



---

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

---

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα :

**«ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ»**

**ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ ΖΑΧ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

Επόπτης : **Μανόλης Βουγιούκας**  
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός  
Λέκτορας  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛ. ΜΗΧ. ΕΜΠ  
manolis@central.ntua.gr

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2012





---

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

---

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα :

**«ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ»**

**ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ ΖΑΧ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

Επόπτης : **Μανόλης Βουγιούκας**  
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός  
Λέκτορας  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛ. ΜΗΧ. ΕΜΠ  
manolis@central.ntua.gr

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2012



## Πρόλογος

Οι γραμμές ζωής (Γ.Ζ.) αποτελούν ζωτικό τμήμα των κοινωνιών καθώς παρέχουν σε αυτές το απαραίτητο καθαρό νερό, την αναγκαία επεξεργασία αποβλήτων (λυμάτων κ.ά.), την δυνατότητα μεταφοράς αγαθών και προσώπων αλλά και υπηρεσίες ηλεκτροδότησης και τηλεπικοινωνιών. Ο εξέχων ρόλος τους φαίνεται ακόμα περισσότερο στις σύγχρονες κοινωνίες, όπου οι συνθήκες διαβίωσης, οι οικονομικές, κοινωνικές και πολιτιστικές δραστηριότητες εξαρτώνται πλήρως από ένα σύνθετο δίκτυο γραμμών ζωής. Συνεπώς, εύρυθμη λειτουργία τους είναι κεφαλαιώδους σημασίας.

Η εκτεταμένη αστικοποίηση των τελευταίων δεκαετιών είχε ως αποτέλεσμα οι Γραμμές Ζωής να γίνουν ιδιαίτερα εκτενείς και σύνθετες, αποτελούμενες τόσο από παλαιές κατασκευές όσο και από νεότερες, συχνά όμως χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό. Παράλληλα, ο σεισμός είναι ένα πολύ συχνό φαινόμενο, ιδιαίτερα στη χώρα μας, το οποίο επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την λειτουργία τους. Έτσι, η λειτουργικότητα των Γραμμών Ζωής είναι σημαντική τόσο πριν όσο και μετά από ένα κίνδυνο, φυσικό (π.χ. σεισμός) ή ανθρωπογενή (π.χ. πρόκληση έκρηξης). Αυτό γιατί ο ρόλος τους είναι ζωτικής σημασίας για τις επιχειρήσεις έρευνας, διάσωσης και υποστήριξης των πληγεισών περιοχών, αλλά και για την κοινωνικοοικονομική ζωή των περιοχών αυτών. Επίσης, οι γραμμές ζωής αποτελούνται από γραμμικά και σημειακά στοιχεία και εκτείνονται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις από τους διάφορους κινδύνους να μεταβάλλεται έντονα από θέση σε θέση (π.χ. το σεισμικό φορτίο που δέχεται μια υπέργεια κατασκευή είναι εντελώς διαφορετικό από εκείνο μιας υπόγειας).

Υπό το βάρος όλων των παραπάνω, αποτελεί πλέον βασική προτεραιότητα η σεισμική «θωράκιση» των Γραμμών Ζωής αστικών, βιομηχανικών, εμπορικών και τουριστικών περιοχών λόγω των σημαντικών οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων που μπορεί να έχει μια πιθανή αστοχία τους κατά την διάρκεια ενός ισχυρού σεισμού. Αυτό είναι δυνατό να συμβεί μέσα από τον έλεγχο, την αποτίμηση της συμπεριφοράς τους (προσεισμικά και μετασεισμικά) καθώς και τον καθορισμό προηγμένων μεθόδων διαχείρισης της σεισμικής διακινδύνευσης κάτω από την επίδραση καταστροφικών γεγονότων (π.χ. σεισμός). Συγκεκριμένα, η απόκριση και η λειτουργικότητά τους, για ένα δεδομένο επίπεδο σεισμικής διέγερσης, εξαρτάται από την τρωτότητα των στοιχείων που τα συνθέτουν και από την αλληλεξάρτησή τους, (εσωτερική μεταξύ των συνιστωσών του ίδιου δικτύου και εξωτερική μεταξύ των συνιστωσών διαφορετικών δικτύων), καθώς και με τον αστικό ιστό, σε τρεις περιόδους (προ, κατά την διάρκεια και μετά το σεισμικό γεγονός).

Ο κλάδος που έρχεται να καλύψει τις παραπάνω απαιτήσεις ονομάζεται «Σεισμική Μηχανική», ο οποίος έχοντας ως στόχο την αποτίμηση (assessment) και διαχείριση (management) της σεισμικής διακινδύνευσης (seismic risk) των Γραμμών Ζωής αποτελεί επίκαιρο, αλλά και στρατηγικής σημασίας κλάδο που βρίσκεται σε διαρκή εξέλιξη. Η εμπειρία από παλαιότερους καταστροφικούς σεισμούς απέδειξε την σημαντικότητα των Γραμμών Ζωής, ενώ τα εμπειρικά δεδομένα από τις βλάβες

τόσο κατά την διάρκεια όσο και μετά τον σεισμό αποτελούν πηγή γνώσεως για την «Σεισμική Μηχανική». Παράλληλα, η ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) προσέφερε ένα εξαιρετο εργαλείο για την εφαρμογή καινοτόμων και αποδοτικών τεχνικών με αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να έχουν προταθεί αρκετές μεθοδολογίες για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης Γραμμών Ζωής σε αστικό περιβάλλον. Επομένως, η «Σεισμική Μηχανική» έχει συμβάλλει αποφασιστικά στον καθορισμό στρατηγικών επεμβάσεων που αφορούν στην προ – σεισμική ενίσχυση και την μετά – σεισμική αποκατάσταση των Γραμμών Ζωής.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους εκείνους που συνέβαλαν στην περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, και συγκεκριμένα :

Τον επιβλέποντα **Εμμ. Βουγιούκα** (Δρ Πολιτικό Μηχανικό – Λέκτορα στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.) για την επιστημονική καθοδήγηση.

Την **οικογένειά μου** για την υλική και ηθική στήριξη στα χρόνια των σπουδών μου.

Τους **φίλους μου** για την υποστήριξή τους και ειδικά τους **Δημητρακοπούλου Κ. & Μανταδάκη Β.** που η ενασχόλησή τους με το αντικείμενο υπήρξε «οδηγός» για μένα και η βοήθειά τους στην εκπόνηση της παρούσης εργασίας ήταν σημαντική.

---

**Σταματάκης Ζαχ. Αντώνιος**  
Αθήνα, Μάρτιος 2012

## Περίληψη

Η σεισμική τρωτότητα αποτελεί καίριας σημασίας τμήμα της αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης καθώς και της χάραξης στρατηγικής πολιτικής μείωσης των επιπτώσεων αστοχιών των Γραμμών Ζωής μετά από ισχυρό σεισμό. Η σεισμική τρωτότητα συχνά εκφράζεται μέσω καμπυλών τρωτότητας, οι οποίες εκφράζουν την πιθανότητα υπέρβασης ενός επιπέδου βλάβης σε συνάρτηση με τον σεισμικό κίνδυνο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρήθηκε η ανάδειξη της δημιουργίας των καμπυλών τρωτότητας συνιστωσών που απαρτίζουν δύο από τις σημαντικότερες Γραμμές Ζωής σε αστικό περιβάλλον : το **δίκτυο ύδρευσης** και το **δίκτυο αποχέτευσης**. Αρχικά, γίνεται διάκριση των συνιστωσών που απαρτίζουν τα παραπάνω δίκτυα αλλά και αναφορά στις διαφορετικές τυπολογίες που μπορεί να βρεθούν. Αναγκαίο βήμα καθώς οι Γραμμές Ζωής γενικώς αποτελούνται από στοιχεία με εντελώς διαφορετικές αποκρίσεις στον ίδιο σεισμό. Στη συνέχεια, αναλύονται οι σεισμικοί κίνδυνοι που απειλούν τα δίκτυα κοινής ωφέλειας και αποτελούν τον “οριζόντιο άξονα” στο διάγραμμα των καμπυλών τρωτότητας. Παραθέτονται οι μεθοδολογίες υπολογισμού της έντασης του σεισμού (σεισμικά σενάρια & πιθανολογική) καθώς επίσης και οι δείκτες που εισάγονται στις καμπύλες τρωτότητας κάθε συνιστώσας των δικτύων. Οι δείκτες αυτοί προκύπτουν από την μικροζωνική μελέτη στην τοποθεσία μελέτης. Αυτό γίνεται διότι η εκάστοτε συνιστώσα περιγράφεται καλύτερα μέσω κατάλληλου δείκτη έντασης του σεισμού. Επίσης, γίνεται εκτενής αναφορά στις διαθέσιμες μεθόδους κατασκευής των καμπυλών τρωτότητας. Αναφέρονται οι τρόποι με τους οποίους υπολογίζεται η πιθανότητα αστοχίας αλλά και τα διάφορα επίπεδα βλάβης τα οποία ενδεχομένως να εμφανιστούν σε κατασκευές μετά από ένα σεισμό. Τα διάφορα επίπεδα βλάβης εισέρχονται επίσης στις καμπύλες τρωτότητας. Τέλος, παραθέτονται διαθέσιμες καμπύλες τρωτότητας κάθε συνιστώσας, οι οποίες έχουν προκύψει με την μέχρι τώρα γνώση, έρευνα και εμπειρία. Ακόμη, γίνεται διερεύνηση ποιες από αυτές “περιγράφουν” καλύτερα τις σεισμικές απώλειες στον ελλαδικό χώρο. Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στα συμπεράσματα της εργασίας. Η παρούσα εργασία λοιπόν παρουσιάζει όλο το απαραίτητο υπόβαθρο γύρω από τα θέματα τρωτότητας των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης, ώστε να συμβάλει στην εξέλιξη των μεθόδων που περιγράφονται και να γίνει κατάλληλη προσαρμογή τους για να ανταποκρίνονται στα ελληνικά δεδομένα.

Η δομή της παρούσας εργασίας αποτελείται από τα εξής κεφάλαια :

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται εισαγωγή του αντικείμενου μέσω του ορισμού των Γραμμών Ζωής και των χαρακτηριστικών τους, ενώ αναδεικνύεται η ανάγκη της αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης μέσω της αναφοράς των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές και σε οικονομική αξία από σεισμούς του παρελθόντος. Τέλος, αναλύεται η επιστήμη της Σεισμικής Μηχανικής που ασχολείται με το αντικείμενο της ανάδειξης της διακινδύνευσης και παρατίθενται οι πιο πρόσφατες μεθοδολογίες της αποτίμησής της.

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται η ανάδειξη των στοιχείων που αποτελούν τα δίκτυα ύδρευσης και αποχέτευσης, καθώς και η τυπολογία αυτών, δηλαδή τα χαρακτηριστικά που μπορεί να διαφέρουν ανάμεσα σε ίδια στοιχεία (π.χ. το υλικό

κατασκευής των υπόγειων αγωγών). Τέλος, γίνεται εκτενής αναφορά στο υπάρχων δίκτυο ύδρευσης και αποχέτευσης της πόλης των Αθηνών.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται ανάλυση των σεισμικών κινδύνων που απειλούν τα δίκτυα ύδρευσης και αποχέτευσης καθώς επίσης και του μηχανισμού που προκαλεί την αστοχία. Δίνονται οι δείκτες που περιγράφουν τον σεισμό (π.χ. PGA, PGV, PGD) και γίνεται αντιστοίχιση του καταλληλότερου δείκτη σε κάθε συνιστώσα των δικτύων.

Στο **Κεφάλαιο 4** δίνεται εκτενής ανάλυση του υπολογισμού της πιθανότητας η κατασκευή να ξεπεράσει ένα επίπεδο βλάβης. περιγράφονται οι διαθέσιμες μεθοδολογίες δημιουργίας καμπυλών τρωτότητας, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μιας και ορίζονται λεπτομερώς τα επίπεδα βλάβης κάθε συνιστώσας των μελετώμενων δικτύων.

Στο **Κεφάλαιο 5** δίνονται οι διαθέσιμες καμπύλες τρωτότητας που υπάρχουν στη διαθέσιμη βιβλιογραφία για κάθε μία συνιστώσα. Επίσης, γίνεται αναφορά στην εφαρμογή των υφιστάμενων καμπυλών σε ελληνικά και ξένα φαινόμενα σεισμών και στην ανάδειξη των “πλέον” κατάλληλων για τα ελληνικά δεδομένα.

Στο **Κεφάλαιο 6** δίνονται τα συμπεράσματα της εργασίας.



---

## Abstract

Seismic vulnerability is a key part of seismic risk assessment and mitigation strategy. It is often expressed through vulnerability curves or fragility curves, which express the probability of exceeding a level of damage according to the seismic risk. In this paper was attempted to highlight the creation of fragility curves of components that make up two of the most important lifeline in an urban environment : water supply system and waste – water system. First, becomes a distinguish among the components that make up these networks and a reference of different typologies that can be found is given. Necessary step as the lifeline generally consisting of elements with very different responses to the same earthquake. Then, seismic risks that threatens lifelines are thoroughly analyzed. Those risks are being introduced in the diagram of vulnerability curves. Methodologies for calculating the intensity of the earthquake (seismic scenarios and probabilistic scenarios) are presented as well as the seismic indicators of vulnerability curves of each component of the networks. These indicators are derived from the microzonation study. This is because each component is best described through an appropriate indicator of intensity of the earthquake. Also, a comprehensive reference is given of the available construction methods of fragility curves. Description of the ways in which probability of failure can be calculated but also the different damage states that may occur in structures after an earthquake. The various damage states also enter into the fragility curves. Finally, fragility curves available are listed for each component, which have arisen so far using existing knowledge, research and experience. Also, it is investigated which of these "describe" best earthquake losses in Greece. This paper therefore presents all the necessary background around the themes of vulnerability of water supply system and waste – water system in order to contribute to the development of the methods described and made the appropriate adjustment to meet the Greek data.

The structure of this paper consists of the following chapters:

**Chapter 1** gives an introduction of the object by defining lifeline and their characteristics and highlighting the need for assessing seismic risk by mentioning the loss of human lives and economic value of past earthquakes. Finally, it discusses the science of Earthquake Engineering, which is focused on the emergence of seismic risk and a list of the most recent seismic risk assessment methodologies is made.

**Chapter 2** highlights the components of water supply system and waste – water system and gives all the various characteristics that may differ between the same elements (e.g. material of underground pipelines). Finally, a comprehensive reference to the existing water supply system and waste – water system in the city of Athens and in Greece in general.

**Chapter 3** gives an analysis of seismic risk that threaten water supply system and waste – water system as well as the mechanism causing the failure. Indicators that describe the earthquake (e.g. PGA, PGV, PGD) are being shown and matching the most suitable index to each component of the networks.

**Chapter 4** is a thorough analysis of the calculation of the potential construction to overcome a certain damage state. Also, are described the methods available to create fragility curves, the advantages and disadvantages of each one method and are defined in detail the damage states of each component of the networks.

**Chapter 5** displays the available fragility curves that exist in the available literature for each component. Also refer to the application of existing curves in Greek and foreign seismic phenomena and the emergence of the "most appropriate" for the Greek data.

**Chapter 6** gives conclusions of the present paper.

## Περιεχόμενα

Πρόλογος .....	v
Περίληψη .....	vii
Abstract.....	ix
Κατάλογος Σχημάτων.....	xiv
Κατάλογος Πινάκων.....	xvii
<b>1. Εισαγωγή .....</b>	<b>19</b>
1.1 Γραμμές Ζωής (Lifelines) .....	19
1.1.1. Ορισμός των Γραμμών Ζωής .....	19
1.1.2. Βασικά χαρακτηριστικά των Γραμμών Ζωής.....	19
1.1.3. Επιπτώσεις αστοχίας των Γραμμών Ζωής .....	19
1.1.4. Γραμμές Ζωής και σεισμικές δράσεις.....	20
1.2 Αστοχίες Γραμμών Ζωής από σεισμούς.....	22
1.2.1 Διεθνής εμπειρία .....	22
1.2.2 Ελληνική εμπειρία .....	26
1.2.3 Συμπεράσματα.....	27
1.3 Η Σεισμική Μηχανική των Γραμμών Ζωής.....	28
1.3.1 Σεισμική Διακινδύνευση (seismic risk) .....	29
1.3.2 Σεισμικός Κίνδυνος (seismic hazard).....	30
1.3.3 Τρωτότητα (vulnerability) .....	32
1.4 Γενική Μεθοδολογία Αποτίμησης της Σεισμικής Διακινδύνευσης .....	33
1.5 Μελέτες Αποτίμησης της Σεισμικής Διακινδύνευσης .....	36
1.6 Αβεβαιότητες Μεθοδολογιών .....	40
<b>2. Συνιστώσες Δικτύων Ύδρευσης – Αποχέτευσης .....</b>	<b>41</b>
2.1 Εισαγωγή.....	41
2.2 Δίκτυο Ύδρευσης.....	41
2.2.1 Πηγή υδροληψίας.....	42
2.2.2 Αγωγοί (εσωτερικού & εξωτερικού υδραγωγείου).....	42
2.2.3 Κανάλια.....	43
2.2.4 Σήραγγες .....	43
2.2.5 Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Ύδατος .....	43
2.2.6 Αντλιοστάσια .....	45
2.2.7 Δεξαμενές .....	45
2.2.8 Βαλβίδες & Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου (SCADA).....	46
2.2.9 Το Δίκτυο Ύδρευσης της Ελλάδας.....	47

2.2.10	Δίκτυο Ύδρευσης Αττική .....	48
2.3	Δίκτυο Αποχέτευσης .....	49
2.3.1	Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων .....	49
2.3.2	Αντλιοστάσια .....	50
2.3.3	Αγωγοί.....	50
2.3.4	Σήραγγες .....	51
2.3.5	Βαλβίδες & Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου (SCADA).....	51
2.3.6	Το Δίκτυο Αποχέτευσης της Ελλάδας .....	52
2.3.7	Το Δίκτυο Αποχέτευσης της Αττικής .....	53
<b>3.</b>	<b>Σεισμικοί Κίνδυνοι .....</b>	<b>57</b>
3.1	Εισαγωγή.....	57
3.2	Μικροζωνική Μελέτη.....	57
3.3	Σεισμικοί Κίνδυνοι.....	59
3.3.1	Εδαφική Ταλάντωση .....	59
3.3.2	Ρευστοποίηση Εδάφους .....	60
3.3.3	Κατολίσθηση .....	60
3.3.4	Μετακίνηση Ρήγματος.....	63
3.4	Δείκτες Έντασης Σεισμού .....	63
3.4.1	Συνιστώσες Δικτύου Ύδρευσης.....	64
3.4.2	Συνιστώσες Δικτύου Αποχέτευσης .....	65
<b>4.</b>	<b>Προσδιορισμός Τρωτότητας .....</b>	<b>68</b>
4.1	Εισαγωγή.....	68
4.2	Υπολογισμός Πιθανότητας «Αστοχίας» .....	71
4.3	Μέθοδοι Δημιουργίας Καμπυλών Τρωτότητας.....	73
4.3.1	Προσεγγίσεις κρίσης.....	73
4.3.2	Εμπειρικές Προσεγγίσεις .....	74
4.3.3	Αναλυτικές Προσεγγίσεις .....	74
4.3.4	Υβριδικές Προσεγγίσεις .....	76
4.4	Επίπεδα Βλάβης Συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης .....	78
4.4.1	Πηγές Υδροληψίας (γεωτρήσεις).....	78
4.4.2	Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Ύδατος .....	79
4.4.3	Αντλιοστάσια .....	81
4.4.4	Δεξαμενές .....	83
4.4.5	Κανάλια.....	85
4.4.6	Αγωγοί.....	88

---

4.4.7	Σήραγγες .....	93
4.5	Επίπεδα Βλάβης Συνιστωσών Δικτύου Αποχέτευσης.....	93
4.5.1	Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων .....	93
4.5.2	Αντλιοστάσια .....	95
4.5.3	Αγωγοί.....	96
4.5.4	Σήραγγες .....	96
<b>5.</b>	<b>Καμπύλες Τρωτότητας.....</b>	<b>97</b>
5.1	Υφιστάμενες Καμπύλες Τρωτότητας Συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης .....	97
5.2	Υφιστάμενες Καμπύλες Τρωτότητας Συνιστωσών Δικτύου Αποχέτευσης.	122
5.3	Επικύρωση με βάση σύγχρονους σεισμούς .....	127
5.3.1	Düzce.....	128
5.3.2	Λευκάδα.....	137
<b>6.</b>	<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>143</b>
	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>145</b>

## Κατάλογος Σχημάτων

<b>Σχήμα 1.1</b> – Τύποι Ρηγμάτων ( Πηγή : [20] ).....	21
<b>Σχήμα 1.2</b> – Μορφές κατολισθήσεων ( Πηγή : [20] ).....	21
<b>Σχήμα 1.3</b> – Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας ( Πηγή : ΕΑΚ 2000).....	30
<b>Σχήμα 1.4</b> – Μέση εκτιμήτρια Διακινδύνευσης στον Ελλαδικό χώρο ( Ομάδα εργασίας Ι.2 (ΤΕΕ, 2002)) ( Πηγή : [31] ).....	31
<b>Σχήμα 1.5</b> – Απεικόνιση της σχέσης «Σεισμική Διέγερση – Βλάβη» ( Πηγή: [24] ).....	32
<b>Σχήμα 1.6</b> – Βήματα αποτίμησης και αντιμετώπισης σεισμικών απωλειών ( Πηγή : [31] ).....	34
<b>Σχήμα 1.7</b> – Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας HAZUS 2004 ( Πηγή : [32] ).....	37
<b>Σχήμα 1.8</b> – Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας SRM – LIFE, 2003 – 2007 ( Πηγή : [32] ).....	38
<b>Σχήμα 1.9</b> – Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας Syner – G, 2009 – 2012 ( Πηγή : [35] ).....	39
<b>Σχήμα 2.1</b> – Συνιστώσες Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] ).....	42
<b>Σχήμα 2.2</b> – Τυπικές διατομές καναλιών μεταφοράς ύδατος ( Πηγή : [4] ).....	44
<b>Σχήμα 2.3</b> – Συνιστώσες Δικτύου Αποχέτευσης ( Πηγή : [1] ).....	49
<b>Σχήμα 3.1</b> – Καμπύλη σεισμικού κινδύνου ( Πηγή : [4] ).....	58
<b>Σχήμα 3.2</b> – Μορφές αστοχίας αγωγών, ως αποτέλεσμα ρευστοποίησης του εδάφους ( Πηγή : [1] ).....	61
<b>Σχήμα 3.3</b> – Μορφές αστοχίας αγωγών, ως αποτέλεσμα κατολίσθησης ( Πηγή : [1] ).....	62
<b>Σχήμα 3.4</b> – Μορφές αστοχίας αγωγών, ως αποτέλεσμα μετακίνησης ρήγματος ( Πηγή : [1] ) .....	63
<b>Σχήμα 4.1</b> – Απεικόνιση της σχέσης «Σεισμική Διέγερση – Βλάβη» ( Πηγή: [24] ).....	68
<b>Σχήμα 4.2</b> – Γενική μορφή των σχέσεων τρωτότητας για υπόγειους αγωγούς ( Πηγή: [32] ) .....	69
<b>Σχήμα 4.3</b> – Γενική μορφή των σχέσεων τρωτότητας για υπέργειες κυλινδρικές δεξαμενές ( Πηγή: [32] ) .....	70
<b>Σχήμα 4.4</b> – Ποιοτική μορφή καμπύλων τρωτότητας (α) για επαρκώς κατανοητά ή εύθραυστα συστήματα και (β) μη επαρκώς κατανοητά ή ελαστικά συστήματα ( Πηγή : [18] )...68	68
<b>Σχήμα 4.5</b> – Τυπική Τομή Δεξαμενής από Σκυρόδεμα ( Πηγή : [10] ) .....	86
<b>Σχήμα 4.6</b> – Μορφές αστοχίας διακεκομμένων αγωγών υπό εδαφική ταλάντωση (PGV) ( Πηγή : [1] ) .....	91
<b>Σχήμα 4.7</b> – Μορφές αστοχίας ελατών αγωγών υπό εδαφική ταλάντωση (PGV) ( Πηγή : [1] ) .....	92
<b>Σχήμα 5.1</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Πηγής Υδροληψίας” (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] ) .....	107
<b>Σχήμα 5.2</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Πηγής Υδροληψίας” (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] ) .....	107
<b>Σχήμα 5.3</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκατάστασης Επεξεργασίας Ύδατος” (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] ) .....	105
<b>Σχήμα 5.4</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Αντλιοστασίου” (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] ).....	109
<b>Σχήμα 5.5</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Αντλιοστασίου” (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] ).....	109
<b>Σχήμα 5.6</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, επίγειων, από Ω.Σ., υπό PGA ( Πηγή : [1] ) .....	111
<b>Σχήμα 5.7</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, επίγειων, από Ω.Σ., υπό PGD ( Πηγή : [1] ) .....	112

<b>Σχήμα 5.8</b> – Καμπύλη τρωτότητας “Αγωγών”, Katayama et al., 1975 ( Πηγή : [32] ).....	112
<b>Σχήμα 5.9</b> – Καμπύλη τρωτότητας “Αγωγών”, Eguchi, 1983, 1991 ( Πηγή : [32] ).....	113
<b>Σχήμα 5.10</b> – Καμπύλη τρωτότητας “Αγωγών”, O'Rourke & Ayala, 1993 ( Πηγή : [32] ).....	113
<b>Σχήμα 5.11</b> – Καμπύλη τρωτότητας “Αγωγών”, Porter et al., 1991( Πηγή : [32] ).....	115
<b>Σχήμα 5.12</b> – Καμπύλη τρωτότητας “Αγωγών”, Honegger & Eguchi, 1992 ( Πηγή : [32] )....	115
<b>Σχήμα 5.13</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, ολομέτωπης διάνοιξης, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] )... ..	117
<b>Σχήμα 5.14</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, cut & cover, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] )... ..	118
<b>Σχήμα 5.15</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, ολομέτωπης διάνοιξης και cut & cover, υπό PGD (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] ).....	118
<b>Σχήμα 5.16</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, για κακές έως μέτριες τεχνικές κατασκευής, σε συνθήκες βράχου, υπό PGA (ALA, 2002) ( Πηγή : [32] )....	119
<b>Σχήμα 5.17</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, για καλές τεχνικές κατασκευής, σε συνθήκες βράχου, υπό PGA (ALA, 2002) ( Πηγή : [32] ).....	119
<b>Σχήμα 5.18</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, για κακές έως μέτριες τεχνικές κατασκευής και σε αλλούβια, ή cut & cover, υπό PGA (ALA, 2002) ( Πηγή : [32] ).....	120
<b>Σχήμα 5.19</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, για καλές τεχνικές κατασκευής και σε αλλούβια, ή cut & cover, υπό PGA (ALA, 2002) ( Πηγή : [32] ).....	120
<b>Σχήμα 5.20</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, σε αλλούβια, για κυκλική διατομή (Αργυρούδης & συνεργάτες, 2006) ( Πηγή : [32] ).....	121
<b>Σχήμα 5.21</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, σε αλλούβια, για ορθογωνική διατομή (Αργυρούδης & συνεργάτες, 2006) ( Πηγή : [32] ).....	121
<b>Σχήμα 5.22</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων”, μεσαίου μεγέθους, με αγκυρωμένα εξαρτήματα, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] ).....	125
<b>Σχήμα 5.23</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων”, μεσαίου μεγέθους, χωρίς αγκυρωμένα εξαρτήματα, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] ).....	125
<b>Σχήμα 5.24</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων”, μεγάλου μεγέθους, με αγκυρωμένα εξαρτήματα, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] ).....	126
<b>Σχήμα 5.25</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων”, μεγάλου μεγέθους, χωρίς αγκυρωμένα εξαρτήματα, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] ) .....	126
<b>Σχήμα 5.26</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων”, μικρού μεγέθους, με αγκυρωμένα εξαρτήματα, υπό PGA (Pitilakis et al.) ( Πηγή : [32] ) .....	126
<b>Σχήμα 5.27</b> – Τοποθεσία των πόλεων Λευκάδα & Düzce ( Πηγή : [1] )...124	
<b>Σχήμα 5.28</b> – Θέσεις διαθέσιμων γεωτρήσεων και δοκιμών μικροθορύβου στην πόλη της Düzce ( Πηγή : [21] ) .....	129
<b>Σχήμα 5.29</b> – Τυπική 2D γεωτεχνική τομή κατά πλάτος της πόλης της Düzce ( Πηγή : [21] ) .....	129
<b>Σχήμα 5.30</b> – Μέθοδος: 1-D ισοδύναμη γραμμική ανάλυση, Τοπική Κατάσταση Εδάφους: Βασισμένη στα προφίλ εδάφους ( Πηγή : [1] ). a) Σεισμός: Kocaeli, 1999, PGA (g) [a (1)], PGV (m/sec) [a (2)] b) Σεισμός: Düzce , 1999, PGA (g) [b (1)], PGV (m/sec) [b (2)].....	130
<b>Σχήμα 5.31</b> – Χωρική κατανομή των αναμενόμενων αστοχιών του δικτύου ύδρευσης ανά μαχαλά (Μικροζωνική μελέτη, Σχέση Τρωτότητας: O' Rourke & Ayala, 1993 ( Πηγή : [21] ) .....	131

<b>Σχήμα 5.32</b> – Χωρική κατανομή των αναμενόμενων αστοχιών του δικτύου ύδρευσης ανά μαχαλά (Μικροζωνική μελέτη, Σχέση Τρωτότητας: Eidinger & Avila, 1999) ( Πηγή : [21] ) .....	131
<b>Σχήμα 5.33</b> – Χωρική κατανομή των αναμενόμενων αστοχιών του δικτύου ύδρευσης ανά μαχαλά (Μικροζωνική μελέτη, Σχέση Τρωτότητας: Isoyama et al, 1998) ( Πηγή : [21] ) .....	133
<b>Σχήμα 5.34</b> – Χωρική κατανομή των αναμενόμενων αστοχιών του δικτύου ύδρευσης ανά μαχαλά (Μικροζωνική μελέτη, Σχέση Τρωτότητας: ALA, 2001) ( Πηγή : [21] ) .....	133
<b>Σχήμα 5.35</b> – Δίκτυο Αποχέτευσης της πόλης Düzce ( Πηγή : [1] ) .....	134
<b>Σχήμα 5.36</b> – Κατανομή διαμέτρων των αγωγών του δικτύου αποχέτευσης της πόλης Düzce ( Πηγή : [1] ) .....	135
<b>Σχήμα 5.37</b> – Εκτιμώμενες βλάβες του δικτύου αποχέτευσης της πόλης Düzce ως ποσοστό του συνολικού μήκους του δικτύου, για τους σεισμούς a) Kocaeli και b) Düzce (Alexoudi et al., 2008) (Πηγή : [1] ) .....	135
<b>Σχήμα 5.38</b> – Χωρική κατανομή των βλαβών του δικτύου αποχέτευσης της πόλης Düzce, για τους σεισμούς a) Kocaeli και b) Düzce (Alexoudi et al., 2008) (Πηγή : [1] ) .....	136
<b>Σχήμα 5.39</b> – Εκτιμώμενες βλάβες σε αγωγούς του δικτύου αποχέτευσης ανά μαχαλά, για τους σεισμούς a) Kocaeli, b) Düzce και καταγεγραμμένες βλάβες σε αγωγούς του δικτύου ύδρευσης ανά μαχαλά, για τους σεισμούς c) Kocaeli, d) Düzce (Alexoudi et al., 2008) (Πηγή : [1] ) .....	136
<b>Σχήμα 5.40</b> – Χωρική κατανομή του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας και των βλαβών στους κύριους και δευτερεύοντες αγωγούς του δικτύου (Σύμβολα : p – βασικό δίκτυο, sec – συνδέσεις καταναλωτών) ( Πηγή : [22] ) .....	138
<b>Σχήμα 5.41</b> – Αποτίμηση τρωτότητας του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας, σχέση τρωτότητας O' Rourke και Ayala (1993) ( Πηγή : [1] ) .....	140
<b>Σχήμα 5.42</b> – Αποτίμηση τρωτότητας του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας, σχέση τρωτότητας Eidinger και Avila (1999) ( Πηγή : [1] ) .....	141
<b>Σχήμα 5.43</b> – Αποτίμηση τρωτότητας του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας, σχέση τρωτότητας Isoyama et al. (1998) ( Πηγή : [1] ) .....	141
<b>Σχήμα 5.44</b> – Αποτίμηση τρωτότητας του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας, σχέση τρωτότητας ALA (2001) ( Πηγή : [1] ) .....	142



## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1.1</b> – Απαιτούμενα απογραφικά στοιχεία ( Πηγή : [31] ).....	35
<b>Πίνακας 2.1</b> – Τυπολογία Δεξαμενών Ύδρευσης (Πηγή : [29] ) .....	46
<b>Πίνακας 3.1</b> – Παράγοντες έντασης σεισμικής διέγερσης για την σύνταξη καμπυλών τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] ).....	65
<b>Πίνακας 3.2</b> – Παράγοντες έντασης σεισμικής διέγερσης για την σύνταξη καμπυλών τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Αποχέτευσης ( Πηγή : [1] ) .....	67
<b>Πίνακας 4.1</b> – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδων υπολογισμού της πιθανότητας αστοχίας ( Πηγή : [18] ) .....	76
<b>Πίνακας 4.2</b> – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδων δημιουργίας καμπυλών τρωτότητας ( Πηγή : [18] ) .....	78
<b>Πίνακας 4.3</b> – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Πηγών Υδροληψίας» υποβαλλόμενες σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] ) .....	79
<b>Πίνακας 4.4</b> – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Ύδατος» υποβαλλόμενες σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] ) .....	81
<b>Πίνακας 4.5</b> – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Αντλιοστασίων» υποβαλλόμενα σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] ) .....	82
<b>Πίνακας 4.6</b> – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Δεξαμενών» υποβαλλόμενες σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] ) .....	83
<b>Πίνακας 4.7</b> – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Καναλιών» ( Πηγή : [1] ) .....	86
<b>Πίνακας 4.8</b> – Επίπεδα βλάβης αγωγών (ATC 25) ( Πηγή : [32] ) .....	89
<b>Πίνακας 4.9</b> – Επίπεδα βλάβης αγωγών συναρτήσει του ρυθμού επισκευών / km ( Πηγή : [32] ) .....	89
<b>Πίνακας 4.10</b> – Επίπεδα βλάβης αγωγών συναρτήσει των παραμορφώσεων ( Πηγή : [32] ) .....	89
<b>Πίνακας 4.11</b> – Μορφές αστοχίας αγωγών υπό εδαφική ταλάντωση (PGV) ( Πηγή : [1] )...90	
<b>Πίνακας 4.12</b> – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων» υποβαλλόμενες σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] ) .....	93
<b>Πίνακας 4.13</b> – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Αντλιοστασίων» υποβαλλόμενα σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] ) .....	95
<b>Πίνακας 5.1</b> – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] ) .....	98
<b>Πίνακας 5.2</b> – Παράμετροι καμπύλης τρωτότητας “Πηγής Υδροληψίας”, υπό PGA (HAZUS, NIBS, 2004) (Πηγή : [1] ) .....	107
<b>Πίνακας 5.3</b> – Παράμετροι καμπύλης τρωτότητας “Εγκατάστασης Επεξεργασίας Ύδατος”, υπό PGA (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] ) .....	108
<b>Πίνακας 5.4</b> – Παράμετροι καμπύλης τρωτότητας “Αντλιοστασίου”, υπό PGA (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] ) .....	109
<b>Πίνακας 5.5</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, αγκυρωμένων, από Ω.Σ., υπό PGA (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] ) .....	110
<b>Πίνακας 5.6</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, μη αγκυρωμένων, από Ω.Σ., υπό PGA (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] ) .....	110
<b>Πίνακας 5.7</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, ανοικτού τύπου, με ή χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό, υπό PGA (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] ).....	110
<b>Πίνακας 5.8</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, υπό PGD (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] ) .....	110
<b>Πίνακας 5.9</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών” από Ω.Σ., επίγειων, υπό PGA (HAZUS; NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] ) .....	111
<b>Πίνακας 5.10</b> – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών” από Ω.Σ., υπόγειων, υπό PGD(HAZUS; NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] ) .....	111

<b>Πίνακας 5.11</b> – Συντελεστής Κ1 συναρτήσεως του υλικού των αγωγών, του τύπου της σύνδεσης, του εδάφους, της διαμέτρου και των διαθέσιμων πληροφοριών (Eidinger J. & Avila E., 1999) ( Πηγή : [32] ) .....	114
<b>Πίνακας 5.12</b> – Συντελεστής Κ1 συναρτήσεως του υλικού των αγωγών, του τύπου της σύνδεσης, του εδάφους, της διαμέτρου και των διαθέσιμων πληροφοριών (ALA, 2001) ( Πηγή : [32] ) .....	114
<b>Πίνακας 5.13</b> – Συντελεστής Κ2 συναρτήσεως του υλικού των αγωγών, του τύπου της σύνδεσης, της διαμέτρου και των διαθέσιμων πληροφοριών (Eidinger et al., 1999) ( Πηγή : [32] ) .....	116
<b>Πίνακας 5.14</b> – Συντελεστής Κ2 συναρτήσεως του υλικού των αγωγών και του τύπου της σύνδεσης (ALA, 2001) ( Πηγή : [32] ) .....	116
<b>Πίνακας 5.15</b> – Τρωτότητα “Καναλιών”, υπό PGV (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] ) .....	116
<b>Πίνακας 5.16</b> – Τρωτότητα “Καναλιών”, υπό PGD (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] ).....	116
<b>Πίνακας 5.17</b> – Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας “Σηράγγων”, HAZUS, 2004 ( Πηγή : [32] ) .....	117
<b>Πίνακας 5.18</b> – Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας “Σηράγγων” (ALA, 2002) ( Πηγή : [32] ) .....	118
<b>Πίνακας 5.19</b> – Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας “Σηράγγων”, σε αλλοούβια (Αργυρούδης & συνεργάτες, 2006) ( Πηγή : [32] ) .....	120
<b>Πίνακας 5.20</b> – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Αποχέτευσης ( Πηγή : [1] ) .....	123
<b>Πίνακας 5.21</b> – Εκτιμώμενες και καταγεγραμμένες αστοχίες αγωγών νερού λόγω εδαφικής ταλάντωσης (Alexouidi et al., 2010). ( Πηγή : [1] ) .....	131
<b>Πίνακας 5.22</b> – Σύγκριση των αστοχιών που εκτιμήθηκαν και των καταγεγραμμένων στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας ( Πηγή : [22] ) .....	139
<b>Πίνακας 5.23</b> – Σύγκριση του ρυθμού επισκευών που εκτιμήθηκαν και των καταγεγραμμένων (διάδοση κυμάτων) στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας ( Πηγή : [1] ) .....	139
<b>Πίνακας 5.24</b> – Σύγκριση του αριθμού των αστοχιών που εκτιμήθηκαν και των καταγεγραμμένων (διάδοση κυμάτων) στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας ( Πηγή : [1] ) .....	140

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Γραμμές Ζωής (Lifelines)

#### 1.1.1. Ορισμός των Γραμμών Ζωής

Ως Γραμμές Ζωής (Lifelines) ή Δίκτυα Ζωής (Δ.Ζ.) ορίζονται οι κοινωφελείς υπηρεσίες, κατασκευές και εξοπλισμοί που συνθέτουν τις υποδομές μιας ευρύτερης περιοχής. Οι Γραμμές Ζωής αποτελούν κομβικά σημεία μεταξύ περιοχών ή τμημάτων του αστικού ιστού και είναι αναγκαία για την εξυπηρέτηση βασικών αναγκών των χρηστών καθώς επηρεάζουν άμεσα τις κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες της περιοχής.

Οι Γραμμές Ζωής διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- i) Δίκτυα Κοινής Ωφέλειας
  - Ύδρευση
  - Αποχέτευση
  - Φυσικό Αέριο
  - Αέριων και Υγρών Καυσίμων
  - Ηλεκτρισμός
  - Τηλεπικοινωνίες
  
- ii) Δίκτυα Μεταφορών και Συγκοινωνιών
  - Οδικό
  - Σιδηροδρομικό
  - Προαστιακός Σιδηρόδρομος – Μετρό
  - Λιμάνια
  - Αεροδρόμια

#### 1.1.2. Βασικά χαρακτηριστικά των Γραμμών Ζωής

Οι Γραμμές Ζωής χαρακτηρίζονται κυρίως από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- i) Από την έκτασή τους καθώς εκτείνονται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές με αποτέλεσμα να είναι τρωτά σε μεγάλης κλίμακας κινδύνους (φυσικούς ή ανθρωπογενείς).
- ii) Από την πολυπλοκότητα της δομής τους καθώς αποτελούνται από «γραμμές» και «κόμβους» διαφορετικής τυπολογίας (π.χ. αντλιοστάσια, αγωγοί, γραμμές μεταφοράς ενέργειας, εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων κ.λπ.).
- iii) Από ιδιαίτερα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (π.χ. υλικό, ηλικία, προδιαγραφές) και τεχνικές που να τα διαφοροποιούν σημαντικά ακόμη και όταν τα στοιχεία εντάσσονται στην ίδια κατηγορία.
- iv) Από την δομή τους (ανοιχτά, κλειστά, μεικτά).
- v) Από την αλληλεπίδραση μεταξύ τους αλλά και με το αστικό περιβάλλον.

#### 1.1.3. Επιπτώσεις αστοχίας των Γραμμών Ζωής

Οι επιπτώσεις λόγω της αστοχίας των Γραμμών Ζωής κατατάσσονται ως εξής :

- i) Ανθρώπινα θύματα
- ii) Άμεσες οικονομικές απώλειες που περιλαμβάνουν το κόστος επιδιόρθωσης και αντικατάστασης των στοιχείων των δικτύων.
- iii) Έμμεσες οικονομικές απώλειες που σχετίζονται με την διακοπή των υπηρεσιών που προσφέρουν οι Γραμμές Ζωής, την παρεμπόδιση της παραγωγής και της λειτουργίας των επιχειρήσεων, τα έξοδα μετεγκατάστασης ή ενοικίου.
- iv) Εσωτερική αστάθεια κοινωνικών λειτουργιών.
- v) Περιβαλλοντική μόλυνση εξαιτίας διαρροών (π.χ. πετρελαίου ή αποβλήτων).
- vi) Συμπληρωματικές απώλειες εξαιτίας της αλληλεπίδρασης μεταξύ των συστημάτων.

#### 1.1.4. Γραμμές Ζωής και σεισμικές δράσεις

Οι Γραμμές Ζωής υποβάλλονται κατά την διάρκεια της ζωής τους σε διάφορες επιπλοήσεις τόσο στατικές όσο και δυναμικές (π.χ. σεισμός). Δεδομένου ότι οι Γραμμές Ζωής εκτείνονται συνήθως σε μια μεγάλη γεωγραφικά έκταση, είναι πολύ πιθανό να διασχίζουν ενεργά ρήγματα, ευπαθείς περιοχές για ρευστοποίηση, ζώνες ευπαθείς σε κατολισθήσεις κ.ά.. Όπως έχει δείξει η εμπειρία, τα στοιχεία των Γραμμών Ζωής είναι ιδιαίτερα τρωτά σε ισχυρούς σεισμούς. Οι εδαφικές παράμετροι που απαιτούνται για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA), οι φασματικές επιταχύνσεις (PSA), οι μόνιμες εδαφικές παραμορφώσεις (PGD) και η μέγιστη εδαφική ταχύτητα (PGV). Οι σεισμικές δράσεις και κατά συνέπεια οι αστοχίες μπορεί να οφείλονται στις ακόλουθες κατηγορίες :

- i) Εδαφική Ταλάντωση (δυναμική επίδραση του σεισμού) :

##### Εδαφική ταλάντωση

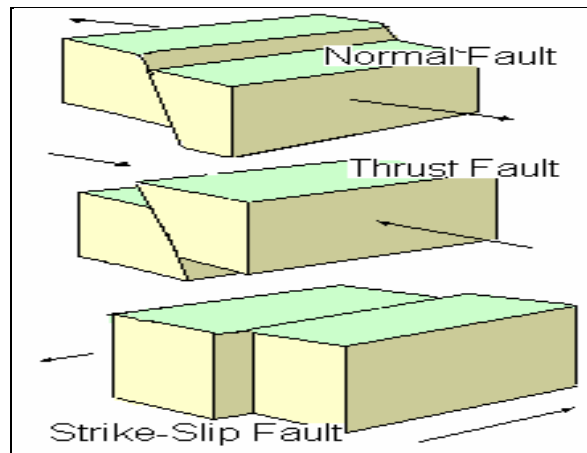
Με τον όρο εδαφική ταλάντωση περιγράφονται οι αιφνίδιες παραμορφώσεις του εδάφους που προκαλούνται από την διάδοση των σεισμικών κυμάτων. Η εδαφική ταλάντωση επηρεάζει μεγάλες περιοχές και μπορεί να προκαλέσει διασκορπισμένες αστοχίες.

- ii) Μόνιμες Εδαφικές Παραμορφώσεις (στατική επίδραση του σεισμού) :

##### Ρήξη Εδάφους και Μετακίνηση Ρήγματος

Η μετακίνηση των πλευρών του ρήγματος μπορεί να προκαλέσει απόσχιση του εδάφους, δηλαδή τοπικές μόνιμες εδαφικές παραμορφώσεις. Η μετατόπιση μπορεί να είναι ξαφνική ή να διαρκέσει για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η απόσχιση του εδάφους έχει δυσμενείς επιπτώσεις (διαφορικές καθιζήσεις) τόσο στους αγωγούς που διασχίζουν ένα ρήγμα, όσο και σε κατασκευές θεμελιωμένες επί του ρήγματος. Το μήκος και το πλήθος των ρήξεων του εδάφους εξαρτάται από το μέγεθος και το εστιακό βάθος των σεισμών, τον τύπο του ρήγματος και την τοπογραφία και γεωγραφία της περιοχής (Σχήμα 1.1). Μεγάλη σημασία στην απόκριση των δικτύων έχει η γωνία που σχηματίζουν αυτά με το ίχνος του ρήγματος. Επίσης είναι

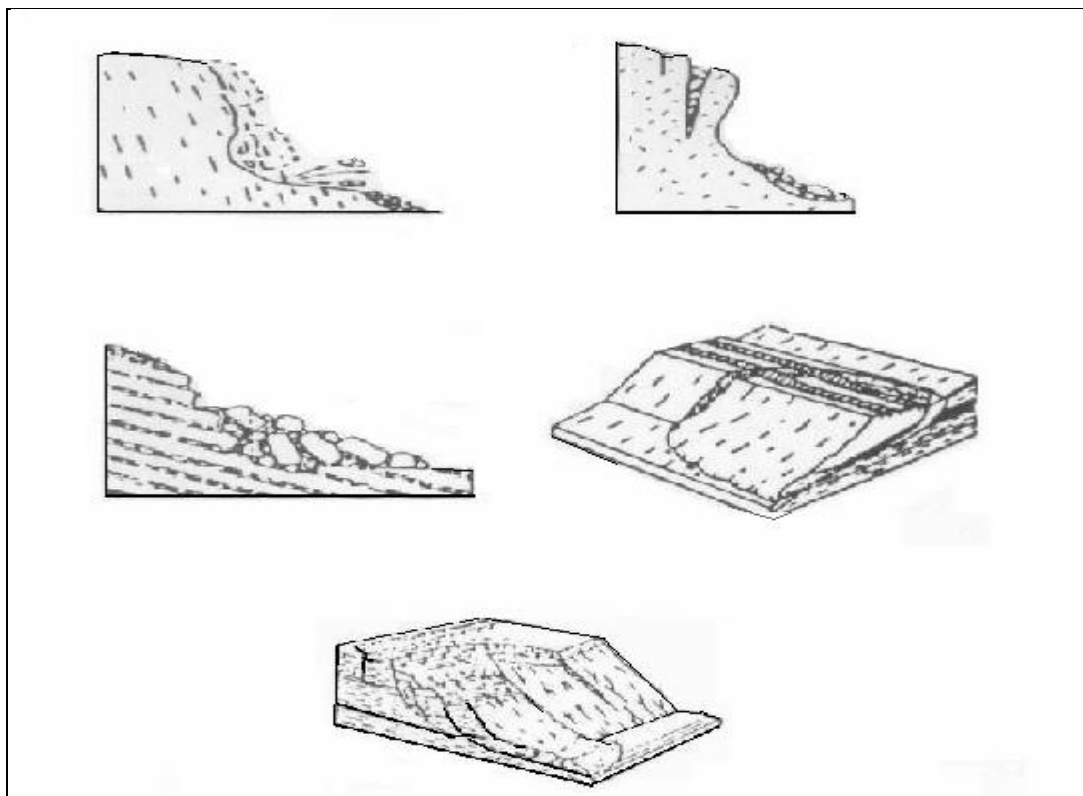
σημαντικό να αποφεύγονται αλλαγές της διεύθυνσης και συνδέσεις κοντά στο ρήγμα. Τέλος είναι προτιμότερο στις διασταυρώσεις με ρήγματα, τα δίκτυα να βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος, ώστε να μπορούν να παραμορφώνονται περισσότερο, χωρίς να υφίστανται σοβαρές ζημιές.



Σχήμα 1.1 – Τύποι Ρηγμάτων ( Πηγή : [20] )

### Κατολίσθηση

Η κατολίσθηση είναι ένα φυσικό φαινόμενο μέσω του οποίου η εδαφική μάζα που στηρίζεται σε ένα ολισθηρό στρώμα (π.χ. άργιλος), αρχίζει προοδευτικά να ολισθαίνει κάτω υπό την επίδραση της βαρύτητας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κατολισθήσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2. Οι αστοχίες στις Γραμμές Ζωής οφείλονται κυρίως από πτώση βράχων ή από ολισθαίνον έδαφος που συμπαρασύρει τα στοιχεία του δικτύου.



Σχήμα 1.2 – Μορφές κατολισθήσεων ( Πηγή : [20] )

Ρευστοποίηση

Η ρευστοποίηση είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο κορεσμένα, χαλαρά, μη συνεκτικά εδάφη χάνουν την διατμητική αντοχή τους λόγω ισχυρής εδαφικής ταλάντωσης και προσωρινά «χάνουν» την στερεά κατάστασή τους και «περνάνε» στην υγρή. Μια χαλαρή κορεσμένη άμμος τείνει να συμπυκνώνεται και να μειώνει τον όγκο της όταν υποβάλλεται σε δονήσεις. Αν δεν υπάρχει στράγγιση του νερού των πόρων, η πίεση του νερού αυξάνεται. Κάτω λοιπόν από την συνεχή αύξηση της πίεσης του νερού στην άμμο, θα φτάσει κάποια στιγμή όπου η πίεση των υπερκείμενων θα είναι ίση με την πίεση του νερού πόρων. Με βάση την «Αρχή Ενεργών Τάσεων» :

$$\sigma' = \sigma - U$$

όπου  $\sigma'$  : η ενεργός πίεση

$\sigma$  : η συνολική πίεση υπερκείμενων

$U$  : η πίεση του νερού των πόρων

Αν  $\sigma = U$ , τότε  $\sigma' = 0$ . Υπό αυτόν τον όρο, η άμμος δεν εμφανίζει καθόλου διατμητική αντοχή και μετατρέπεται σε μια υγροποιημένη κατάσταση. Έξι βασικοί τύποι αστοχίας του εδάφους συνδέονται με την ρευστοποίηση : *πλευρική εξάπλωση* (lateral spreading), *ροή* (flow failures), *απώλεια φέρουσας ικανότητας εδάφους* (loss of bearing strength), *επίπλευση* (flotation), *συμπύκνωση* (densification), *καθίζηση* (subsidence). Κατά την πλευρική εξάπλωση αναπτύσσονται μεγάλες θλιπτικές δυνάμεις. Κατά την επίπλευση, ανασηκώνονται όλες οι υπόγειες κατασκευές (λόγω της μεγάλης πίεσης των πόρων). Κατά την καθίζηση, εμφανίζεται απότομη διαφορική κίνηση. Κατά τις ροές, προκαλούνται μετακινήσεις εδάφους με τη μορφή λάσπης, ύδατος και λίθων.

Καθιζήσεις

Αστοχίες σε δίκτυα συμβαίνουν λόγω της σχετικής διαφορικής καθίζησης σε ζώνες μετάβασης από καλύτερο έδαφος σε χειρότερο και σε περιοχές αλλουβιακών αποθέσεων που είναι επιρρεπείς σε τοπικές ρευστοποιήσεις. Ζημιές παρατηρούνται επίσης σε σημεία όπου οι αγωγοί εισέρχονται σε δεξαμενές ή κτίρια.

**1.2 Αστοχίες Γραμμών Ζωής από σεισμούς****1.2.1 Διεθνής εμπειρία**

- **Σεισμός SAN FERNANDO** (Η.Π.Α. / 09-02-1971 / 6,6 R)

Ο απολογισμός του σεισμού ήταν 66 νεκροί, 1.000 τραυματίες και ζημιές ύψους 1 δις \$ (1971). Στην περιοχή υπήρχαν 1.110 km αγωγοί μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου. Αναφέρθηκαν 456 βλάβες σε αγωγούς οι οποίες εκτός δύο σε περιοχές με χάσματα στο έδαφος. Από αυτές, οι 76 συνέβησαν σε παλαιούς χαλύβδινους αγωγούς με συνδέσεις οξυγονοκόλλησης. Οι υπόλοιπες βλάβες έγιναν σε δίκτυα διανομής από χυτοχάλυβα, από τις οποίες 137 σε παροχετευτικούς αγωγούς. Η έκταση των βλαβών στα δίκτυα διανομής επεκτάθηκε σε μια περιοχή 31 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Υπολογίζεται ότι 16.300 καταναλωτές έμειναν χωρίς αέριο λόγω θραύσης αγωγών ενώ άλλοι 9.500 έχασαν την τροφοδοσία τους λόγω

της σκόνης που σηκώθηκε μέσα στους αγωγούς. Μετά τον σεισμό αντικαταστάθηκαν 15,3km αγωγών .

▪ **Σεισμός WHITTIER NARROWS** (Η.Π.Α. / 01-10-1987 / 5,9 R)

Ο απολογισμός του σεισμού ήταν 3 νεκροί, 1.000 τραυματίες και 10.000 κτίρια με βλάβες. Δεν υπάρχουν βλάβες στο σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου. Παρατηρούνται 22 διαρροές αερίου στο δίκτυο διανομής από χυτοχάλυβα (όλες αποδίδονται σε διαβρωμένους αγωγούς), 300 διαρροές σε παροχετευτικούς αγωγούς (η πλειοψηφία λόγω διάβρωσης), 1.700 διαρροές εντός κατοικιών (75% λόγω κακής στήριξης της εσωτερικής εγκατάστασης) ενώ τέλος 27.000 πελάτες έμειναν χωρίς αέριο (από αυτούς, οι 21.000 διότι έκλεισαν την κεντρική βάνα αερίου από φόβο χωρίς πραγματική αιτία).

▪ **Σεισμός LOMA PRIETA** (Η.Π.Α. / 17-10-1981 / 7,1 R)

Ο απολογισμός του σεισμού ήταν 62 νεκροί, 3.757 τραυματίες και ζημιές ύψους 10 δις \$ σε μία επιφάνεια 8.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Ο ισχυρότερος και καταστροφικότερος σεισμός στις ΗΠΑ μετά τον σεισμό του 1906 στο San Francisco. Ο σεισμός αυτός έπληξε κυρίως το San Francisco αλλά έγινε έντονα αντιληπτό και στις γύρω πολιτείες.

*Δίκτυο Φυσικού Αερίου*

Το δίκτυο μεταφοράς αερίου δεν είχε βλάβες. Το δίκτυο διανομής μέσης πίεσης (4bar) και το δίκτυο χαμηλής πίεσης (25mbar) ήταν κατασκευασμένο από χυτοσίδηρο, χάλυβα και πολυαιθυλένιο. Αναφέρθηκαν 20.000 διαρροές αλλά πραγματικές ήταν μόνο 1.000. Οι 600 ήταν άμεσης επισκευής, ενώ οι 510 σε παροχετευτικούς αγωγούς. Το 23% των διαρροών οφειλόταν σε διάβρωση των σωληνώσεων, το 10% των διαρροών εντοπίστηκε σε αγωγούς διανομής και το 12% σε παροχετευτικούς αγωγούς (πολυαιθυλενίου με χωνευτή θερμοσύντηξη). Αντικαταστάθηκαν 18,3 km αγωγών διανομής και 1.700 παροχετευτικοί αγωγοί. Μεγάλες καταστροφές με μεγάλη πυρκαγιά έγιναν στην περιοχή Marina District του San Francisco, περιοχή με τετραώροφα κτίρια κτισμένα πάνω σε μπαζώματα από τον σεισμό του 1906. Τα δίκτυα φυσικού αερίου και νερού ήταν από χυτοσίδηρο. Στην περιοχή εμφανίστηκαν μεγάλες και εκτεταμένες ρευστοποιήσεις εδαφών (κτίρια μετακινήθηκαν 4–5 μέτρα μαζί με τα θεμέλια). Επίσης μεγάλες καταστροφές υπήρξαν στην κοινότητα Watsonville, όπου 200 σπίτια κατέρρευσαν «εκ θεμελίων» καταστρέφοντας και τους παροχετευτικούς αγωγούς. Ο σεισμός αυτός αναδεικνύει το πρόβλημα εσωτερικών εγκαταστάσεων και ιδίως της στήριξης των συσκευών. Λόγω της δόνησης μεγάλοι θερμοσίφωνες και αερόθερμα μετακινήθηκαν κόβοντας την σύνδεση τους και προκαλώντας διαρροές ή φωτιές. Το κυριότερο πρόβλημα όμως των οικιακών συσκευών ήταν οι καταρρεύσεις καπναγωγών και καμινάδων. Υπολογίζεται ότι 156.000 καταναλωτές έμειναν χωρίς αέριο κλείνοντας τις κεντρικές βάνες τους με παρακίνηση από τα ΜΜΕ. Το 79% αποδείχθηκε χωρίς λόγο. Ο σεισμός αυτός θα οδηγήσει στην σύνταξη του πρώτου εθνικού κανονισμού εσωτερικών εγκαταστάσεων καυσίμου αερίου. Επίσης οδήγησε στην εμφάνιση των αντισεισμικών βαλβίδων που ενεργοποιούνται από την σεισμική δόνηση.

*Δίκτυο Υδρευσης*

Καταγράφηκαν 350 επισκευές στο βασικό δίκτυο του San Francisco, Oakland και Berkeley, του οποίου οι αγωγοί ήταν κατασκευασμένοι από χυτοσίδηρο και

ασβεστοτσιμέντο, ενώ είχαν διάμετρο 100 – 200 mm. Στην περιοχή την Santa Cruz παρατηρήθηκαν 240 αστοχίες στο βασικό δίκτυο. Οι ζημιές ήταν συγκεντρωμένες σε περιοχές που παρατηρήθηκε ρευστοποίηση. Η απώλεια του ηλεκτρικού ρεύματος είχε σημαντικές επιπτώσεις στο σύστημα διανομής του San Francisco. Οι αγωγοί που αστόχησαν επηρέασαν σημαντικά την αποτελεσματικότητα του συστήματος πυρόσβεσης.

#### *Δίκτυο Αποχέτευσης*

Λόγω διακοπών του ηλεκτρικού ρεύματος και της έλλειψης συστημάτων παροχής ηλεκτρικής ισχύος στα αντλιοστάσια, τα λύματα απορρίφθηκαν στο San Francisco και στο λιμάνι του Monterey Bays. Υπήρξαν εκτεταμένες καταστροφές στο βασικό δίκτυο αποχέτευσης στην Μαρίνα του San Francisco και στο Watsonville. Μικρές μέχρι μέτριες ζημιές παρατηρήθηκαν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στο San Francisco και στην περιοχή του κόλπου.

#### ▪ **Σεισμός NORTHRIDGE** (Η.Π.Α. / 17-01-1994 / 6,7 R)

Ο απολογισμός του σεισμού ήταν 33 νεκροί, 7.000 τραυματίες, 20.000 άστεγοι, ενώ 3.000 κτίρια χαρακτηρίστηκαν μη ασφαλή. Ο σεισμός έπληξε κυρίως το Los Angeles.

#### *Δίκτυο Φυσικού Αερίου*

Αναφέρονται 35 βλάβες σε αγωγούς μεταφοράς φυσικού αερίου. Όλοι οι αγωγοί ήταν κατασκευασμένοι πριν από το 1942 με οξυγονοκόλληση (το δίκτυο μεταφοράς στην περιοχή είχε μήκος 6.123 km). Το δίκτυο διανομής της περιοχής αποτελούνταν από 43.162 km χαλύβδινες και 24.045 km PE σωληνώσεις. Αναφέρθηκαν 123 βλάβες σε χαλύβδινους αγωγούς, 33 σε αγωγούς πολυαιθυλενίου (σε χωνευτές θερμοσύντηξης και σε εξαρτήματα μετάβασης) και 88 σε παροχετευτικούς αγωγούς. Στις 110 φωτιές της ημέρας του σεισμού, οι 38 αποδόθηκαν σε βλάβες συσκευών αερίου. Θα κλείσουν 150.800 βάνες παροχής από τους καταναλωτές. Οι 15.021 μόνο είχαν διαρροή ή βλάβη. Κύριες βλάβες στις εσωτερικές εγκαταστάσεις οι αποσυνδέσεις των συσκευών λόγω μετακίνησης. Στο σεισμό αυτό έχουμε και τις πρώτες ενδείξεις από την συμπεριφορά των αντισεισμικών βαλβίδων ασφαλείας. Από τις 841 βαλβίδες που ενεργοποιήθηκαν, διαρροές εντοπίστηκαν στις 162 (ποσοστό 19,3%).

#### *Δίκτυο Ύδρευσης*

Πάνω από 1.400 επισκευές χρειάστηκαν στο δίκτυο ύδρευσης του Los Angeles από τις οποίες οι 100 βρίσκονταν σε αγωγούς μεταφοράς μεγάλης διαμέτρου. Και τα τρία συστήματα μεταφοράς νερού στο San Fernando διεκόπησαν, ενώ η συμπεριφορά στα φράγματα, στις γεωτρήσεις και στα αντλιοστάσια ήταν αρκετά καλή παρά τις διακοπές του ηλεκτρικού ρεύματος. Μικρές ζημιές παρουσίασαν οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας του νερού. Σημαντικές καταστροφές κατεγράφησαν σε δεξαμενές υπέργειες που κατασκευάστηκαν με παλαιότερους κανονισμούς.

#### *Δίκτυο Αποχέτευσης*

Μικρές μέχρι μέτριες ζημιές καταγράφηκαν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων λόγω κυρίως της εδαφικής ταλάντωσης και των ρηγμάτων στις δεξαμενές επεξεργασίας. Η επεξεργασία των λυμάτων παρεμποδίστηκε λόγω απώλειας ηλεκτρικής ισχύος. Όλα τα αντλιοστάσια και οι ανυψωτικοί σταθμοί έχασαν την σύνδεσή τους με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή του Los Angeles. Το αποχετευτικό δίκτυο καταστράφηκε σε περιοχές εδαφικών παραμορφώσεων.



- **Σεισμός KOBE** (Ιαπωνία / 17-01-1995 / 6,8 R)

Το επίκεντρο του σεισμού ήταν υποθαλάσσιο δίπλα στην πόλη KOBE. Μαζικές ρευστοποιήσεις εδαφών οδήγησαν στην πλήρη καταστροφή 80.000 κατασκευών και 5.500 θανάτους.

