



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης
Master Thesis

Φυσικές και Τεχνολογικές καταστροφές και οι επιπτώσεις τους στους αγωγούς φυσικού αερίου. Εκτίμηση επιπτώσεων, προτάσεις για τη βιώσιμη λειτουργία και αύξηση της εγγενούς ασφάλειας

Natural and Technological disasters and their effect on natural gas pipelines. Estimated consequences, suggestions for a sustainable operation and increase of inherent safety

ΗΛΙΑΣ-ΤΖΩΝ ΧΡΥΣΑΚΗΣ / ILIAS-TZON CHRYSAKIS

A.M. / R.N. : 18239

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. 2020240

Αθήνα, Μάρτιος 2021
Athens, March 2021



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Master Thesis

Φυσικές και Τεχνολογικές καταστροφές και οι επιπτώσεις τους στους αγωγούς φυσικού αερίου. Εκτίμηση επιπτώσεων, προτάσεις για τη βιώσιμη λειτουργία και αύξηση της εγγενούς ασφάλειας

Natural and Technological disasters and their effect on natural gas pipelines. Estimated consequences, suggestions for a sustainable operation and increase of inherent safety

ΗΛΙΑΣ-ΤΖΩΝ ΧΡΥΣΑΚΗΣ / ILIAS-TZON CHRYSAKIS

A.M. / R.N. : 18239

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Χ. Κράνης,
Επίκ. Καθηγητής ΕΚΠΑ

Δρ. Σ. Λόζιος,
Αναπλ. Καθηγητής ΕΚΠΑ

Δρ. Ε. Σκούρτσος,
Επίκ. Καθηγητής ΕΚΠΑ

Εξειδικευμένη Επιστημονική Καθοδήγηση

Γ. Μουζάκης
Χημικός Μηχανικός

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. 2020240

Αθήνα, Μάρτιος 2021
Athens, March 2021

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	i
Περίληψη	iii
Abstract	iv
Ευχαριστίες.....	v
Κατάλογος Πινάκων	vi
Κατάλογος Εικόνων	vii

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή..... 11

1.1. Ορισμοί.....	11
1.2. Το Φυσικό Αέριο	13
1.3. Ενεργειακή πολιτική της Ευρώπης. Το μέλλον και η εξέλιξη του φυσικού αερίου .	15
1.4. Νομικό πλαίσιο.....	17
1.5. Πρωτοβουλίες και δράσεις για την ενίσχυση της ασφάλειας και της ανθεκτικότητας των υποδομών φυσικού αερίου	22
1.5.1. Ερευνητικό έργο SecureGas	22
1.5.2. Εκπαιδεύσεις για την προστασία των ΕΥΖΣ.....	24
1.5.3. Καλές πρακτικές και οδηγίες ασφάλειας για αγωγούς.....	24
1.6. Διαχείριση διακινδύνευσης και προσέγγιση των Natech καταστροφών	25

Κεφάλαιο 2. Βάσεις δεδομένων και τρωτότητα 30

2.1. EGIG (European Gas pipeline Incident data Group).....	30
2.1.1. Παράγοντας Εξωτερικής Παρέμβασης	30
2.1.2. Παράγοντας Διάβρωσης.....	31
2.1.3. Παράγοντας Κατασκευαστικής Αστοχίας / Αστοχίας Υλικών.....	31
2.1.4. Παράγοντας Εδαφικής Κίνησης.....	31
2.2. UKOPA (United Kingdom Onshore Pipeline Operators' Association)	32
2.2.1. Σχέση Αστοχίας-Μεγέθους οπής.....	34
2.2.2. Παράγοντας Αστοχιών Κατασκευής	34
2.2.3. Παράγοντας Εξωτερικής Παρέμβασης	34
2.2.4. Παράγοντας Διάβρωσης.....	35
2.2.5. Λοιποί παράγοντες.....	35
2.2.6. Βλάβες του δικτύου χωρίς διαρροή αερίου	36
2.2.7. Εντοπισμός και αναφορές βλαβών του δικτύου.....	36
2.3. CER - Canadian Energy Regulator και Κυβέρνηση του Καναδά.....	36
2.4. PHMSA - Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration	38
2.5. APGA - Australian Pipeline and Gas Association	40
2.6. Τρωτότητα αγωγών φυσικού αερίου.....	42
2.7. Η περίπτωση του TAP	51

Κεφάλαιο 3. Ιστορική ανασκόπηση καταστροφών συσχετιζόμενων με δίκτυα Φυσικού Αερίου..... 53

3.1. Η περίπτωση της Ταιβάν το 2014.....	53
3.2. Η περίπτωση της Ινδίας το 2014	56
3.3. Η περίπτωση της Κίνας το 2016.....	57

Κεφάλαιο 4. Διδάγματα και Μάθηση από την εμπειρία (Lessons Learned) 61

4.1. Ταιβάν 2014	61
4.2. Ινδία 2014	62

4.3. Κίνα 2016.....	62
4.4. Λοιπές πηγές	63
Κεφάλαιο 5. Σενάρια καταστροφών και επιπτώσεις αυτών για την περίπτωση της Ελλάδας	66
5.1. Σενάριο	67
5.1.1. Πρώτη περίπτωση	67
5.1.2. Δεύτερη περίπτωση	71
5.1.3. Τρίτη περίπτωση.....	75
5.2. Αξιοποίηση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων	79
5.2.1. Μεθοδολογία.....	80
Κεφάλαιο 6. Επιχειρησιακές ασκήσεις - Συνεργασία ΕΚΠΑ & ΔΕΣΦΑ	88
Κεφάλαιο 7. Προτάσεις, Μέτρα και Δράσεις για την πρόληψη και το μετριασμό των καταστροφών σε αγωγούς φυσικού αερίου	90
7.1. Μέτρα βάσει των πληροφοριών από τις βάσεις δεδομένων.....	90
7.2. Εκπαίδευση και ενημέρωση ενδιαφερόμενων - Επιχειρησιακές ασκήσεις	91
7.3. Πρόληψη και έγκαιρη ενημέρωση. Ο ρόλος των κοινωνικών μέσων δικτύωσης και της τεχνολογίας	92
7.4. Έγκαιρη προειδοποίηση, μέθοδοι πρώιμης ανίχνευσης αστοχιών και βελτίωση μεθόδων πρόληψης	93
7.4.1. Κεραυνοί	93
7.4.2. Σεισμοί	93
7.4.3. Κατολισθήσεις	95
7.4.4. Πλημμύρες	97
7.4.5. Πυρκαγιές	98
7.5. Σύνοψη	99
Βιβλιογραφικές Αναφορές	100
Παράρτημα.....	106

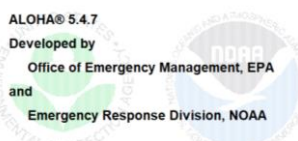
Περίληψη

Το φυσικό αέριο αποτελεί βασική πηγή ενέργειας στις μέρες μας και το δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου καταλαμβάνει μεγάλο τμήμα στη χώρα μας. Υπάρχουν ήδη λειτουργικά δίκτυα, δίκτυα υπό κατασκευή και δίκτυα που είναι πολύ πιθανόν να υλοποιηθούν την επόμενη δεκαετία (περίπτωση EastMed). Οι υποδομές αυτές είναι επιτακτικές για την ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης αλλά και της ίδιας της Ελλάδας καθώς θα συνεισφέρουν στην ενεργειακή διαφοροποίηση και θα επεκτείνουν το δίκτυο διαδρομών της ενέργειας. Παράλληλα όμως όσο πυκνώνει το δίκτυο, αυξάνει ο κίνδυνος εκδήλωσης ατυχήματος. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας, αποτελεί:

- Η διερεύνηση των επιπτώσεων από φυσικές & τεχνολογικές καταστροφές στους αγωγούς φυσικού αερίου και η τρωτότητα αυτών,
- η εκτίμηση επιπτώσεων για την περίπτωση της Ελλάδας,
- καθώς και προτάσεις για τη βιώσιμη λειτουργία και αύξηση της εγγενούς ασφάλειας στα εν λόγω δίκτυα διακίνησης φυσικού αερίου.

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί, στην ανασκόπηση παρελθοντικών ατυχημάτων σε δίκτυα φυσικού αερίου, την εξέταση πιθανότητας εκδήλωσης παρόμοιων περιστατικών στον ελλαδικό χώρο, τις επιπτώσεις αυτών σε διάφορους τομείς και την καταγραφή προτάσεων για το μετριασμό των επιπτώσεων σε περίπτωση καταστροφικού συμβάντος. Τα συμπεράσματα της εν λόγω εργασίας αποσκοπούν στην ενίσχυση της εκτίμησης της διακινδύνευσης, στην ενίσχυση της αντίληψης του κινδύνου, στην ενίσχυση των μέτρων μετριασμού και πρόληψης μεγάλων ατυχημάτων, στην προώθηση της πολιτικής προστασίας και τέλος στην αύξηση της εγγενούς ασφάλειας στα δίκτυα διακίνησης φυσικού αερίου.

Η εργασία βασίστηκε σε δεδομένα του Trans Adriatic Pipeline (TAP), του Διαχειριστή Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου (ΔΕΣΦΑ), σε μελέτες, αναφορές και ανοικτά δεδομένα. Παράλληλα αξιοποιήθηκε το λογισμικό QGIS 3.10, το ALOHA και το MARPLOT.



Λέξεις κλειδιά: Natech Καταστροφές, Διαχείριση Καταστροφών, Τεχνολογικές Καταστροφές, Φυσικές Καταστροφές, Φυσικό αέριο.

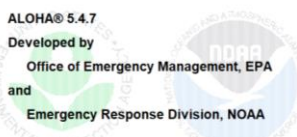
Abstract

Natural gas is a basic and fundamental energy source nowadays and a vast network for the transportation of natural gas is also established in Greece. There are already installations in operation, some under construction and even some planned ones that are very likely to be implemented within the next decade(s) (EastMed case). This type of infrastructure is of vital importance for the energy security of Greece and furthermore, that of Europe. It will contribute to a future where energy is available in many forms and in abundance. The development of the gas network leads to the an increasement in hazard. The main objectives are as follow:

- Examining the impact of natural and technological disasters on natural gas pipelines and their vulnerability,
- estimating the consequences for the case of Greece,
- suggestions for the viable operation and increase of native safety in reference to the aforementioned gas pipelines.

This thesis intends to review gas pipeline accidents that have occurred in the past and determine the likelihood of similar events occurring on Greek territory, the consequences on various levels and to outline suggestions that can lead to mitigation in case of a catastrophic event. The conclusions intend to enhance risk assessment, empower hazard awareness, empower mitigation and prevention methods of big scale accidents, empower the role of the civil protection agency and finally to lead an increase in native safety, regarding the operation of the aforementioned networks.

This thesis was primarily based on Trans Adriatic Pipeline (TAP) and National Gas Operator (DESPA) Data, case studies, papers, reports and open data. QGIS 3.10 and ALOHA/MARPLOT software was also utilized.



Key Words: Disaster Management, Natural Disasters, Natech Disasters, Natural gas, Technological Disasters

Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία, ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων» του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνηση της εργασίας και ιδιαίτερα:

Τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Γεώργιο Μουζάκη, για την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου πρόσφερε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας καθώς και το άριστο κλίμα συνεργασίας.

Τους κυρίους Fernando Kalliga, Σεραφείμ Ιωαννίδη, Ιερώνυμο Γιακουμάτο και Ιωάννη Γεράρδη του ΔΕΣΦΑ, την κυρία Κατερίνα Μουζουράκη του ΤΑΡ, τον κύριο Κωνσταντίνο Στεφανάκη του ΥΠΕΝ καθώς και τον κύριο Ευθύμιο Λέκκα του ΕΚΠΑ, για την πολύτιμη συμβολή τους στην εκπόνηση της εργασίας και το άριστο κλίμα συνεργασίας.

Τον προσωπικό μου φίλο Νικόλαο Σιμισίρογλου, για τις συμβουλές που μου παρείχε σε θέματα λογισμικού GIS.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συμπαράσταση και την υπομονή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1	Συνολικό μήκος αγωγών ανά τύπο μεταφερόμενου προϊόντος και ποσοστά αυτών επί του συνόλου. Πηγή: (Lyons et al., 2020).	33
Πίνακας 2	Συμβάντα διαρροών ανά αιτία πρόκλησης. Πηγή:(Lyons et al., 2020)....	34
Πίνακας 3	Τύποι, Παράγοντες συμβολής και Αιτία εκδήλωσης συμβάντων στο δίκτυο φυσικού αερίου του Καναδά. Πηγή: Ιδία επεξεργασία με ανοικτά δεδομένα (CER, 2020).....	38
Πίνακας 4	Κλίμακες Εδαφικής Κίνησης (βάσει Wald et al., 1999). Διακρίνεται το μέγεθος της πιθανής ζημιάς. Πηγή: Kramer και Upsall (2006).....	95

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1	Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο για την περίοδο 1990-2015 και πρόβλεψη για την περίοδο 2015-2040. Πηγή: (EIA, 2017). 13
Εικόνα 1.2	Το Ευρωπαϊκό δίκτυο φυσικού αερίου, σύμφωνα με τα δεδομένα της 1 ^{ης} Ιανουαρίου του 2019. Η Ευρώπη εισάγει φυσικό αέριο από κάθε δυνατή πηγή, καθώς διακρίνονται οι εν λειτουργία και προγραμματισμένοι για υλοποίηση αγωγοί, από όλες τις πλευρές της Ευρώπης. Πηγή: (Entsog, 2020). 15
Εικόνα 1.3	Παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου σε bcm (δισ. κυβικά μέτρα) για το έτος 2019. Τα περισσότερα κράτη της Ευρώπης βρίσκονται στο 0-6 bcm. Διακρίνουμε ότι η Ευρώπη περικλείεται από μεγάλους παραγωγούς. Πηγή: (Enerdata, 2019). 16
Εικόνα 1.4	Παγκόσμια κατανάλωση φυσικού αερίου σε bcm (δισ. κυβικά μέτρα) για το έτος 2019. Τα περισσότερα κράτη της Ευρώπης βρίσκονται στην τάξη των 35-95 bcm. Πηγή: (Enerdata, 2019). 16
Εικόνα 1.5	Πρόοδος ερευνών Natech τα τελευταία 40 έτη. Διακρίνονται οι κατηγορίες κινδύνων στις οποίες αυτές εστιάζουν, ανά δεκαετία. Πηγή: (Cruz & Suarez-Paba, 2019). 29
Εικόνα 2.1	Συμβάντα διαρροών ανά έτος από το 1962. Πηγή: (Lyons et al., 2020). 33
Εικόνα 2.2	Συμβάντα διαρροής φυσικού και υδροποιημένου φυσικού αερίου στον Καναδά. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοιχτών δεδομένων. Δεν απεικονίζονται 40 συμβάντα για τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα τα γεωχωρικά δεδομένα (Government of Canada, 2019). 37
Εικόνα 2.3	Αριθμός συμβάντων Natech ανά έτος σε αγωγούς εγκατεστημένους επι του εδάφους. Τα NG αφορούν φυσικό αέριο και τα HL επικίνδυνες ουσίες. Τα Uncertain αφορούν περιστατικά για τα οποία δεν υφίστανται αρκετά στοιχεία για κατηγοριοποίηση ή μη σε Natech. Πηγή: (S. Girgin & Krausmann, 2014). 39
Εικόνα 2.4	Κατηγοριοποίηση των Natech της βάσης δεδομένων του PHMSA, βάσει κινδύνου (Γεωλογικοί, Μετεωρολογικοί, Υδρολογικοί, Κλιματικοί). Πηγή: (S. Girgin & Krausmann, 2014). 40
Εικόνα 2.5	Οι συνολικές καταγραφές σε Αυστραλία και Νέα Ζηλανδία από το 1961 έως το 2018. Πηγή: (Symonds, 2018). 41
Εικόνα 2.6	Επίπτωση συμβάντων ανά πενταετία. Διακρίνονται οι διάφοροι τύποι ζημιών (Διάβρωση, βλάβη επικάλυψης, παραμόρφωση, βαθουλώματα, διαρροές, ρήξη). Πηγή: (Symonds, 2018). 41
Εικόνα 2.7	Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις (PGA) κύκλου 250 ετών, για την περιοχή της Ελλάδας. Πηγή: (GRDP, 2020). 42
Εικόνα 2.8	Ένταση παρελθοντικών σεισμών έντασης μεγαλύτερης από 5, για την περιοχή της Ελλάδας (1970-2015). Πηγή: (GRDP, 2020 από USGS/ANSS). 43
Εικόνα 2.9	Εκτίμηση ετήσιας συχνότητας κατολισθήσεων προκαλούμενων από σεισμούς. Συνυπολογίζονται οι κλίσεις του εδάφους, οι γεωλογικές συνθήκες, η υγρασία του εδάφους, η φυτοκάλυψη, οι συνθήκες υετού και ο σεισμικός κίνδυνος. Το δίκτυο αγωγών διέρχεται κυρίως από περιοχές χαμηλής έως μέτριας συχνότητας. Πηγή: (GRDP, 2020). 43

Εικόνα 2.10	Εκτίμηση ετήσιας συχνότητας κατολισθήσεων προκαλούμενων από υετό. Συνυπολογίζονται οι κλίσεις του εδάφους, οι γεωλογικές συνθήκες, η υγρασία του εδάφους, η φυτοκάλυψη, οι συνθήκες υετού και ο σεισμικός κίνδυνος. Το δίκτυο αγωγών διέρχεται από περιοχές χαμηλής κυρίως συχνότητας. Πηγή: (GRDP, 2020).	44
Εικόνα 2.11	Καμπύλη τρωτότητας αγωγών φυσικού αερίου σε σχέση με το σεισμικό κίνδυνο (PGV σε cm/sec) για αγωγούς διαμέτρου <400mm. Το RS1 (Risk State) αναφέρεται σε περιορισμένη διαρροή και το RS2 σε μεγάλη διαρροή. Πηγή: (Lanzano et al., 2013).	46
Εικόνα 2.12	Καμπύλη τρωτότητας αγωγών φυσικού αερίου σε σχέση με το σεισμικό κίνδυνο (PGV σε cm/sec) για αγωγούς διαμέτρου >400mm. Το RS1 (Risk State) αναφέρεται σε περιορισμένη διαρροή και το RS2 σε μεγάλη διαρροή. Πηγή: (Lanzano et al., 2013).	46
Εικόνα 2.13	Κίνδυνος κατολισθήσεων για τους αγωγούς φυσικού αερίου. Πηγή: (Marinos et al., 2016).	49
Εικόνα 2.14	Χωρική κατανομή δραστηριότητας κεραυνών CG (Cloud to Ground) ανά km ² , για την περίοδο των καλοκαιρινών μηνών του 2008 και 2009. Πηγή: (P. T. Nastos et al., 2014).	51
Εικόνα 3.1	Τοποθεσία περιστατικού και επηρεασμένη περιοχή. Η κόκκινη πινέζα καταδεικνύει το σημείο διαρροής. Πηγή: (Chen et al., 2016).	53
Εικόνα 3.2	Η διάταξη των τριών αγωγών φυσικού αερίου σε σχέση με το αποχετευτικό δίκτυο. Πηγή: (Chen et al., 2016).	55
Εικόνα 3.3	Αριστερά: Φωτογραφία του μικρού αγωγού (4"). Δεξιά: Το σημείο διάρρηξης του αγωγού. Πηγή: (Chen et al., 2016).	55
Εικόνα 3.4	Ο κρατήρας που δημιουργήθηκε από την ολική διάρρηξη του υπερσυμπιεσμένου αγωγού. Πηγή: (Mishra & Wehrstedt, 2015).	57
Εικόνα 3.5	Το κτήριο όπου εκδηλώθηκε η έκρηξη. Πηγή: (Ji et al., 2017).	58
Εικόνα 3.6	Η κατανομή της συγκέντρωσης του φυσικού αερίου μετά από διάστημα 2,5 ωρών. Πηγή: (Ji et al., 2017).	59
Εικόνα 3.7	Η κατανομή της θερμοκρασίας (σε Κ) στον 1 ^ο όροφο του κτηρίου, 0,85 δευτερόλεπτα μετά την έκρηξη. Πηγή: (Ji et al., 2017).	59
Εικόνα 3.8	Η κατανομή της πίεσης (x10 ⁻⁵ Pa) στον 1 ^ο όροφο του κτηρίου, 0,479 δευτερόλεπτα μετά την έκρηξη. Πηγή: (Ji et al., 2017).	60
Εικόνα 4.1	Λίστα ενεργειών (Checklist) προετοιμασίας και συντονισμού, για την περίπτωση αιφνίδιων πλημμυρικών φαινομένων. Πηγή: (Dessanti & Peterson, 2014).	65
Εικόνα 5.1	Απεικόνιση των ζωνών κινδύνου επί χάρτου (πλήρης ρήξη). Οι δυο κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις περιπτώσεις αλλαγής των συνθηκών ανέμου. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.	68
Εικόνα 5.2	Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της πρώτης περίπτωσης (πλήρης ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.	69
Εικόνα 5.3	Απεικόνιση των ζωνών κινδύνου επί χάρτου (μερική ρήξη). Οι δυο κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις περιπτώσεις αλλαγής των συνθηκών ανέμου. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.	70

Εικόνα 5.4	Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της πρώτης περίπτωσης (μερική ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.....	71
Εικόνα 5.5	Απεικόνιση των ζωνών επιπτώσεων επι χάρτου (πλήρης ρήξη). Ο κύκλος αντιπροσωπεύει τις περιπτώσεις αλλαγής των συνθηκών ανέμου. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.....	72
Εικόνα 5.6	Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της δεύτερης περίπτωσης (πλήρης ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.....	73
Εικόνα 5.7	Απεικόνιση των ζωνών επιπτώσεων επι χάρτου (μερική ρήξη). Ο κύκλος αντιπροσωπεύει τις περιπτώσεις αλλαγής των συνθηκών ανέμου. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.....	74
Εικόνα 5.8	Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της δεύτερης περίπτωσης (μερική ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.....	75
Εικόνα 5.9	Απεικόνιση των ζωνών επιπτώσεων επι χάρτου (πλήρη ρήξη). Διακρίνεται η ζώνη των 15KW/m ² με κόκκινο, η ζώνη των 6 KW/m ² με πορτοκαλί και η ζώνη των 3 KW/m ² με κίτρινο. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.....	76
Εικόνα 5.10	Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της τρίτης περίπτωσης (πλήρης ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.....	77
Εικόνα 5.11	Απεικόνιση των ζωνών επιπτώσεων επι χάρτου (μερική ρήξη). Διακρίνεται η Ζώνη των 15KW/m ² με κόκκινο, η ζώνη των 6 KW/m ² με πορτοκαλί και η ζώνη των 3 KW/m ² με κίτρινο. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.....	78
Εικόνα 5.12	Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της τρίτης περίπτωσης (μερική ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.....	79
Εικόνα 5.13	Βιομηχανία, Εμπορικές ζώνες και Αστικός ιστός πλησίον εκτιμώμενης διαδρομής TAP. Πάνω: Η συνολική εικόνα. Κάτω: η περιοχή Ξάνθης-Κομοτηνής σε μεγαλύτερη κλίμακα. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων και συμπληρωματική ιδία αποτύπωση (ΥΠΕΝ, 2020 από ΕΕΑ, 2018).....	81
Εικόνα 5.14	Σημεία διασταύρωσης Οδικού και Σιδηροδρομικού δικτύου με την εκτιμώμενη διαδρομή του TAP. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (OpenStreetMap Contributors, 2020). ...	82
Εικόνα 5.15	Περιοχές Σεισμικού Κινδύνου με βάση τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA). Διακρίνουμε ότι ο TAP διέρχεται από περιοχές μέτριου προς υψηλού κινδύνου. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (CHRR & CIESIN, 2005).	83
Εικόνα 5.16	Σημεία διασταύρωσης του αγωγού με περιοχές διάβρωσης εδάφους. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (ΥΠΕΝ, 2020 από ΕΕΑ, 2018).	83
Εικόνα 5.17	Σημεία διασταύρωσης του αγωγού με περιοχές δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (ΥΠΕΝ, 2020).....	84

Εικόνα 5.18	Σημεία διασταύρωσης του αγωγού με σημεία ιστορικών συμβάντων πλημμυρών και σημαντικών ιστορικών συμβάντων πλημμυρών. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (ΥΠΕΝ, 2020).	84
Εικόνα 5.19	Εγγύτητα αγωγού με βιομηχανίες Seveso. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (ΥΠΕΝ, 2020).....	85
Εικόνα 5.20	Σημεία διασταύρωσης του αγωγού με περιοχές οικοδόμησης και γεωργικών διεργασιών. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (ΥΠΕΝ, 2020 από ΕΕΑ, 2018).....	85
Εικόνα 5.21	Αξιοποίηση δεδομένων ALOHA στο QGIS. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με ανοικτά δεδομένα, δεδομένα από το ALOHA και δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ (OpenStreetMap Contributors, 2020); (United States EPA, 2016).....	87
Εικόνα 7.1	Αξιολόγηση των μέτρων προστασίας θαμμένων αγωγών φυσικού αερίου, έναντι του κεραυνικού κινδύνου. Πηγή: (Kijima et al., 2011).....	93
Εικόνα 7.2	Χωρική κατανομή καταγεγραμμένων κατολισθήσεων (Αριστερά) και δείκτης LFI (Landslide Frequency Index) (Δεξιά). Πηγή: (Sabatakakis et al., 2013).....	96
Εικόνα 7.3	Χάρτης ζωνοποίησης που απεικονίζει τη χωρική κατανομή του δείκτη LSI (Landslide Susceptibility Index) (Αριστερά) και συμπερίληψη νέων καταγεγραμμένων συμβάντων για επικύρωση των αποτελεσμάτων της έρευνας (Δεξιά). Πηγή: (Sabatakakis et al., 2013).....	97

Κεφάλαιο 1.

