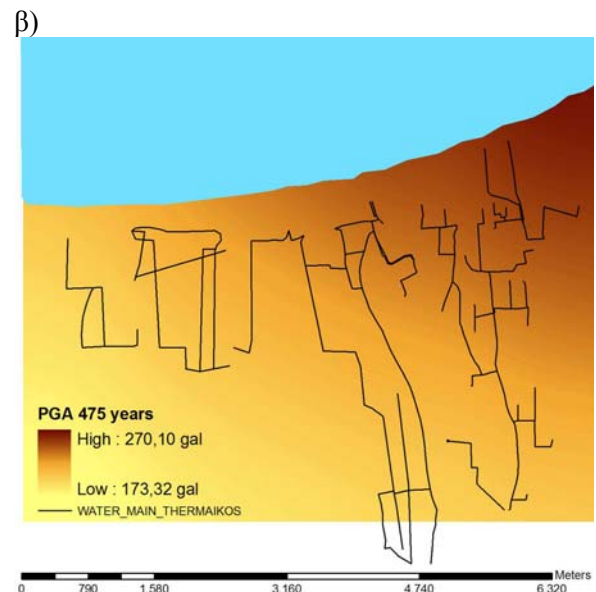
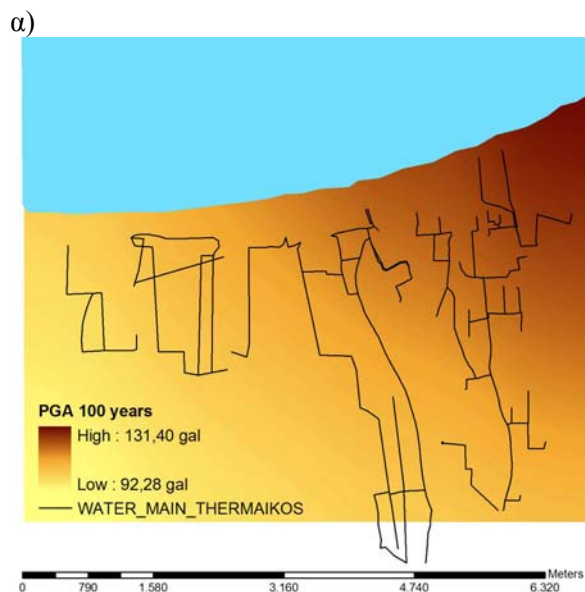
Για την περιοχή του δήμου Θερμαϊκού η κατηγοριοποίηση των εδαφών της περιοχής έγινε με βάση τα φύλλα των γεωλογικών χαρτών 1:50.000 του ΙΓΜΕ και τα διαθέσιμα γεωτεχνικά στοιχεία (Σχήμα 3). Προκειμένου να εκτιμηθούν οι μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις (PGA) και ταχύτητες (PGV) στην επιφάνεια για τη συγκεκριμένη περιοχή, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που υπολογίστηκαν πιθανολογικά για το βραχύδες υπόβαθρο με μέση περίοδο επαναφοράς 100, 475 και 950 έτη (Σχήματα 4α, β, γ) – (Πιπιλάκης και συνεργάτες, 2008). Στη συνέχεια οι τιμές αυτές ανάχθηκαν σε τιμές επιτάχυνσης και ταχύτητας στην επιφάνεια του εδάφους με τη χρήση των συντελεστών εδαφικής ενίσχυσής του Πίνακας 1.

Λαμβάνοντας υπόψη τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των εδαφών της περιοχής του δήμου Θερμαϊκού προκύπτει ότι μόνο οι περιοχές των οποίων τα εδάφη ανήκουν στην κατηγορία I