#### *Δίκτυο Φυσικού Αερίου*

Ο σεισμός έπληξε τις πόλεις Kobe, Ashiya, Amagasaki και Nishinomiya (συνολικά 5,6 εκατομμύρια μετρητές και 49.430 km αγωγών φυσικού αερίου). Η τροφοδότηση γίνεται από τρεις σταθμούς LNG. Το δίκτυο της περιοχής χωρίζεται σε 8 μεγάλες περιοχές που τροφοδοτούνται από δίκτυο μεταφοράς πίεσης 4 bar που είναι κατασκευασμένο από χαλυβδοσωλήνες με ηλεκτροσυγκόλληση πλήρους διείδυσης. Οι περιοχές αυτές (superblocks) απομονώνονται με τηλεχειριζόμενες βάνες. Στην συνέχεια υπάρχουν 55 περιοχές (middle blocks) που στην κάθε μια υπάρχουν κάποιες εκατοντάδες χιλιάδες πελάτες και στις οποίες υπάρχουν δίκτυα μέσης πίεσης α) 1 bar – 300 mbar και β) 300 mbar – 100 mbar που μπορούν να απομονωθούν με χειροκίνητες βάνες, τα οποία είναι κατασκευασμένα από χαλυβδοσωλήνες με ηλεκτροσυγκόλληση πλήρους διείδυσης και για τις πριν το 1952 μερικής διείδυσης. Στην συνέχεια το δίκτυο χαμηλής είναι χωρισμένο σε δίκτυα των 3.000 – 4.000 καταναλωτών με πίεση 18 mbar κατασκευασμένο από χαλυβδοσωλήνες με σπειρωτές και φλαντζωτές συνδέσεις από χυτοσίδηρο. Στο δίκτυο χαμηλής πίεσης, ανάμεσα στις χαλύβδινες σωληνώσεις, υπήρχαν τμήματα πολυαιθυλενίου για να υπάρχει ελαστικότητα στους σεισμούς. Λόγω χαμηλής πίεσης διανομής (18 mbar) δεν υπάρχουν ρυθμιστές και άλλες διατάξεις ασφαλείας παρά μόνο οι «έξυπνοι μετρητές» οι οποίοι είναι μετρητές με ενσωματωμένο αισθητήριο σεισμού που ενεργοποιείται σε επιτάχυνση 0,2 g, αισθητήριο πίεσης και αισθητήριο ροής. Ένας μικροεπεξεργαστής με μπαταρία λιθίου επεξεργάζεται τα δεδομένα και διακόπτει ή όχι την παροχή αερίου. Κατά τον σεισμό δεν υπήρξαν βλάβες στους σταθμούς και δεξαμενές LNG. Δεν υπήρξαν βλάβες στο δίκτυο μέσης πίεσης παρά μόνο 14 βλάβες στο δίκτυο μέσης πίεσης σε συνδέσεις αγωγών πριν το 1952. Επίσης παρατηρήθηκαν διαρροές σε φλαντζωτές συνδέσεις. Το δίκτυο χαμηλής πίεσης συνολικού μήκους 43.895 km υπέστη τις μεγαλύτερες καταστροφές. Παρουσιάστηκαν 36 θραύσεις αγωγών από χυτοσίδηρο, 5.190 βλάβες σε βιδωτές συνδέσεις, 10.161 βλάβες σε παροχετευτικούς αγωγούς και 11.108 βλάβες σε σωληνώσεις κτιρίων. Το σύστημα αερίου στις 5 από τις 8 μεγάλες περιοχές διακόπηκε 6 ώρες μετά το σεισμό. Το ηλεκτρικό διακόπηκε αμέσως και επανήλθε 2 ώρες μετά. Αυτό σε συνδυασμό με τα ξύλινα παραδοσιακά σπίτια, το κατεστραμμένο δίκτυο ύδρευσης και κατεστραμμένο οδικό δίκτυο οδήγησε σε μεγάλες φωτιές έως ότου γίνουν οι επεμβάσεις κατάσβεσης. Οι έξυπνοι μετρητές όπου δεν καταστράφηκαν μαζί με τα κτίρια λειτούργησαν καλά.

#### *Δίκτυο Ύδρευσης*

Οι 86 υδαταποθήκες (reservoirs) που τροφοδοτούσαν την πόλη του Kobe άδειασαν εντός 24 ωρών. Οι αστοχίες στο δίκτυο ύδρευσης επηρέασαν σημαντικά το δίκτυο πυρόσβεσης, ενώ παράλληλα έγιναν 1.610 επισκευές στο βασικό δίκτυο και 71.235 επισκευές στις συνδέσεις με τους καταναλωτές. Απώλειες ηλεκτρικής ισχύος διέκοψαν την αντλιοδότηση βασικών αγωγών μεταφοράς εμποδίζοντας ταυτόχρονα το κλείσιμο των βαλβίδων έκτακτης ανάγκης σε 3 υδαταποθήκες.

#### *Δίκτυο Αποχέτευσης*

Καταστράφηκαν 3 από τις 8 εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Το Higashi – mada Plant που είναι και το μεγαλύτερο στην περιοχή του Kobe παρουσίασε εκτεταμένες αστοχίες λόγω μόνιμων εδαφικών παραμορφώσεων. Άμεσο αποτέλεσμα ήταν ότι τα λύματα απορρίφθηκαν στον κόλπο του Osaka χωρίς προηγουμένως να μεσολαβήσει κάποιου είδους επεξεργασία. Κάποιες βασικές γραμμές στο σύστημα αποχέτευσης υπέστησαν ολοκληρωτική καταστροφή σε περιοχές μόνιμων παραμορφώσεων. Η απώλεια ηλεκτρικής ενέργειας επέδρασε καταλυτικά στην λειτουργία των αντλιοστασίων.

- **Σεισμός Kocaeli ή Μαρμαρά** (Τουρκία / 17-08-1999 / 7,4 R)

Ο σεισμός χτύπησε την βιομηχανική καρδιά της Τουρκίας. Οι ζημιές ανέρχονται σε 35.000 κατοικίες κατεστραμμένες, δίκτυα ύδρευσης κατεστραμμένα, βλάβες σε βιομηχανίες, φωτιές σε διυλιστήρια, βλάβες σε τηλεπικοινωνίες, δίκτυα ηλεκτρισμού και δίκτυα μεταφορών. Η πόλη με τις μεγαλύτερες καταστροφές είναι η Izmit.

#### *Δίκτυο Φυσικού Αερίου*

Ο σεισμός παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την Ελλάδα από πλευράς αερίου διότι τα δίκτυα των πόλεων Izmit και Κωνσταντινούπολης σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν με την ίδια φιλοσοφία με τα ελληνικά δίκτυα αερίου και την ίδια εποχή. Ο αγωγός μεταφοράς αερίου Ρωσία – Τουρκία διέρχεται από την περιοχή και δεν έπαθε καμία βλάβη. Στην πόλη Izmit το δίκτυο καλύπτει 26.000 πελάτες και είναι κατασκευασμένο με τον ίδιο τρόπο με τα ελληνικά δίκτυα. Με τον σεισμό θα διακοπεί η παροχή αερίου προς την πόλη από τον φόβο καταστροφών. Μετά από έλεγχο θα διαπιστωθεί ότι δεν υπάρχει καμία βλάβη στα δίκτυα εκτός από του ότι 15% των ρυθμιστών παροχής είναι κατεστραμμένοι λόγω κατάρρευσης των κτιρίων. Το ίδιο ποσοστό αναφέρεται και στην Κωνσταντινούπολη. Δεν παρατηρήθηκαν διαρροές αερίου. Το δίκτυο αερίου ήταν το μόνο διαθέσιμο δίκτυο προς λειτουργία αμέσως μετά το σεισμό.

#### *Δίκτυο Ύδρευσης*

Καταγράφηκαν μικρές ζημιές στο εργοστάσιο επεξεργασίας νερού και στο βασικό φράγμα ενώ 2 υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης ύδατος από Ο/Σ ρηγματώθηκαν. Το 70% του δικτύου διανομής στο Adapazari (500m) καταστράφηκε ενώ το υπόλοιπο 30% παρουσίασε εκτεταμένες διαρροές. Στο δίκτυο μεταφοράς παρουσιάστηκαν σημαντικές ζημιές ιδιαίτερα σε ζώνες που γειτνιάζαν είτε με ρήγμα είτε με σημαντικές μόνιμες εδαφικές παραμορφώσεις (Izmit). Εκτεταμένες ζημιές παρατηρήθηκαν στο δίκτυο διανομής στην περιοχή Golcuk. Περίπου το 45% του δικτύου καταστράφηκε ολοσχερώς ενώ το 55% παρουσίασε διαρροές. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα δίκτυα ύδρευσης στις Τουρκίας ήταν παλιά, με εκτεταμένες διαρροές ήδη πριν το σεισμό.

### 1.2.2 Ελληνική εμπειρία

- **Σεισμός Θεσσαλονίκης** (Ελλάδα / 1990)

Παρουσιάστηκε διακοπή της υδροδότησης της πόλης για μερικές ημέρες, όταν ένα από τα κεντρικά αντλιοστάσια στο Καλοχώρι τέθηκε εκτός λειτουργίας. Το εν λόγω αντλιοστάσιο μολύνθηκε από την εισροή πετρελαίου μετά την καταστροφή

παρακείμενου αγωγού αργού πετρελαίου. Κατά την αυτοψία αποκαλύφθηκε ρηγμάτωση σε όλη τη διατομή του χτιστού υδραγωγείου οφειλόμενη στην κακή ποιότητα του εδάφους έδρασης, σε καταπονήσεις λόγω πυρκαγιάς γειτονικών δεξαμενών και σε προηγούμενο σεισμό (1978).

- **Σεισμός Κοζάνης – Γρεβενών** (Ελλάδα / 1995 / 6,6 R)

Διακόπηκε η υδροδότηση στα περισσότερα από τα χωριά, χωρίς όμως να υπάρχουν ενδείξεις ότι η διακοπή οφείλεται σε θραύση αγωγών ή σε άλλα αίτια (π.χ. διακοπή ηλεκτροδότησης).

- **Σεισμός Λευκάδας** (Ελλάδα / 2003 / 6,4 R)

*Δίκτυο Ύδρευσης*

Το δίκτυο ύδρευσης υπέστη σημαντικές αστοχίες. Συγκεκριμένα, πάνω από 30 αστοχίες στο δευτερεύον δίκτυο ύδρευσης (σε συνδέσεις με καταναλωτές) και 10 αστοχίες στο πρωτεύον δίκτυο καταγράφησαν και χωροθετήθηκαν σε GIS.

*Δίκτυο Αποχέτευσης*

Στο δίκτυο αποχέτευσης καταγράφηκαν αστοχίες κυρίως λόγω των σημαντικών μόνιμων μετακινήσεων. Ωστόσο λόγω της φύσης του δικτύου (βαρύτητας με φυσικό αποδέκτη τη θάλασσα περιμετρικά της πόλης) και της έλλειψης άμεσων συνεπειών, δεν κατέστη δυνατή η πλήρης τεκμηρίωση όλων των πιθανών αστοχιών. Ο υψηλός υπόγειος ορίζοντας της πόλης της Λευκάδας (περίπου 0,50m) και η ύπαρξη απορροφητικών βόθρων σε ολόκληρη την περιοχή της παλιάς πόλης, μεγέθυναν τη δυσκολία αποτίμησης της σεισμικής απόκρισης του δικτύου αποχέτευσης. Μόνο δύο αστοχίες καταγράφηκαν. Αυτές οι αστοχίες αναφέρονται στον αγωγό που διασχίζει την Γκολέμη (περιοχή με μεγάλες εδαφικές παραμορφώσεις) και στον αγωγό που ήταν τοποθετημένος στη διασταύρωση της 8<sup>ης</sup> μεραρχίας και Καραβέλα. Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων (ΕΕΑΑ) που εξυπηρετεί την πόλη της Λευκάδας δεν υπέστη καμία ζημιά.

### 1.2.3 Συμπεράσματα

Σήμερα η εμπειρία των σεισμών της τελευταίας τριακονταετίας σε διεθνές και εγχώριο επίπεδο έχει οδηγήσει στην κατασκευή δικτύων κοινής ωφέλειας τα οποία συμπεριφέρονται ομαλά σε περιπτώσεις σεισμών. Ορισμένα από τα συμπεράσματα είναι :

- Οι βλάβες από σεισμό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό, ειδικά σε περιοχές με επιφανειακά ρήγματα.
- Πρέπει να υπάρχουν σχέδια έκτατων αναγκών και συντονισμού.
- Οι καταναλωτές πρέπει να γνωρίζουν τότε να κλείνουν την κεντρική βάνα αερίου.
- Τμηματοποίηση των δικτύων διανομής.
- Βλάβες στις εσωτερικές εγκαταστάσεις μπορούν να συμβούν σε παλιά και νέα κτίρια.
- Νέοι χαλύβδινοι αγωγοί με ηλεκτροσυγκόλληση συμπεριφέρονται καλά σε μεγάλους σεισμούς
- Οι αγωγοί πολυαιθυλενίου με θερμοσύντηξη κατ' άκρα παρουσιάζουν καλή συμπεριφορά στους σεισμούς.

- Η κατάσταση του εδάφους είναι σημαντικός παράγοντας στην ανάπτυξη των δικτύων.
- Η έλλειψη συνεργασίας ανάμεσα στους φορείς αερίου και ηλεκτρισμού συμβάλλει στην ανάπτυξη καταστροφών από φωτιά.
- Σε περιοχές με υψηλό κίνδυνο μόνιμων εδαφικών μετακινήσεων (ρευστοποιήσεις, κατολισθήσεις, επιφανειακά ρήγματα) πρέπει να παίρνονται ειδικά τεχνικά μέτρα.
- Χρήση ασφαλιστικών διατάξεων στα κτίρια που ενεργοποιούνται όταν υπάρχει βλάβη (βαλβίδες υπέρβασης ροής, βάνες ακαριαίας διακοπής, βαλβίδες υπέρβασης ροής χαμηλών πιέσεων).

### 1.3 Η Σεισμική Μηχανική των Γραμμών Ζωής

Ο κλάδος της σεισμικής μηχανικής Γραμμών Ζωής (lifeline earthquake engineering), ασχολείται με την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας (seismic hazard) και της τρωτότητας (vulnerability), έχοντας ως στόχο την αποτίμηση (assessment) και διαχείριση (management) της σεισμικής διακινδύνευσης (seismic risk) των Γραμμών Ζωής.

Η Σεισμική Διακινδύνευση (seismic risk) αποτελεί ένα τρόπο κωδικοποίησης των σεισμικών απωλειών. Η σεισμική διακινδύνευση αποτελεί μια έκφραση του αναμενόμενου βαθμού απωλειών όλων των υπό διακινδύνευση στοιχείων. Ο αντίκτυπος της σεισμικής φυσικής καταστροφής πέραν της μείζονος οικονομικής πτυχής, άπτεται του συνόλου της κοινωνικής δραστηριότητας καθώς οι συνελκόμενες κατά κανόνα έμμεσες επιρροές της διαστέλλουν το πρόβλημα. Η αποτίμηση συνεπώς σε όρους διακινδύνευσης επιτρέπει τον προσδιορισμό των εν γένει απωλειών (άμεσων ή έμμεσων), φέρει όμως το μειονέκτημα του δυσχερώς αξιοποιήσιμου αποτελέσματος με την μάλλον ποιοτική παρά ποσοτική απεικόνιση που παρέχει. Επιπλέον στις περιπτώσεις όπου η διακινδύνευση εκφράζει μονοσήμαντα την οικονομική επίπτωση, αδυνατεί να αποτυπώσει την χωρική διασπορά των ζημιών. Ενδεικτικά η διακινδύνευση μπορεί να χαρακτηρίσει δομικές βλάβες έργων υποδομής, οικονομικοκοινωνικές επιπτώσεις, ανθρώπινες και λειτουργικές απώλειες ή άλλες μεσοπρόθεσμες – μακροπρόθεσμες επιρροές στην ανθρώπινη δραστηριότητα.

Για την ποσοτική της έκφραση έχουν διατυπωθεί ποικίλες προτάσεις, όλες όμως έχουν γνώμονα την εξάρτηση από τον Σεισμικό Κίνδυνο (seismic hazard) και την Τρωτότητα (vulnerability). Βάσει της αποδεκτής γενικευμένης έκφρασης, οι δυο παράμετροι εμπλέκουν αφενός την πιθανότητα να συμβεί ένας σεισμός εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος, αφετέρου την ευπάθεια των στοιχείων των Γραμμών Ζωής στις σεισμικές διεγέρσεις εντός της περιοχής αυτής. Οι δυο πυλώνες στους οποίους βασίζεται η εκτίμηση της διακινδύνευσης είναι με την σειρά τους συναρτήσεις λοιπών παραμέτρων.

Η αποτίμηση (assessment) της σεισμικής διακινδύνευσης (seismic risk) είχε χρησιμοποιηθεί μέχρι πρόσφατα σε πολύ μικρό βαθμό για την διαχείριση κρίσεων

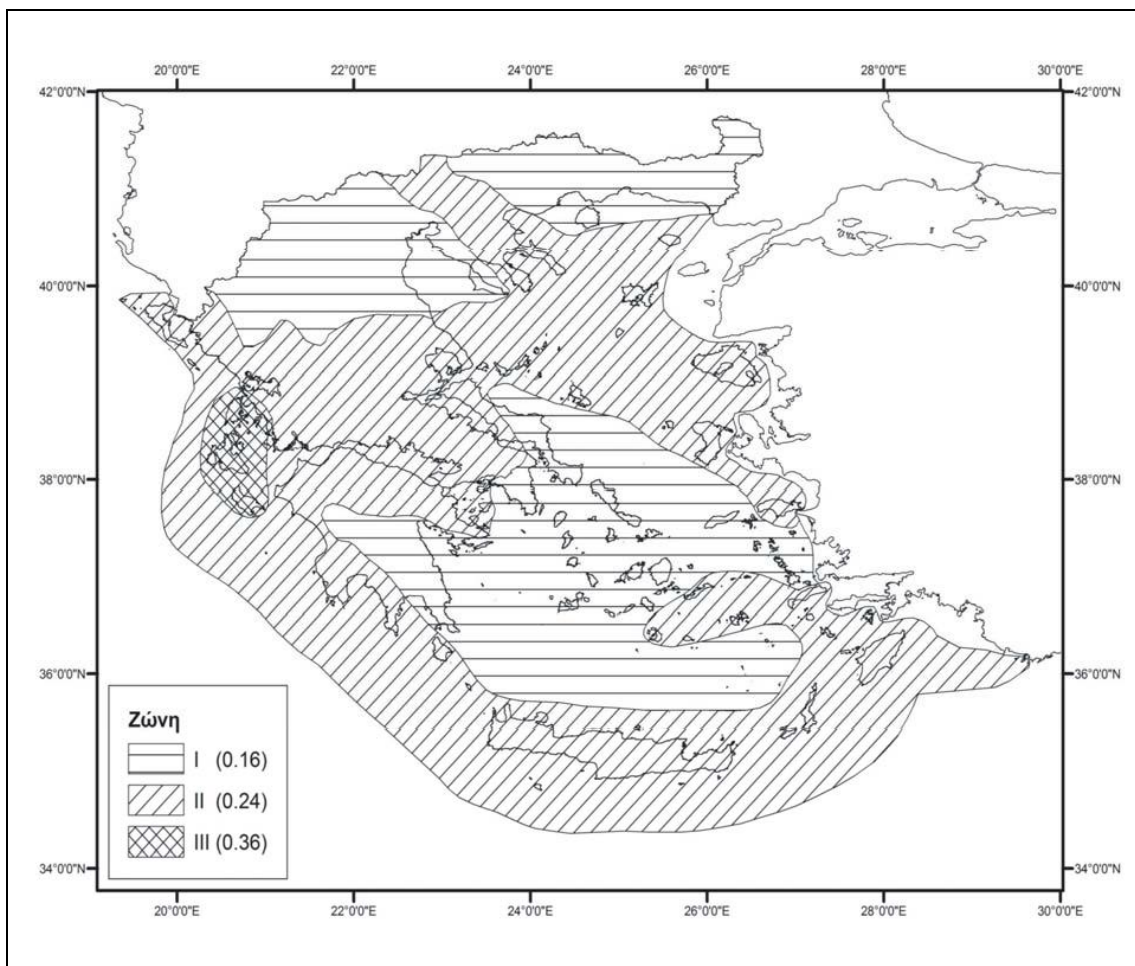
και φυσικών καταστροφών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης των Γραμμών Ζωής είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο αντικείμενο εξαιτίας της πολυπλοκότητας των εκτιθέμενων στοιχείων, της χωρικής μεταβλητότητας τους και της εκτεταμένης κατανομής τους στο χώρο. Επιπλέον, η μέχρι πρόσφατα έλλειψη αξιόπιστων δεδομένων ζημιών μετά από ισχυρούς σεισμούς αποτελούσε εμπόδιο στην ανάπτυξη μεθόδων αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης.

Η κατάσταση αυτή άλλαξε ριζικά την τελευταία δεκαετία, κατά την οποία οι ισχυροί σεισμοί που έλαβαν χώρα έδωσαν την δυνατότητα συγκέντρωσης πολύτιμων στοιχείων, ενώ οι σημαντικές άμεσες και έμμεσες απώλειες που οφείλονταν στις αστοχίες των Γραμμών Ζωής «τράβηξαν την προσοχή» επιστημόνων και Αρχών. Παράλληλα, η ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) προσέφερε ένα εξαιρετικό εργαλείο για την εφαρμογή καινοτόμων και αποδοτικών τεχνικών, με αποτέλεσμα να έχουν προταθεί αρκετές μεθοδολογίες για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης Γραμμών Ζωής σε αστικό περιβάλλον.

### 1.3.1 Σεισμική Διακινδύνευση (seismic risk)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στόχος της αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης είναι η εκτίμηση των υλικών και μη απωλειών, η κατά το δυνατό μείωση αυτών, η βελτίωση της αξιοπιστίας των συστημάτων και ο καθορισμός προτεραιοτήτων κατά την διαχείριση του σεισμικού κινδύνου. Οι εν γένει μελέτες σεισμικής διακινδύνευσης αποβλέπουν στο να παρέχουν μια πρόβλεψη των απωλειών, συνεισφέροντας στην προσπάθεια σύνταξης χαρτών περιοχών υψηλής διακινδύνευσης (risk maps). Το τελικό τους πόρισμα αποσκοπεί να αναδείξει τις πλέον σεισμικά τρωτές περιοχές με δυνατότητα αναγωγής της μεθόδου σε ευρύτερη γεωγραφική περιφέρεια.

Κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί η διάφορα μεταξύ περιοχών «*υψηλής διακινδύνευσης*» και «*υψηλής επικινδυνότητας*». Στο Σχήμα 1.3 παρουσιάζεται ο χάρτης των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (EAK 2000), ενώ στο Σχήμα 1.4 παρουσιάζεται ο χάρτης αποτίμησης της μέσης εκτιμήτριας διακινδύνευσης ( $V_m$ ) όπως συντάχθηκε από ομάδα εργασίας του ΤΕΕ (ΤΕΕ 2002) στα πλαίσια του προγράμματος Αντισεισμικής Ενίσχυσης Υφισταμένων Κτιρίων (ΑΝΤΥΚ). Παρατηρούμε ότι περιοχές της Ελλάδας που χαρακτηριστικά ανήκουν σε ζώνες «*υψηλής επικινδυνότητας*», δεν συγκαταλέγονται κατ' ανάγκην σε περιοχές «*υψηλής διακινδύνευσης*». Για παράδειγμα, τα νησιά του Νοτίου Ιονίου ανήκουν στην ζώνη III σύμφωνα με το Σχήμα 1.3 (ζώνη μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης), ενώ σύμφωνα με το Σχήμα 1.4 συγκαταλέγονται στις περιοχές με την ελάχιστη διακινδύνευση. Ομοίως με την Αθήνα και την Πάτρα οι οποίες ανήκουν στις ζώνες I και II αντίστοιχα (Σχήμα 1.3) αλλά εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές διακινδύνευσης (Σχήμα 1.4). Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί παράδοξο δεδομένου ότι η «*σεισμική διακινδύνευση*» αντικατοπτρίζει τις αναμενόμενες σεισμικές απώλειες, εν αντιθέσει προς την «*σεισμική επικινδυνότητα*» που περιγράφει την ένταση ενδεχόμενου σεισμικού επεισοδίου ως προς μια παράμετρο της εδαφικής απόκρισης.



Σχήμα 1.3 – Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας (Πηγή : ΕΑΚ 2000)

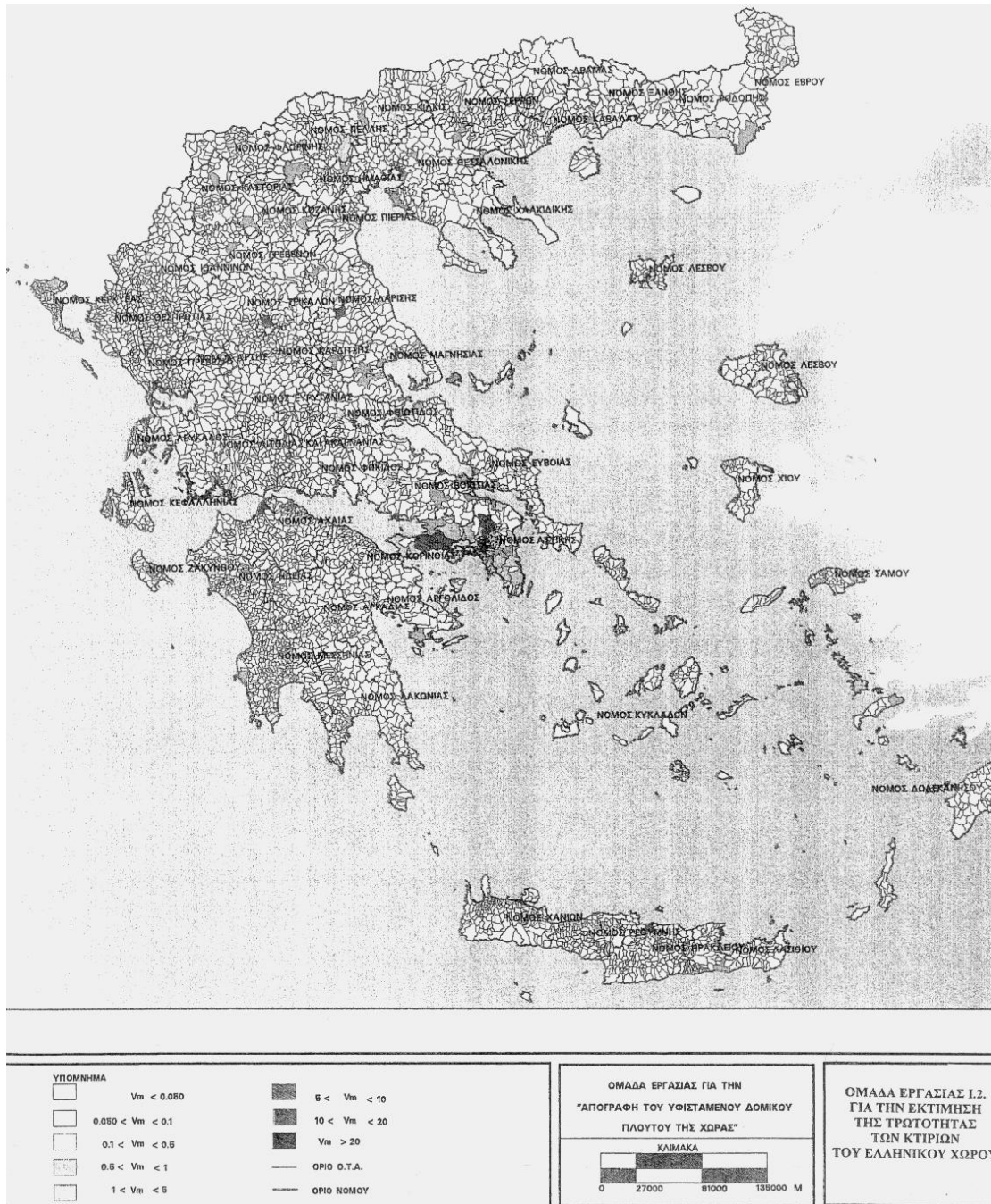
Για τον υπολογισμό της σεισμικής διακινδύνευσης (seismic risk) χρειάζεται να εκτιμηθεί η σεισμική επικινδυνότητα (seismic hazard), η τρωτότητα (vulnerability) και η σπουδαιότητα (importance) του υπό μελέτη στοιχείου. Η γενική μαθηματική έκφραση της σεισμικής διακινδύνευσης είναι της μορφής :

$$[\text{risk}] = [\text{hazard}] \times [\text{vulnerability}] \times [\text{importance}]$$

Η σπουδαιότητα (importance) συνδέεται με λειτουργικά, κοινωνικά και οικονομικά κριτήρια.

### 1.3.2 Σεισμικός Κίνδυνος (seismic hazard)

Η πρώτη κύρια συνιστώσα προσδιορισμού της διακινδύνευσης σύμφωνα και με την προηγούμενη μαθηματική σχέση αφορά στον σεισμικό κίνδυνο. Στον κλάδο των φυσικών καταστροφών ως κίνδυνος περιγράφεται οποιοδήποτε φυσικό γεγονός, φαινόμενο ή ανθρώπινη ενέργεια δύναται να προξενήσει βλάβη στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Ο σεισμικός κίνδυνος (σεισμικό επεισόδιο), αντιπροσωπεύει την πιθανότητα να συμβεί ένα σεισμικό γεγονός ίσο ή μεγαλύτερο από το αναμενόμενο εντός ορισμένης χρονικής περιόδου το οποίο θα διεγείρει την



Σχήμα 1.4 – Μέση εκτιμήτρια Διακινδύνευσης στον Ελλαδικό χώρο (Ομάδα εργασίας Ι.2 (ΤΕΕ, 2002))  
(Πηγή : [31])

περιοχή μελέτης. Ο σεισμός προκαλείται από διατάραξη της ισορροπίας των γήινων πετρωμάτων (ή ηφαιστειακών εκρήξεων σπανιότερα), φαινόμενο που όμως δεν έχει εξηγηθεί πλήρως επιστημονικά και για τα ακριβή γενεσιουργά αίτια δεν διατίθενται αιτιατές ερμηνείες. Η ερμηνεία του φαινομένου δυσχεραίνεται ακόμα περισσότερο καθώς το παρατηρούμενο αποτέλεσμα αλλοιώνεται δραματικά από το μέσο διάδοσης, τον τρόπο διασποράς των σεισμικών κυμάτων καθώς και τη δομή του υπεδάφους (τοπικές εδαφικές συνθήκες). Η πρόγνωση δε του φαινομένου στις μέρες μας συνιστά ένα αρκετά αμφιλεγόμενο ζήτημα, κυρίως ως προς την χρησιμότητα του πορίσματος του. Αντιθέτως είναι αποδεκτή μία θεώρηση της πιθανής κίνησης της επιφάνειας του εδάφους, βασισμένη σε μακροχρόνιες

παρατηρήσεις σεισμικών γεγονότων. Σε συνδυασμό με τα γεωτεκτονικά δεδομένα μιας περιοχής, τα στοιχεία επαρκούν για να εμπεριστατώσουν μέσω στατιστικής επεξεργασίας εμπειρικές (απλοποιητικές) σχέσεις υπολογισμού της σεισμικότητας. Η σεισμικότητα είναι μια γενική περιγραφή της σεισμικής δραστηριότητας που ορίζει την εμφάνιση και διανομή των σεισμών χωρικά και χρονικά ή εναλλακτικά σε όρους ενέργειας, την εκλυόμενη ως προς την επιφάνεια και τον χρόνο.

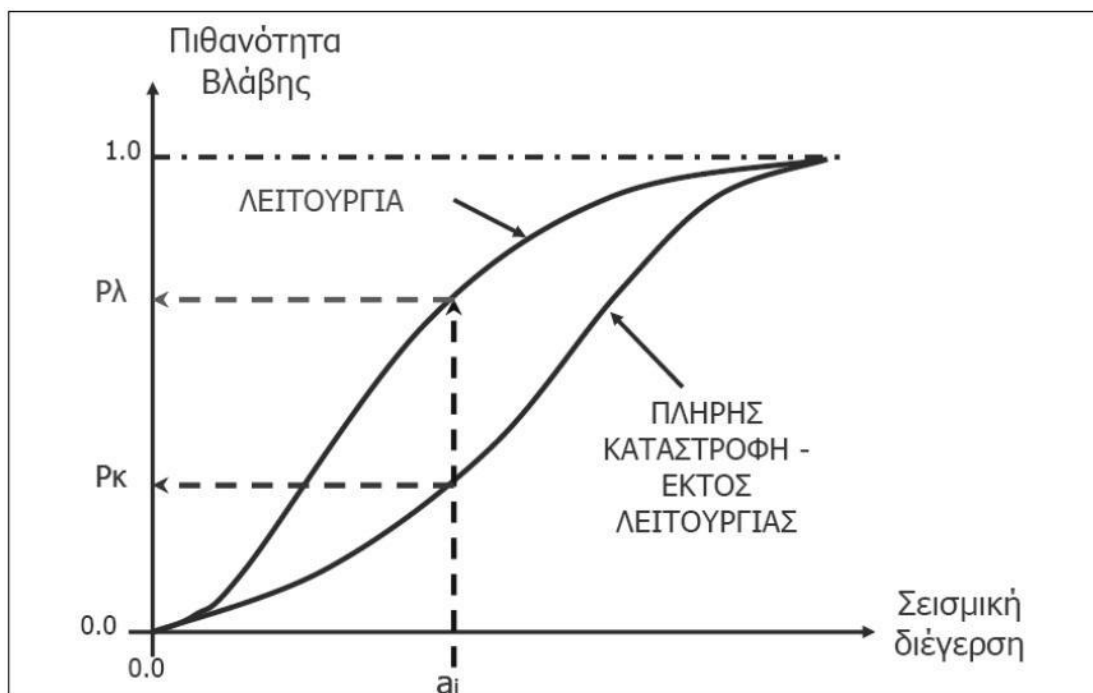
### 1.3.3 Τρωτότητα (vulnerability)

Η τρωτότητα (vulnerability) ορίζεται ως ο βαθμός απωλειών ενός συγκεκριμένου στοιχείου εκτιθέμενου σε σεισμικό κίνδυνο, που προκύπτει για ένα δεδομένο επίπεδο σεισμικής διέγερσης. Ποσοτικά εκφράζεται ως η πιθανότητα για δεδομένη σεισμική ένταση  $I$ , το στοιχείο να υποστεί μια ορισμένη βλάβη  $D$ ,

$$V = P [D / I]$$

άρα το φάσμα τιμών βρίσκεται μεταξύ 0 (μηδενική απώλεια) και 1 (πλήρης απώλεια).

Συνήθως, η τρωτότητα εκφράζεται μέσω μιας καμπύλης τρωτότητας (fragility curve). Οι καμπύλες τρωτότητας δίνουν την πιθανότητα το υπό εξέταση στοιχείο να βρίσκεται ή να έχει υπερβεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης κάτω από την επίδραση μιας σεισμικής διέγερσης (PGA ή PGV ή PGD). Οι καμπύλες αυτές δίνουν μια σαφή απεικόνιση της σχέσης «σεισμική διέγερση – βλάβη», όπως φαίνεται στην Σχήμα 1.5.



Σχήμα 1.5 – Απεικόνιση της σχέσης «Σεισμική Διέγερση – Βλάβη» ( Πηγή: [24] )



Οι σχέσεις τρωτότητας είναι δυνατόν να έχουν διάφορες μορφές. Βασίζονται σε εμπειρικές, αναλυτικές διαδικασίες και κρίσεις επιστημόνων. Για κάθε συνιστώσα των Γραμμών Ζωής καθορίζεται μια συγκεκριμένη σχέση τρωτότητας. Κάθε συνιστώσα αποτελεί ένα τμήμα του δικτύου που έχει σταθερές ιδιότητες (υλικό, διαστάσεις, είδος σύνδεσης κ.λπ.) και ομοιόμορφη έκθεση στον σεισμικό κίνδυνο. Οι σχέσεις τρωτότητας αναμφίβολα περιέχουν τους παράγοντες της αβεβαιότητας και της τυχαιότητας, οι οποίοι πηγάζουν από τον προσδιορισμό του σεισμικού κινδύνου αλλά και από την απόδοση της ίδιας της συνιστώσας στο συγκεκριμένο επίπεδο κινδύνου.

#### 1.4 Γενική Μεθοδολογία Αποτίμησης της Σεισμικής Διακινδύνευσης

Οι μελέτες σεισμικής διακινδύνευσης είναι πολυδιάστατα εγχειρήματα. Ενδεικτικά μια άρτια ομάδα εργασίας (σύμφωνα με την αμερικανική ομοσπονδιακή υπηρεσία διαχείρισης εκτάκτων αναγκών FEMA, 2003) συγκροτείται από ένα ευρύ φάσμα ειδικοτήτων: γεωλόγους, γεωτεχνικούς και δομοστατικούς μηχανικούς, αρχιτέκτονες – πολεοδόμους, οικονομολόγους, ειδικούς στη διαχείριση κρίσεων (σώματα ασφάλειας), αντιπροσώπους της εξεταζόμενης περιφέρειας ή ακόμα και κοινωνιολόγους για μακροπρόθεσμο σχεδιασμό. Καθώς δε το πόρισμα τέτοιων μελετών αναμένεται να απευθύνονται σε εξίσου ανομοιόμορφο σύνολο, το αποτέλεσμα οφείλει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο σαφές ως προς τις ενδείξεις και υποδείξεις παρά λεπτομερές ως προς τις τεχνικές του πτυχές. Για την επιτυχή έκβαση της προσπάθειας είναι ιδιαίτερος σημαντικό οι πληροφορίες και τα δεδομένα που προσκομίζονται από κάθε επαγγελματική ομάδα να είναι σε συμβατή μεταξύ τους μορφή για να μην απαιτείται επιπλέον επεξεργασία για την χρήση τους.

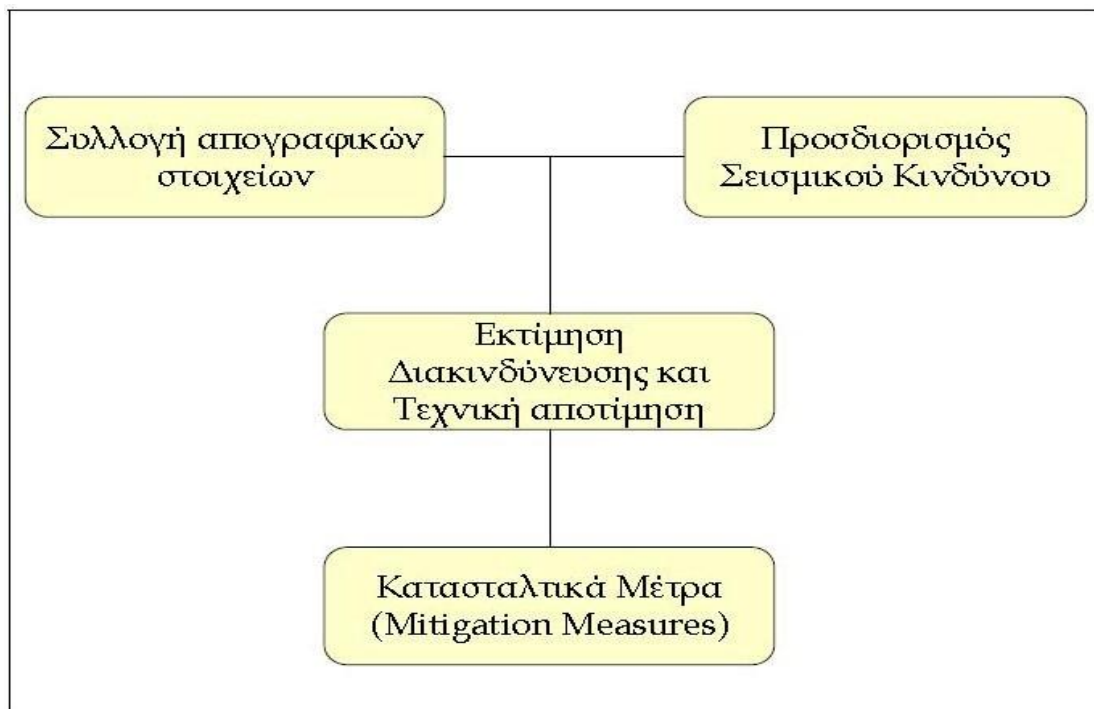
Απόρροια της ανάμειξη πλειάδας παραμέτρων είναι και ο υψηλός συντελεστής ανακρίβειας που αναπόφευκτα υπεισέρχεται. Η διακλαδική φύση του αντικειμένου καθιστά σχεδόν αδύνατο τον περιορισμό στο ελάχιστο των πηγών ανακρίβειών, εφικτή είναι όμως η αντιμετώπιση τους. Το πρόβλημα αμβλύνεται σημαντικά με την εν γένει κατάτμηση της περιοχής μελέτης σε μικρότερες περιοχές ευθύνης για κάθε ομάδα εργασίας. Επί τούτου, θα ήταν παραλογισμός σε αντιδιαστολή να εκπονούνται μελέτες για μεμονωμένα στοιχεία ή για εκτάσεις γης σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου. Παρακάμπτοντας εδώ τις ειδικές περιπτώσεις όπου το ζητούμενο είναι ακριβώς η εξειδίκευση για μείζονος σημασίας έργα υποδομής, κοινός προσανατολισμός των μελετών είναι η προσαρμογή της μελέτης στις συνθήκες της περιοχής με χρήση μέσων γνωρισμάτων κάθε αντιπροσωπευτικής ομάδας στοιχείων.

Η γενική μεθοδολογία που ακολουθείται αποτελείται από τα εξής βήματα (Σχήμα 1.6):

*i. Απογραφή των υπό διακινδύνευση στοιχείων.*

Προκειμένου να εκτιμηθεί η απώλεια πρέπει να είναι γνωστή η αντικειμενική αξία που είναι εκτεθειμένη σε κίνδυνο (Πίνακας 1.1). Μόνιμοι περιοριστικοί παράγοντες

της αποτίμησης της διακινδύνευσης είναι το κόστος απογραφής και η ποιότητα των δεδομένων. Η συλλογή και η καταγραφή της πληροφορίας σε βάση δεδομένων αποτελεί συνάμα την πλέον χρονοβόρα διαδικασία της μελέτης. Οι σύγχρονες μελέτες τείνουν να καταχωρούν τα περισυλλεγμένα στοιχεία (inventory) σε λογισμικές πλατφόρμες γεωγραφικών συστημάτων πληροφορίας (Geographical Information Systems – G.I.S.), δημιουργώντας έτσι τράπεζες πληροφορίας για κάθε περιφέρεια όπου ανά πάσα στιγμή κανείς μπορεί να ανατρέξει για να αναζητήσει, προσθέσει ή τροποποιήσει δεδομένα. Στην Ελλάδα η Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥΕ) είναι σε θέση να διαθέσει πολλά από τα απαραίτητα στοιχεία, ενδέχεται όμως για εξειδικευμένες και λεπτομερείς μελέτες να αναζητηθούν στοιχεία από την Τοπική Αυτοδιοίκηση. Επιπλέον θεμιτή είναι η συνεισφορά από οιονδήποτε φορέα διατηρεί ανανεωμένα αρχεία (Εφορεία, Αστυνομία κ.λπ.).



Σχήμα 1.6 – Βήματα αποτίμησης και αντιμετώπισης σεισμικών απωλειών ( Πηγή : [31] )

Κομβικό σημείο του προκαταρκτικού σχεδιασμού των μελετών είναι η κατανομή (classification) των στοιχείων απογραφής σε γενικές κατηγορίες. Ο τρόπος ταξινόμησης υποδεικνύεται από τα ίδια τα γνωρίσματα των κατασκευών και δει από την συχνότητα με την οποία απαντώνται. Μέσω της τυποποίησης επιδιώκεται επιτάχυνση της όλης διαδικασίας αφενός γιατί μειώνεται σημαντικά ο όγκος των δεδομένων (π.χ. τέσσερις δεξαμενές με κοινά χαρακτηριστικά αποτελούν τέσσερις μονάδες της ίδιας κατηγορίας αντί τεσσάρων διαφορετικών υποδιαίρέσεων) αφετέρου – και μακράν σημαντικότερο – διότι είναι αδιανόητο να εξετάζονται ξεχωριστά οι ιδιότητες κάθε δεξαμενής ενός δικτύου. Προκύπτει δηλαδή ένας πεπερασμένος αριθμός τύπων δεξαμενών με γνωστές τις μέσες ιδιότητες και η συνέχεια επαφίεται στην κρίση του μελετητή για το διαχωρισμό και την ταξινόμηση των δεδομένων που έχει στην διάθεσή του. Η τακτική αυτή εισάγει περαιτέρω ανακρίβεια στο αποτέλεσμα για αυτό είναι επιτακτική η βέλτιστη επιλογή γενικών κατηγοριών.

Δημογραφικά Δεδομένα	Κατανομή πληθυσμού Κατανομή εισοδήματος Ηλικία, ασχολία, εθνικότητα
Γενικό Κτιριακό Απόθεμα	Αριθμός κτιρίων και ορόφων Συνολικό εμβαδό κτιρίων Επιμέρους δομικά χαρακτηριστικά
Εγκαταστάσεις Υψηλής Σπουδαιότητας	Νοσοκομεία Σχολεία Στρατιωτικές εγκαταστάσεις Διοικητικά κτίρια Δημόσιες Υπηρεσίες Κτίρια Υπηρεσιών Ασφαλείας
Συγκοινωνιακή Υποδομή	Οδικό δίκτυο, γέφυρες, σήραγγες Σιδηροδρομικό Δίκτυο Αεροδρόμια – Λιμάνια
Δίκτυα	Ηλεκτρισμός Ύδρευσης – Άρδευσης Επικοινωνιών και Ενέργειας Αγωγοί λυμάτων, φυσικού αερίου, καυσίμων
Εγκαταστάσεις επικίνδυνου Δυναμικού	Ηλεκτροπαραγωγικοί Σταθμοί Πυρηνικοί σταθμοί

Πίνακας 1.1 – Απαιτούμενα απογραφικά στοιχεία ( Πηγή : [31] )

*ii. Προσδιορισμός Σεισμικού Κινδύνου.*

Η σεισμικότητα καθώς και οι αιτίες γένεσης των σεισμών σε σεισμικά ενεργές περιοχές είναι συχνά φαινόμενα μερικώς μόνο κατανοητά. Ως εκ τούτου ο σεισμικός κίνδυνος ορίζεται ως κάτω όριο ενώ για τον προσδιορισμό του απαιτούνται σεισμοτεκτονικές πληροφορίες και στοιχεία για παραμέτρους πιθανής εστίας περί την εξεταζόμενη περιοχή.

*iii. Εκτίμηση επιπτώσεων φυσικού κινδύνου.*

Πριν από την εφαρμογή αλγορίθμων υπολογισμού, πρέπει να κατανοηθεί εις βάθος ο αντίκτυπος (βραχυπρόθεσμος – μακροπρόθεσμος) της φυσικής καταστροφής. Οι πραγματικές απώλειες, μακράν απέχουν από ό,τι είναι οπτικά αντιληπτό τις πρώτες ώρες που έπονται ενός σεισμικού επεισοδίου. Πτυχές του σεισμικού προβλήματος όπως η κοινωνική τρωτότητα, αναδύονται εκ των υστέρων καθώς η καθολική επίδραση στις πληγείσες περιοχές αυξάνεται εκθετικά με το πέρας του χρόνου. Συχνά η καταπόνηση μιας περιοχής επιφέρει αναπόφευκτα αλλοιώσεις στις όμορες της. Το βήμα αυτό είναι αναπόσπαστο τμήμα της μεθόδου, αναμένεται όμως να προηγείται κατά πολύ της απόφασης εκπόνησης της μελέτης καθώς απαιτεί ενδελεχή εξέταση του τρόπου συσχέτισης των αναγκών που δημιουργεί ένα σφοδρό σεισμικό επεισόδιο σε πληγείσα περιοχή (π.χ. έμμεσες οικονομικές απώλειες εξαιτίας πρόσκαιρης ή και οριστικής διακοπής λειτουργίας βιομηχανικής μονάδας).

*iv. Εφαρμογή μεθόδου ποσοτικού προσδιορισμού της διακινδύνευσης.*

Η καθεαυτή αποτίμηση της διακινδύνευσης βάσει σεναρίων. Απαιτείται μια ολοκληρωμένη

μέθοδος καθώς και ένα ορθολογικό εργαλείο που να ενσωματώνει όλα όσα πιο πάνω αναφέρονται και να δύναται να ποσοτικοποιήσει και προσδιορίσει χωρικά τις αναμενόμενες βλάβες.

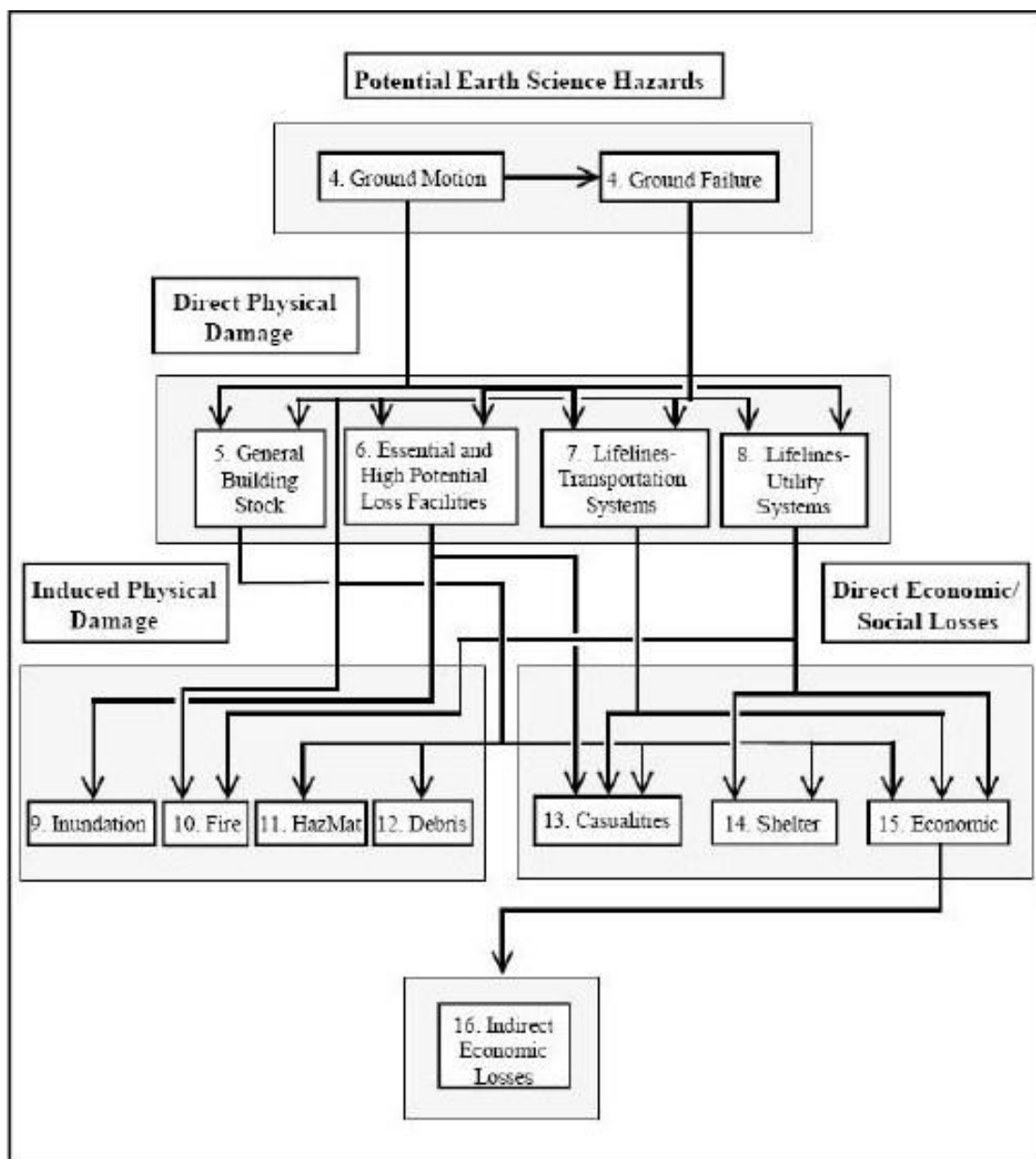
*v. Κατασταλτικά μέτρα (mitigation measures).*

Το προσδοκώμενο αποτέλεσμα ξεφεύγει φυσικά από μια απλή παράθεση υπολογισμών. Απώτερος στόχος είναι η επικουρία της μεθόδου στην σεισμική θωράκιση της Πολιτείας. Η Πολιτεία οφείλει να θέσει τις προτεραιότητες των αναγκών που απορρέουν από τον σεισμικό κίνδυνο και να αναπτύξει μηχανισμούς ανταπόκρισης για την περίπτωση σεισμικού επεισοδίου, προνοώντας να βρίσκεται σε θέση να παράσχει βοήθεια ειδικά κατά το πρώτο κρίσιμο εικοσιτετράωρο ενός επεισοδίου. Χρέος της είναι επίσης να ενημερώσει το κοινό που κατοικεί σε περιοχές ψηλής διακινδύνευσης μειώνοντας έτσι πολλές από τις παράπλευρες επιπτώσεις ενός σεισμού. Ότι ενδιαφέρει από καθαρά τεχνικής οπτικής Μηχανικού είναι η αντισεισμική ενίσχυση του υφιστάμενου τρωτού δομικού πλούτου. Υπερθεματίζοντας τα όσα σχολιάζονται σ' αυτό το κεφάλαιο, κανείς πρέπει να αναγνωρίσει τις σοβαρές πηγές αβεβαιότητας που ενυπάρχουν στην όλη προσπάθεια. Πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψιν το γεγονός της απόκλισης από την πραγματική τιμή των μεγεθών που εμπλέκονται στους υπολογισμούς. Δεν είναι απίθανες οι περιπτώσεις όπου η εκτίμηση διαφέρει έως και τάξεις μεγέθους (χαρακτηριστική η περίπτωση της πόλης Κόμπε στην Ιαπωνία όπου παρ' όλες τις προηγούμενες ενδείξεις, στο σεισμό του 1995 καταγράφηκαν διαφορετικές εδαφικές επιταχύνσεις διαπλάσεις από τις αναμενόμενες). Μη ανιχνεύσιμα ελαττώματα ομάδας υφισταμένων αγωγών ή ακόμα σοβαρότερα, μη χαρτογραφημένα ρήγματα (Γκαζέτας 2002) είναι σε θέση σε ενδεχόμενο επεισόδιο να επιφέρουν απώλειες πολύ διαφορετικές από τις προβλεπόμενες. Άλλωστε, ειδικά για τον ελλαδικό χώρο, οι ενόργανες μετρήσεις για τους σεισμούς είναι μάλλον πρόσφατες (τελευταία ογδοηκονταετία) άρα και περιορισμένης αξιοπιστίας ενώ οι μελέτες για την τρωτότητα βρίσκονται σε αρχικό στάδιο. Συνεπώς με γνώμονα την ατελή, κατά γενική παραδοχή, τρέχουσα γνώση στα γνωστικά αυτά πεδία, βέλτιστο αποτέλεσμα προκύπτει μόνο ως μέση τιμή από εφαρμογές ποικίλων σεναρίων για την ίδια υπόθεση εργασίας. Κατ' επέκταση η προ – αποτίμηση των απωλειών δεν μπορεί να αποτελέσει αυστηρώς την βάση προσεισμικού – μετασεισμικού σχεδιασμού μιας περιοχής αλλά να ληφθεί υπόψη ως μια εμπειριστατωμένη ένδειξη.

### 1.5 Μελέτες Αποτίμησης της Σεισμικής Διακινδύνευσης

➤ Η μεθοδολογία HAZUS (NIBS, 1997, 1999, 2002) θεωρείται ως η πιο ολοκληρωμένη μεθοδολογία υπολογισμού απωλειών λόγω σεισμού. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιεί τη λογική των σεισμικών σεναρίων και αξιοποιεί βάσεις δεδομένων για ορισμένα στοιχεία. Οι σχέσεις τρωτότητας που χρησιμοποιεί είναι εμπειρικές και αποτιμάται μέσω αυτών το επίπεδο αστοχίας και ο απαιτούμενος

χρόνος αποκατάστασης, ενώ παράλληλα, παρέχει λεπτομερείς χάρτες κατάλληλους για διαχείριση του σεισμικού κινδύνου και προτείνει συγκεκριμένα εργαλεία για τον υπολογισμό τόσο των άμεσων, όσο και των έμμεσων απωλειών και των συνεπειών στην κοινωνία. Στο Σχήμα 1.7 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας HAZUS. Η μεθοδολογία HAZUS 2004, χρησιμοποιείται από τις ΗΠΑ, αλλά και διεθνώς, για την κατάρτιση σχεδίων έκτακτων αναγκών σε εθνικό επίπεδο. Η αστοχία των στοιχείων, κατά HAZUS, περιγράφεται με πέντε επίπεδα (μηδενική αστοχία, μικρή, μεσαία, εκτεταμένη και ολοκληρωτική καταστροφή). Οι καμπύλες τρωτότητας υπολογίζουν την πιθανότητα υπέρβασης ενός συγκεκριμένου επιπέδου βλάβης για ένα καθορισμένο επίπεδο σεισμικής έντασης.

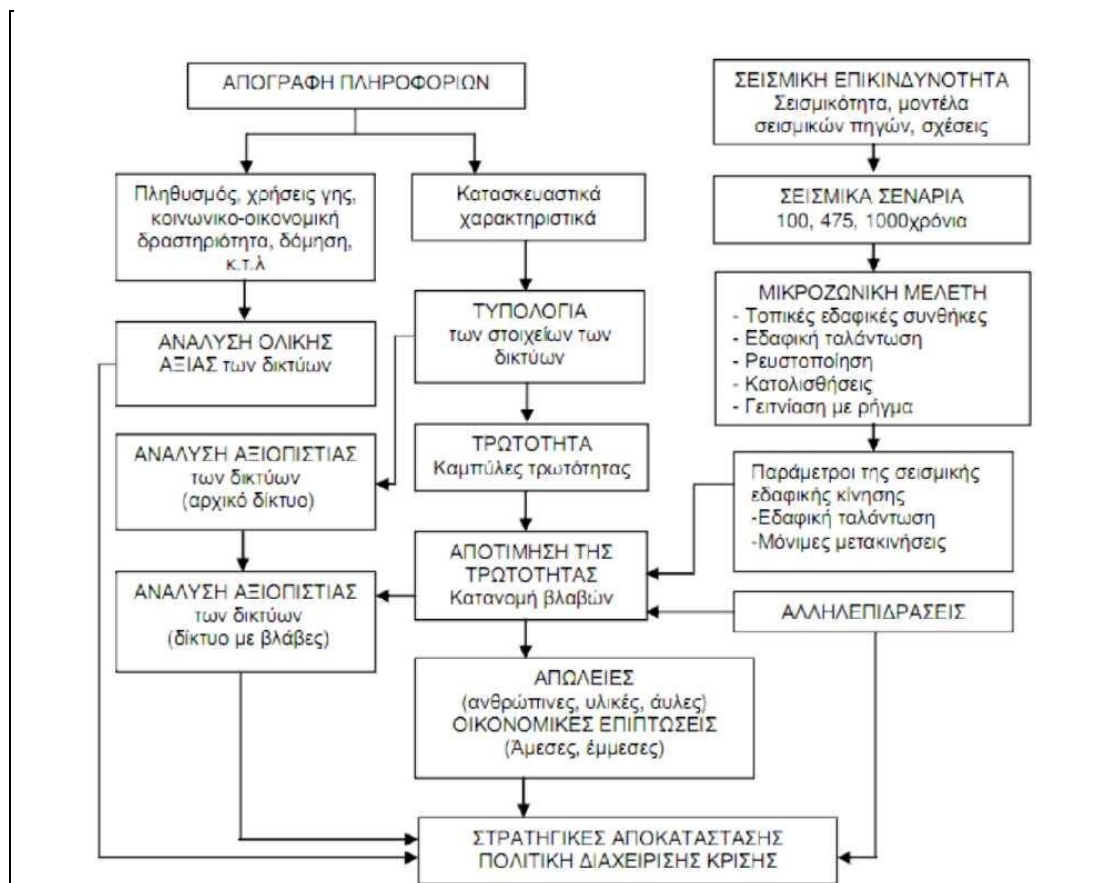


Σχήμα 1.7 – Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας HAZUS 2004 ( Πηγή : [32] )

➤ Πρόσφατα, αναπτύχθηκε στην Ευρώπη μία νέα μεθοδολογία, παρόμοια με τη μεθοδολογία HAZUS, με την ονομασία RISK – UE (Mouroux et al., 2004), η οποία περιλαμβάνει εξελιγμένες μεθόδους αποτίμησης της επικινδυνότητας, αναγνώρισης

των ιδιαιτεροτήτων και της τυπολογίας των ευρωπαϊκών κατασκευών και δικτύων, αποτίμησης των διεθνώς χρησιμοποιούμενων καμπύλων τρωτότητας κ.λπ..

➤ Την περίοδο 2003–2007 και στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος SRM–LIFE, αναπτύχθηκε μία νέα μεθοδολογία αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης των δικτύων κοινής ωφελείας. Η μεθοδολογία αυτή θεωρείται ότι ανταποκρίνεται στα δεδομένα και στις ανάγκες της Ελληνικής πρακτικής. Το διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 1.8 :



Σχήμα 1.8 – Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας SRM – LIFE, 2003 – 2007 ( Πηγή : [32] )

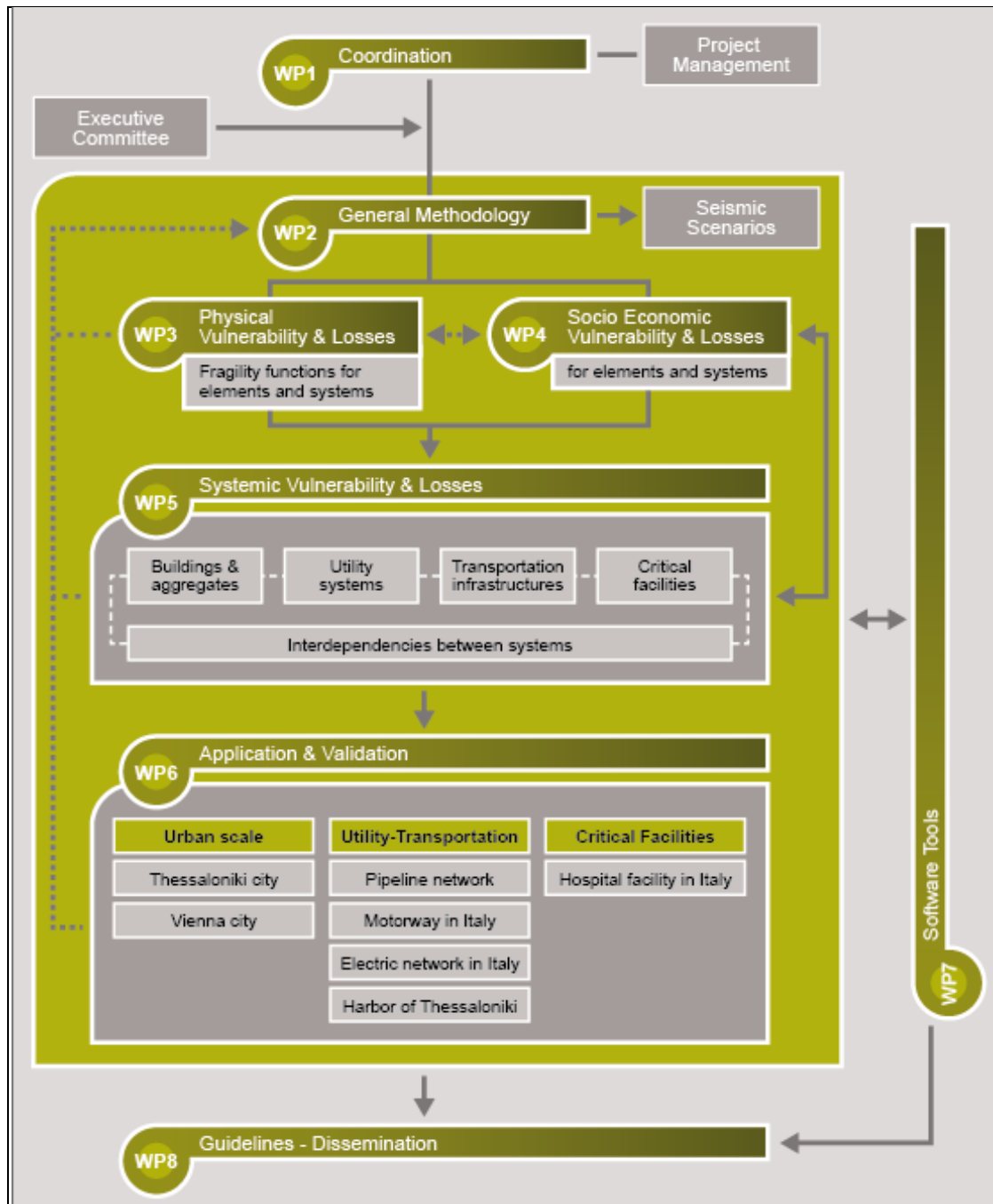
➤ Το Syner – G (Σχήμα 1.9) είναι ένα Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Συνεργασίας, το οποίο αναπτύσσεται την περίοδο 2009 – 2012. Έχει σαν επίκεντρο την συστηματική έρευνα της σεισμικής τρωτότητας και της ανάλυσης κινδύνου σε κτίρια και υποδομές. Η συστηματική τρωτότητα και η σχετική αύξηση των επιπτώσεων δεν έχουν εξεταστεί μέχρι τώρα σε ένα αυστηρό και ενιαίο τρόπο για όλα τα είδη των συστημάτων. Κύριοι στόχοι του Syner – G είναι :

- να επεξεργαστεί σε ευρωπαϊκό επίπεδο, κατάλληλες σχέσεις τρωτότητας για την ανάλυση της τρωτότητας και την εκτίμηση των απώλεια όλων των στοιχείων που διατρέχουν κίνδυνο
- να αναπτύξουν κοινωνικές και οικονομικές σχέσεις τρωτότητας για την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων των σεισμών
- να αναπτύξει μια ενιαία μεθοδολογία και τα απαραίτητα εργαλεία της, για την συστηματική αξιολόγηση της τρωτότητας όλων των στοιχεία που

εκτίθενται στο σεισμικό κίνδυνο, λαμβάνοντας υπόψη τις αλληλεπιδράσεις μέσα στο ίδιο σύστημα, αλλά και μεταξύ διαφορετικών συστημάτων

- να επικυρώσει την προτεινόμενη μεθοδολογία και τις προτεινόμενες καμπύλες τρωτότητας σε επιλεγμένες θέσεις (αστική κλίμακα), καθώς και να εφαρμόσουν ένα κατάλληλο λογισμικό με απεριόριστη πρόσβαση

Το κύριο αποτέλεσμα του προγράμματος Syner – G θα είναι ένα ανοικτού κώδικα λογισμικό για την αξιολόγηση σεισμικής τρωτότητας και των ζημιών λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις φυσικές και κοινωνικό – οικονομικές πτυχές.