Εισαγωγή

Ζούμε σε μια εποχή παγκοσμιοποίησης όπου όλα και όλοι συνδέονται μεταξύ τους, άμεσα ή έμμεσα. Γενικά δεν υπάρχει ανεξαρτησία των κρατών ως προς τα αγαθά και τις υπηρεσίες και μέσω της συνεργασίας και της ανταλλαγής, αλληλοκαλύπτονται οι ανάγκες που προκύπτουν. Η πρόοδος, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, έχει ως κύριο οδηγό την ενέργεια και μελέτες έχουν δείξει τη θετική σχέση ενεργειακής κατανάλωσης με δείκτες οικονομικής ανάπτυξης και ευημερίας (Warr & Ayres, 2010). Κάποια κράτη διαθέτουν περίσσια ενέργεια και την εξάγουν, ενώ άλλα δεν καλύπτουν τις εγχώριες ανάγκες και την εισάγουν. Σημαντικό ρόλο στον ενεργειακό τομέα, διαδραματίζουν τα διαμετακομιστικά κράτη (energy transit states). Χωρίς την ενέργεια στις διάφορες μορφές της, η σημερινή, σύγχρονη κοινωνία δεν υφίσταται. Τα αναπτυσσόμενα κράτη (Κίνα, Ινδία, Αφρικανικές χώρες) είναι αυτά που «διψούν» περισσότερο ενεργειακά και για αυτό το λόγο, ελλείπει ενέργειας, επηρεάζονται περισσότερο από τα υποανάπτυκτα κράτη. Τα ανεπτυγμένα κράτη απαιτούν φυσικά ενέργεια αλλά συνήθως είναι σταθερή η αναγκαία ποσότητα σε ορυκτό πλούτο ή και μειούμενη λόγω της ανάπτυξης πράσινων τεχνολογιών και υποδομών φυσικού αερίου. Ο Ευρωπαϊκός χώρος χαρακτηρίζεται από ανάπτυξη αλλά υστερεί σε πηγές και αποθέματα ενέργειας, όπως διακρίνεται στο Παράρτημα (Πίνακες 1, 2). Διακρίνεται μια σχέση εξάρτησης που καλύπτεται με την εισαγωγή ενέργειας για να μπορεί να λειτουργεί απρόσκοπτα η οικονομία. Είναι λοιπόν μεγάλης σημασίας η διασφάλιση της εισαγωγής, η απρόσκοπτη ροή και η δημιουργία-διατήρηση πολλών οδών εισαγωγής. Οι ενεργειακές απαιτήσεις της Ευρώπης έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια και φαίνεται πως θα συνεχίσουν να αυξάνονται μελλοντικά. Είναι εύκολα κατανοητό λοιπόν ότι η ενέργεια είναι από τα σημαντικότερα ζητήματα και ακόμα πιο σημαντική είναι η επίπτωση που έχει στο περιβάλλον. Η κλιματική αλλαγή μας επηρεάζει ήδη και είναι επιτακτικό να γίνουν αλλαγές στην ενεργειακή πολιτική για να μην φτάσουμε σε σημείο μη αναστρέψιμο. Η «παγκοσμιοποίηση» των οδών ενέργειας (κυρίως όσον αφορά τις διακρατικές ηλεκτρικές διασυνδέσεις και διασυνδέσεις μεταφοράς φυσικού αερίου) και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, είναι παράγοντες που μελλοντικά θα συνεισφέρουν θετικά στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Αυτός είναι και ένας λόγος που αναπτύσσονται πολλαπλές διαδρομές φυσικού αερίου προς την Ευρώπη.

Τα περισσότερα κράτη της Ευρώπης αυξήσανε την κατανάλωση φυσικού αερίου έως και 10% το 2019 σε σχέση με το 2018 (Γαλλία, Γερμανία, Πορτογαλία, Ελλάδα), ενώ μόνο στο Η.Β και τη Δανία παρατηρήθηκε μείωση στην κατανάλωση (Ritchie & Roser, 2019). Στο πλαίσιο αυτό, η Ελλάδα αναδεικνύεται, ιδιαίτερα το τελευταίο διάστημα, ως διαμετακομιστικό κράτος, δηλαδή ως ενεργειακός κόμβος (κυρίως για το φυσικό αέριο) για τις ενεργειακές απαιτήσεις της Ευρώπης.

1.1. Ορισμοί

Θα δούμε παρακάτω κάποιους ορισμούς σχετικούς με το θέμα της εργασίας.

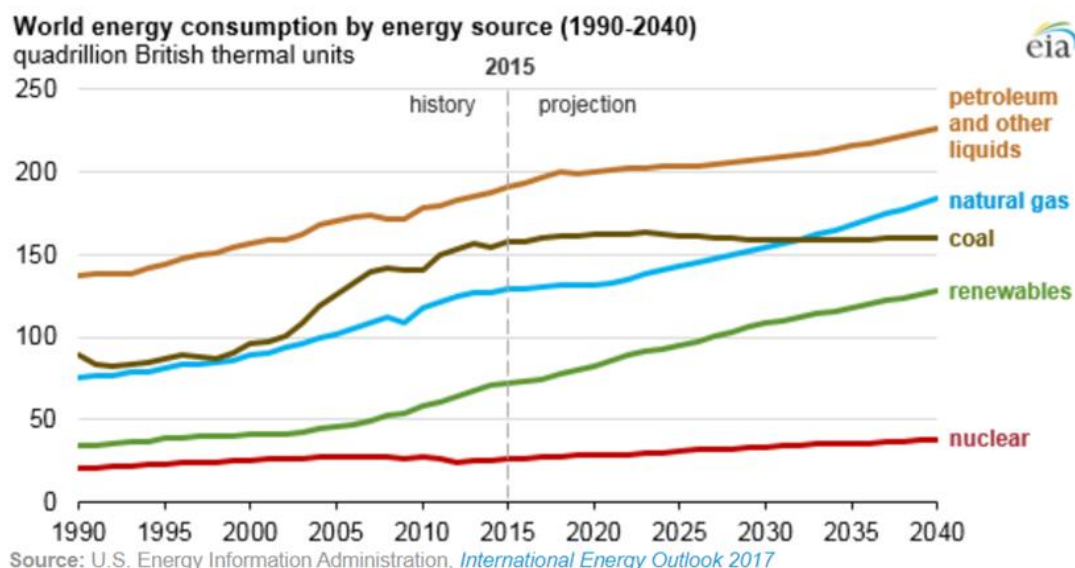
- Καταστροφή (Disaster): Ο ορισμός της καταστροφής ποικίλει ανάλογα με το πλαίσιο στο οποίο εφαρμόζεται. Για την περίπτωση μας θα εστιάσουμε τον ορισμό αυτής στον τομέα των θετικών επιστημών, δίνοντας συνάμα έμφαση στο μηχανισμό λήψης αποφάσεων και διαχείρισης καταστροφών. Η καταστροφή αποτελεί ένα ξαφνικό γεγονός του φυσικού περιβάλλοντος, που επιφέρει σοβαρές συνέπειες και διαταραχές

στο περιβάλλον, τη λειτουργία της κοινωνίας και τον άνθρωπο, λόγω μη επαρκούς ικανότητας αντιμετώπισης (capacity) από την πληγείσα κοινωνία. Κάθε βάση δεδομένων χαρακτηρίζεται από διαφορετικά κριτήρια. Η EM-DAT για παράδειγμα, θεωρεί ένα συμβάν ως καταστροφή όταν αυτή προκαλεί τουλάχιστον 10 θανάτους, τουλάχιστον 100 τραυματισμούς, όταν καταλήγει η κοινωνία σε κήρυξη σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης ή όταν υπάρχει έκκληση για διεθνή βοήθεια (EM-DAT CRED, 2020b);(Λέκκας και Ανδρεαδάκης, 2015).

- Γενεσιουργός αιτία: Αποτελεί τη διαδικασία που οδηγεί σε μια καταστροφή και διακρίνεται σε φυσικές διεργασίες (σεισμοί, κλιματολογικά φαινόμενα, ηφαιστειακή δραστηριότητα κ.λ.π.), στην τεχνολογική ανάπτυξη (πυρηνικά εργοστάσια, εγκαταστάσεις διαχείρισης επικίνδυνων υλικών, βαριά βιομηχανία κ.λ.π.) και σε επιθετικές ενέργειες (πόλεμοι, τρομοκρατικές ενέργειες κ.λ.π.). Για τη μελέτη μας όλες οι προαναφερθέντες κατηγορίες μας αφορούν (Λέκκας και Ανδρεαδάκης, 2015).
- Τρόπος εκδήλωσης: Αποτελεί το φαινόμενο μέσω του οποίου εκδηλώνονται οι καταστροφές και διακρίνονται σε επιθέσεις, φυσικά φαινόμενα, τεχνολογικά ατυχήματα και συνδυασμό των δυο τελευταίων ως Natech. Για τη μελέτη μας όλα τα προαναφερθέντα φαινόμενα μας αφορούν (Λέκκας και Ανδρεαδάκης, 2015).
- Ταχύτητα εξέλιξης και διάρκεια της καταστροφής: Η ταξινόμηση εδώ διακρίνεται σε καταστροφές άμεσης εκδήλωσης και μακροχρόνιες ή αργές (συνεχείς) καταστροφές. Για το πλαίσιο της εργασίας μας απασχολούν σχεδόν εξολοκλήρου καταστροφές άμεσης εκδήλωσης (σεισμός που προκαλεί διάρρηξη αγωγού, διάρρηξη αγωγού από υπερπίεση ή τρομοκρατική ενέργεια) (Λέκκας και Ανδρεαδάκης, 2015).
- Φυσικές καταστροφές: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι καταστροφές που εκδηλώνονται ως αποτέλεσμα φυσικών φαινομένων και για τον ελλαδικό χώρο μας απασχολούν κυρίως οι σεισμοί, οι κατολισθήσεις, οι πλημμύρες και οι πυρκαγιές καθώς εν δυνάμει μπορούν να προκαλέσουν Natech καταστροφή σε εγκαταστάσεις του δικτύου φυσικού αερίου (Λέκκας και Ανδρεαδάκης, 2015).
- Τεχνολογικές καταστροφές: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι καταστροφές που εκδηλώνονται ως αποτέλεσμα ατυχημάτων/συμβάντων σε τομείς ανθρώπινης δραστηριότητας και συγκεκριμένα στη βιομηχανία, τη μεταφορά και τη διαχείριση επικίνδυνων υλικών/ουσιών (Λέκκας και Ανδρεαδάκης, 2015).
- Natech καταστροφές: Ατυχήματα όπου συγκρούονται το τεχνολογικό και το φυσικό περιβάλλον, οδηγούν στην απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών και προκαλούν πυρκαγιές και εκρήξεις, αναφέρονται ως καταστροφές Natech (Girgin και Krausmann, 2014). Η κατηγορία αυτή μας απασχολεί ιδιαίτερα στην περίπτωση μας καθώς η διαχείρισή τους αποτελεί ειδική πρόκληση. Η ταυτόχρονη εκδήλωση φυσικής και τεχνολογικής καταστροφής μπορεί να υπερφορτώσει το σύστημα διαχείρισης με αποτέλεσμα τη μη αποτελεσματική απόκριση και αρωγή. Τα δίκτυα κοινής ωφέλειας (lifelines) συχνά δεν είναι διαθέσιμα όταν εκδηλώνεται μια φυσική καταστροφή. Οι δυσκολίες που δημιουργούνται γίνονται ιδιαίτερα αντιληπτές σε περιπτώσεις εκδήλωσης επικαλυπτόμενων φυσικών φαινομένων και πολλαπλών τεχνολογικών καταστροφών (φαινόμενο domino) (Λέκκας και Ανδρεαδάκης, 2015).

1.2. Το Φυσικό Αέριο

Το φυσικό αέριο είναι ένα φυσικό ενεργειακό προϊόν που σχηματίζεται κάτω από την επιφάνεια της γης. Αποτελεί ουσιαστικά ένα μίγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση και περιέχει πλήθος ενώσεων αλλά αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (σε ποσοστό άνω του 85%). Αν και χρησιμοποιείται από το 1821, ο σύγχρονος τρόπος μεταφοράς του μέσω δικτύων αγωγών, αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1920 (EIA, 2019). Στην Εικόνα 1.1 διακρίνουμε την παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση βάσει ενεργειακής πηγής. Ο EIA (Energy Information Administration), προβλέπει αύξηση των παγκόσμιων ενεργειακών απαιτήσεων κατά 28% από το 2015 έως το 2040, κυρίως λόγω των αναπτυσσόμενων κρατών της Ασίας. Διακρίνουμε ότι η πυρηνική ενέργεια βρίσκεται χαμηλά καθώς δεν είναι προσβάσιμη από πολλά κράτη και λόγω μεγάλων καταστροφών που συνδέονται με τη χρήση της, αποφεύγεται η ευρεία χρήση της (βλ. Chernobyl 1986, Fukushima 2011). Το πρωτόκολλο του Κυότο, η συνθήκη του Παρισιού (που αποτελούν την αντίδραση στη κλιματική αλλαγή) (EUR-Lex, 2011; Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2020) αλλά και η γενικότερη μεταστροφή της ανθρωπότητας προς ένα αειφόρο και βιώσιμο μέλλον, έχει οδηγήσει ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία σε ραγδαίες αλλαγές στον ενεργειακό χώρο. Έχει αυξηθεί αισθητά η χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και παράλληλα έχει ελαττωθεί η χρήση του άνθρακα και των πετρελαιοχημικών. Το φυσικό αέριο ήδη συμβάλλει σημαντικά παγκοσμίως ως πηγή ενέργειας και μάλιστα προβλέπεται αύξηση της χρήσης του για την επόμενη εικοσαετία. Εύλογα λοιπόν μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι υποδομές φυσικού αερίου θα αυξηθούν περαιτέρω σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά και στη χώρα μας, ειδικά αν λάβουμε υπόψη τους εξής παράγοντες: Τη μελλοντική υλοποίηση του νέου αγωγού EastMed, την πρόσφατη ολοκλήρωση του TAP (Trans Adriatic Pipeline), τις προγραμματιζόμενες γεωτρήσεις εξόρυξης υδρογονανθράκων στη Δυτική Ελλάδα και στα Νότια της νήσου Κρήτης, τις ήδη υπάρχουσες υποδομές καθώς και τη δέσμευση της Ευρώπης για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. (IGI Poseidon, 2020; TAP, 2020c; ΕΔΕΥ, 2020).



Εικόνα 1.1 Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο για την περίοδο 1990-2015 και πρόβλεψη για την περίοδο 2015-2040. Πηγή: (EIA, 2017).

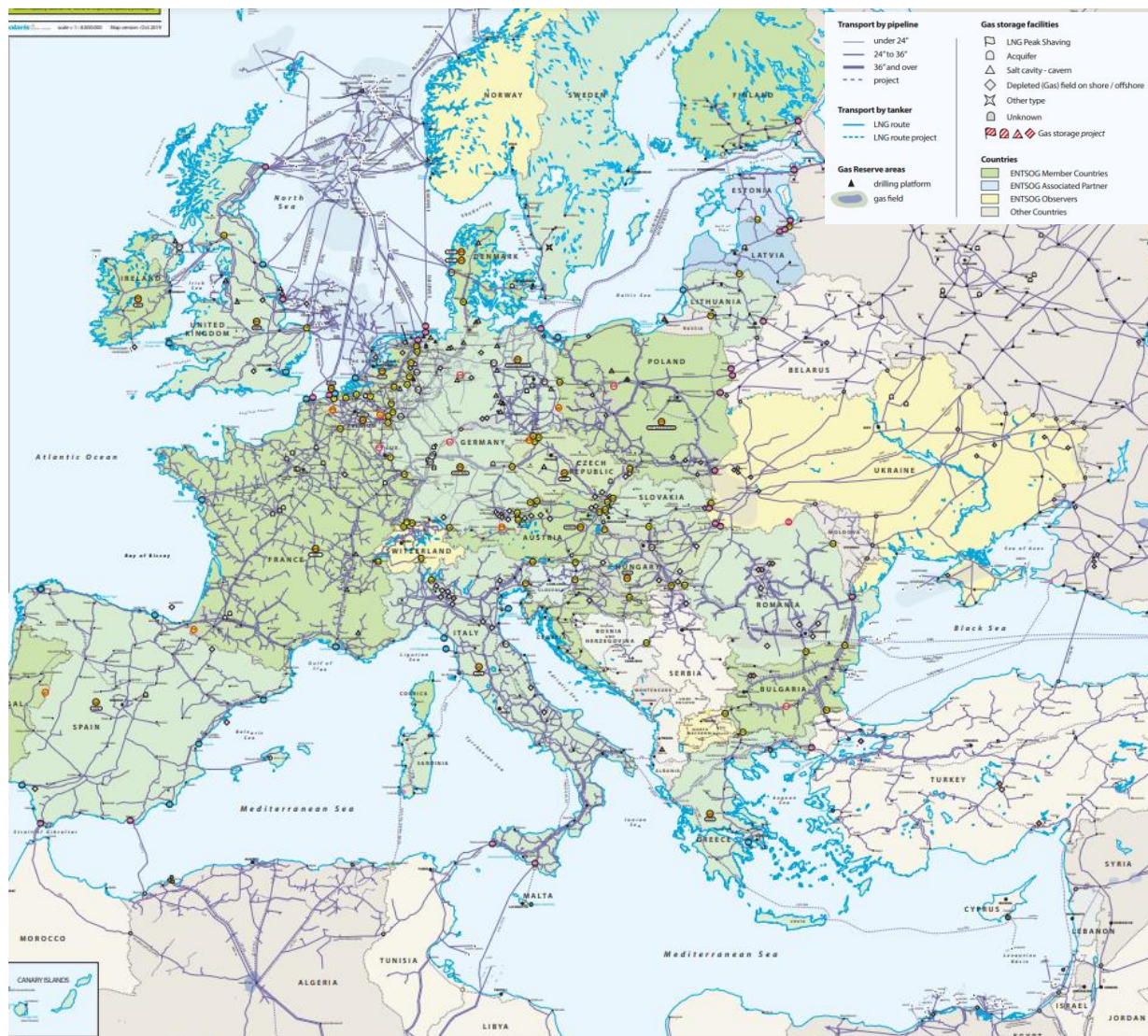
Σύμφωνα με την EM DAT CRED (2020), τα συμβάντα καταστροφών λόγω διαρροής φυσικού αερίου από το 1900 έως το 2020 (Οκτώβριος), απαριθμούνται σε 57, με τα περισσότερα

να καταγράφονται στην Κίνα (19), τις Η.Π.Α. (9) και την Ινδία (5). Οι θάνατοι που προκλήθηκαν από αυτά τα καταγεγραμμένα συμβάντα ανέρχονται σε 2.857 και ο αριθμός των επηρεασμένων ανθρώπων σε 513.606. Για την Ελλάδα συγκεκριμένα καταγράφεται ένα μόνο συμβάν με 200 επηρεασμένους ανθρώπους και μηδενικούς θανάτους (βλ. Παράρτημα). Πρέπει να λάβουμε όμως υπόψη το γεγονός ότι η EM-DAT καταγράφει γεγονότα που πληρούν ένα από τα εξής κριτήρια: Συμβάν που έχει ως αποτέλεσμα το θάνατο 10 ή περισσότερων ανθρώπων, το τραυματισμό 100 ή περισσότερων ανθρώπων, την κήρυξη κατάστασης έκτακτης ανάγκης ή τέλος, την έκκληση για παγκόσμια βοήθεια (EM-DAT CRED, 2020b). Έτσι τα δεδομένα από κάθε βάση δεδομένων και τα κριτήρια που ενσωματώνει η καθεμία από αυτές, διαφέρουν σημαντικά. Για παράδειγμα, η Pipeline Safety Trust (2020) έχει καταγράψει συμβάντα όπου έχει προκύψει διαρροή φυσικού αερίου και υδροποιημένου φυσικού αερίου, τόσο κατά την εξαγωγή όσο και κατά τη διανομή αυτού. Ως κριτήρια χρησιμοποιούνται αυτά της PHMSA (Pipeline and Hazardous Material Safety Administration): Συμβάν διαρροής που οδηγεί σε θάνατο (έστω έναν) ή τραυματισμό που απαιτεί νοσηλεία, ζημιές μεγαλύτερες των 50.000\$ και διαρροές μεγαλύτερες των 3 εκατομμυρίων κυβικών ποδιών. Συμπληρωματικά περιλαμβάνει συμβάντα που έχουν ως συνέπεια την επείγουσα διακοπή λειτουργίας εγκαταστάσεων υδροποιημένου φυσικού αερίου ή και συμβάντα που χαρακτηρίζονται κρίσιμα, κατά κρίση, για λοιπούς λόγους. Μελέτη αυτών μας δείχνει το μεγάλο όγκο συμβάντων που συνδέονται με το φυσικό αέριο από το 1986 έως το 2020 στις Η.Π.Α. Εικόνες με τα εν λόγω στοιχεία διατίθενται στο Παράρτημα.

Η χρήση αγωγών αποτελεί αξιόπιστη και αποτελεσματική μέθοδο για τη μεταφορά του φυσικού αερίου, αλλά υπάρχουν παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για να παραμένει ασφαλής η χρήση και η λειτουργία τους.

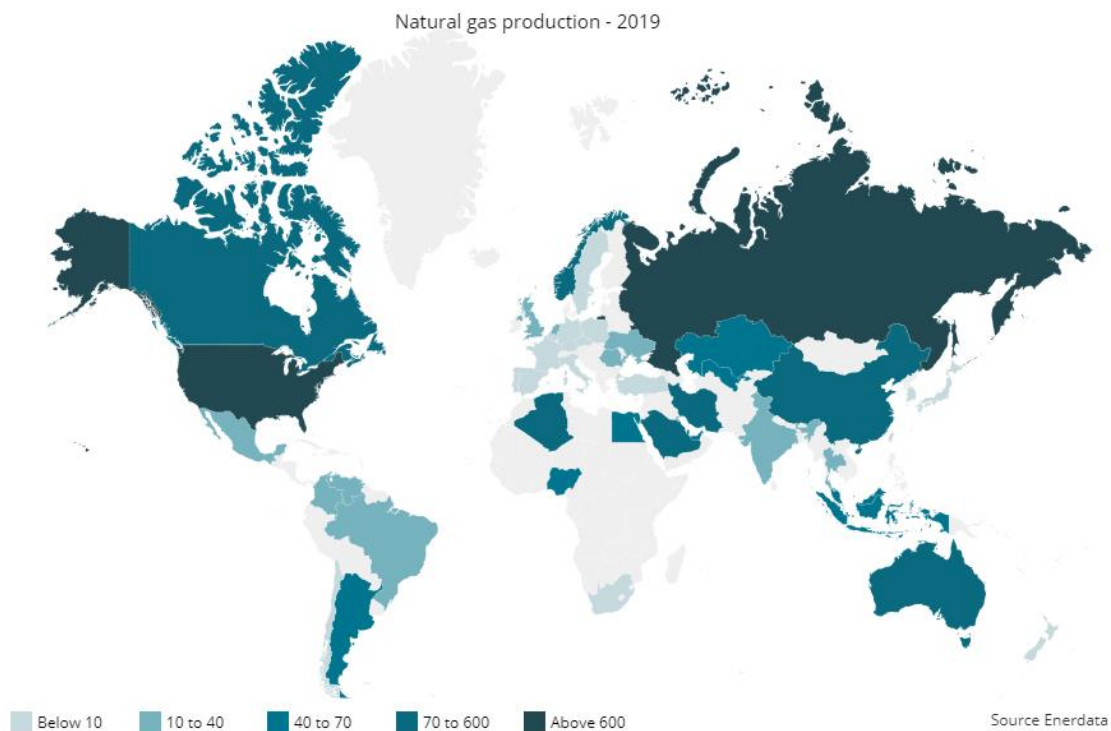
1.3. Ενεργειακή πολιτική της Ευρώπης. Το μέλλον και η εξέλιξη του φυσικού αερίου

Το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Φορέων Συστημάτων Μεταφοράς Φυσικού Αερίου (ENTSOG-European Network of Transmission System Operators for Gas), έχει ως σκοπό την ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ των φορέων διαχείρισης φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Εστιάζει στην ανάπτυξη του πανευρωπαϊκού δικτύου, με απώτερο σκοπό τη διασφάλιση της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Ασφάλειας. Παρατίθεται στη συνέχεια ο τελευταίος χάρτης του φορέα, όπου απεικονίζεται το σύνολο του υλοποιημένου αλλά και προγραμματισμένου δικτύου (Entsog, 2020).