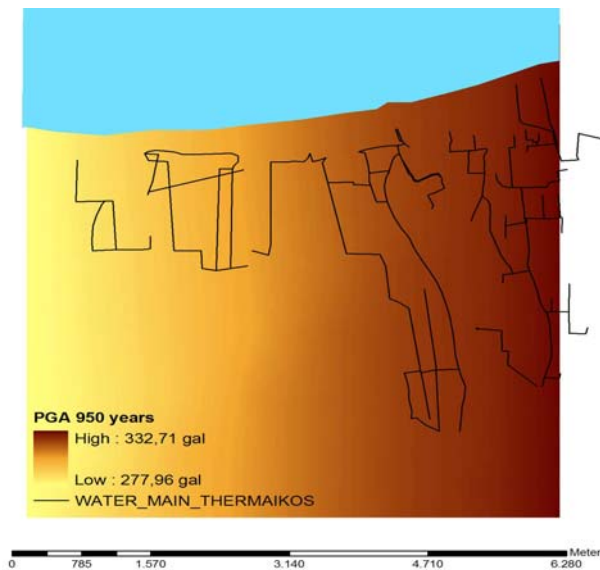
είναι επιδεκτικές σε ρευστοποίηση. Από αυτές, οι περιοχές που είναι πλησιέστερα στην ακτογραμμή, μπορούν να χαρακτηριστούν ως υψηλής επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση, ενώ οι υπόλοιπες ως μέσης επιδεκτικότητας. Αντίθετα, τα εδάφη κατηγοριών II και III είναι αρκετά δύσμητα και δεν διατρέχουν κανένα κίνδυνο.



Σχήμα 3. Κατηγοριοποίηση των εδαφικών σχηματισμών της περιοχής του δήμου Θερμαϊκού (SRM-LIFE, 2003-2007)



γ)



Σχήμα 4. Χωρική μεταβολή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης PGA (gal) στο βραχώδες υπόβαθρο για σεισμό με μέση περίοδο επαναφοράς α) 100 έτη, β) 475 έτη, γ) 950 έτη (SRM-LIFE, 2003-2007)

Αλληλεπιδράσεις

Οι αλληλεπιδράσεις με τα άλλα δίκτυα αγνοήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Καμπύλες τρωτότητας- Εκτίμηση τρωτότητας

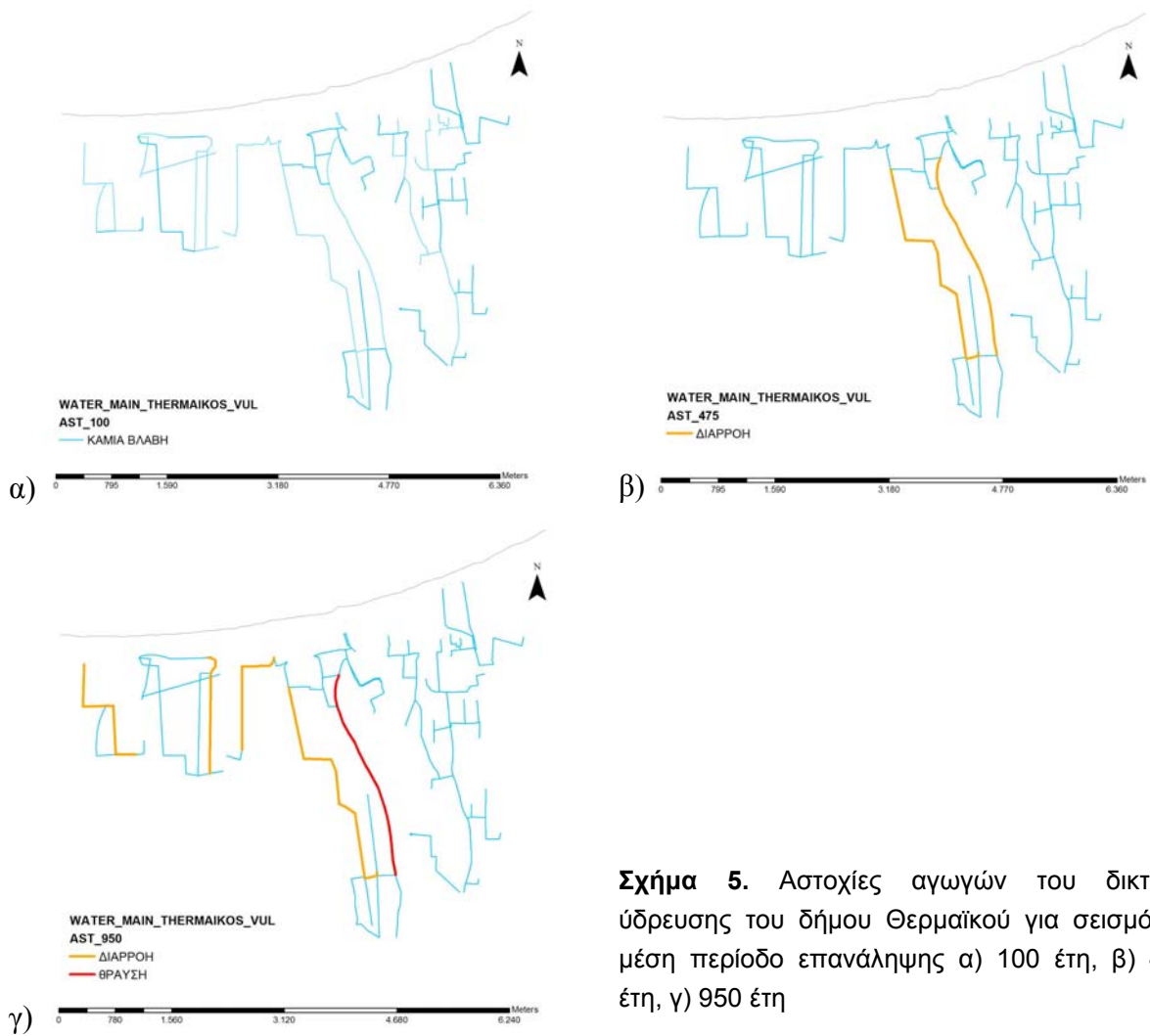
Ο υπολογισμός του ρυθμού επισκευών/km για τους αγωγούς ύδρευσης του δήμου Θερμαϊκού πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τόσο την εδαφική ταλάντωση όσο και τις μόνιμες μετακινήσεις. Οι τιμές της PGV και PGD υπολογίστηκαν για σεισμούς με μέση περίοδο επαναφοράς 100, 475 και 950 έτη. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί ότι κατά τον υπολογισμό της τρωτότητας λόγω μόνιμων εδαφικών μετακινήσεων χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη τιμή που υπολογίστηκε για την πλευρική εξάπλωση και την καθίζηση εξαιτίας της ρευστοποίησης. Στα Σχήματα 5α, β, γ παρουσιάζονται οι χάρτες τρωτότητας των αγωγών και στον Πίνακα 7 ο αναμενόμενος αριθμός αστοχιών για κάθε σεισμικό σενάριο. Με πορτοκαλί χρώμα εικονίζονται οι αναμενόμενες διαρροές και με κόκκινο οι θραύσεις.