Σχήμα 1.9 – Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας Syner – G, 2009 – 2012 ( Πηγή : [35] )

### 1.6 Αβεβαιότητες Μεθοδολογιών

Ακόμα και με χρήση των επιστημονικά αρτιότερων μεθόδων εκτίμησης των απωλειών το αποτέλεσμα δεν μπορεί παρά να θεωρηθεί ως μια ένδειξη του τι μελλοντικά θα υποστεί μια περιοχή. Κύρια αιτία αβεβαιοτήτων συνιστά η επιλογή και η φύση του σεναρίου. Συχνά η σεισμικότητα ή ακόμα ειδικότερα το γεωλογικό υπόβαθρο μιας περιοχής είναι μερικώς μόνο κατανοητά. Πολλών συνιστωσών η σεισμική απόκριση ή μορφή των καμπυλών τρωτότητας ενδέχεται να διαφέρει σημαντικά από αυτήν της κατηγορίας στην οποία εντάσσεται. Το πρόβλημα καθίσταται εντονότερο στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η ανομοιομορφία των στοιχείων είναι πιο έκδηλη, όπως για παράδειγμα η περίπτωση των Γραμμών Ζωής όπου κάθε κατασκευή διαθέτει τα δικά της ξεχωριστά γνωρίσματα.

Υπάρχουν τουλάχιστον δύο τρόποι εντοπισμού της αβεβαιότητας και τυχαιότητας :

**Μέθοδος 1:** Παρακολούθηση των παραμέτρων διασποράς τόσο για τον κίνδυνο σεισμού, όσο και για κάθε συνιστώσα του δικτύου. Συνδυασμός αυτών των δύο σε μια συνολική εκτίμηση της διασποράς, η οποία ακολουθεί την ανάλυση της σεισμικής διακινδύνευσης σε όλη την μετέπειτα έκτασή της.

- Αυτή η προσέγγιση είναι βολική καθώς η πολυπλοκότητα της ανάλυσης είναι απλοποιημένη σε λίγους όρους (π.χ. διαμέσου) κάθε συνιστώσας.
- Ένα μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι δεν είναι αρκετά ευέλικτη ώστε να ασχοληθεί με συστήματα διανομής (π.χ. δικτύου ύδρευσης), τα οποία αποτελούνται από στοιχεία και κόμβους. Η μορφή του διασποράς για κάθε συστατικό (είτε είναι στοιχείο, είτε είναι κόμβος) μπορεί να διαφέρουν.

**Μέθοδος 2:** Παρακολούθηση των παραμέτρων διασποράς τόσο για τον κίνδυνο σεισμού, όσο και για τις συνιστώσες. Αξιολόγηση της διασποράς κάθε συνιστώσας ξεχωριστά χρησιμοποιώντας την τεχνική προσομοίωσης Monte Carlo. Για κάθε προσομοίωση, συνδυάζονται τα αποτελέσματα για κάθε συνιστώσα σε μία απόδοση ειδικά για μια σύνδεση ή έναν κόμβο συνδυάσει τότε η απόδοση όλων των συνδέσεων και κόμβων με τη χρήση κατάλληλου μοντέλου του συστήματος για να καθορίσει το πόσο καλά το όλο σύστημα εκτελεί. Τέλος, επαναλάβετε αυτή την ανάλυση για πολλές προσομοιώσεις και να παρακολουθείτε την περιοχή στην συνολική απόδοση του συστήματος.

- Αυτή η προσέγγιση μπορεί να χειριστεί εύκολα οποιαδήποτε μορφή του μοντέλου υπολογισμού της διασποράς για συγκεκριμένες συνιστώσες.
- Μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι απαιτεί περισσότερο υπολογιστικό φόρτο σε σχέση με την Μέθοδο 1.



## 2. Συνιστώσες Δικτύων Ύδρευσης – Αποχέτευσης

### 2.1 Εισαγωγή

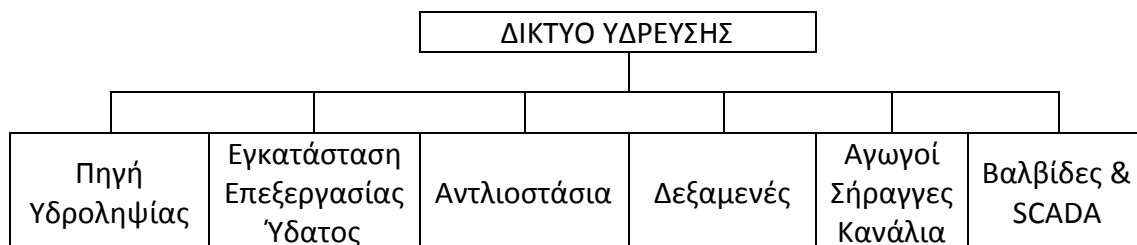
Οι κατάλογοι απογραφής πληροφοριών αποτελούν τη βάση για να κατηγοριοποιηθούν όλα τα στοιχεία των Δικτύων Κοινής Ωφέλειας ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και τις κατασκευαστικές και λειτουργικές ιδιομορφίες τους, σε συγκεκριμένες κατηγορίες που χαρακτηρίζουν την τυπολογία τους. Οι βάσεις δεδομένων που καταρτίζονται για τα στοιχεία των δικτύων πρέπει να περιλαμβάνουν πληροφορίες που αφορούν στην γεωγραφική θέση, τη γεωμετρία, τις μορφολογικές λεπτομέρειες, τις ιδιότητες των υλικών, την ηλικία και το επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού.

Υπάρχουν διάφορες βάσεις δεδομένων για Δίκτυα Κοινής Ωφέλειας που διαφέρουν σε αναλυτικότητα και ικανότητα άντλησης πληροφοριών ανάλογα με τις διαφορετικές απαιτήσεις και τα επίπεδα ακρίβειας των μελετών σεισμικής διακινδύνευσης σε εθνικό ή τοπικό επίπεδο. Πλέον είναι διαθέσιμα αρκετά δεδομένα, ωστόσο σε αντίθεση με τις βάσεις δεδομένων που αναφέρονται στο κτιριακό απόθεμα, οι αντίστοιχες που προσανατολίζονται σε αναλύσεις σεισμικής διακινδύνευσης δικτύων δεν είναι διαθέσιμες σε εθνικό ή έστω και τοπικό επίπεδο. Η πρώτη προσπάθεια δημιουργίας βάσης δεδομένων για Δίκτυα Κοινής Ωφέλειας παρουσιάστηκε από το ATC-13 (1985), ενώ η προσπάθεια συνεχίστηκε από το ATC-25 (1991). Στην Ευρώπη έχουν γίνει ως τώρα μόνο ατομικές προσπάθειες, οι οποίες βασίζονται σε ερευνητικά προγράμματα που χρηματοδοτούνται είτε από την Ευρωπαϊκή Ένωση είτε από εθνικά κονδύλια.

### 2.2 Δίκτυο Ύδρευσης

Σύμφωνα με τους American Lifelines Alliance (ALA – 2001), RISK – UE (2001 – 2004), LESSLOSS (2004 – 2007) και Syner – G (2009 – 2012), τα δίκτυα ύδρευσης απαρτίζονται από τις εξής συνιστώσες (Σχήμα 2.1) :

- την πηγή υδροληψίας (γεωτρήσεις – πηγές – υδροληψίες)
- τους κύριους τροφοδοτικούς αγωγούς
- τους αγωγούς του δικτύου διανομής
- τα κανάλια
- τις σήραγγες
- τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ύδατος
- τα αντλιοστάσια
- τις δεξαμενές
- τις βαλβίδες και τα συστήματα αυτόματου ελέγχου (SCADA)



Σχήμα 2.1 – Συνιστώσες Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] )

### 2.2.1 Πηγή υδροληψίας

Το νερό προέρχεται από πηγές, γεωτρήσεις, ποτάμια και φυσικές ή τεχνητές λίμνες. Οι γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται ευρέως ως κύρια ή δευτερεύουσα πηγή υδροληψίας. Οι γεωτρήσεις περιλαμβάνουν αντλίες ώστε το νερό να φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους, ηλεκτρο – μηχανολογικό εξοπλισμό, καθώς και κτιριακή εγκατάσταση που περικλείει και προφυλάσσει τον παραπάνω εξοπλισμό.

#### Τυπολογία

- Αγκύρωση ή μη στοιχείων
- Δευτερεύοντα στοιχεία
  - ⇒ Ηλεκτρική ενέργεια
  - ⇒ Αντλίες
  - ⇒ Κτιριακή εγκατάσταση
  - ⇒ Ηλεκτρο-μηχανολογικός εξοπλισμός

### 2.2.2 Αγωγοί (εσωτερικού & εξωτερικού υδραγωγείου)

Οι αγωγοί εξωτερικού υδραγωγείου είναι συνήθως μεγάλης διαμέτρου (διάμετρος μεγαλύτερη των 400mm) και μεταφέρουν το νερό από την πηγή υδροληψίας στην εγκατάσταση επεξεργασίας ύδατος. Οι αγωγοί αυτοί συχνά κατασκευάζονται από σκυρόδεμα, σίδηρο ή χάλυβα.

Οι αγωγοί εσωτερικού υδραγωγείου είναι μικρότερης διαμέτρου από τους προηγούμενους και μεταφέρουν το επεξεργασμένο πλέον νερό στους καταναλωτές και στους πυροσβεστικούς κρουούς. Αποτελούν δηλαδή το δίκτυο διανομής.

#### Τυπολογία

- Τοποθεσία
- Υλικό κατασκευής
  - ⇒ Ασβεστο-τσιμέντο (AC)
  - ⇒ Σκυρόδεμα (C)
  - ⇒ Χυτοσίδηρο (CI)
  - ⇒ Όλκιμο σίδηρο (DI)
  - ⇒ Χάλυβα (S)
  - ⇒ Πολύ-βινυλοχλωρίδιο (PVC)
  - ⇒ Πολύ-αιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)
  - ⇒ Πηλός
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

- ⇒ Διάμετρος
- ⇒ Πάχος τοιχωμάτων
- Είδος συνδέσεων
- Στροφές & Διακλαδώσεις
- Πολλαπλοί παράλληλοι αγωγοί (π.χ. δίδυμοι αγωγοί)
- Τρόπος ροής νερού
  - ⇒ Φυσική ροή (βαρύτητα)
  - ⇒ Άντληση
- Ηλικία & Διάβρωση

### 2.2.3 Κανάλια

Τα κανάλια λειτουργούν σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και τείνουν να έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις από τους αγωγούς. Προτιμώνται όμως διότι η κατασκευή τους χρησιμοποιεί υλικά διαθέσιμα επί τόπου, διαθέτουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με τους μεταλλικούς αγωγούς και η παροχής τους παραμένει σταθερή με τον χρόνο σε σχέση με τους αγωγούς στους οποίους μειώνεται σταδιακά. Τα κανάλια διαμορφώνονται μέσω σκαμμάτων στο έδαφος, μέσω δημιουργίας αναχωμάτων, μέσω καναλιού από σκυρόδεμα ή με συνδυασμό των παραπάνω. Τα κανάλια από σκυρόδεμα (προεντεταμένο ή μη) είναι περισσότερο διαδεδομένα λόγω της μικρής απώλειας νερού που προσφέρουν. Τα κανάλια ενδέχεται να διασχίζουν τόσο υγιή όσο και μη υγιή εδάφη (ενεργά ρήγματα, ρευστοποίηση κ.λπ.). Η πιο αποδοτική διατομή υδραυλικά είναι η ημικυκλική αλλά λόγω της κατασκευαστικής δυσχέρειας δεν εφαρμόζεται. Έτσι, όπως φαίνεται και στην Σχήμα 2.2 η συνηθέστερη διατομή είναι η τραπεζοειδής.

#### **Τυπολογία**

- Τρόπος κατασκευής καναλιού
  - ⇒ Σκάμμα
  - ⇒ Ανάχωμα
  - ⇒ Διατομή από σκυρόδεμα

### 2.2.4 Σήραγγες

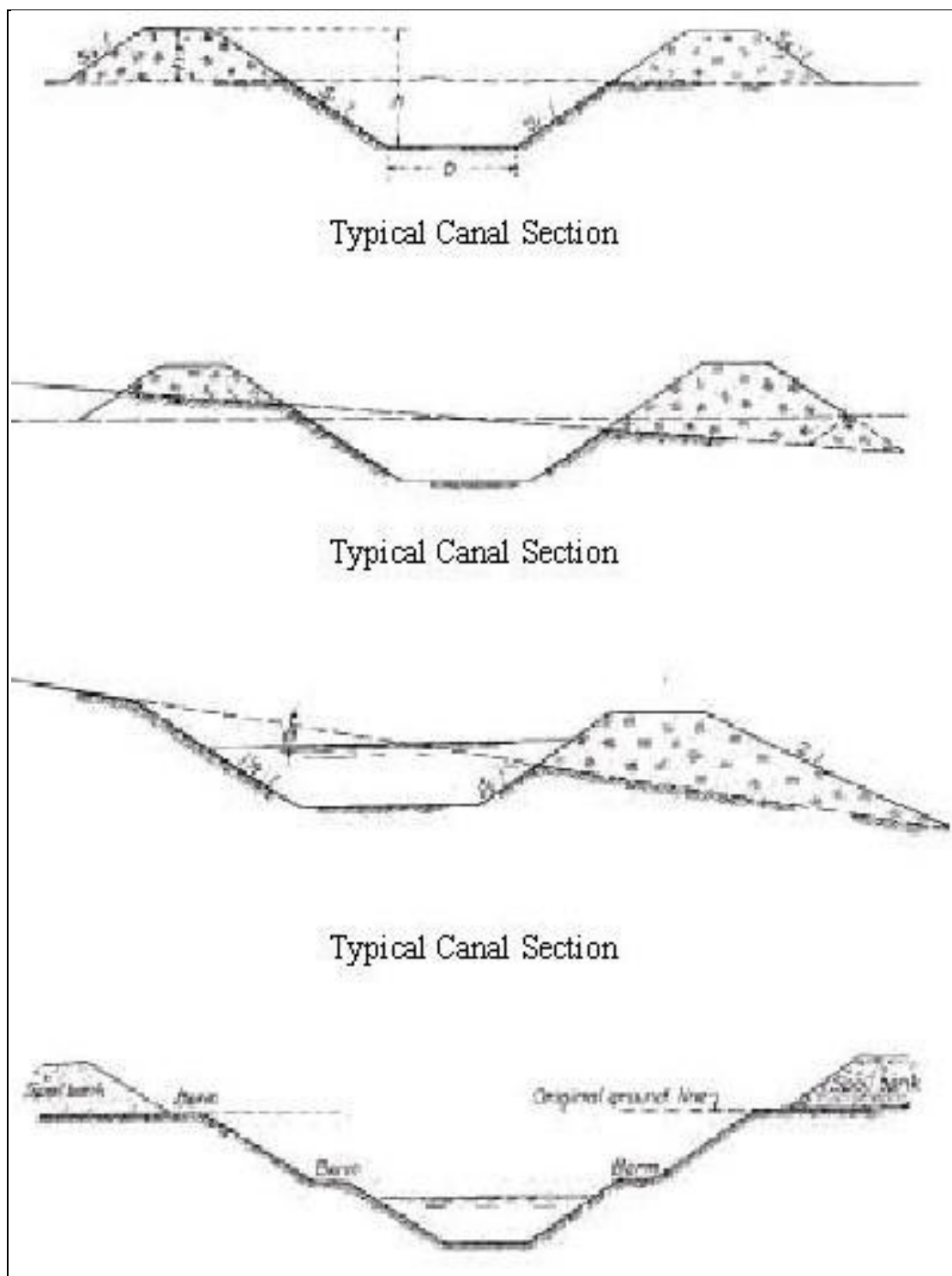
Τόσο το εξωτερικό όσο και το εσωτερικό υδραγωγείο χρησιμοποιούν σήραγγες για την μεταφορά του νερού. Οι σήραγγες είναι επιρρεπείς στον σεισμό αν διασχίζουν ενεργά ρήγματα ή ζώνες κατολίσθησης. Σε μικρότερη κλίμακα επηρεάζονται από τα σεισμικά κύματα.

#### **Τυπολογία**

- Τεχνική κατασκευής
- Γεωλογικές συνθήκες εδάφους

### 2.2.5 Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Ύδατος

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας ύδατος είναι πολύπλοκες εγκαταστάσεις που γενικώς αποτελούνται από μηχανικές και χημικές διαδικασίες επεξεργασίας του



Σχήμα 2.2 – Τυπικές διατομές καναλιών μεταφοράς ύδατος ( Πηγή : [4] )

νερού. Σκοπός τους είναι η βελτίωση της ποιότητας του νερού, απομακρύνοντας κατάλοιπα και ρύπους, καθιστώντας το πόσιμο για τους ζωντανούς οργανισμούς. Μία τυπική εγκατάσταση επεξεργασίας νερού περιλαμβάνει : μονάδα κροκίδωσης – καθίζησης (συσσωμάτωση των κολλοειδών σε κροκίδες και απομάκρυνση αυτών μέσω της καθίζησης τους), μονάδα διύλισης (απομάκρυνση σωματιδίων που παρέμειναν στο νερό) και μονάδα απολύμανσης (εξασφάλιση μικροβιολογικής ποιότητας νερού).

**Τυπολογία**

- Μέγεθος μονάδας επεξεργασίας
  - ⇒ Μικρή --> παροχή  $\leq 189.500 \text{ m}^3 / \text{day}$
  - ⇒ Μεσαία -->  $189.500 \text{ m}^3 / \text{day} \leq \text{παροχή} \leq 758.000 \text{ m}^3 / \text{day}$
  - ⇒ Μεγάλη --> παροχή  $\geq 758.000 \text{ m}^3 / \text{day}$
- Αγκύρωση ή μη των στοιχείων
- Δευτερεύοντα στοιχεία
  - ⇒ Ηλεκτρική ενέργεια
  - ⇒ Εξοπλισμός χλωρίωσης
  - ⇒ Εξοπλισμός κροκίδωσης – καθίζησης
  - ⇒ Δεξαμενές χημικών
  - ⇒ Ηλεκτρο – μηχανολογικός εξοπλισμός

**2.2.6 Αντλιοστάσια**

Τα αντλιοστάσια είναι εγκαταστάσεις οι οποίες αυξάνουν την πίεση του ύδατος. Χρησιμοποιούνται τόσο στα εξωτερικά, όσο και στα εσωτερικά υδραγωγεία. Γενικά, ισχυρά αντλιοστάσια τοποθετούνται δίπλα από πηγές υδροληψίας (π.χ. λίμνες), ενώ μικρότερης ισχύος βρίσκονται διάσπαρτα του δικτύου ύδρευσης, όπου απαιτούνται. Τα αντλιοστάσια συνήθως περιλαμβάνουν κτιριακή υποδομή, αντλίες, αγωγούς, βαλβίδες και επιπλέον ηλεκτρο – μηχανολογικό εξοπλισμό.

**Τυπολογία**

- Ισχύς αντλιοστασίου
  - ⇒ Μικρή --> παροχή  $\leq 37.900 \text{ m}^3 / \text{day}$
  - ⇒ Μεσαία --> παροχή  $\geq 37.900 \text{ m}^3 / \text{day}$
  - ⇒ Μεγάλη --> παροχή  $\gggg 37.900 \text{ m}^3 / \text{day}$
- Αγκύρωση ή μη των στοιχείων
- Δευτερεύοντα στοιχεία
  - ⇒ Ηλεκτρική ενέργεια
  - ⇒ Οριζόντια / κατακόρυφη άντληση
  - ⇒ Κτιριακή υποδομή
  - ⇒ Ηλεκτρο – μηχανολογικός εξοπλισμός

**2.2.7 Δεξαμενές**

Οι δεξαμενές είναι «δοχεία» μεγάλων διαστάσεων που αποθηκεύουν νερό. Ως δεξαμενές νοούνται και οι τεχνητές λίμνες, που δημιουργούνται λόγω εμπόδισης της απορροής του νερού μέσω φράγματος. Οι δεξαμενές μπορεί να βρίσκονται στην αρχή, ενδιάμεσα ή στο τέλος του υδραγωγείου (εσωτερικού ή εξωτερικού). Η λειτουργία τους καλύπτει τις εξής ανάγκες : εξισορροπείται η διακύμανση ανάμεσα στην εισροή από τον αγωγό τροφοδοσίας ή την μονάδα επεξεργασίας ύδατος (που συνήθως πραγματοποιείται με σταθερή παροχή) και την εκροή (η οποία είναι κυμαινόμενη, ανάλογα με τις απαιτήσεις της ζήτησης μέσα στο 24ωρο), διατηρείται εφεδρικό απόθεμα για την περάτωση βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου ή για την αντιμετώπιση πυρκαγιάς από το εσωτερικό υδραγωγείο, εξασφαλίζεται αυτοτέλεια των κατόντη από τα ανάντη έργα (αυτό επιδιώκεται για λόγους

ασφάλειας – στην περάτωση βλάβης διάρκειας ορισμών ωρών – και οικονομικότητας), με την επιλογή κατάλληλης κατώτατης και ανώτατης στάθμης λειτουργίας, εξασφαλίζεται (σε συνδυασμό με τα ανάντη έργα) η τεχνικά και οικονομικά πιο πρόσφορη διάταξη και λειτουργία του εξωτερικού υδραγωγείου και τέλος εξασφαλίζεται (σε συνδυασμό με τα κατάντη έργα) το επιθυμητό εύρος διακύμανσης των πιέσεων στο δίκτυο διανομής.

### Τυπολογία

- Υλικό κατασκευής
  - ⇒ Σκυρόδεμα
  - ⇒ Χάλυβας
  - ⇒ Ξύλο
- Μέγεθος
- Αγκύρωση
- Θέση
  - ⇒ Υπέργειες
  - ⇒ Επίγειες
  - ⇒ Υπόγειες
- Είδος οροφής
- Αντισεισμικός σχεδιασμός
- Τύπος θεμελίωσης
- Κατασκευαστική τεχνική

Στοιχεία	Δεξαμενές
Μεταλλικές	Οι υπερυψωμένες δεξαμενές (elevated tanks) έχουν συνήθως χωρητικότητα 7.550 – 50.000m <sup>3</sup> και είναι συνήθως μεταλλικές ή από σκυρόδεμα. Συχνά τις συναντούμε σε μικρές πόλεις ή αγροτικές περιοχές. Έχουν εγκάρσιους συνδέσμους για να ανθίστανται στις ανεμοπιέσεις και τα σεισμικά φορτία. Σε αρκετές περιπτώσεις έχουν σχεδιαστεί χωρίς κάποιο αντισεισμικό κανονισμό. Η χωρητικότητα των υπέργειων δεξαμενών με θεμελίωση σε γενική κοιτόστρωση ή σε πασσάλους κυμαίνεται από 750–53.000m <sup>3</sup> . Το είδος της οροφής τους μπορεί να είναι από ξύλο ή από μέταλλο ενώ υπάρχουν και αρκετές μεταλλικές δεξαμενές χωρίς οροφή.
Σκυρόδεμα	Γενικά στο Ευρωπαϊκό και στον Ελλαδικό χώρο οι δεξαμενές κατασκευάζονται από σκυρόδεμα (R/C) με οροφή από σκυρόδεμα. Είναι δυνατόν να είναι υπέργειες ή υπόγειες, αγκυρωμένες ή όχι. Πολλές δεξαμενές οπλισμένου σκυροδέματος έχουν υποστεί και προένταση. Στην Ελλάδα, σε αστικές ζώνες, συνήθως είναι κατασκευασμένες από σκυρόδεμα ή με προένταση με γενική κοιτόστρωση ή με πασσάλους ανάλογα με την περιοχή που βρίσκονται.
Φέρουσα τοιχοποιία	Υπάρχουν δεξαμενές που είναι κατασκευασμένες καθαρά από φέρουσα τοιχοποιία ή πολλές φορές είναι ενισχυμένες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Δεξαμενές τέτοιου τύπου υπάρχουν και χρησιμοποιούνται ακόμη μέχρι σήμερα από το δίκτυο ύδρευσης (π.χ δεξαμενή Ευαγγελίστριας).
Ανοικτού τύπου	Έχουν κατασκευαστεί ως εδαφικό ανάχωμα. Συνήθως είναι ανοικτές στην οροφή. Σπάνια τοποθετείται οροφή ώστε να προστατεύεται το νερό από εξωτερική μόλυνση.

Πίνακας 2.1 – Τυπολογία Δεξαμενών Ύδρευσης (Πηγή : [29] )

### 2.2.8 Βαλβίδες & Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου (SCADA)

Οι βαλβίδες ελέγχου παροχής βρίσκονται κατά μήκος των αγωγών ανά μεγάλα διαστήματα (συνήθως της τάξης των 2.500 – 20.000 ποδών). Η θέση των βαλβίδων είναι σημαντική καθώς επιτρέπουν την απομόνωση οποιουδήποτε τμήματος του αγωγού. Η απομόνωση ενός τμήματος γίνεται είτε για επισκευή του αγωγού, είτε

για λόγους συντήρησης. Οι βαλβίδες μπορεί να είναι επίγειες ή υπόγειες προστατευμένες μέσα σε μεταλλικό δοχείο.

Ο όρος SCADA (supervisory control and data acquisition) περιγράφει μια κατηγορία συστημάτων βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας. Το χαρακτηριστικό των συστημάτων SCADA είναι ότι αποτελούνται από τοπικούς ελεγκτές, που ελέγχουν επί μέρους στοιχεία και μονάδες μιας εγκατάστασης, συνδεδεμένους σε ένα κεντρικό master station (Κύριο Σταθμό Εργασίας). Ο κεντρικός σταθμός εργασίας μπορεί κατόπιν να επικοινωνεί τα δεδομένα που συλλέγει από την εγκατάσταση σε ένα πλήθος από σταθμούς εργασίας σε τοπικό LAN ή και να μεταδίδει τα δεδομένα της εγκατάστασης σε μακρινά σημεία μέσω κάποιου συστήματος τηλεπικοινωνίας, π.χ. μέσω του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου ή μέσω κάποιου ασύρματου δικτύου. Επίσης είναι δυνατό ο κάθε ένας τοπικός ελεγκτής να βρίσκεται σε απομακρυσμένη τοποθεσία και να μεταδίδει τα δεδομένα προς το master station μέσω απλού καλωδίου ή μέσω ασύρματου πομποδέκτη, πάντα με σύνολο από τοπικούς ελεγκτές συνδεδεμένους σε τοπολογία αστέρα προς ένα master station. Τα περισσότερα δίκτυα ύδρευσης διαθέτουν καταγραφείς πίεσης, παροχής και πιεζομετρικής κλίσης.

### Τυπολογία

- Απόσταση μεταξύ βαλβίδων
- Αγκύρωση ή μη των στοιχείων
- Αριθμός και είδος σύνδεσης επικοινωνίας του συστήματος SCADA

#### 2.2.9 Το Δίκτυο Ύδρευσης της Ελλάδας

Στην Ελλάδα, η τυπολογία των στοιχείων του δικτύου ύδρευσης, βασίζεται σε διεθνή πρακτική, αν και ορισμένα στοιχεία δεν υπάρχουν. Ειδικότερα, η αγκύρωση ή μη των στοιχείων δεν βασίζεται σε οποιοσδήποτε προδιαγραφές, παρά το γεγονός ότι έχουν ληφθεί ορισμένα μέτρα για την σεισμική την υποστήριξή τους. Συνήθως, αυτό εξαρτάται από την εμπειρία των εργαζομένων και την τοπική εμπειρία από τους σεισμούς. Έτσι, δεν υπάρχει ένα πρότυπο επίπεδο αγκύρωσης και έτσι τα στοιχεία του συστήματος ύδρευσης δεν μπορεί να θεωρηθούν ως αγκυρωμένα.

Όσον αφορά την επεξεργασία πόσιμου νερού στην Ελλάδα, υπάρχουν ορισμένες εγκαταστάσεις επεξεργασίας στις πηγές υδροληψίας ή ακόμα και σε κεντρικούς σταθμούς άντλησης.

Το εξωτερικό υδραγωγείο είναι γενικά κλειστού τύπου, αλλά υπάρχουν και κάποια ανοιχτά μέρη. Ο λόγος για αυτό, εκτός από το κόστος, είναι γιατί αυτά τα κανάλια ήταν αρχικά χρησιμοποιείται για άρδευση. Σε γενικές γραμμές, τα συστήματα διανομής (ή εσωτερικό υδραγωγείο) αποτελούνται από σωλήνες με διαφορετικά υλικά, τύπους σύνδεσης και διαμέτρους. Κανονισμός κατασκευής για τα δίκτυα ύδρευσης δεν υπάρχουν στην Ελλάδα μέχρι και σήμερα, αν και στο τέλος της δεκαετίας του '70, οι προδιαγραφές για τα υλικά των αγωγών άρχισαν να εφαρμόζονται, ενώ συντάχθηκαν ειδικές τεχνικές εκθέσεις για τις βέλτιστες πρακτικές κατασκευής. Παρ' όλα αυτά, μεγάλα τμήματα των δικτύων ύδρευσης

στην Ελλάδα δεν έχουν κατασκευαστεί με χρήση ειδικών μελετών, με αποτέλεσμα την έλλειψη στοιχείων για τα χαρακτηριστικά τους.

Οι δεξαμενές αποθήκευσης συνήθως κατασκευάζονται από σκυρόδεμα με από σκυρόδεμα. Είναι γεμάτες κατά το ήμισυ και μη αγκυρωμένες. Σε μεγάλα αστικά κέντρα, είναι αγκυρωμένες με επιφανειακή ή βαθιά θεμελίωση (πάσσαλοι) ανάλογα με τον τύπο του εδάφους.

Τα κτίρια των αντλιοστασίων είναι κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα, σχεδιασμένα σύμφωνα με τον τρέχοντα αντισεισμικό κανονισμό. Έχουν συνήθως ένα υπερυψωμένο μέρος, με το μεγαλύτερο μέρος να είναι κάτω από το έδαφος όπου η δεξαμενή και ο ηλεκτρικό – μηχανολογικός εξοπλισμός είναι τοποθετημένοι. Στην Ελλάδα (Θεσσαλονίκη), συστήματα τηλεμετρίας (SCADA) υπάρχουν περίπου στο 40% των σταθμών άντλησης ύδατος και σε 3 σημεία στον αγωγό του εξωτερικού υδραγωγείου της Θεσσαλονίκης.

#### 2.2.10 Δίκτυο Ύδρευσης Αττικής

Με τον όρο *δίκτυο ύδρευσης*, εννοείται το σύνολο των αγωγών που μεταφέρουν το διυλισμένο νερό από τις κατά τόπους Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (Μ.Ε.Ν.) μέχρι τους υδρομετρητές των καταναλωτών.

Το συνολικό μήκος των εξωτερικών υδραγωγείων στην πόλη της Αθήνας είναι 496 χιλιόμετρα. Το δίκτυο, εκτός των αγωγών, περιλαμβάνει αντλιοστάσια και δεξαμενές πίεσης. Ογδόντα ένα (81) αντλιοστάσια είναι σε λειτουργία για την υδροδότηση των υψηλών υψομετρικά περιοχών. Πενήντα πέντε (55) δεξαμενές πόλεως συνολικής χωρητικότητας 885.000 κυβικών μέτρων βρίσκονται διάσπαρτες σε ψηλά σημεία της πόλης από τις οποίες το νερό μέσω του δικτύου φτάνει στους καταναλωτές. Το ολικό μήκος του δικτύου της Ε.ΥΔ.Α.Π. είναι 9.500 χιλιόμετρα. Από αυτά, τα 2.000 χιλιόμετρα είναι κύριοι τροφοδοτικοί αγωγοί (από Φ300 mm έως Φ2000) και τα 7.500 χιλιόμετρα είναι δευτερεύοντες αγωγοί διανομής.

Όσον αφορά το υλικό κατασκευής του δικτύου διανομής, το 55% του ολικού μήκους των αγωγών αποτελείται από σωλήνες αμιαντοτσιμέντου (Α/Σ), το 20% από χαλυβδοσωλήνες, το 15% από χυτοσίδηρους σωλήνες και το 10% από πλαστικούς σωλήνες (PVC και κυρίως πολυαιθυλένιο). Για ασφάλεια, στο δίκτυο είναι εγκατεστημένες 90.000 δικλείδες (βάνες) απομόνωσης και 500 βάνες ελέγχου πίεσης. Το δίκτυο παρέχει πόσιμο νερό σε περιοχές με υψόμετρο από +0,00 έως και +600,00 μέτρα και έχει «διαιρεθεί» σε 210 ζώνες πίεσης (ανά 30 μέτρα με επιθυμητή πίεση 4 με 5 bar στον καταναλωτή). Υποχρέωση της Ε.ΥΔ.Α.Π. είναι να παρέχει νερό με πίεση από 2 έως 12 bar στη θέση του υδρομετρητή, σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης. Βέλτιστη επιθυμητή πίεση: 3 έως 4 bar. Ο συνολικός αριθμός των υδρομετρητών ανέρχεται σε 2.020.000 περίπου. Αυτόματο 24ωρο σύστημα τηλεέγχου – τηλεχειρισμού (SCADA) παρακολουθεί τη λειτουργία του δικτύου ύδρευσης και εργαστήριο ελέγχου υδρομετρητών διαπιστευμένο κατά ISO 17025. Σε 100 κομβικά σημεία του δικτύου ύδρευσης (δεξαμενές, αντλιοστάσια, μονάδες επεξεργασίας νερού)



παρακολουθούνται και καταγράφονται συνεχώς πιέσεις, στάθμες και παροχές. Οι περισσότεροι όμως χειρισμοί γίνονται επιτόπου από το προσωπικό της ΕΥΔΑΠ.

Παράλληλα, υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα καταγραφής και τηλεμετάδοσης με τεχνολογία GSM σε 800 σημεία του δικτύου ύδρευσης που περιλαμβάνουν ρυθμιστικές διατάξεις καθώς και υδρομετρητές ειδικών καταναλωτών. Αξίζει να σημειωθεί ότι εξυπηρετούνται περίπου 4.300.000 άνθρωποι. Η κατανομή της κατανάλωσης είναι :

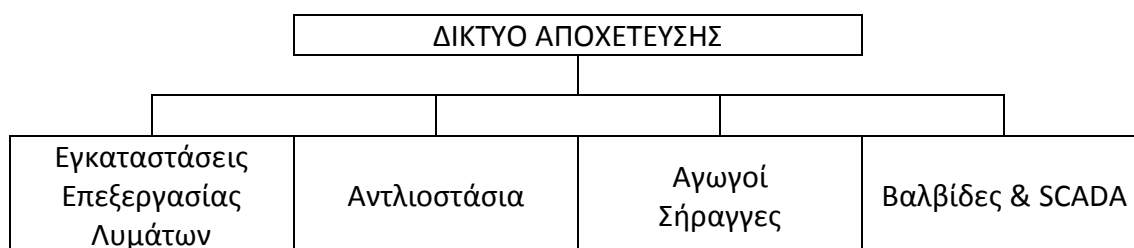
- 63% αστική κατανάλωση
- 20% ενίσχυση Ο.Τ.Α.
- 10% βιομηχανία
- 7% δημόσια, φιλανθρωπικά και άλλα

Οι πιέσεις λειτουργίας των αγωγών έχουν μέγιστο όριο τα 25 bar (ατμόσφαιρες) και ελάχιστο τα 2 bar.

### 2.3 Δίκτυο Αποχέτευσης

Σύμφωνα με τους American Lifelines Alliance (ALA – 2001), RISK – UE (2001 – 2004), LESSLOSS (2004 – 2007) και Syner – G (2009 – 2012), τα δίκτυα αποχέτευσης απαρτίζονται από τις εξής συνιστώσες (Σχήμα 2.3) :

- τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων
- τα αντλιοστάσια
- τους αγωγούς
- τις σήραγγες
- τις βαλβίδες & τα συστήματα αυτόματου ελέγχου (SCADA)



Σχήμα 2.3 – Συνιστώσες Δικτύου Αποχέτευσης ( Πηγή : [1] )

#### 2.3.1 Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι πολύπλοκες εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν κτίρια και υπόγειες ή επίγειες δεξαμενές και λεκάνες. Επίσης, χρησιμοποιούνται κανάλια από σκυρόδεμα για να μεταφέρονται τα λύματα από τη μία μονάδα επεξεργασίας στην επόμενη. Εντός των κτιρίων, βρίσκονται ο ηλεκτρο – μηχανολογικός εξοπλισμός της εγκατάστασης, αγωγοί και βαλβίδες. Ένα τυπικό σύστημα επεξεργασίας λυμάτων διαθέτει μονάδα προ-επεξεργασίας των λυμάτων (εσχάρωση, εξάμωση, απόσμηση), μονάδα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας (απομάκρυνση αξιόλογου μέρους οργανικού υλικού), μονάδα δευτεροβάθμιας (βιολογικής) επεξεργασίας (διάσπαση οργανικών ουσιών), μονάδα επεξεργασίας

της παραγόμενης ιλύος (μείωση όγκου μέσω απομάκρυνσης νερού) και τέλος μονάδα απολύμανσης – διάθεσης – επαναχρησιμοποίησης λυμάτων.

### Τυπολογία

- Μέγεθος μονάδας επεξεργασίας
  - ⇒ Μικρή --> παροχή  $\leq 189.500 \text{ m}^3 / \text{day}$
  - ⇒ Μεσαία -->  $189.500 \text{ m}^3 / \text{day} \leq \text{παροχή} \leq 758.000 \text{ m}^3 / \text{day}$
  - ⇒ Μεγάλη --> παροχή  $\geq 758.000 \text{ m}^3 / \text{day}$
- Αγκύρωση ή μη στοιχείων
- Δευτερεύοντα στοιχεία
  - ⇒ Ηλεκτρική ενέργεια
  - ⇒ Εξοπλισμός απολύμανσης
  - ⇒ Δεξαμενές αποθήκευσης χημικών
  - ⇒ Ηλεκτρο-μηχανολογικός εξοπλισμός
  - ⇒ Κτιριακή υποδομή

### 2.3.2 Αντλιοστάσια

Τα αντλιοστάσια χρησιμοποιούνται για την ανύψωση των λυμάτων από το σημείο συγκέντρωσής τους προς την πρώτη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Τα αντλιοστάσια διαδραματίζουν καίριο ρόλο καθώς μη λειτουργία τους έχει σαν συνέπεια είτε την διαρροή των λυμάτων, είτε την κίνηση τους προς τα πίσω (δηλαδή προς τους αγωγούς που τα μετέφεραν). Διαθέτουν ένα πηγάδι όπου συλλέγονται και αντλούνται τα λύματα, ενώ βρίσκονται μερικώς υπό την στάθμη του εδάφους. Σύννηθες τύπος αντλίας στο δίκτυο αποχέτευσης είναι η φυγοκεντρικές αντλίες.

### Τυπολογία

- Ισχύς αντλιοστασίου
  - ⇒ Μικρή --> παροχή  $\leq 37.900 \text{ m}^3 / \text{day}$
  - ⇒ Μεσαία --> παροχή  $\geq 37.900 \text{ m}^3 / \text{day}$
  - ⇒ Μεγάλη --> παροχή  $\gggg 37.900 \text{ m}^3 / \text{day}$
- Αγκύρωση ή μη των στοιχείων
- Δευτερεύοντα στοιχεία
  - ⇒ Ηλεκτρική ενέργεια
  - ⇒ Οριζόντια / κατακόρυφη άντληση
  - ⇒ Κτιριακή υποδομή
  - ⇒ Ηλεκτρο-μηχανολογικός εξοπλισμός

### 2.3.3 Αγωγοί

Οι αγωγοί αποχέτευσης είναι γενικά υπόγειοι αγωγοί για την μεταβίβαση και την κίνηση των λυμάτων, υπό συνθήκες ελεύθερης ροής, ενώ κατασκευάζονται κατά κανόνα σε σκάμμα και σε πιο σπάνιες περιπτώσεις σε σήραγγα. Η συμβατική μέθοδος κατασκευής περιλαμβάνει εκσκαφή, εγκατάσταση των σωληνώσεων, επίχωση και ανακατασκευή των οδοστρωμάτων, πεζοδρομίων κ.λπ.. Για τις συνήθεις διατομές και συνθήκες κατασκευής, οι αγωγοί αποχέτευσης

κατασκευάζονται με προκατασκευασμένους σωλήνες, κατά κανόνα κυκλικής διατομής. Τα υλικά των αγωγών αυτών ποικίλλουν. Κρίσιμη παράμετρος για την επιλογή του υλικού είναι η χημική σύσταση των υγρών που μεταφέρουν. Τα τοιχώματα των αγωγών θα πρέπει να είναι χημικώς απρόσβλητα. Για σημαντικά μεγάλες διατομές οι αγωγοί κατασκευάζονται χυτοί επί τόπου από άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα. Στην περίπτωση των αγωγών ακαθάρτων λαμβάνεται ειδική μέριμνα για την προστασία τους από τη χημική διάβρωση.

### **Τυπολογία**

- Τοποθεσία
- Υλικό κατασκευής
  - ⇒ Αργιλοπυριτικοί – πηλός
  - ⇒ Σκυρόδεμα
  - ⇒ Αμιαντοσιμέντο
  - ⇒ Πολύ-βινυλοχλωρίδιο (PVC)
  - ⇒ Πολύ-αιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)
  - ⇒ Πλαστικοί σωλήνες οπλισμένοι με υαλονήματα (GRP)
  - ⇒ Χάλυβας (S) – μόνο σε ειδικές περιπτώσεις φόρτισης & στεγανότητας
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
  - ⇒ Διάμετρος
  - ⇒ Πάχος τοιχωμάτων
- Είδος συνδέσεων
- Στροφές & Διακλαδώσεις
- Πολλαπλοί παράλληλοι αγωγοί (π.χ. δίδυμοι αγωγοί)
- Τρόπος ροής νερού
  - ⇒ Φυσική ροή (βαρύτητα)
  - ⇒ Άντληση
- Ηλικία & Διάβρωση

#### **2.3.4 Σήραγγες**

Είναι σπάνια η χρήση σηράγγων στο δίκτυο αποχέτευσης. Οι σήραγγες είναι επιρρεπείς στον σεισμό αν διασχίζουν ενεργά ρήγματα ή ζώνες κατολίσθησης. Σε μικρότερη κλίμακα επηρεάζονται από τα σεισμικά κύματα.

### **Τυπολογία**

- Τεχνική κατασκευής
- Γεωλογικές συνθήκες εδάφους

#### **2.3.5 Βαλβίδες & Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου (SCADA)**

Οι βαλβίδες ελέγχου παροχής βρίσκονται κατά μήκος των αγωγών ανά μεγάλα διαστήματα (συνήθως της τάξης των 2.500 – 20.000 ποδών). Η θέση των βαλβίδων είναι σημαντική καθώς επιτρέπουν την απομόνωση οποιουδήποτε τμήματος του αγωγού. Η απομόνωση ενός τμήματος γίνεται είτε για επισκευή του αγωγού, είτε

για λόγους συντήρησης. Οι βαλβίδες μπορεί να είναι επίγειες ή υπόγειες προστατευμένες μέσα σε μεταλλικό δοχείο.

Ο όρος SCADA (supervisory control and data acquisition) περιγράφει μια κατηγορία συστημάτων βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας. Το χαρακτηριστικό των συστημάτων SCADA είναι ότι αποτελούνται από τοπικούς ελεγκτές, που ελέγχουν επί μέρους στοιχεία και μονάδες μιας εγκατάστασης, συνδεδεμένους σε ένα κεντρικό master station (Κύριο Σταθμό Εργασίας). Ο κεντρικός σταθμός εργασίας μπορεί κατόπιν να επικοινωνεί τα δεδομένα που συλλέγει από την εγκατάσταση σε ένα πλήθος από σταθμούς εργασίας σε τοπικό LAN ή και να μεταδίδει τα δεδομένα της εγκατάστασης σε μακρινά σημεία μέσω κάποιου συστήματος τηλεπικοινωνίας, π.χ. μέσω του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου ή μέσω κάποιου ασύρματου δικτύου. Επίσης είναι δυνατό ο κάθε ένας τοπικός ελεγκτής να βρίσκεται σε απομακρυσμένη τοποθεσία και να μεταδίδει τα δεδομένα προς το master station μέσω απλού καλωδίου ή μέσω ασύρματου πομποδέκτη, πάντα με σύνολο από τοπικούς ελεγκτές συνδεδεμένους σε τοπολογία αστέρα προς ένα master station. Τα περισσότερα δίκτυα ύδρευσης διαθέτουν καταγραφείς πίεσης, παροχής και πιεζομετρικής κλίσης.

### Τυπολογία

- Απόσταση μεταξύ βαλβίδων
- Αγκύρωση ή μη των στοιχείων
- Αριθμός και είδος σύνδεσης επικοινωνίας του συστήματος SCADA

#### 2.3.6 Το Δίκτυο Αποχέτευσης της Ελλάδας

Στην Ελλάδα γενικά υπήρξε καθυστέρηση στην κατασκευή σύγχρονων συστημάτων αποχέτευσης. Στην Αθήνα, που διαθέτει στο κέντρο της ένα από τα παλιότερα ελληνικά παντοροϊκά δίκτυα αποχέτευσης, και στην περιφέρειά της πιο σύγχρονα χωριστικά δίκτυα, μέχρι την δεκαετία του 1980 το μεγαλύτερο ποσοστό των σπιτιών εξυπηρετούνταν με βόθρους. Η κατασκευή του παντοροϊκού συστήματος ξεκινά από το 1858, αν και μεμονωμένοι υπόνομοι είχαν κατασκευαστεί και νωρίτερα. Στην αρχή τα έργα γίνονταν χωρίς συστηματικές μελέτες. Η πρώτη μελέτη, του Γάλλου μηχανικού Claye, που χρονολογείται το 1883, έγινε μετά από καταστροφικές πλημμύρες. Συστηματικές, όμως, μελέτες άρχισαν να εκπονούνται από τις αρχές του 20ού αιώνα. Το χωριστικό σύστημα άρχισε να κατασκευάζεται το 1933. Το 1959 αποπερατώθηκε ο Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (ΚΑΑ) που κατέληγε στον Ακροκέραμο Κερατσινίου, οδηγώντας τα λύματα στη θάλασσα χωρίς επεξεργασία και με επιφανειακή (όχι υποθαλάσσια) διάθεση. Το 1982 άρχισε η συστηματική επέκταση των αποχετευτικών δικτύων του λεκανοπεδίου της Αθήνας. Παράλληλα, ξεκίνησε μια ομάδα βασικών έργων εκσυγχρονισμού του αποχετευτικού συστήματος, που περιλάμβανε τον Συμπληρωματικό Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (ΣΚΑΑ), το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων στο νησί Ψυττάλεια του Σαρωνικού (περίπου στο μέσο της θαλάσσιας διαδρομής από το Κερατσίνι στη Σαλαμίνα), τον υποθαλάσσιο σίφωνα Ακροκεράμου-Ψυττάλειας, τον υποθαλάσσιο αγωγό εκβολής, καθώς και τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας βοθρολυμάτων της Μεταμόρφωσης και λυμάτων της Ψυττάλειας. Το τελευταίο πρωτολειτούργησε το 1994, αρχικά μόνο με

πρωτοβάθμια επεξεργασία, ενώ το 2004 ολοκληρώθηκαν και λειτούργησαν τα έργα πλήρους επεξεργασίας στην Ψυτάλλεια. Σε άλλες ελληνικές πόλεις τα πράγματα μέχρι πρόσφατα ήταν πολύ άσχημα. Για παράδειγμα, στη Λευκάδα μέχρι τη δεκαετία του 1980 ένα μέρος των οικιακών λυμάτων (χωρίς τα ακάθαρτα των αποχωρητηρίων) αποχετεύονταν σε επιφανειακά αυλάκια στους δρόμους της πόλης. Υπάρχουν βέβαια και ορισμένες εξαιρέσεις. Έτσι η Νεάπολη Λασιθίου είχε ένα παλιό παντοροϊκό δίκτυο με θολωτούς λιθόκτιστους αγωγούς για τους συλλεκτήρες, και ορθογώνιους λιθό – κτιστους δευτερεύοντες αγωγούς (λαγούμια). Το δίκτυο αυτό χρονολογείται από την εποχή της Τουρκοκρατίας. Σήμερα στην Ελλάδα έχει γενικευτεί η χρήση σύγχρονων εγκαταστάσεων υγιεινής σε όλα σχεδόν τα σπίτια, αστικά και αγροτικά, καθώς και η κατασκευή σύγχρονων χωριστικών δικτύων αποχέτευσης στις πόλεις και κωμοπόλεις. Μετά την κατασκευή των εγκαταστάσεων αποχέτευσης στις αστικές περιοχές, ανέβηκε η ποιότητα ζωής σε αυτές αλλά η ρύπανση μεταφέρθηκε έξω από τις πόλεις, κυρίως στα υδατορεύματα, τις λίμνες ή τις θάλασσες όπου γίνεται η διάθεση των λυμάτων. Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων ρύπανσης αναπτύχθηκαν τεχνολογίες επεξεργασίας και διάθεσης των λυμάτων, οι οποίες όμως απαιτούν την κατασκευή ανάλογων εγκαταστάσεων. Έτσι σήμερα κάθε δίκτυο συλλογής και μεταφοράς λυμάτων πρέπει να συνδυάζεται υποχρεωτικά με αποτελεσματικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας τους και με κατάλληλη διάθεσή τους. Στην Ελλάδα την τελευταία δεκαετία έχουν κατασκευαστεί τέτοιες εγκαταστάσεις στις περισσότερες πόλεις και η χρήση τους τείνει να γενικευτεί.

### 2.3.7 Το Δίκτυο Αποχέτευσης της Αττικής

Το δίκτυο αποχέτευσης αποτελείται από τα εξής μέρη :

*Εσωτερικά δίκτυα και εσωτερικές εγκαταστάσεις αποχέτευσης ακινήτου* εντός του χώρου του ακινήτου και μέχρι την ρυμοτομική γραμμή του. Η σύνδεση των εσωτερικών δικτύων αποχέτευσης ενός ακινήτου με τους αντίστοιχους αγωγούς αποχέτευσης του οριστικού δικτύου, σε οποιοδήποτε σύστημα αποχέτευσης, (χωριστικό ή παντοροϊκό), πρέπει να υπάρχει εντός του ακινήτου, παρά την ρυμοτομική γραμμή και πάντοτε πριν από το φρεάτιο προσαρμογής και ελέγχου, προς την πλευρά του ακινήτου, αυτόματη αλλά και χειροκίνητη δικλείδα ασφαλείας. Η δικλείδα αυτή, αποτελεί μέρος των εσωτερικών εγκαταστάσεων. Οι συνδέσεις των εσωτερικών δικτύων αποχέτευσης ενός ακινήτου με τους αντίστοιχους αγωγούς αποχέτευσης του οριστικού δικτύου γίνονται απ' ευθείας χωρίς την μεσολάβηση βόθρων, στεγανών ή μη. Ευθύνη του κυρίου του ακινήτου.

*Το «οριστικό δίκτυο» αποχέτευσης*, που αποτελείται από τους αγωγούς ακαθάρτων και όμβριων υδάτων, τους παντοροϊκούς, τα αντλιοστάσια, τους καταθλιπτικούς αγωγούς, τους υπερχειλιστές, τα διευθετημένα (ανοικτά ή καλυμμένα) ρέματα και γενικά κάθε έργο που έχει σκοπό τη συλλογή και μεταφορά των ακαθάρτων και όμβριων υδάτων μέχρι τους τελικούς αποδέκτες και έχει κατασκευαστεί από τους αρμόδιους φορείς σύμφωνα με τις εγκεκριμένες μελέτες. Αγωγοί και εξωτερικές διακλαδώσεις ακαθάρτων που έχουν κατασκευασθεί από τους Ο.Τ.Α. ή άλλους δημόσιους φορείς ή τρίτους είναι μέρη του «οριστικού δικτύου» αποχέτευσης.

«Παντοροϊκό σύστημα αποχέτευσης» είναι το σύστημα αποχέτευσης που περιλαμβάνει κοινούς αγωγούς και κοινές εξωτερικές διακλαδώσεις για την αποχέτευση των όμβριων και των ακαθάρτων υδάτων.

«Εξωτερικές διακλαδώσεις» ακαθάρτων ή όμβριων υδάτων είναι οι αγωγοί που κατασκευάζονται εξωτερικά του ακινήτου, κατά πλάτος του δρόμου από την ρυμοτομική γραμμή μέχρι την θέση του αγωγού αποχέτευσης ακαθάρτων ή όμβριων υδάτων, για την σύνδεση του εσωτερικού δικτύου του ακινήτου με τον αντίστοιχο αγωγό αποχέτευσης. Κάθε εξωτερική διακλάδωση υποχρεωτικά περιλαμβάνει τον αγωγό όμβριων ή ακαθάρτων υδάτων κατά πλάτος της εγκεκριμένης οδού (από το ακίνητο προς τον κεντρικό αγωγό), το φρεάτιο προσαρμογής του εσωτερικού δικτύου όμβριων ή ακαθάρτων υδάτων με τον αντίστοιχο αγωγό ακαθάρτων ή όμβριων υδάτων και τη σύνδεση του αγωγού όμβριων ή ακαθάρτων υδάτων κατά πλάτος της οδού με τον αντίστοιχο αγωγό όμβριων ή ακαθάρτων υδάτων που διέρχεται κατά μήκος της εγκεκριμένης οδού, έμπροσθεν του ακινήτου.

Το αποχετευτικό δίκτυο του Λεκανοπεδίου είναι χωριστικό εκτός από το κέντρο της Αθήνας όπου το δίκτυο είναι παντοροϊκό. Οι αγωγοί ακαθάρτων μεγάλης διατομής (Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός, Συμπληρωματικός Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός κ.ά.) διέρχονται από περιοχές των οποίων οι κλίσεις επιτρέπουν τη φυσική ροή των λυμάτων λόγω της βαρύτητας (αγωγοί βαρύτητας). Εξάριση αποτελεί ο Παραλιακός Συλλεκτής της ακτής Σαρωνικού, η λειτουργία του οποίου γίνεται με μια αλληλουχία 42 ενδιάμεσων αντλιοστασίων.

Περίπου 6.000 χιλιόμετρα μήκος δικτύου καλύπτει το 92% των αποχετευτικών αναγκών της Αττικής. Εξυπηρετούνται περίπου 1.982.434 πελάτες αποχέτευσης με 400.000 συνδέσεις αποχέτευσης. Η κατανάλωση κατά κατηγορία (μέσος όρος 2009) είναι :

- Οικίες : 61,42%
- Ο.Τ.Α. : 20,24%
- Βιομηχανικό – Επαγγελματικό : 6,00%
- Δημόσιο – Δημοτικό – Κοινοτικό : 5,61%
- Λοιπά : 6,73%

Η αποχέτευση του λεκανοπεδίου Αττικής πραγματοποιείται με αγωγούς όμβριων και ακαθάρτων. Οι μεν αγωγοί όμβριων καταλήγουν με φυσική ροή στη θάλασσα, οι δε αγωγοί ακαθάρτων καταλήγουν στη θαλάσσια περιοχή της Ψυτάλλειας αφού προηγηθεί ο βιολογικός καθαρισμός των λυμάτων στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυτάλλειας.

#### *Συλλεκτήρες*

Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (Κ.Α.Α.). Είναι ο παντοροϊκός αγωγός με τον οποίο γίνεται η παροχέτευση όμβριων και ακαθάρτων του παντοροϊκού συστήματος από το τέρμα της οδού Πατησίων μέχρι τον Ακροκέραμο Κερατσινίου όπου και γινόταν η εκβολή προς τη θάλασσα. Η διατομή του αγωγού αρχίζει με ωοειδή διατομή 0,70 μ. x 1,05 μ. και καταλήγει σε ορθογωνική διατομή 3,60 μ. x

3,60 μ.. Στην Κοκκινιά ο αγωγός δέχεται δια αντλήσεως τα αστικά λύματα των χαμηλών περιοχών Φαλήρου – Μοσχάτου – Καλλιθέας – Πειραιώς και μέσω σήραγγας κάτω από το Λόφο Καραβά καταλήγει στον Ακροκέραμο. Ο αγωγός αυτός είναι επισκέψιμος με πεζοδρόμιο πλάτους 90 εκ. και από τις δύο πλευρές. Με την κατασκευή του Κ.Α.Α. δρομολογήθηκε η οριστική διάταξη του παρόντος δικτύου αποχέτευσης. Με την κατασκευή του Κ. Α. Α. οι τοπικοί συλλεκτήρες συνολικού μήκους 60 χλμ. κρίθηκαν διατηρητέοι και εντάχθηκαν στο νέο δίκτυο αποχέτευσης που μελετήθηκε και κατασκευάστηκε.

Κεντρικός Παραλιακός Συλλεκτήρας της ακτής Σαρωνικού. Ο Παραλιακός Συλλεκτήρας, ξεκινά από την περιοχή της Βάρκιζας και τελειώνει στην περιοχή της Αμφιθέας και έχει μήκος περίπου 13 χλμ.. Για τη λειτουργία του Παραλιακού Συλλεκτήρα κατασκευάστηκε μια αλληλουχία ενδιάμεσων αντλιοστασίων, τα οποία σταδιακά ανυψώνουν τα λύματα των χαμηλών παραλιακών περιοχών προς τους καταθλιπτικούς αγωγούς και αγωγούς βαρύτητας για να καταλήξουν στον Κ.Α.Α. και από κει στην εκβολή του

Ακροκεράμου. Η μέγιστη διατομή του Παραλιακού Συλλεκτήρα είναι 1,10 x 1,65 μ. Παρακηφίσιος Συλλεκτήρας Ακαθάρτων. Ο Παρακηφίσιος Συλλεκτήρας, ξεκινά από τον ΚΑΑ στο ύψος της περιοχής του Αγ. Ιωάννη Ρέντη και τελειώνει στην περιοχή της Εκάλης. Η διατομή του στην εκβολή είναι 2,42 μ. x 2,72 μ., σκουφοειδής σε μήκος 3,6 χλμ. Το μήκος του φτάνει τα 26 περίπου χιλιόμετρα. Σήμερα βρίσκεται υπό κατασκευή το τελευταίο τμήμα του που καταλήγει στον Άγιο Στέφανο.

Συμπληρωματικός Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (Σ.Κ.Α.Α.). Αρχίζει από τον Κ.Α.Α. από σημείο του στο τμήμα που διέρχεται από την περιοχή της Αγίας Άννης στο Δήμο Αγ. Ιωάννου Ρέντη και απολήγει στον Ακροκέραμο. Είναι κυκλικός αγωγός από οπλισμένο σκυρόδεμα μήκους 7,5 χλμ. Στην αρχή του ΣΚΑΑ είναι εγκατεστημένα θυροφράγματα ρύθμισης και εκτροπής των παροχών. Ο ΣΚΑΑ έχει διάμετρο 3,3 μ. Κατά μήκος του Σ.Κ.Α.Α. υπάρχουν φρεάτια επισκέψεως διαμέτρου 1,0 μ. και 3 θάλαμοι επισκέψεως διαμέτρου 6μ. για τη συντήρηση του αγωγού.

Ανακουφιστικός Καταθλιπτικός Αγωγός (Α.Κ.Θ.). Ο αγωγός αυτός άγει τα λύματα των περιοχών του Μοσχάτου, της Νέας Σμύρνης, του Παλαιού Φαλήρου στον Κ.Α.Α. ανακουφίζοντας τις περιοχές αυτές που εξυπηρετούνται σήμερα από τον Κεντρικό Παραλιακό Συλλεκτήρα της ακτής Σαρωνικού. Η διατομή του στην εκβολή είναι 2,9 μ. και το συνολικό μήκος του φτάνει τα 6 χλμ..

#### *Αντλιοστάσια*

Έπρεπε να κατασκευασθούν δύο καταθλιπτικοί αγωγοί για κάθε αντλιοστάσιο και να εξασφαλιστεί η αδιάλειπτη, σε περίπτωση βλάβης του ενός αγωγού, ροή των ακαθάρτων. Λειτουργούν 42 αντλιοστάσια, από τη Βάρκιζα μέχρι το Πέραμα, με αποδέκτη την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στην Ψυτάλλεια. Τα παραπάνω αντλιοστάσια λειτουργούν είτε κατά ομάδες είτε με διάταξη αλυσίδας. Στην πρώτη περίπτωση τα λύματα μερικών τοπικών αντλιοστασίων ωθούνται προς ένα επικεφαλής αντλιοστάσιο από το οποίο ωθούνται προς τον Κ.Α.Α. (Κεντρικό αποχετευτικό αγωγό). Στη δεύτερη περίπτωση τα λύματα αντλούνται διαδοχικά από το ένα αντλιοστάσιο στο επόμενο με δίδυμους καταθλιπτικούς αγωγούς

καταλήγοντας τελικά στον Κ.Α.Α. (τα αντλιοστάσια της παραλίας από Βάρκιζα μέχρι Αμφιθέα και από Πέραμα μέχρι Μοσχάτο). Τα αντλιοστάσια λειτουργούν με ηλεκτροκίνητες αντλίες οι οποίες λειτουργούν αυτόματα, δηλαδή η έναρξη και η παύση λειτουργίας τους γίνεται μέσω ηλεκτρονικών αισθητηρίων στάθμης ανάλογα με τα επιθυμητά όρια. Ο έλεγχος της λειτουργίας τους γίνεται μέσω ενός Σύγχρονου Συστήματος Τηλεέγχου - Τηλεχειρισμού, το οποίο βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Νέου Φαλήρου. Αυτό το σύγχρονο σύστημα, λειτουργεί με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) στους τοπικούς σταθμούς των αντλιοστασίων. Αυτοί, μέσω μισθωμένων τηλεφωνικών γραμμών (Ο.Τ.Ε.), παρακολουθούνται επί 24ωρου βάσεως σε όλες τις βασικές λειτουργίες τους από το Κέντρο Ελέγχου Νέου Φαλήρου, από όπου και τους τηλεχειρίζονται. Στο παραπάνω σύγχρονο σύστημα λειτουργίας γίνονται συνεχείς έλεγχοι, συντηρήσεις, επισκευές, κατασκευές καθώς και επεμβάσεις στα αντλιοστάσια επί 24ώρου βάσεως από συνεργεία που εδρεύουν στο Νέο Φάληρο, προκειμένου να διασφαλίζεται η αδιάλειπτη λειτουργία τους.