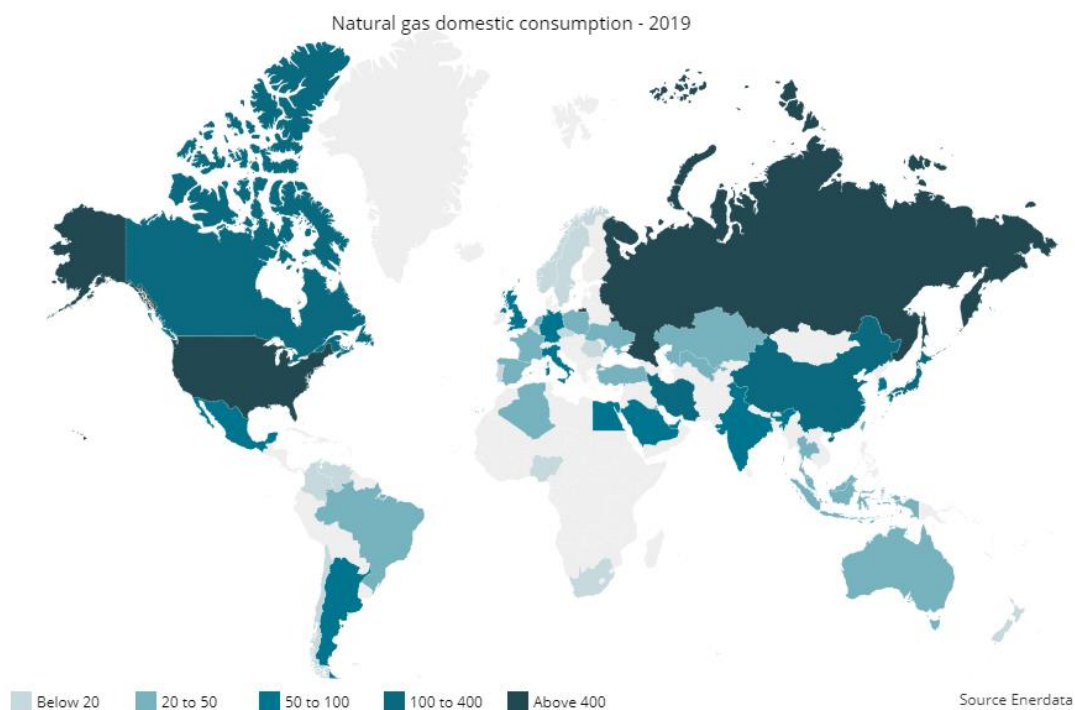


Εικόνα 1.2 Το Ευρωπαϊκό δίκτυο φυσικού αερίου, σύμφωνα με τα δεδομένα της 1^{ης} Ιανουαρίου του 2019. Η Ευρώπη εισάγει φυσικό αέριο από κάθε δυνατή πηγή, καθώς διακρίνονται οι εν λειτουργία και προγραμματισμένοι για υλοποίηση αγωγοί, από όλες τις πλευρές της Ευρώπης. Πηγή: (Entsog, 2020).

Η Ευρώπη έχει μικρή παραγωγή σε φυσικό αέριο και ουσιαστική παραγωγή πραγματοποιείται από τη Νορβηγία, την Ολλανδία και το Η.Β. Παράλληλα οι απαιτήσεις σε κατανάλωση υπερβαίνουν κατά πολύ την παραγωγή οδηγώντας στην ανάγκη εισαγωγής του προϊόντος (Enerdata, 2019).



Εικόνα 1.3 Παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου σε bcm (δισ. κυβικά μέτρα) για το έτος 2019. Τα περισσότερα κράτη της Ευρώπης βρίσκονται στο 0-6 bcm. Διακρίνουμε ότι η Ευρώπη περικλείεται από μεγάλους παραγωγούς. Πηγή: (Enerdata, 2019).



Εικόνα 1.4 Παγκόσμια κατανάλωση φυσικού αερίου σε bcm (δισ. κυβικά μέτρα) για το έτος 2019. Τα περισσότερα κράτη της Ευρώπης βρίσκονται στην τάξη των 35-95 bcm. Πηγή: (Enerdata, 2019).

Η σημασία του φυσικού αερίου για την Ευρωπαϊκή Ένωση, τονίζεται στον Κανονισμό 2017/1938 που αφορά την ασφάλεια εφοδιασμού με φυσικό αέριο. Αναφέρεται σε αυτόν ότι το φυσικό αέριο αποτελούσε και ακόμα αποτελεί βασική πηγή ενέργειας και ότι είναι κατ' εξοχήν εισαγόμενο προϊόν. Η διαταραχή εφοδιασμού της εν λόγω ενεργειακής πηγής μπορεί να έχει επιπτώσεις σε όλα τα κράτη μέλη και συγκεκριμένα στην οικονομία. Το φυσικό αέριο καλύπτει το ένα τέταρτο του εφοδιασμού σε πρωτογενή ενέργεια και συμβάλλει σε όλους τους τομείς: Παραγωγή ηλεκτρισμού, θέρμανση, τροφοδοσία βιομηχανίας και καύσιμα μεταφορών. Η διαφοροποίηση των διαδρομών μεταφοράς φυσικού αερίου και των πηγών εφοδιασμού για τη μείωση συνεπειών από πιθανές κρίσεις διαταραχής του εφοδιασμού, είναι πρωταρχικής σημασίας. Στο πλαίσιο αυτό, οι υποδομές φυσικού αερίου αύξησαν την ενεργειακή ασφάλεια και ενίσχυσαν τη διαφοροποίηση ενέργειας, καθιστώντας την Ευρώπη ως το δεύτερο μεγαλύτερο καταναλωτή τις τελευταίες δεκαετίες. Η Ε.Ε. είναι ευάλωτη σχετικά με την ενεργειακή ασφάλεια και λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις του Πρωτοκόλλου του Κυότο και της Συμφωνίας του Παρισιού, είναι λογική η μεταστροφή προς αυτήν την πηγή. Η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μέσω ενός ολοκληρωμένου, πλήρως διασυνδεδεμένου δικτύου με πολλαπλές πηγές εισόδου, είναι απαραίτητη. Η ανύπαρκτη ουσιαστικά παραγωγή σε φυσικό αέριο, καλύπτεται κατά 37% από τη Ρωσία, 31,6% από τη Νορβηγία και 12% από την Αλγερία. Αναδεικνύεται πλέον και με τις πρόσφατες εξελίξεις (ολοκλήρωση Δι-Αδριατικού αγωγού-TAP, σχεδιασμός EastMed, συζήτηση επέκτασης TurkStream σε GreekStream) η μελλοντική συμβολή της Αιγύπτου, του Ισραήλ, της Κύπρου και της Ελλάδας. Διακρίνεται λοιπόν η σημασία του Νότιου εφοδιαστικού διαδρόμου στο πλαίσιο διαφοροποίησης των πηγών εισαγωγής φυσικού αερίου και συγκεκριμένα για την απεξάρτηση από τις μεγάλες, μεμονωμένες πηγές εισαγωγής (Ρωσία). Συμπερασματικά οι υποδομές μεταφοράς (αγωγοί) και οι εν δυνάμει επιπτώσεις από μεγάλα ατυχήματα, αποτελούν θέμα που θα απασχολήσει περαιτέρω τη διαχείριση καταστροφών στην Ελλάδα για τις επόμενες δεκαετίες (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2017);(Siddi, 2019);(Τσακίρης, 2018).

1.4. Νομικό πλαίσιο

- **Οδηγία 2012/18/ΕΕ (Seveso III)**

Η οδηγία αυτή έχει σκοπό τη θέσπιση κανόνων, προκειμένου να προλαμβάνονται αλλά και να αντιμετωπίζονται με το καλύτερο δυνατό τρόπο, οι κίνδυνοι που μπορούν να προκύψουν από μεγάλα ατυχήματα σχετιζόμενα με επικίνδυνες ουσίες. Με αυτό το τρόπο περιορίζονται οι επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Προκάτοχος της εν λόγω οδηγίας αποτελούσε η οδηγία 96/82/ΕΚ, της οποίας η συμβολή στη μείωση των συνεπειών υπήρξε καθοριστική αλλά δεν οδήγησε σε μείωση του ποσοστού εκδήλωσης των μεγάλων ατυχημάτων. Με τη νέα οδηγία δίνεται περισσότερη έμφαση στη πρόληψη και επικαιροποιούνται παράλληλα οι σχετικές διατάξεις. Προβλέπεται συνεργασία μεταξύ των φορέων εκμετάλλευσης με απώτερο σκοπό τη μείωση του κινδύνου πολλαπλασιαστικών επιδράσεων (domino effects) λόγω εγγύτητας. Παράλληλα, οι μονάδες που διαθέτουν σημαντικές ποσότητες επικίνδυνων ουσιών, απαιτείται να συντάξουν σχέδια έκτακτης ανάγκης και να λάβουν μέτρα αντιμετώπισης. Αξιοσημείωτη είναι η αναφορά πιθανών φυσικών καταστροφών που αυξάνει τον κίνδυνο εκδήλωσης ατυχήματος (περιπτώσεις Natech) και η δυνατότητα ενεργής συμμετοχής του ενδιαφερόμενου κοινού σχετικά με τα εξωτερικά σχέδια έκτακτης ανάγκης (Σύμβαση του Ωρχους). Πρέπει μάλιστα σύμφωνα με την οδηγία να παρέχονται στο κοινό, επι μονίμου βάσεως, πληροφορίες σχετικά με το τρόπο δράσης και παρέχεται παράλληλα το δικαίωμα συμμετοχής του, πριν τη λήψη αποφάσεων

(σχεδιασμός νέων μονάδων, σημαντικές μετατροπές μονάδων, χωροθέτηση νέων έργων) που αυξάνουν εν δυνάμει το κίνδυνο ατυχήματος. Ο ΤΑΡ για παράδειγμα διαθέτει τη δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης της παροχής από 10 σε 20 bcm/έτος και αν υλοποιηθεί αυτό, θα εμπίπτει στην περίπτωση μετατροπής των εγκαταστάσεων. Θα πρέπει δηλαδή μελλοντικά να επανεξεταστεί η ΠΠΜΑ (Πολιτική Πρόληψης Μεγάλων ατυχημάτων) και η έκθεση ασφαλείας, σε συνάρτηση με το ενδιαφερόμενο κοινό (ΤΑΡ, 2020b);(Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2012).

Η Οδηγία δεν εφαρμόζεται σε επικίνδυνες ουσίες που μεταφέρονται μέσω αγωγών, συμπεριλαμβανομένων των σταθμών άντλησης, έξω από τις μονάδες. Καλύπτει δηλαδή συμβάντα εντός των μονάδων για την περίπτωσή μας. Επίσης δεν καλύπτει την υπεράκτια έρευνα και την εκμετάλλευση υδρογονανθράκων, τομείς που θα απασχολήσουν όμως την Ελλάδα στο προσεχές μέλλον, εφόσον υλοποιηθεί ο EastMed. Ως Μεγάλο Ατύχημα ορίζονται οι μεγάλες διαρροές, οι πυρκαγιές και οι εκρήξεις που μπορούν να βλάψουν τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Οι μονάδες ανώτερης βαθμίδας (ταξινόμηση βάσει ποσότητας επικίνδυνης ουσίας), απαιτείται να καταβάλλουν έκθεση ασφαλείας που θα είναι σύμφωνη με την ΠΠΜΑ (Πολιτική Πρόληψης Μεγάλων Ατυχημάτων), να προβλέπουν πιθανά σενάρια ατυχημάτων και να διαθέτουν εσωτερικά/εξωτερικά σχέδια έκτακτης ανάγκης. Τα εσωτερικά/εξωτερικά σχέδια έκτακτης ανάγκης πρέπει να δοκιμάζονται και να επικαιροποιούνται, αν αυτό καταστεί αναγκαίο, εντός τριετίας. Σημαντικός παράγοντας στη πρόληψη αποτελεί και ο σχεδιασμός των χρήσεων γης. Απαιτείται μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό, ειδικά όσον αφορά τη χωροθέτηση νέων μονάδων (πρόβλεψη για εν δυνάμει πολλαπλασιαστικές επιπτώσεις) και τα νέα χωροταξικά έργα πλησίον των υπαρχόντων μονάδων. Παρέχονται και πληροφορίες σχετικά με τις επικίνδυνες ουσίες που εμπίπτουν στις κατηγορίες κινδύνου καθώς και τις οριακές ποσότητες αυτών για το καθορισμό μονάδων κατώτερης/ανώτερης βαθμίδας (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2012).

Η πληροφόρηση και η ενημέρωση του κοινού επιβάλλεται σύμφωνα με την Οδηγία. Σκοπός είναι η γνωστοποίηση των πιθανών επιπτώσεων σε περίπτωση Μεγάλου Ατυχήματος αλλά και η προώθηση της απαιτούμενης συμπεριφοράς και νοοτροπίας, στα πρόσωπα που ενδέχεται να πληγούν. Ο φορέας εκμετάλλευσης υποχρεούται αρχικά, με την εκδήλωση μεγάλου ατυχήματος, να ενημερώνει το συντομότερο δυνατό την αρμόδια αρχή και να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις περιστάσεις υπό τις οποίες εκδηλώθηκε, τις επικίνδυνες ουσίες που εμπλέκονται, τα διαθέσιμα στοιχεία εκτίμησης των επιπτώσεων στον άνθρωπο, το περιβάλλον και τα περιουσιακά στοιχεία και τα ληφθέντα μέτρα. Στο πλαίσιο αυτό είναι σημαντικό να υφίστανται έτοιμα κάποια υποθετικά σενάρια, με τη συνδυαστική χρήση λογισμικών όπως τα Hazus, Aloha, ArcGis, Qgis κ.α., για να είναι διαθέσιμη η απαραίτητη πληροφορία. Στο στάδιο της αρωγής και της αποκατάστασης, ο φορέας εκμετάλλευσης οφείλει να πληροφορεί την αρμόδια αρχή για τις δράσεις που θα οδηγήσουν σε μετριασμό των επιπτώσεων και τα μέτρα που θα εξασφαλίσουν αποφυγή επανάληψης παρόμοιου ατυχήματος. Με αυτόν τον τρόπο, η αρμόδια αρχή εξασφαλίζει ότι εκτελούνται τα μέτρα αντιμετώπισης και αποκατάστασης και προβαίνει σε συστάσεις μελλοντικής πρόληψης και ενημέρωση του επηρεαζόμενου κοινού. Επίσης συγκεντρώνει πληροφορίες για την πλήρη ανάλυση του ατυχήματος και ενημερώνει (υπό συγκεκριμένα κριτήρια επιπτώσεων και επικίνδυνων ουσιών) την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η οποία συγκεντρώνει την πληροφορία σε μια βάση δεδομένων και τη διαθέτει στα κράτη-μέλη. Πρόσβαση στην εν λόγω βάση δεδομένων έχουν κάποια εξουσιοδοτημένα μόνο πρόσωπα και είναι σημαντικό να διαθέτουν τα προσόντα αξιοποίησης της γνώσης αυτής. Στο Μέρος 2 (Κατονομαζόμενες επικίνδυνες ουσίες) στον Α/Α 18, συγκαταλέγεται το φυσικό αέριο και το υγροποιημένο φυσικό αέριο (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2012).

- **Οδηγία 2009/73/ΕΚ**

Η Οδηγία αφορά κανόνες για την εσωτερική αγορά φυσικού αερίου αλλά τονίζεται στο Άρθρο 3, §2, ότι τα κράτη μέλη μπορούν να επιβάλουν στις επιχειρήσεις παροχής υπηρεσιών, υποχρεώσεις που αφορούν την ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος. Περιλαμβάνεται στα καθήκοντα των διαχειριστικών φορέων η ανάπτυξη και η συντήρηση ασφαλών, αξιόπιστων εγκαταστάσεων μεταφοράς και οφείλουν να παρέχουν μεταξύ τους επαρκείς πληροφορίες για να εξασφαλίζεται αυτή η αποτελεσματική και ασφαλής λειτουργία (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2009).

- **Οδηγία 2008/114/ΕΚ**

Στην Οδηγία αυτή ορίζονται οι Ευρωπαϊκές Υποδομές Ζωτικής Σημασίας (ΕΥΖΣ) ως «*τα συστήματα ή μέρη αυτών που βρίσκονται εντός των κρατών μελών και τα οποία είναι ουσιώδη για τη διατήρηση των λειτουργιών ζωτικής σημασίας της κοινωνίας, της υγείας, της ασφάλειας, της οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας των μελών της και των οποίων η διακοπή λειτουργίας ή η καταστροφή θα είχε σημαντικό αντίκτυπο σε δύο τουλάχιστον κράτη μέλη*». Στο παράρτημα της Οδηγίας η διανομή φυσικού αερίου μέσω αγωγών αλλά και οι τερματικοί σταθμοί υδροποιημένου φυσικού αερίου, συμπεριλαμβάνονται στο κατάλογο των ΕΥΖΣ. Η Οδηγία αποτελεί τμήμα ενός γενικότερου συνόλου Κανονισμών και Οδηγιών, που έχουν ως στόχο την ευρωπαϊκή ολοκλήρωση σε θέματα ασφάλειας των ΕΥΖΣ. Η ανάγκη έκδοσης της Οδηγίας, μεταξύ άλλων, έγκειται σε πρόταση προσέγγισης όλων των πιθανών κινδύνων με προτεραιότητα στις τρομοκρατικές απειλές αλλά και με έμφαση τόσο στις τεχνολογικές, όσο και στις φυσικές καταστροφές. Στα κριτήρια περιλαμβάνονται οι απώλειες (νεκροί και τραυματίες), οι οικονομικές επιπτώσεις (ζημιά, υποβάθμιση υπηρεσιών, περιβαλλοντικές επιπτώσεις) και η διατάραξη της καθημερινότητας. Κάθε κράτος μέλος οφείλει να ελέγχει την ύπαρξη Σχεδίων Ασφαλείας Λειτουργίας (ΣΑΛ) και να τα αξιολογεί για την καταλληλότητα και την επικαιροποίησή τους. Στο πλαίσιο αυτό ορίζονται Αξιωματικοί Σύνδεσμοι Ασφαλείας, που λειτουργούν ως σημείο επαφής για θέματα ασφαλείας και υποβάλλονται ανά διετία εκθέσεις σχετικά με την αξιολόγηση του κινδύνου, τις απειλές και την τρωτότητα των ΕΥΖΣ (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2008).

- **ΦΕΚ354/ΚΥΑ 172058/17-2-2016**

Στο ΦΕΚ αυτό καθορίζονται οι κανόνες, τα μέτρα και οι όροι για την αντιμετώπιση κινδύνων από ατυχήματα μεγάλης έκτασης, λόγω ύπαρξης επικίνδυνων ουσιών. Όπως ορίζει και η Οδηγία 2012/18/ΕΕ, η απόφαση αυτή δεν εφαρμόζεται σε μεταφορά επικίνδυνων ουσιών μέσω αγωγών, συμπεριλαμβανομένων των σταθμών άντλησης εκτός εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβάνεται όμως η υπόγεια αποθήκευση φυσικού αερίου. Ως ενδιαφερόμενο κοινό ορίζεται εκείνο που ενδέχεται να θιγεί ή που διακυβεύονται έννομα συμφέροντα από συγκεκριμένα θέματα της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Ο φορέας εκμετάλλευσης έχει την υποχρέωση να λαμβάνει τα απαραίτητα μέτρα σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις (ιδίως του Ν.1650/1986, Ν.4014/2011, Ν.3850/2010 και του Ν.3982/2011) για την πρόληψη ατυχημάτων και το περιορισμό των επιπτώσεών τους, όπως και να βρίσκεται πάντα στη θέση να επιθεωρηθεί επ' αυτών. Το σύστημα διαχείρισης και η οργάνωση που αφορά την πρόληψη ατυχημάτων, πρέπει να περιλαμβάνονται στη Μελέτη Ασφαλείας των εγκαταστάσεων ανώτερης βαθμίδας και σημειώνεται σε αυτό το σημείο, ότι στην περιγραφή του περιβάλλοντος της εγκατάστασης, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη γειτνιάζουσες εγκαταστάσεις και έργα που εγκυμονούν κινδύνους (πολλαπλασιαστικά φαινόμενα). Λαμβάνοντας υπόψη τη συνεχή εμφάνιση νέων

δραστηριοτήτων, εγκαταστάσεων και έργων, θα πρέπει να επικαιροποιούνται τα στοιχεία αυτά συνεχώς και να επανεξετάζονται τα σενάρια δυνητικά μεγάλων ατυχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη συνθήκες που μπορούν να προκαλέσουν μια φυσική καταστροφή (π.χ. στεγανοποίηση του εδάφους - soil sealing που μπορεί να οδηγήσει σε πλημμυρικές συνθήκες). Ανεξάρτητα με το αν η εγκατάσταση ανήκει σε μια από τις δυο βαθμίδες, πρέπει να καταρτίζεται Πολιτική Πρόληψης Μεγάλων Ατυχημάτων (ΠΠΜΑ) η οποία υποβάλλεται μαζί με το φάκελο κοινοποίησης (χάρτες, πληροφορίες κ.λ.π.) στην αδειοδοτούσα αρχή. Διακρίνεται και εδώ η έμφαση στα πολλαπλασιαστικά φαινόμενα ιδίως για τις περιπτώσεις εγκαταστάσεων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις της απόφασης αλλά μπορούν εν δυνάμει να ενισχύσουν μια καταστροφή (Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, 2016).

Γενικά το ΦΕΚ αποτελεί εφαρμογή της Οδηγίας 2012/18/ΕΕ και οι διατάξεις προσαρμόζονται όπου απαιτείται. Η Μελέτη Ασφαλείας περιλαμβάνει πληροφορίες για το σύστημα διαχείρισης και την οργάνωση σε σχέση με την πρόληψη μεγάλων ατυχημάτων (περιβάλλον και περιγραφή εγκατάστασης, προσδιορισμός-ανάλυση επικινδυνότητας ατυχήματος και μέτρα προστασίας για το περιορισμό επιπτώσεων). Το σύστημα διαχείρισης ασφάλειας καθορίζεται σε σχέση με τους εν δυνάμει κινδύνους και αφορά την οργάνωση και το προσωπικό, τον έλεγχο λειτουργίας, τη διαχείριση αλλαγών, την αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων, την παρακολούθηση των επιδόσεων και το συνεχή έλεγχο και επανεξέταση αυτών. Αναφορικά με τα εσωτερικά σχέδια έκτακτων αναγκών, σημαντικές είναι οι προβλέψεις για την έγκαιρη ειδοποίηση της αρμόδιας αρχής για την ενεργοποίηση του εξωτερικού αντίστοιχου σχεδίου, το οποίο πρέπει να χαρακτηρίζεται από αμεσότητα και επάρκεια και να προβλέπει ενημέρωση των ενδιαφερόμενων και του κοινού κατά περίπτωση. Τα κριτήρια κοινοποίησης μεγάλου ατυχήματος προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, καθορίζονται σε σχέση με τις εμπλεκόμενες επικίνδυνες ουσίες, τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή και τα περιουσιακά στοιχεία, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τις οικονομικές επιπτώσεις και τις διασυνοριακές επιπτώσεις. (Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, 2016).