Πίνακας 7. Αριθμός αναμενόμενων αστοχιών αγωγών του δικτύου ύδρευσης του δήμου Θερμαϊκού για τα 3 σεισμικά σενάρια

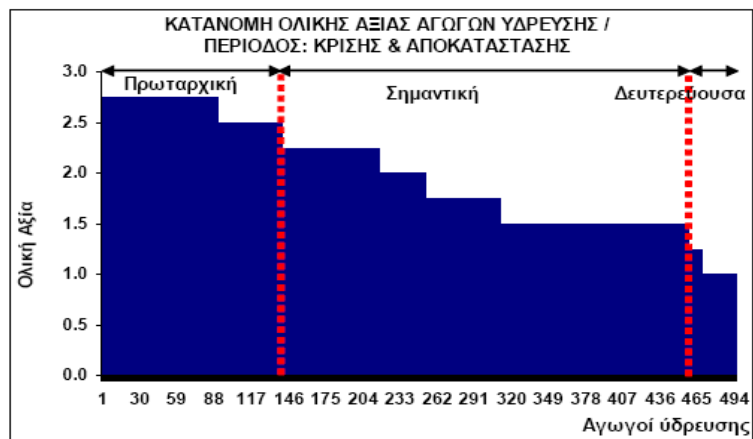
Επίπεδο Αστοχίας	Σεισμικό Σενάριο		
	Tm= 100 έτη	Tm= 475 έτη	Tm= 950 έτη
Διαρροές	0	2	1
Θραύσεις	0	0	4

Ολική αξία

Οι δείκτες που ήταν δυνατόν να εκτιμηθούν από τις πληροφορίες του καταλόγου απογραφής για τους αγωγούς του δικτύου του δήμου Θερμαϊκού είναι τέσσερις (RV1: διάμετρος, RV3: σύνδεση με το δίκτυο πυρόσβεσης, RV4: σύνδεση με κρίσιμες υποδομές, RV7: εναλλακτικοί τρόποι υδροληψίας). Τα όρια βάσει των οποίων έγινε η ταξινόμηση της σπουδαιότητάς τους, δηλαδή της «ολικής αξίας» (GV), σε δευτερεύουσα, σημαντική ή πρωταρχική και για τις 3 περιόδους, παρουσιάζονται παρακάτω μετά από σχετική στατιστική επεξεργασία (Σχήμα 6).