### 3. Σεισμικοί Κίνδυνοι

#### 3.1 Εισαγωγή

Δύο γενικά αποδεκτές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της σεισμικής συμπεριφοράς των υφιστάμενων εγκαταστάσεων :

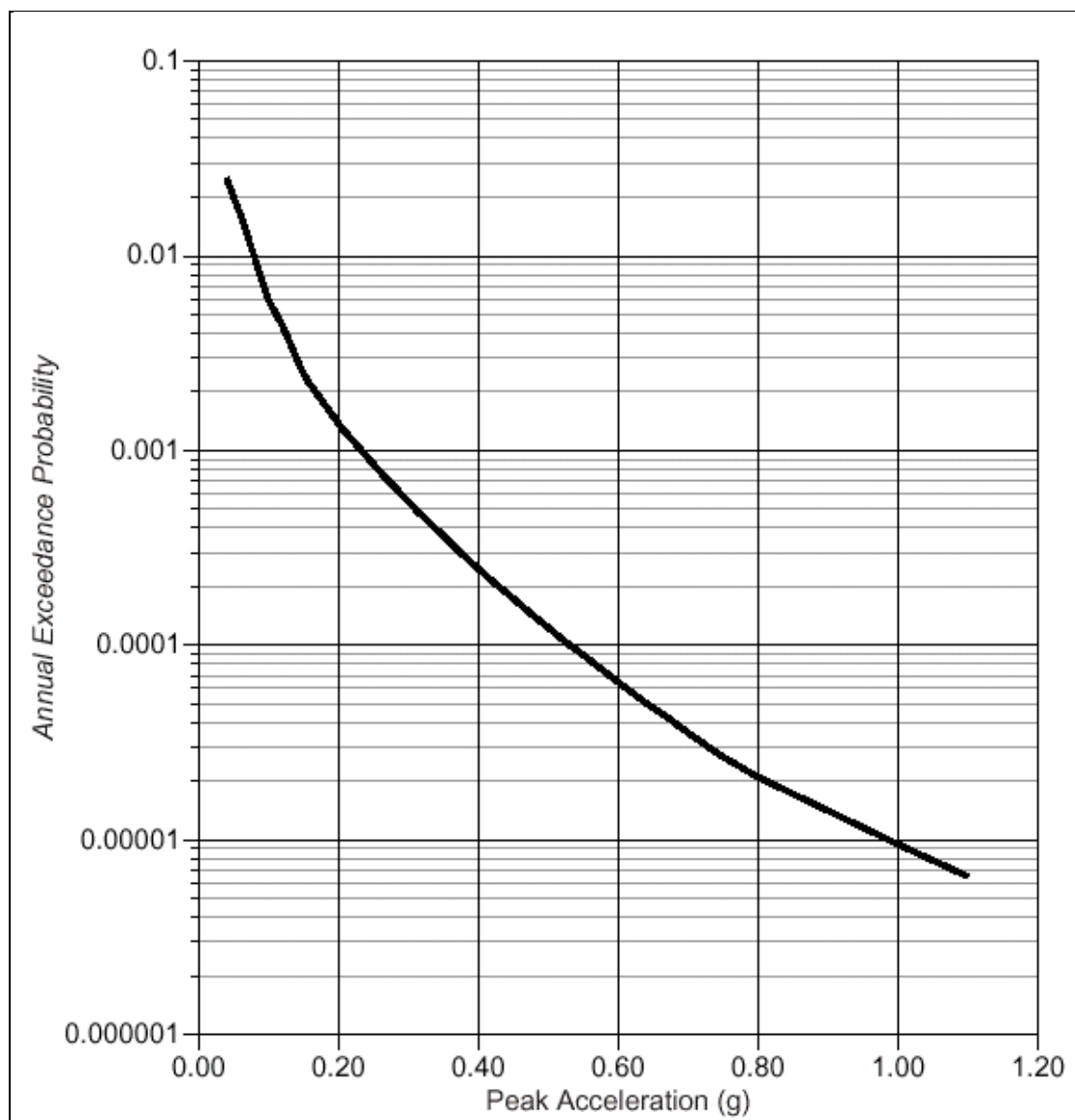
- τα σεισμικά σενάρια
- πιθανολογική εμφάνιση σεισμών

Τα «σεισμικά σενάρια», ορίζονται ως η εμφάνιση ενός συγκεκριμένου μεγέθους σεισμού σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Η επιλογή των σεισμικών σεναρίων περιλαμβάνει συνήθως μεγάλου μεγέθους σεισμούς καθώς και μικρότερου μεγέθους αλλά πιο πιθανούς σεισμούς. Τα σεισμικά σενάρια θεωρούνται συχνά ως αξιολογήσεις σεισμικών κινδύνων, όταν ο διαχειριστής κάποιας υποδομής (π.χ. δικτύου ύδρευσης) επιθυμεί να καθορίσει την σεισμική απόκριση ολόκληρου του συστήματος κάτω από ένα δεδομένο σεισμό. Τα σεισμικά σενάρια είναι χρήσιμα για την εκτίμηση των πιθανών βλαβών που προκαλεί ένας συγκεκριμένος σεισμός, για την αξιολόγηση των σχεδίων αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και για την επίτευξη των προκαθορισμένων στόχων απόδοσης. Με την εύρεση της συχνότητας εμφάνισης για κάθε σεισμικού σεναρίου και επιλέγοντας ένα κατάλληλο σεισμικό σενάριο, η αποτίμηση των βλαβών που αναμένονται μπορεί πλέον να γίνει σε ετήσια βάση ή άλλο κατάλληλο χρονοδιάγραμμα.

Η «πιθανολογική εμφάνιση σεισμών», ορίζεται ως το πιθανό επίπεδο του εδαφικού κινδύνου, συνήθως η μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους, σε μια συγκεκριμένη θέση μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ένας κοινός τρόπος έκφρασης της πιθανολογικής εμφάνισης σεισμών είναι χρησιμοποιώντας μια καμπύλη σεισμικού κινδύνου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Καθώς οι Γραμμές Ζωής εκτείνονται συχνά σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή με διάφορους τύπους εδαφών, το επίπεδο κινδύνου σε διαφορετικές θέσεις μπορεί να διαφέρει σημαντικά, λόγω των τοπικών διαφορών στις συνθήκες του εδάφους. Η πιθανολογική εμφάνιση σεισμών είναι χρήσιμη για την εκτίμηση των βλαβών που αναμένονται να εμφανιστούν σε ετήσια βάση, για τον προσδιορισμό ασφαλιστρών και για τη διεξαγωγή αναλύσεων κόστους οφέλους, αλλά δεν είναι άμεσα εφαρμόσιμες στην εκτίμηση των βλαβών ολόκληρου του συστήματος.

#### 3.2 Μικροζωνική Μελέτη

Η ανάγκη για μικροζωνική μελέτη της σεισμικής επικινδυνότητας μιας περιοχής και η πρόταση μέτρων αντισεισμικής δόμησης έχει γίνει πλέον συνείδηση στην Χώρα μας, και όχι χωρίς λόγο : η δόμηση είναι πυκνή, η γεωλογική σύσταση και δομή πολυσύνθετη, η σεισμική δράση έντονη και συχνή και τα πρακτικά οφέλη από την εκπόνηση της μικροζωνικής μελέτης άμεσα. Αντίθετα όμως οι στόχοι, τα μέσα και η έκταση μιας τέτοιας μελέτης δεν έχουν ακόμη διασαφηνισθεί. Κύριο μέλημα αποτελεί ο καθορισμός των στόχων μιας μικροζωνικής μελέτης οι οποίοι καθορίζουν τις μεθοδολογίες που ακολουθούνται, το είδος και την ακρίβεια των



Σχήμα 3.1 – Καμπύλη σεισμικού κινδύνου ( Πηγή : [4] )

αναμενόμενων αποτελεσμάτων. Σε γενικές γραμμές, ως κύριος στόχος μιας μικροζωνικής μελέτης μπορεί να θεωρηθεί η χρήση των αποτελεσμάτων της σε μελέτες αποτίμησης του σεισμικού κινδύνου για διαφορετικά σεισμικά σενάρια. Αναλυτικότερα, η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει καταρχήν την μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής μέσω της οποίας εκτιμάται το σεισμικό φορτίο στο «οιονεί» βραχώδες υπόβαθρο για τα διάφορα σεισμικά σενάρια. Ακολουθεί η έρευνα των γεωλογικών συνθηκών που αποσκοπεί στην εκτίμηση των γεωλογικών – τεκτονικών χαρακτηριστικών της υπό εξέταση περιοχής τα οποία είναι δυνατόν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά του εδάφους σε σεισμό. Τέτοια χαρακτηριστικά αποτελούν η στρωματογραφική διάρθρωση, η λιθολογική σύσταση και το πάχος των γεωλογικών σχηματισμών, οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες τους, η ύπαρξη ρηγμάτων, τα υπόγεια νερά, κ.α.. Απαραίτητη είναι επίσης η γεωτεχνική έρευνα για την εκτίμηση των φυσικών, μηχανικών και δυναμικών ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών και του υποκειμένου γεωλογικού υπόβαθρου, τα οποία επηρεάζουν τη σεισμική τους απόκριση. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η μελέτη σεισμικής απόκρισης των εδαφικών σχηματισμών σε χαρακτηριστικές εδαφικές

τομές (που προσδιορίζονται με βάση τα αποτελέσματα της γεωλογικής, γεωφυσικής και γεωτεχνική έρευνας της περιοχής), βάση της οποίας εκτιμώνται οι παράμετροι της σεισμικής εδαφικής κίνησης (εδαφική ταλάντωση, μόνιμες μετακινήσεις) που χρησιμοποιούνται τελικά για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης των υπό κίνδυνο στοιχείων (κτιρίων, δικτύων και υποδομών). Η μικροζωνική μελέτη αποτελεί τη βάση για τον καθορισμό των (άμεσων και έμμεσων) απωλειών και την διαχείριση του σεισμικού κινδύνου και χάραξη αντισεισμικής πολιτικής. Γενικά, η μικροζωνική μελέτη συνίσταται στον χωρισμό της περιοχής σε ζώνες διαφορετικής σεισμικής έντασης ανάλογα με τις τοπικές εδαφικές συνθήκες για έναν ισχυρό σεισμικό κραδασμό στο βραχώδες υπόβαθρο και καταλήγει στη σύνταξη χαρτών (με χρήση των GIS) μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η περιγραφή της χωρικής μεταβλητότητας της κίνησης. Γενικά, μια μικροζωνική μελέτη πρέπει να είναι σε θέση να περιγράψει την μεταβλητότητα σχετικά με :

- τις παραμέτρους της σεισμικής επικινδυνότητας
- την ένταση της εδαφικής ταλάντωσης
- την επιφανειακή εμφάνιση του ρήγματος και τις τεκτονικές μετακινήσεις
- φαινόμενα ρευστοποίησης, πλευρικής εξάπλωσης και συνίζησης
- προβλήματα που σχετίζονται με την ευστάθεια πρανών (κατολισθήσεις ή κατακρημνίσεις βράχων)
- πλημμύρες προκαλούμενες από σεισμούς

### 3.3 Σεισμικοί Κίνδυνοι

#### 3.3.1 Εδαφική Ταλάντωση

Δεδομένου ότι ένας σεισμός συμβαίνει κοντά σε Γραμμές Ζωής, κάποιο επίπεδο εδαφικής ταλάντωσης θα συμβεί. Οι ταλαντώσεις αυτές σε περιοχές κοντά σε ρήγμα είναι κατά κανόνα ισχυρότερες σε σχέση με τοποθεσίες μακριά από ρήγμα, αλλά η αβεβαιότητα στις κινήσεις του εδάφους και τις τοπικές εδαφικές συνθήκες είναι ικανά να ανατρέψει αυτή την τάση μερικές φορές.

Η ταλάντωση του εδάφους χαρακτηρίζεται από την μέγιστη επιτάχυνση εδάφους (PGA), την μέγιστη ταχύτητα του εδάφους (PGV), ή τα φάσματα απόκρισης (RS) στη θέση της τοποθεσίας της συνιστώσας. Συνήθως, οι δείκτες PGA και RS χρησιμοποιούνται για την απόκριση υπέργειων συνιστωσών, ενώ ο δείκτης PGV χρησιμοποιείται για υπόγειες συνιστώσες των Γραμμών Ζωής. Μόλις εντοπιστεί η θέση προέλευσης του σεισμού, οι τιμές των PGA, PGV και RS μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας μοντέλα εξασθένησης.

Μοντέλα εξασθένησης έχουν αναπτυχθεί για όλες τις παραμέτρους που αφορούν ένα σεισμό, όπως για τα διάφορα είδη των σεισμών (π.χ. καταβύθισης, ολίσθησης), για τους τύπους της ταλάντωσης (π.χ. επιτάχυνση, ταχύτητα, απόκριση φασματικές τιμές για διαφορετικά επίπεδα απόσβεσης), για τον τύπο του εδάφους (π.χ. σκληρό – μαλακό έδαφος) και για άλλους ειδικούς παράγοντες.

Κάθε μοντέλο εξασθένησης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των απωλειών πρέπει να παρέχει τις ακόλουθες ελάχιστες πληροφορίες :

- Το μέσο επίπεδο της εδαφικής ταλάντωσης που αναμένεται σε μια συγκεκριμένη θέση.
- Μια εκτίμηση της διασποράς στο μέσο επίπεδο της εδαφικής ταλάντωσης. Η πιο κοινή διατύπωση της διασποράς είναι η λογαριθμική.

### 3.3.2 Ρευστοποίηση Εδάφους

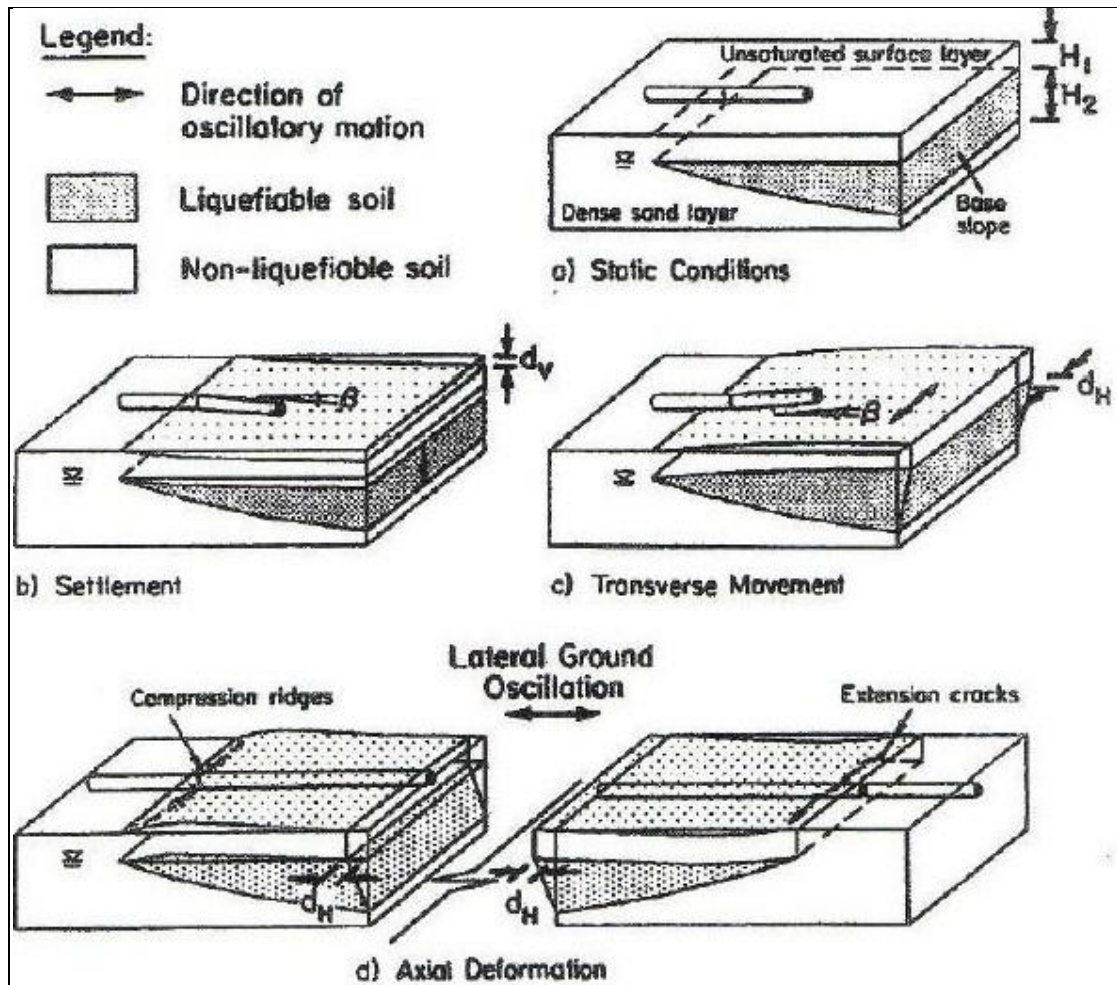
Ρευστοποίηση του εδάφους (Σχήμα 3.2) είναι ένα φαινόμενο που λαμβάνει χώρα σε χαλαρά, κορεσμένα, κοκκώδη εδάφη όταν υποβάλλονται σε μακράς διάρκειας και ισχυρή εδαφική ταλάντωση. Τα εδάφη αυτά τείνουν να συμπυκνωθούν και να καθιζάνουν κάτω από τέτοιες συνθήκες. Εάν αυτά τα εδάφη είναι κορεσμένα καθώς συμπυκνώνονται, εκτοπίζουν το νερό των πόρων τους, το οποίο αναγκάζεται να διαφύγει προς τα πάνω. Αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων προκαλεί δύο αποτελέσματα. Πρώτον, δημιουργεί προσωρινή μείωση των ενεργών τάσεων του εδάφους.. Δεύτερον, αν οι πιέσεις των πόρων γίνουν αρκετά μεγάλες, το εδαφικό υλικό μπορεί να «εκτιναχθεί» από το έδαφος.

Η πλευρική εξάπλωση είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να συνοδεύσει την ρευστοποίηση. Σε πολλές περιοχές, τα στρώματα των ρευστοποιήσιμων υλικών βρίσκονται σε κάποιο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Αν η περιοχή έχει σημαντική κλίση ή βρίσκεται δίπλα σε πρανές, η ρευστοποίηση μπορεί να προκαλέσει ολίσθηση του εδάφους. Η πλευρική εξάπλωση μπορεί να έχει καταστροφικά αποτελέσματα σε υπόγειες δεξαμενές και αγωγούς καθώς και σε κατασκευές που υποστηρίζονται στο ρευστοποιηθέν έδαφος.

Ο ιδανικός τρόπος για την αξιολόγηση του κινδύνου ρευστοποίησης σε κάποια θέση είναι οι επί τόπου αναλύσεις για τον κίνδυνο ρευστοποίησης. Η προσέγγιση αυτή είναι κατάλληλη για την αρχική αξιολόγηση και μπορεί να είναι αρκετά αξιόπιστη σε τοπική κλίμακα. Η ανάλυση ρευστοποίησης θα πρέπει να παρέχει μία εκτίμηση της πιθανότητας ότι μία θέση ή περιοχή θα ρευστοποιηθεί και, αν ναι, την τιμή της μόνιμης παραμόρφωσης του εδάφους (PGD) που αναμένεται στην περιοχή. Η PGD μπορεί να είναι είτε κάθετη (καθίζηση), είτε πλάγια (πλευρική εξάπλωση) ή ένας συνδυασμό των δύο. Για τον συνδυασμό των δύο, η τιμή της PGD αθροίζεται διανυσματικά και μετά χρησιμοποιείται στις καμπύλες τρωτότητας.

### 3.3.3 Κατολίσθηση

Ο κίνδυνος κατολίσθησης περιλαμβάνει πολλά διαφορετικά είδη : βαθιές και περιστροφικές κατολισθήσεις, ροή εδαφικού υλικού και καταπτώσεις βράχων. Αυτοί οι τύποι των κατολισθήσεων μπορεί να επηρεάσουν τις συνιστώσες των δικτύων κοινής ωφέλειας με διάφορους τρόπους (π.χ. ολίσθηση του εδάφους παραμορφώνει και εντείνει τους αγωγούς, καταπτώσεις βράχων μέσα σε κανάλια εμποδίζουν την απρόσκοπτη ροή, ροή εδαφικού υλικού «φράσει» τις εισόδους – εξόδους σηράγγων κ.λπ.).



Σχήμα 3.2 – Μορφές αστοχίας αγωγών, ως αποτέλεσμα ρευστοποίησης του εδάφους ( Πηγή : [1] )

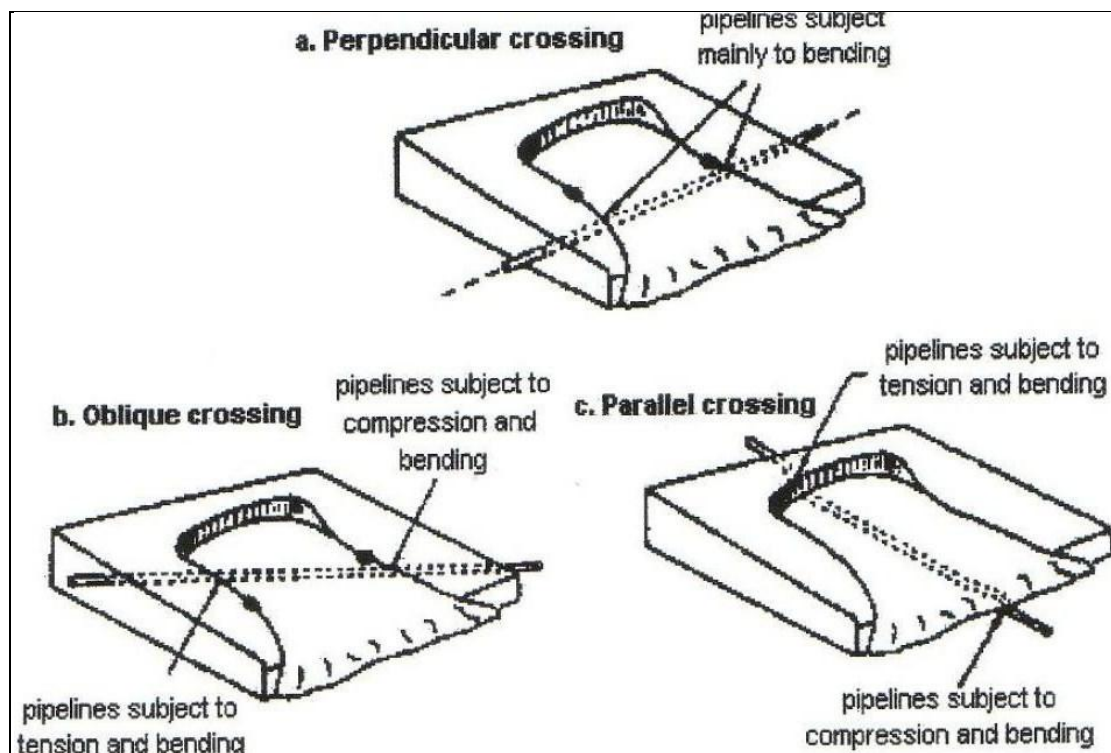
Τα τρία βασικά βήματα για την αξιολόγηση του κινδύνου από κατολίσθηση είναι :

- Ανάπτυξη χάρτη ευαισθησίας σε κατολίσθηση της μελετώμενης περιοχής.
- Υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης κατολίσθησης.
- Δεδομένου ότι συμβαίνει μια κατολίσθηση, εκτίμηση της τιμής του εύρους της κίνησης (PGD).

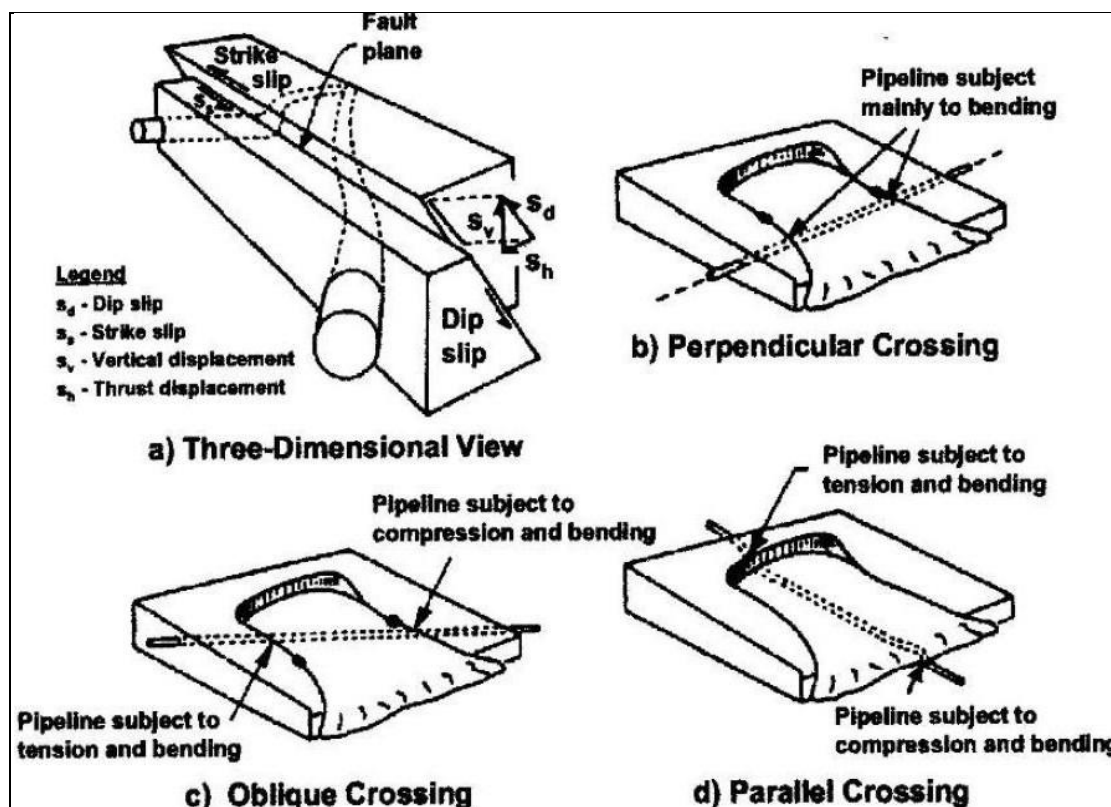
Χάρτες κινδύνου κατολίσθησης θα πρέπει να δημιουργούνται από γεωλόγους εξοικειωμένους με τη γεωλογία της περιοχής. Οι μέθοδοι για την ανάπτυξη αυτών των χαρτών κυμαίνονται από εναέρια φωτοερμηνεία μέχρι έρευνα του εδάφους. Το κόστος μπορεί να είναι σημαντικό, όμως, ειδικά αν δεν είναι διαθέσιμοι παλαιότεροι χάρτες κινδύνου κατολίσθησης.

Κατολίσθηση πρανούς συμβαίνει όταν οι στατικές (λόγω ίδιου βάρους και εξωτερικώς επιβαλλόμενου φορτίου) συν τις αδρανειακών δυνάμεις (λόγω σεισμού) προκαλέσουν την τιμή του συντελεστή ασφαλείας του πρανούς να πέσει προσωρινά κάτω από 1,0. Η τιμή της μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους που απαιτείται για να προκαλέσει την ολίσθηση λέγεται κρίσιμη επιτάχυνση και συμβολίζεται με  $a_c$ . Αυτή η τιμή της επιτάχυνσης καθορίζεται από ψευδο – στατική ανάλυση ευστάθειας πρανών ή εμπειρικά με βάση την συμπεριφορά των πρανών κατά τη διάρκεια προηγούμενων σεισμών.

Σε θέσεις όπου εμφανίζεται ολίσθηση πρηνών, το ποσό της PGD πρέπει να εκτιμηθεί. Η αβεβαιότητα σε οποιαδήποτε εκτίμηση της τιμής της PGD, διέπεται από την αβεβαιότητα στην τοπική επιτάχυνση εδάφους.



Σχήμα 3.3 – Μορφές αστοχίας αγωγών, ως αποτέλεσμα κατολίσθησης ( Πηγή : [1] )



Σχήμα 3.4 – Μορφές αστοχίας αγωγών, ως αποτέλεσμα μετακίνησης ρήγματος ( Πηγή : [1] )

### 3.3.4 Μετακίνηση Ρήγματος

Το ποσό της μετατόπισης της επιφάνειας του εδάφους λόγω μετακίνησης ρήγματος μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας διάφορα μοντέλα. Τα περισσότερα προβλέπουν τη μέγιστη μετατόπιση (PGD) σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος της επιφάνειας διάρρηξης του ρήγματος. Η τιμή της PGD θα διαφέρει κατά μήκος της επιφάνειας διάρρηξης από μηδέν έως το μέγιστο πλάτος. Δεδομένης αυτής της μεταβολής, συνιστάται η μέγιστη μετατόπιση από τα μοντέλα αυτά να μεταβάλλεται κατά μήκος του ρήγματος, από το μηδέν έως το μέγιστο, χρησιμοποιώντας το ποσοστό της μέγιστης μετατόπισης.

### 3.4 Δείκτες Έντασης Σεισμού

Τα χαρακτηριστικά των κινήσεων του εδάφους που επηρεάζουν τη σεισμική απόκριση και την ακεραιότητά των Γραμμών Ζωής είναι η ένταση, η συχνότητα και η διάρκειά τους. Κάθε ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά της κίνησης του εδάφους σε μια δεδομένη τοποθεσία επηρεάζεται από το είδος της μετακίνησης ρήγματος (π.χ. κανονικό ή ανάστροφο), την πορεία που ακολουθούν τα σεισμικά κύματα καθώς διαδίδονται από το επίκεντρο του σεισμού προς την επιφάνεια του εδάφους, τις επιπτώσεις των τοπικών συνθηκών του εδάφους και την τοπογραφία. Η ένταση της σεισμικής διέγερσης συνήθως εκφράζεται χρησιμοποιώντας κάποιες από τις παραμέτρους που δίνονται παρακάτω :

- Μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση εδάφους (PGAH)
- Μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση εδάφους (PGAV)
- Χρόνο – ιστορία επιτάχυνσης (  $a(t)$  )
- Μέγιστη οριζόντια ταχύτητα εδάφους (PGVH)
- Μέγιστη κατακόρυφη ταχύτητα εδάφους (PGVV)
- Μέγιστη εδαφική παραμόρφωση (PGD)
- Φασματική επιτάχυνση (SA)
- Φασματική ταχύτητα αντίδρασης (SV)
- Φασματική εδαφική παραμόρφωση (SD)
- Σε περίπτωση μετακίνησης πρσανούς, διασταύρωσης με ρήγμα και ρευστοποίησης του εδάφους (πλευρική διάδοση και καθιζήσεις), οι μόνιμες εδαφικές παραμορφώσεις (PGD) – συνολικές και διαφορικές – είναι οι βασικές παράμετροι

Το κύριο ζήτημα είναι να καθοριστεί, για κάθε συνιστώσα των Γραμμών Ζωής, η κατάλληλη παράμετρος έντασης του σεισμού που περιγράφει καλύτερα την απόκριση κάθε συνιστώσας, ελαχιστοποιεί τη διασπορά αυτής της απόκρισης και σχετίζεται με την προσέγγιση που ακολουθείται για την παραγωγή των καμπυλών τρωτότητας. Σε γενικές γραμμές, οι εμπειρικές καμπύλες τρωτότητας συσχετίζουν τις βλάβες ενός στοιχείου με την ένταση της σεισμικής διέγερσης. Έτσι οι παράμετροι «Μέγιστη επιτάχυνση εδάφους (PGA)» και «Μέγιστη ταχύτητα εδάφους (PGV)» είναι οι πιο κατάλληλες με λιγότερες αβεβαιότητες.

Για γραμμικά συστήματα (π.χ. αγωγοί) έχει αποδειχθεί ότι η «Μέγιστη ταχύτητα εδάφους (PGV)» συσχετίζεται καλύτερα με τις βλάβες αυτών των στοιχείων και ως εκ τούτου η εκτίμηση τρωτότητας πρέπει να βασίζεται σε εκτιμήσεις της ταχύτητας του εδάφους. Για άλλες συνιστώσες των Γραμμών Ζωής (π.χ. κτίρια, δεξαμενές, εγκαταστάσεις επεξεργασίας ύδατος) βέλτιστη παράμετρος μπορεί να είναι η «Μέγιστη επιτάχυνση εδάφους (PGA)». Φυσικά, οι «Μέγιστη εδαφική παραμόρφωση (PGD)» είναι επίσης μια βασική παράμετρος.

#### 3.4.1 Συνιστώσες Δικτύου Ύδρευσης

Ο Πίνακας 3.1 αποτελεί ένα πλήρη κατάλογο των διαφόρων παραμέτρων που περιγράφουν καλύτερα την σεισμική διέγερση για κάθε συνιστώσα του Δικτύου Ύδρευσης.

Συνιστώσα Δικτύου Ύδρευσης	Παραπομπή	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Σχόλια
Γεωτρήσεις	NIBS (2004); SRM – LIFE (2003 – 2007)	PGA	Σύνθετες συνιστώσες που συμπεριλαμβάνουν δευτερεύοντα στοιχεία. Η συνολική απόκριση της συνιστώσας βασίζεται στην απόκριση των δευτερευόντων στοιχείων. Οι καμπύλες τρωτότητας βασισμένες στην PGA δίνονται για κάθε δευτερεύον στοιχείο.
Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Ύδατος	NIBS (2004); SRM – LIFE (2003 – 2007)	PGA	Σύνθετες συνιστώσες που συμπεριλαμβάνουν δευτερεύοντα στοιχεία. Η συνολική απόκριση της συνιστώσας βασίζεται στην απόκριση των δευτερευόντων στοιχείων. Οι καμπύλες τρωτότητας βασισμένες στην PGA δίνονται για κάθε δευτερεύον στοιχείο.
Αντλιοστάσια	NIBS (2004); SRM – LIFE (2003 – 2007)	PGA	Σύνθετες συνιστώσες που συμπεριλαμβάνουν δευτερεύοντα στοιχεία. Η συνολική απόκριση της συνιστώσας βασίζεται στην απόκριση των δευτερευόντων στοιχείων. Οι καμπύλες τρωτότητας βασισμένες στην PGA δίνονται για κάθε δευτερεύον στοιχείο.



Δεξαμενές	NIBS (2004)	PGA	
	ALA (2001a, b)	PGA / PGD	
Αγωγοί	Barenberg (1988)	PGV	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας
	Eguchi (1991)	MMI	Κλίμακα Mercalli
	O'Rourke and Ayala (1993)	PGV	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων [Ικανοποιητική συσχέτιση με βλάβες στους σεισμούς Düzce (Τουρκία) και Λευκάδας (Ελλάδα) – (Alexoudi, 2005; Alexoudi et al., 2007; Pitilakis et al., 2005)]
	Eidinger and Avila (1999)	PGV / PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων και μόνιμη εδαφική παραμόρφωση
	Hwang and Lin (1997)	PGA	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων
	Isoyama et al. (1998)	PGV	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων
	O'Rourke and Jeon (1999)	Vscaled	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων
	ALA(2001a, b)	PGA / PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων και μόνιμη εδαφική παραμόρφωση
	Porter et al. (1991)	PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για μόνιμη εδαφική παραμόρφωση
	Honegger and Eguchi (1992)	PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για μόνιμη εδαφική παραμόρφωση
	Heubach (1995)	PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για μόνιμη εδαφική παραμόρφωση
	Terzi et al. (2006)	PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για μόνιμη εδαφική παραμόρφωση

Πίνακας 3.1 – Παράγοντες έντασης σεισμικής διέγερσης για την σύνταξη καμπυλών τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] )

#### 3.4.2 Συνιστώσες Δικτύου Αποχέτευσης

Ο παρακάτω Πίνακας 3.2 αποτελεί ένα πλήρη κατάλογο των διαφόρων παραμέτρων που περιγράφουν καλύτερα την σεισμική διέγερση για κάθε συνιστώσα του Δικτύου Αποχέτευσης.

Συνιστώσα Δικτύου Ύδρευσης	Παραπομπή	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Σχόλια
Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων	NIBS (2004); SRM – LIFE (2003 – 2007)	PGA	Σύνθετες συνιστώσες που συμπεριλαμβάνουν δευτερεύοντα στοιχεία. Οι συνολική απόκριση της συνιστώσας βασίζεται στην απόκριση των δευτερευόντων στοιχείων. Οι καμπύλες τρωτότητας βασισμένες στην PGA δίνονται για κάθε δευτερεύον στοιχείο.
Αντλιοστάσια	NIBS (2004); SRM – LIFE (2003 – 2007)	PGA	Σύνθετες συνιστώσες που συμπεριλαμβάνουν δευτερεύοντα στοιχεία. Οι συνολική απόκριση της συνιστώσας βασίζεται στην απόκριση των δευτερευόντων στοιχείων. Οι καμπύλες τρωτότητας βασισμένες στην PGA δίνονται για κάθε δευτερεύον στοιχείο.
Αγωγοί	Barenberg (1988)	PGV	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας
	Eguchi (1991)	MMI	Κλίμακα Mercalli
	O'Rourke and Ayala (1993)	PGV	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων [Ικανοποιητική συσχέτιση με βλάβες στους σεισμούς Düzce (Τουρκία) και Λευκάδας (Ελλάδα) – (Alexoudi, 2005; Alexoudi et al., 2007; Pitilakis et al., 2005)]
	Eidinger and Avila (1999)	PGV / PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων και μόνιμη εδαφική παραμόρφωση
	Hwang and Lin (1997)	PGA	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων
	Isoyama et al. (1998)	PGV	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων
	O'Rourke and Jeon (1999)	Vscaled	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων
	ALA (2001a, b)	PGA / PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για διάδοση σεισμικών κυμάτων και μόνιμη εδαφική παραμόρφωση

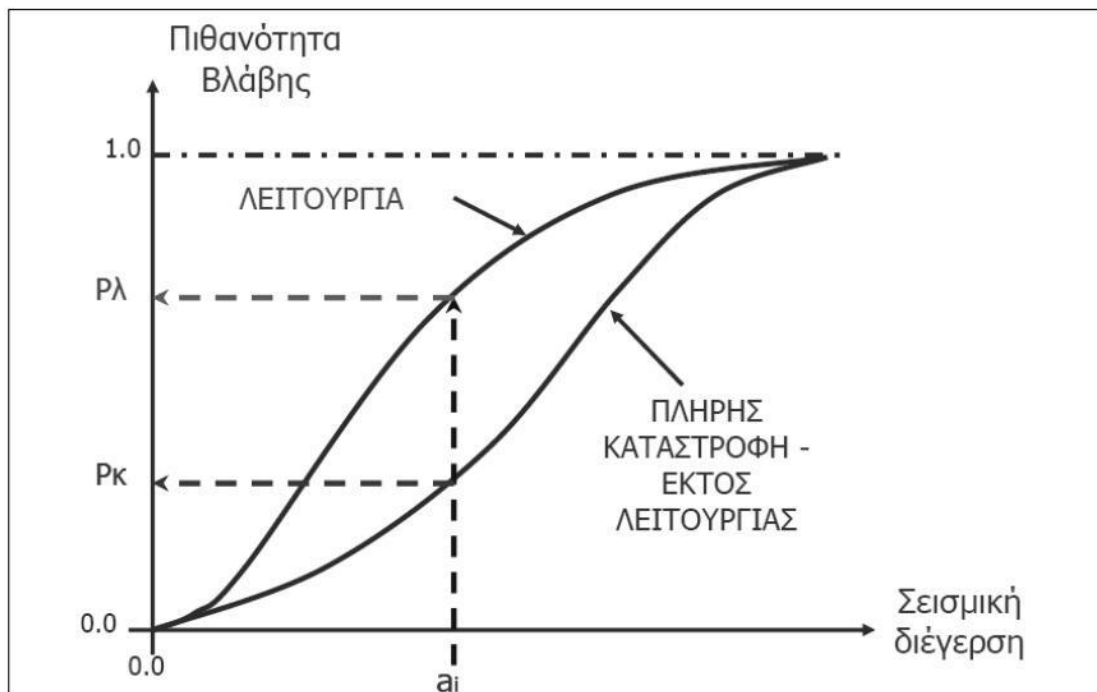
	Porter et al. (1991)	PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για μόνιμη εδαφική παραμόρφωση
	Honegger and Eguchi (1992)	PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για μόνιμη εδαφική παραμόρφωση
	Heubach (1995)	PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για μόνιμη εδαφική παραμόρφωση
	Terzi et al. (2006)	PGD	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας για μόνιμη εδαφική παραμόρφωση

Πίνακας 3.2 – Παράγοντες έντασης σεισμικής διέγερσης για την σύνταξη καμπυλών τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Αποχέτευσης ( Πηγή : [1] )

## 4. Προσδιορισμός Τρωτότητας

### 4.1 Εισαγωγή

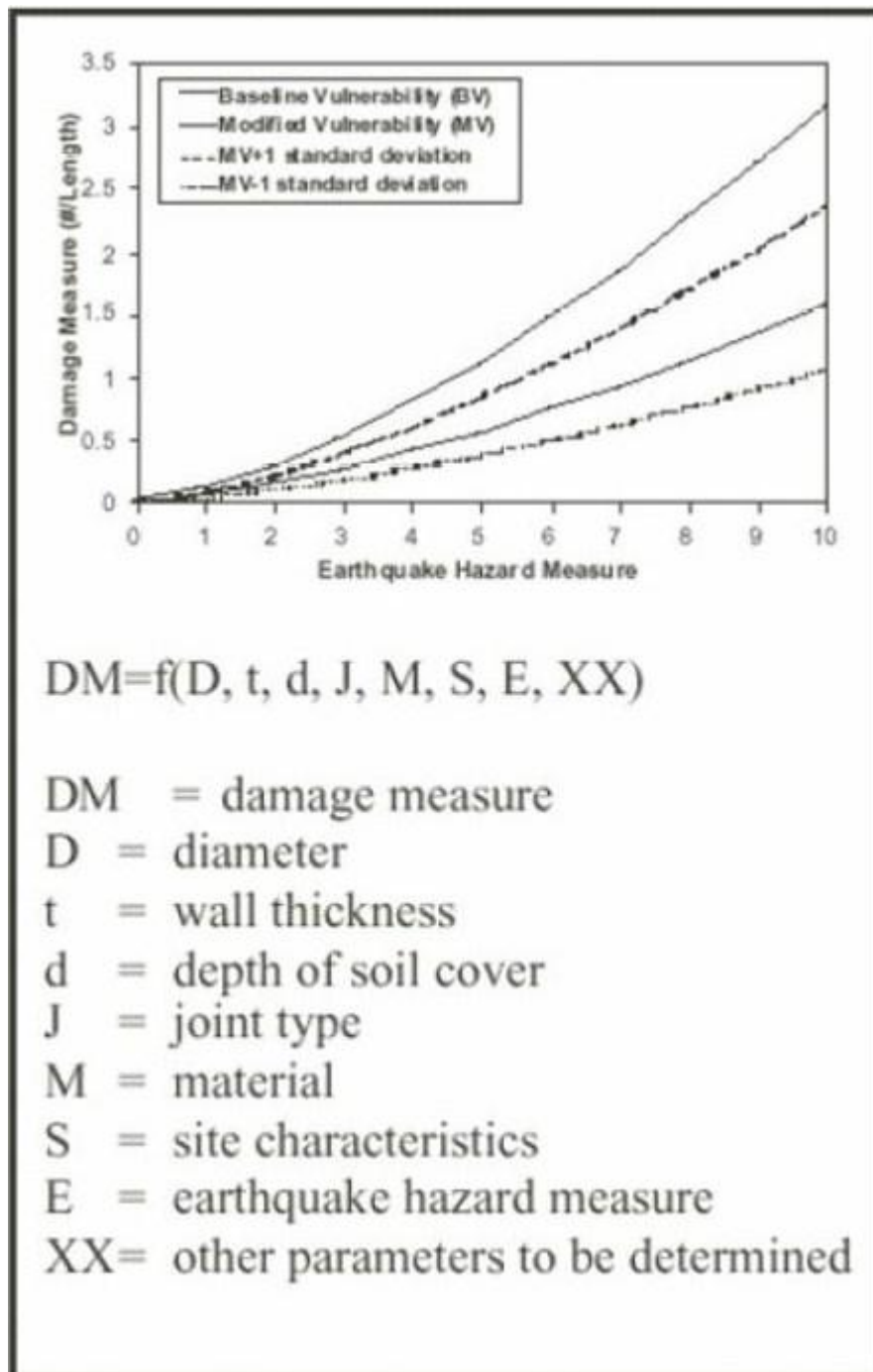
Οι καμπύλες τρωτότητας είναι ένα κρίσιμο συστατικό των σεισμικών επιπτώσεων. Οι σχέσεις ευαισθησίας ή ευπάθειας που περιγράφουν τις καμπύλες τρωτότητας, συσχετίζουν την ένταση του σεισμού με την πιθανότητα η κατασκευή να φτάσει ένα δεδομένο επίπεδο ζημιών (π.χ. ελαφρά, μεσαία, μεγάλη, σχεδόν κατάρρευση). Η ένταση του σεισμού μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με πολλές παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένων την μέγιστη επιτάχυνση εδάφους (PGA), την μέγιστη ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (PGV), την μέγιστη μόνιμη παραμόρφωση που προκαλεί ο σεισμός στο έδαφος (PGD), την φασματική επιτάχυνση (SA), την φασματική ταχύτητα (SV) ή φασματική μετατόπιση (SD). Κάθε συνιστώσα των Γραμμών Ζωής απαιτεί μια αντιπροσωπευτική σχέση τρωτότητας, που να περιγράφει ικανοποιητικά την ευπάθειά της, ώστε να προσδιοριστεί η πιθανότητα εμφάνισης του εκάστοτε επιπέδου βλάβης. Τυπική μορφή μιας καμπύλης τρωτότητας φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Όσο η καμπύλη τρωτότητας τείνει να γίνει κάθετη, χαμηλό επίπεδο αβεβαιότητας στην απόκριση του συστήματος, ενώ κατακόρυφη καμπύλη δείχνει έλλειψη αβεβαιότητας. Αντίθετα, όσο η καμπύλη τείνει προς την ευθεία, εμφανίζεται μεγαλύτερη αβεβαιότητα στην απόκριση του συστήματος.



Σχήμα 4.1 – Απεικόνιση της σχέσης «Σεισμική Διέγερση – Βλάβη» ( Πηγή: [24] )

Οι σχέσεις τρωτότητας είναι δυνατόν να έχουν διάφορες μορφές. Για παράδειγμα, για τους υπόγειους αγωγούς χρησιμοποιείται συνήθως μια σχέση, η καμπύλη της οποίας έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2. Στην περίπτωση αυτή καθορίζεται μια βασική σχέση τρωτότητας, η οποία τροποποιείται ανάλογα με τη δεδομένη διάταξη των στοιχείων του δικτύου. Κάθε στοιχείο αποτελεί ένα τμήμα

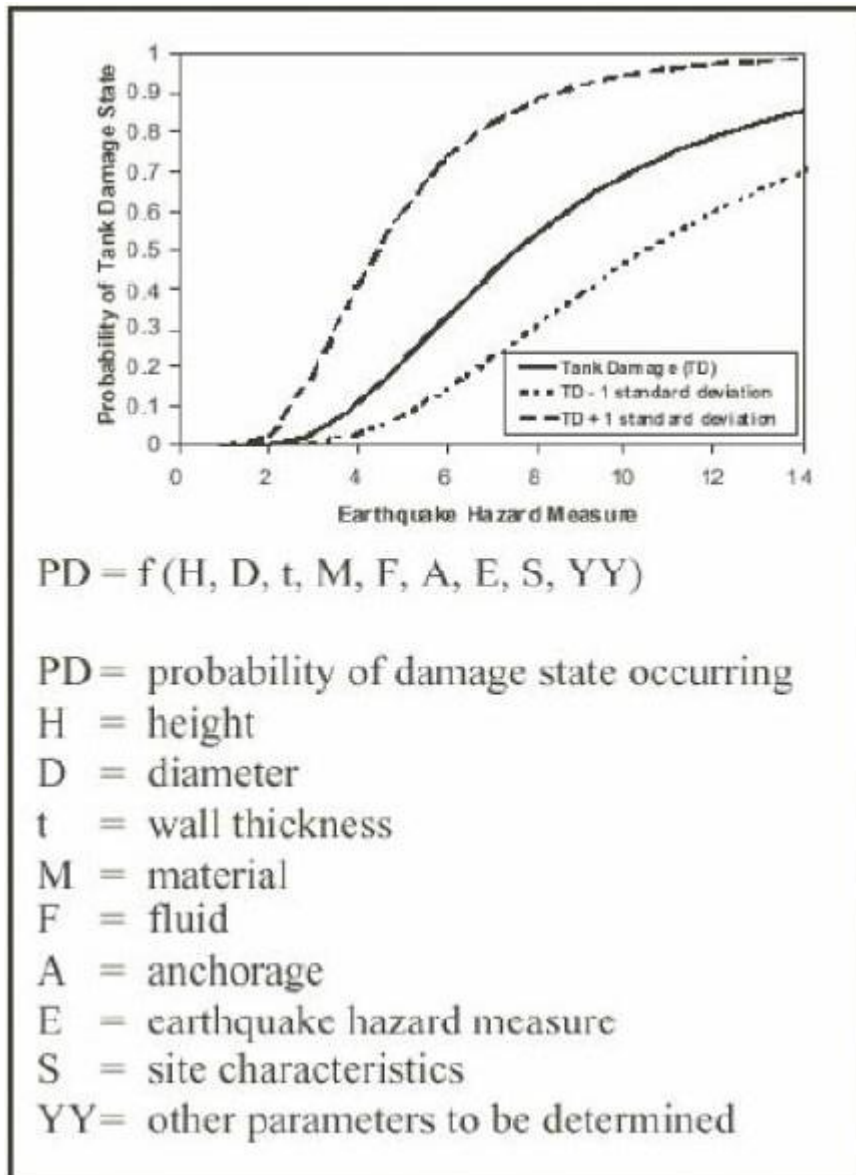
του δικτύου που έχει σταθερές ιδιότητες (π.χ. υλικό, διαστάσεις, είδος σύνδεσης κ.λπ.) και ομοιόμορφη έκθεση στο σεισμικό κίνδυνο. Αυτή η μορφή δεν παρέχει την πιθανότητα αστοχίας ενός συγκεκριμένου τμήματος του δικτύου. Ωστόσο, μπορεί να υπολογιστεί η πιθανότητα να εμφανιστεί ζημιά μέσω του προσδιορισμού του σφάλματος που σχετίζεται με τον υπολογισμό του επιπέδου βλάβης.



Σχήμα 4.2 – Γενική μορφή των σχέσεων τρωτότητας για υπόγειους αγωγούς ( Πηγή: [32] )

Αντίθετα, καμπύλες τρωτότητας με τη μορφή του Σχήματος 4.3 (όπως αυτές που χρησιμοποιούνται για τις κυλινδρικές δεξαμενές), παρέχουν άμεσα την πιθανότητα να υποστεί ένα συγκεκριμένο στοιχείο ένα δεδομένο επίπεδο βλάβης ως συνάρτηση της σεισμικής εδαφικής κίνησης. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατός ο

υπολογισμός πιθανότητας γιατί η γνώση βασικών παραμέτρων, όπως το ύψος, η διάμετρος, η στάθμη του νερού και το πάχος των τοιχωμάτων της δεξαμενής επιτρέπει τον υπολογισμό τάσεων και παραμορφώσεων, που σχετίζονται άμεσα με τη ζητούμενη πιθανότητα



Σχήμα 4.3 – Γενική μορφή των σχέσεων τρωτότητας για υπέργειες κυλινδρικές δεξαμενές ( Πηγή: [32] )

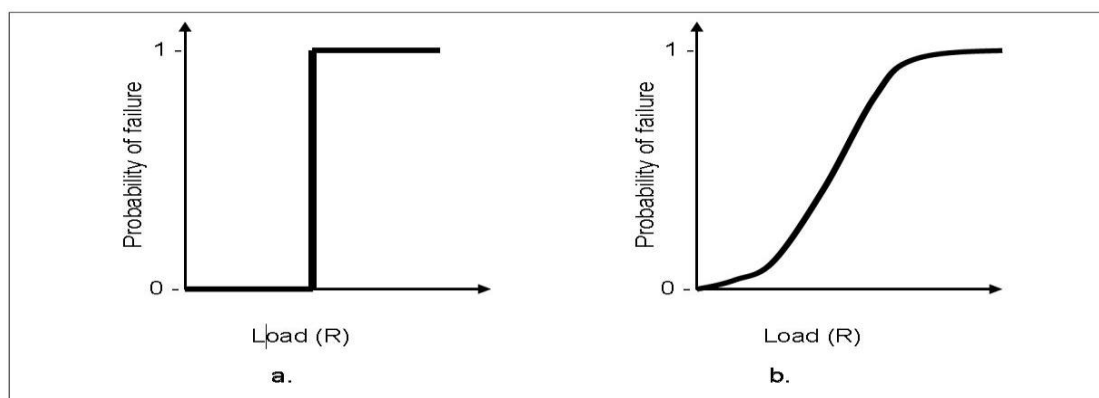
Οι σχέσεις τρωτότητας αναμφίβολα περιέχουν τους παράγοντες της αβεβαιότητας και της τυχαιότητας, οι οποίοι πηγάζουν τόσο από τον προσδιορισμό του σεισμικού κινδύνου, όσο και από την απόδοση του ίδιου του στοιχείου στο συγκεκριμένο επίπεδο κινδύνου.

Η διαδικασία αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης των Δικτύων Κοινής Ωφέλειας και των υποδομών προϋποθέτει την επιλογή της βέλτιστης σχέσης τρωτότητας η οποία εξαρτάται από το είδος του δικτύου, τις προδιαγραφές των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, την ηλικία του και τις κατασκευαστικές τεχνικές.

Όμως η έλλειψη σε Ευρωπαϊκό επίπεδο μια ενιαίας τυπολογίας και ενός κοινού θεσμικού πλαισίου που σχετίζεται με τις προδιαγραφές των υλικών και τις μεθόδους αποτίμησης της σεισμικής απόκρισης έχει ως άμεση συνέπεια την άκριτη χρήση της Αμερικάνικης τυπολογίας που διαφοροποιείται σημαντικά από τις Ευρωπαϊκές και Ελληνικές πρακτικές. Σημαντικό επακόλουθο αποτελεί η υιοθέτηση σχέσεων τρωτότητας που έχουν προέλθει από Αμερικάνικους και Ιαπωνικούς σεισμούς χωρίς να μπορεί να εκτιμηθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων τους και να διαπιστωθεί η αξιόπιστη χρήση τους στην Ευρώπη καθώς δεν υπάρχουν καταγεγραμμένες αστοχίες Δικτύων Κοινής Ωφέλειας. Μία πρώτη προσπάθεια πρότασης Ελληνικής τυπολογίας και αποτίμησης των διάφορων σχέσεων τρωτότητας της διεθνούς βιβλιογραφίας έγινε από την Μ. Αλεξούδη, 2005. Πρέπει να τονιστεί ότι η αποτίμηση αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω της σύγκρισης των αναμενόμενων αστοχιών με τις πραγματικά καταγεγραμμένες αστοχίες για τα δίκτυα ύδρευσης της Λευκάδας (Ελλάδα) και της Düzce (Τουρκία).

#### 4.2 Υπολογισμός Πιθανότητας «Αστοχίας»

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το σχήμα της καμπύλης τρωτότητας περιγράφει την αβεβαιότητα στην ικανότητα της κατασκευής να αντέχει το φορτίο ή, εναλλακτικά, την αβεβαιότητα στο τι φορτίο θα προκαλούσε αστοχία στην κατασκευή. Αν υπάρχει μικρή αβεβαιότητα, η καμπύλη τρωτότητας θα λάβει τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 4.4a. Τέτοιου είδους καμπύλες, εκφράζουν με βεβαιότητα ότι το σύστημα θα αστοχήσει σε ένα κρίσιμο φορτίο και είναι κατάλληλες για εύθραυστα και επαρκώς κατανοητά συστήματα. Δηλαδή, η πιθανότητα η κατασκευή να αστοχήσει σε φορτίο «κάτω» από το κρίσιμο είναι  $P=0$ , ενώ για φορτίο «πάνω» από το κρίσιμο  $P=1$ . Για ελαστικά συστήματα κατασκευών τα οποία είναι ελάχιστα κατανοητά ή για πολύπλοκα συστήματα κατασκευών, υπάρχει αβεβαιότητα όσον αφορά την ικανότητα του συστήματος να αντέχει φορτίο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η καμπύλη τρωτότητας λαμβάνει τη μορφή ενός σχήματος S, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4b. Η μορφή S σημαίνει ότι πάνω από ένα ορισμένο επίπεδο για απαίτηση σε αντοχή, η κατάσταση της κατασκευής μπορεί να αξιολογηθεί μόνο με κάποια πιθανότητα. Η καμπύλη τρωτότητας σχήματος S είναι απαραίτητη όταν υπάρχει αβεβαιότητα όσον αφορά στην ικανότητα του συστήματος να αντέχει φορτίο.



Σχήμα 4.4 – Ποιοτική μορφή καμπύλων τρωτότητας (a) για επαρκώς κατανοητά ή εύθραυστα συστήματα και (b) μη επαρκώς κατανοητά ή ελαστικά συστήματα ( Πηγή : [18] )

Ο όρος «αστοχία» είναι ένας σχετικός όρος που σημαίνει ότι η ικανότητα μιας κατασκευής να παρέχει ένα δεδομένο επίπεδο λειτουργικότητας έχει ξεπεραστεί. Δηλαδή, δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκη καταστροφική αστοχία της δομής (π.χ., η κατασκευή να έχει καταρρεύσει). Αντίθετα, υποδηλώνει ότι η λειτουργία της κατασκευής είναι μικρότερη από ένα προκαθορισμένο όριο. Μεταξύ των μελετών που αναπτύσσουν καμπύλες τρωτότητας για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου, φαίνεται να υπάρχει μια τάση δημιουργίας καμπυλών τρωτότητας για πολλαπλά επίπεδα απόδοσης ταυτόχρονα (επίπεδα βλάβης). Μετά την έκθεση μιας κατασκευής σε σεισμική φόρτιση, μπορεί να υποστεί ένα από τα παρακάτω συνήθη επίπεδα βλάβης :

- σε πλήρη λειτουργία
- επισκευάσιμο αλλά με μειωμένη λειτουργικότητα
- μη επισκευάσιμο και εκτός λειτουργίας
- κατάρρευση της κατασκευής και εκτός λειτουργίας

Στον υπολογισμό της σεισμικής διακινδύνευσης, οι πιθανές απώλειες  $A$ , είναι αβέβαιες. Ο στόχος είναι να υπολογιστεί η πιθανότητα οι ζημιές να υπερβούν κάποιο επίπεδο βλάβης  $\alpha$ . Η συνολική πιθανότητα οι ζημιές να υπερβούν ένα επίπεδο βλάβης  $\alpha$ ,  $P(A \geq \alpha)$ , υπολογίζεται ως εξής :

$$P(A \geq \alpha) = \sum P(A \geq \alpha | S = s) P(Z \leq 0 | S = s) P(S = s)$$

Ο όρος  $P(S = s)$  είναι η πιθανότητα πραγματοποίησης ενός επικίνδυνου συμβάντος  $S$ , σοβαρότητας  $s$ . Ο όρος  $P(Z \leq 0 | S = s)$  είναι η δεσμευμένη πιθανότητα υπέρβασης της ικανότητας του συστήματος λόγω της εμφάνισης ενός επικίνδυνου συμβάντος, σοβαρότητας  $s$ . Η συνολική πιθανότητα αστοχίας του συστήματος είναι  $P_f = P(Z \leq 0 | S = s) P(S = s)$ . Ο όρος  $P(A \geq \alpha | S = s)$  δίνει την πιθανότητα οι απώλειες, οι οποίες είναι συχνά συνάρτηση της σοβαρότητας του σεισμικού συμβάντος, να υπερβούν κάποια τιμή  $\alpha$ , δεδομένης της σοβαρότητας του συμβάντος. Επειδή η τρωτότητα είναι πιθανότητα, παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Συνεπώς, η αγνόηση των καμπυλών τρωτότητας στον υπολογισμό της σεισμικής διακινδύνευσης, θα οδηγήσει σε υπερεκτίμηση της πιθανότητας οι ζημιές να υπερβούν ένα επίπεδο βλάβης  $\alpha$ ,  $P(A \geq \alpha)$ .

Η προσπάθεια και τα κεφάλαια που απαιτούνται για την ανάπτυξη καμπυλών τρωτότητας μπορεί να δικαιολογηθούν με την μεγαλύτερη ακρίβεια που προσδίδουν στα αποτελέσματα της ανάλυσης της σεισμικής διακινδύνευσης. Χωρίς τη χρήση καμπυλών τρωτότητας, τα μοντέλα αποτίμησης της διακινδύνευσης μπορεί να καταλήξουν σε εκτιμήσεις ότι ποτέ μια κατασκευή δεν αστοχεί ( $P_f = 0$ ) ή ότι η κατασκευή αστοχεί ( $P_f = 1$ ). Αν μια κατασκευή δεν αστοχεί ποτέ, τότε οι αναμενόμενες ζημιές θα έχουν υποτιμηθεί. Αντίθετα, εάν μια κατασκευή αστοχεί πάντα, τότε αναμένεται οι απώλειες να έχουν υπερεκτιμηθεί.



### 4.3 Μέθοδοι Δημιουργίας Καμπυλών Τρωτότητας

Οι μέθοδοι για την ανάπτυξη καμπυλών τρωτότητας μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες :

- κρίσης (judgmental)
- εμπειρικές (empirical)
- αναλυτικές (analytical)
- υβριδικές (hybrid)

Οι προσεγγίσεις «κρίσης» βασίζονται σε γνώμες εμπειρογνώμωνων ή μηχανικών. Οι «εμπειρικές» προσεγγίσεις βασίζονται στις παρατηρήσεις. Οι «αναλυτικές» προσεγγίσεις βασίζονται σε μοντέλα. Οι «υβριδικές» προσεγγίσεις συνδυάζουν δύο ή περισσότερες από τις άλλες προσεγγίσεις. Κάθε προσέγγιση διαφέρει σε σχέση με τις υπόλοιπες ως προς το επίπεδο της προσπάθειας που απαιτείται για την εφαρμογή της και ως προς την ακρίβεια που προσδίδει στα αποτελέσματα. Ωστόσο, καμία προσέγγιση δεν είναι πάντα η βέλτιστη. Η επιλογή χρήσης κάποιας μεθόδου περιλαμβάνει την «εξισορρόπηση» μεταξύ κόστους και ακρίβειας που απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθόδου. Από τις παραπάνω τέσσερις μεθόδους, οι «αναλυτικές» προσεγγίσεις είναι ο πιο κοινός τρόπος δημιουργίας καμπυλών τρωτότητας. Οι αναλυτικές μέθοδοι αναλύονται περαιτέρω σε αρκετές διαφορετικές ομάδες ανάλογα με το αν η πιθανότητα αστοχίας υπολογίζεται με αναλυτικό ή αριθμητικό τρόπο.