Για τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης LPG / υγραερίου και αερίων υπό πίεση, τα πιθανά σενάρια περιλαμβάνουν την εκδήλωση: πύρινης σφαίρας (BLEVE), γλώσσας φωτιάς (Jet Fire), στιγμιαίας ανάφλεξης (Flash Fire), έκρηξης αερίου νέφους (UVCE) και λίμνης φωτιάς (Pool Fire), τα οποία μπορούν να εκδηλωθούν λόγω εσωτερικής παρέμβασης (λάθος χειρισμός, αστοχία υλικών κ.λ.π.) ή λόγω εξωτερικής παρέμβασης (σεισμός, πλημμύρα, πλησίον τεχνολογικά ατυχήματα κ.λ.π.) που προκαλούν κατ' επέκταση αστοχίες (θραύση αγωγού κ.λ.π.). Η οργάνωση των σεναρίων ατυχημάτων γίνεται συνήθως μέσω δένδρογραμμάτων και τα προαναφερθέντα αποτελούν τα ελάχιστα απαιτούμενα σενάρια καθότι υφίστανται επιπρόσθετοι παράγοντες πρόκλησης ατυχήματος (π.χ. σαμποτάζ, τρομοκρατική ενέργεια). Δίνεται έμφαση στην εκδήλωση του δυσμενέστερου σεναρίου (worst case scenario). Τέλος, καθορίζονται οι Ζώνες προστασίας που προκύπτουν από το καθορισμό της θερμικής ακτινοβολίας, του ωστικού κύματος και των τοξικών ουσιών. Η Ζώνη I (Προστασία δυνάμεων καταστολής) αφορά τραυματισμούς και θανάτους σε μικρό ποσοστό, η Ζώνη II (Προστασία πληθυσμού με σοβαρές επιπτώσεις) επιπτώσεις στην υγεία για μεγάλο ποσοστό και πιθανούς θανάτους σε μικρότερο ποσοστό και αποτελεί τη περιοχή όπου λαμβάνουν μέρος ενέργειες διάσωσης και τέλος η Ζώνη III (Προστασία πληθυσμού με μέτριες επιπτώσεις) αφορά επιπτώσεις υγείας σε μικρό ποσοστό και δεν αναμένονται θάνατοι (Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, 2016).

- **ΦΕΚ 603/B/5 Μαρτίου 2012 και τροποποίηση (ΦΕΚ2026/B/ΚΥΑ857/20-6-2012)**

Το ΦΕΚ καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις στο σχεδιασμό, την κατασκευή, τα υλικά, τα προληπτικά μέτρα, τις επιθεωρήσεις στο στάδιο δοκιμών και τη θέση σε λειτουργία των συστημάτων μεταφοράς φυσικού αερίου για τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας. Αφορά τα χερσαία συστήματα με μέγιστη πίεση λειτουργίας 16 bar αλλά όχι τα υποθαλάσσια συστήματα μεταφοράς, τερματικούς σταθμούς υγροποιημένου φυσικού αερίου και χαλύβδινα δίκτυα διανομής με μέγιστη πίεση σχεδιασμού 19 bar. Γίνεται αναφορά στις Μελέτες Ασφαλείας και την εκτίμηση κινδύνου καθώς και στα ευρωπαϊκά πρότυπα, τις τεχνικές προδιαγραφές και κάποια τεχνικά εγχειρίδια. Με την τροποποίηση διορθώνονται ουσιαστικά οι αναφορές στα ευρωπαϊκά πρότυπα, βάσει των οποίων διενεργείται η Μελέτη Ασφαλείας, η εκτίμηση του κινδύνου και η μέθοδος πιθανοτήτων. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στο σεισμικό κίνδυνο. (Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, 2012a);(Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, 2012b).

- **ΣΑΤΑΜΕ**

Τα Σχέδια αντιμετώπισης Τεχνολογικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης (ΣΑΤΑΜΕ), ορίζονται στην 3^η έκδοση του Γενικού ΣΑΤΑΜΕ με την κωδική ονομασία «Ηράκλειτος» και αφορούν στην αντιμετώπιση ατυχημάτων μεγάλης έκτασης σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις που υπάγονται στην Οδηγία Seveso III. (ΓΓΠΠ, 2020). Στην τελευταία αυτή αναθεωρημένη έκδοση, οι στόχοι είναι οι εξής:

- Ο προσδιορισμός των ρόλων, των αρμοδιοτήτων και του πλαισίου συνεργασίας των φορέων σε όλα τα επίπεδα διοίκησης, για την άμεση και συντονισμένη αντιμετώπιση των τεχνολογικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης, σε εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στην Οδηγία Seveso (κατώτερης και ανώτερης βαθμίδας) και σε εγκαταστάσεις με επικίνδυνες ουσίες που δεν εμπίπτουν στη Seveso.
- Ο καθορισμός σχεδίασης και σύνταξης των ειδικών ΣΑΤΑΜΕ (εξωτερικά σχέδια έκτακτης ανάγκης) για τις εγκαταστάσεις Seveso ανώτερης βαθμίδας.
- Η παροχή συντονιστικών οδηγιών για εφαρμογή και κατάρτιση των ΣΑΤΑΜΕ από τους ενδιαφερόμενους.

Επιδιώκεται μέσω της σωστής οργάνωσης, η συντονισμένη δράση όλων των εμπλεκόμενων φορέων για την υποστήριξη της δράσης καταστολής και την αντιμετώπιση της έκτακτης ανάγκης. Το τεχνολογικό ατύχημα μεγάλης έκτασης, ορίζεται ως ένα ξαφνικό συμβάν (μεγάλη διαρροή, πυρκαγιά, έκρηξη) που προκύπτει σε εγκατάσταση που υπάγεται στην οδηγία Seveso, το οποίο επιφέρει επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον και σχετίζεται με μια ή περισσότερες επικίνδυνες ουσίες. Σημαντικό τμήμα της οδηγίας αποτελεί ο καθορισμός ζωνών προστατευτικών δράσεων. Η Ζώνη I καθορίζεται ως η περιοχή όπου λαμβάνουν μέρος σοβαροί τραυματισμοί και σημαντικό ποσοστό θανάτων. Στη Ζώνη II αναμένεται μικρό ποσοστό θανάτων και μη ανατάξιμες βλάβες στην ανθρώπινη υγεία. Επίσης λαμβάνουν μέρος διασσωστικές επιχειρήσεις από τα σωστικά συνεργεία. Στη Ζώνη III δεν αναμένονται θάνατοι και το ποσοστό τραυματιών είναι μικρό. Εδώ λαμβάνουν μέρος διασσωστικές επιχειρήσεις κυρίως από το γενικό πληθυσμό. Τέλος η ψυχρή ζώνη περιλαμβάνει τη Ζώνη III και επεκτείνεται ανάλογα με τις τακτικές συνθήκες, δηλαδή τη δραστηριοποίηση του προσωπικού της Ομάδας Ασφαλείας Περιμέτρου.

Το σχέδιο Ηράκλειτος ενεργοποιείται αυτόματα με την ενημέρωση της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας από οποιονδήποτε δημόσιο ή ιδιωτικό φορέα, σε περίπτωση εκδήλωσης ή υπόνοιας εκδήλωσης μεγάλου τεχνολογικού ατυχήματος, αφού επιβεβαιωθεί η πληροφορία. Ανάλογες διαδικασίες εφαρμόζονται και για τις εγκαταστάσεις που δεν εμπíπτον στις διατάξεις της ΚΥΑ172058/2016. Το αρμόδιο όργανο Πολιτικής Προστασίας (Δήμαρχος, Περιφερειάρχης, γενικός γραμματέας Π.Π. ή ΚΣΟΠΠ) είναι υπεύθυνο για το συντονισμό των εμπλεκόμενων φορέων για να εξασφαλίζεται η ενιαία, συγχρονισμένη δράση στην πρόληψη, ετοιμότητα, αντιμετώπιση και αποκατάσταση μιας καταστροφής. Ο συντονισμός των επιχειρήσεων ελέγχου και καταστολής συμβάντων στις εγκαταστάσεις Seveso, γίνεται από τα αρμόδια όργανα του Πυροσβεστικού Σώματος το οποίο μπορεί και να αιτηθεί την κινητοποίηση των λοιπών εμπλεκόμενων φορέων. Το σχέδιο είναι πολύ λεπτομερές στο καθορισμό των αρμοδιοτήτων και του ρόλου για κάθε φορέα αλλά για να είναι αποτελεσματικό στη πράξη, απαιτείται η συμμόρφωση όλων των εμπλεκόμενων (ενημέρωση, σύνταξη μνημονίων, καθορισμός σχεδίων δράσης). Ο έλεγχος του σχεδίου υλοποιείται μέσω της πραγματοποίησης ασκήσεων, σύμφωνα με τη σχετική νομοθεσία και το σχέδιο «Ξενοκράτης» (Τροπ. Ν.3013/2002 και ΥΑ 1299/2003). Στα θετικά συγκαταλέγεται η συμπερίληψη δράσεων αποκατάστασης, η κατάρτιση ειδικών ΣΑΤΑΜΕ και οδηγίες σχεδίασης αυτών, οδηγίες για τα σενάρια ατυχημάτων και η πρόβλεψη πληροφοριών συντεταγμένων στις προβλεπόμενες φόρμες (χρήση-αξιοποίηση σε λογισμικά GIS) (ΓΓΠΠ, 2020).

1.5. Πρωτοβουλίες και δράσεις για την ενίσχυση της ασφάλειας και της ανθεκτικότητας των υποδομών φυσικού αερίου

1.5.1. Ερευνητικό έργο SecureGas

Το SecureGas είναι ευρωπαϊκό πρόγραμμα χρηματοδοτούμενο από την Ε.Ε. που έχει σκοπό την αύξηση της ασφάλειας και της ανθεκτικότητας του Ευρωπαϊκού δικτύου και συνυπολογίζει τόσο τους φυσικούς κινδύνους όσο και τους κινδύνους του κυβερνοχώρου. Οι φυσικοί κίνδυνοι περιλαμβάνουν ενέργειες τρίτων (εργασίες εκσκαφής, κατασκευές, σαμποτάζ, κακόβουλες ενέργειες) και εκείνοι του κυβερνοχώρου ενέργειες κυβερνοτρομοκρατίας, όπως το Night Dragon και το Shamoon, που έχουν προκαλέσει σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις στο παρελθόν. Μέχρι το 2018, εκτιμάται ότι οι κυβερνοεπιθέσεις έχουν προκαλέσει ζημιές ύψους 1,87 δις \$ σε παγκόσμιο επίπεδο. Αξίζει να σημειωθεί ότι όμιλος ΔΕΠΑ (Δημόσια Επιχείρηση Αερίου) συγκαταλέγεται μεταξύ άλλων, στους 21 συνεργάτες του SecureGas και αναμένεται εντός του 2021 να οριστικοποιηθεί η φάση προετοιμασίας για τρεις εν εξελίξει περιπτώσεις μελέτης (μεταξύ των οποίων και ο ΔΕΠΑ) και να δοκιμαστούν στην πράξη οι νέες πρακτικές/τεχνολογίες. Μέσω του SecureGas, έχει επιτευχθεί ο διαμοιρασμός της γνώσης επι του εξεταζόμενου αντικειμένου, η εισαγωγή των καλών πρακτικών και η εφαρμογή χρήσιμων τεχνολογιών. Σε τελικό επίπεδο, το σύνολο των προαναφερθέντων υιοθετείται, ενσωματώνεται και βελτιώνεται-εξελλίσσεται-προσαρμόζεται, με γνώμονα το κόστος και την ευκολία εφαρμογής ώστε να αποτελέσει πολλαπλασιαστικό παράγοντα στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας (SecureGas, 2020).

Πρωθούνται υπό το κοινό πλαίσιο δράσης, καινοτόμες τεχνολογίες που έχουν σκοπό την αύξηση της αντίληψης της κατάστασης και την υποστήριξη του μηχανισμού αποφάσεων έναντι των διάφορων απειλών-κινδύνων. Παράδειγμα αποτελεί η χρήση υπερ-ελαφρών, ταχέως επαναφορτιζόμενων, μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΜΕΑ), που επιτρέπει την

προγραμματισμένη παρακολούθηση μεγάλου τμήματος του δικτύου οικονομικά, ταχύτατα και με τη δυνατότητα αυτοματοποιημένων ειδοποιήσεων (ενσωματωμένοι αισθητήρες μέτρησης της ποιότητας του αέρα, αισθητήρες θερμοκρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης κ.α.). Συμπληρωματικές πληροφορίες παρέχονται από: την παρακολούθηση του δικτύου για αστοχίες και αλλαγές στην πίεση παροχής, μέσω απομακρυσμένων αισθητήρων και ένα αυτοματοποιημένο σύστημα προειδοποίησης για κατολισθήσεις (περίπτωση ισχυρής βροχόπτωσης). Όλα αυτά τα δεδομένα επεξεργάζονται σε πραγματικό χρόνο, από μια πλατφόρμα υποστήριξης που διαχειρίζεται τις διεργασίες των κρίσιμων υποδομών, μέσω ενός μοντέλου που βασίζεται στο OODA (Observe, Orient, Decide, Act) (SecureGas, 2020).

Στο πλαίσιο της διετούς δραστηριότητας της πρωτοβουλίας, έχουν εκδοθεί οι ακόλουθες τέσσερις επιστημονικές μελέτες (SecureGas, 2020):

- «Electricity Infrastructure Technical Security: Practical Application and Best Practices of Risk Assessment» (Hromada, Rehak, & Walker, 2020), όπου παρουσιάζεται η μετάβαση από τις γενικές προσεγγίσεις ανάλυσης διακινδύνευσης, σε εξειδικευμένες μεθοδολογίες, αναφορικά με τις υποδομές ηλεκτροδότησης, μέσω της εφαρμογής καλών πρακτικών.
- «Towards Risk and Resilience Quantification of Gas Networks based on Numerical Simulation» (Ganter et al., 2020), όπου παρουσιάζεται η εφαρμογή αλγόριθμου εξομοίωσης, σχετικά με τη διακοπή της τροφοδοσίας σε κομβικά τμήματα του δικτύου αγωγών. Υπολογίζεται έτσι η πίεση παροχής στους τελικούς αποδέκτες του προϊόντος ανάλογα το εξεταζόμενο σενάριο. Η πρακτική αυτή επιτρέπει τη στατιστική αξιολόγηση της σημαντικότητας των τμημάτων του δικτύου και της τρωτότητας των κομβικών σημείων αυτού.
- «Panarchy Process for Risk Control and Resilience Quantification and Improvement» (Haring et al., 2020), όπου παρουσιάστηκε ένα συνδυαστικό μοντέλο διαχείρισης κινδύνου-διαχείρισης ανθεκτικότητας, που στοχεύει σε μια ολιστική και ανατροφοδοτούμενη προσέγγιση. Η εν λόγω μελέτη εστιάζει στην ασφάλεια και προστασία των Υποδομών Ζωτικής Σημασίας.
- «Validation Strategy as a Part of the European Gas Network Protection» (Rehak et al., 2020), όπου προτείνεται μια στρατηγική αξιολόγησης των εισηγήσεων/πρακτικών της πρωτοβουλίας SecureGas, με σκοπό την επικύρωση αυτών και κατ' επέκταση την επίτευξη αύξησης της ανθεκτικότητας του ευρωπαϊκού δικτύου.

Επιπρόσθετα, θα εκδοθούν προσεχώς έξι ακόμα μελέτες, έχουν εκδοθεί τρία ενημερωτικά φυλλάδια (newsletters) και έχουν διεξαχθεί τρία διαδικτυακά σεμινάρια (webinars).

Το μοντέλο που έχει αναπτυχθεί με τη SecureGas, διαθέτει τέσσερα επίπεδα. Το πρώτο αφορά την άντληση πληροφοριών και δεδομένων από το πεδίο (αισθητήρες, βιομετρικά συστήματα, μετεωρολογικές συνθήκες, κάμερες, MEA) και το δεύτερο την εκμετάλλευση και επαλήθευση της πληροφορίας με ασφάλεια (security) (προγνωστικά μοντέλα, εφαρμογές προσομοίωσης, τεχνολογία blockchain). Το τρίτο επίπεδο αφορά τη διαχείριση της κατάστασης μέσω της αναγνώρισης, αποτίμησης και αξιολόγησης των πιθανών κινδύνων, σε όλα τα στάδια διαχείρισης. Το τέταρτο και τελικό επίπεδο στοχεύει στην άμεση διάχυση της πληροφορίας στο κοινό για την επαύξηση της αντίληψης. Η αρθρωτή μορφή και η δυνατότητα κλιμάκωσης –

αναπροσαρμογής, επιτρέπει την εκμετάλλευση των αναγκών κατά περίπτωση λειτουργιών, πρακτικών και εφαρμογών. Η μελέτη περίπτωσης του ΔΕΠΑ για παράδειγμα, στοχεύει στην αντιμετώπιση: αυτοσχέδιων εκρηκτικών μηχανισμών (που δύναται να φέρεται από ιπτάμενα μέσα), κακόβουλων επιθέσεων (κυβερνο-επιθέσεις), μη εξουσιοδοτημένης φυσικής πρόσβασης και το μη εξουσιοδοτημένο, χειροκίνητο χειρισμό των ρυθμιστικών βαλβίδων. Αυτό θα επιτευχθεί κυρίως με τη χρήση μέσων παρακολούθησης (κάμερες), τη χρήση βιομετρικών συστημάτων, τη χρήση εργαλείων με τεχνολογία μάθησης των μηχανών (machine learning) και υποδομών που θα εξασφαλίζουν τη διάχυσή της πληροφορίας στο κοινό. Στα θετικά συγκαταλέγεται η προβολή της δράσης μέσω της ενεργής συμμετοχής στα κοινωνικά μέσα δικτύωσης (SecureGas, 2020).

1.5.2. Εκπαιδεύσεις για την προστασία των ΕΥΖΣ

Το Κέντρο Μελετών Ασφαλείας (ΚΕ.ΜΕ.Α.) αποτελεί νομικό πρόσωπο ιδιωτικού δικαίου, έχει διοικητική και οικονομική αυτοτέλεια και λειτουργεί προς όφελος του δημόσιου συμφέροντος. Εποπτεύεται από τον υπουργό Δημόσιας Τάξης και σκοπός του είναι η διεξαγωγή θεωρητικής και εφαρμοσμένης έρευνας και η εκπόνηση μελετών για θέματα της πολιτικής ασφαλείας. Αποτελεί τον υπεύθυνο φορέα για την προστασία των ΕΥΖΣ και στο πλαίσιο αυτό ανέλαβε την υλοποίηση της δράσης «Εκπαιδεύσεις για την προστασία των ΥΖΣ», με σκοπό την ενίσχυση της ασφάλειας αυτών μέσω του διαμοιρασμού εξειδικευμένης γνώσης, της αύξησης των επιπέδων ετοιμότητας και της συνεργασίας των εμπλεκόμενων. Οι κύριοι διαχειριστές των ΕΥΖΣ είναι υπεύθυνοι για την ασφάλεια αλλά θα πρέπει να υπάρχει συνεργασία με τους κατάλληλους φορείς και τις αρμόδιες αρχές, για να υφίσταται αποτελεσματική διαχείριση κινδύνου. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να ελέγχονται και να επικαιροποιούνται τα μέτρα ελέγχου. Παράδειγμα αποτελεί η αξιολόγηση των Σχεδίων Ασφάλειας Λειτουργίας (ΣΑΛ) των ΕΥΖΣ. Το εγχειρίδιο που εκπονήθηκε από το ΚΕ.ΜΕ.Α. προσφέρει απαραίτητες γνώσεις σε θέματα ασφαλείας και κρίνεται απαραίτητο να διατίθεται στους ενδιαφερόμενους, στο πλαίσιο επιμόρφωσης του προσωπικού. (Ελληνική Δημοκρατία, 2005);(Καζανάς et al., 2018).

1.5.3. Καλές πρακτικές και οδηγίες ασφαλείας για αγωγούς

Ο οργανισμός Ηνωμένων Εθνών έχει εκδώσει μια αναφορά που παρέχει οδηγίες ασφαλείας και σειρά καλών πρακτικών, όσον αφορά τα δίκτυα αγωγών. Οι οδηγίες που παρέχονται, αναφέρονται σε κράτη του ECE (United Nations Commission of Europe) και αφορούν γενικές αρχές για την ασφάλεια, εισηγήσεις προς όλα τα επίπεδα (κράτος, φορείς, διαχειριστές), συμβουλές σχετικά με το σχεδιασμό, τα υλικά, την προστασία (από διάβρωση και φωτιά), τον εξοπλισμό ασφαλείας, το βάθος κάλυψης και τη σήμανση και οδηγίες για την κατασκευή, τον έλεγχο και το σύστημα διαχείρισης του δικτύου. Επιπρόσθετα, παρέχονται γενικές κατευθύνσεις σχετικά με το σχεδιασμό αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών, τόσο για τα εσωτερικά σχέδια δράσης όσο και για τα εξωτερικά, για τη διεξαγωγή επιθεωρήσεων και τέλος για την εκτίμηση διακινδύνευσης/κινδύνου και το σχεδιασμό χρήσεων γης. Η αναφορά αποτελεί πολύτιμο εργαλείο καθώς συγκεντρώνει πληροφορίες από πολλές πηγές και η αξιοποίησή του κρίνεται απαραίτητη για το εξεταζόμενο αντικείμενο (United Nations, 2014).

1.6. Διαχείριση διακινδύνευσης και προσέγγιση των Natech καταστροφών

Σύμφωνα με τους Girgin, Necci & Krausmann (2019), τα τεχνολογικά ατυχήματα που εκδηλώνονται συνέπεια των φυσικών καταστροφών (Natech), συχνά παραβλέπονται στα εθνικά και περιφερειακά σχέδια αντιμετώπισης καταστροφών. Κάνουν λόγο για τα NRA (National Risk Assessment) ως εργαλείο για την αναγνώριση και την ανάλυση της διακινδύνευσης και των επιπτώσεων, σε περίπτωση εκδήλωσης μιας καταστροφής και τονίζουν συνάμα ότι οι περιπτώσεις Natech δεν λαμβάνονται συνήθως υπόψη. Κάνουν προσπάθεια μέσω της μελέτης τους για την προώθηση τακτικής, με την οποία τα Natech σενάρια μπορούν να συμπεριληφθούν στα NRA. Οι Natech καταστροφές μπορούν εν δυνάμει να προκαλέσουν περίπλοκες συνέπειες μέσω πολλαπλασιαστικών δράσεων, οδηγώντας σε πολλαπλές πηγές απελευθέρωσης επικίνδυνων ουσιών (διαφορετικής φύσης ενδεχομένως) και υπονομεύοντας τη διαδικασία αντιμετώπισης μιας καταστροφής (καταστροφή του οδικού δικτύου, υποβάθμιση δικτύου ηλεκτροδότησης-υδροδότησης). Το προσωπικό μιας εγκατάστασης που διαχειρίζεται επικίνδυνες ουσίες γνωρίζει πως να αντιμετωπίζει τεχνολογικά ατυχήματα αλλά συχνά δεν λαμβάνεται υπόψη η ταυτόχρονη εκδήλωση φυσικών καταστροφών. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο τρόπος αντιμετώπισης μπορεί να απαιτεί αρκετά διαφορετικές διαδικασίες ή η εφαρμογή των υπάρχοντων σχεδίων να καθίσταται ανέφικτη.