Σχήμα 5. Αστοχίες αγωγών του δικτύου ύδρευσης του δήμου Θεσσαλονίκης για σεισμό με μέση περίοδο επανάλυσης α) 100 έτη, β) 475 έτη, γ) 950 έτη

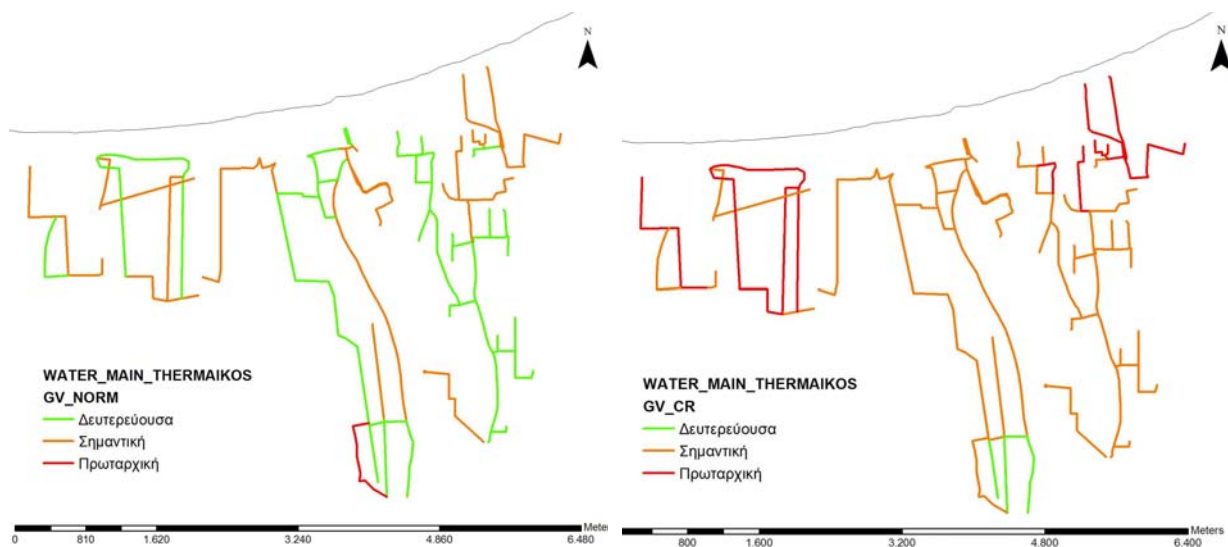


Σχήμα 6. Κατανομή της ολικής αξίας για τους αγωγούς του δικτύου ύδρευσης και προσδιορισμός του επιπέδου σπουδαιότητας (περίοδος κρίσης και αποκατάστασης).

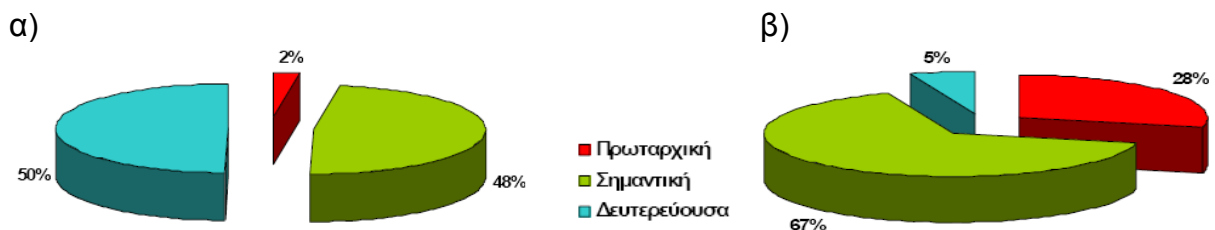
Σπουδαιότητα αγωγών ύδρευσης (κανονική περίοδος): πρωταρχική ($GV > 1.25$), σημαντική ($1.00 < GV \leq 1.25$), δευτερεύουσα ($GV \leq 1.00$).

Σπουδαιότητα αγωγών ύδρευσης (περίοδος κρίσης και αποκατάστασης): πρωταρχική ($GV > 2.25$), σημαντική ($1.25 < GV \leq 2.25$), δευτερεύουσα ($GV \leq 1.25$).