#### 4.3.1 Προσεγγίσεις κρίσης

Οι καμπύλες τρωτότητας που βασίζονται σε γνώμες εμπειρογνώμωνων ή μηχανικών ταξινομούνται ως «κρίσης». Δεν υπάρχουν περιορισμοί στον τρόπο με τον οποίο αποσπώνται οι απαραίτητες πληροφορίες από τους εμπειρογνώμονες. Ωστόσο, επειδή οι εκάστοτε διαδικασίες μπορεί να διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό όσον αφορά το επίπεδο της αυστηρότητας με την οποία εφαρμόζονται, είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθούν διαδικασίες εύκολα επαληθεύσιμες. Οι προσεγγίσεις «κρίσης» συχνά χρησιμοποιούνται ως έσχατη λύση, λόγω των περιορισμών όσον αφορά στη διαθεσιμότητα των δεδομένων παρατήρησης και στα μοντέλα. Ενώ πρωταρχικό πλεονέκτημα των προσεγγίσεων «κρίσης» είναι ότι δεν περιορίζονται από το ποσότητα και την ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων, η απουσία στοιχείων για την επικύρωση των αποτελεσμάτων είναι το κύριο μειονέκτημά της.

Πολλές πιθανές πηγές μεροληψίας υπάρχουν σε μεθόδους που βασίζονται στην κρίση των εμπειρογνώμωνων. Για παράδειγμα, τη γνώμη ενός εμπειρογνώμονα επηρεάζεται από την ατομική εμπειρία του, η οποία με τη σειρά της μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες όπως η τοποθεσία στην οποία εργάζονται οι εμπειρογνώμονες. Αν αυτές οι πιθανές πηγές μεροληψίας είναι γνωστές και κατανοητές εκ των προτέρων, είναι δυνατό να ελεγχθούν μέσω πρωτόκολλων. Ωστόσο, συνήθως είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθούν, επειδή υπάρχει ανεπαρκής αριθμός εμπειρογνώμωνων και η τάση για μεροληψία τείνει να περνά απαρατήρητη.

#### 4.3.2 Εμπειρικές Προσεγγίσεις

Οι εμπειρικές καμπύλες τρωτότητας βασίζονται σε παρατηρήσεις των δεδομένων που τεκμηριώνουν την απόδοση των κατασκευών κάτω από διάφορα φορτία. Οι παρατηρήσεις μπορούν να λαμβάνονται συστηματικά μέσω ελεγχόμενων πειραμάτων ή μπορεί να συλλέγονται ευκαιριακά. Ένα πλεονέκτημα των συστηματικών πειραμάτων είναι ότι τα μηχανικά χαρακτηριστικά, η αλληλεπίδραση φορτίου – κατασκευής και αλληλεπίδραση περιβάλλοντος – κατασκευής μπορούν να ελεγχθούν για τις παρατηρήσεις. Ωστόσο, αυτό προϋποθέτει ότι ένας επαρκής αριθμός παρατηρήσεων μπορούν να καταγραφούν και ότι τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά και οι αλληλεπιδράσεις είναι γνωστά εκ των προτέρων. Οι βάσεις δεδομένων που περιέχουν παρατηρήσεις που έχουν συλλεχθεί ευκαιριακά μπορεί να είναι πιο δύσκολο να αναλυθούν στατιστικά. Τα δεδομένα μέσω παρατήρησης τείνουν να είναι αραιά στα πιο ακραία γεγονότα, τα οποία συνήθως εμφανίζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Οι εμπειρικές μέθοδοι είναι η πιο κοινή προσέγγιση που χρησιμοποιείται για την δημιουργία καμπυλών τρωτότητας για μηχανικά, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εξαρτήματα, επειδή είναι σχετικά εύκολο να αναπαραχθούν αντίγραφα των εξεταζόμενων εξαρτημάτων και να δοκιμαστούν σε αστοχία. Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή γενικά περιορίζεται σε καταστάσεις στις οποίες μια επαρκής ποσότητα δεδομένων μπορεί να συλλεχθεί και η έλλειψη δεδομένων αναφέρεται συχνά ως εμπόδιο για την χρησιμοποίηση της μεθόδου. Μερικές φορές, φυσικά φαινόμενα μπορεί να δώσουν επαρκή αριθμό για την εκτίμηση καμπυλών τρωτότητας. Καμπύλες τρωτότητας που έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας μια εμπειρική προσέγγιση, εν γένει δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί μέσω εργαστηριακών δοκιμών, διότι θα απαιτούσε την δοκιμή πολλαπλών φυσικών μοντέλων σε αστοχία, μια δραστηριότητα υπερβολικά δαπανηρή και πολύ χρονοβόρα.

#### 4.3.3 Αναλυτικές Προσεγγίσεις

Οι αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας βασίζονται σε δομικά μοντέλα που χαρακτηρίζουν την οριακή κατάσταση συμπεριφοράς της κατασκευής. Η συμπεριφορά της κατασκευής είναι συνάρτηση βασικών μεταβλητές. Αυτές οι μεταβλητές καθορίζουν τόσο την ικανότητα μιας κατασκευής να αντέχει φορτίο, όσο και τη ζήτηση σε αντοχή που πρέπει να διαθέτει η κατασκευή. Οι μεταβλητές αυτές περιλαμβάνουν ιδιότητες των υλικών κατασκευής, γεωμετρία ή διαστάσεις, περιβαλλοντικές μεταβλητές (όπως θερμοκρασία ή υγρασία) που θα μπορούσαν με κάποιο τρόπο να επηρεάσουν την συμπεριφορά της κατασκευής. Η εξίσωση της οριακής κατάστασης, επίσης γνωστή ως συνάρτηση απόδοσης, μπορεί να εκφραστεί ως η διαφορά μεταξύ της ικανότητας  $G_R(X)$  και της ζήτησης  $G_S(X)$  :

$$Z = G(R,S) = G_R(X) - G_S(X)$$

Η λύση της εξίσωσης αποτελείται από τρεις περιοχές :

$G(R,S) < 0$ , κατάσταση αστοχίας

$G(R,S) = 0$ , οριακή κατάσταση

$G(R,S) > 0$ , κατάσταση ασφάλειας

Οι βασικές μεταβλητές μπορεί να είναι είτε τυχαίες, είτε ντετερμινιστικές. Η πιθανότητα αστοχίας  $P_f$  δίνεται ολοκληρώνοντας μια συνάρτηση πυκνότητας πολλών μεταβλητών για το  $n$  – διαστάσεων διάνυσμα των βασικών τυχαίων μεταβλητών  $G(X) \leq 0$  :

$$P_f = P(G(X) \leq 0) = \int \dots \int_{G(X) \leq 0} f(x) dx$$

Εάν κάποιες από τις βασικές μεταβλητές είναι ντετερμινιστικές, η πιθανότητα αστοχίας  $P_f$  εξαρτάται από την τιμή αυτών των μεταβλητών. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση αξιοπιστίας κυμαίνονται από απλά έως σύνθετα, ενώ απλοποιημένες αναπαραστάσεις των πιο πολύπλοκων μοντέλων συχνά χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα των αριθμητικών μοντέλων. Μια καμπύλη τρωτότητας κατασκευάζεται υπολογίζοντας την πιθανότητα της αστοχίας κάτω από φορτία που κυμαίνονται από εκείνα με τα οποία η αστοχία είναι μάλλον απίθανη, έως εκείνα για τα οποία η αστοχία είναι σχεδόν βέβαιη.

Οι αναλυτικές προσεγγίσεις μπορούν να αναλυθούν σε τέσσερις διακριτές ομάδες με βάση σχετικά με το εάν η συνάρτηση της οριακής κατάστασης είναι ρητή ή άρρητη και εάν η πιθανότητα αστοχίας υπολογίζεται με τη χρήση αναλυτικών ή αριθμητικών μεθόδων. Η συνάρτηση οριακής κατάστασης μπορεί να είναι είτε ρητή, είτε άρρητη. Μια ρητή συνάρτηση οριακής κατάστασης είναι ένα που μπορεί να γραφτεί μέσω βασικών τυχαίων μεταβλητών. Μια άρρητη συνάρτηση οριακής κατάστασης δεν μπορεί να γραφτεί σε κλειστή μορφή, ως συνάρτηση των βασικών μεταβλητών, αλλά εκφράζεται μέσα από ένα αριθμητικό μοντέλο. Οι αναλυτικές προσεγγίσεις μπορούν να αναλυθούν περαιτέρω σε υποομάδες με βάση σχετικά με το αναλυτικές ή αριθμητικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της πιθανότητας αστοχίας.

- Αναλυτικές μέθοδοι υπολογισμού της πιθανότητας αστοχίας :
  - ⇒ First – order second – moment (FOSM)
  - ⇒ First – order reliability method (FORM)
  - ⇒ Second – order reliability method (SORM)
- Αριθμητικές μέθοδοι υπολογισμού της πιθανότητας αστοχίας :
  - ⇒ Προσομοίωση Monte Carlo (MCS)
  - ⇒ Response surface method (RSM)

Ο Πίνακας 4.1 δίνει συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μεθόδου.

Μέθοδος		Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αναλυτική	FOSM	Αποτελεσματική και φθηνή μέθοδος.	Απαιτεί γραμμική εξίσωση οριακής κατάστασης και κανονικές βασικές τυχαίες μεταβλητές.
		Η μέθοδος βασίζεται σε γνωστές προσεγγίσεις.	Τα αποτελέσματα ίσως αποτελούν αδρή προσέγγιση της καμπύλης τρωτότητας, λόγω υπεραπλούστευσεων.

<b>Αναλυτική</b>	FORM	Επεκτείνει τις first – order μεθόδους για την αντιμετώπιση των μη – κανονικών βασικών τυχαίων μεταβλητών.	Απαιτούνται μετατροπές μεταβλητών.
	SORM	Επεκτείνει τις first – order μεθόδους για την αντιμετώπιση των μη – κανονικών βασικών τυχαίων μεταβλητών.	Απαιτεί προσέγγιση της οριακής εξίσωσης.
<b>Αριθμητική</b>	MCS	Περισσότερο γενική προσέγγιση.  Χειρίζεται μη – γραμμική εξίσωση οριακής κατάστασης και μη – κανονικές βασικές μεταβλητές.  Η συσχέτιση δομής είναι ρητή.  Δεν κάνει υποθέσεις για το σχήμα της καμπύλης τρωτότητας.	Μεγάλος υπολογιστικός φόρτος, απαιτώντας μεγάλο αριθμό των «τρεξιμάτων» στο μοντέλο.  Η εφαρμογή της περιορίζονται στα συστήματα που είναι επαρκώς διαμορφωμένα.
	RSM	Υπερνικά την πρόκληση της υπερβολικής υπολογιστικής επιβάρυνσης.	Εισάγει ένα πρόσθετο στρώμα προσέγγισης.

Πίνακας 4.1 – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδων υπολογισμού της πιθανότητας αστοχίας ( Πηγή : [18] )

#### 4.3.4 Υβριδικές Προσεγγίσεις

Μια υβριδική προσέγγιση για την ανάπτυξη καμπυλών τρωτότητας χρησιμοποιεί συνδυασμό δύο ή περισσότερων από τις τρεις προσεγγίσεις που συζητήθηκαν παραπάνω, σε μια προσπάθεια να ξεπεραστούν οι διάφοροι περιορισμοί. Οι εμπειρικές προσεγγίσεις έχουν την τάση να περιορίζονται από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων παρατήρησης, οι προσεγγίσεις κρίσης τείνουν να περιορίζονται από την υποκειμενικότητα της κρίσης των εμπειρογνομόνων, ενώ οι αναλυτικές προσεγγίσεις τείνουν να περιορίζονται από αδυναμία δημιουργίας μοντέλων, περιοριστικές υποθέσεις ή υπολογιστική επιβάρυνση. Υπάρχουν πολλοί τρόπους εφαρμογής μιας υβριδικής προσέγγισης. Μία προσέγγιση είναι να κατασκευαστεί καμπύλη τρωτότητας χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση για ένα τμήμα του φορτίου και διαφορετική προσέγγιση στο υπόλοιπο τμήμα του φορτίου. Μια άλλη δυνατότητα είναι να συνδυαστούν καμπύλες τρωτότητας, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας προσεγγίσεις κρίσης ή αναλυτικές προσεγγίσεις, με παρατηρησιακά δεδομένα.

Στον Πίνακα 4.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μεθόδου.

<b>Μέθοδος</b>	<b>Πλεονεκτήματα</b>	<b>Μειονεκτήματα</b>
<b>Προσεγγίσεις Κρίσης</b>	<p>Δεν περιορίζεται από τα δεδομένα ή μοντέλα.</p> <p>Γρήγορη και φθηνή μέθοδος αν οι συνέπειες της ανακρίβειας είναι μικρές.</p> <p>Χρήσιμος έλεγχος άλλων εκτιμήσεων τρωτότητας.</p>	<p>Δύσκολες για επικύρωση ή επαλήθευση.</p> <p>Με την επιφύλαξη προκαταλήψεων και μεροληψιών.</p> <p>Δεν βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου.</p>
<b>Εμπειρικές Προσεγγίσεις</b>	<p>Τα δεδομένα μπορεί να προέρχονται είτε από φυσικά ή ελεγχόμενα πειράματα.</p> <p>Χρήσιμες και ευέλικτες αν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία.</p> <p>Δεν υποθέτει λογαριθμική μορφή για την καμπύλη τρωτότητας.</p>	<p>Τα δεδομένα μπορεί να είναι λιγοστά.</p> <p>Τα πειράματα μπορεί να είναι ακριβά.</p> <p>Δύσκολο να επικυρωθεί ανεξάρτητα το σύνολο των δεδομένων.</p> <p>Δύσκολο να επεκτείνουν τις καμπύλες τρωτότητας σε άλλες παρόμοιες κατασκευές.</p>
<b>Αναλυτικές Προσεγγίσεις</b>	<p>Βασίζονται σε φυσικά μοντέλα που έχουν επικυρωθεί και επαληθευτεί.</p> <p>Είναι πιο εύκολο να προεκτείνουν τα αποτελέσματα σε νέες καταστάσεις.</p> <p>Διευκολύνει τη διάκριση μεταξύ τυχαίας και γνωσιολογικής αβεβαιότητας.</p>	<p>Μπορεί να βασίζονται σε παραδοχές και απλουστεύσεις.</p> <p>Απαιτούν τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και των μοντέλων.</p> <p>Πιο χρονοβόρα στην εφαρμογή της.</p> <p>Απαιτούν υψηλότερο επίπεδο εκπαίδευσης.</p>
<b>Υβριδικές Προσεγγίσεις</b>	<p>Περιορισμοί κάποιας επιμέρους προσέγγισης μπορούν να ξεπεραστούν με μια συμπληρωματική προσέγγιση.</p> <p>Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης και οι</p>	<p>Ίδιοι περιορισμοί τις επιμέρους προσεγγίσεις.</p>

	παρατηρήσεις μπορούν να συνδυαστούν για τη βελτίωση της εκτίμησης τρωτότητας.	
--	---	--

Πίνακας 4.2 – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδων δημιουργίας καμπυλών τρωτότητας  
( Πηγή : [18] )

#### 4.4 Επίπεδα Βλάβης Συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης

##### 4.4.1 Πηγές Υδροληψίας (γεωτρήσεις)

Οι γεωτρήσεις είναι πολύπλοκες συνιστώσες που περιλαμβάνουν πολλά δευτερεύοντα στοιχεία. Η μεθοδολογία HAZUS (NIBS, 2004) δίνει καμπύλες τρωτότητας για αγκυρωμένα και μη δευτερεύοντα στοιχεία. Παρά το γεγονός ότι, δεν υπάρχουν συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές στην Ευρώπη, όλα τα δευτερεύοντα στοιχεία είναι αγκυρωμένα. Για να ληφθεί υπόψη η αβεβαιότητα στην τελική απόκρισή τους, μια κατηγορία ημι – αγκυρωσης των δευτερευόντων στοιχείων μπορεί να οριστεί.

Οι δείκτες βλάβης που ορίζουν το επίπεδο της βλάβης είναι :

- Τύπος και έκταση δομικών βλαβών (HAZUS; NIBS, 2004)
- Επίπεδο λειτουργικότητας (HAZUS; NIBS, 2004)

Η περιγραφή των επιπέδων βλάβης για τις γεωτρήσεις παρέχεται στον Πίνακα 4.3.

Επίπεδο Βλάβης	Περιγραφή	Κόστος Αποκατάστασης (%)	Λειτουργικότητα	
<b>Minor – Μικρό</b>	Δυσλειτουργία αντλίας γεώτρησης για ένα μικρό χρονικό διάστημα (λιγότερο από τρεις ημέρες) λόγω της απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας (και της εφεδρικής ισχύς, αν υπάρχει) / ελαφριές ζημιές σε κτίρια	10 – 30	Κανονική ροή και πίεση του νερού	Σε λειτουργία μετά από περιορισμένες επισκευές
<b>Moderate – Μεσαίο</b>	Δυσλειτουργία αντλίας γεώτρησης για περίπου μια εβδομάδα λόγω	30 – 50	Μείωση της ροής και της πίεσης του νερού	Σε λειτουργία μετά από επισκευές

	της απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας (και της εφεδρικής ισχύς, αν υπάρχει) / σημαντικές ζημιές στον μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό / μέτριες ζημιές σε κτίρια			
<b>Extensive – Εκτενές</b>	Το κτίριο είναι κατεστραμμένο σε μεγάλο βαθμό / η αντλία είναι άσχημα παραμορφωμένη και μη λειτουργική	50 – 75		Σε εν μέρει λειτουργία μετά από εκτεταμένες επισκευές
<b>Complete – Ολοκληρωτικό</b>	Κατάρρευση κτιρίου	75 – 100	Νερό μη διαθέσιμο	Μη επισκευάσιμο

Πίνακας 4.3 – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Πηγών Υδροληψίας» υποβαλλόμενες σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] )

#### 4.4.2 Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Ύδατος

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας ύδατος είναι πολύπλοκες συνιστώσες που περιλαμβάνουν πολλά δευτερεύοντα στοιχεία. Η μεθοδολογία HAZUS (NIBS, 2004) δίνει καμπύλες τρωτότητας για αγκυρωμένα και μη δευτερεύοντα στοιχεία για διαφορετικά μεγέθη των εγκαταστάσεων επεξεργασίας ύδατος. Δεν υπάρχουν συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές όσο αφορά στην αγκύρωση των δευτερευόντων στοιχείων στην Ευρώπη για εγκαταστάσεις επεξεργασίας ύδατος. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η αβεβαιότητα στην τελική απόκρισή τους (ως αποτέλεσμα των διαφορετικών ευρωπαϊκών πρακτικών που χρησιμοποιούνται για εγκαταστάσεις επεξεργασίας ύδατος διαφορετικών μεγεθών και της ημι – αγκύρωσης των δευτερευόντων στοιχείων) μόνο μία καμπύλη τρωτότητας για εγκαταστάσεις επεξεργασίας ύδατος προτείνεται, η οποία είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος. Είναι επίσης δεδομένο ότι δεν υπάρχει εφεδρική ισχύς σε περίπτωση απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας (χειρότερο σενάριο).

Οι δείκτες βλάβης που ορίζουν το επίπεδο της βλάβης είναι :

- Τύπος και έκταση δομικών βλαβών (HAZUS; NIBS, 2004; SRM – LIFE, 2003 – 2007)
- Επίπεδο λειτουργικότητας (HAZUS; NIBS, 2004; SRM – LIFE, 2003 – 2007)
- Κόστος αποκατάστασης (Ballantyne et al., 2009)

Η περιγραφή των επιπέδων βλάβης για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ύδατος παρέχεται στον Πίνακα 4.4.

Επίπεδο Βλάβης	Περιγραφή	Κόστος Αποκατάστασης (%)	Λειτουργικότητα	
<b>Minor – Μικρό</b>	Δυσλειτουργία των εγκαταστάσεων για ένα μικρό χρονικό διάστημα (λιγότερο από τρεις ημέρες) λόγω απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας / σημαντικές ζημιές σε διάφορες συσκευές / ελαφρά βλάβη στις δεξαμενές καθίζησης / ελαφριές ζημιές στις δεξαμενές χλωρίωσης / ελαφριές ζημιές στις δεξαμενές χημικών / όχι πιθανή απώλεια της ποιότητας των υδάτων	10 – 30	Κανονική ροή και πίεση του νερού	Σε λειτουργία μετά από περιορισμένες επισκευές
<b>Moderate – Μεσαίο</b>	Δυσλειτουργία των εγκαταστάσεων για περίπου μια εβδομάδα λόγω της απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας (και της εφεδρικής ισχύς, αν υπάρχει) / σημαντικές ζημιές σε διάφορες συσκευές / σημαντικές ζημιές στις δεξαμενές καθίζησης /	30 – 50	Μείωση της ροής και της πίεσης του νερού	Σε λειτουργία μετά από επισκευές



	σημαντικές ζημιές στις δεξαμενές χλωρίωσης (χωρίς απώλεια περιεχομένου) / σημαντικές ζημιές στις δεξαμενές χημικών / επικείμενη απώλεια της ποιότητας των υδάτων			
<b>Extensive – Εκτενές</b>	Εκτεταμένες ζημιές στους αγωγούς που συνδέουν τις διάφορες δεξαμενές και χημικές μονάδες. Αυτό το είδος της βλάβης θα μπορούσε να οδηγήσει στη διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης.	50 – 75		Σε εν μέρει λειτουργία μετά από εκτεταμένες επισκευές
<b>Complete – Ολοκληρωτικό</b>	Πλήρης αστοχία όλων των σωληνώσεων	75 – 100	Νερό μη διαθέσιμο	Μη επισκευάσιμο

Πίνακας 4.4 – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Υδατος» υποβαλλόμενες σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] )

#### 4.4.3 Αντλιοστάσια

Τα αντλιοστάσια είναι πολύπλοκες συνιστώσες που περιλαμβάνουν πολλά δευτερεύοντα στοιχεία. Η μεθοδολογία HAZUS (NIBS, 2004) δίνει καμπύλες τρωτότητας για αγκυρωμένα και μη δευτερεύοντα στοιχεία για τα διαφορετικά μεγέθη των αντλιοστασίων. Δεν υπάρχουν συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές όσο αφορά στην αγκύρωση των δευτερευόντων στοιχείων στην Ευρώπη για αντλιοστάσια. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η αβεβαιότητα στην τελική απόκρισή τους (ως αποτέλεσμα των διαφορετικών ευρωπαϊκών πρακτικών που χρησιμοποιούνται για αντλιοστάσια διαφορετικών μεγεθών και της ημι – αγκύρωσης των δευτερευόντων στοιχείων) μόνο μία καμπύλη τρωτότητας για αντλιοστάσια προτείνεται, η οποία είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος. Είναι επίσης δεδομένο ότι δεν υπάρχει εφεδρική ισχύς σε περίπτωση απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας (χειρότερο σενάριο).

Οι δείκτες βλάβης που ορίζουν το επίπεδο της βλάβης είναι :

- Τύπος και έκταση δομικών βλαβών (HAZUS; NIBS, 2004; SRM – LIFE, 2003 – 2007)
- Επίπεδο λειτουργικότητας (HAZUS; NIBS, 2004; SRM – LIFE, 2003 – 2007)

Η περιγραφή των επιπέδων βλάβης για τα αντλιοστάσια παρέχεται στον Πίνακα 4.5.

Επίπεδο Βλάβης	Περιγραφή	Κόστος Αποκατάστασης (%)	Λειτουργικότητα	
<b>Minor – Μικρό</b>	Δυσλειτουργία του αντλιοστασίου για ένα μικρό χρονικό διάστημα (λιγότερο από τρεις ημέρες) λόγω απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας / ελαφριές ζημιές σε κτίρια	10 – 30	Κανονική ροή και πίεση του νερού	Σε λειτουργία μετά από περιορισμένες επισκευές
<b>Moderate – Μεσαίο</b>	Δυσλειτουργία του αντλιοστασίου για περίπου μια εβδομάδα λόγω απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας (και της εφεδρικής ισχύς, αν υπάρχει) / σημαντικές καταστροφές στον μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό / μέτριες ζημιές σε κτίρια	30 – 50	Μείωση της ροής και της πίεσης του νερού	Σε λειτουργία μετά από επισκευές
<b>Extensive – Εκτενές</b>	Εκτεταμένες ζημιές σε κτίρια / οι αντλίες έχουν υποστεί μεγάλες ζημιές και δεν επισκευάζονται	50 – 75		Σε εν μέρει λειτουργία μετά από εκτεταμένες επισκευές
<b>Complete – Ολοκληρωτικό</b>	Κατάρρευση κτιρίου	75 – 100	Νερό μη διαθέσιμο	Μη επισκευάσιμο

Πίνακας 4.5 – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Αντλιοστασίων» υποβαλλόμενα σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] )

#### 4.4.4 Δεξαμενές

Ταλάντωση του εδάφους και κατολισθήσεις είναι οι κύριες σεισμικές ανησυχίες για τις δεξαμενές. Ρήξη ρήγματος σπάνια αποτελεί κίνδυνο, επειδή οι δεξαμενές αποφεύγεται να δομούνται πάνω σε γνωστά ρήγματα. Ρευστοποίηση του εδάφους και πλευρική εξάπλωση τείνουν να εμφανιστούν σε ασθενεί εδάφη, τα οποία βρίσκονται σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο. Για να παρέχεται όμως η απαιτούμενη πίεση νερού στους καταναλωτές, οι δεξαμενές βρίσκονται σε υψηλότερο υψόμετρο, με καλύτερα υλικά θεμελίωσης (συνήθως δύσκαμπτος εδάφους ή ασθενής βράχος). Συνεπώς, οι κίνδυνοι από ρευστοποίηση είναι μικροί.

Οι δείκτες βλάβης που ορίζουν το επίπεδο της βλάβης είναι :

- Τύπος και έκταση δομικών βλαβών (HAZUS; NIBS, 2004; SRM – LIFE, 2003 – 2007; O'Rourke and So, 1999)
- Απώλεια περιεχομένου (HAZUS; NIBS, 2004; SRM – LIFE, 2003 – 2007; ALA, 2001; O'Rourke and So, 1999)

Η περιγραφή των επιπέδων βλάβης για τις δεξαμενές παρέχεται στον Πίνακα 4.6.

Επίπεδο Βλάβης	Περιγραφή	Λειτουργικότητα
<b>Minor – Μικρό</b>	Καμία βλάβη	Σε λειτουργία
<b>Moderate – Μεσαίο</b>	Εμφάνιση των παρακάτω τύπων βλαβών : Βλάβη οροφής ή αστοχία αγκύρωσης ή αστοχία συστήματος υπερχειλίσης. Μικρές επισκευές. Όχι απώλεια περιεχομένου.	Σε λειτουργία
<b>Extensive – Εκτενές</b>	Εμφάνιση του παρακάτω τύπου βλάβης : Λυγισμός κελύφους. Μέτριες επισκευές. Όχι απώλεια περιεχομένου.	Σε λειτουργία
<b>Complete – Ολοκληρωτικό</b>	Εμφάνιση των παρακάτω τύπων βλαβών : Βλάβη σωληνώσεων σύνδεσης, αστοχίες θεμελίωσης, λυγισμός κελύφους. Απώλεια περιεχομένου.	Εκτός λειτουργίας

Πίνακας 4.6 – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Δεξαμενών» υποβαλλόμενες σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] )

#### 1. Λυγισμός Κελύφους

Μία από τις πιο κοινές μορφές βλαβών σε χαλύβδινες δεξαμενές περιλαμβάνει τον προς τα έξω λυγισμό του κελύφους της δεξαμενής, ένα φαινόμενο που ονομάζεται "πόδι ελέφαντα". Μερικές φορές ο λυγισμός συμβαίνει σε ολόκληρη την

περιφέρεια της δεξαμενής. Λυγισμός του κάτω μέρους έχει περιστασιακά ως αποτέλεσμα την απώλεια του περιεχομένου της δεξαμενής λόγω αστοχίας των συγκολλήσεων ή αστοχίας των αγωγών σύνδεσης, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατή η συνολική κατάρρευση της δεξαμενής.

## **2. Βλάβη Οροφής**

Μια κυματοειδής κίνηση του περιεχομένου της δεξαμενής συμβαίνει κατά τη διάρκεια του σεισμού. Το πραγματικό εύρος της κυματοειδούς αυτής κίνησης στην περιφέρεια της δεξαμενής έχει εκτιμηθεί σε αρκετά μέτρα σε ορισμένες περιπτώσεις. Σε πλήρεις ή σχεδόν πλήρεις δεξαμενές λοιπόν, εμφανίζεται μια ανοδική κατανομή της πίεσης, η οποία εντείνει την οροφή της δεξαμενής. Εκτεταμένες ζημιές σε στέγες μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές στο άνω τμήμα της μεταλλικής δεξαμενής. Ωστόσο, η βλάβη αυτή, αν και δαπανηρή για την επισκευή, συνήθως δεν οδηγεί σε απώλεια περισσότερο από το ένα τρίτο του συνόλου του περιεχομένου.

## **3. Αστοχία Αγκύρωσης (μπουλόνια)**

Πολλές χαλύβδινες δεξαμενές διαθέτουν μπουλόνια με τα οποία επιτυγχάνεται η αγκύρωσή τους με την θεμελίωση. Ωστόσο, η αγκύρωση αυτή, μπορεί να είναι ανεπαρκής για να φέρει ασφαλώς το συνολικό φορτίο που επιφέρει ο σεισμός, με αποτέλεσμα την αστοχία της αγκύρωσης. Ωστόσο, αστοχία της αγκύρωσης δεν οδηγεί πάντα σε απώλεια του περιεχομένου της δεξαμενής.

## **4. Αστοχία Συστήματος Υποστήριξης Υπέργειων Δεξαμενών**

Οι υπέργειες δεξαμενές (από χάλυβα ή σκυρόδεμα) υποστηρίζονται συνήθως μέσω στύλων ή πλαισίων. Αστοχία αυτών των συστημάτων υποστήριξης λόγω της ανεπάρκειάς τους στις πλευρικές σεισμικές δυνάμεις συχνά οδηγούν σε πλήρη απώλεια του περιεχομένου της δεξαμενής.

## **5. Αστοχίες Θεμελίωσης**

Οι δεξαμενές αποθήκευσης συχνά βρίσκονται σε περιοχές με κακές συνθήκες θεμελίωσης. Στο παρελθόν, σεισμική ρευστοποίηση των εδαφών έδρασης, σε συνδυασμό με τις σεισμικές ροπές στη βάση της δεξαμενής από εγκάρσιες επιταχύνσεις, οδηγούσαν σε περιστροφή της βάσης και ανεξέλεγκτες καθιζήσεις των θεμελίων.

Σε άλλες περιπτώσεις, όπου η θεμελίωση εφαρμόζεται σε ισχυρά εδάφη, εμφανίζεται ρήξη της συγκόλλησης μεταξύ τοιχωμάτων και κάτω πλάκας όταν υπάρχει ασθενής ή ανύπαρκτη αντίσταση της δεξαμενής σε ανύψωση και περιστροφή των τοιχωμάτων (wall uplift). Η ανύψωση και περιστροφή των τοιχωμάτων συμβαίνει όταν οι υδροδυναμικές πιέσεις λόγω του σεισμού δημιουργούν ροπή ανατροπής μεγαλύτερη από την ροπή ευστάθειας λόγω του νεκρού φορτίου του τοιχώματος. Έτσι, εμφανίζονται βλάβες μεταξύ των τοιχωμάτων και της θεμελίωσης τους, καθώς και κίνδυνος ρήξης της συνέχειας μεταξύ της πλάκας βάσης και των τοιχωμάτων με εμφάνιση διαρροής.

Μια άλλη κοινή αιτία αστοχίας είναι η στρέβλωση του πυθμένα της δεξαμενής κοντά στην πλευρά της δεξαμενής λόγω αστοχίας του εδάφους (ρευστοποίηση, μεγάλη κλίση, υπερβολική διαφορική καθίζηση). Η αστοχία του εδάφους μπορεί να προληφθεί με σωστή συμπίεσή του πριν από την τοποθέτηση της δεξαμενής και με τη χρήση ενισχυμένης θεμελίωσης κάτω από τη δεξαμενή.

Μια άλλη λιγότερο συχνή αιτία αστοχίας προέρχεται από ολίσθηση της δεξαμενής. Δεν υπάρχει καμία γνωστή περίπτωση κατά την οποία μία αγκυρωμένη δεξαμενή, με διάμετρο μεγαλύτερη από ένα 30 πόδια, να έχει ολισθήσει. Το παραπάνω φαινόμενο εμφανίζεται συνήθως σε μη αγκυρωμένες δεξαμενές μικρής διαμέτρου.

Σε κάθε περίπτωση, προκαλείται διαρροή στη δεξαμενή η οποία οδηγεί σε απώλεια του περιεχομένου κάτι που καθιστά μη λειτουργική την δεξαμενή. Παράλληλα, η ροή του περιεχόμενου ύδατος εκπλύνει το έδαφος θεμελίωσης, απομειώνοντας την αντοχή του εδάφους και διογκώνοντας το πρόβλημα.

### **6. Αστοχία λόγω Υδροδυναμικής – Υδροστατικής Πίεσης**

Η τάση στο στεφάνι των τοιχωμάτων μπορεί να αυξηθεί (hoop overstress) από τις δυναμικές πιέσεις μεταξύ του υγρού και της δεξαμενής λόγω του σεισμού και μπορεί να οδηγήσει σε διάρρηξη και διαρροή. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει συνήθως σε δεξαμενές με μη συγκολλημένες ενώσεις. Αυτό συμβαίνει περισσότερο συχνά στα ανώτερα τμήματα της δεξαμενής.

Η υδροστατική πίεση μπορεί επίσης να είναι μια αιτία για την αστοχία σε δεξαμενές από σκυρόδεμα, λόγω της υπερβολικής εφελκυστικής δύναμης στον χάλυβα οπλισμού του σκυροδέματος. Αυτός ο τρόπος αστοχίας μπορεί να επιδεινωθεί από τη διάβρωση του οπλισμού.

### **7. Βλάβη Σωληνώσεων Σύνδεσης**

Μία από τις πιο κοινές αιτίες απώλειας του περιεχομένου της δεξαμενής είναι η θραύση ή η διαρροή των αγωγών που συνδέουν την δεξαμενή με το κατάντη δίκτυο. Οι βλάβες οφείλονται γενικά σε μεγάλες κάθετες μετακινήσεις της δεξαμενής (λόγω λυγισμού των τοιχωμάτων, περιστροφής των τοιχωμάτων ή αστοχία της θεμελίωσης) ή σε οριζόντιες μετατοπίσεις των δεξαμενών. Αστοχία των σωληνώσεων έχει ως αποτέλεσμα αφενός την απώλεια του περιεχομένου της δεξαμενής και αφετέρου την έκπλυση των υλικών θεμελίωσης.

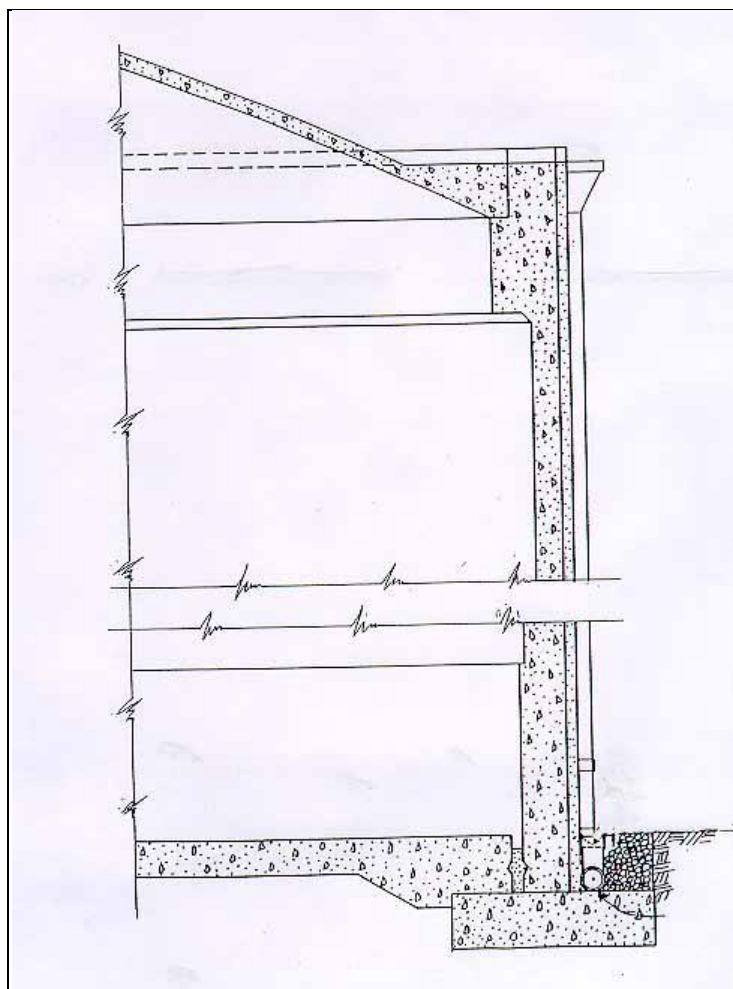
Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται μια τυπική διατομή δεξαμενής από οπλισμένο σκυρόδεμα.

#### **4.4.5 Κανάλια**

Αστοχίες σε κανάλια εμφανίζονται από κατολισθήσεις πρανών και από βλάβες σε υποδομές που αλληλεπιδρούν με τα κανάλια με αποτέλεσμα να επηρεάζεται δυσμενώς η ροή.

Οι δείκτες βλάβης που ορίζουν το επίπεδο της βλάβης είναι :

- Η υδραυλική απόδοση του καναλιού



Σχήμα 4.5 – Τυπική Τομή Δεξαμενής από Σκυρόδεμα ( Πηγή : [10] )

Η περιγραφή των επιπέδων βλάβης για τα κανάλια παρέχεται στον Πίνακα 4.7.

Επίπεδο Βλάβης	Περιγραφή	Ποσοστό Ζημιών
<b>Minor – Μικρό</b>	Το κανάλι έχει την ίδια υδραυλική απόδοση μετά το σεισμό	Μικρές βλάβες σε άοπλη επένδυση καναλιού ή στα επιχώματα, της τάξης των 0,1RR/km για ταχύτητες εδάφους PGV = 20 έως 35 ίντσες/sec. Ο ρυθμός επισκευών ανά χλμ (RR/km) μπορεί να μειωθεί στο 0,01 για ταχύτητες εδάφους PGV = 5 έως 15 ίντσες/sec και στο 0,00 για ταχύτητες εδάφους κάτω από αυτό.
<b>Moderate – Μεσαίο</b>	Μερική αύξηση του ποσοστού διαρροής του καναλιού έχει συμβεί / Βλάβη στην επένδυση του καναλιού μπορεί να συμβεί προκαλώντας αυξημένη τριβή μεταξύ νερού – επένδυσης και τη μείωση υδραυλική ικανότητα. Η ζημία στην επένδυση μπορεί να οφείλεται σε PGD είτε από καθιζήσεις ή πλευρικές εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης, είτε από κίνηση	Οι βλάβες των οπλισμένων επενδύσεων του καναλιού ανέρχονται στο το ένα τέταρτο

	<p>λόγω κατολίσθησης, είτε από μετατόπιση λόγω μετακίνησης ρήγματος, είτε από υπερβολική ταλάντωση του εδάφους / Συντρίμια από κατολίσθηση μπορεί να εισέλθουν στο κανάλι τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν διάβρωση του καναλιού. Συνολικά, το κανάλι μπορεί να λειτουργήσει στο 90% της υδραυλικής του ικανότητας χωρίς να κλείσει για να κάνει επισκευές.</p>	<p>των προηγούμενων ποσοστών.</p>
<p><b>Extensive – Εκτενές</b></p>	<p>Μερική αύξηση του ποσοστού διαρροής του καναλιού έχει συμβεί / Βλάβη στην επένδυση του καναλιού μπορεί να συμβεί προκαλώντας αυξημένη τριβή μεταξύ νερού – επένδυσης και τη μείωση υδραυλική ικανότητα. Η ζημία στην επένδυση μπορεί να οφείλεται σε PGD είτε από καθιζήσεις ή πλευρικές εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης, είτε από κίνηση λόγω κατολίσθησης, είτε από μετατόπιση λόγω μετακίνησης ρήγματος, είτε από υπερβολική ταλάντωση του εδάφους / Συντρίμια από κατολίσθηση μπορεί να εισέλθουν στο κανάλι τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν διάβρωση του καναλιού. Συνολικά, το κανάλι μπορεί να λειτουργήσει στο 50% – 90% της υδραυλικής του ικανότητας. Ωστόσο, ένα κλείσιμο του καναλιού αναγκαίο αμέσως μετά το σεισμό ώστε να γίνουν οι απαραίτητες επισκευές / Ζημιές σε βάθρα γεφυρών θα μπορούσαν να προκαλέσουν συστολή της διατομής της διώρυγας σε τέτοιο βαθμό που να προκαλέσει σημαντικό περιορισμό της ροής.</p>	<p>Μέτρια βλάβη αναμένεται αν οι πλευρικές ή κάθετες κινήσεις των αναχωμάτων λόγω ρευστοποίησης ή κατολισθήσεων ή μετακίνησης ρηγμάτων είναι της τάξεως των 1 έως 5 ιντσών.</p> <p>Μέτρια ζημιά αναμένεται αν μικρού μεγέθους συντρίμια εισέλθουν στο κανάλι από παρακείμενες κατολισθήσεις</p>

<p><b>Complete – Ολοκληρωτικό</b></p>	<p>Το κανάλι έχει καταστραφεί σε τέτοιο βαθμό ώστε η άμεση διακοπή της λειτουργίας του είναι απαραίτητη. Η ζημία μπορεί να οφείλεται σε PGD είτε από καθιζήσεις ή πλευρικές εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης, είτε από κίνηση λόγω κατολίσθησης, είτε από μετατόπιση λόγω μετακίνησης ρήγματος, είτε από υπερβολική ταλάντωση του εδάφους / Συντρίμια από κατολίσθηση μπορεί να εισέλθουν στο κανάλι τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν να εμποδίσουν την ροή σε τέτοιο βαθμό ώστε η ροή του νερού διακόπτεται και το νερό να ξεχειλίζει πάνω από τα αναχώματα της διώρυγας προκαλώντας πλημμύρες / Ζημιές σε διασταυρώσεις του καναλιού με άλλα στοιχεία (π.χ. γέφυρες) μπορεί να έχουν συμβεί, προκαλώντας την άμεση διακοπή λειτουργίας του καναλιού. Οι ζημιές σε διασταυρώσεις θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν την κατάρρευση γεφυρών αυτοκινητόδρομου και την διαρροή αγωγών με περιεχόμενο υλικό πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.ά.. Ζημιές σε βάθρα γεφυρών θα μπορούσαν να προκαλέσουν συστολή της διατομής της διώρυγας σε τέτοιο βαθμό που να προκαλέσει σημαντικό περιορισμό της ροής έως και διακοπή αυτής.</p>	<p>Σημαντικές ζημιές αναμένονται αν οι PGD των αναχωμάτων ξεπεράσουν τις 6 ίντσες. Σημαντικές βλάβες εμφανίζονται αν η μετακίνηση λόγω ρήγματος ξεπεράσουν τις 6 ίντσες. Σημαντικές ζημιές αναμένονται αν ένα σημαντικό ποσοστό συντριμμίων εισέλθουν στο κανάλι από παρακείμενες κατολισθήσεις. Η διαφοροποίηση της μέτριας ή σημαντικής βλάβης για την ροή του καναλιού λόγω συντριμμίων έγκειται τόσο στα υδραυλικά προβλήματα που εμφανίζονται και οφείλονται στο μέγεθος των συντριμμίων, όσο και κατά πόσο έχει επηρεαστεί η ποιότητα του νερού.</p>
---------------------------------------	---	--

Πίνακας 4.7 – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Καναλιών» ( Πηγή : [1] )

#### 4.4.6 Αγωγοί

Η ALA (2002) θεωρεί ότι ένας αγωγός αστοχεί όταν η πίεση του νερού μειωθεί τόσο ώστε η γραμμή ενέργειας να είναι ίση με το υψόμετρο της θραύσης. Ο Heubach (1995) ως θραύση χαρακτηρίζει την αστοχία που έχει σαν αποτέλεσμα την ολοκληρωτική διακοπή της μεταφοράς υγρού /αερίου μέσω του αγωγού, ενώ ως



αστοχία θεωρεί οποιαδήποτε δυσλειτουργία που προκαλεί διαρροή αλλά όχι ολοκληρωτική διακοπή της μεταφοράς υγρού / αερίου. Οι Ballantyne et al. (1990) θεωρούν τις αστοχίες των αρμών, τις κυκλικές ρωγμές, τις αστοχίες λόγω διάβρωσης και τις μικρές οπές – σχισμές ως διαρροές, ενώ χαρακτηρίζουν ως θραύση τις μεγάλες συνεχείς ρωγμές, τις σχισμές και τις διαρρήξεις. Μια περιμετρική ρωγμή σε χυτοσιδηροσωλήνα ή ασβεστοτσιμεντοσωλήνα σύμφωνα με τους Ballantyne et al. (1990) θα μπορούσε να θεωρηθεί ως θραύση. Σύμφωνα με τον Rashidov T. et al. (2000) ορίζονται τέσσερα επίπεδα αστοχίας ανάλογα με το είδος των ρηγματώσεων. Ο ATC 13 / FEMA 226 (1985) ορίζει επτά επίπεδα αστοχίας αγωγών, συσχετίζοντας το επίπεδο αστοχίας με τις θραύσεις / km και το ποσοστό αστοχίας. Εξέλιξη του ATC 13 αποτελεί ο ATC 25 στον οποίο το επίπεδο αστοχίας συσχετίζεται ως ποσοστό του κόστους αποκατάστασης (Πίνακας 4.8).

Επίπεδο Βλάβης	% Κόστος Αποκατάστασης
<b>Μικρό – Μεσαίο (Light)</b>	1 – 10
<b>Μεσαίο (Moderate)</b>	10 – 30
<b>Σημαντικό (Heavy)</b>	30 – 60
<b>Εκτεταμένο – Ολοκληρωτικό (Major to Destroyed)</b>	60 – 100

Πίνακας 4.8 – Επίπεδα βλάβης αγωγών (ATC 25) ( Πηγή : [32] )

Μια διαφορετική κατηγοριοποίηση η οποία συσχετίζει το επίπεδο αστοχίας με τον ρυθμό των επισκευών / km, παρουσιάζεται από τους Ballantyne, Heubach (1996) στον Πίνακα 4.9.

Επίπεδο Βλάβης	Ρυθμός Επισκευών / km
<b>Μηδενικό (No damage)</b>	$0 \leq R.R. \leq 0.001$
<b>Μικρό (Low)</b>	$0.001 < R.R. \leq 0.01$
<b>Μικρό – Μεσαίο (Low – Moderate)</b>	$0.01 < R.R. \leq 0.1$
<b>Μεσαίο (Moderate)</b>	$0.1 < R.R. \leq 0.7$
<b>Μεσαίο – Υψηλό (Moderate – High)</b>	$0.7 < R.R. \leq 1.4$
<b>Υψηλό (High)</b>	$1.4 < R.R.$

Πίνακας 4.9 – Επίπεδα βλάβης αγωγών συναρτήσει του ρυθμού επισκευών / km ( Πηγή : [32] )

Οι Wang Y. et al. (1986) και Liu & Hou (1991) συσχετίζουν το επίπεδο βλάβης με βάση συγκεκριμένα όρια παραμορφώσεων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.10.

Επίπεδο Βλάβης	Όρια Παραμορφώσεων
<b>Μικρό ή Πλήρης Λειτουργία</b>	$\epsilon_p \leq \epsilon_L$
<b>Μεσαίο ή Διαρροή από χαλάρωση των συνδέσεων</b>	$\epsilon_L \leq \epsilon_p \leq \epsilon_F$
<b>Εκτεταμένη Διαρροή ή Θραύση</b>	$\epsilon_F \leq \epsilon_p$

Πίνακας 4.10 – Επίπεδα βλάβης αγωγών συναρτήσει των παραμορφώσεων ( Πηγή : [32] )

Όπου :

$\epsilon_p$  : η παραμόρφωση του αγωγού υπό τα σεισμικά φορτία

$\epsilon_L$  : η μέγιστη ανεκτή παραμόρφωση που επιτρέπει διαρροή,  $\epsilon_L = \Delta U / L$ , με  $\Delta U$  : η απόλυτη μετακίνηση της ένωσης ( $\Delta U = 0.2$  mm για αγωγούς με δύσκαμπτες συνδέσεις και  $\Delta U = 0.27$  mm για αγωγούς με εύκαμπτες συνδέσεις) και  $L$  : το μήκος του αγωγού

$\epsilon_F$  : η μέγιστη ανεκτή παραμόρφωση πριν την αστοχία του αγωγού,  $\Delta U / L$ , με  $\Delta U$  : η απόλυτη μετακίνηση της ένωσης ( $\Delta U = 1.0$  mm για αγωγούς με δύσκαμπτες συνδέσεις και  $\Delta U = 2.0$  mm για αγωγούς με εύκαμπτες συνδέσεις) και  $L$  : το μήκος του αγωγού

Το HAZUS (2004) θεωρεί δύο επίπεδα αστοχίας : θραύση και διαρροή. Οι δύο καταστάσεις αστοχίας εκτιμώνται εμμέσως με βάση την χωροθέτηση των αγωγών σε ζώνες μόνιμων εδαφικών παραμορφώσεων ή εδαφικών ταλαντώσεων. Σύμφωνα με το HAZUS (2004), όταν ένας αγωγός αστοχεί λόγω μόνιμων εδαφικών παραμορφώσεων (PGD), ο τύπος της αστοχίας που αναμένεται να εμφανίσει ο αγωγός είναι θραύση, ενώ όταν η αστοχία οφείλεται σε εδαφική ταλάντωση (PGV), ο τύπος αστοχίας είναι αξονικός εφελκυσμός ή τοπική σύνθλιψη των συνδέσεων. Γενικά, στο HAZUS (2004) θεωρούν ότι σε περιοχές με εδαφική ταλάντωση το 80% των αστοχιών οφείλεται σε διαρροές και το 20% σε θραύσεις. Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση μόνιμων εδαφικών παραμορφώσεων.

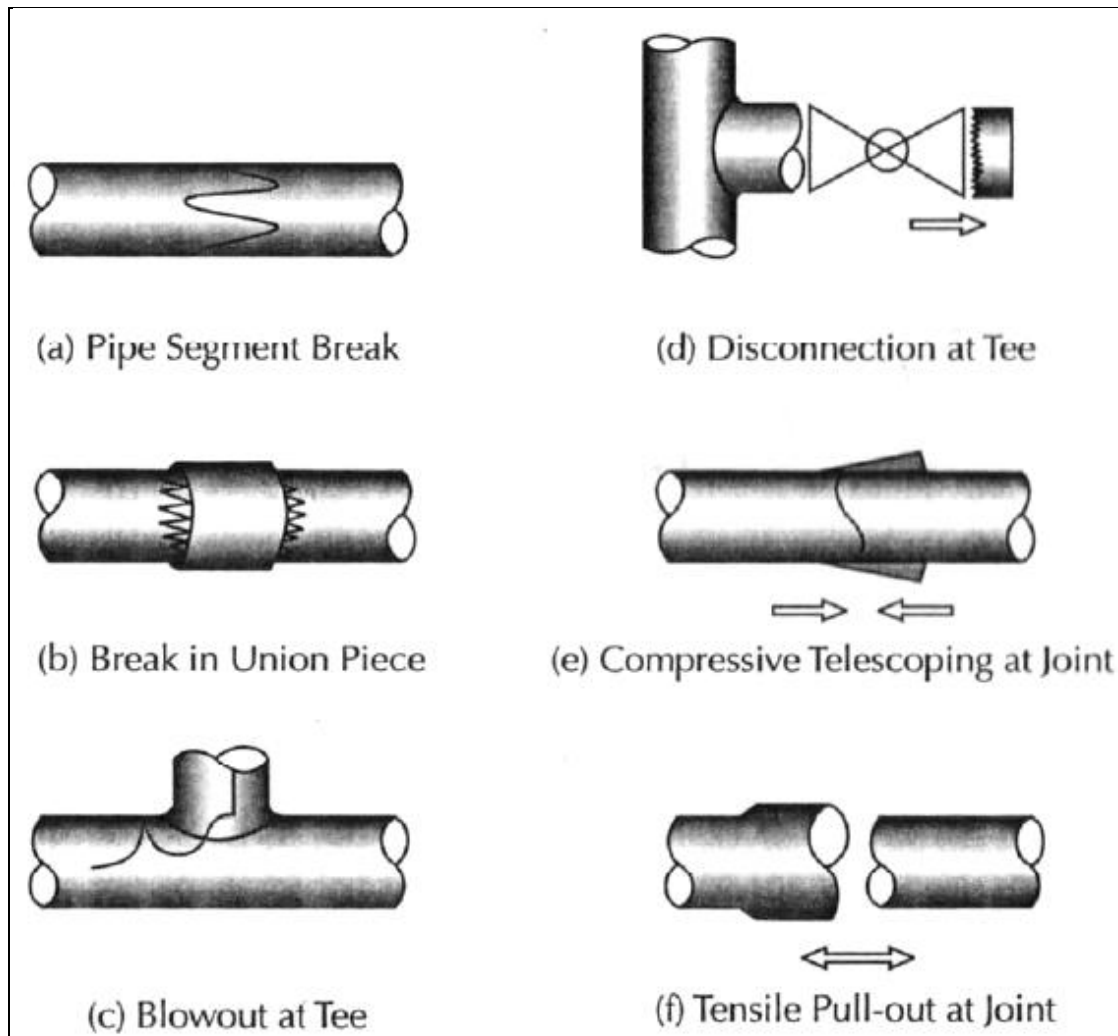
Τέλος, στον Πίνακα 4.11 παρουσιάζονται οι μορφές αστοχίας που πρότειναν για εδαφική ταλάντωση (PGV) οι O'Rourke & Liu, 1999 (για συνεχείς αγωγούς), οι Singhal, 1994 και O'Rourke & Liu, 1999 (για διακεκομμένους αγωγούς) και η ALA, 2001a.

Συνεχείς Αγωγοί	Διακεκομμένοι Αγωγοί	ALA, 2001a
- βλάβες λόγω εφελκυσμού - ρηγματώση - λυγισμός αγωγού - ολίσθηση συγκολλημένης ένωσης	- αξονική μετατόπιση - σύνθλιψη ενώσεων - περιστροφή ενώσεων - καμπτικές ρωγμές	- αξονική μετατόπιση - περιστροφή ενώσεων - αξονικές & καμπτικές παραμορφώσεις στο σώμα του αγωγού

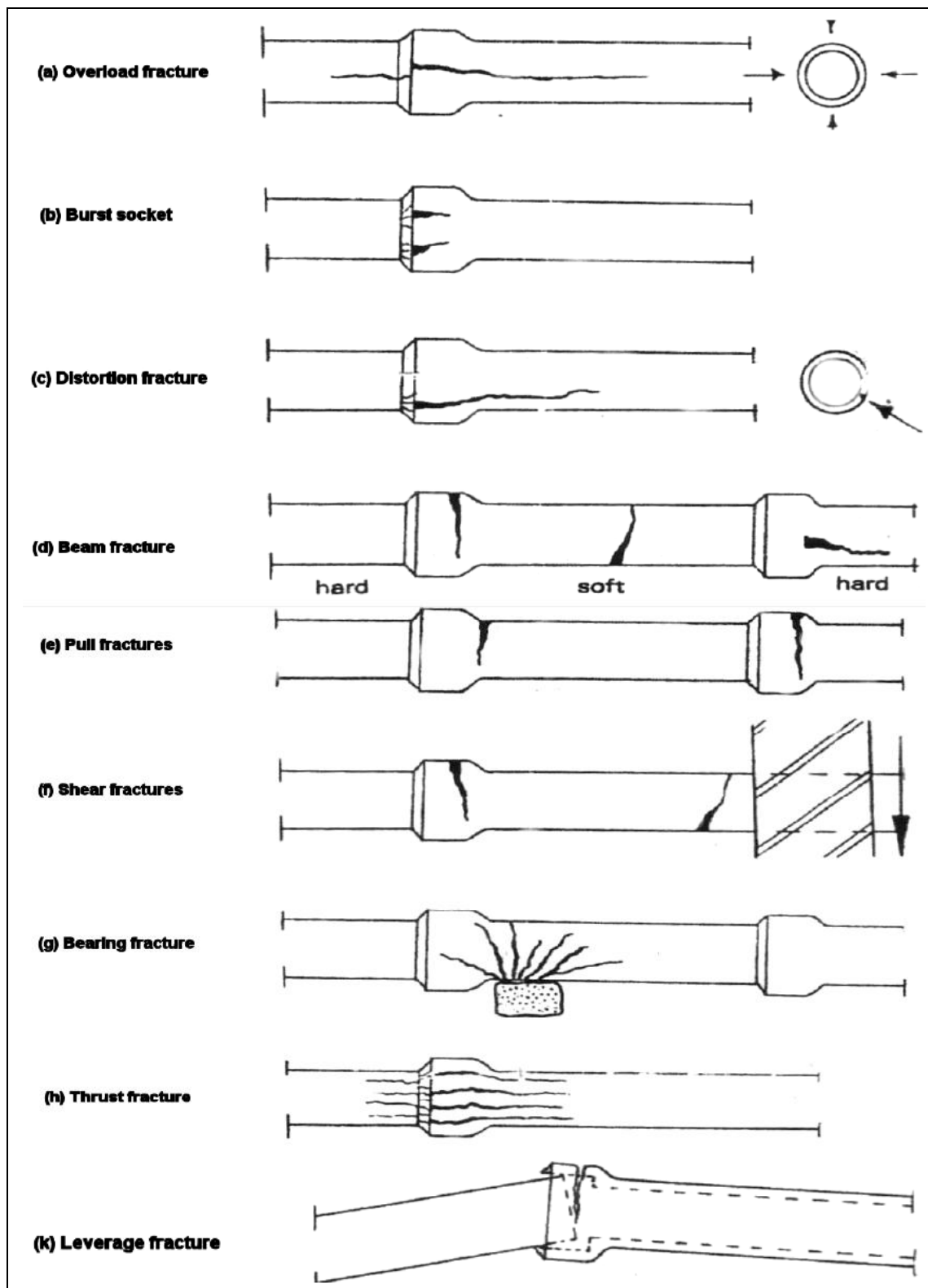
Πίνακας 4.11 – Μορφές αστοχίας αγωγών υπό εδαφική ταλάντωση (PGV)  
( Πηγή : [1] )

Οι δείκτες βλάβης που ορίζουν το επίπεδο της βλάβης είναι :

- Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (Katayama et al., 1975; ATC-13,1985; Isoyama and Katayama, 1982; Memphis, Tennessee, 1985; O' Rourke and Ayala, 1993; Eidinger et al., 1995; Eidinger, 1998; Isoyama, 1998; O'Rourke et al.,1998; O'Rourke and Leon, 1999; Eidinger and Avila, 19|99; Isoyama et al., 2000; Toprak, 1998; Hung, 2001; Honegger and Eguchi, 1992; Heubach, 1995; Eidinger et al.,1999; ALA, 2001a,b; Yeh et al., 2006)
- Θραύσεις ανά 1.000 πόδια (Eguchi , 1983; Wang et al.. 1991; O'Rourke and Deyoe, 2004)
- Κλάση τρωτότητας (Ballantyne and Heubach, 1996)



Σχήμα 4.6 – Μορφές αστοχίας διακεκομμένων αγωγών υπό εδαφική ταλάντωση (PGV) ( Πηγή : [1] )



Σχήμα 4.7 – Μορφές αστοχίας ελατών αγωγών υπό εδαφική ταλάντωση (PGV)  
( Πηγή : [1] )

#### 4.4.7 Σήραγγες

Οι σήραγγες είναι υπόγειες κατασκευές οι οποίες αποτελούν τμήμα του δικτύου ύδρευσης. Ευπαθή σημεία σε μια σήραγγα είναι οι μεταβατικές ζώνες υλικών, ενώ οι αρμοί και οι συνδέσεις αποτελούν σημεία ιδιαίτερης σημασίας. Παρατηρήσεις βλαβών από παρελθόντες σεισμούς αποδεικνύουν ότι οι σήραγγες είναι τρωτές τόσο στην εδαφική ταλάντωση όσο και στις μόνιμες εδαφικές μετακινήσεις (λόγω ρευστοποίησης, διασταύρωσης με σεισμικό ρήγμα ή κατολισθήσεων).

### 4.5 Επίπεδα Βλάβης Συνιστωσών Δικτύου Αποχέτευσης

#### 4.5.1 Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι πολύπλοκες συνιστώσες που περιλαμβάνουν πολλά δευτερεύοντα στοιχεία. Η μεθοδολογία HAZUS (NIBS, 2004) δίνει καμπύλες τρωτότητας για αγκυρωμένα και μη δευτερεύοντα στοιχεία για διαφορετικά μεγέθη των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Δεν υπάρχουν συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές όσο αφορά στην αγκύρωση των δευτερευόντων στοιχείων στην Ευρώπη για εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η αβεβαιότητα στην τελική απόκρισή τους (ως αποτέλεσμα των διαφορετικών ευρωπαϊκών πρακτικών που χρησιμοποιούνται για εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων διαφορετικών μεγεθών και της ημι – αγκύρωσης των δευτερευόντων στοιχείων) μόνο μία καμπύλη τρωτότητας για εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων προτείνεται, η οποία είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος. Είναι επίσης δεδομένο ότι δεν υπάρχει εφεδρική ισχύς σε περίπτωση απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας (χειρότερο σενάριο).

Οι δείκτες βλάβης που ορίζουν το επίπεδο της βλάβης είναι :

- Τύπος και έκταση δομικών βλαβών (HAZUS; NIBS, 2004; SRM – LIFE, 2003 – 2007)
- Επίπεδο λειτουργικότητας (HAZUS; NIBS, 2004; SRM – LIFE, 2003 – 2007)

Η περιγραφή των επιπέδων βλάβης για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων παρέχεται στον Πίνακα 4.12.