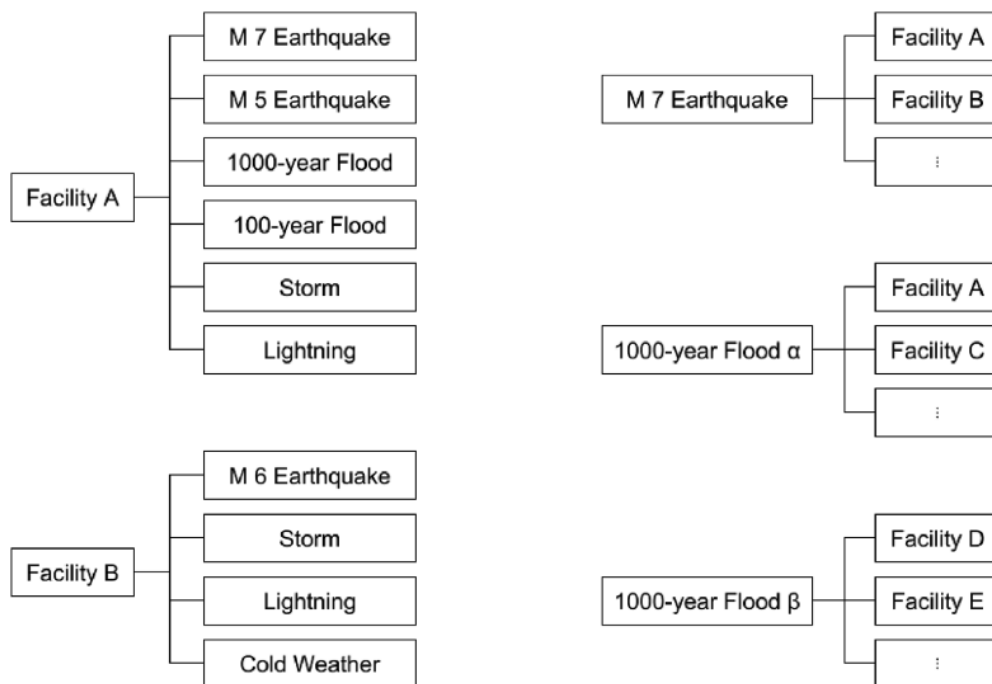
Τα NRA βοηθούν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και καλύπτουν τη διαχείριση μιας καταστροφής από το στάδιο της προετοιμασίας και της πρόληψης, έως και την ενημέρωση του κοινού και προωθούν την ανθεκτικότητα (resilience). Σε μια αναφορά του 2018 σχετικά με τα NRA κρατών του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) για το έτος 2017 (OECD, 2018), επισημαίνεται η σημασία της ευρείας προσέγγισης του θέματος. Αρκετές χώρες καλύπτουν στις αναφορές τους πληθώρα κινδύνων, όπως τους φυσικούς κινδύνους, τις μολυσματικές ασθένειες, τις κυβερνο-επιθέσεις, το οργανωμένο έγκλημα, τις τρομοκρατικές επιθέσεις και την κατάρρευση μηχανισμών και φορέων. Η ολιστική αυτή προσέγγιση έχει αποδειχθεί χρήσιμη στην αναγνώριση και ανάλυση συνδυαστικών φαινομένων όσον αφορά τις φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές και μπορεί να αποδειχθεί αποδοτικότερη στο σχεδιασμό για την αντιμετώπιση σύνθετων σεναρίων. Σημαντικός παράγοντας για την αντικειμενικότητα των NRA, είναι η μη συσχέτιση αυτών με πολιτικές ευθύνες. Θα πρέπει να εξελίσσονται με βάση την πρότερη εμπειρία και να αναθεωρούνται προς το καλύτερο με κάθε νέα καταστροφή που παρουσιάζεται (Serkan Girgin et al., 2019).

Τα NRA μπορούν να παραχθούν σε τοπικό-περιφερειακό επίπεδο, σε εθνικό-στρατηγικό επίπεδο ή με συνδυασμό των δυο. Η τελευταία προσέγγιση, αρχικά εκ των κάτω (bottom-up process), επιτρέπει την ομαλή και εύκολη έναρξη της διαδικασίας ενώ το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει από τη συνέργεια ειδικών πολλαπλών ειδικοτήτων και διάφορων φορέων. Ελάχιστες χώρες ενσωματώνουν τα αποτελέσματα των NRA στο μηχανισμό λήψης αποφάσεων, για αξιοποίηση στο προσδιορισμό της κατανομής και διάθεσης των πόρων και στη διαδικασία δεν συμπεριλαμβάνονται πάντα όλοι οι ενδιαφερόμενοι (stakeholders). Στη συνέχεια παρουσιάζονται βασικές εισηγήσεις από την αναφορά του OECD (OECD, 2018):

- Χρήση των NRA ως τμήμα της ενιαίας Στρατηγικής Διαχείρισης Διακινδύνευσης.
- Αναγνώριση και συμπερίληψη των ενδιαφερόμενων σε πρώιμο στάδιο, σε μια συνεχή διαδικασία συζήτησης-εφαρμογής-ανατροφοδότησης.

- Υιοθέτηση προσέγγισης των NRA για όλους τους πιθανούς κινδύνους (γενεσιουργός αιτία και τρόπος εκδήλωσης).
- Αξιοποίηση των αποτελεσμάτων των NRA στο μηχανισμό λήψης αποφάσεων.
- Χρήση κατάλληλης μεθοδολογίας ώστε να παράγονται συγκρίσιμα αποτελέσματα.
- Ενσωμάτωση αποτελεσμάτων των NRA στο νομικό πλαίσιο.
- Δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων στο ευρύτερο κοινό με προσοχή στις ευαίσθητες πληροφορίες.
- Υιοθέτηση νοοτροπίας συνεχούς επαναξιολόγησης.
- Ανάθεση ξεκάθαρων ευθυνών και ρόλων μεταξύ των φορέων.

Το 2015 η εξέταση των πρώτων 18 NRA από τα κράτη μέλη που συμμετέχουν στο Μηχανισμό Πολιτικής Προστασίας (για το έτος 2014), έδειξε ότι ελάχιστες από αυτές λάμβαναν υπόψη τις επιπτώσεις των φυσικών κινδύνων (στο περιβάλλον, τις κρίσιμες υποδομές και τις μεταφορές) και δεν περιλάμβαναν ξεκάθαρη αναφορά σε Natech κινδύνους. Τρία χρόνια αργότερα η εξέταση των επόμενων 34 NRA (με έξι κράτη εκτός Ε.Ε.) έδειξε αύξηση της αντίληψης περί Natech, με επιφανειακή παρά ταύτα ενασχόληση. Παραβλέπονται συνήθως στις αναλύσεις οι επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών σε εγκαταστάσεις με επικίνδυνες ουσίες και δεν λαμβάνονται υπόψη όλες οι πιθανές φυσικές καταστροφές ως παράγοντας πρόκλησης τεχνολογικού ατυχήματος. Οι αναλύσεις εστιάζονται περισσότερο στις κρίσιμες υποδομές και το πρόβλημα έγκειται κυρίως στη μη ύπαρξη μεθοδολογίας και κατευθύνσεων για την εκτίμηση διακινδύνευσης από καταστροφές Natech. Η διαχείριση των Natech καταστροφών αποτελεί ένα περίπλοκο πρόβλημα, ειδικά για την περίπτωση ενός σύνθετου σεναρίου. Ενώ υπάρχουν διαθέσιμες μεθοδολογίες για την εκτίμηση διακινδύνευσης από πολλαπλούς κινδύνους, περιορισμοί στη διαθεσιμότητα των δεδομένων οδηγούν στη μη αποτελεσματική εφαρμογή τους, μέσω της απλούστευσης αυτών. Αναδεικνύεται λοιπόν η ανάγκη ύπαρξης ενός κοινού πλαισίου και μεθοδολογίας, υπό κοινό σύστημα αναφοράς, ώστε οι διαφορετικοί φορείς που εμπλέκονται, να αναγνωρίζουν, να αναλύουν και να αξιολογούν τους κινδύνους σε πλαίσιο συνέργειας, καθότι υπάρχει διαφορετική προοπτική αντιμετώπισης ανά φορέα/εμπλεκόμενο (για παράδειγμα η ανάλυση σεναρίου Natech από μια βιομηχανία σε σχέση με την ανάλυση σεναρίου Natech από την Πολιτική Προστασία). Βασική διαδικασία στην εκτίμηση NRA σχετικά με σενάρια Natech, είναι η συμπερίληψη όλων των πιθανών κινδύνων αλλά και των πιθανών συνδυασμών τους. Οι μελέτες ασφαλείας των μεμονωμένων εγκαταστάσεων, μπορούν να λειτουργήσουν επιβοηθητικά στη διαδικασία αυτή όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1, καθώς η Πολιτική Προστασία μπορεί να αξιοποιήσει τα δεδομένα (σεναρίων τεχνολογικών καταστροφών) των μεμονωμένων εγκαταστάσεων και να ανατροφοδοτήσει αντίστοιχα αυτές με επιπρόσθετα δεδομένα (σενάρια φυσικών καταστροφών). Έτσι μπορούν να προκύψουν ρεαλιστικά σενάρια Natech για την ανάλυση NRA, που θα συνυπολογίζουν σχεδόν όλους τους κινδύνους ή τουλάχιστον τους πιθανότερους να προκύψουν (Serkan Girgin et al., 2019).



Διάγραμμα 1 Σύγκριση προοπτικής των μελετών ασφαλείας μεμονωμένων εγκαταστάσεων (τοπικό επίπεδο) (αριστερά) σε σχέση με την προοπτική NRA σε εθνικό επίπεδο (στρατηγικό επίπεδο) (δεξιά). Πηγή: (Serkan Girgin et al., 2019).

Κανονισμοί και Οδηγίες, όπως η SEVESO, σχετικά με τη διαχείριση της διακινδύνευσης στο βιομηχανικό τομέα, συνήθως περιορίζονται σε συγκεκριμένα τμήματα και δεν καλύπτουν συγκροτήματα που καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος των εγκαταστάσεων. Τα τμήματα αυτά όμως, όπως οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στις NRA. Για την αναγνώριση εγκαταστάσεων που παρουσιάζουν τρωτότητα σε σενάριο Natech, απαιτείται η χαρτογράφηση των εγκαταστάσεων που περιέχονται εντός περιοχών φυσικών κινδύνων. Σε περιπτώσεις που το σύνολο αυτών είναι μεγάλο, δύναται η συμπερίληψη μονάχα των εγκαταστάσεων υψηλής βαθμίδας (ο μεγαλύτερος κίνδυνος) εφόσον μελετώνται μικρής έκτασης φυσικές καταστροφές. Η μεθοδολογία NRA έχει ως απώτερο σκοπό την αναγνώριση των κρίσιμων σεναρίων και σε αυτό το πλαίσιο, κάποια σεναρία μπορούν να απαλειφθούν βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ορίζει αυτά ως εξής:

- Επηρεαζόμενοι άνθρωποι περισσότεροι των 50.
- Οικονομικό και περιβαλλοντικό αντίκτυπο που αντιστοιχεί σε περισσότερα των 100 εκ. ευρώ.
- Πολιτικό-κοινωνικό αντίκτυπο που θεωρείται σοβαρό.
- Επιπτώσεις μεγαλύτερες από το 0,6% του ΑΕΠ.

Επισημαίνεται στη μελέτη των Girgin et al. (2019), ότι ενώ οι υποδομές μπορούν να διαθέτουν αυξημένη ανθεκτικότητα (resilience) μέσω μέτρων μετριασμού και παρακολούθησης με συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης και η αντιμετώπιση πιθανών καταστροφών διευκολύνεται με την ύπαρξη δικτύων κοινής ωφέλειας, η εκδήλωση ενός φυσικού φαινομένου μπορεί να αχρηστεύσει τμήματα αυτών. Παραδείγματα αποτελούν οι αισθητήρες παρακολούθησης παραμέτρων, τα συστήματα συναγερμού, τα μέτρα προστασίας (όπως οι τοίχοι

αντιστήριξης/συγκράτησης), τα δίκτυα κοινής ωφέλειας (lifelines), ο εξοπλισμός και οι υποδομές αντιμετώπισης (όπως τα πυροσβεστικά οχήματα και οι πυροσβεστικοί κρουνοί), ενώ το απαραίτητο προσωπικό μπορεί επίσης να αποκλειστεί και να μην έχει πρόσβαση στην περιοχή ενδιαφέροντος. Τα προαναφερθέντα αποτελούν σημαντικό παράγοντα εάν αναλογιστούμε ότι τα τεχνολογικά σενάρια ατυχήματος θεωρούν γενικά ότι τα μέσα αντιμετώπισης και πρόληψης είναι διαθέσιμα πάντα, γεγονός που δεν ισχύει συνήθως σε Natech καταστροφές. Στην εποχή που διανύουμε, η ανάπτυξη της τεχνολογίας αναδεικνύει σημαντικά θέματα ασφαλείας. Η Ε.Ε. δίνει μεγάλη έμφαση στην εκδήλωση τρομοκρατικών-κακόβουλων ενεργειών ακριβώς για αυτόν το λόγο καθώς οι φυσικές καταστροφές μπορούν να οδηγήσουν σε θέματα ασφαλείας σχετιζόμενα με την τεχνολογία των πληροφοριών (Information-Technology - IT). Θα πρέπει λοιπόν, στο πλαίσιο ενός Natech σεναρίου, να συνυπολογίζονται οι επιπτώσεις που προκύπτουν από την απώλεια τεχνολογικών συστημάτων ασφαλείας.

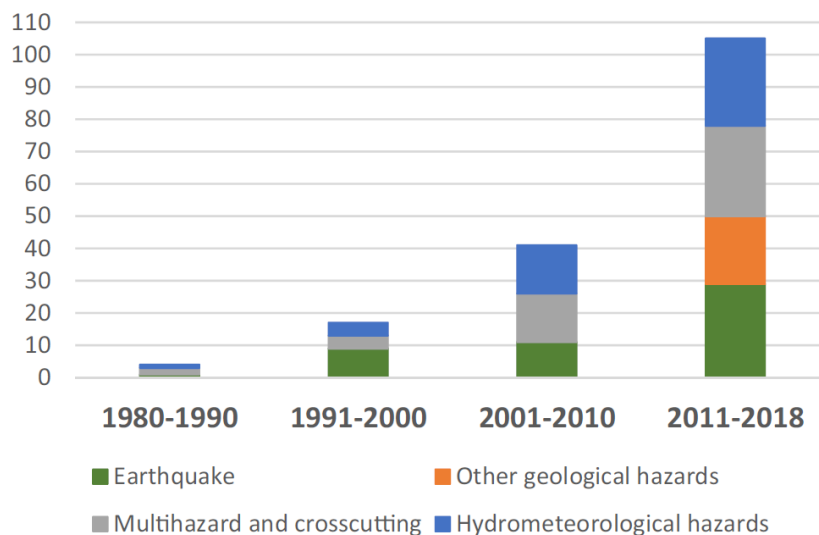
Υπάρχουν διαθέσιμες ποσοτικές και ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης της διακινδύνευσης, η χρήση των οποίων καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα των απαραίτητων δεδομένων, το διαθέσιμο χρονικό πλαίσιο και την ύπαρξη ή μη, εξειδικευμένου προσωπικού. Οι εκτιμήσεις διακινδύνευσης των Natech σεναρίων, στηρίζονται συνήθως σε ποσοτικές μεθόδους αλλά η χρήση ποιοτικών μεθόδων επιτρέπει το συνυπολογισμό των επιπτώσεων στην κοινωνία και το μηχανισμό διαχείρισης κρίσεων και καταστροφών. Η διαθεσιμότητα στοιχείων σχετικά με την τρωτότητα των διαφόρων εξοπλισμών και τμημάτων των εγκαταστάσεων, είναι περιορισμένη γιατί δεν υπάρχουν τα διαθέσιμα στοιχεία για την παραγωγή των στοιχείων αυτών (Serkan Girgin et al., 2019). Αναδεικνύεται συνεπώς, η σημαντικότητα της καταγραφής όλων των συμβάντων (παρ' ολίγον συμβάντα και συμβάντα χωρίς επιπτώσεις).

Αναφορικά με την ανάλυση των επιπτώσεων σύμφωνα με τους Girgin et al. (2019), ανεξάρτητα από τη χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία, θα πρέπει να δίνεται έμφαση στην επέκταση της ζώνης των επιπτώσεων πέρα των τυπικών εκτάσεων, να υπολογίζονται τα σενάρια βάσει ακραίων περιβαλλοντικών-μετεωρολογικών συνθηκών, να αναλύεται η ταυτόχρονη εκδήλωση διαρροών επικίνδυνων ουσιών και να λαμβάνεται υπόψη η μη διαθεσιμότητα των μέτρων αντιμετώπισης σχετικά με το μετριασμό των επιπτώσεων. Ουσιαστικά προτείνουν η ανάλυση να γίνεται στο πλαίσιο εκδήλωσης του δυσμενέστερου σεναρίου και αυτή η προσέγγιση είναι ορθή αφού με αυτόν τον τρόπο, θα προκύψουν αποτελεσματικότερα σχέδια αντιμετώπισης. Από την άλλη πλευρά όμως, η ανάλυση επικαλυπτόμενων συμβάντων θα οδηγήσει σε περίπλοκη ανάλυση και τα απαραίτητα μέσα-μέτρα πιθανώς να υπερβαίνουν την ικανότητα αντιμετώπισης. Σε κάθε περίπτωση, η διαθεσιμότητα δεδομένων για δυο ξεχωριστές περιπτώσεις (δυσμενέστερο και πιθανότερο σενάριο), είναι υψίστης σημασίας για την αποτελεσματική αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Συγκεκριμένα για την εκτίμηση επιπτώσεων των Natech καταστροφών, αυτές τείνουν να θεωρούνται ως δευτερεύουσες, αν και στις περισσότερες των περιπτώσεων αποτελούν τις σοβαρότερες (ως και 80% του συνολικού κόστους). Αυτό συμβαίνει διότι η αλυσίδα των επιπτώσεων αποτελεί περίπλοκο ζήτημα και κατ' επέκταση η ποσοτικοποίησή τους είναι εξαιρετικά δύσκολη. Αυτός είναι και ο λόγος που πρέπει να καθοριστεί μεθοδολογία που να περιλαμβάνει το σύνολο των επικαλυπτόμενων επιπτώσεων (φαινόμενα domino), στο μέτρο του δυνατού. Στη μελέτη τους προτείνεται η συμμετοχή ειδικών σε θέματα Natech, στη διαδικασία ανάλυσης NRA και να λαμβάνονται υπόψη οι χρήσεις γης, η έκθεση του ανθρώπινου πληθυσμού, το περιβάλλον και οι οικονομικές δραστηριότητες. Συνοπτικά, λόγω των περιορισμών στις ποσοτικές μεθόδους, απαιτείται η συμμετοχή πολλών ενδιαφερόμενων και προτάθηκαν στη μελέτη κάποιες γενικές οδηγίες για τις αναμενόμενες επιπτώσεις ανά κατηγορία:

- Τοξικά αέρια νέφη: Μεγαλύτερες επιπτώσεις στο πληθυσμό, χαμηλές επιπτώσεις στο περιβάλλον και μηδενικές στα περιουσιακά στοιχεία και τις εγκαταστάσεις.
- Διαρροές χημικών: Μεγαλύτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και χαμηλότερες ή μηδενικές στα περιουσιακά στοιχεία και τις εγκαταστάσεις.
- Εκρήξεις και πυρκαγιές: Μεγαλύτερες επιπτώσεις στα περιουσιακά στοιχεία και τις εγκαταστάσεις, μικρότερες επιπτώσεις στο πληθυσμό και χαμηλές στο περιβάλλον.

Απαιτούνται εξειδικευμένες βάσεις δεδομένων για την ανάλυση των Natech σεναρίων και στο πλαίσιο αυτό δημιουργήθηκε η ευρωπαϊκή βάση δεδομένων eNatech που προσφέρει τη συστηματική καταγραφή και ανάλυση για συμβάντα σε παγκόσμιο επίπεδο και περιλαμβάνει σημαντικές παραμέτρους που αγνοούνταν μέχρι πρόσφατα, όπως οι παράγοντες που συμβάλουν στην εκδήλωση των Natech καταστροφών. Η πρωτοβουλία αυτή βελτιώνει την ακρίβεια των αναλύσεων και μειώνει την αβεβαιότητα, μέσω της παροχής ολοκληρωμένων καταγραφών και δεδομένων. Παράλληλα το εργαλείο RAPID-N (JRC's Rapid Natech Risk Assessment and Mapping System), επιτρέπει την άμεση ανάλυση διακινδύνευσης μέσω της αξιοποίησης ελάχιστων παραμέτρων. Το εργαλείο αυτό βελτιώνεται με την πάροδο του χρόνου και καλύπτει ολοένα και περισσότερες περιπτώσεις (Serkan Girgin et al., 2019).

Μελέτη σχετικά με τις εξελίξεις στην έρευνα περί Natech (Cruz & Suarez-Paba, 2019), έδειξε ότι ενώ αρχικά οι μελέτες εστιάζονταν στον σεισμικό κίνδυνο, την τελευταία δεκαετία εστιάζονται περισσότερο στους υδρομετεωρολογικούς κινδύνους. Αυτό οφείλεται στην αύξηση των Natech συμβάντων που προκαλούνται από αυτή την κατηγορία κινδύνου (80% στις Η.Π.Α. για την περίοδο 1990-2008), πιθανότατα λόγω της κλιματικής αλλαγής. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα σχετικά με το κίνδυνο των κατολισθήσεων και των υψηλών θερμοκρασιών, ειδικά για την περίπτωση αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου καθώς η βιβλιογραφία επί των θεμάτων αυτών παρουσιάζει κενά. Τονίζεται επιπλέον η ανάγκη προώθησης επικοινωνιακής στρατηγικής, σχετικά με τη διακινδύνευση, για την ενίσχυση της αντίληψης του κοινού σχετικά με τον κίνδυνο Natech. Αυτό θα οδηγήσει σε μια πιο ανθεκτική βιομηχανία και κοινωνία.



Εικόνα 1.5 Πρόοδος ερευνών Natech τα τελευταία 40 έτη. Διακρίνονται οι κατηγορίες κινδύνων στις οποίες αυτές εστιάζουν, ανά δεκαετία. Πηγή: (Cruz & Suarez-Paba, 2019).

Κεφάλαιο 2. Βάσεις δεδομένων και τρωτότητα

Υπάρχουν αρκετές βάσεις δεδομένων παγκοσμίως που ασχολούνται με την καταγραφή διαρροών φυσικού αερίου και λοιπών επικίνδυνων ουσιών. Η γνώση που προσφέρουν είναι πολύτιμη και η αξιοποίησή τους για την περίπτωση μελέτης μας κρίνεται απαραίτητη.

2.1. EGIG (European Gas pipeline Incident data Group)

Ο Σύνδεσμος Συλλογής Δεδομένων από Συμβάντα σε Ευρωπαϊκούς Αγωγούς Αερίου - EGIG (European Gas pipeline Incident data Group), αποτελεί τη συνεργασία 17 ευρωπαϊκών εταιρειών παροχής φυσικού αερίου: Gas Networks Ireland (Ιρλανδία), DGC (Δανία), ENAGAS S.A. (Ισπανία), EUSTREAM (Σλοβακία), Fluxys (Βέλγιο), Gasum (Φινλανδία), GRT Gaz (Γαλλία), National Grid (Ηνωμένο Βασίλειο), Gasunie (Ολλανδία - Γερμανία), NET4GAS (Τσεχία), Gasconnect (Αυστρία), Open Grid Europe (Γερμανία), REN Gasodutos S.A. (Πορτογαλία), Snam Rete Gas (Ιταλία), Swedegas A.B., (Σουηδία), SWISSGAS (Ελβετία), TIGF (Γαλλία). Η πρωτοβουλία ξεκίνησε το 1982 με τη συλλογή δεδομένων που αφορούσαν τις μη ελεγχόμενες διαρροές. Η βάση δεδομένων του EGIG περιλαμβάνει πληροφορίες από το 1970 και αποτελεί αξιόπιστη και πολύτιμη πηγή πληροφοριών για το προσδιορισμό συχνότητας, αλλά και την αναγνώριση των αιτιών των ατυχημάτων που σχετίζονται με τα δίκτυα μεταφοράς φυσικού αερίου. Τα δεδομένα αντλούνται από 142.794 χιλιόμετρα δικτύου και ως το 2016 έχουν καταγραφεί 1.366 συμβάντα. Σύμφωνα με την αναφορά του 2018, η συχνότητα εκδήλωσης συμβάντος για το διάστημα 1970-2016, αντιστοιχεί σε 0,31 συμβάντα ανά έτος ανά 1.000 χιλιόμετρα δικτύου. Για την πενταετία 2012-2016, αυτό αντιστοιχεί σε 97 συμβάντα. Για τη δεκαετία 2006-2016, τα κύρια αίτια εκδήλωσης των συμβάντων, ήταν η εξωτερική παρέμβαση, η διάβρωση, οι κατασκευαστικές αστοχίες / αστοχίες υλικών και η κίνηση του εδάφους, με ποσοστά 28%, 25%, 18% και 15% αντίστοιχα (EGIG, 2018).