Στα Σχήματα 7α και β παρουσιάζεται χωρικά και στα Σχήματα 8α και β με την μορφή ποσοστών, η διαφοροποίηση της σπουδαιότητας των αγωγών ύδρευσης του δήμου Θερμαϊκού (πράσινο χρώμα: αγωγοί δευτερεύουσας σπουδαιότητας, πορτοκαλί- σημαντικοί και κόκκινοι- πρωταρχικής σπουδαιότητας) για τις 3 περιόδους λειτουργίας.



Σχήμα 7. Διαφοροποίηση της σπουδαιότητας για τους αγωγούς του δικτύου ύδρευσης του δήμου Θερμαϊκού για α) κανονική περίοδο λειτουργίας, β) για την περίοδο κρίσης- αποκατάστασης



Σχήμα 8. Κατανομή της σπουδαιότητας των αγωγών του δικτύου ύδρευσης του δήμου Θερμαϊκού α) Κανονική περίοδος, β) Περίοδος κρίσης και αποκατάστασης

Ανάλυση αξιοπιστίας

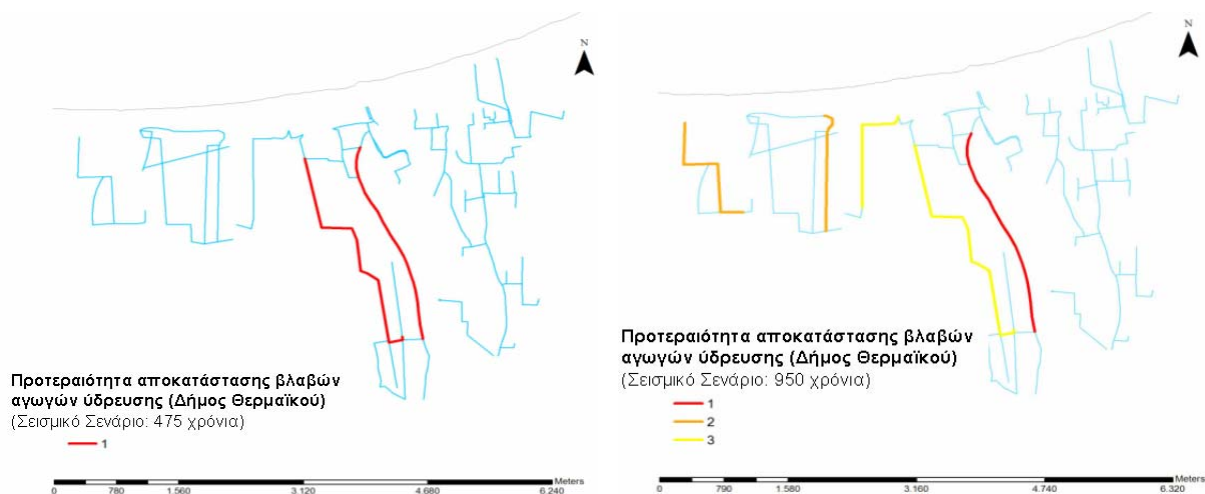
Η μείωση της εξυπηρετικότητας του δικτύου δίνεται από το συνδυασμό του Σχήματος 2 και του Πίνακα 7. Λαμβάνοντας υπόψη τον μηδενικό αριθμό θραύσεων για σεισμούς με περιόδους επανάληψης 100 και 475 έτη και τον πολύ μικρό αριθμό θραύσεων (4/602,88km) δηλαδή $RR_{aver}/km = 0.0066$ για περίοδο επανάληψης σεισμού 950 έτη, η εξυπηρετικότητα του δικτύου παραμένει αμετάβλητη.

Απώλειες- Οικονομικές επιπτώσεις

Οι έμμεσες οικονομικές απώλειες δεν δύνανται να υπολογιστούν στα πλαίσια της παρούσας έρευνας. Ωστόσο, είναι αναγκαίο να επισημανθεί ότι το κόστος της επισκευής των αγωγών (άμεσο κόστος), είτε από διαρροή, είτε από θραύση, είναι παρόμοιο, καθώς οι σύνδρομες εργασίες είναι αυτές που επιφέρουν τα μεγαλύτερα κόστη αποκατάστασης, και όχι το ίδιο το υλικό. Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω παρατήρηση καθώς και την εκτίμηση ότι ένα μέσο κόστος αγωγού PVC, μικρής διαμέτρου είναι γύρω στα 1.800 €, μπορούμε να υπολογίσουμε τις άμεσες οικονομικές απώλειες για το σεισμικό σενάριο των 475 χρόνων (3.600 €) και των 950 ετών (9.000 €).