Επίπεδο Βλάβης	Περιγραφή	Κόστος Αποκατάστασης (%)	Λειτουργικότητα	
<b>Minor – Μικρό</b>	Δυσλειτουργία των εγκαταστάσεων για ένα μικρό χρονικό διάστημα (λιγότερο από τρεις ημέρες) λόγω απώλειας	10 – 30	Κανονική ροή και πίεση του νερού	Σε λειτουργία μετά από περιορισμένες επισκευές

	της ηλεκτρικής ενέργειας / σημαντικές ζημιές σε διάφορες συσκευές / ελαφρά βλάβη στις δεξαμενές καθίζησης / ελαφριές ζημιές στις δεξαμενές χλωρίωσης / ελαφριές ζημιές στις δεξαμενές χημικών / όχι πιθανή απώλεια της ποιότητας των υδάτων			
<b>Moderate – Μεσαίο</b>	Δυσλειτουργία των εγκαταστάσεων για περίπου μια εβδομάδα λόγω της απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας (και της εφεδρικής ισχύς, αν υπάρχει) / σημαντικές ζημιές σε διάφορες συσκευές / σημαντικές ζημιές στις δεξαμενές καθίζησης / σημαντικές ζημιές στις δεξαμενές χλωρίωσης (χωρίς απώλεια περιεχομένου) / σημαντικές ζημιές στις δεξαμενές χημικών / επικείμενη απώλεια της ποιότητας των υδάτων	30 – 50	Μείωση της ροής και της πίεσης του νερού	Σε λειτουργία μετά από επισκευές
<b>Extensive – Εκτενές</b>	Εκτεταμένες ζημιές στους	50 – 75		Σε εν μέρει λειτουργία

	αγωγούς που συνδέουν τις διάφορες δεξαμενές και χημικές μονάδες. Αυτό το είδος της βλάβης θα μπορούσε να οδηγήσει στη διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης.			μετά από εκτεταμένες επισκευές
<b>Complete – Ολοκληρωτικό</b>	Πλήρης αστοχία όλων των σωληνώσεων	75 – 100	Νερό μη διαθέσιμο	Μη επισκευάσιμο

Πίνακας 4.12 – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων» υποβαλλόμενες σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] )

#### 4.5.2 Αντλιοστάσια

Τα αντλιοστάσια είναι πολύπλοκες συνιστώσες που περιλαμβάνουν πολλά δευτερεύοντα στοιχεία. Η μεθοδολογία HAZUS (NIBS, 2004) δίνει καμπύλες τρωτότητας για αγκυρωμένα και μη δευτερεύοντα στοιχεία για τα διαφορετικά μεγέθη των αντλιοστασίων. Δεν υπάρχουν συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές όσο αφορά στην αγκύρωση των δευτερευόντων στοιχείων στην Ευρώπη για αντλιοστάσια. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η αβεβαιότητα στην τελική απόκρισή τους (ως αποτέλεσμα των διαφορετικών ευρωπαϊκών πρακτικών που χρησιμοποιούνται για αντλιοστάσια διαφορετικών μεγεθών και της ημι – αγκύρωσης των δευτερευόντων στοιχείων) μόνο μία καμπύλη τρωτότητας για αντλιοστάσια προτείνεται, η οποία είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος. Είναι επίσης δεδομένο ότι δεν υπάρχει εφεδρική ισχύς σε περίπτωση απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας (χειρότερο σενάριο).

Οι δείκτες βλάβης που ορίζουν το επίπεδο της βλάβης είναι :

- Τύπος και έκταση δομικών βλαβών (HAZUS; NIBS, 2004; SRM – LIFE, 2003 – 2007)
- Επίπεδο λειτουργικότητας (HAZUS; NIBS, 2004; SRM – LIFE, 2003 – 2007)

Η περιγραφή των επιπέδων βλάβης για τα αντλιοστάσια παρέχεται στον Πίνακα 4.13.

Επίπεδο Βλάβης	Περιγραφή	Κόστος Αποκατάστασης (%)	Λειτουργικότητα	
<b>Minor – Μικρό</b>	Δυσλειτουργία του αντλιοστασίου	10 – 30	Κανονική ροή και πίεση του	Σε λειτουργία μετά από περιορισμένες

	για ένα μικρό χρονικό διάστημα (λιγότερο από τρεις ημέρες) λόγω απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας / ελαφριές ζημιές σε κτίρια		νερού	επισκευές
<b>Moderate – Μεσαίο</b>	Δυσλειτουργία του αντλιοστασίου για περίπου μια εβδομάδα λόγω απώλειας της ηλεκτρικής ενέργειας (και της εφεδρικής ισχύς, αν υπάρχει) / σημαντικές καταστροφές στον μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό / μέτριες ζημιές σε κτίρια	30 – 50	Μείωση της ροής και της πίεσης του νερού	Σε λειτουργία μετά από επισκευές
<b>Extensive – Εκτενές</b>	Εκτεταμένες ζημιές σε κτίρια / οι αντλίες έχουν υποστεί μεγάλες ζημιές και δεν επισκευάζονται	50 – 75		Σε εν μέρει λειτουργία μετά από εκτεταμένες επισκευές
<b>Complete – Ολοκληρωτικό</b>	Κατάρρευση κτιρίου	75 – 100	Νερό μη διαθέσιμο	Μη επισκευάσιμο

Πίνακας 4.13 – Περιγραφή των επιπέδων βλάβης «Αντλιοστασίων» υποβαλλόμενα σε εδαφική ταλάντωση ( Πηγή : [1] )

#### 4.5.3 Αγωγοί

Όμοια με Δίκτυο Ύδρευσης.

#### 4.5.4 Σήραγγες

Όμοια με Δίκτυο Ύδρευσης.



## 5. Καμπύλες Τρωτότητας

### 5.1 Υφιστάμενες Καμπύλες Τρωτότητας Συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης

Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει μια σύντομη ανασκόπηση των υφιστάμενων καμπυλών τρωτότητας για την πηγή υδροληψίας (γεώτρηση), εγκαταστάσεις επεξεργασίας ύδατος, αντλιοστάσια, δεξαμενές αποθήκευσης ύδατος, αγωγούς, κανάλια και σήραγγες.

Συνιστώσα	Παραπομπή	Μεθοδολογία	Κατάταξη	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Επίπεδα Βλάβης	Δείκτες Βλάβης
<b>Πηγή Υδροληψίας</b>	NIBS, 2004	HAZUS – εμπειρική καμπύλη τρωτότητας. Δύο παράμετροι (μέση τιμή και τυπική απόκλιση β), λογαριθμική αθροιστική κατανομή.	Πολύπλοκη συνιστώσα. Γίνεται διάκριση σύμφωνα με : – Αγκύρωση ή μη των δευτερευόντων στοιχείων	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Πέντε επίπεδα βλάβης : None (ds1), slight/minor (ds2), moderate (ds3), extensive (ds4) και complete (ds5).	Περιγραφή του είδους και της έκτασης των βλαβών. Περιγραφή του επιπέδου λειτουργικότητας.
<b>Εγκατάσταση Επεξεργασίας Ύδατος</b>	NIBS, 2004	HAZUS – εμπειρική καμπύλη τρωτότητας. Δύο παράμετροι (μέση τιμή και τυπική απόκλιση β), λογαριθμική αθροιστική κατανομή.	Πολύπλοκη συνιστώσα. Γίνεται διάκριση σύμφωνα με : – Αγκύρωση ή μη των δευτερευόντων στοιχείων – Μέγεθος (μικρή, μεσαία, μεγάλη)	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Πέντε επίπεδα βλάβης : None (ds1), slight/minor (ds2), moderate (ds3), extensive (ds4) και complete (ds5).	Περιγραφή του είδους και της έκτασης των βλαβών. Περιγραφή του επιπέδου λειτουργικότητας.
	SRM – LIFE, 2003 – 2007	HAZUS – εμπειρική καμπύλη τρωτότητας. Δύο παράμετροι (μέση τιμή και τυπική απόκλιση β), λογαριθμική αθροιστική κατανομή.	Πολύπλοκη συνιστώσα. Γίνεται διάκριση σύμφωνα με : – Αγκύρωση ή μη των δευτερευόντων στοιχείων – Μέγεθος (μικρή, μεσαία, μεγάλη)	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Πέντε επίπεδα βλάβης : None (ds1), slight/minor (ds2), moderate (ds3), extensive (ds4) και complete (ds5).	Περιγραφή του είδους και της έκτασης των βλαβών. Περιγραφή του επιπέδου λειτουργικότητας.

Πίνακας 5.1 – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Υδρευσης ( Πηγή : [1] )

Συνιστώσα	Παραπομπή	Μεθοδολογία	Κατάταξη	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Επίπεδα Βλάβης	Δείκτες Βλάβης
<b>Εγκατάσταση Επεξεργασίας Υδάτος</b>	Ballantyne et al., 2009	TCLEE 2009 Δεν παρέχεται καμπύλη τρωτότητας.	Κάθε υποστοιχείο της μελετήθηκε μέσω των : ASCE Seismic Evaluation of Existing Buildings (ASCE 31.03) American Concrete Institute Code Requirements for Env. Engineering Concrete Structures (AC I- 350 – 06)	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA) και Μέγιστη Εδαφική Παραμόρφωση (PGD)	Τρία επίπεδα βλάβης : light, moderate, severe.	Περιγραφή του κόστους αποκατάστασης (%). Περιγραφή του επιπέδου λειτουργικότητας.
<b>Αντλιοστάσιο</b>	NIBS, 2004	HAZUS – εμπειρική καμπύλη τρωτότητας. Δύο παράμετροι (μέση τιμή και τυπική απόκλιση β), λογαριθμική αθροιστική κατανομή.	Γίνεται διάκριση σύμφωνα με : – Αγκύρωση ή μη των δευτερευόντων στοιχείων	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Πέντε επίπεδα βλάβης : None (ds1), slight/minor (ds2), moderate (ds3), extensive (ds4) και complete (ds5).	Περιγραφή του είδους και της έκτασης των βλαβών. Περιγραφή του επιπέδου λειτουργικότητας.
	SRM – LIFE, 2003 – 2007	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας. Δύο παράμετροι (μέση τιμή και τυπική απόκλιση β), λογαριθμική αθροιστική κατανομή. Προσαρμοσμένη σε SRM – LIFE BTM (Καρρος et al., 2006)	Γίνεται διάκριση σύμφωνα με : – Αγκύρωση ή μη των δευτερευόντων στοιχείων	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Πέντε επίπεδα βλάβης : None (ds1), slight/minor (ds2), moderate (ds3), extensive (ds4) και complete (ds5).	Περιγραφή του είδους και της έκτασης των βλαβών. Περιγραφή του επιπέδου λειτουργικότητας.

Πίνακας 5.1 – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] )

Συνιστώσα	Παραπομπή	Μεθοδολογία	Κατάταξη	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Επίπεδα Βλάβης	Δείκτες Βλάβης
<b>Αντλιοστάσιο</b>	Scawthorn, 1996	Δεν παρέχεται καμπύλη τρωτότητας.	Δεν παρέχεται καμπύλη τρωτότητας.	–	Τρία επίπεδα βλάβης : Low, Moderate, High	Περιγραφή του επιπέδου λειτουργικότητας.
<b>Δεξαμενές</b>	NIBS, 2004	HAZUS – εμπειρική καμπύλη τρωτότητας. Δύο παράμετροι (μέση τιμή και τυπική απόκλιση β), λογαριθμική αθροιστική κατανομή.	Υπέργειες δεξαμενές από προεντεταμένο σκυρόδεμα	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Πέντε επίπεδα βλάβης : None (ds1), slight/minor (ds2), moderate (ds3), extensive (ds4) και complete (ds5).	Περιγραφή του είδους και της έκτασης των βλαβών της οροφής. Απώλεια ή μη του περιεχομένου.
	O'Rourke and So, 1999	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας.	Μεταλλικές δεξαμενές. – Λόγος ύψους προς διάμετρο – Ποσοστό πλήρωσης δεξαμενής	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Τέσσερα επίπεδα βλάβης: None (ds1), slight/minor (ds2), extensive (ds3) και complete (ds4).	Περιγραφή του είδους και της έκτασης των βλαβών της οροφής. Απώλεια ή μη του περιεχομένου.
	ALA, 2001a, b	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας.	– Αγκύρωση – Υλικό κατασκευής – Χωρητικότητα (σε γαλόνια) – Αντισεισμικός κώδικας κατασκευής – Είδος οροφής	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA) και Μέγιστη Εδαφική Παραμόρφωση (PGD)	Τέσσερα επίπεδα βλάβης – Βλάβη οροφής – Βλάβη στα μπουλόνια αγκύρωσης – Βλάβη σωλήνα υπερχειλίσης – Λυγισμός – Διαρροή σωλήνα	

Πίνακας 5.1 – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] )

Συνιστώσα	Παραπομπή	Μεθοδολογία	Κατάταξη	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Επίπεδα Βλάβης
Αγωγοί	Katayama et al., 1975	Εμπειρική σχέση : $\log(R.R/km) = A + 6,39 \log(PGA)$	Σύμφωνα με τις συνθήκες του εδάφους και την ηλικία του αγωγού (A – συντελεστής).	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	Eguchi, 1983	Εμπειρικοί αριθμοί : Y= 1.5 Asbestos Cement (AC) Y= 1.0 Cast – iron (CI) Y= 0.8 Welded steel with Caulked joints (WSCJ) Y= 0.7 Welded steel with Gas-welded joints (WSGWJ) Y= 0.1 Welded steel with Arc-welded joints (WSAWJ)	Σύμφωνα με το υλικό κατασκευής.	–	Y : θραύσεις / 1000 πόδια
	ATC-13, 1985	–	Θαμμένοι αγωγοί.	–	None, Slight, Light, Moderate, Heavy, Major, Destroyed (βασίζονται στον αριθμό RR / km)
	Isoyama and Katayama, 1982	Εμπειρική σχέση : $(RR/km) = 1.698 * 10^{-16} * PGA^{6.06}$	Για υλικό αγωγών: χυτοσίδηρος	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	Memphis, Tennessee, 1985	Εμπειρική σχέση : $n = c_d c_g 10^{\alpha(MMI-\beta)}$	Σύμφωνα με τις συνθήκες του εδάφους και την διάμετρο.	$I_{mm}$ : Mercalli Intensity	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)

Πίνακας 5.1 – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] )

Συνιστώσα	Παραπομπή	Μεθοδολογία	Κατάταξη	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Επίπεδα Βλάβης
Αγωγοί	Wang et al., 1991	Εμπειρική σχέση : – Ασθενές έδαφος : $\text{Log } Y = 1.837 \cdot (I) - 14.065$ – Μέσο έδαφος : $\text{Log } Y = 1.717 \cdot (I) - 14.221$ – Καλό έδαφος : $\text{Log } Y = 1.522 \cdot (I) - 14.045$	Σύμφωνα με τις συνθήκες του εδάφους.	$I_{mm}$ : MSK intensity	Y : Θραύσεις / km
	O' Rourke and Ayala, 1993	Εμπειρική σχέση : $\text{RR/km} = K \cdot (0.0001 \cdot \text{PGV}^{2.25})$	Σύμφωνα με το υλικό του αγωγού (flexible, rigid).	Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (PGV) (cm/sec)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	Eidinger et al., 1995; Eidinger, 1998	Εμπειρική σχέση (RR/km) : $0.0012 \cdot \text{PGV}^{0.7677}$ $0.0006 \cdot \text{PGV}^{1.5542}$ $6 \cdot 10^{-5} \cdot \text{PGV}^{2.2949}$	Σύμφωνα με το υλικό του αγωγού (asbestos-cement, cast-iron, steel).	Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (PGV) (cm/sec)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	Isoyama, 1998	Εμπειρική σχέση : $\text{RR/km} = C_p \cdot C_d \cdot 3.11 \cdot 10^{-3} \cdot (\text{PGV} - 15)^{1.3}$	Σύμφωνα με το υλικό του αγωγού και την διάμετρο.	Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (PGV) (cm/sec)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	O'Rourke et al., 1998	Εμπειρική σχέση : $\text{RR/km} = 10^{1.25 \log(\text{PGA} - 0.63)}$		Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA) (cm/sec <sup>2</sup> )	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	O'Rourke and Leon, 1999	Εμπειρική σχέση : $\text{RR/km} = 0.050 \cdot (V_{\text{scaled}})^{0.865}$ όπου $V_{\text{scaled}} = \text{PGV}/D_o^{1.138}$	Σύμφωνα με την διάμετρο.	Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (PGV) (cm/sec)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)

Πίνακας 5.1 – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] )

Συνιστώσα	Παραπομπή	Μεθοδολογία	Κατάταξη	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Επίπεδα Βλάβης
Αγωγοί	Eidinger and Avila, 1999	Εμπειρική σχέση : $RR/km = K1*1.512*(PGV^{1.98})$	Σύμφωνα με το υλικό αγωγού, διάμετρο, είδος ενώσεων και εδαφικές συνθήκες.	Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (PGV) (m/sec)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	Isoyama et al., 2000	Εμπειρική σχέση : $R.R(X) = 2.88*10^{-6}*(PGA-100)^{1.97}$ $R.R(X) = 3.11*10^{-3}*(PGV-15)^{1.3}$	Για αγωγούς από χυτοσίδηρο.	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA) (cm/sec <sup>2</sup> )	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	ALA, 2001	Εμπειρική σχέση : $R.R/km = K1*0.241*PGV$	Σύμφωνα με το υλικό αγωγού.	Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (PGV) (m/sec)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	Toprak, 1998	Εμπειρική σχέση : $Log(RR)=1.36*log(PGA)-0.61$	Για όλους τους θαμμένους αγωγούς.	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	Hung, 2001	Εμπειρική σχέση : $RR/km=26.58*PGA^{4.29}$	Για όλους τους θαμμένους αγωγούς.	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA) (cm/sec <sup>2</sup> )	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	O'Rourke and Deyoe, 2004	Εμπειρική σχέση : (άκαμπτοι σωλήνες) $R.R./km = K1*513*\epsilon^{0.89}$ (διάδοση κυμάτων) $R.R./km = K1*724*\epsilon^{0.89}$	Θαμμένους αγωγούς. Εύθραστοι σωλήνες, R ή S σεισμικά κύματα.	Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (PGV)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	Porter et al., 1991	Εμπειρική σχέση	Σύμφωνα με το υλικό αγωγού.	Μόνιμη Εδαφική Παραμόρφωση (PGD)	

Πίνακας 5.1 – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] )

Συνιστώσα	Παραπομπή	Μεθοδολογία	Κατάταξη	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Επίπεδα Βλάβης
Αγωγοί	Honegger and Eguchi, 1992	Εμπειρική σχέση : $R.R./km = K*(7.821*PGD^{0.56})$	Σύμφωνα με το υλικό αγωγού.	Μόνιμη Εδαφική Παραμόρφωση (PGD)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	Heubach, 1995	Εμπειρικές σχέσεις : $100*[1-\exp[(0.283*PGD)^{1.33}]]$ $100*[1-\exp[(0.899*PGD)^{1.11}]]$ $100*[1-\exp[(0.578*PGD)^{1.55}]]$ $100*[1-\exp[(1.120*PGD)^{1.69}]]$ $100*[1-\exp[(0.743*PGD)^{0.71}]]$ $100*[1-\exp[-(1.120*PGD)^{0.761}]]$ $100*[1-\exp[-(0.644*PGD)^{1.37}]]$ $100*[1-\exp[-(1.530*PGD)^{1.62}]]$ $100*[1-\exp[-(0.961*PGD)^{1.64}]]$ $100*[1-\exp[-(1.830*PGD)^{1.83}]]$	Σύμφωνα με το υλικό αγωγού και τον τύπο των ενώσεων.	Μόνιμη Εδαφική Παραμόρφωση (PGD)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	Eidinger et al., 1999	Εμπειρική σχέση : $R.R./km = K2*23.674*(PGD)^{0.53}$	Σύμφωνα με το υλικό αγωγού και τον τύπο των ενώσεων.	Μόνιμη Εδαφική Παραμόρφωση (PGD)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	ALA, 2001a,b	Εμπειρική σχέση : $R.R./km = K2*11.223*PGD^{0.319}$	Σύμφωνα με το υλικό αγωγού και τον τύπο των ενώσεων.	Μόνιμη Εδαφική Παραμόρφωση (PGD)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)
	Yeh et al., 2006	Εμπειρική σχέση : $R.R.=1.028*10^{-3} *PGA^{0.9735}$ ( $R^2=0.9388$ )	Σεισμός $J_i - J_i$	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Ρυθμός επισκευών ανά χιλιόμετρο (RR / km)

Πίνακας 5.1 – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] )



Συνιστώσα	Παραπομπή	Μεθοδολογία	Κατάταξη	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Επίπεδα Βλάβης	Δείκτες Βλάβης
<b>Αγωγοί</b>	Ballantyne and Heubach, 1996	Εμπειρική σχέση.	Σύμφωνα με το υλικό αγωγού.	Μόνιμη Εδαφική Παραμόρφωση (PGD)	Τέσσερα επίπεδα βλάβης: (High, Moderate/ High, Moderate, Low/ Moderate, Low)	
<b>Κανάλια</b>	ALA, 2001a,b	Εμπειρική σχέση.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Μικρές βλάβες : 0.1 repairs/ km (PGV = 20-35 inches/sec)</li> <li>0.01 repairs/km (PGV = 5 - 15 inches/sec)</li> <li>0.00 repairs/km (PGV &lt; 5 inches/sec)</li> <li>- Μέτριες βλάβες : για PGD= 1 – 5 inches</li> <li>- Σημαντικές βλάβες : για PGD &gt; 6 inches</li> </ul>	Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (PGV) και Μέγιστη Εδαφική Παραμόρφωση (PGD)	Τέσσερα επίπεδα βλάβης: (No, Minor, Moderate, Major)	Περιγραφή της υδραυλικής απόδοσης του καναλιού.
<b>Σήραγγες</b>	NIBS, 2004	HAZUS – εμπειρική καμπύλη τρωτότητας. Δύο παράμετροι (μέση τιμή και τυπική απόκλιση β), λογαριθμική αθροιστική κατανομή.	Ανάλογα με τον τρόπο διάνοιξης : - ολομέτρωτης διάνοιξης - cut & cover	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA) και Μέγιστη Εδαφική Παραμόρφωση (PGD)	Τέσσερα επίπεδα βλάβης: (No, Minor, Moderate, Major)	

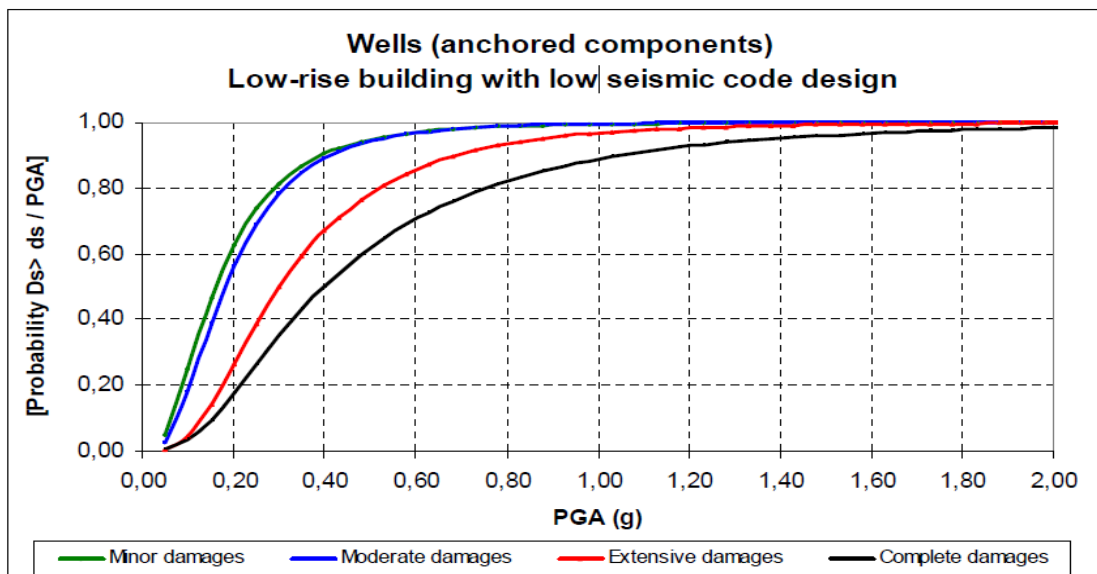
Πίνακας 5.1 – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Ύδρευσης ( Πηγή : [1] )

Σήραγγες	ALA, 2002	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας.	Ανάλογα με τον τρόπο διάνοιξης : – ολομέτωπης διάνοιξης – cut & cover την τεχνική κατασκευής : – κακές έως μέτριες – καλές και το έδαφος εκσκαφής : – βράχος – αλλούβια	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Τρία επίπεδα βλάβης: (Slight, Moderate, Heavy)	
	Αργυρούδης & Συνεργάτες, 2006	Εμπειρική καμπύλη τρωτότητας. Δύο παράμετροι (μέση τιμή και τυπική απόκλιση β), λογαριθμική αθροιστική κατανομή.	Ανάλογα με το έδαφος εκσκαφής : – έδαφος Β – έδαφος C – έδαφος D και την διατομή : – ορθογωνική – κυκλική	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Τρία επίπεδα βλάβης: (Μικρές, Μέτριες, Εκτεταμένες)	

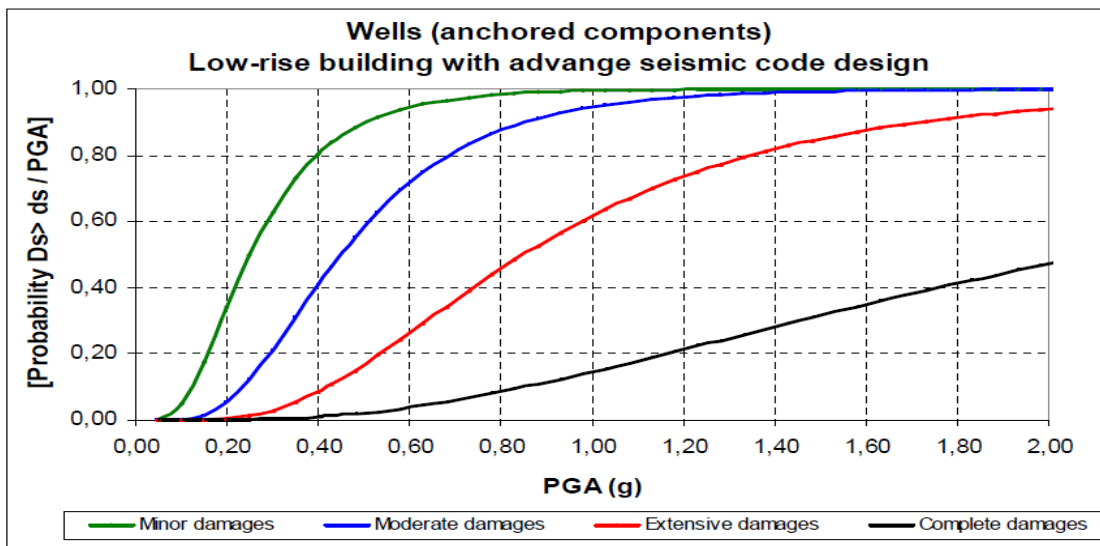
Πίνακας 5.1 – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Υδρευσης ( Πηγή : [1] )

Περιγραφή	Επίπεδο Βλάβης	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	
		Μέση Τιμή (g)	β (λογαριθμική τυπική απόκλιση)
Αγκυρωμένα Στοιχεία (κτίρια από σπλισμένο σκυρόδεμα, μικρού ύψους, σχεδιασμός με απλό αντισεισμικό κανονισμό)	Minor	0.16	0.70
	Moderate	0.18	0.65
	Extensive	0.30	0.65
	Complete	0.40	0.75
Αγκυρωμένα Στοιχεία (κτίρια από σπλισμένο σκυρόδεμα, μικρού ύψους, σχεδιασμός με ανώτερο αντισεισμικό κανονισμό)	Minor	0.25	0.55
	Moderate	0.45	0.50
	Extensive	0.85	0.55
	Complete	2.10	0.70

Πίνακας 5.2 – Παράμετροι καμπύλης τρωτότητας “Πηγής Υδροληψίας”, υπό PGA (HAZUS, NIBS, 2004) (Πηγή : [1])



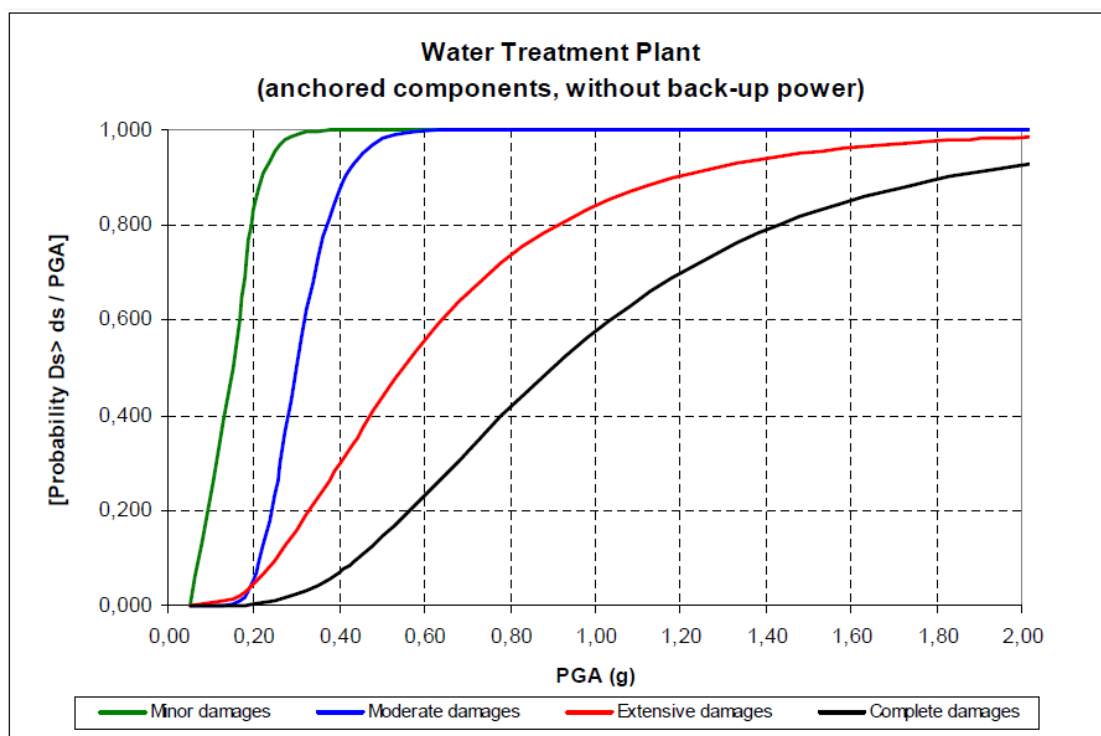
Σχήμα 5.1 – Καμπύλες τρωτότητας “Πηγής Υδροληψίας” (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] )



Σχήμα 5.2 – Καμπύλες τρωτότητας “Πηγής Υδροληψίας” (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] )

Περιγραφή	Επίπεδο Βλάβης	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	
		Μέση Τιμή (g)	$\beta$ (λογαριθμική τυπική απόκλιση)
Αγκυρωμένα Στοιχεία	Minor	0.15	0.30
	Moderate	0.30	0.25
	Extensive	0.55	0.60
	Complete	0.90	0.55

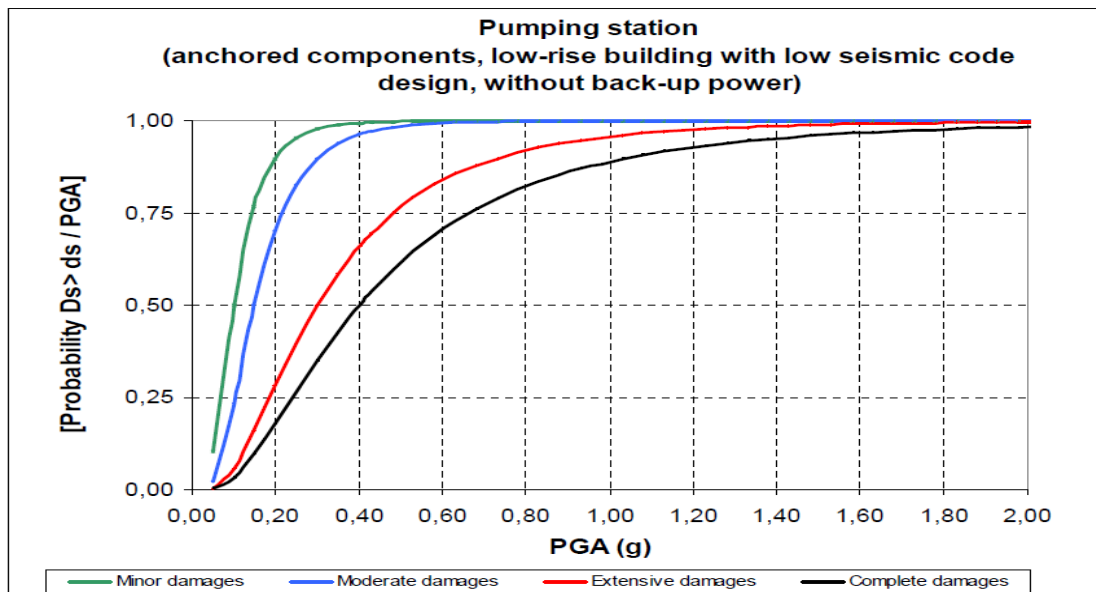
Πίνακας 5.3 – Παράμετροι καμπύλης τρωτότητας “Εγκατάστασης Επεξεργασίας Υδατος”, υπό PGA (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] )



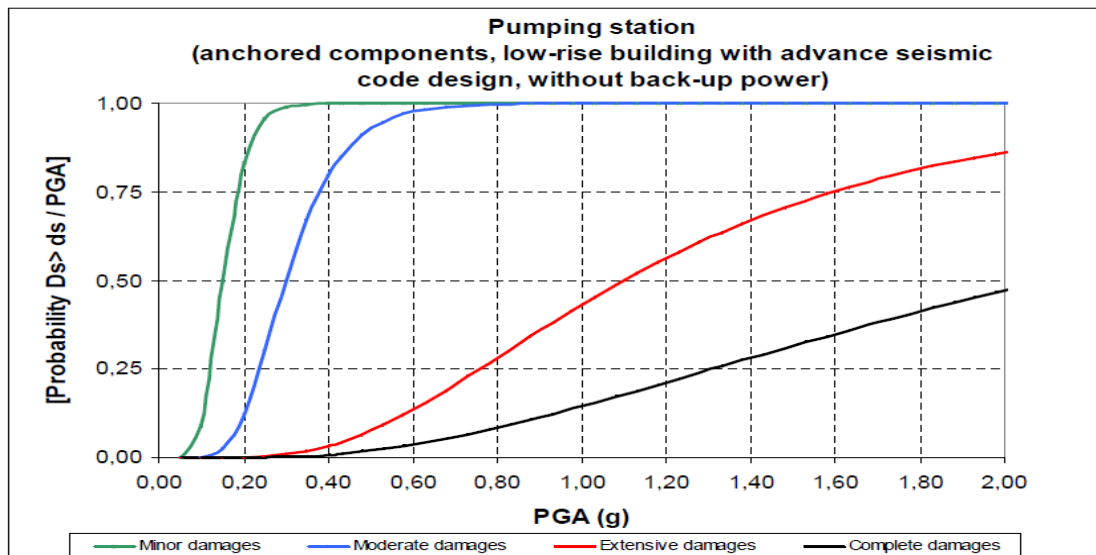
Σχήμα 5.3 – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκατάστασης Επεξεργασίας Υδατος” (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] )

Περιγραφή	Επίπεδο Βλάβης	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	
		Μέση Τιμή (g)	$\beta$ (λογαριθμική τυπική απόκλιση)
Αγκυρωμένα Στοιχεία (κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, μικρού ύψους, σχεδιασμός με απλό αντισεισμικό κανονισμό)	Minor	0.10	0.55
	Moderate	0.15	0.55
	Extensive	0.30	0.70
	Complete	0.40	0.75
Αγκυρωμένα Στοιχεία (κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, μικρού ύψους, σχεδιασμός με ανώτερο αντισεισμικό κανονισμό)	Minor	0.15	0.30
	Moderate	0.30	0.35
	Extensive	1.10	0.55
	Complete	2.10	0.70

Πίνακας 5.4 – Παράμετροι καμπύλης τρωτότητας “Αντλιοστασίου”, υπό PGA (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] )



Σχήμα 5.4 – Καμπύλες τρωτότητας “Αντλιοστασίου” (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] )



Σχήμα 5.5 – Καμπύλες τρωτότητας “Αντλιοστασίου” (HAZUS, NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] )

Είδος Βλάβης	Λειτουργικότητα	Μέση Τιμή PGA (g)	β (λογαριθμική τυπική απόκλιση)
Ανύψωση και περιστροφή τοιχώματος	Εκτός λειτουργίας	1.30	0.50
Ρηγμάτωση τοιχώματος		1.60	0.50
Ολίσθηση		1.10	0.50
Hoop Overstress	Λειτουργική	4.10	0.50

Πίνακας 5.5 – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, αγκυρωμένων, από Ω.Σ., υπό PGA (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] )

Είδος Βλάβης	Λειτουργικότητα		Μέση Τιμή PGA (g)	β (λογαριθμική τυπική απόκλιση)
Ρηγμάτωση τοιχώματος	Απώλεια περιεχομένου	Εκτός λειτουργίας	1.05	0.45
Βλάβη οροφής	Μη απώλεια περιεχομένου	Λειτουργική	2.60	0.45
Ανύψωση και περιστροφή τοιχώματος	Μικρή διαρροή		2.00	0.45
Ολίσθηση	Μικρή διαρροή		0.25	0.45
Hoop Overstress	Απώλεια περιεχομένου	Εκτός λειτουργίας	0.75	0.45
	Μικρή διαρροή	Λειτουργική	0.45	0.45

Πίνακας 5.6 – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, μη αγκυρωμένων, από Ω.Σ., υπό PGA (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] )

Είδος Βλάβης	Λειτουργικότητα		Μέση Τιμή PGA (g)	β (λογαριθμική τυπική απόκλιση)
Βλάβη οροφής	Extensive	Λειτουργική	1.00	0.55
	Minor		0.60	0.55

Πίνακας 5.7 – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, ανοικτού τύπου, με ή χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό, υπό PGA (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] )

Τυπολογία	Λειτουργικότητα		Μέση Τιμή PGD (m)	β (λογαριθμική τυπική απόκλιση)
Ω.Σ.	Αγκυρωμένη	Εκτός λειτουργίας	0.06	0.50
	Μη αγκυρωμένη			0.50
Χάλυβας	Υπέργεια		0.06	0.50
	Επίγεια		0.09	0.50
Ξύλο	Εκτός λειτουργίας	0.09	0.50	
Χωρίς οροφή	Λειτουργική	0.20	0.50	

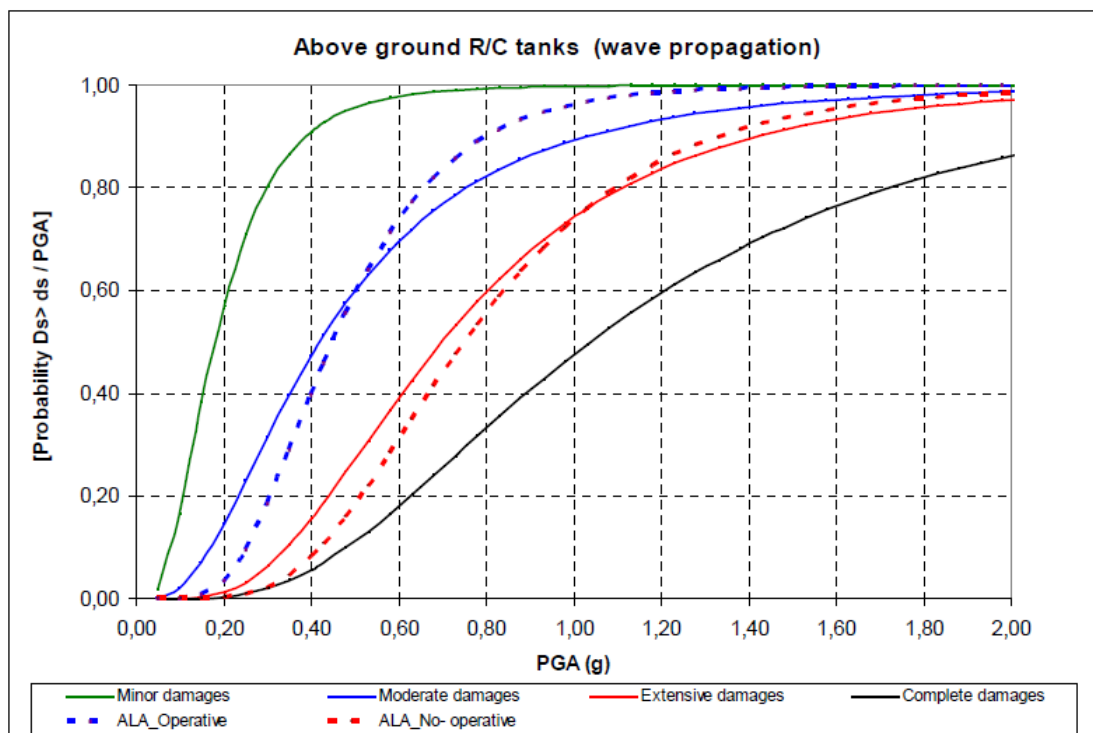
Πίνακας 5.8 – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, υπό PGD (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] )

Τυπολογία	Λειτουργικότητα	Μέση Τιμή PGA (g)	β (λογαριθμική τυπική απόκλιση)
Αγκυρωμένες επίγειες δεξαμενές από Ω.Σ.	Minor	0.25	0.55
	Moderate	0.52	0.70
	Extensive	0.95	0.60
	Complete	1.64	0.70
Μη αγκυρωμένες επίγειες δεξαμενές από Ω.Σ.	Minor	0.18	0.60
	Moderate	0.42	0.70
	Extensive	0.70	0.55
	Complete	1.04	0.60

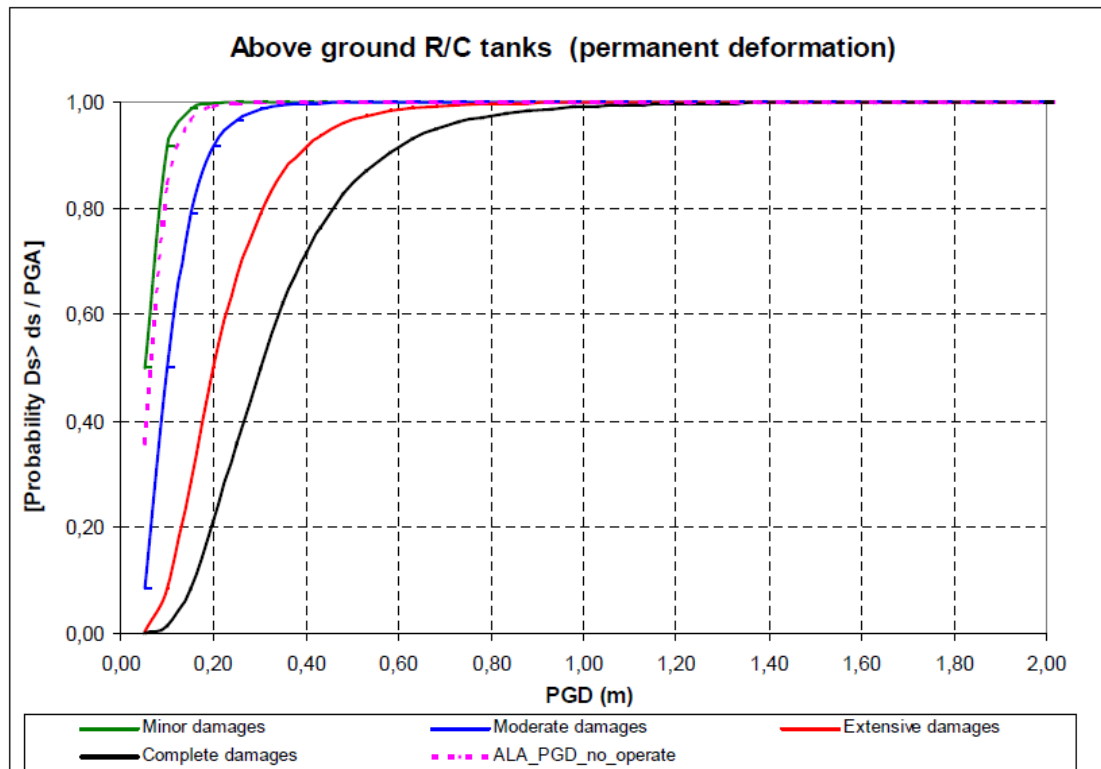
Πίνακας 5.9 – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών” από Ω.Σ., επίγειων, υπό PGA (HAZUS; NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] )

Τυπολογία	Λειτουργικότητα	Μέση Τιμή PGA (g)	β (λογαριθμική τυπική απόκλιση)
Υπόγειες δεξαμενές από Ω.Σ.	Minor	0.05	0.50
	Moderate	0.10	0.50
	Extensive	0.20	0.50
	Complete	0.30	0.50

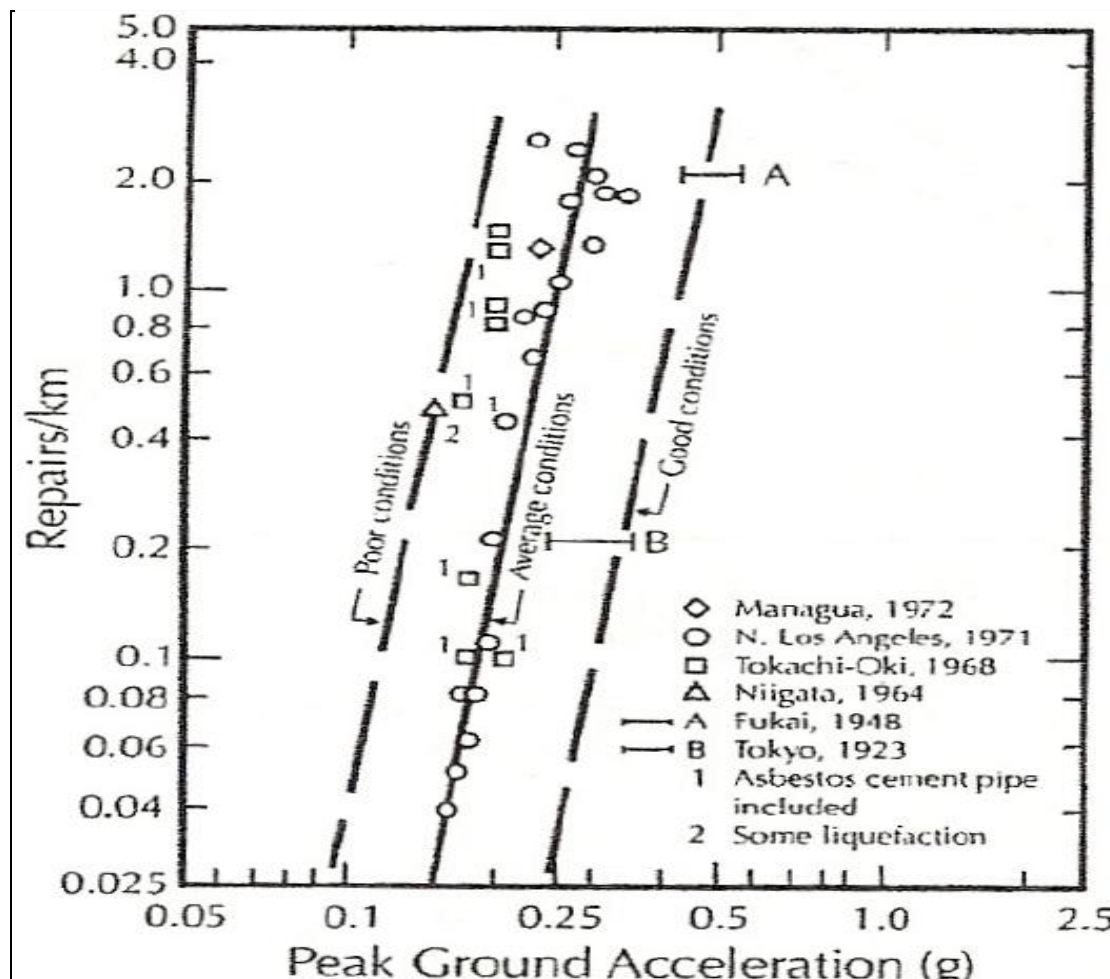
Πίνακας 5.10 – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών” από Ω.Σ., υπόγειων, υπό PGA (HAZUS; NIBS, 2004) ( Πηγή : [1] )



Σχήμα 5.6 – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, επίγειων, από Ω.Σ., υπό PGA ( Πηγή : [1] )

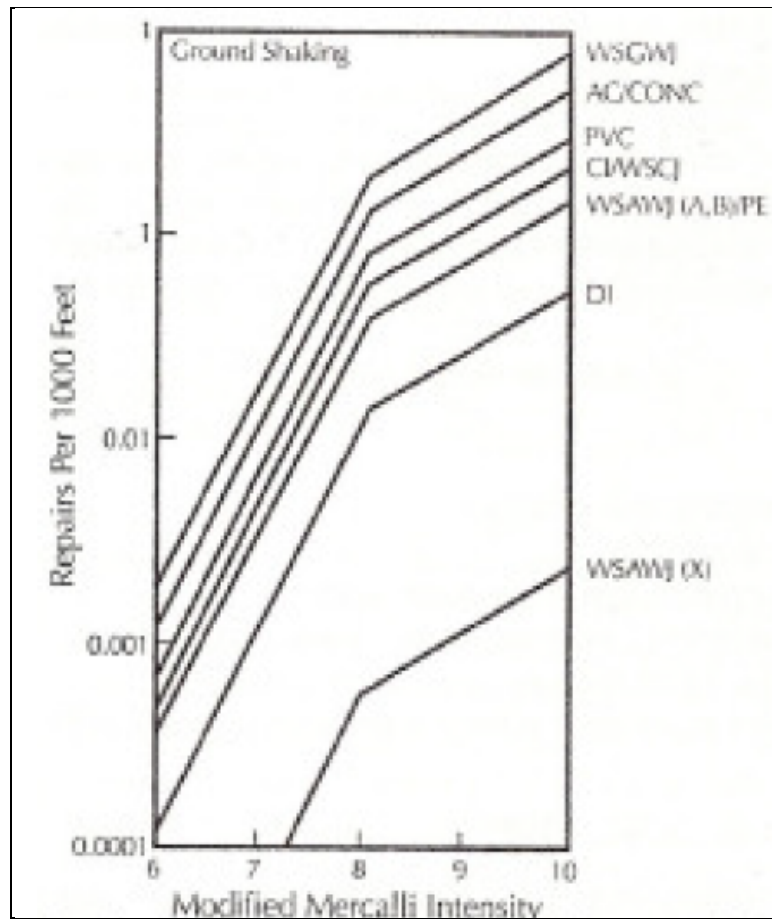


Σχήμα 5.7 – Καμπύλες τρωτότητας “Δεξαμενών”, επίγειων, από Ω.Σ., υπό PGD ( Πηγή : [1] )

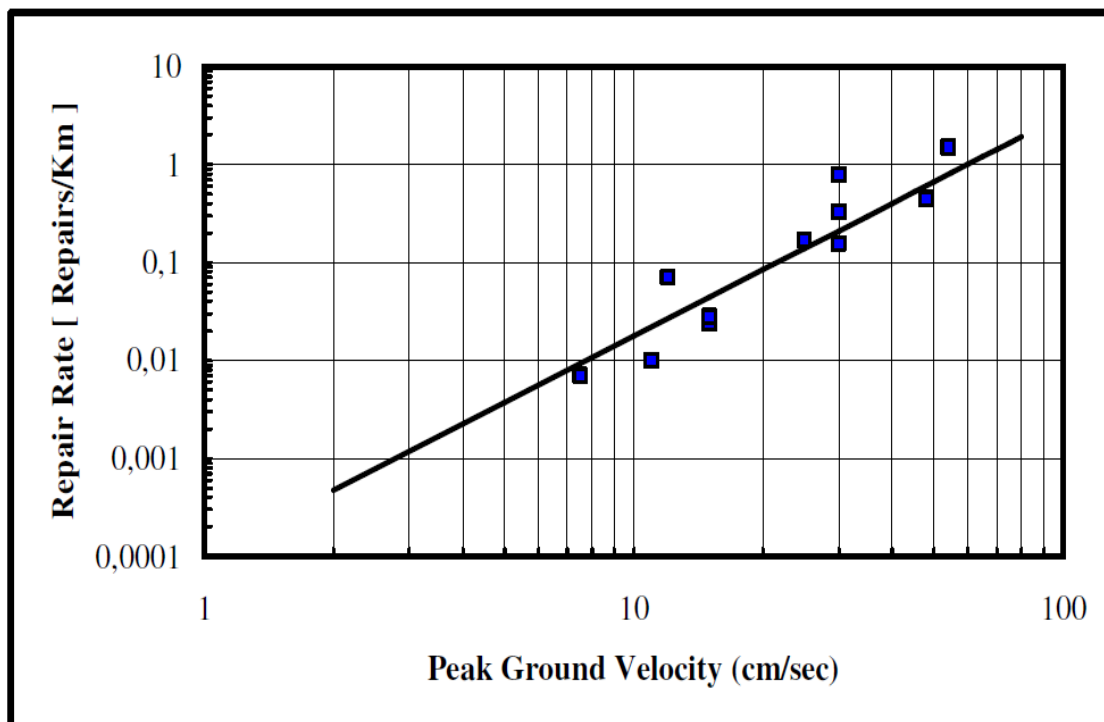


Σχήμα 5.8 – Καμπύλη τρωτότητας “Αγωγών”, Katayama et al., 1975 ( Πηγή : [32] )





Σχήμα 5.9 – Καμπύλη τρωτότητας “Αγωγών”, Eguchi, 1983, 1991 ( Πηγή : [32] )



Σχήμα 5.10 – Καμπύλη τρωτότητας “Αγωγών”, O'Rourke & Ayala, 1993 ( Πηγή : [32] )

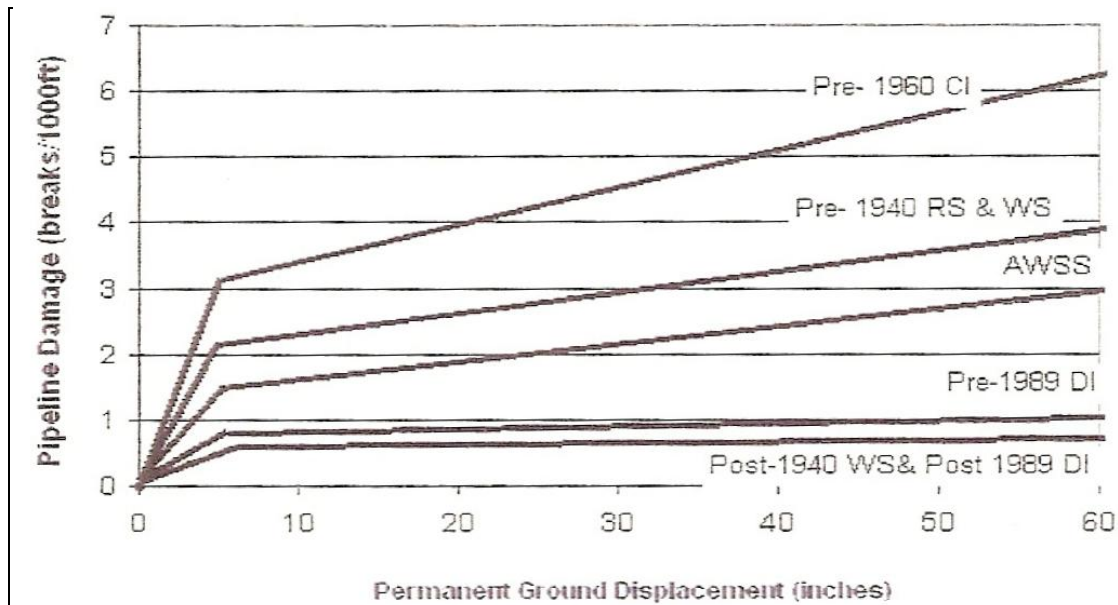
Υλικό	Τύπος Σύνδεσης	Έδαφος	Διάμετρος	K 1	Χαρακτηρισμός των διαθέσιμων στοιχείων
Χυτοσίδηρος	Τσιμέντο	Όλα	Μικρή	0.8	B
Χυτοσίδηρος	Τσιμέντο	Διαβρώσιμο	Μικρή	1.1	C
Χυτοσίδηρος	Τσιμέντο	Μη διαβρώσιμο	Μικρή	0.5	B
Χυτοσίδηρος	Φλάντζα	Όλα	Μικρή	0.5	D
Συγκολλητός χάλυβας	Συγκόλληση	Όλα	Μικρή	0.5	C
Συγκολλητός χάλυβας	Συγκόλληση	Διαβρώσιμο	Μικρή	0.5	D
Συγκολλητός χάλυβας	Συγκόλληση	Μη διαβρώσιμο	Μικρή	0.3	B
Συγκολλητός χάλυβας	Συγκόλληση	Όλα	Μεγάλη	0.15	B
Συγκολλητός χάλυβας	Φλάντζα	Όλα	Μικρή	0.7	B
Ασβεστοτσιμεντο	Φλάντζα	Όλα	Μικρή	0.5	C
Ασβεστοτσιμεντο	Τσιμέντο	Όλα	Μικρή	1.0	B
Ασβεστοτσιμεντο	Τσιμέντο	Όλα	Μεγάλη	2.0	D
Σκυρόδεμα	Συγκόλληση	Όλα	Μεγάλη	1.0	D
Σκυρόδεμα	Τσιμέντο	Όλα	Μεγάλη	2.0	D
Σκυρόδεμα	Φλάντζα	Όλα	Μεγάλη	1.2	D
PVC	Φλάντζα	Όλα	Μικρή	0.5	C
Μαλακός σίδηρος	Φλάντζα	Όλα	Μικρή	0.3	C

Πίνακας 5.11 – Συντελεστής K1 συναρτήσει του υλικού των αγωγών, του τύπου της σύνδεσης, του εδάφους, της διαμέτρου και των διαθέσιμων πληροφοριών (Eidinger J. & Avila E., 1999) ( Πηγή : [32] )

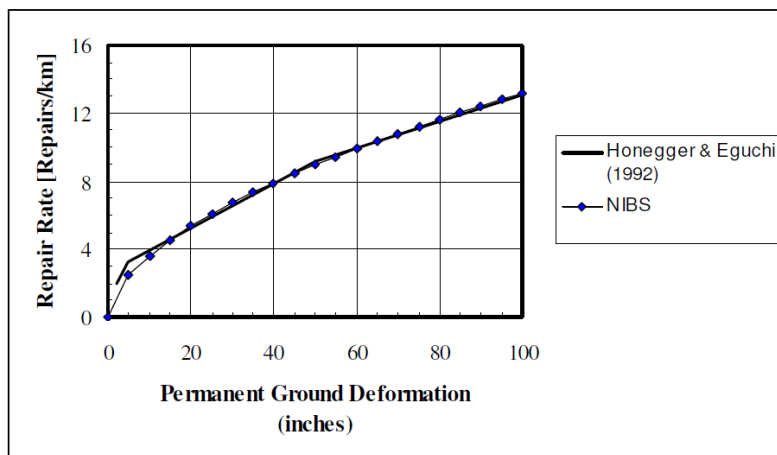
Υλικό αγωγών	Τύπος Σύνδεσης	Έδαφος	Διάμετρος	K 1
Χυτοσίδηρος	Τσιμέντο	Όλα	μικρή	1.0
Χυτοσίδηρος	Τσιμέντο	Διαβρώσιμο	μικρή	1.4
Χυτοσίδηρος	Τσιμέντο	Μη διαβρώσιμο	μικρή	0.7
Χυτοσίδηρος	Φλάντζα	Όλα	μικρή	0.8
Συγκολλητός χάλυβας	Συγκόλληση	Όλα	μικρή	0.6
Συγκολλητός χάλυβας	Συγκόλληση	Διαβρώσιμο	μικρή	0.9
Συγκολλητός χάλυβας	Συγκόλληση	Μη διαβρώσιμο	μικρή	0.3
Συγκολλητός χάλυβας	Συγκόλληση	Όλα	μεγάλη	0.15
Συγκολλητός χάλυβας	Φλάντζα	Όλα	μικρή	0.7
Συγκολλητός χάλυβας	Βιδωτή	Όλα	μικρή	1.3
Συγκολλητός χάλυβας	Καρφωτή	Όλα	μικρή	1.3
Ασβεστοτσιμέντο	Φλάντζα	Όλα	μικρή	0.5

Ασβεστοτσιμέντο	Τσιμέντο	Όλα	μικρή	1.0
Σκυρόδεμα	Συγκόλληση	Όλα	μεγάλη	0.7
Σκυρόδεμα	Τσιμέντο	Όλα	μεγάλη	1.0
Σκυρόδεμα	Φλάντζα	Όλα	μεγάλη	0.8
PVC	Φλάντζα	Όλα	μικρή	0.5
Μαλακός σίδηρος	Φλάντζα	Όλα	μικρή	0.5

Πίνακας 5.12 – Συντελεστής K1 συναρτήσει του υλικού των αγωγών, του τύπου της σύνδεσης, του εδάφους, της διαμέτρου και των διαθέσιμων πληροφοριών (ALA, 2001) ( Πηγή : [32] )



Σχήμα 5.11 – Καμπύλη τρωτότητας “Αγωγών”, Porter et al., 1991( Πηγή : [32] )



Σχήμα 5.12 – Καμπύλη τρωτότητας “Αγωγών”, Honegger & Eguchi, 1992 ( Πηγή : [32] )

Υλικό	Τύπος Σύνδεσης	K 1	Χαρακτηρισμός των διαθέσιμων στοιχείων
Χυτοσίδηρος	Τσιμέντο	1.0	B
Χυτοσίδηρος	Φλάντζα	0.7	C
Συγκολλητός χάλυβας	Συγκόλληση	0.15	C
Συγκολλητός χάλυβας	Φλάντζα	0.7	D
Ασβεστοτσιμέντο	Φλάντζα	0.8	C
Ασβεστοτσιμέντο	Τσιμέντο	1.0	C
Σκυρόδεμα	Συγκόλληση	0.8	D
Σκυρόδεμα	Τσιμέντο	1.0	D
Σκυρόδεμα	Φλάντζα	1.0	D
PVC	Φλάντζα	0.8	C
Μαλακός σίδηρος	Φλάντζα	0.3	C

Πίνακας 5.13 – Συντελεστής K2 συναρτήσει του υλικού των αγωγών, του τύπου της σύνδεσης, της διαμέτρου και των διαθέσιμων πληροφοριών (Eidinger et al., 1999) ( Πηγή : [32] )

Υλικό	Τύπος Σύνδεσης	K 2
Χυτοσίδηρος	Τσιμέντο	1.0
Χυτοσίδηρος	Φλάντζα	0.8
Χυτοσίδηρος	Μηχανική	0.7
Συγκολλητός χάλυβας	Συγκόλληση	0.15
Συγκολλητός χάλυβας	Φλάντζα	0.7
Ασβεστοτσιμέντο	Φλάντζα	0.8
Ασβεστοτσιμέντο	Τσιμέντο	1.0
Σκυρόδεμα	Συγκόλληση	0.6
Σκυρόδεμα	Τσιμέντο	1.0
Σκυρόδεμα	Φλάντζα	0.7
PVC	Φλάντζα	0.8
Μαλακός σίδηρος	Φλάντζα	0.5

Πίνακας 5.14 – Συντελεστής K2 συναρτήσει του υλικού των αγωγών και του τύπου της σύνδεσης (ALA, 2001) ( Πηγή : [32] )

Τυπολογία	PGV < 0.5 m/s	PGV > 0.5 m/s (R.R. = 0.1 repair/km)
Άοπλη ή χωρίς επένδυση	Καθόλου βλάβες	Minor
Οπλισμένη επένδυση	Καθόλου βλάβες	Καθόλου βλάβες