2.1.1. Παράγοντας Εξωτερικής Παρέμβασης

Η κατηγορία αυτή αφορά δραστηριότητες που προκαλούν κάποιο συμβάν, όπως οι εκσκαφές και οι κατασκευαστικές εργασίες και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στις εν λόγω δραστηριότητες (τρακτέρ, αλέτρια, εκσκαφείς). Συνδέεται άμεσα με τα μέτρα προστασίας του αγωγού και επηρεάζεται κυρίως με την επένδυση αυτών (casing, sleeves) αλλά και τη σήμανση του δικτύου.

Από τα δεδομένα του 1970-2016, προκύπτει ότι οι αγωγοί με διάμετρο μικρότερη από 17 ίντσες, οι αγωγοί που βρίσκονται θαμμένοι σε βάθος μεγαλύτερο των 80 εκατοστών και οι αγωγοί πάχους (wall thickness) μικρότερου των πέντε χιλιοστών, είναι περισσότερο επιρρεπείς στον παράγοντα της εξωτερικής παρέμβασης. Δεν έχουν λείψει κατά τη δεκαετία 2007-2016, περιπτώσεις ζημιών σε αγωγούς διαμέτρου 17-35 ίντσες. Αξιοσημείωτο σε αυτήν την κατηγορία, το γεγονός ότι σε αγωγούς διαμέτρου μεγαλύτερης των 29 ιντσών, τα συμβάντα είναι σπάνια. Συνηθέστερες αστοχίες αποτελούν οι ρωγμές μικρότερες των 2 χιλιοστών και διαρρήξεις όχι μεγαλύτερες από τη διάμετρο των αγωγών.

Διακρίνουμε ότι η σχέση μεταξύ εξωτερικής παρέμβασης και τεχνικών χαρακτηριστικών του αγωγού, είναι αντιστρόφως ανάλογη. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνει το μέγεθος, το βάθος και οι διαστάσεις του τοιχώματος του αγωγού, μειώνεται η πιθανότητα εκδήλωσης συμβάντος λόγω εξωτερικής παρέμβασης (EGIG, 2018).

2.1.2. Παράγοντας Διάβρωσης

Από τα δεδομένα της περιόδου 1970-2016, προκύπτουν τα εξής: Οι αγωγοί που έχουν κατασκευαστεί πριν το 1963 (53 έτη έκθεσης στο περιβάλλον), οι αγωγοί με επίστρωση διαφορετική από το πολυαιθυλένιο (polyethylene) και οι αγωγοί με πάχος μικρότερο των 5 χιλιοστών, είναι περισσότερο επιρρεπείς στον παράγοντα της διάβρωσης. Συνηθέστερη αστοχία αποτελούν οι ρωγμές μικρότερες των 2 χιλιοστών. Η διάβρωση εκδηλώνεται σχεδόν πάντα στο εξωτερικό τμήμα, με τη μορφή οπών/βαθουλωμάτων λόγω διάβρωσης (pitting corrosion) ή ρωγμών λόγω διάβρωσης (cracking corrosion) (EGIG, 2018).

2.1.3. Παράγοντας Κατασκευαστικής Αστοχίας / Αστοχίας Υλικών

Από τα δεδομένα της περιόδου 1970-2016, προκύπτει ότι οι αγωγοί που έχουν κατασκευαστεί πριν από το 1973, παρουσίασαν τις περισσότερες αστοχίες και αφορούσαν περιπτώσεις δημιουργίας ρωγμών μικρότερων των 2 χιλιοστών για την πλειονότητα των περιπτώσεων. Μετά το 1983, οι αστοχίες μειώθηκαν σε μεγάλο βαθμό και αυτό οφείλεται κυρίως στη βελτίωση των τεχνικών προδιαγραφών και την ανάπτυξη της τεχνολογίας των υλικών. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η χρήση ολοένα και πιο εξελιγμένων υλικών, συμβάλει στη μείωση της συχνότητας των αστοχιών (EGIG, 2018).

2.1.4. Παράγοντας Εδαφικής Κίνησης

Οι κύριες αιτίες που προκαλούν συμβάντα σε αυτή την κατηγορία, οφείλονται σε πλημμύρες, σεισμούς, καθιζήσεις και υδρολογικές διεργασίες.

Η πιθανότητα βλάβης των αγωγών είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη διάμετρο αυτών. Συγκεκριμένα μειώνεται η πιθανότητα βλάβης όσο αυξάνεται η διάμετρος. Σε διαμέτρους μεγαλύτερες των 29 ιντσών, διακρίνονται μεμονωμένα περιστατικά και μάλιστα τη δεκαετία 2007-2016 δεν καταγράφηκε κανένα συμβάν. Στην κατηγορία αυτή παρατηρείται ότι σε πολλές περιπτώσεις (25-50%), η κίνηση του εδάφους επιφέρει ρήξη μεγαλύτερη της διαμέτρου του αγωγού. Η συχνότερη αιτία βλάβης λόγω κίνησης του εδάφους, είναι οι κατολισθήσεις (landslides). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι δεν έχει γίνει καμία καταγραφή που να οφείλεται σε σεισμό και σε αυτό συμβάλει το γεγονός ότι οι περισσότεροι αγωγοί διέρχονται από περιοχές που δεν παρουσιάζουν έντονη σεισμική δραστηριότητα. Στην Ελλάδα πρόσφατα υλοποιήθηκε ο Δι-Αδριατικός αγωγός (TAP) και σχεδιάζεται για την επόμενη δεκαετία ο EastMed. Δεδομένης της μεγάλης σεισμικής δραστηριότητας που επικρατεί στον ελλαδικό χώρο, θα προκύψουν πιθανώς νέα δεδομένα.

Επισημαίνεται σε αυτό το σημείο ότι μονάχα στο 5% των καταγραφών υπήρξε ταυτόχρονα και ανάφλεξη του αερίου και τα δεδομένα δείχνουν πως η ανάφλεξη είναι πιθανότερη σε συμβάντα που αφορούν σε αγωγούς μεγάλης διαμέτρου και υψηλής πίεσης λειτουργίας. Οι περιπτώσεις απώλειας ανθρώπινων ζωών είναι σπάνιες και αφορούν συνήθως περιπτώσεις πλήρους ρήξης (μεγαλύτερης της διαμέτρου του αγωγού), ενώ επηρεάζει άτομα που είναι άμεσα συνδεδεμένα με

την πρόκληση του ατυχήματος (άμεση εγγύτητα). Αξίζει να αναγνωρισθεί η συμβολή του κοινού στον εντοπισμό βλαβών. Κατά το διάστημα 1970-2016, το 35% και 5% των εντοπισμένων βλαβών, καταλογίζεται αντίστοιχα στο κοινό και τους ιδιοκτήτες γης. Τη δεκαετία 2007-2016, τα ποσοστά αυτά ανήλθαν στο 20% και 15% αντίστοιχα (EGIG, 2018).

2.2. UKOPA (United Kingdom Onshore Pipeline Operators' Association)

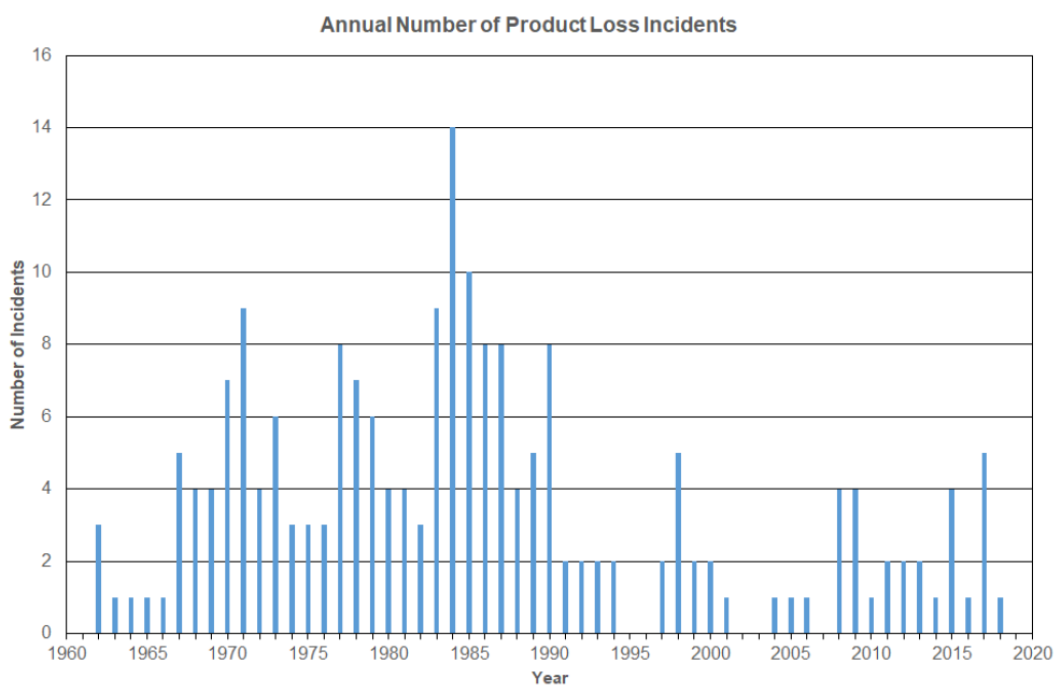
Η αναφορά της UKOPA για το 2018, περιλαμβάνει δεδομένα απώλειας προϊόντος (μη ελεγχόμενες διαρροές), ως συνέπεια μεγάλων ατυχημάτων σε αγωγούς (MAHPS-Major Accident Hazard Pipelines), από το 1962 έως το 2018. Αφορούν αγωγούς του Η.Β. και της Ιρλανδίας, συνολικού μήκους 23.674 χιλιομέτρων και το φυσικό αέριο που μεταφέρεται σε αυτό το δίκτυο, αντιστοιχεί σε 21.903 χιλιόμετρα (σχεδόν το σύνολο αυτού). Καλύπτονται συμβάντα εκτός επιχειρησιακών εγκαταστάσεων και πιο συγκεκριμένα αυτά που προκύπτουν στους αγωγούς και όχι στις λοιπές εγκαταστάσεις (βαλβίδες, συμπιεστές). Η συχνότητα εμφάνισης αστοχιών ανά έτος, αντιστοιχεί σε 0,208 συμβάντα ανά 1000 χιλιόμετρα (για την προαναφερθείσα χρονική περίοδο) και παρουσιάζει πτωτική τάση σε σχέση με τις προηγούμενες αναφορές. Παρουσιάζονται παράλληλα δεδομένα αστοχιών στους αγωγούς και οι στατιστικές κατανομές που προκύπτουν από αυτές, ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση μελλοντικών αστοχιών. Τα δεδομένα αρχικά συλλέγονταν από αμερικάνικες και ευρωπαϊκές βάσεις δεδομένων αλλά ο οργανισμός εξέδωσε την πρώτη του αναφορά το 2000 με δεδομένα από το 1998. Από τα 23.674 χλμ. του δικτύου, τα 21,903 (92,5%) αντιστοιχούν σε αγωγούς μεταφοράς φυσικού αερίου οπότε τα συμπεράσματα των αναφορών είναι σημαντικά για τη μελέτη μας. (Lyons, Goodfellow, & Haswell, 2020).

Η βάση δεδομένων της UKOPA αναδεικνύει το σχεδιασμό, την κατασκευή, το τρόπο λειτουργίας και τις διαδικασίες επιθεώρησης-συντήρησης των αγωγών. Αποσκοπεί στην καταγραφή αστοχιών-διαρροών, την εκτίμηση συχνότητας αυτών και τη μελέτη του δίπολου τεχνικές προδιαγραφές-αστοχίες. Απώτερος όμως σκοπός, αποτελεί η ενίσχυση της εκτίμησης της διακινδύνευσης και η υποβοήθηση της θέσπισης κριτηρίων σχετικών με αυτήν, καθώς ο τομέας των αγωγών επηρεάζει άμεσα το χωροταξικό σχεδιασμό σε στρατηγικό επίπεδο αλλά και το καθορισμό-αναθεώρηση των χρήσεων γης. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι σημαντική η αποστολή του οργανισμού αφού επιτρέπει την αναγνώριση και το καθορισμό των περιοχών κινδύνου (risk zones) κατά μήκος των αγωγών. Επιτυγχάνεται κατ' επέκταση η ποσοτικοποίηση της εκτίμησης του ρίσκου.

Από το 1962 ως το 2018, καταγράφηκαν 203 περιστατικά όπου διέρρευσε μεταφερόμενο προϊόν, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1 και σε εννέα από αυτά τα περιστατικά (4,4% του συνόλου) εκδηλώθηκε ανάφλεξη. Το 1990 αποτελεί χρονιά ορόσημο, όπου διακρίνεται ραγδαία ελάττωση στο ρυθμό εκδήλωσης περιστατικών. Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται στοιχεία που αφορούν τις αστοχίες. Στην εν λόγω βάση δεδομένων, κύριες αιτίες των αστοχιών είναι η εξωτερική διάβρωση, οι εξωτερικοί παράγοντες, οι αστοχίες συγκόλλησης της περιμέτρου και λοιποί παράγοντες.

Πίνακας 1 Συνολικό μήκος αγωγών ανά τύπο μεταφερόμενου προϊόντος και ποσοστά αυτών επί του συνόλου. Πηγή: (Lyons et al., 2020).

Product	Length (km)	%age of Total
Natural Gas (Dry)	21,903	92.5
Ethylene	1,141	4.8
Natural Gas Liquids	251	1.1
Crude Oil (Spiked)	224	0.9
Ethane	38	0.2
Hydrogen	14	0.1
Propylene	37	0.2
Condensate	24	0.1
Propane	21	0.1
Butane	20	0.1
TOTAL	23,674	100.0



Εικόνα 2.1 Συμβάντα διαρροών ανά έτος από το 1962. Πηγή: (Lyons et al., 2020).

Πίνακας 2 Συμβάντα διαρροών ανά αιτία πρόκλησης. Πηγή:(Lyons et al., 2020).

Product Loss Cause	No. of Incidents	%age of Total
External Corrosion	42	20.7
External Interference	44	21.7
Girth Weld Defect	37	18.2
Ground Movement	7	3.4
Internal Corrosion	2	1.0
Original Construction Damage	1	0.5
Pipe Defect	13	6.4
Seam Weld Defect	3	1.5
Other	45	22.2
Unknown	9	4.4
TOTAL	203	100

2.2.1. Σχέση Αστοχίας-Μεγέθους οπής

Οι οπές έως και 6 χιλιοστών προκαλούνται από όλων των ειδών τους παράγοντες και αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο πλήθος των περιπτώσεων. Οι οπές από 6 έως 20 χιλιοστά, προκαλούνται από όλους τους παράγοντες πλην της εσωτερικής διάβρωσης. Οπές μεγαλύτερες των 20 χιλιοστών αλλά και πλήρεις διαρρήξεις (μεγαλύτερες της διαμέτρου του αγωγού), είναι πιο σπάνιες με κύριο παράγοντα πρόκλησης, την εξωτερική παρέμβαση (Lyons et al., 2020).

2.2.2. Παράγοντας Αστοχιών Κατασκευής

Η αστοχία αυτή σχετίζεται με σφάλματα και ελαττώματα στην τεχνική συγκόλλησης. Ουσιαστικά οι αγωγοί με έτος κατασκευής πριν από το 1972, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα αστοχιών που σχετίζονται με τη διαδικασία συγκόλλησης των αγωγών. Τη δεκαετία μετά το 1972 σημειώθηκε εξαιρετική μείωση και για το επόμενο χρονικό διάστημα έως και το 2018, είναι ανύπαρκτες οι καταγραφές του είδους. Συμπερασματικά, οι νεότεροι αγωγοί παρουσιάζουν ελάχιστες έως και μηδενικές κατασκευαστικές/συγκολλητικές αστοχίες αλλά θα διαπιστωθεί μελλοντικά αν αυτό είναι αποτέλεσμα της τεχνολογίας υλικών / τεχνικών κατασκευής ή απόρροια της μικρής χρονικά έκθεσης αυτών στο περιβάλλον (Lyons et al., 2020).

2.2.3. Παράγοντας Εξωτερικής Παρέμβασης

Προκύπτει από τη βάση δεδομένων ότι επηρεάζονται συχνότερα οι αγωγοί μικρής διαμέτρου (έως 10 ίντσες) από παράγοντες εξωτερικής παρέμβασης. Συγκεκριμένα τα 2/3 των περιπτώσεων καταγράφονται σε αγωγούς διαμέτρου έως και 10 ιντσών. Υπάρχουν όμως και περιστατικά βλαβών σε αγωγούς μεγαλύτερων διαμέτρων (12-34 ιντσών). Στις περισσότερες των περιπτώσεων, προκαλούνται οπές έως και 40 χιλιοστών, χωρίς να αποκλείονται και οπές έως και 110 χιλ. Το μοναδικό καταγεγραμμένο περιστατικό σε αγωγό πολύ μεγάλης διαμέτρου (30-34

ιντσών), οδήγησε σε πλήρη ρήξη του αγωγού. Συμπερασματικά, επηρεάζονται οι αγωγοί όλων των διαμέτρων με τους μικρότερους όμως να αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία των καταγραφών.

Το πάχος του αγωγού διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το τμήμα του δικτύου που αντιπροσωπεύεται από αγωγούς μικρού πάχους, παρουσιάζει αρκετές καταγραφές παρά την αρκετά μικρότερη (σε σχέση με αγωγούς μεγαλύτερου πάχους) έκθεση. Παράλληλα, ενώ η έκθεση αγωγών μεσαίου και μεγάλου πάχους είναι εξίσου μεγάλη, οι καταγραφές σε μεγάλου πάχους αγωγούς είναι χαρακτηριστικά λιγότερες. Διαπιστώνεται από τα στοιχεία ότι όσο αυξάνει το πάχος, τόσο ελαττώνονται τα περιστατικά άρα και η πιθανότητα βλάβης.

Η πλειοψηφία των περιστατικών καταγράφεται στο αστικό περιβάλλον. Στις προαστιακές περιοχές και στην ύπαιθρο, τα περιστατικά είναι πολύ λιγότερα αλλά αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι προκληθείσες ζημιές είναι μεγαλύτερες όταν προκύπτει συμβάν. Το γεγονός αυτό σχετίζεται πιθανώς με διαφορές στο χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό αλλά και τις πρακτικές-διαδικασίες εκσκαφής (Lyons et al., 2020).

2.2.4. Παράγοντας Διάβρωσης

Προκύπτει από τα δεδομένα ότι όσο αυξάνεται το πάχος των αγωγών, τόσο πιο δύσκολα επηρεάζονται από την εξωτερική διάβρωση. Επηρεάζονται πρωτίστως οι αγωγοί πάχους μικρότερου των 5 χιλιοστών και σε μικρότερο βαθμό οι 5 έως 10 χιλιοστά πάχους (λαμβάνοντας πάντα υπόψη και το συνολικό μήκος του εκτιθέμενου δικτύου). Άμεσα συνδεδεμένο με τη διάβρωση, είναι και το έτος κατασκευής. Οι καταγραφές συγκεντρώνονται σε αγωγούς που κατασκευάστηκαν πριν το 1980. Συμπερασματικά, όσο παλαιότερος είναι ο αγωγός, τόσο πιο πιθανό είναι να επηρεαστεί. Θα πρέπει όμως να τονίσουμε ότι η εξάλειψη του παράγοντα μετά το 1980, σχετίζεται κυρίως με προηγμένες μεθόδους επιθεώρησης και την εξέλιξη συστημάτων παρακολούθησης του δικτύου. Οι μέθοδοι αυτοί έχουν οδηγήσει στην εξέλιξη της έγκαιρης προειδοποίησης άρα και στην πρόληψη. Από την εξωτερική διάβρωση προκύπτουν οπές μικρότερες των 20 χιλιοστών και κυρίως λιγότερο των 6 χιλιοστών.

Σχετικά με το υλικό επικάλυψης (external coating), οι αγωγοί που διαθέτουν προστατευτική επικάλυψη διαφορετική από την εποξική - FBE (Fusion Bonded Epoxy), είναι τρωτοί σε παράγοντες διάβρωσης. Η μεγαλύτερη τρωτότητα παρουσιάζεται σε αγωγούς με επικάλυψη πίσσας (Coal Tar) και πολυαιθυλενίου (Polyethylene) λαμβάνοντας υπόψη και την έκταση του τμήματος του δικτύου με τη συγκεκριμένη κατά περίπτωση επικάλυψη (Lyons et al., 2020).

2.2.5. Λοιποί παράγοντες

Παρά το γεγονός ότι η συγκεκριμένη κατηγορία αντιπροσωπεύει το 22% των καταγραφών, αυτές αφορούν παλιούς αγωγούς που κατασκευάστηκαν κυρίως πριν το 1972 και οι οποίοι δεν έχουν καμία σχέση με τους μεταγενέστερους αγωγούς. Το μεγαλύτερο πλήθος αφορά ρωγμές στο εσωτερικό των αγωγών (Lyons et al., 2020).

2.2.6. Βλάβες του δικτύου χωρίς διαρροή αερίου

Όπως αναφέραμε παραπάνω, τα περιστατικά που έχουν οδηγήσει σε διαρροή ανέρχονται σε 203. Έχουν όμως καταγραφεί και 3.683 περιστατικά βλαβών του δικτύου, που απλά δεν οδήγησαν σε διαρροή. Το 56% αυτών οφειλόταν στον παράγοντα εξωτερικής διάβρωσης και εξωτερικής παρέμβασης, είχαν ως συνέπεια κυρίως την ελαφριά παραμόρφωση των αγωγών (γδαρσίματα από εκσκαφείς, παραμόρφωση από διάβρωση) και σπανιότερα τη δημιουργία βαθουλωμάτων. Συμπερασματικά το 5,5% των συνολικών συμβάντων, είχε ως κατάληξη τη διαρροή προϊόντος. Αγωγοί που έχουν υποστεί όμως ζημιά, καθίστανται πλέον περισσότερο τρωτοί και υπό συνθήκες μπορούν να παρουσιάσουν ρήξη (Lyons et al., 2020).

2.2.7. Εντοπισμός και αναφορές βλαβών του δικτύου

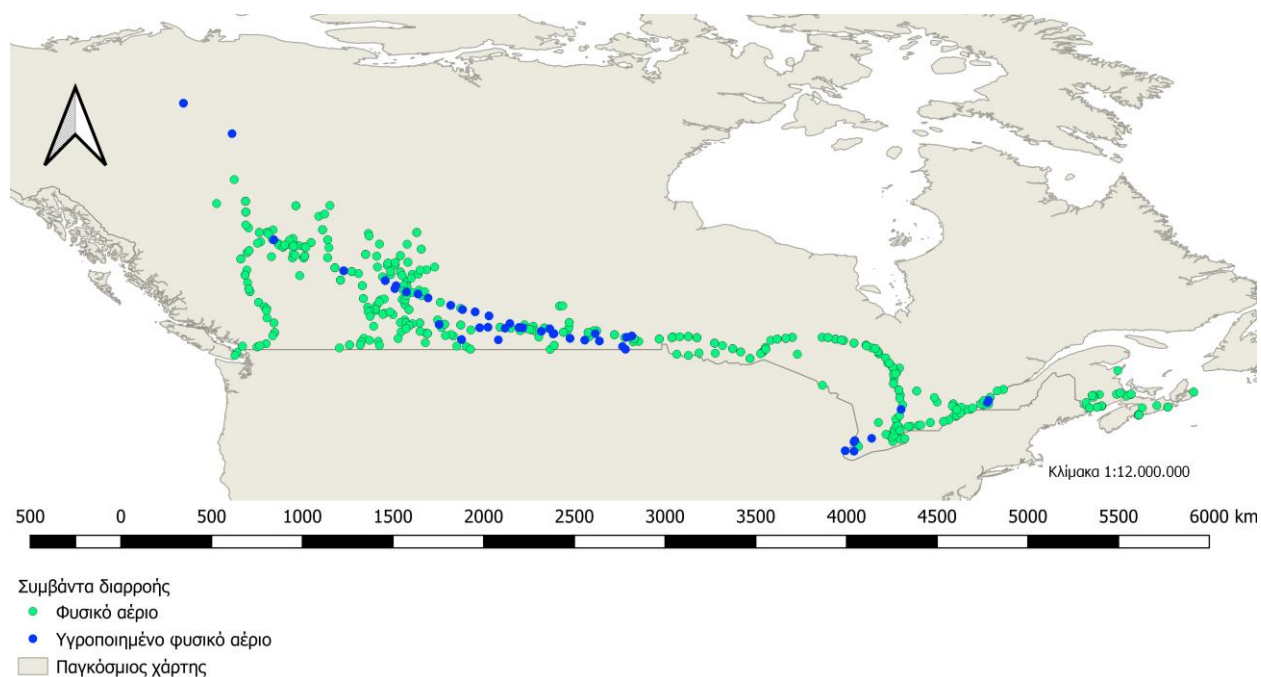
Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο εντοπισμός διαρροών σημειώνεται από το κοινό, τις εργολαβικές/κατασκευαστικές εταιρείες και από άγνωστες/λοιπές πηγές. Ο εντοπισμός από τις επιθεωρήσεις και τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης είναι λιγότερο συχνός και αυτό οφείλεται στο μέγεθος του δικτύου. Δεν είναι δυνατός ο έλεγχος δηλαδή σε όλο το μήκος του και τα συστήματα προειδοποίησης δεν είναι εγκατεστημένα παντού. Συμπερασματικά η ενημέρωση του γενικού κοινού και η αναγνώριση της συμβολής του στην πρόληψη, ενισχύει τον έγκαιρο εντοπισμό βλαβών σημαντικά.

Πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι η γενικά πτωτική τάση των αστοχιών είναι λογική δεδομένης της τεχνολογικής εξέλιξης αλλά και των αυστηρότερων ελέγχων και κανονισμών. Οι αστοχίες στους πιο πρόσφατα κατασκευασμένους αγωγούς και στους αγωγούς μεγάλης διαμέτρου, δεν είναι στατιστικά σημαντικές αλλά ούτε και μηδενικές. Σε αυτό συμβάλει και το γεγονός ότι αποτελούν ποιοτικές, νέες κατασκευές με καλύτερα υλικά και αυστηρότερα κριτήρια στο σχεδιασμό. Το προαναφερθέν δεν συνεπάγεται αποκλεισμό των νεότερων κατασκευών από τα σενάρια τεχνολογικών ατυχημάτων. Θα πρέπει αντιθέτως να συνυπολογίζονται με την ίδια βαρύτητα στα ειδικά ΣΑΤΑΜΕ (εξωτερικά σχέδια δράσης) καθώς δύναται υπό συνθήκες να προκαλέσουν ατυχήματα μεγάλης έκτασης (Lyons et al., 2020).

2.3. CER - Canadian Energy Regulator και Κυβέρνηση του Καναδά

Στην επίσημη ιστοσελίδα της κυβέρνησης του Καναδά, υπάρχουν διαθέσιμα ανοιχτά δεδομένα σχετικά με τα συμβάντα σε αγωγούς φυσικού αερίου και εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου. Τα δεδομένα αυτά περιέχουν πλήθος πληροφοριών ανά συμβάν, όπως τον τύπο, τις συντεταγμένες, το είδος της υποδομής, το είδος της αστοχίας, την ποσότητα απελευθερωμένου αερίου, τους κινδύνους της περιοχής, τις χρήσεις γης, τους θανάτους, τους τραυματισμούς κ.α. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει, πέρα από το φυσικό αέριο, τη μεταφορά πετρελαίου και άλλων ουσιών αλλά απομονώθηκαν τα δεδομένα που μας αφορούν (μέσω επεξεργασίας δεδομένων excel) και φαίνονται στην Εικόνα 2.2. Παρά την πληθώρα μεταβλητών που χαρακτηρίζουν τα συμβάντα, πολλά πεδία είναι κενά. Σε αυτό το σημείο, τονίζεται η σημασία της πλήρους καταγραφής στη βάση δεδομένων για να είναι αξιοποιήσιμη και να αντλούνται σωστά συμπεράσματα. Αναφέρεται στην ιστοσελίδα των δεδομένων ότι κάποιες καταγραφές δεν ελέγχονται επίσημα από τον TSB (Transportation Safety Board of Canada), οπότε δεν εγγυάται η εγκυρότητα αυτών. Είναι συνεπώς σημαντικός παράγοντας και ο επίσημος έλεγχος των

συμβάντων για να διασφαλίζεται η εγκυρότητα αυτών. Από τα καταγεγραμμένα πεδία εξάγουμε τα εξής: Από τα 1.048 συμβάντα, σε 76 από αυτά εκδηλώθηκε πυρκαγιά, σε 28 εκδηλώθηκε έκρηξη, σε 12 ακολουθήθηκαν διαδικασίες εκκένωσης, σε 32 υπήρχε σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, 15 είχαν ως αποτέλεσμα την πρόκληση σοβαρών τραυματισμών και σε 4 υπήρξαν θάνατοι. Τα δεδομένα αναφέρονται στη χρονική περίοδο 1990-2020 (ως και τον Ιούλιο) (Government of Canada, 2019).



Εικόνα 2.2 Συμβάντα διαρροής φυσικού και υγροποιημένου φυσικού αερίου στον Καναδά. Πηγή: Ίδια επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοιχτών δεδομένων. Δεν απεικονίζονται 40 συμβάντα για τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα τα γεωχωρικά δεδομένα (Government of Canada, 2019).

Ο Ρυθμιστής Ενέργειας του Καναδά συλλέγει στοιχεία από το 2008, που αντιπροσωπεύουν το 90% περίπου του εν λειτουργία δικτύου. Τα πεδία δεδομένων είναι πολύ λιγότερα αλλά πολύ πιο πλήρη από τη βάση που είδαμε παραπάνω. Παρατηρούνται επίσης διαφορές στις καταγραφές για τα κοινά χρονικά διαστήματα καταγραφών. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα δεδομένα συμβάντων καθώς και τα γεωχωρικά δεδομένα της διαδρομής των αγωγών είναι διαθέσιμα για να μπορεί οποιοσδήποτε να διεξάγει έρευνα και ανάλυση. Από το πλήθος 551 συμβάντων, απομονώθηκαν τα στοιχεία του Πίνακα 3, κάποια εκ των οποίων συμπίπταν (ταυτόχρονη εκδήλωση) ή συνέβαλαν στο ίδιο συμβάν (CER, 2020).

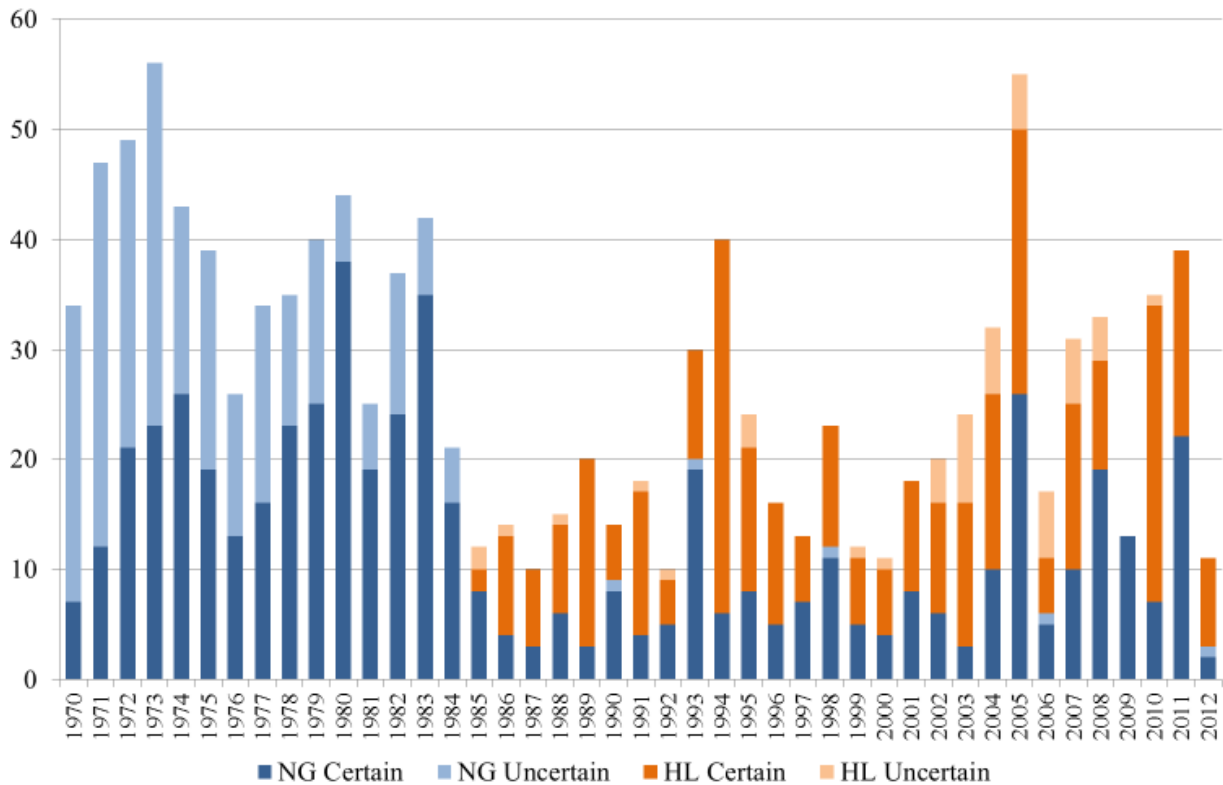
Πίνακας 3 Τύποι, Παράγοντες συμβολής και Αιτία εκδήλωσης συμβάντων στο δίκτυο φυσικού αερίου του Καναδά. Πηγή: Ιδία επεξεργασία με ανοικτά δεδομένα (CER, 2020).

ΤΥΠΟΙ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ	ΑΙΤΙΑ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ
Εκρήξεις (2) Πυρκαγιές (11) Διαρροές αερίου (551) Σοβαροί τραυματισμοί (3)	Διάβρωση (147) Αστοχία εξοπλισμού (187) Αστοχία υλικών (123) Εξωτερική παρέμβαση (64) Φυσικά φαινόμενα (13) Διαχειριστικό σφάλμα (79)	Σχεδιασμός-Κατασκευή (135) Σφάλμα επικοινωνίας (15) Ανθρώπινος παράγοντας (32) Διαδικαστικό σφάλμα - Τυποποιημένες διαδικασίες (60) Σφάλμα επίβλεψης (16) Ελλιπής συντήρηση (338) Εργαλεία και εξοπλισμός (37) Natech (23)

2.4. PHMSA - Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration

Οι Girgin και Krausmann (2014), ανέλυσαν περιστατικά Natech στις Η.Π.Α., χρησιμοποιώντας αναφορές και δεδομένα της PHMSA. Η ανάλυση αφορούσε περίπου 21.000 συμβάντα σε αγωγούς μεταφοράς προϊόντος (φυσικό αέριο και άλλες επικίνδυνες ουσίες) εκ των οποίων το 6% αποτελούσε περιστατικά Natech. Περαιτέρω ανάλυση έδειξε ότι από τις Natech, το 50% εκδηλώθηκε από γεωλογικούς κινδύνους (43% κατολισθήσεις), το 25% από μετεωρολογικούς κινδύνους (κυρίως κεραυνούς), το 11% από υδρολογικούς κινδύνους (κυρίως πλημμύρες) και το 11% από κλιματικούς κινδύνους (σχεδόν εξολοκλήρου παγετός). Στη μελέτη αναφέρεται ότι δεν υπήρχε ως και το 2014 βάση δεδομένων, συγκεκριμένα για περιστατικά Natech σε αγωγούς, που να περιλαμβάνει λεπτομέρειες σχετικά με τα συμβάντα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση διαθέτει βάση δεδομένων γενικά για Natech (eNatech Database - JRC) από το 2011, όπως φαίνεται στην σχετική ιστοσελίδα (JRC, 2011), αλλά τη χρονική περίοδο εκπόνησης της παρούσας εργασίας, ο ιστότοπος τελούσε υπό συντήρηση και δεν ήταν προσβάσιμος. Καθότι δεν υφίστανται γενικά πληροφορίες και μελέτες επί του θέματος, τα στοιχεία που συλλέγει η PHMSA είναι σημαντικά. Ο φορέας αυτός χρησιμοποιεί τις πληροφορίες για την αξιολόγηση των μέτρων ασφάλειας και την ανάπτυξη αυτών και στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από το 1968 ως το 2012 που αφορούν σε δίκτυα αγωγών φυσικού αερίου. Από τις 21.171 καταγραφές του PHMSA, περίπου οι μισές (10.073) αναφέρονταν, τη δεδομένη χρονική περίοδο, σε δίκτυα φυσικού αερίου και χρησιμοποιήθηκαν επιπρόσθετα στοιχεία για τη διασταύρωση των πληροφοριών από το NRC (National Response Center), το FEMA (Federal Emergency Management Agency) και το NOAA (National Oceanic and Atmospheric Association). Τα αποτελέσματα έδειξαν πτωτική τάση στην εκδήλωση συμβάντων την περίοδο 1970-1984 και σταθερή τάση για τις περιόδους 1985-2001 και 2002-2012 αλλά τονίζεται ότι τις τρεις αυτές περιόδους χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά συστήματα αναφοράς συμβάντων. Το γεγονός αυτό έχει σημασία στην εξαγωγή των συμπερασμάτων καθότι μπορεί να μην αντιπροσωπεύει την πραγματική τάση. Τα περιστατικά αυτά προκάλεσαν μικρό αριθμό θανάτων και τραυματιών και οι

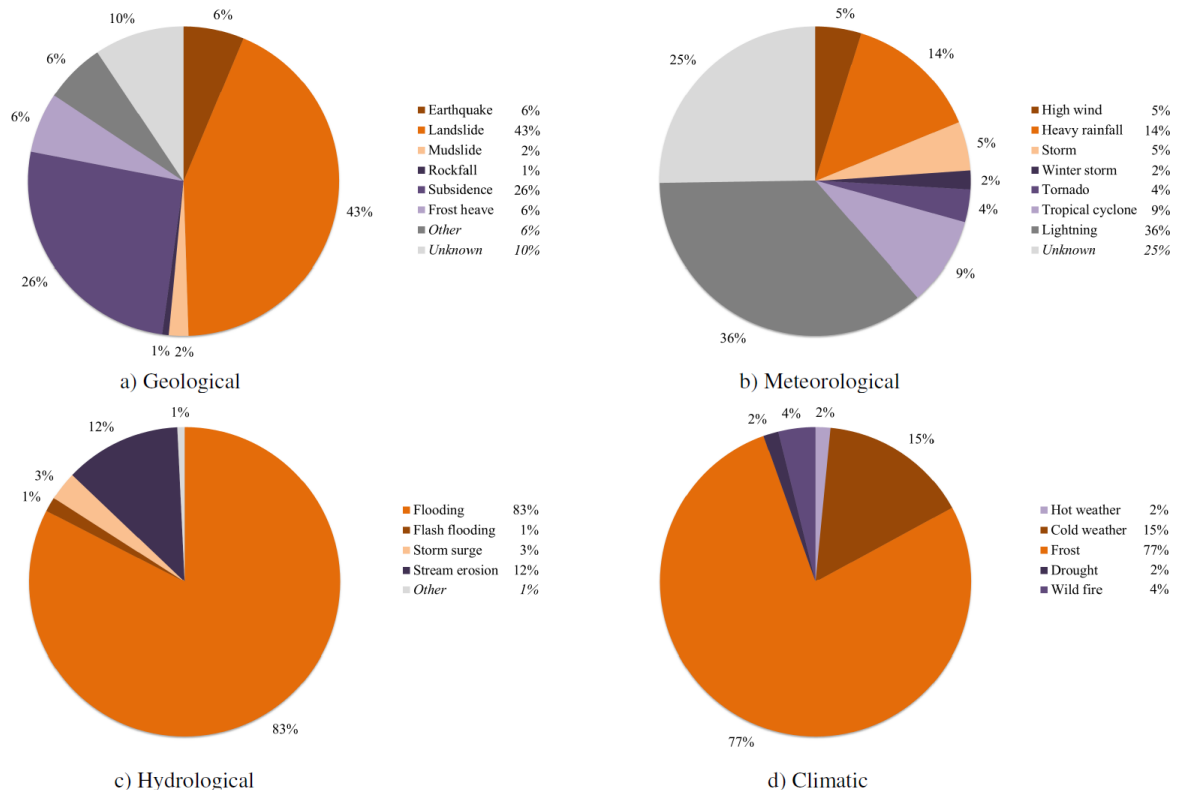
σοβαρότερες επιπτώσεις αυτών ήταν η καταστροφή του περιβάλλοντος και η οικονομική ζημιά. Συγκεκριμένα για αγωγούς φυσικού αερίου, οι μεγαλύτερες οικονομικές επιπτώσεις παρατηρήθηκαν σε συμβάντα πυρκαγιάς ή έκρηξης εγκαταστάσεων (σταθμοί αποθήκευσης, μετρητικοί/ρυθμιστικοί σταθμοί) και οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις παρατηρήθηκαν στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 2.3 Αριθμός συμβάντων Natech ανά έτος σε αγωγούς εγκατεστημένους επι του εδάφους. Τα NG αφορούν φυσικό αέριο και τα HL επικίνδυνες ουσίες. Τα Uncertain αφορούν περιστατικά για τα οποία δεν υφίστανται αρκετά στοιχεία για κατηγοριοποίηση ή μη σε Natech. Πηγή: (S. Girgin & Krausmann, 2014).

Ο PHMSA επεξεργάστηκε τα διαφορετικά συστήματα αναφοράς για να δημιουργήσει μια 20ετή βάση αναφοράς, όπου απεικονίζονται ορθότερα οι τάσεις των επιπτώσεων. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα συμβάντα που προκλήθηκαν από γεινιάζουσες πυρκαγιές ή εκρήξεις, δεν συμπεριλαμβάνονται στις σημαντικές και τις σοβαρές καταγραφές. Από τα δεδομένα προκύπτει ότι από το 2000 έως και το 2019, ως σοβαρά (πρόκληση θανάτου ή τραυματισμού που απαιτεί νοσηλεία), έχουν καταγραφεί συνολικά 594 συμβάντα στο δίκτυο διανομής (Distribution) που είχαν ως αποτέλεσμα το θάνατο 202 ατόμων και το τραυματισμό 918, 83 συμβάντα στο δίκτυο μεταφοράς (Transmission) που είχαν ως αποτέλεσμα το θάνατο 49 ατόμων και το τραυματισμό 175 και 6 συμβάντα στο δίκτυο συλλογής (Gathering) με αποτέλεσμα το τραυματισμό 8 ατόμων. Αντίστοιχα ως σημαντικά (πρόκληση θανάτου ή τραυματισμού που απαιτεί νοσηλεία ή ζημιά 50.000\$ ή απελευθέρωση 5-50 βαρελιών προϊόντος ή απελευθέρωση ουσιών που οδήγησε σε πυρκαγιά/έκρηξη), έχουν καταγραφεί για την ίδια περίοδο 1.437 συμβάντα στο δίκτυο διανομής (Distribution) που είχαν ως αποτέλεσμα το θάνατο 202 ατόμων, το τραυματισμό 918 και ζημιά 2.943.958.466\$, 1.404 συμβάντα στο δίκτυο μεταφοράς (Transmission) που είχαν ως αποτέλεσμα το θάνατο 49 ατόμων, το τραυματισμό 175 και ζημιά 2.385.015.708\$ και τέλος 151

συμβάντα στο δίκτυο συλλογής (Gathering) με αποτέλεσμα το τραυματισμό 8 ατόμων και ζημιά 460.845.394\$ (PHMSA, 2020). Τα δεδομένα ανά έτος φαίνονται αναλυτικά στο Παράρτημα.



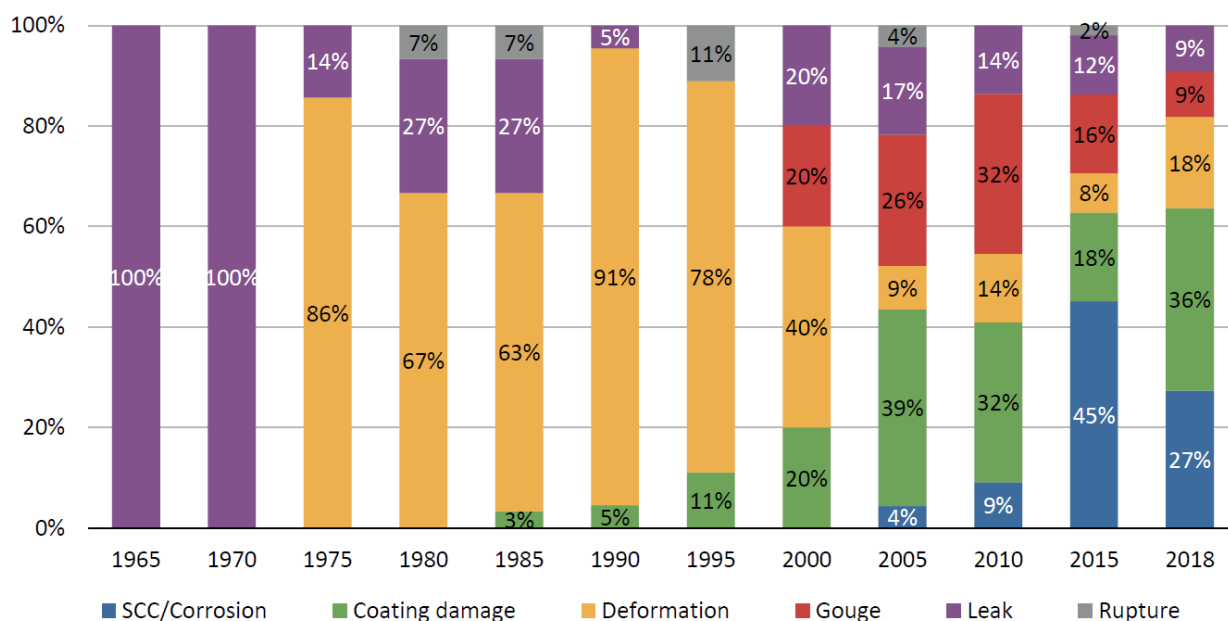
Εικόνα 2.4 Κατηγοριοποίηση των Natech της βάσης δεδομένων του PHMSA, βάσει κινδύνου (Γεωλογικοί, Μετεωρολογικοί, Υδρολογικοί, Κλιματικοί). Πηγή: (S. Girgin & Krausmann, 2014).

2.5. APGA - Australian Pipeline and Gas Association

Η APGA (πρώην APIA-Australian Pipeline Industry Association) διαθέτει βάση δεδομένων για τα παρ' ολίγον συμβάντα και τα συμβάντα που οδηγούν σε ζημιά. Συλλέγονται δεδομένα που αφορούν την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία αλλά δεν είναι προσβάσιμα στο κοινό (APGA, 2020). Με βάση μια παρουσίαση του φορέα το 2018, βελτιώθηκε η διαδικασία καταχώρησης των δεδομένων. Προστέθηκαν νέα πεδία δεδομένων, οργανώθηκε καλύτερα το λογισμικό προς αποφυγή διπλών εγγραφών της ίδιας καταχώρησης κ.α. Αναφέρεται επίσης ότι τα παρ' ολίγον συμβάντα αφορούν σε διαταραχή του εδάφους από εργασίες (εκσκαφές κ.λ.π.) σε βάθος μεγαλύτερο των 30 εκατοστών, σε αποστάσεις 3 έως 6 μέτρων εκατέρωθεν του δικτύου, σε σεισμικές δραστηριότητες και σε χρήση εκρηκτικών πλησίον του αγωγού. Τα συμβάντα αντιστοίχα αντιπροσωπεύουν διεργασίες που προκαλούν ζημιά στην επικάλυψη και σε διεργασίες που επιφέρουν ζημιά που χρίζει επισκευής ή αντικατάστασης. Οι συνολικές καταγραφές αντιστοιχούν σε 1.176 και φαίνονται αναλυτικά στην Εικόνα 2.5. Τα περισσότερα συμβάντα εκδηλώθηκαν σε εκτός αστικού περιβάλλοντος περιοχές, όπου το δίκτυο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη έκθεση σε χιλιόμετρα. Το 51% αντιστοιχεί στον παράγοντα της εξωτερικής παρέμβασης και το 28% στον παράγοντα διάβρωσης. Τα υπόλοιπα αντιστοιχούν σε μικρότερα ποσοστά στον παράγοντα εδαφικής κίνησης, κεραυνούς και κατασκευαστικές αστοχίες (Symonds, 2018).