Πολιτική διαχείρισης κρίσης

Η διαχείριση κρίσης παρουσιάζεται με την μορφή προτεραιοτήτων αποκατάστασης των αστοχιών των αγωγών του δικτύου για το σεισμικό σενάριο των 475 και των 950 χρόνων (Σχήμα 9α, β). Η λογική με την οποία καταρτίστηκαν οι προτεραιότητες παρουσιάστηκε στον Πίνακα 6.



Σχήμα 9. Προτεραιότητες αποκατάστασης των βλαβών των αγωγών του δικτύου ύδρευσης του δήμου Θερμαϊκού για σεισμό με μέση περίοδο επανάλιψης α) 475 ετών, β) 950 ετών

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας παρουσιάστηκε αναλυτικά μια μεθοδολογία σεισμικής διακινδύνευσης ενός δικτύου ύδρευσης. Προκειμένου να καταστεί φανερή η αποτελεσματικότητα και η αμεσότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε εφαρμογή στο δίκτυο ύδρευσης του δήμου Θερμαϊκού όπου και υπολογίστηκε η τρωτότητα του δικτύου, η «ολική αξία» του, οι άμεσες οικονομικές απώλειες καθώς και η μείωση της εξυπηρετικότητάς του. Επειδή οι αναμενόμενες αστοχίες του δικτύου είναι πολύ μικρές ακόμη και για το σενάριο των 950 ετών, ιδιαίτερα μικρές είναι και οι αναμενόμενες οικονομικές απώλειες, ενώ δεν παρουσιάζεται γενικότερη μείωση της εξυπηρετικότητας του δικτύου. Με βάση τις συγκεκριμένες παρατηρήσεις δεν είναι αναγκαίο να προβούμε σε μέτρα προσεισμικών επεμβάσεων παρά μόνο μετασεισμικών επιδιορθώσεων και ορθολογικής

κατανομής του υφιστάμενου προσωπικού συντήρησης του δήμου, προκειμένου εντός 8- 10 ωρών το δίκτυο να επανέλθει στην πριν το σεισμό κατάσταση.

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
- Alexoudi M, Anastasiadis A, Pitilakis K.D (2007) "Seismic Risk Assessment of the Water System of Thessaloniki" *Proceeding of the 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Thessaloniki, Greece, June 25- 28 June, Paper Number: 1632
- 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".
- Ishihara K (1993) "Liquefaction and flow failure during earthquakes" Thirty-third Rankine Lecture, *Geotechnique*, Vol. 43, No. 3, pp. 351-415
- O'Rourke, M.J. & Ayala, G. (1993). "Pipeline damage due to wave propagation." *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE. 119 (9), 1490-1498.
- Pitilakis K., Alexoudi A., Argyroudis S., Monge O., Martin C., (2005), "Chapter 9: Vulnerability assessment of lifelines", C.S. Oliveira, A. Roca and X. Goula (eds). *Assessing and Managing Earthquake Risk. Geo-Scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk mitigation: Developments, Tools and Techniques*, Springer Publications.
- Pitilakis K, Alexoudi M., Argyroudis S., Monge O., Martin C. (2006) "Earthquake assessment of Lifelines" *Special Issue, Bulletin of Earthquake Engineering*. DOI.10.1007/s10518-006-9022-1
- Pitilakis K., Gazepis C. and Anastasiadis A., (2004), "Design response spectra and soil classification for seismic code provisions", 13th WCEE, Vancouver, Canada.
- Πιπιλάκης Κ., Αναστασιάδης Α., Αργυρούδης Σ., Κακδέρη Κ., Αλεξούδη Μ. (2008) «Αποτίμηση Τρωτότητας και Διαχείριση Σεισμικής Διακινδύνευσης Δικτύων Κοινής Ωφέλειας, Υποδομών και Κρίσιμων Υπηρεσιών. Εφαρμογή στην Μητροπολιτική

Θεσσαλονίκη» 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνα, Ελλάδα, Νο. 1939

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).