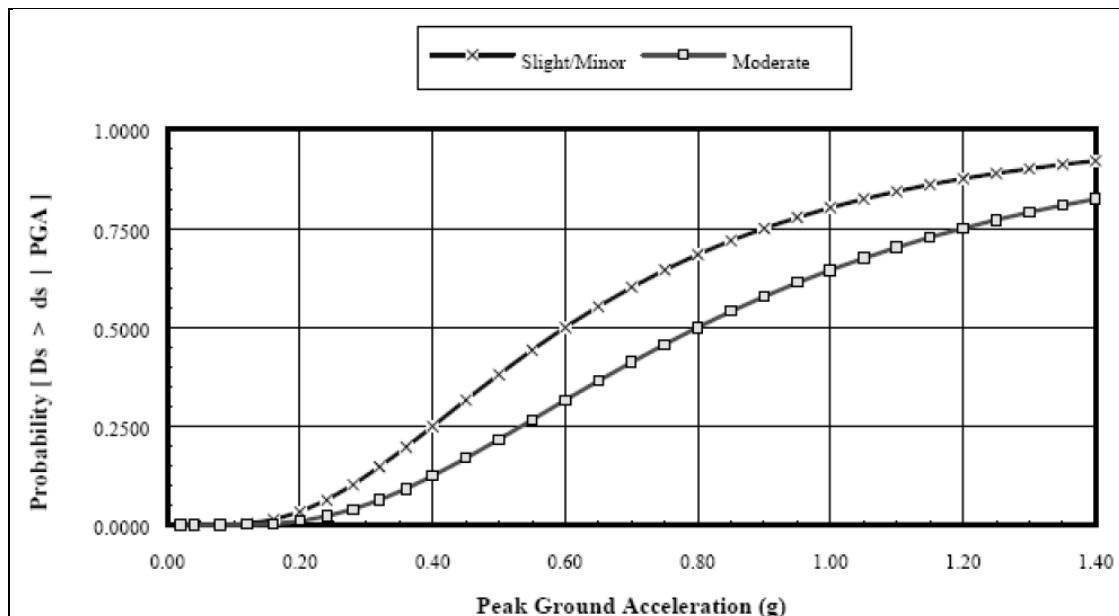
Πίνακας 5.15 – Τρωτότητα “Καναλιών”, υπό PGV (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] )

Τυπολογία	PGD < 0.025 m	PGD ≥ 0.025 m	PGD ≥ 0.15 m
Άοπλη ή χωρίς επένδυση	No / Minor	Moderate	Major
Οπλισμένη επένδυση			

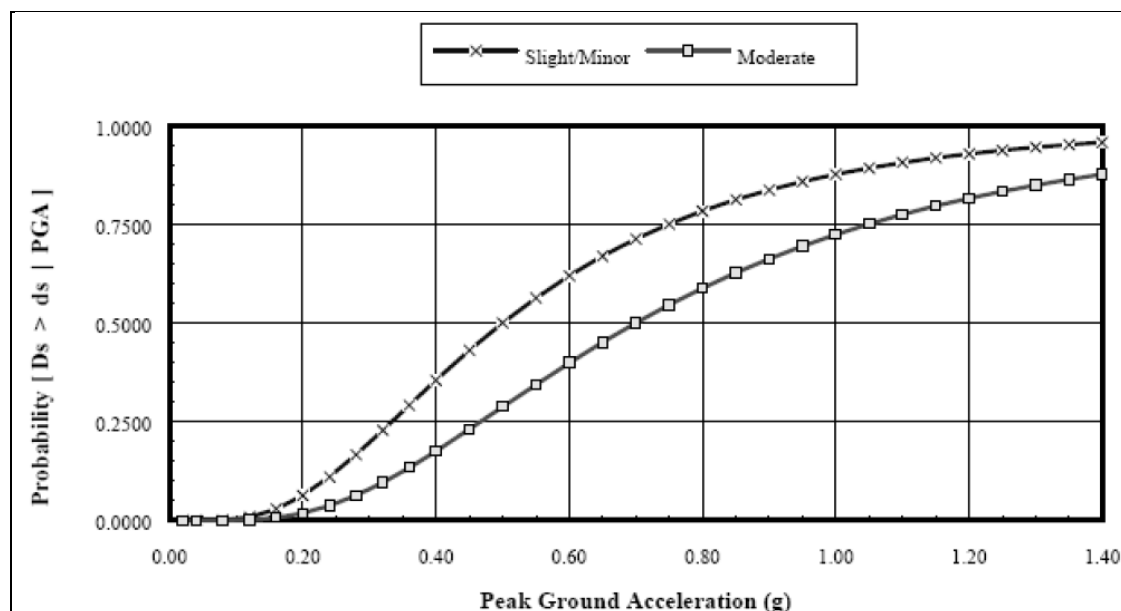
Πίνακας 5.16 – Τρωτότητα “Καναλιών”, υπό PGD (ALA, 2001a,b) ( Πηγή : [1] )

Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)			
Ταξινόμηση	Επίπεδο Βλάβης	Μέση Τιμή (g)	Τυπική απόκλιση β
Ολομέτωπης διάνοιξης (HTU1)	Μικρές βλάβες	0.6	0.6
	Μέτριες βλάβες	0.8	0.6
Cut & Cover (HTU2)	Μικρές βλάβες	0.5	0.6
	Μέτριες βλάβες	0.7	0.6
Μέγιστη Εδαφική Παραμόρφωση (PGD)			
Ταξινόμηση	Επίπεδο Βλάβης	Μέση Τιμή (g)	Τυπική απόκλιση β
Ολομέτωπης διάνοιξης (HTU1)	Μικρές / Μέτριες βλάβες	6.0	0.7
	Εκτεταμένες βλάβες	12.0	0.5
	Καθολικές βλάβες	60.0	0.5
Cut & Cover (HTU2)	Μικρές / Μέτριες βλάβες	6.0	0.7
	Εκτεταμένες βλάβες	12.0	0.5
	Καθολικές βλάβες	60.0	0.5

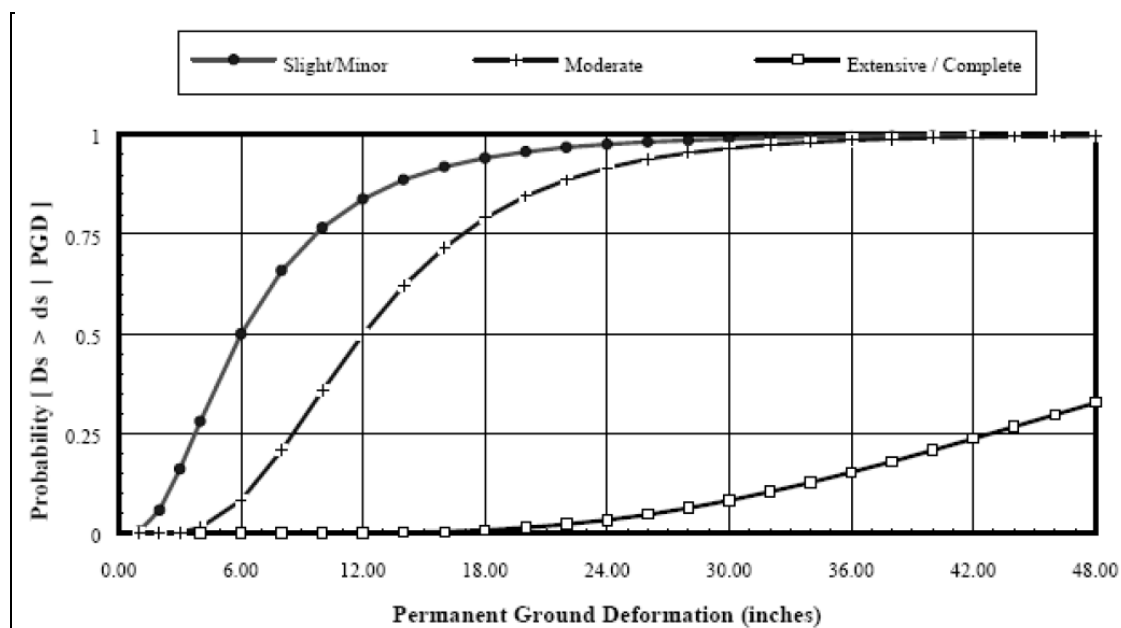
Πίνακας 5.17 – Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας “Σηράγγων”, HAZUS, 2004 ( Πηγή : [32] )



Σχήμα 5.13 – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, ολομέτωπης διάνοιξης, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] )



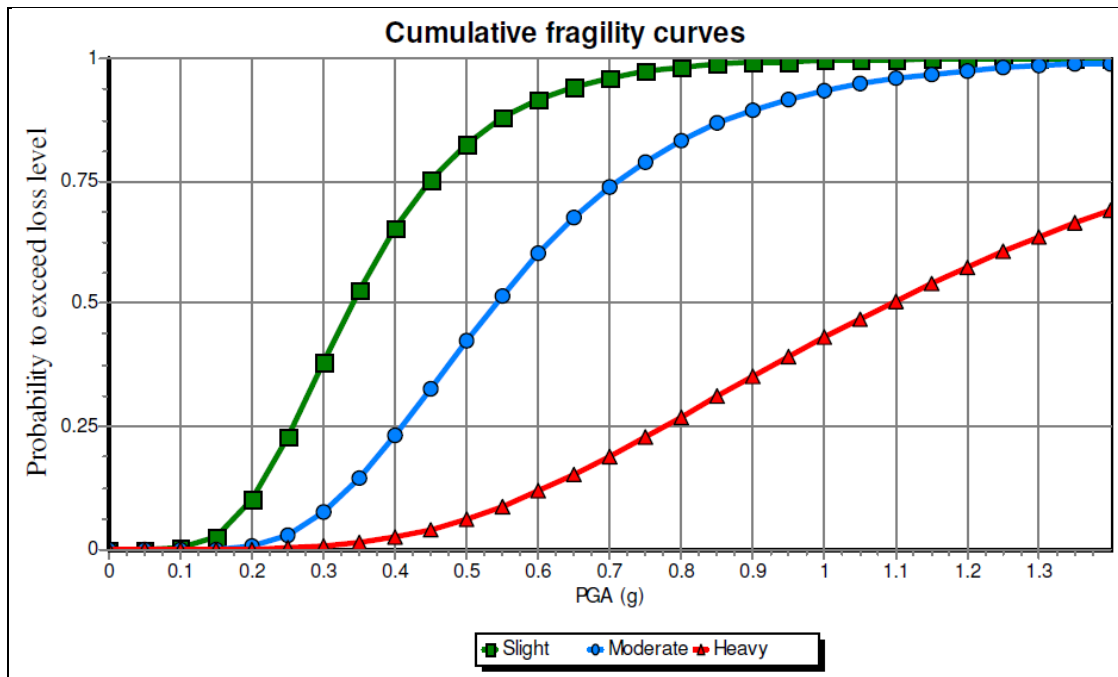
Σχήμα 5.14 – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, cut & cover, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] )



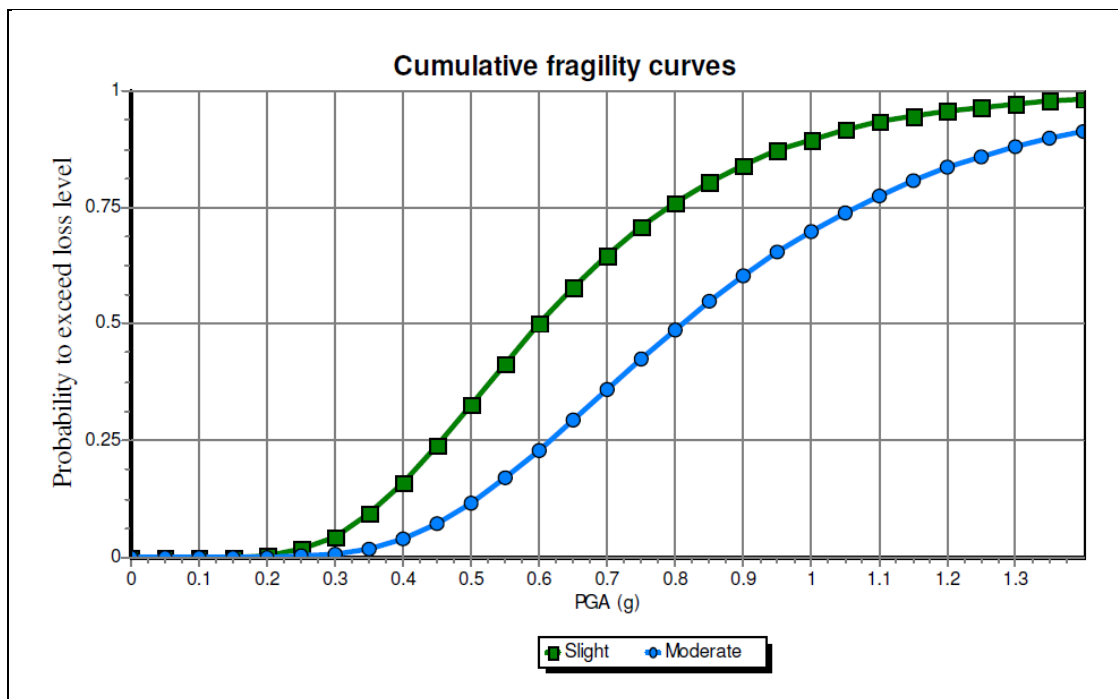
Σχήμα 5.15 – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, ολομέτωπης διάνοιξης και cut & cover, υπό PGD (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] )

Γεωλογικές Συνθήκες και μέθοδος κατασκευής κατά στάθμη βλάβης	Βράχος		Cut & Cover ή αλλούβια	
	Κακές έως μέτριες	Καλές	Κακές έως μέτριες	Καλές
Εκτεταμένες ( $\beta=0.5$ )	1.10 g	–	0.95 g	–
Μέτριες ( $\beta=0.4$ )	0.55 g	0.82 g	0.45 g	0.70 g
Μικρές ( $\beta=0.4$ )	0.35 g	0.61 g	0.30 g	0.50 g

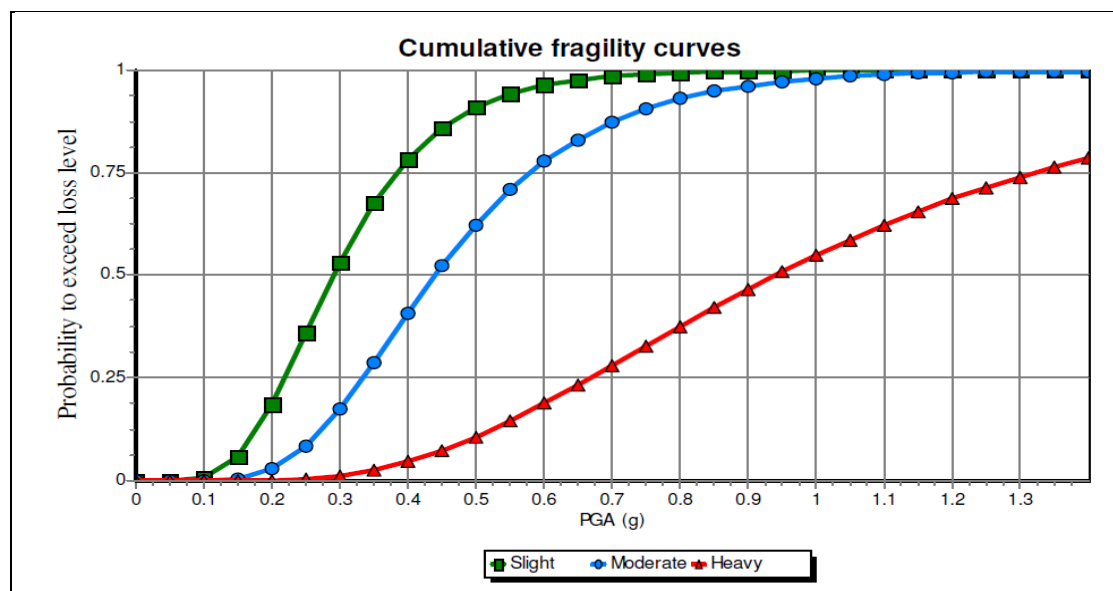
Πίνακας 5.18 – Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας “Σηράγγων” (ALA, 2002) ( Πηγή : [32] )



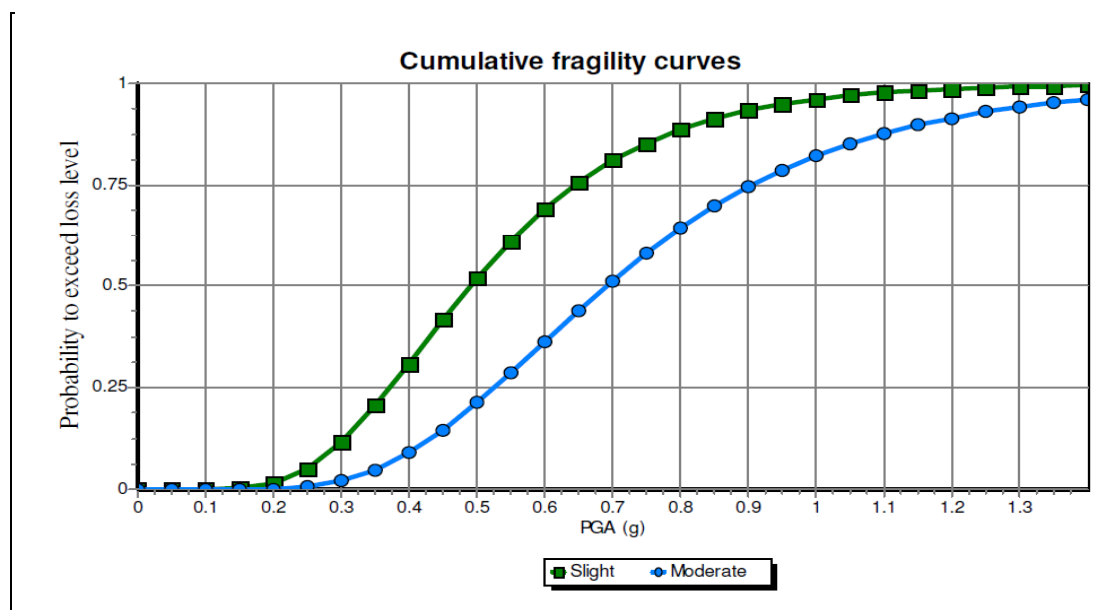
Σχήμα 5.16 – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, για κακές έως μέτριες τεχνικές κατασκευής, σε συνθήκες βράχου, υπό PGA (ALA, 2002) ( Πηγή : [32] )



Σχήμα 5.17 – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, για καλές τεχνικές κατασκευής, σε συνθήκες βράχου, υπό PGA (ALA, 2002) ( Πηγή : [32] )



Σχήμα 5.18 – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, για κακές έως μέτριες τεχνικές κατασκευής και σε αλλούβια, ή cut & cover, υπό PGA (ALA, 2002) ( Πηγή : [32] )

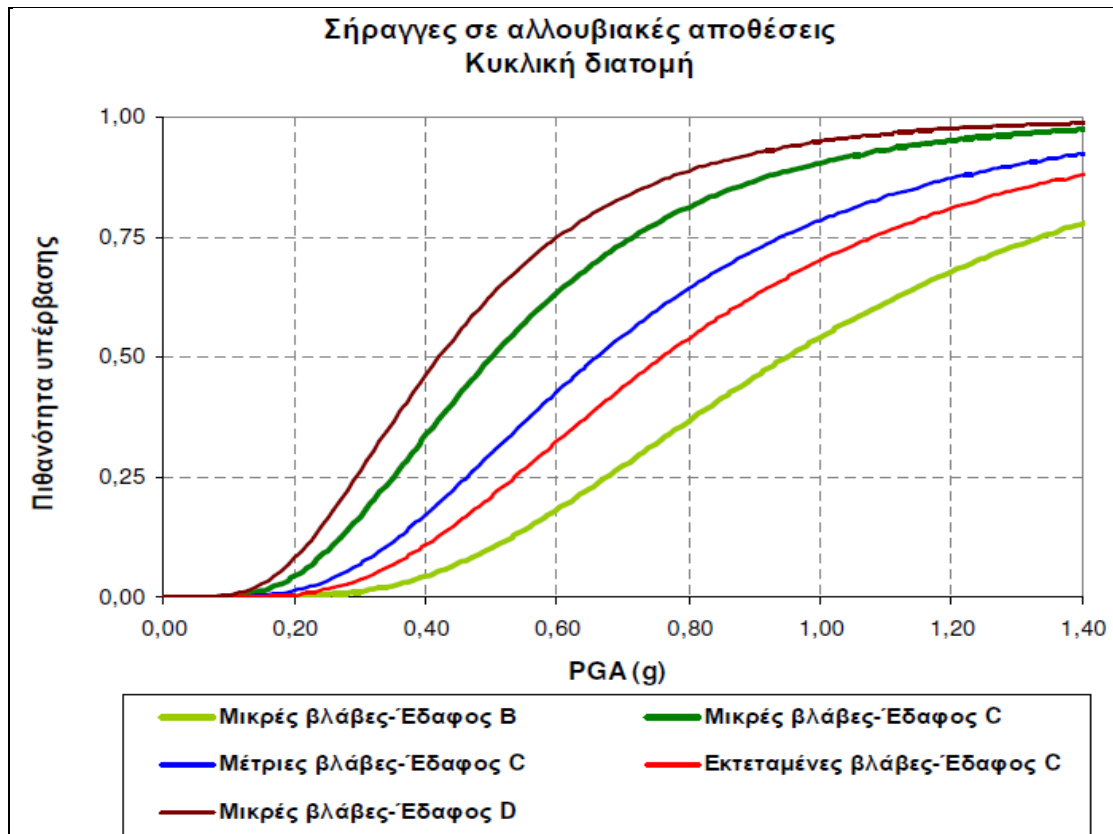


Σχήμα 5.19 – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, για καλές τεχνικές κατασκευής και σε αλλούβια, ή cut & cover, υπό PGA (ALA, 2002) ( Πηγή : [32] )

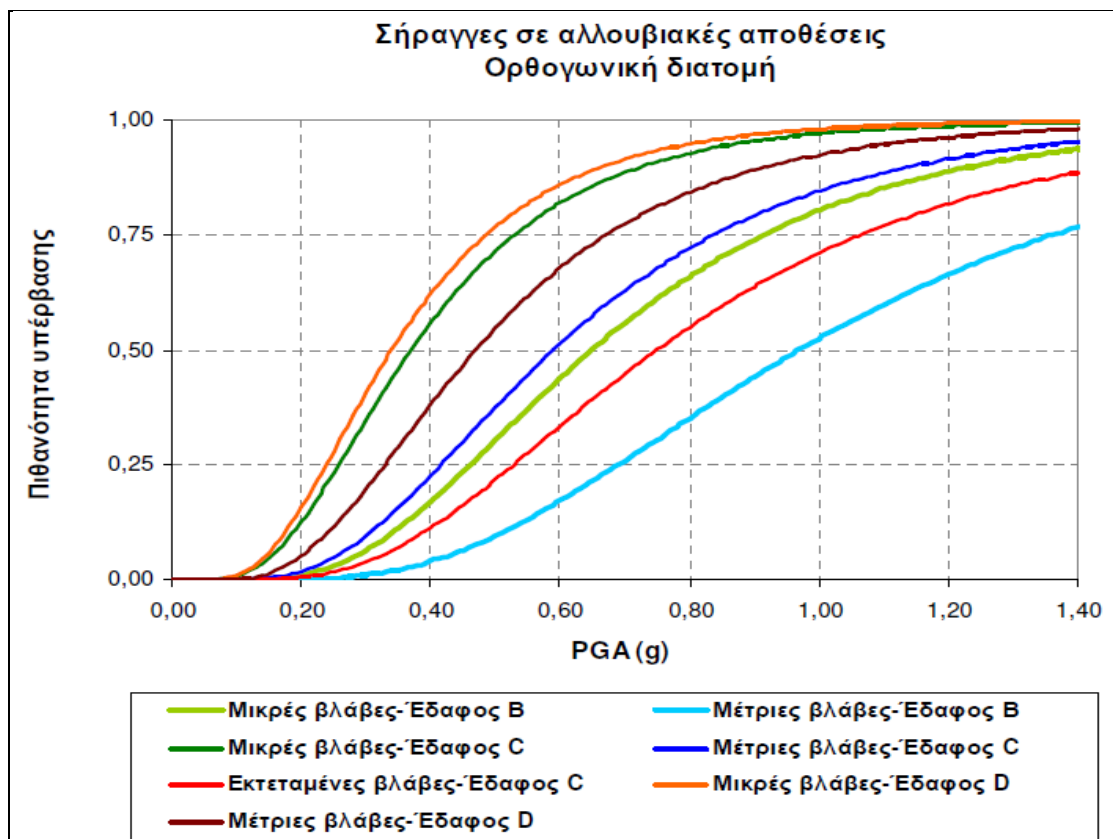
Επίπεδο Βλάβης	Μικρή (g)	Μεσαία (g)	Εκτεταμένη (g)	β (λογαριθμική τυπική απόκλιση)
Κυκλική				
Έδαφος B	0.96	–	–	0.50
Έδαφος C	0.51	0.67	0.76	0.52
Έδαφος D	0.42	–	–	0.53
Ορθογωνική				
Έδαφος B	0.66	0.98	–	0.50
Έδαφος C	0.38	0.59	0.75	0.53
Έδαφος D	0.34	0.47	–	0.53

Πίνακας 5.19 – Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας “Σηράγγων”, σε αλλούβια (Αργυρούδης & συνεργάτες, 2006) ( Πηγή : [32] )





Σχήμα 5.20 – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, σε αλλούβια, για κυκλική διατομή (Αργυρούδης & συνεργάτες, 2006) ( Πηγή : [32] )



Σχήμα 5.21 – Καμπύλες τρωτότητας “Σηράγγων”, σε αλλούβια, για ορθογωνική διατομή (Αργυρούδης & συνεργάτες, 2006) ( Πηγή : [32] )

## **5.2 Υφιστάμενες Καμπύλες Τρωτότητας Συνιστωσών Δικτύου Αποχέτευσης**

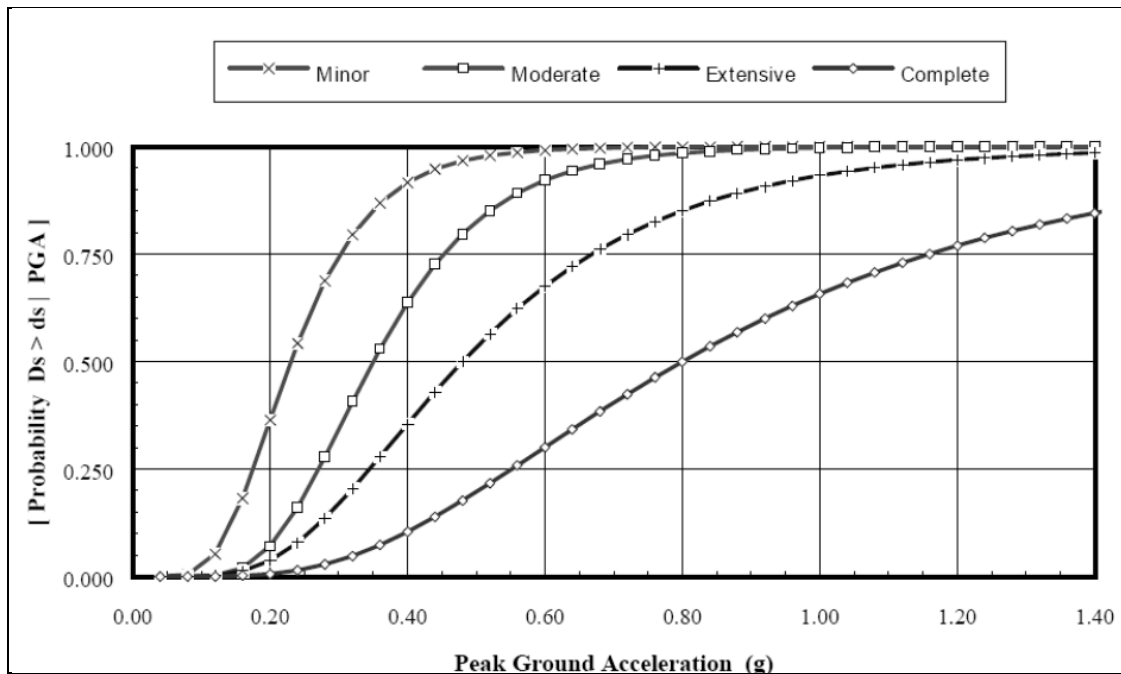
Ο Πίνακας 5.20 παρουσιάζει μια σύντομη ανασκόπηση των υφιστάμενων καμπυλών τρωτότητας για τους χώρους απόθεσης των στερεών αποβλήτων, εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, αντλιοστάσια και αγωγούς.

Συνιστώσα	Παραπομπή	Μεθοδολογία	Κατάταξη	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Επίπεδα Βλάβης	Δείκτες Βλάβης
Χώρος Απόθεσης Στερεών Αποβλήτων	Matasovic et al., 1998	Σύμφωνα με τις παρατηρηθείσες βλάβες.			Πέντε επίπεδα βλάβης : V: Major damage, IV: Significant damage, III: Moderate damage, II: Minor damage, I: Little or No damage	Περιγραφή του χρόνου αποκατάστασης.
Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων	NIBS, 2004	HAZUS – εμπειρική καμπύλη τρωτότητας. Δύο παράμετροι (μέση τιμή και τυπική απόκλιση β), λογαριθμική αθροιστική κατανομή.	Πολύπλοκη συνιστώσα. Γίνεται διάκριση σύμφωνα με : – Αγκύρωση ή μη των δευτερευόντων στοιχείων – Μέγεθος (μικρή, μεσαία, μεγάλη)	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Πέντε επίπεδα βλάβης : None (ds1), slight/minor (ds2), moderate (ds3), extensive (ds4) and complete (ds5).	Περιγραφή του είδους και της έκτασης των βλαβών. Περιγραφή του επιπέδου λειτουργικότητας.
	SRM-LIFE, 2003- 2007	HAZUS – εμπειρική καμπύλη τρωτότητας. Δύο παράμετροι (μέση τιμή και τυπική απόκλιση β), λογαριθμική αθροιστική κατανομή.	Πολύπλοκη συνιστώσα με αγκυρωμένα δευτερεύοντα στοιχεία, ανεξάρτητα από το μέγεθος αλλά σύμφωνα με τον τύπο κατασκευής.	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)	Πέντε επίπεδα βλάβης : None (ds1), slight/minor (ds2), moderate (ds3), extensive (ds4) and complete (ds5).	Περιγραφή του είδους και της έκτασης των βλαβών. Περιγραφή του επιπέδου λειτουργικότητας.

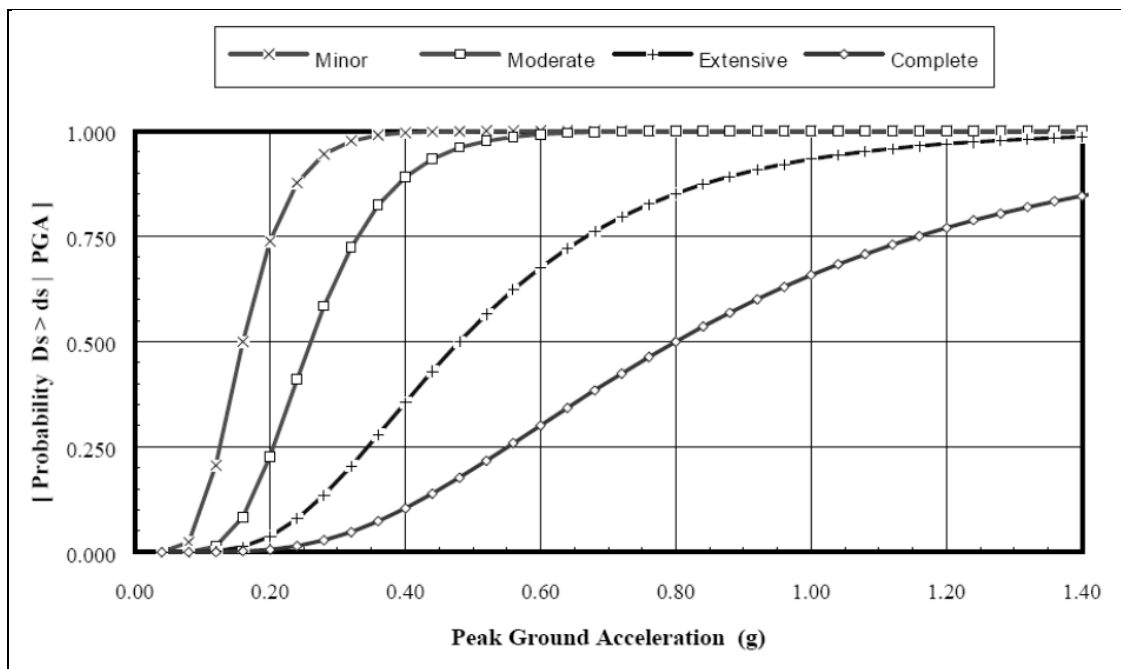
Πίνακας 5.20 – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συνιστωσών Δικτύου Αποχέτευσης ( Πηγή : [1] )

Συνοστώσα	Παραπομπή	Μεθοδολογία	Κατάταξη	Παράμετρος Σεισμικής Διέγερσης	Επίπεδα Βλάβης	Δείκτες Βλάβης
Αντλιοστάσιο						Όμοια με το Δίκτυο Ύδρευσης.
Αγωγοί						Όμοια με το Δίκτυο Ύδρευσης.
Σήραγγες						Όμοια με το Δίκτυο Ύδρευσης.

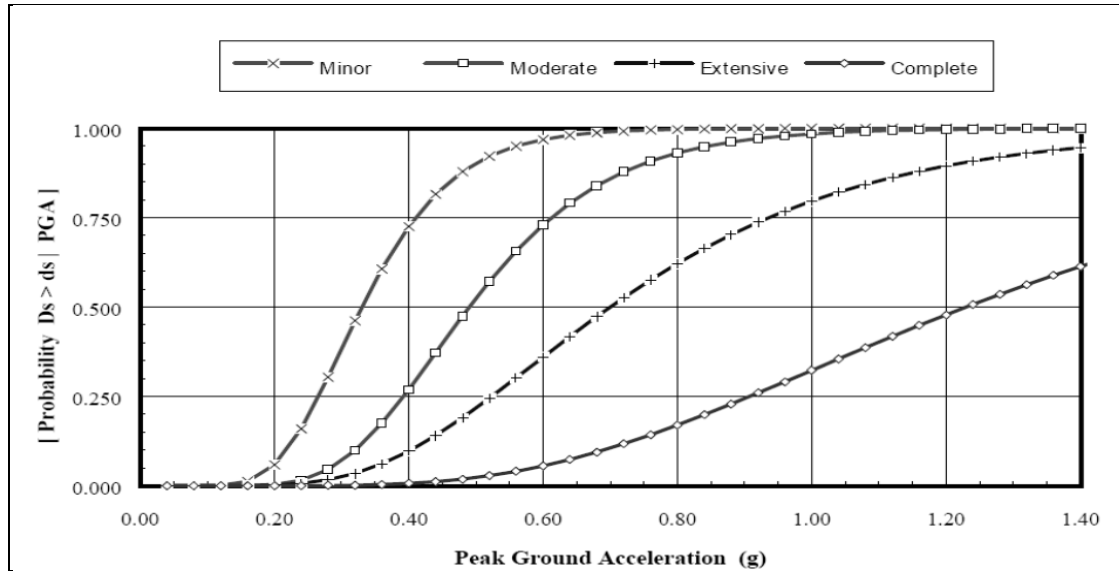
Πίνακας 5.20 – Υφιστάμενες καμπύλες τρωτότητας συσιστωσών Δικτύου Αποχέτευσης ( Πηγή : [1] )



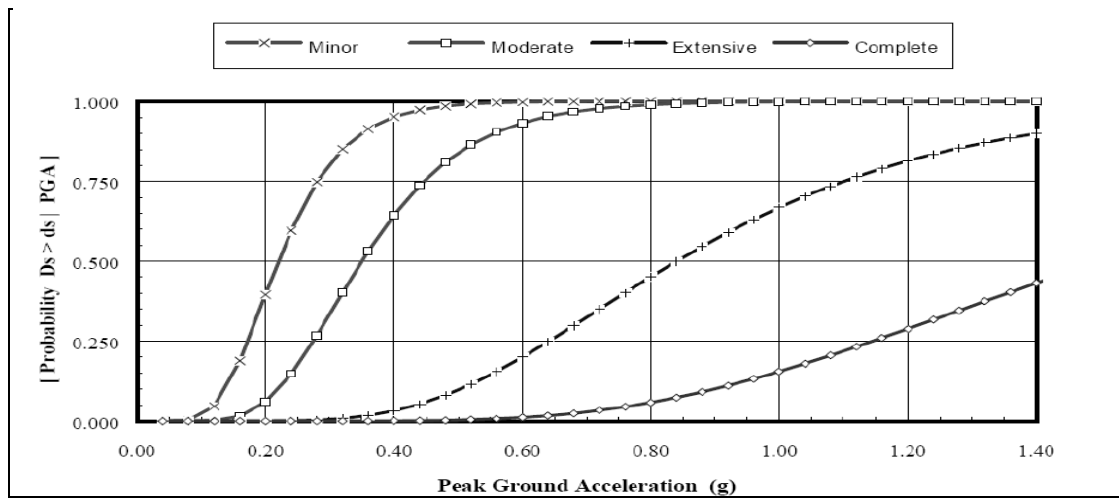
Σχήμα 5.22 – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων”, μεσαίου μεγέθους, με αγκυρωμένα εξαρτήματα, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] )



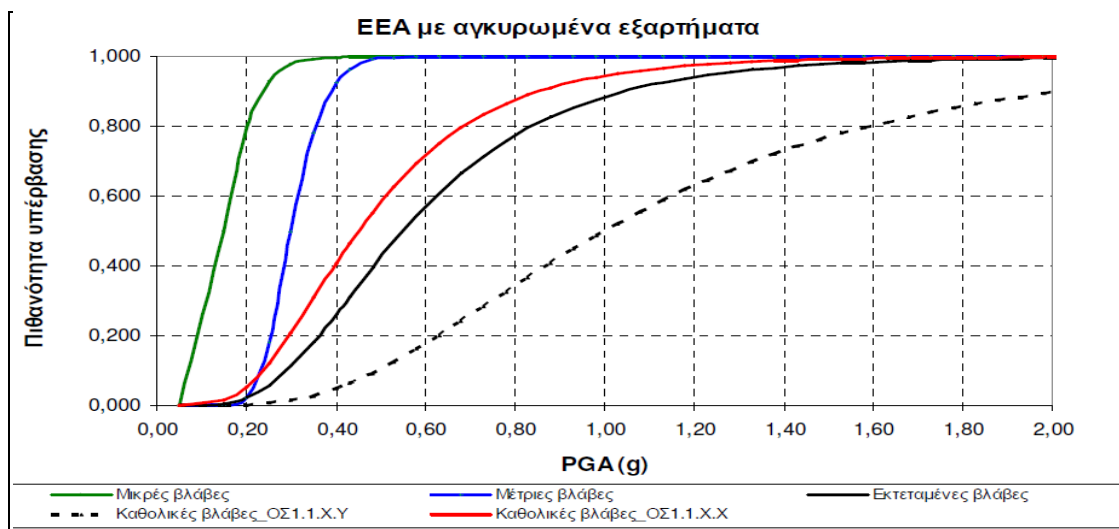
Σχήμα 5.23 – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων”, μεσαίου μεγέθους, χωρίς αγκυρωμένα εξαρτήματα, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] )



Σχήμα 5.24 – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων”, μεγάλου μεγέθους, με αγκυρωμένα εξαρτήματα, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] )



Σχήμα 5.25 – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων”, μεγάλου μεγέθους, χωρίς αγκυρωμένα εξαρτήματα, υπό PGA (HAZUS, 2004) ( Πηγή : [32] )



Σχήμα 5.26 – Καμπύλες τρωτότητας “Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων”, μικρού μεγέθους, με αγκυρωμένα εξαρτήματα, υπό PGA (Pitilakis et al.) ( Πηγή : [32] )

### 5.3 Επικύρωση με βάση σύγχρονους σεισμούς

Πρόσφατοι καταστρεπτικοί σεισμοί (Kocaeli,  $M_s = 7.8$ , 17/08/1999 & Düzce,  $M_s = 7.3$ , 12/11/1999 στην Τουρκία και τη Λευκάδα,  $M_s = 6.4$ , 14/8/2003 στην Ελλάδα) προκάλεσαν σημαντικές ζημιές σε Γραμμές Ζωής λόγω εδαφικών ταλαντώσεων ή/και μόνιμων παραμορφώσεων του εδάφους.



Σχήμα 5.27 – Τοποθεσία των πόλεων Λευκάδα & Düzce ( Πηγή : [1] )

Λίγες εκατοντάδες ζημιές σε υπόγειους αγωγούς των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης αναφέρθηκαν στην πόλη Düzce, ενώ στην πόλη της Λευκάδας (Σχήμα 5.27) οι ζημιές που αναφέρθηκαν ήταν πολύ λιγότερες αλλά εξίσου σημαντικές. Ο στόχος των μελετών αυτών είναι να συγκρίνει τις εκτιμώμενες ζημιές με τις εκείνες που παρατηρήθηκαν και αναφέρθηκαν στις δύο πόλεις, προκειμένου να επικυρώσει τις υπάρχουσες καμπύλες τρωτότητας. Αυτή η συγκριτική μελέτη είναι μία από τις πρώτες επαρκώς τεκμηριωμένες μελέτες σε όλη την περιοχή της Μεσογείου, όπου έχουμε μια σημαντική έλλειψη δεδομένων σχετικά με ζημιές σε Γραμμές Ζωής κατά τη διάρκεια σεισμών. Η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία βασίζεται σε μια λεπτομερή καταγραφή των παρατηρούμενων βλαβών και σε μια τοπική ανάλυση της απόκρισης του εδάφους για την προσομοίωση της χωρικής μεταβλητότητας των κινήσεων του εδάφους κατά τη διάρκεια των δύο ισχυρών σεισμών που συνέβησαν στις πόλεις Düzce και Λευκάδας.

Αρκετές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για τον σεισμό στην πόλη Düzce (Alexoudi, 2005; Pitilakis et al., 2005; Alexoudi et al., 2007, 2008, 2010) για τα δίκτυα ύδρευσης και αποχέτευσης, με στόχο την καταγραφή των παρατηρούμενων βλαβών και την σύγκρισή τους με τις αναμενόμενες βλάβες, οι οποίες προκύπτουν από την χρήση υπαρχουσών καμπυλών τρωτότητας.

### 5.3.1 Düzce

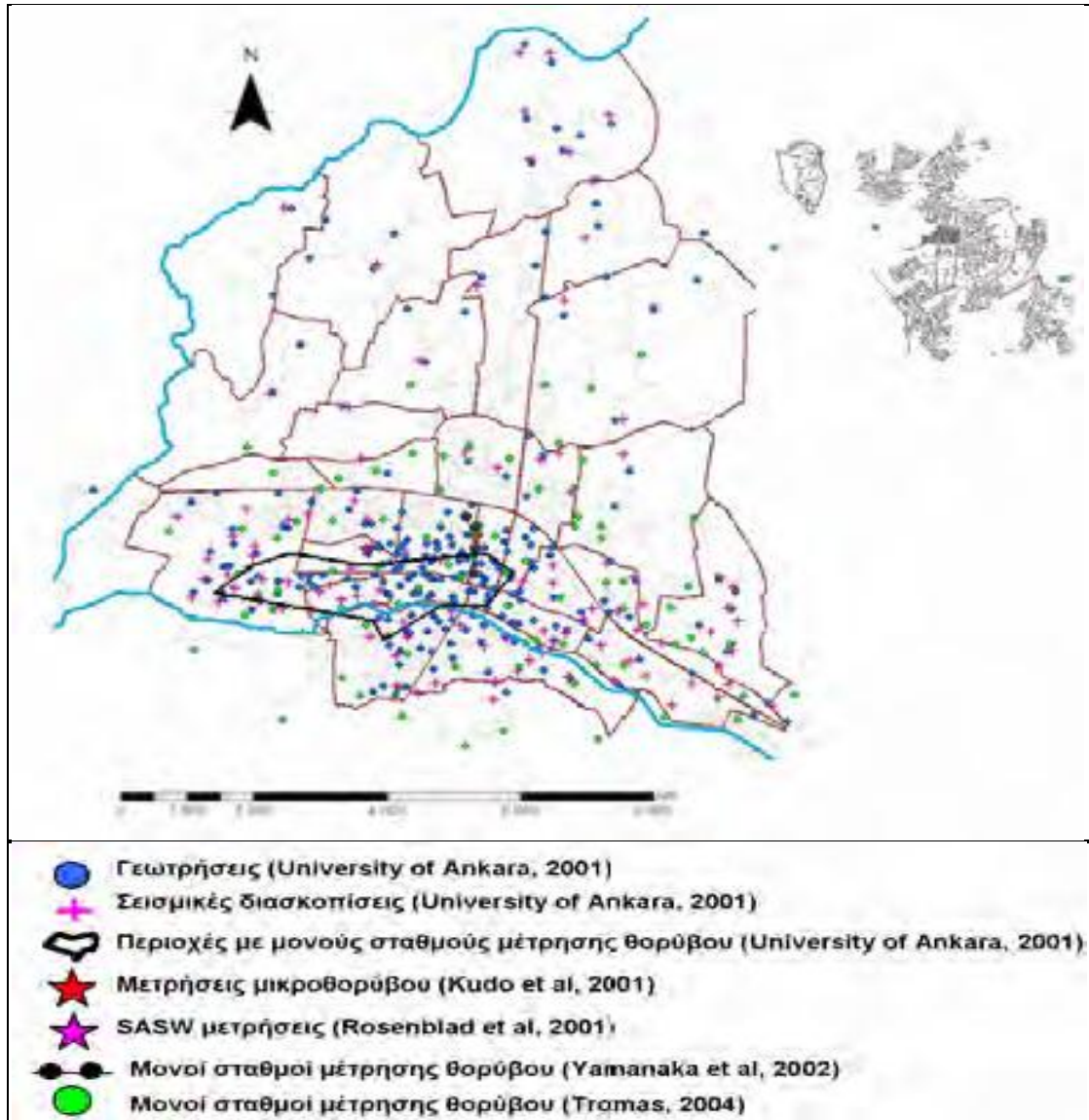
Η πόλη του Düzce βρίσκεται μεταξύ Άγκυρας και Κωνσταντινούπολης. Σε κοντινή απόσταση βρίσκεται το ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας (NAF) ενώ δίπλα στο Düzce βρίσκεται ένα παρακλάδι του NAF. Οι δύο μεγάλοι σεισμοί σε Kocaeli (17/8/1999, 40.702 N, 29.987 E, Mw = 7.4) και σε Düzce (11/12/1999, 31.15E, 40.77N, Mw = 7.2) που σημειώθηκαν στην περιοχή προκάλεσαν σημαντικές ζημιές στην πόλη του Düzce.

#### *Δίκτυο Ύδρευσης*

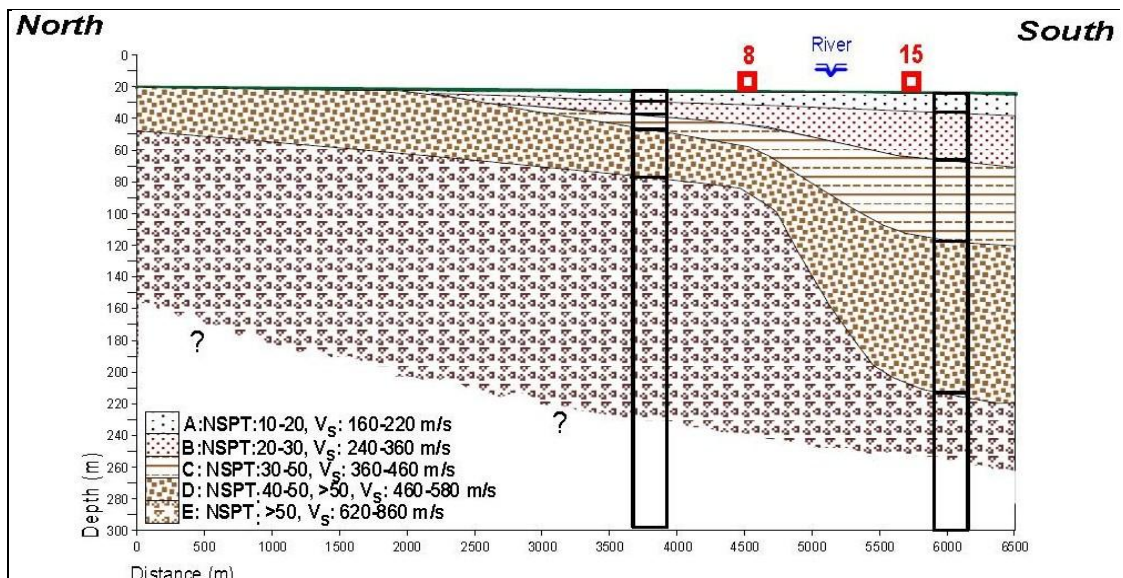
Το σύστημα υδροδότησης στην Düzce χρονολογείται από το 1940. Το προϋπάρχων δίκτυο είναι περίπου 500 χιλιόμετρα σε μήκος, παρόλο που δεν υπάρχουν χάρτες για επιβεβαίωση (Tadday και Sahin, 2001). Αυτό το παλιό δίκτυο ήταν ακόμα σε χρήση κατά τη στιγμή των σεισμών Kocaeli και Düzce. Το νέο δίκτυο είναι συνδεδεμένο με το παλιό, με μια σειρά από παρακάμψεις. Το παλιό δίκτυο είναι κυρίως CI (χυτοσίδηρο), με κάποιους σωλήνες από AC (αμιαντοτσιμέντο). Το σύνολο του δικτύου διανομής, επομένως, είναι από σωλήνες που συνήθως χαρακτηρίζονται ως εύθραυστοι. Ένας αγωγός με διάμετρο 600 mm από AC (αμιαντοτσιμέντο) μεταφέρει ακατέργαστο νερό από την κύρια πηγή (τον ποταμό Uğur) στο εργοστάσιο επεξεργασίας νερού, που βρίσκεται στα νότια της πόλης. Στη συνέχεια, ένας αγωγός με διάμετρο 1 m από χάλυβα μεταφέρει το επεξεργασμένο νερό του δικτύου διανομής, μέσω της επαρχίας Azmimilli. Δίδυμοι αγωγοί από CI, διαμέτρου 125 mm, ερχόμενοι από τα βόρειο – ανατολικά της πόλης, μεταφέρουν επίσης νερό από γεωτρήσεις και λίμνες για να συμπληρώσουν την κύρια πηγή υδροληψίας (αυτή του ποταμού Uğur). Το δίκτυο ύδρευσης, λοιπόν, είναι ένα μικτό σύστημα που αποτελείται από παλαιά και νέα τμήματα. Το συνολικό μήκος 298 χιλιόμετρα ενώ το μέσο βάθος των αγωγών του δικτύου είναι 1.50 m.

Επίσης έγινε μία τοπική μελέτη απόκρισης για την πόλη Düzce. Ο γεωτεχνικός χάρτης απορρέει από υφιστάμενα γεωλογικά και γεωτεχνικά δεδομένα, καθώς και από γεωτρήσεις που έγιναν στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου SRM – DGC, 2006 – 2008 (Σχήμα 5.28). Το βάθος του βραχώδους υποβάθρου ( $\approx 120$  m) ορίστηκε χρησιμοποιώντας τόσο γεωλογικά και σεισμολογικά δεδομένα (συλλογή ενός μεγάλου αριθμού των μετασεισμών στο Μετεωρολογικό Σταθμό και εκτίμηση της H/V φασματικής αναλογίας). Το παραπάνω αποτέλεσμα είχε επίσης επιβεβαιωθεί από στοιχεία τοπογραφικών χαρτών της περιοχής καθώς και από μετρήσεις μικροθορύβου (Kudo et al, 2000; Rosenblad et al., 2001) (Σχήμα 5.28). Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω γεωτεχνικά και γεωλογικά δεδομένα, πολυάριθμες 2-D τομές του εδάφους έχουν κατασκευαστεί κατά μήκος της πόλης Düzce (Σχήμα 5.29). Με βάση τις 2-D τομές, περίπου τριάντα εδαφικά προφίλ προτάθηκαν σε συγκεκριμένα σημεία κατά μήκος της πόλης, προκειμένου να εκτελεστούν μια σειρά 1-D ισοδύναμων γραμμικών αναλύσεων. Η χωρική κατανομή των υπολογιζόμενων μέσω των τιμών της μέγιστης επιτάχυνσης του εδάφους (PGA) και της μέγιστης ταχύτητας του εδάφους (PGV) σε συνδυασμό με το ψηφιοποιημένο σύστημα νερού παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.30 τόσο για τον σεισμό Kocaeli, όσο και για τον σεισμό Düzce, αντίστοιχα.

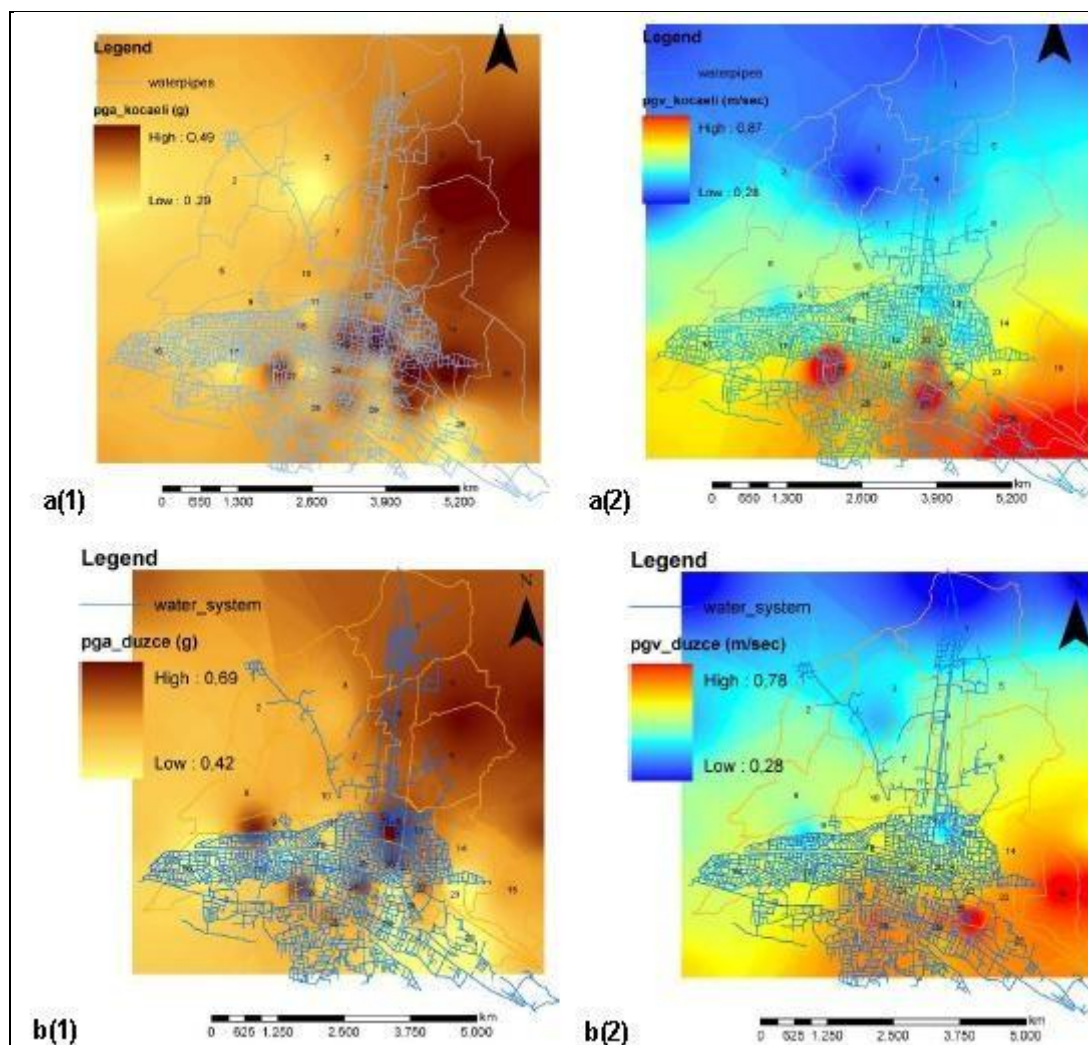




Σχήμα 5.28 – Θέσεις διαθέσιμων γεωτρήσεων και δοκιμών μικροθορύβου στην πόλη της Düzce ( Πηγή : [21] )



Σχήμα 5.29 – Τυπική 2-D γεωτεχνική τομή κατά πλάτος της πόλης της Düzce ( Πηγή : [21] )



Σχήμα 5.30 - Μέθοδος: 1-D ισοδύναμη γραμμική ανάλυση, Τοπική Κατάσταση Εδάφους: Βασισμένη στα προφίλ εδάφους ( Πηγή : [1] ).

α) Σεισμός: Kocaeli, 1999, PGA (g) [a (1)], PGV (m/sec) [a (2)]

β) Σεισμός: Düzce, 1999, PGA (g) [b (1)], PGV (m/sec) [b (2)]

Προκειμένου να πιστοποιηθούν οι διαθέσιμες καμπύλες τρωτότητας για αγωγούς νερού, διαφορετικές συναρτήσεις τρωτότητας επιλέχθηκαν για τη σύγκριση των εκτιμώμενων βλαβών με τις παρατηρούμενες βλάβες κατά τους σεισμούς. Ο Πίνακας 5.21 δίνει τις αστοχίες αγωγών νερού λόγω εδαφικής ταλάντωσης για τέσσερις διαφορετικές συναρτήσεις τρωτότητας καθώς και τις καταγεγραμμένες αστοχίες.

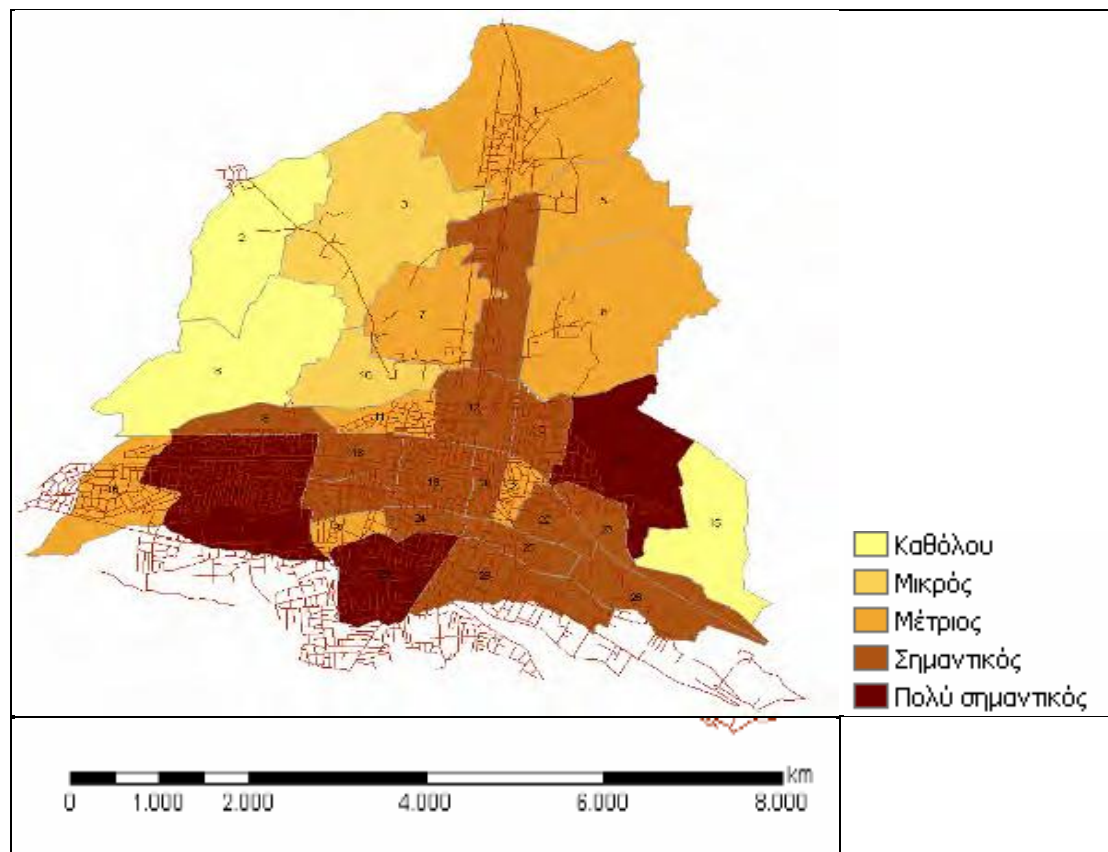
Για 2 μήνες μετά τους σεισμούς σε Kocaeli και Düzce, κατεγράφησαν περίπου 298 και 238 αστοχίες αγωγών νερού, αντίστοιχα (Tromans, 2004). Επειδή το μήκος του δικτύου ύδρευσης της πόλης Kocaeli είναι 433.60 km, ενώ της πόλης Düzce 298.81 km έγινε μετατροπή των δύο μηκών ( $298.81/433.60$ ), προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα. Έτσι, οι (ανηγμένες στο ίδιο μήκος) καταγεγραμμένες ζημιές σε αγωγούς νερού είναι 200 και 164 για Kocaeli και Düzce αντίστοιχα. Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο μέσος όρος των καταγεγραμμένων αστοχιών σε μηνιαία βάση ήταν 95 (Tromans J, 2004) ενώ οι πραγματικές απώλειες υπολογίζονται σε 80% της αρχικής παροχής νερού.

Καμπύλες Τρωτότητας \ Σεισμός	DÜZCE	KOCAELI
O' Rourke and Ayala (1993)	147	116
Isoyama et al. (1998)	80	66
Eidinger and Avila (1999)	104	84
ALA (2001)	28	25
<b>Recorded</b>	<b>164</b>	<b>200</b>

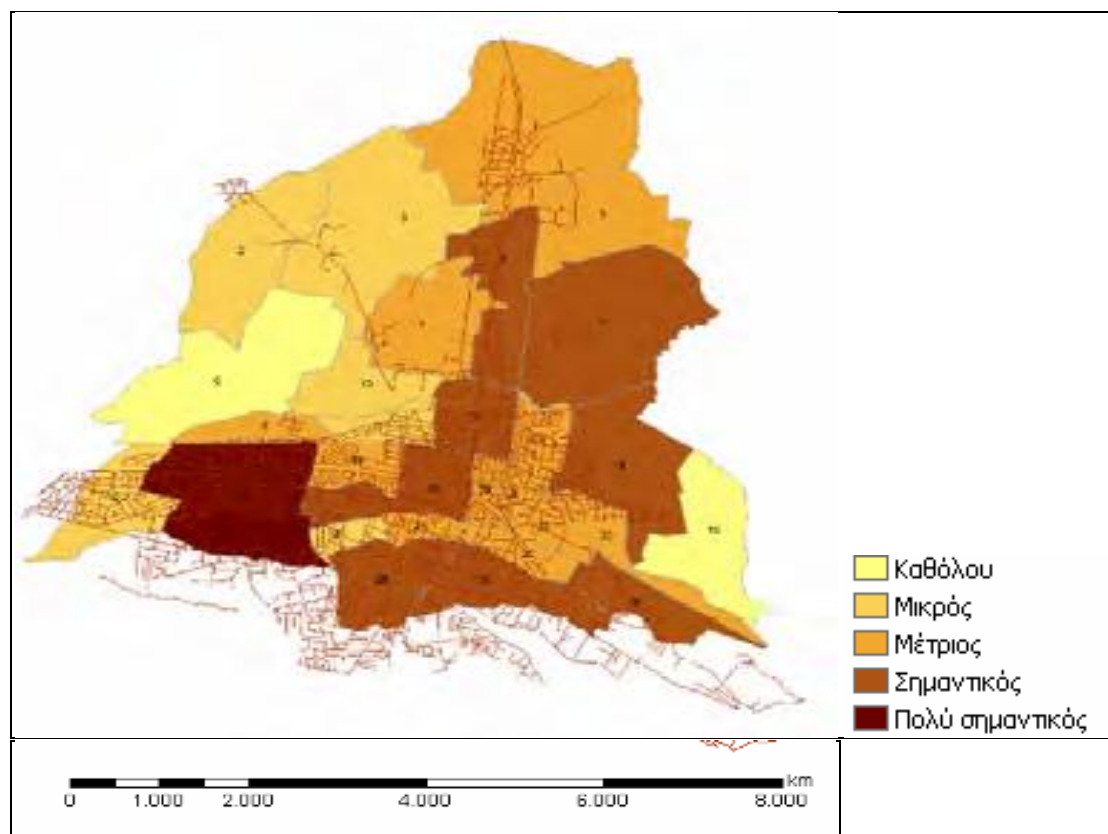
Πίνακας 5.21 – Εκτιμώμενες και καταγεγραμμένες αστοχίες αγωγών νερού λόγω εδαφικής ταλάντωσης (Alexoudi et al., 2010). ( Πηγή : [1] )

Συγκρίνοντας λοιπόν τις εκτιμώμενες αστοχίες από τους δύο σεισμούς και αφαιρώντας τις προϋπάρχουσες, η σχέση των O' Rourke & Ayala (1993), αντικατοπτρίζει με τον καλύτερο τρόπο την πραγματικότητα μέσα στα πλαίσια των αβεβαιοτήτων και των πιθανών λαθών στις καταγεγραμμένες αστοχίες του σεισμού του Kocaeli. Η σχέση τρωτότητας των ALA (2001) υποεκτιμάει κατά πολύ τις αστοχίες που προέρχονται από εδαφική ταλάντωση, συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες σχέσεις, ενώ οι αστοχίες που προβλέπονται από την σχέση των Eidinger & Avila E (1999) είναι 20 – 30 % μειωμένες από τις καταγεγραμμένες για τους δύο σεισμούς. Η σχέση των Isoyama et al (1998) προβλέπει σχεδόν τις μισές αστοχίες συγκρινόμενες με αυτές των O' Rourke & Ayala (1993). Ωστόσο, οι καταγεγραμμένες αστοχίες από το σεισμό του Kocaeli είναι αδικαιολόγητα μεγαλύτερες από το σεισμό της Düzce, παρόλο που τα μεγέθη της ισχυρής εδαφικής κίνησης και η ένταση Arias που συνδέεται με το σεισμό της Düzce είναι δύο φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του Kocaeli, και για τις δύο οριζόντιες συνιστώσες. Επιπλέον η μεγαλύτερη διάρκεια του σεισμού της Düzce είναι ένας άλλος παράγοντας που ενισχύει την πεποίθηση ότι κανονικά αναμενόταν περισσότερες αστοχίες στο δίκτυο ύδρευσης.

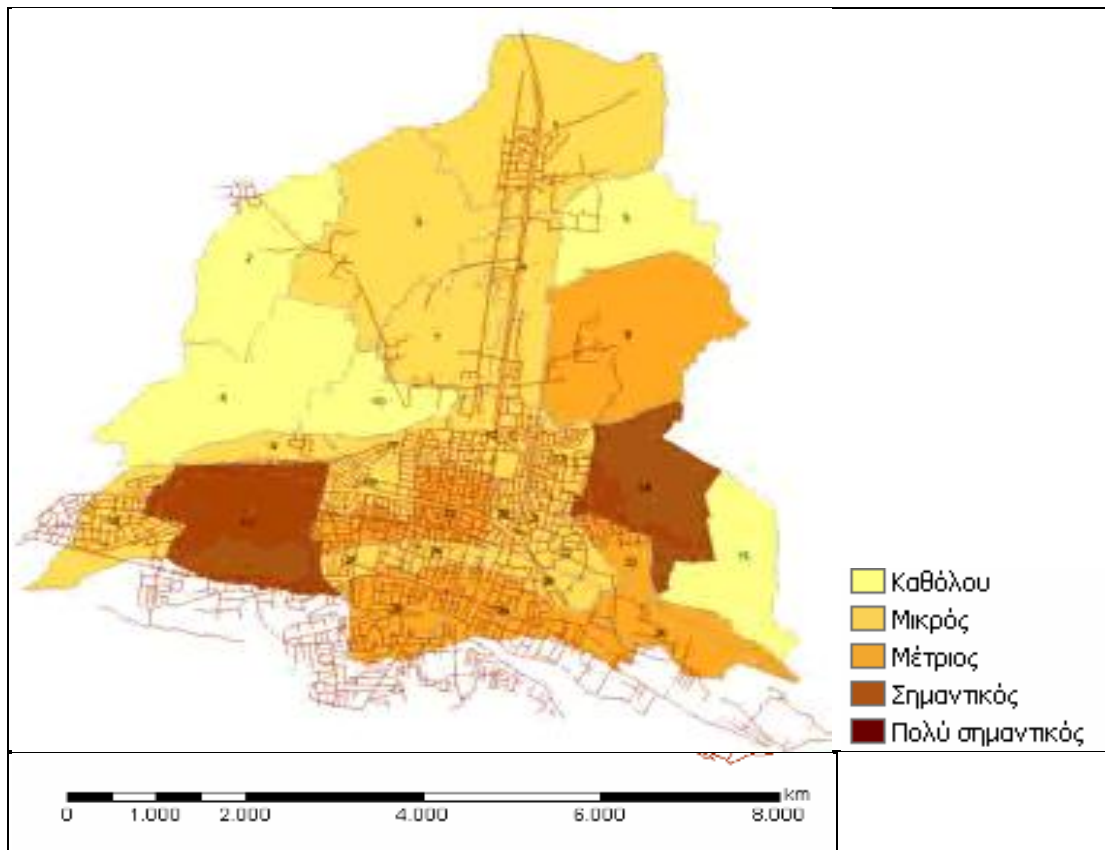
Στα Σχήματα 5.31, 5.32, 5.33 και 5.34 παρουσιάζεται η διασπορά των αστοχιών ανά μαχαλά ως αποτέλεσμα των 4 σχέσεων τρωτότητας για την περίπτωση της Μικροζωνικής μελέτης. Αναλύοντας τα δεδομένα φαίνεται ότι η χωρική κατανομή των αστοχιών μέσω της καμπύλης τρωτότητας των O' Rourke & Ayala (1993) πλησιάζει περισσότερο τις καταγεγραμμένες αστοχίες (Tromans J, 2004; Alexoudi, 2005).



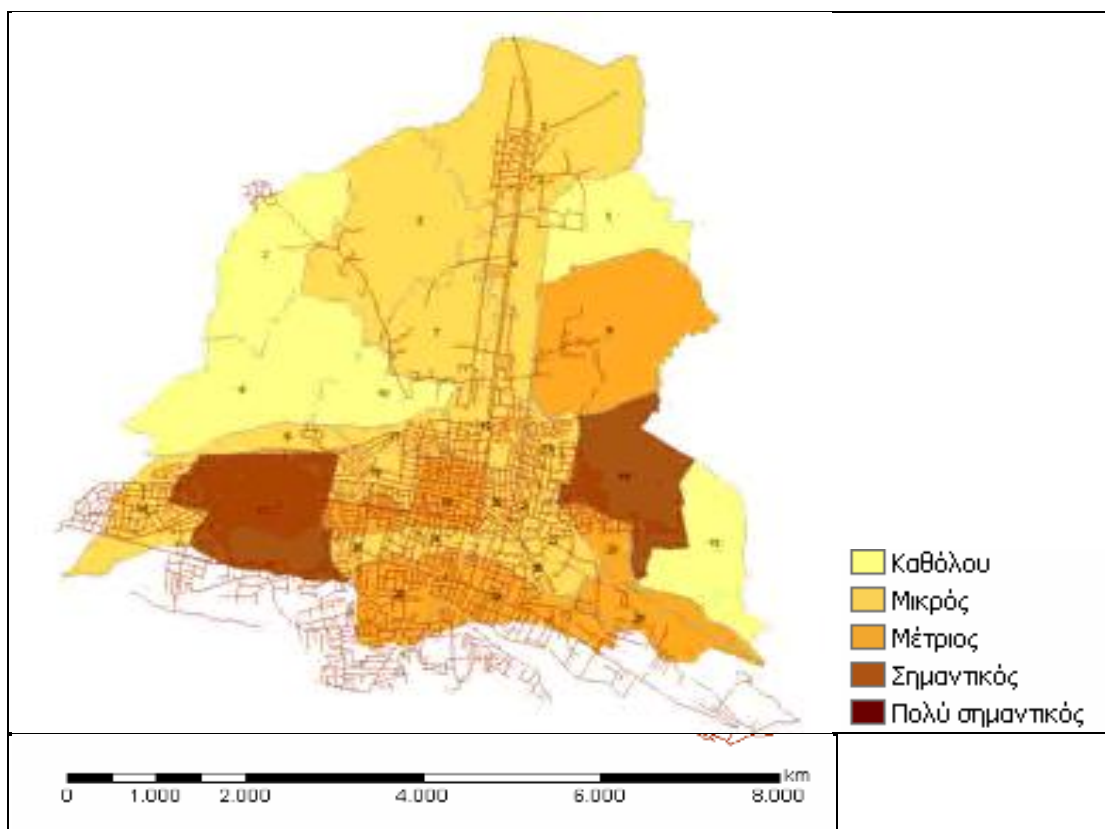
Σχήμα 5.31 – Χωρική κατανομή των αναμενόμενων αστοχιών του δικτύου ύδρευσης ανά μαχαλά (Μικροζωνική μελέτη, Σχέση Τρωτότητας: O' Rourke & Ayala, 1993) ( Πηγή : [21] )



Σχήμα 5.32 – Χωρική κατανομή των αναμενόμενων αστοχιών του δικτύου ύδρευσης ανά μαχαλά (Μικροζωνική μελέτη, Σχέση Τρωτότητας: Eidingger & Avila, 1999) ( Πηγή : [21] )



Σχήμα 5.33 – Χωρική κατανομή των αναμενόμενων αστοχιών του δικτύου ύδρευσης ανά μαχαλά (Μικροζωνική μελέτη, Σχέση Τρωτότητας: Isoyama et al, 1998) ( Πηγή : [21] )

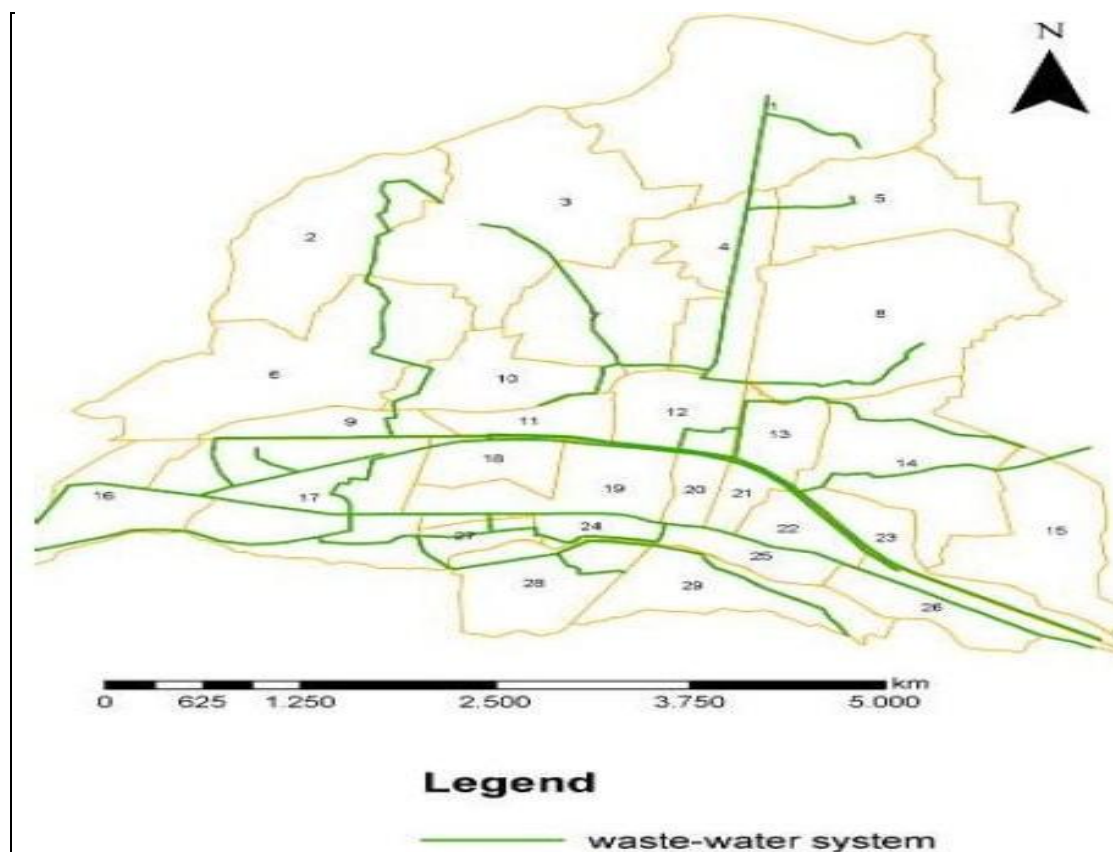


Σχήμα 5.34 – Χωρική κατανομή των αναμενόμενων αστοχιών του δικτύου ύδρευσης ανά μαχαλά (Μικροζωνική μελέτη, Σχέση Τρωτότητας: ALA, 2001) ( Πηγή : [21] )

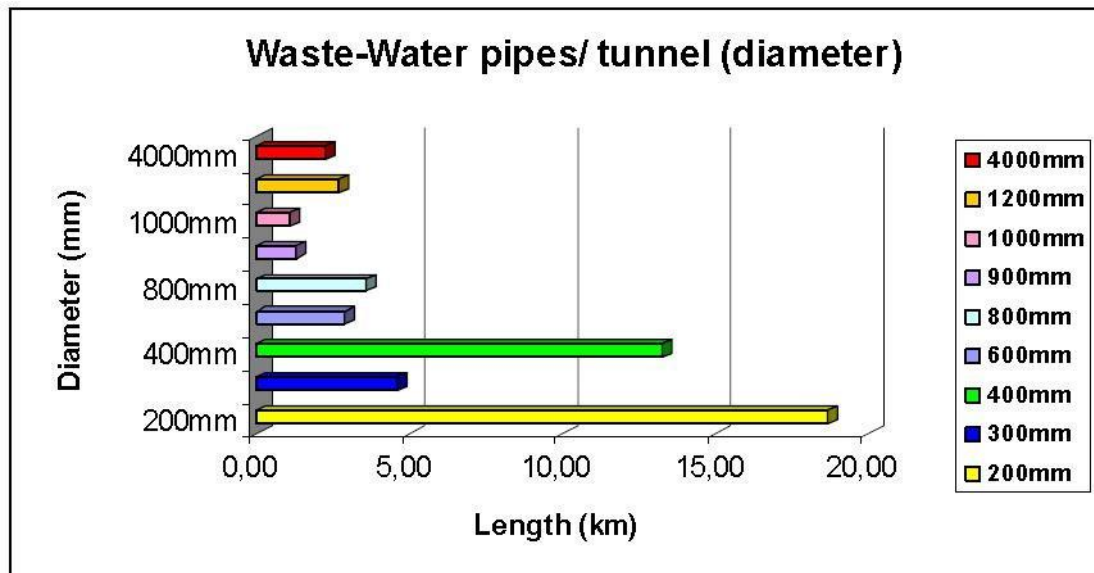
Στους μαχαλάδες 17, 28 και 14 αναμένονται οι μεγαλύτερες αστοχίες (περισσότερες από 21), κυρίως λόγω των τοπικών εδαφικών συνθηκών και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των δικτύων στις εν λόγω περιοχές, ενώ στους μαχαλάδες 2, 6 και 15 δεν αναμένονται σχεδόν καθόλου αστοχίες. Είναι αναγκαίο να διευκρινισθεί ότι οι μαχαλάδες που παρουσιάζουν σημαντικές αστοχίες (9 μέχρι 20) επικεντρώνονται στο κεντρικό και νότιο τμήμα της πόλης (μαλακά και χαλαρά εδάφη με μεγάλες τιμές PGV), ενώ στο βόρειο και ανατολικό τομέα της πόλης (σκληρά εδάφη) αναμένονται μέτριες αστοχίες (5 μέχρι 8). Στο κεντροδυτικό τμήμα υπάρχουν τομείς (μαχαλάδες) που επίσης αναμένεται να αντιμετωπίσουν μικρές αστοχίες (1 μέχρι 4).

#### Δίκτυο Αποχέτευσης

Το δίκτυο αποχέτευσης της πόλης Düzce (Σχήμα 5.35) είναι ένα δίκτυο βαρύτητας που χρονολογείται από τη δεκαετία του 1940, αν και αρκετά τμήματα του συστήματος χρονολογούνται από τις αρχές του 1900. Η προϋπάρχων δίκτυο εκτιμάται ότι είναι περίπου 300 χιλιόμετρα σε μήκος, παρόλο που δεν υπάρχουν χάρτες για επιβεβαίωση. Τόσο το παλαιό, όσο και το νέο δίκτυο ήταν σε χρήση κατά τους σεισμούς της Kocaeli και Düzce. Τα τμήματα του δικτύου που έχουν αποτυπωθεί στο ψηφιοποιημένο δίκτυο αποτελούνται από 50,6 km σωλήνων – αγωγών με κυκλική διατομή, ενώ το υπόλοιπο (3,44 km) έχει διάφορες διατομές (ορθογωνικές, οβάλ). Το υλικό των αγωγών του δικτύου αποχέτευσης είναι σκυρόδεμα και η κατανομή των διαμέτρων τους απεικονίζεται στο Σχήμα 5.36. Πληροφορίες σχετικά με τις διαστάσεις, τις διατομές και το υλικό κατασκευής για το υπόλοιπο δίκτυο δεν είναι διαθέσιμες. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το 93% του δικτύου αποτελείται από ευθραύστους αγωγούς, ολόκληρο το δίκτυο μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα εύθραυστο δίκτυο (Alexouidi, 2005).

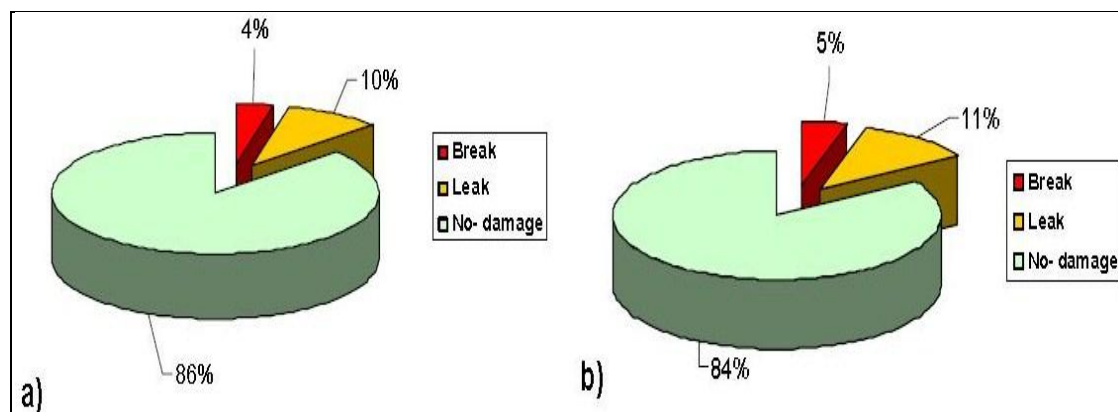


Σχήμα 5.35 – Δίκτυο Αποχέτευσης της πόλης Düzce ( Πηγή : [1] )



Σχήμα 5.36 - Κατανομή διαμέτρων των αγωγών του δικτύου αποχέτευσης της πόλης Düzce (Πηγή: [1])

Εφαρμόζοντας τις σχέσεις τρωτότητας των O' Rourke και Ayala (1993) εκτιμήθηκαν συνολικά 52 αστοχίες (10 θραύσεις, 42 διαρροές) ως αποτέλεσμα της ταλάντωσης του εδάφους κατά τον σεισμό Düzce και 44 αστοχίες (9 διαλείμματα, 35 διαρροές) ως αποτέλεσμα της ταλάντωσης του εδάφους κατά τον σεισμό Kocaeli (Σχήμα 5.37).

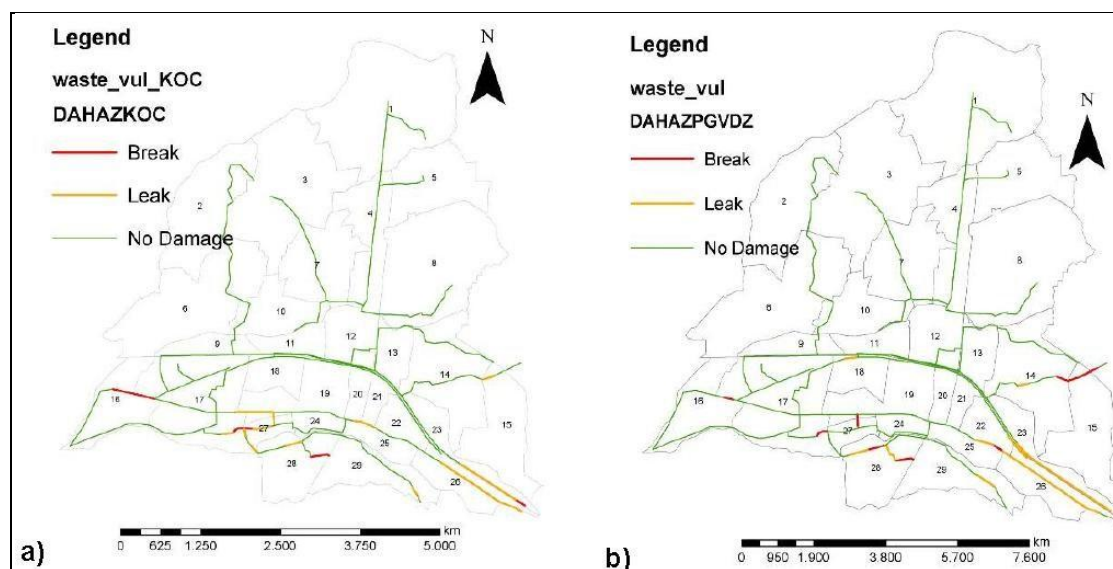


Σχήμα 5.37 – Εκτιμώμενες βλάβες του δικτύου αποχέτευσης της πόλης Düzce ως ποσοστό του συνολικού μήκους του δικτύου, για τους σεισμούς a) Kocaeli και b) Düzce (Alexoudi et al., 2008) (Πηγή : [1])

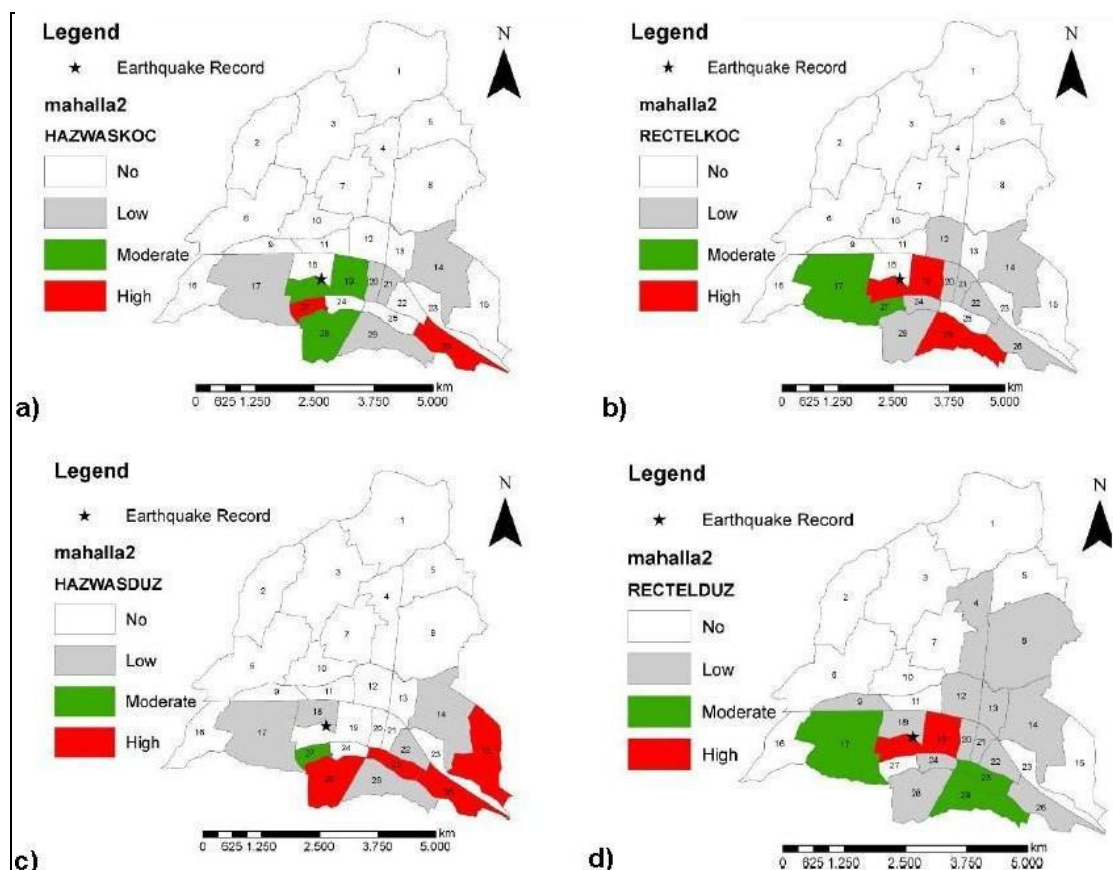
Η χωρική κατανομή των βλαβών του δικτύου αποχέτευσης ως αποτέλεσμα των σεισμών Duzce και Kocaeli φαίνεται στο Σχήμα 5.38.

Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε από τον Tromans (2004) για τους αγωγούς ύδρευσης της πόλης χρησιμοποιήθηκε για την επικύρωση των εκτιμώμενων βλαβών του δικτύου αποχέτευσης, η οποία προέκυψε από την διενεργηθείσα αξιολόγηση της τρωτότητας κατά τους σεισμούς σε Kocaeli και Düzce. Θεωρήθηκε ότι οι αστοχίες του δικτύου ύδρευσης είναι αρκετά παρόμοιες με τις βλάβες του δικτύου αποχέτευσης, μία εκτίμηση που υιοθετείται από την εταιρία διαχείρισης του δικτύου αποχέτευσης της πόλης Düzce, αν και, κάποια ατομικά χαρακτηριστικά των

δύο δικτύων μπορεί να επηρεάσουν την σεισμική απόκριση των δύο δικτύων. Ειδικότερα, το υλικό κατασκευής, η παλαιότητα του δικτύου και οι πρακτικές κατασκευής μπορεί να αλλάξουν σε μεγάλο βαθμό την απόκριση του σωλήνα.



Σχήμα 5.38 – Χωρική κατανομή των βλαβών του δικτύου αποχέτευσης της πόλης Düzce, για τους σεισμούς a) Kocaeli και b) Düzce (Alexoudi et al., 2008) (Πηγή : [1])



Σχήμα 5.39 – Εκτιμώμενες βλάβες σε αγωγούς του δικτύου αποχέτευσης ανά μαχαλά, για τους σεισμούς a) Kocaeli, b) Düzce και καταγεγραμμένες βλάβες σε αγωγούς του δικτύου ύδρευσης ανά μαχαλά, για τους σεισμούς c) Kocaeli, d) Düzce (Alexoudi et al., 2008) (Πηγή : [1])



Μια σύγκριση μεταξύ των καταγεγραμμένων βλαβών σε αγωγούς νερού (που προέρχεται από την βάση δεδομένων του Tromans, 2004) και των εκτιμώμενων βλαβών του δικτύου αποχέτευσης ως αποτέλεσμα του σεισμού Kocaeli απεικονίζεται στο Σχήμα 5.39a,b. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι αναμενόμενες βλάβες από τους δύο σεισμούς βρίσκονται στο νότιο τμήμα της πόλης (σχεδόν στους ίδιους μαχαλάδες που εντοπίστηκαν βλάβες στο δίκτυο ύδρευσης και παρατηρήθηκαν μεγάλες τιμές στις PGV). Για το σεισμό της πόλης Düzce, οι αντίστοιχες βλάβες (Σχήμα 5.39c,d) φαίνεται να έχουν κάποιες μικρές διαφορές, κυρίως λόγω του περιορισμένου χρόνου αποκατάστασης αυτών μεταξύ των δύο σεισμών. Επιπλέον, οι βλάβες στο δίκτυο αποχέτευσης είναι πολύ δύσκολο να αναγνωριστούν, δεδομένου ότι δεν έχουν σχέση με μείωση της πίεσης ή μείωση της ροής και δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία πριν και μετά τους σεισμούς.

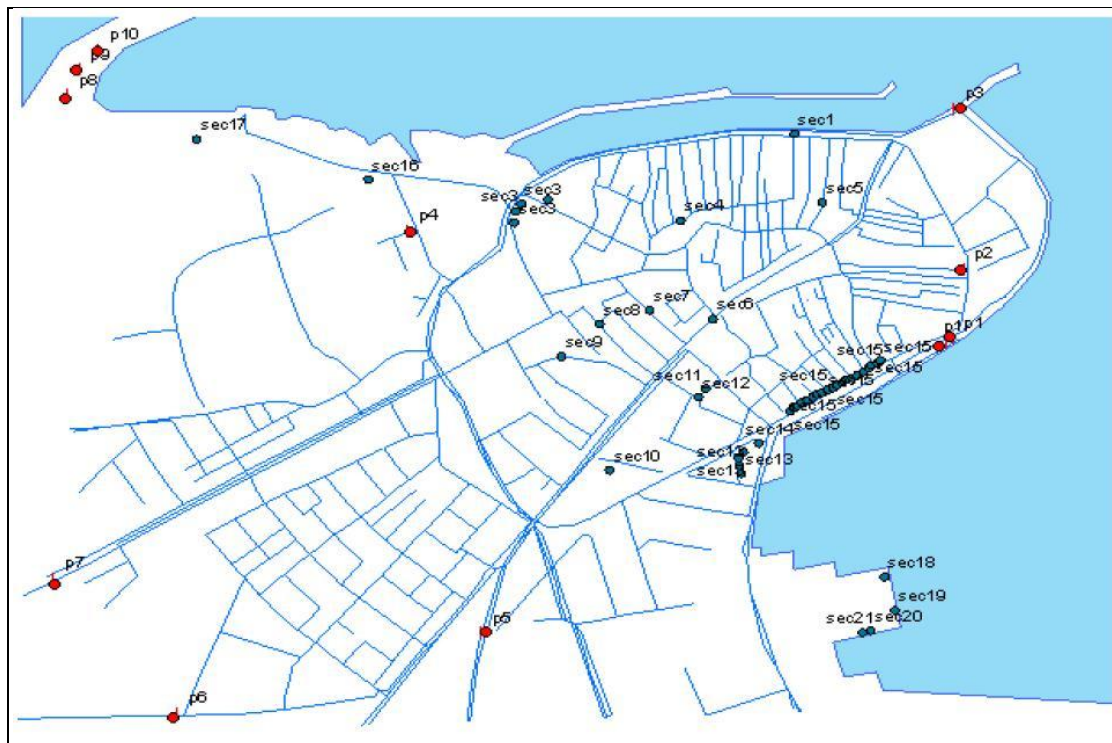
### 5.3.2 Λευκάδα

Το δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας (Σχήμα 5.40) κατασκευάστηκε το 1979 και έχει σχεδιαστεί για ημερήσια κατανάλωση νερού ίση με 5400m<sup>3</sup>. Ως πηγή υδροληψίας για το δίκτυο εντός της πόλης θεωρείται η παροχή νερού από την δεξαμενή οπλισμένου σκυροδέματος χωρητικότητας 1000m<sup>3</sup>. Η υδροληψία του εξωτερικού υδραγωγείου γίνεται από τις πηγές Μοναστηρίου του Νομού Αιτωλοακαρνανίας (ποταμό Λούρο). Το δίκτυο είναι βρογχωτό εκτός των ακτινωτών αγωγών που εξέρχονται από την πόλη. Οι σωλήνες είναι κυρίως από PVC (86%) διαφορετικών διαμέτρων (πίεσης 10atm) με αντίστοιχα ειδικά τεμάχια κόμβων. Οι διακλαδώσεις τους διαμορφώθηκαν με χυτοσιδερένια φλατζωτά τεμάχια και εξαρτήματα. Σε μικρό ποσοστό στο δίκτυο υπάρχουν αμιαντοσιμεντοσωλήνες με ζιμπώ (14%) καθώς αποδείχθηκαν ακατάλληλοι για την πόλη λόγω του υψηλού υπόγειου ορίζοντα και της διάβρωσης που μπορούν να υποστούν. Σήμερα η πίεση των αγωγών διανομής μέσα στην πόλη της Λευκάδας είναι γύρω στα 3.5 – 4.0 atm. Το δίκτυο ήταν σε εξαιρετική κατάσταση με πολύ μικρό αριθμό προ-σεισμικών διαρροών.

Η Λευκάδα βρίσκεται σε μια από τις πιο σεισμογενείς περιοχές της Ελλάδας (περιοχή σεισμικότητας III,  $\alpha=0.30g$ ) σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000. Το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού στην περιοχή είναι  $M_{max}=7.1$  (ζώνη 6, Παραϊοαννου & Παπαζαχος, 2000). Στις 14/08/2003, έγινε σεισμός,  $M_w=6.4$ , μικρού βάθους ( $h=10km$ ) στο σεισμογόνο χώρο κοντά στην πόλη της Λευκάδας. Ο συγκεκριμένος σεισμός προκάλεσε σημαντικές αστοχίες στα δίκτυα και στις υποδομές ενώ σχετικά μικρότερες ήταν οι αστοχίες που προκλήθηκαν στα κτίρια. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκαν 10 αστοχίες σε κύριους αγωγούς (παλιά πόλη), 5 αστοχίες στην περιοχή της μαρίνας, ενώ πάνω από 80 αστοχίες καταγράφηκαν στους αγωγούς σύνδεσης του δικτύου με τους καταναλωτές σε όλη την πόλη. Η χωρική κατανομή των αστοχιών παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.40.

Σε γενικές γραμμές, οι ζημιές που παρατηρήθηκαν κατά μήκος της παραλιακής ζώνης (3 ζημιές – 1 διπλή ζημιά, δηλαδή στον ίδιο αγωγό 2 βλάβες) και στην "Γύρα" (3 ζημιές), προέκυψαν από μόνιμη παραμόρφωση του εδάφους λόγω

ρευστοποίησης. Οι υπόλοιποι 4 ζημιές μπορεί να αποδοθούν στην διάδοση των κυμάτων και την αστοχία του υλικού των αγωγών. Οι τρόποι αστοχίας που παρατηρήθηκαν για τους αγωγούς από PVC και αμιαντοσιμέντο στο σεισμό της Λευκάδας ήταν άμεση αστοχία του σώματος του αγωγού και ολίσθηση των εκατέρωθεν τεμάχων στις αρθρώσεις. Οι βλάβες στην μαρίνα και στην παραλιακή ζώνη αποδίδονται στις μεγάλες κάθετες και οριζόντιες μετατοπίσεις λόγω ρευστοποίησης.



Σχήμα 5.40 – Χωρική κατανομή του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας και των βλαβών στους κύριους και δευτερεύοντες αγωγούς του δικτύου (Σύμβολα : p – βασικό δίκτυο, sec – συνδέσεις καταναλωτών) ( Πηγή : [22] )

Οι βασικοί γεωτεχνικοί – γεωλογικοί σχηματισμοί στην πόλη της Λευκάδας αποτελούνται από τις πρόσφατες αποθέσεις (σήμερα σε βάθη που κυμαίνονται από 10.6 m έως 16.0 m), οι οποίες υπέρκεινται σκληρού στρώματος από μάργες που εκτείνεται έως το βραχώδες υπόβαθρο. Τα ανώτερα στρώματα των αποθέσεων περιλαμβάνουν ένα άνω στρώμα με συνεκτικά εδάφη (διατμητική ταχύτητα κυμάτων  $V_s = 180 - 250 \text{ m/sec}^2$ ) στο οποίο εμφανίζονται τοπικά χαλαρά κορεσμένα αμμώδη και λασπώδη στρώματα, αρκετά ευαίσθητα στην στερεοποίηση. Τα παραπάνω εμφανίζονται ως επί το πλείστον σήμερα στα παράκτια τμήματα της εξεταζόμενης περιοχής, υποκείμενα από ένα στρώμα των συντριμμιών βάθους 1.0 – 5.7 m. Το κάτω στρώμα των αποθέσεων, είναι μέσης και μεγάλης πυκνότητας άργιλοι και ιλύες στο κεντρικό τμήμα της πόλης, ενώ στην παράκτια περιοχή επικρατούν στρώματα ιλυωδών άμμων μέσης και μεγάλης πυκνότητας. Η ταξινόμηση του εδάφους και ο απλοποιημένος γεωτεχνικός χαρακτηρισμός της περιοχής βασίστηκε σε διάφορες γεωλογικές τομές μαζί με τις πληροφορίες από το εργαστήριο και τις επί τόπου δοκιμές (ως επί το πλείστον δοκιμές SPT). Οι γεωτεχνικές πληροφορίες βασίζονται σε 17 γεωτεχνικές γεωτρήσεις, σε δοκιμές SPT και σε cross – hole μετρήσεις της διατμητική ταχύτητα κυμάτων  $V_s$ .

Ο εκτιμώμενος αριθμός των επισκευών που βασίζονται σε διαφορετικές καμπύλες τρωτότητας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.22 τόσο για την διάδοση σεισμικών κυμάτων (PGV), όσο και για μόνιμες παραμορφώσεις του εδάφους (PGD). Μια σύγκριση μεταξύ του αριθμού των εκτιμώμενων επισκευών και των παρατηρούμενων βλαβών για το δίκτυο ύδρευσης της Λευκάδας δίνεται στον Πίνακα 5.23 και στον Πίνακα 5.24 (Alexoudi, 2005; Pitilakis et al., 2005).

Σχέσεις Τρωτότητας	Εδαφική Ταλάντωση PGVew = 30 – 46.60 cm/sec		Μόνιμες μετακινήσεις PGD = 1.0 – 40.42 cm		Συνδυασμός PGV – PGD	
	R.R./km	Αστοχίες	R.R./km	Αστοχίες	R.R./km	Αστοχίες
Ο'Rourke & Ayala (1993) και Eguchi (1992)  HAZUS 2004	0,137	4 επισκευές	0,137	4 επισκευές	0,206	6 επισκευές
		3 διαρροές, 1 θραύση		1 διαρροή, 3 θραύσεις		4 διαρροές, 2 θραύση
Eddinger & Avila (1999)	0,103	3 επισκευές	0,893	26 επισκευές	0,859	25 επισκευές
		2 διαρροές, 1 θραύση		5 διαρροές, 21 θραύσεις		3 διαρροές, 22 θραύσεις
ALA (2001)	0,034	1 επισκευή	0,756	22 επισκευές	0,721	21 επισκευές
		1 διαρροή, 0 θραύσεις		5 διαρροές, 18 θραύσεις		3 διαρροές, 18 θραύσεις
Isoyama et al. (1998)	0,103	3 επισκευές				
		2 διαρροές, 1 θραύση				
Heubach (1995)			R.R./km	Αστοχίες		
			0,309	9 επισκευές 2 διαρροές, 7 θραύσεις		
Καταγε – γραμμένες	R.R./km	Αστοχίες	R.R./km	Αστοχίες	R.R./km	Αστοχίες
	0,137	4 επισκευές	0,137	4 επισκευές	8 επισκευές	

Πίνακας 5.22 – Σύγκριση των αστοχιών που εκτιμήθηκαν και των καταγεγραμμένων στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας ( Πηγή : [22] )

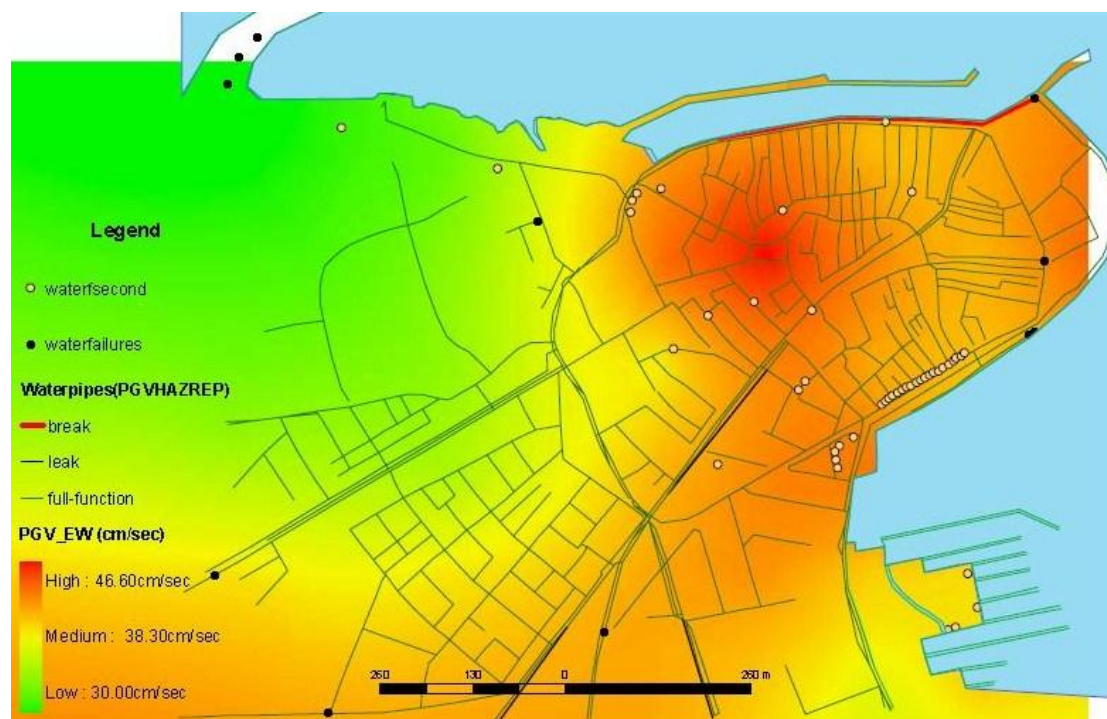
RR/km	O' Rourke and Ayala (1993)	Eidinger and Avila (1999)	Isoyama (1998)	ALA (2001 a.b)	Recorded damages
R.R. (PGV)	0.137	0.103	0.103	0.034	0.137

Πίνακας 5.23 – Σύγκριση του ρυθμού επισκευών που εκτιμήθηκαν και των καταγεγραμμένων (διάδοση κυμάτων) στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας ( Πηγή : [1] )

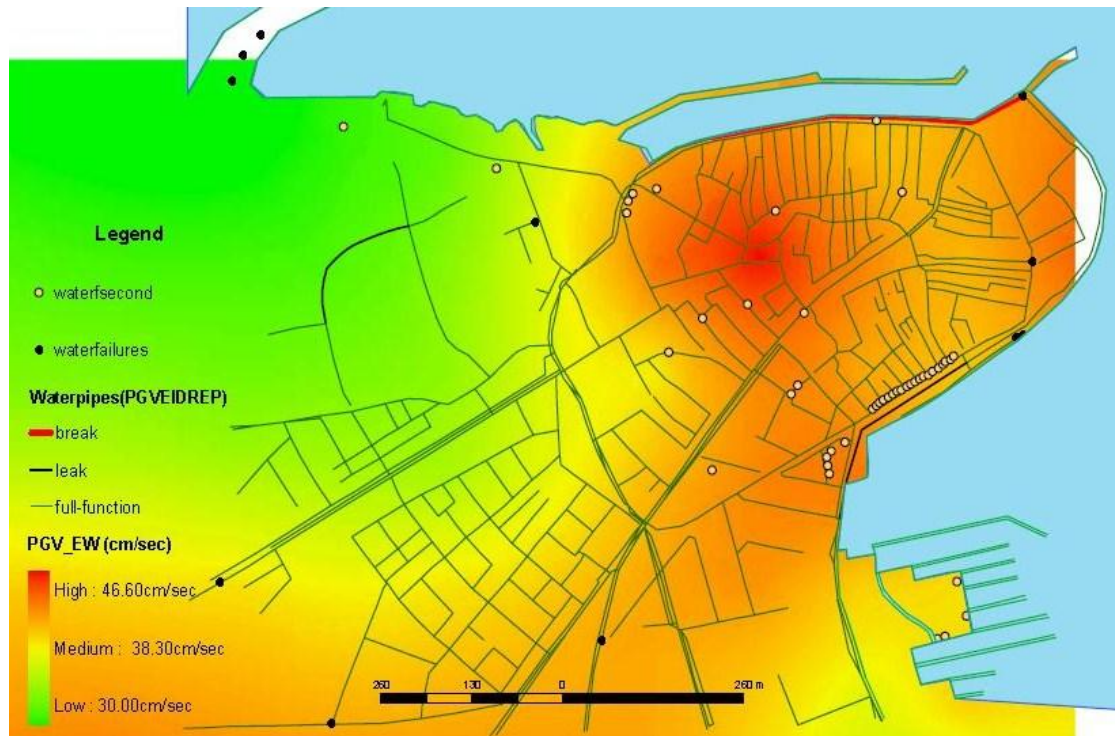
Vulnerability relations	No. of failures	Recorded damages
O' Rourke και Ayala (1993)	4	4
Eidinger και Avila (1999)	3	
Isoyama et al. (1998)	3	
ALA (2001)	1	

Πίνακας 5.24 – Σύγκριση του αριθμού των αστοχιών που εκτιμήθηκαν και των καταγεγραμμένων (διάδοση κυμάτων) στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας ( Πηγή : [1] )

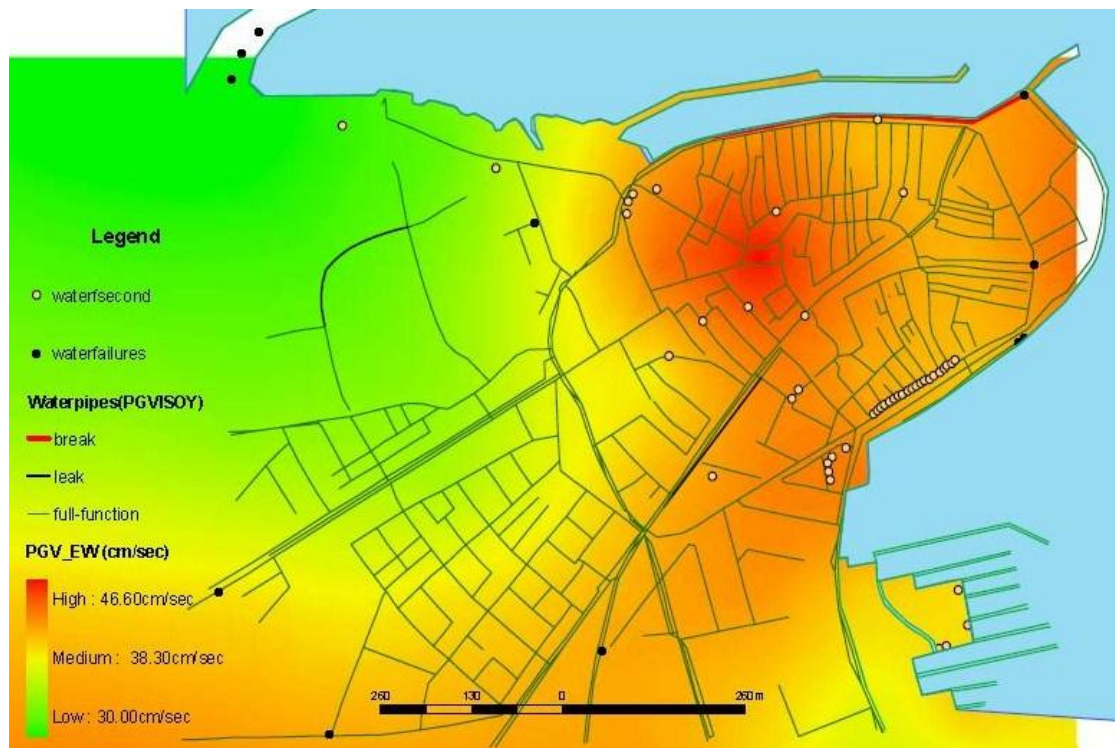
Εφαρμόζοντας την σχέση τρωτότητας των O' Rourke και Ayala (1993) τέσσερις (4) αστοχίες υπολογίστηκαν για το δίκτυο ύδρευσης της Λευκάδας και για το σεισμικό σενάριο του 2003. Η σχέση της ALA (2001) υποεκτιμά τις αστοχίες για την διάδοση σεισμικών κυμάτων (PGV), καθώς προβλέπει μόνο μία (1). Για την περίπτωση της μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης (PGD), η σχέση των Honegger και Eguchi (1992) εκτιμάει τέσσερις (4) αστοχίες, ενώ η σχέση της ALA (2001) εκτιμάει είκοσι δύο (22) αστοχίες. Η χωρική κατανομή των εκτιμώμενων αστοχιών (γραμμές με κόκκινο – θραύσεις, γραμμές με πορτοκαλί – διαρροές) του δικτύου ύδρευσης καθώς και των καταγεγραμμένων αστοχιών (κουκίδες) δίνεται για 4 διαφορετικές καμπύλες τρωτότητας στο Σχήμα 5.41 έως Σχήμα 5.44 (για την περίπτωση της διάδοσης σεισμικών κυμάτων).



Σχήμα 5.41 – Αποτίμηση τρωτότητας του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας, σχέση τρωτότητας O' Rourke και Ayala (1993) ( Πηγή : [1] )



Εικόνα 5.42 – Αποτίμηση τρωτότητας του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας, σχέση τρωτότητας Eidinger και Avila (1999) ( Πηγή : [1] )



Σχήμα 5.43 – Αποτίμηση τρωτότητας του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας, σχέση τρωτότητας Isoyama et al. (1998) ( Πηγή : [1] )



Σχήμα 5.44 – Αποτίμηση τρωτότητας του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Λευκάδας, σχέση τρωτότητας ALA (2001) ( Πηγή : [1] )

## 6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρήθηκε η ανάδειξη όλου του απαραίτητου υπόβαθρου για την δημιουργία καμπυλών τρωτότητας των συνιστωσών που απαρτίζουν δύο από τις σημαντικότερες Γραμμές Ζωής σε αστικό περιβάλλον : το δίκτυο ύδρευσης και το δίκτυο αποχέτευσης. Επίσης, συμβάλλει στην εξέλιξη των μεθόδων που περιγράφονται αναλυτικώς και στο να γίνει κατάλληλη προσαρμογή τους για να ανταποκρίνονται στα ελληνικά δεδομένα.

Οι καμπύλες τρωτότητας εισάγονται στις μεθοδολογίες αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης. Εκφράζουν την πιθανότητα μια κατασκευή υποβαλλόμενη σε σεισμό, να εμφανίσει ένα επίπεδο βλάβης. Η αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης αποτελεί μείζονος σημασίας πρακτική για τα αστικά κέντρα, η οποία υπαγορεύεται από τις εξής αιτίες :

- έντονη αστικοποίηση των τελευταίων δεκαετιών
- επέκταση των δικτύων ύδρευσης & αποχέτευσης ώστε να καλύψουν τις αυξημένες ανάγκες του πληθυσμού
- κατασκευή των δικτύων κοινής ωφέλειας χωρίς αντισεισμικό κανονισμό
- μεγάλες απώλειες σε ζωές και περιουσίες από την αστοχία των δικτύων κοινής ωφέλειας σε σεισμό

Ιδιαίτερα στην Ελλάδα, οι μελέτες βρίσκονται σε πολύ αρχικό στάδιο, εκτός από τις πόλεις της Θεσσαλονίκης, των Γρεβενών και της Λευκάδας, με πρωτοβουλία του Α.Π.Θ., του Κ. Πιτιλάκη και των συνεργατών του, που είναι και οι πρωτοπόροι στα θέματα αυτά στην Ελλάδα. Η έλλειψη δεδομένων από προηγούμενες αστοχίες η απουσία χρηματοδότησης ή πληροφοριών για τα ακριβή στοιχεία των δικτύων για τέτοιου είδους μελέτες αποτελεί τροχοπέδη στην εξέλιξη των αναλύσεων τρωτότητας και στην προσπάθεια εφαρμογής των διεθνών πρακτικών στην Ελλάδα. Αν ληφθεί υπόψη και η σεισμικότητα που χαρακτηρίζει την Ελλάδα, η αναγκαιότητα για την καθιέρωση αξιόπιστης πρακτικής για την αποτίμηση της τρωτότητας των δικτύων κοινής ωφέλειας έναντι σεισμού είναι κεφαλαιώδους σημασίας.

Οι αβεβαιότητες που υπεισέρχονται σε όλα τα βήματα μιας τέτοιας προσέγγισης είναι πολλές, διακρίνονται σε αυτές που ενυπάρχουν στα φυσικά μέσα (aleatory) ανεξάρτητα από την ακρίβεια των μετρήσεων, όπως για παράδειγμα στις παραμέτρους των σεισμικών πηγών ή στην διασπορά της εδαφικής κίνησης και σε αυτές που οφείλονται στην ατελή επιστημονική γνώση (epistemic), τις παραδοχές και απλοποιήσεις που γίνονται κατά την προσομοίωση. Σε κάθε περίπτωση η αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης όπως περιγράφηκε, αποτελεί μια ολοκληρωμένη και επιστημονικά σύγχρονη και υψηλού επιπέδου ανάλυση για τον εντοπισμό των πλέον αδύναμων σημείων ή περιοχών εντός του αστικού ιστού και την διαμόρφωση πολιτικών και στρατηγικών αντιμετώπισης των αναμενόμενων αστοχιών και απωλειών.

Στην παρούσα εργασία περιγράφηκε λεπτομερώς η κατασκευή των καμπυλών τρωτότητας για ορισμένες συνιστώσες των δικτύων ύδρευσης & αποχέτευσης. Κάθε συνιστώσα μελετήθηκε χωριστά καθώς τα δίκτυα κοινής ωφέλειας αποτελούνται

από στοιχεία με εντελώς διαφορετικές αποκρίσεις στο σεισμό. Ορίστηκαν οι σεισμικοί κίνδυνοι που απειλούν τα δίκτυα και δόθηκαν μέθοδοι υπολογισμού των σεισμικών δεικτών. Στη συνέχεια, μελετήθηκαν τρόποι υπολογισμού της πιθανότητας μια κατασκευή να εμφανίσει βλάβη και ορίστηκαν πλήρως τα διάφορα επίπεδα βλάβης. Τέλος, δόθηκαν από την βιβλιογραφία οι διαθέσιμες καμπύλες τρωτότητας για τις συνιστώσες που μελετήθηκαν.

Παράλληλα, μπορούν να δοθούν «κατευθύνσεις» τόσο για το έδαφος έδρασης, όσο και για τις ίδιες τις κατασκευές, μέσω των οποίων μειώνεται η επίδραση του σεισμού :

- Βελτίωση του εδάφους :
  - ⇒ βελτίωση της πυκνότητας και αύξηση της αντοχής μέσω συμπύκνωσης
  - ⇒ μείωση του βαθμού κορεσμού και του επίπεδου του υπόγειου υδροφορέα
  - ⇒ πρόληψη των καθιζήσεων και της διατμητικής παραμόρφωσης
  - ⇒ μείωση των πιέσεων ανύψωσης σε εδάφη επιρρεπή σε ρευστοποίηση, μέσω χαλικιού αποστράγγισης
- Ενίσχυση της δομής των δικτύων :
  - ⇒ αύξηση του ιδίου βάρους
  - ⇒ αύξηση της ευκαμψίας
  - ⇒ αύξηση της κάθετης στήριξης
  - ⇒ δημιουργία ενιαίας δομής
  - ⇒ χρήση θεμελίωσης από Ω.Σ. σε ασθενή εδάφη μικρού πάχους
  - ⇒ χρήση θεμελίωσης με πασσάλους σε ασθενή εδάφη μεγάλου πάχους
  - ⇒ αποφυγή διασταύρωσης με ρήγμα
  - ⇒ αγκύρωση εξαρτημάτων

Με βάση όλα τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας των δικτύων κοινής ωφελείας επιδέχεται μεγάλη πρόοδο, τόσο στο Ευρωπαϊκό, όσο και στο εγχώριο περιβάλλον. Προϋπόθεση για να συμβεί η πρόοδος αυτή είναι να υπάρξουν πρωτοβουλίες από δημόσιους φορείς και συνεργασία από τους διαχειριστές των δικτύων κοινής ωφελείας.



**Βιβλιογραφία**

1. **Alexoudi, M., Pitilakis, K. και Souli, A.** «D3.5 – *Fragility functions for water and waste – water system elements*». Thessaloniki : Aristotle University of Thessaloniki (AUTH), October 31, 2010.
2. **American Lifeline Alliance.** «*Development of Guidelines to Define Natural Hazards Performance Objectives for Water Systems, Volume I*». September 2002.
3. **American Lifeline Alliance.** «*Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe*». July, 2001.
4. **American Lifelines Alliance.** «*Seismic Fragility Formulations For Water Systems, Part 1 – Guideline*». April 2001.
5. **Anastasiadis, A.** «*Methods of integrated seismic risk management in urban centers*». Kos, Greece : 2nd International Conference on "Vulnerability of 20th Century Cultural Heritage to Hazards and Prevention Measures", October 3 – 5, 2005.
6. **Berahman, F. και Behnamfar, F.** «*Fragility Estimates for un – anchored on – grade steel storage tanks*». Beijing, China : 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12 – 17, 2008.
7. **Berrones, R. και Xiangyue, L.** «*Seismic Vulnerability of Buried Pipelines*». Distrito Federal, México : Geofisica International, April – June, 2003. vol. 42.
8. **De Grandis, S. και Perotti, F.** «*An innovative methodology for computing fragility curves of NPP components under random seismic excitation*». Toronto, Canada : International Association for Structural Mechanics in Reactor Technology, August, 2007. Paper # M06/1.
9. **Eidinger, J.** «*Seismic Fragility Formulations for Water Systems*». s.l. : G&E Engineering Systems Inc., July 12, 2001. G&E Report 47.01.01, Revision 1.
10. **Fieberling, E. και Lee, D.** «*Seismic Upgrade of Prestressed Concrete Water Tanks*». Vancouver, B.C., Canada : 13th World Conference on Earthquake Engineering, August 1 – 6, 2004. Paper No. 3017.
11. **Fikri, A.** «*Rapid Damage Assessment of Infrastructure Components in the Central United States*». s.l. : University of Illinois, Department of Civil and Environmental Engineering, August 2009. Report No. 09-02.
12. **Jayaram, N. και Baker, J.** «*Probabilistic seismic lifeline risk assessment using efficient sampling and data reduction techniques*». Stanford CA, USA :

- Stanford University, Department of Civil and Environmental Engineering, May, 2010. Report No. 175.
13. **Kameda, H.** «*Engineering management of lifeline systems under earthquake risk*». N. Zealand : 12th World Congress on Earthquake Engineering, 2000. Paper 2827.
  14. **Mertz, G., Cardon, J. και Salmon, M.** «*Seismic Fragility of the LANL Fire*». Los Alamos : Los Alamos National Laboratory, March 2007. LA-14325.
  15. **Pineda – Porras, O.** «*New Perspectives on the Damage Estimation for Buried Pipeline Systems due to Seismic Wave Propagation*». s.l. : Conference on Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment. LA – UR – 09 – 01085.
  16. **Pitilakis, K., Alexoudi, M., Argyroudis, S., Monge, O. και Martin, C.** «*Earthquake risk assessment of lifelines*». Springer Science & Business Media B.V., September 20, 2006.
  17. **Razzaghi, M. και Mohebbi, A.** «*Predicting the Seismic Performance of Cylindrical Steel Tanks Using Artificial Neural Networks (ANN)*». Qazvin Branch, Iran : Islamic Azad University, Department of Civil Engineering, 2011.
  18. **Schultz, M., Gouldby, B., Simm, J. και Wibowo, J.** «*Beyond the Factor of Safety: Developing Fragility Curves to Characterize System Reliability*». Washington, DC, USA : U.S. Army Corps of Engineers, July, 2010. ERDC SR-10-1.
  19. **Takada, S., Hassani, N. και Rasti, R.** «*Seismic vulnerability of buried concrete pipelines*». Tehran, Islamic Republic of Iran : 4th International Conference of Earthquake Engineering and Seismology, 12 – 14 May, 2003.
  20. **Vazinram, F. και Rasti, R.** «*Seismic Hazards for Lifelines*». Lillehammer, Norway : ECI Conference on Geohazards, June 18 – 21, 2006. Paper 36.
  21. **Αλεξούδη, Μ., Μάνου, Δ., Χατζηγώγος, Θ. και Πιτιλάκης, Κ.** «*Ο Ρόλος Των Τοπικών Εδαφικών Συνθηκών Στην Αποτίμηση Της Σεισμικής Συμπεριφοράς Του Δικτύου Υδρευσης Της Düzce (Τουρκία)*». Βόλος : 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, 2010.
  22. **Αλεξούδη, Μ., Κακδέρη, Κ. και Πιτιλάκης, Κ.** «*Ο ρόλος των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην αποτίμηση της τρωτότητας των δικτύων ύδρευσης. Διερεύνηση στην Λευκάδα*». Ξάνθη : 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, 2006.
  23. **Ανδρεαδάκης Α., Πανταζίδου Μ. και Σταθόπουλος Α.** «*Περιβαλλοντική Τεχνολογία*». Αθήνα : Εκδόσεις Συμμετρία, 2008.

- 24. Δημητρακοπούλου, Κ. και Μανταδάκης, Β.** «Τρωτότητα δικτύων κοινής οφέλειας έναντι σεισμού». Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ιούλιος, 2011. Διπλωματική Εργασία.
- 25. Ευρωκώδικας 8 :** «Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1 : Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια». European Prestandard, ENV 1998-1-1, CEN-European Committee for Standardization Οκτώβριος 30, 2003.
- 26. Κακδέρη, Κ., Αλεξούδη, Μ. και Πιτιλάκης, Κ.** «Ανάλυση της Σεισμικής Διακινδύνευσης Αλληλεπιδρώντων Δικτύων Κοινής Ωφέλειας». Αθήνα : 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5–7 Νοεμβρίου, 2008. Άρθρο 1940.
- 27. Κακδέρη, Κ., Αργυρούδης, Σ., Φωτοπούλου, Σ. και Πιτιλάκης, Κ.** «Σεισμικά σενάρια και τρωτότητα δικτύων κοινής ωφέλειας και υποδομών στην πόλη των Γρεβενών». Βόλος : 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, 2010.
- 28. Κουτσογιαννης Δ.** «Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης». Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.), Τομέας Υδατικών Πόρων, 1999. Έκδοση 3.1.
- 29. Πιτιλάκης, Κ., Αναστασιάδης, Α., Αργυρούδης, Σ., Κακδέρη, Κ. και Αλεξούδη, Μ.** «Αποτίμηση Τρωτότητας και Διαχείριση Σεισμικής Διακινδύνευσης Δικτύων Κοινής Ωφέλειας, Υποδομών και Κρίσιμων Υπηρεσιών. Εφαρμογή στην Μητροπολιτική Θεσσαλονίκη». Αθήνα : 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5 – 7 Νοεμβρίου, 2008. Άρθρο 1939.
- 30. Τερζή, Β., Αλεξούδη, Μ. και Χατζηγώγος, Θ.** «Καμπύλες τρωτότητας εύκαμπτων αγωγών λόγω μόνιμων παραμορφώσεων. Παραμετρικές αναλύσεις». Αθήνα : 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5 – 7 Νοεμβρίου, 2008. Άρθρο 1812.
- 31. Τεχνίτης, Γ.** «Διερεύνηση σεισμικής διακινδύνευσης στην περιοχή του Δ. Κηφισιάς με τη χρήση λογισμικού HAZUS». Αθήνα : Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Φεβρουάριος, 2007. Πτυχιακή Εργασία.
- 32. Φωτοπούλου, Σ.** «Αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας του δικτύου αποχέτευσης της πόλης των Γρεβενών». Θεσσαλονίκη : Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), Δεκέμβριος, 2009. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Δικτυακές Πηγές (06 / 03 / 2012) :

33. <http://el.wikipedia.org/wiki/SCADA>
  
34. [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKDHLVSEIS/PROSEXEIS\\_EKDHLWSEIS/EPIPTWSEIS\\_DIARROHS\\_FYSIKOU\\_AERIOU/Tab1/arbanitidhs\\_2.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKDHLVSEIS/PROSEXEIS_EKDHLWSEIS/EPIPTWSEIS_DIARROHS_FYSIKOU_AERIOU/Tab1/arbanitidhs_2.pdf)
  
35. <http://www.vce.at/SYNER-G/index.htm>