Date range	Half Decade	Australia			New Zealand			Australia & New Zealand		
		Total events	Incident	Near Miss	Total events	Incident	Near Miss	Total events	Incident	Near Miss
1961-1965	1965	5	5					5	5	
1966-1970	1970	6	6					6	6	
1971-1975	1975	14	14					14	14	
1976-1980	1980	15	15					15	15	
1981-1985	1985	30	30					30	30	
1986-1990	1990	23	22	1				23	22	1
1991-1995	1995	9	9					9	9	
1996-2000	2000	7	5	2				7	5	2
2001-2005	2005	95	23	72				95	23	72
2006-2010	2010	188	22	166	162	11	151	350	33	317
2011-2015	2015	226	51	175	206	9	197	432	60	372
2016-2018	2018	171	11	160	19	1	18	190	12	178
	Totals	789	213	576	387	21	366	1176	234	942

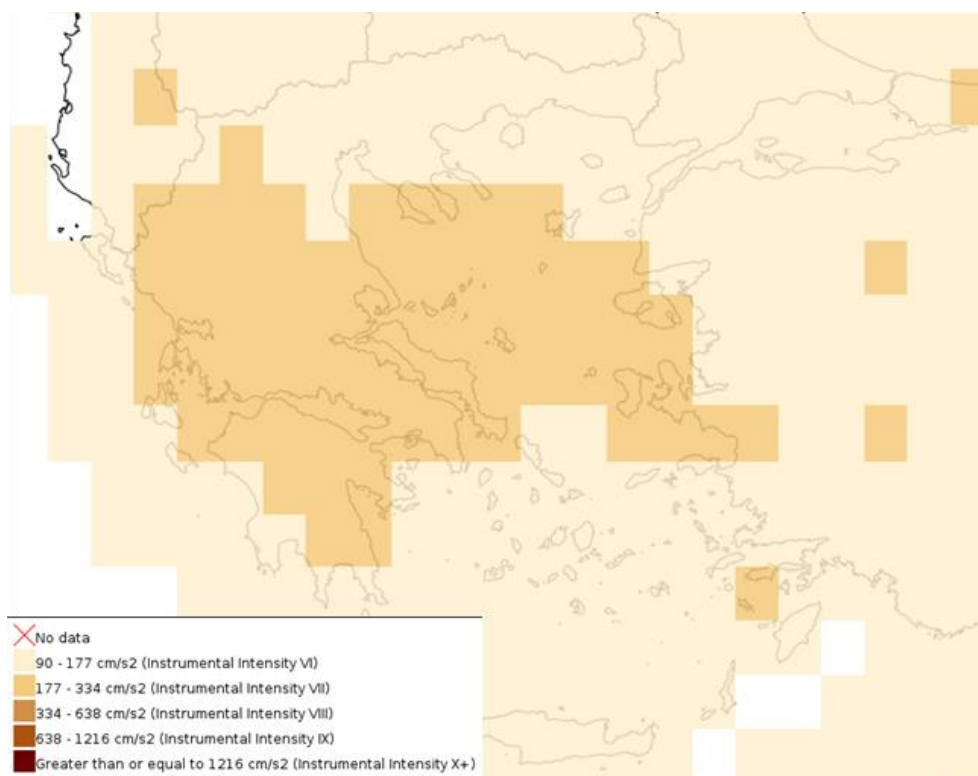
Εικόνα 2.5 Οι συνολικές καταγραφές σε Αυστραλία και Νέα Ζηλανδία από το 1961 έως το 2018. Πηγή: (Symonds, 2018).



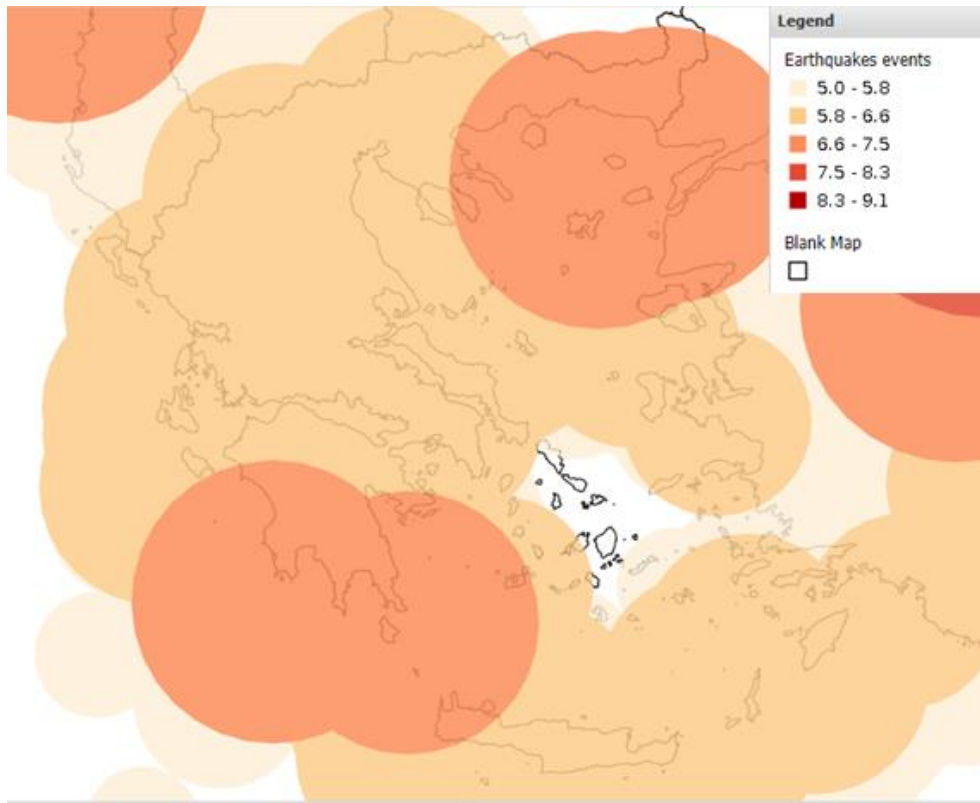
Εικόνα 2.6 Επίπτωση συμβάντων ανά πενταετία. Διακρίνονται οι διάφοροι τύποι ζημιών (Διάβρωση, βλάβη επικάλυψης, παραμόρφωση, βαθουλώματα, διαρροές, ρήξη). Πηγή: (Symonds, 2018).

2.6. Τρωτότητα αγωγών φυσικού αερίου

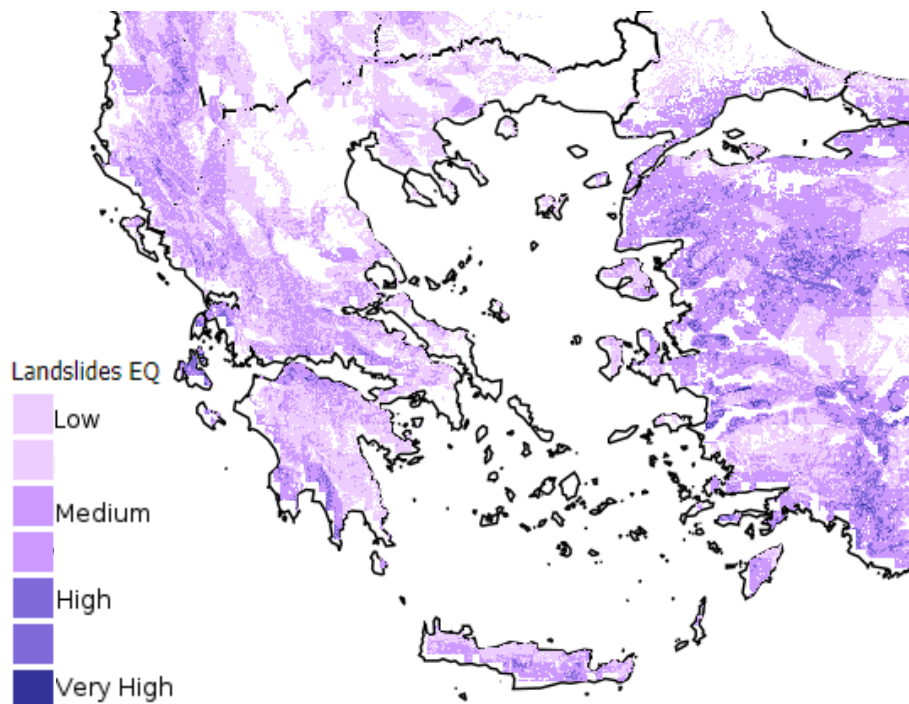
Για την περίπτωση της Ελλάδας μας ενδιαφέρουν όλοι οι παράγοντες που αναφέρθηκαν από τα στοιχεία των βάσεων δεδομένων και οδηγούν σε διαρροές φυσικού αερίου. Η χώρα μας χαρακτηρίζεται από μεγάλη σεισμική δραστηριότητα καθώς έχουν εκδηλωθεί μέτριας έως ισχυρής έντασης σεισμοί στο παρελθόν (Εικόνα 2.8) και από μέτριες έως ισχυρές μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις (Peak Ground Acceleration) (Εικόνα 2.7). Το δίκτυο της Ελλάδας είναι συνεπώς εκτεθειμένο στον κίνδυνο της εδαφικής κίνησης με τη μορφή ρευστοποίησης του εδάφους, κατολισθήσεων, καθιζήσεων και μετακίνησης του εδάφους και των ρηγμάτων.



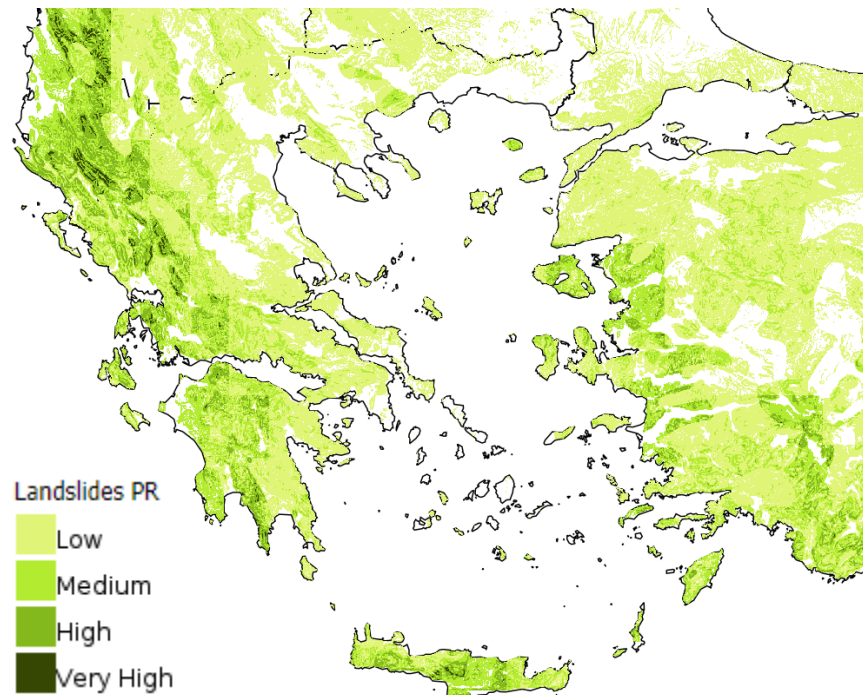
Εικόνα 2.7 Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις (PGA) κύκλου 250 ετών, για την περιοχή της Ελλάδας. Πηγή: (GRDP, 2020).



Εικόνα 2.8 Ένταση παρελθοντικών σεισμών έντασης μεγαλύτερης από 5, για την περιοχή της Ελλάδας (1970-2015). Πηγή:(GRDP, 2020 από USGS/ANSS).



Εικόνα 2.9 Εκτίμηση ετήσιας συχνότητας κατολισθήσεων προκαλούμενων από σεισμούς. Συνυπολογίζονται οι κλίσεις του εδάφους, οι γεωλογικές συνθήκες, η υγρασία του εδάφους, η φυτοκάλυψη, οι συνθήκες υετού και ο σεισμικός κίνδυνος. Το δίκτυο αγωγών διέρχεται κυρίως από περιοχές χαμηλής έως μέτριας συχνότητας. Πηγή: (GRDP, 2020).



Εικόνα 2.10 Εκτίμηση ετήσιας συχνότητας κατολισθήσεων προκαλούμενων από υετό. Συνυπολογίζονται οι κλίσεις του εδάφους, οι γεωλογικές συνθήκες, η υγρασία του εδάφους, η φυτοκάλυψη, οι συνθήκες υετού και ο σεισμικός κίνδυνος. Το δίκτυο αγωγών διέρχεται από περιοχές χαμηλής κυρίως συχνότητας. Πηγή: (GRDP, 2020).

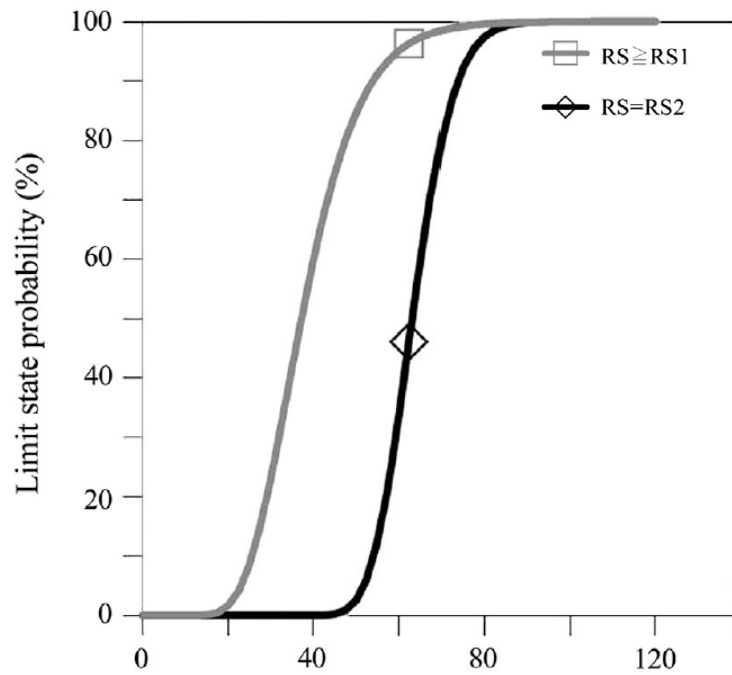
Η τρωτότητα εκφράζεται μέσω των καμπυλών τρωτότητας (fragility curves) που αποδίδουν την πιθανότητα βλάβης σε μια κατασκευή, υπό την επίδραση συγκεκριμένου παράγοντα εδαφικής κίνησης, συνήθως με τη βοήθεια εννοιών όπως το PGA (Peak Ground Acceleration-Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση), το PGV (Peak Ground Velocity-Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα) και το PGD (Peak Ground Displacement-Μέγιστη Εδαφική Μετατόπιση). Υπάρχει πληθώρα μελετών πάνω στο θέμα της ζημιάς που μπορεί να προκύψει σε θαμμένους αγωγούς και καθεμία από αυτές χρησιμοποιεί διαφορετική μεθοδολογία και εστιάζει σε διαφορετικούς τύπους και χρήσεις αγωγών. Παράδειγμα αποτελεί η εκτίμηση ζημιάς συναρτήσεως του PGA όπου διαπιστώθηκε ότι διπλασιασμός του PGA επιφέρει 100πλάσια αύξηση της ζημιάς (Jahangiri and Shakib, 2018 από Katayma, 1975). Άλλο παράδειγμα αποτελεί η μελέτη των Eguchi et al. (Jahangiri and Shakib, 2018 από Eguchi et al., 1981;1983) που διαχώρισε τις ζημιές σε αγωγούς λόγω των διαφορετικών σεισμικών κυμάτων και της παραμόρφωσης του εδάφους από σεισμό. Σε άλλη μελέτη διαπιστώθηκε ότι η ζημιά αυξάνει κατά 4,5 φορές με το διπλασιασμό της οριζόντιας εδαφικής μετακίνησης (Jahangiri and Shakib, 2018 από Barenberg, 1988). Ακόμα και ο τύπος του εδάφους αλλάζει τις επιδράσεις ενός σεισμού σε θαμμένους αγωγούς, όπως έδειξε μια μελέτη εκτίμησης της διακινδύνευσης, που ανέδειξε το λόγο PGV^2/PGA ως το καλύτερο μέτρο εκτίμησης με τη χρήση των τιμών αυτών ξεχωριστά (Jahangiri and Shakib, 2018 από Pineda-Porras και Ordaz, 2007).

Οι Jahangiri και Shakib (2018) μελέτησαν την οικονομική σεισμική διακινδύνευση για την περίπτωση της Τεχεράνης, χρησιμοποιώντας δεδομένα από 20 δίκτυα επιταχυνσιογράφων (σεισμός Kocaeli το 1995, σεισμός Kobe-Shin Osaka το 1995 κ.α.). Η μελέτη έγινε συγκεκριμένα για την περίπτωση θαμμένων μεταλλικών αγωγών φυσικού αερίου και η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με 15 διαφορετικά μοντέλα αγωγών. Οι διαφορές στα μοντέλα, αφορούσαν

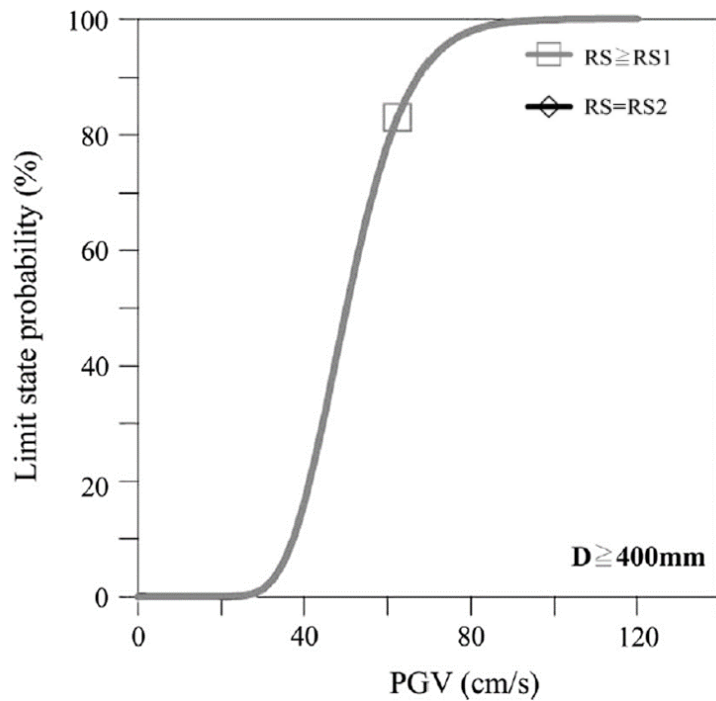
στο λόγο D/t (λόγος διαμέτρου αγωγού προς το πάχος αυτού), στο λόγο H/D (λόγος βάθους προς τη διάμετρο του αγωγού), στη σκληρότητα του εδάφους (shear modulus-G) και στη βαθμίδα του υλικού του αγωγού (steel grade βάσει American Lifeline Alliance). Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε για την Τεχεράνη αλλά δύναται να πραγματοποιηθεί εκτίμηση της οικονομικής σεισμικής διακινδύνευσης και για τη χώρα μας, χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα δεδομένα για την Ελλάδα (τεχνικά χαρακτηριστικά αγωγών και μορφολογία εδάφους). Για τη μελέτη περίπτωσης της Τεχεράνης, διαπιστώσανε τα ακόλουθα σημαντικά:

- Η πιθανότητα αστοχίας αυξάνει όσο ο λόγος D/t αυξάνει πέρα από την τιμή 39,9 και κάτω από αυτή την τιμή υφίσταται η μικρότερη πιθανότητα αστοχίας.
- Η πιθανότητα αστοχιών αυξάνεται όσο αυξάνονται οι τιμές του λόγου H/D και του G.
- Όσο αυξάνει η βαθμίδα (ποιότητα) του υλικού των αγωγών, ελαττώνεται η πιθανότητα αστοχίας.
- Αγωγός με σταθερή διάμετρο και πάχος στον οποίο έχει ελαττωθεί το βάθος στο οποίο θάβεται και καλύπτεται με έδαφος μειωμένου G, αναμένεται να επιφέρει ελάττωση στις ετήσιες αναμενόμενες απώλειες (Expected Annual Losses).

Σε μια μελέτη του 2013, αναλύθηκε η τρωτότητα των αγωγών φυσικού αερίου, μεταξύ λοιπών τύπων αγωγών, αναφορικά με το σεισμικό κίνδυνο. Στο πλαίσιο της έρευνας, συλλέχθηκαν περίπου 400 καταγραφές από πληθώρα βιβλίων, επιστημονικών μελετών και αναφορών (περίπου 300) και παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα η πιθανότητα διαρροής σε σχέση με το PGV (Peak Ground Velocity). Περίπου το 75% των αποτελεσμάτων αφορούσε αγωγούς φυσικού αερίου και το υπόλοιπο αφορούσε αγωγούς μεταφοράς νερού. Συνοπτικά διαπιστώθηκε ότι οι αγωγοί με υλικό σιδήρου με συγκολλημένες διασυνδέσεις, συγκριτικά με αγωγούς υλικού HDPE (πολυαιθυλενίου) και μηχανικών διασυνδέσεων, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη τρωτότητα καθώς αντιπροσωπεύουν ποσοστά μεγαλύτερα του 90%. Στις παρακάτω εικόνες διατίθενται οι καμπύλες τρωτότητας για τους αγωγούς φυσικού αερίου, σε σχέση με το PGV. Οι καμπύλες τρωτότητας παρήχθησαν από τις 10 σημαντικότερες καταγραφές (από πληθώρα 123 καταγραφών), οι οποίες χαρακτηρίζονταν από τιμές PGV 7-164 cm/sec, αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα διαρροής (μικρής-μεγάλης) και θεωρούνται έγκυρες για συνεχές δίκτυο αγωγών, υλικού κατασκευής σιδήρου, με συγκολλημένες διασυνδέσεις. Δύναται να αξιοποιηθούν σε ποσοτικές εκτιμήσεις διακινδύνευσης και στο σχεδιασμό των χρήσεων γης (Lanzano et al., 2013).



Εικόνα 2.11 Καμπύλη τρωτότητας αγωγών φυσικού αερίου σε σχέση με το σεισμικό κίνδυνο (PGV σε cm/sec) για αγωγούς διαμέτρου $< 400\text{mm}$. Το RS1 (Risk State) αναφέρεται σε περιορισμένη διαρροή και το RS2 σε μεγάλη διαρροή. Πηγή: (Lanzano et al., 2013).



Εικόνα 2.12 Καμπύλη τρωτότητας αγωγών φυσικού αερίου σε σχέση με το σεισμικό κίνδυνο (PGV σε cm/sec) για αγωγούς διαμέτρου $> 400\text{mm}$. Το RS1 (Risk State) αναφέρεται σε περιορισμένη διαρροή και το RS2 σε μεγάλη διαρροή. Πηγή: (Lanzano et al., 2013).

Οι κατολισθήσεις αποτελούν σημαντικό παράγοντα κινδύνου για τους αγωγούς μεταφοράς φυσικού αερίου καθώς συμβάλλουν στη μόνιμη μετακίνηση του εδάφους η οποία μπορεί να προκαλέσει μέχρι και πλήρη αστοχία αυτών, οδηγώντας σε σημαντικές διαρροές. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι κατολισθήσεις αποτελούν τη συχνότερη αιτία διάρρηξης αγωγών στα δίκτυα που διέρχονται από ορεινές περιοχές (Marinos *et al.*, 2016 από Sweeney *et al.*, 2005). Η αποτελεσματικότερη μέθοδος αντιμετώπισης του εν λόγω κινδύνου, είναι η αποφυγή περιοχών που είναι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις. Δεδομένης της γεωγραφίας της Ελλάδος και της ετήσιας συχνότητας κατολισθήσεων που είδαμε παραπάνω, αυτή η επιλογή δεν είναι πάντα δυνατή. Είναι απαραίτητο λοιπόν να υφίστανται κατάλληλα έργα, ως προστατευτικά μέτρα για την ακεραιότητα του αγωγού.

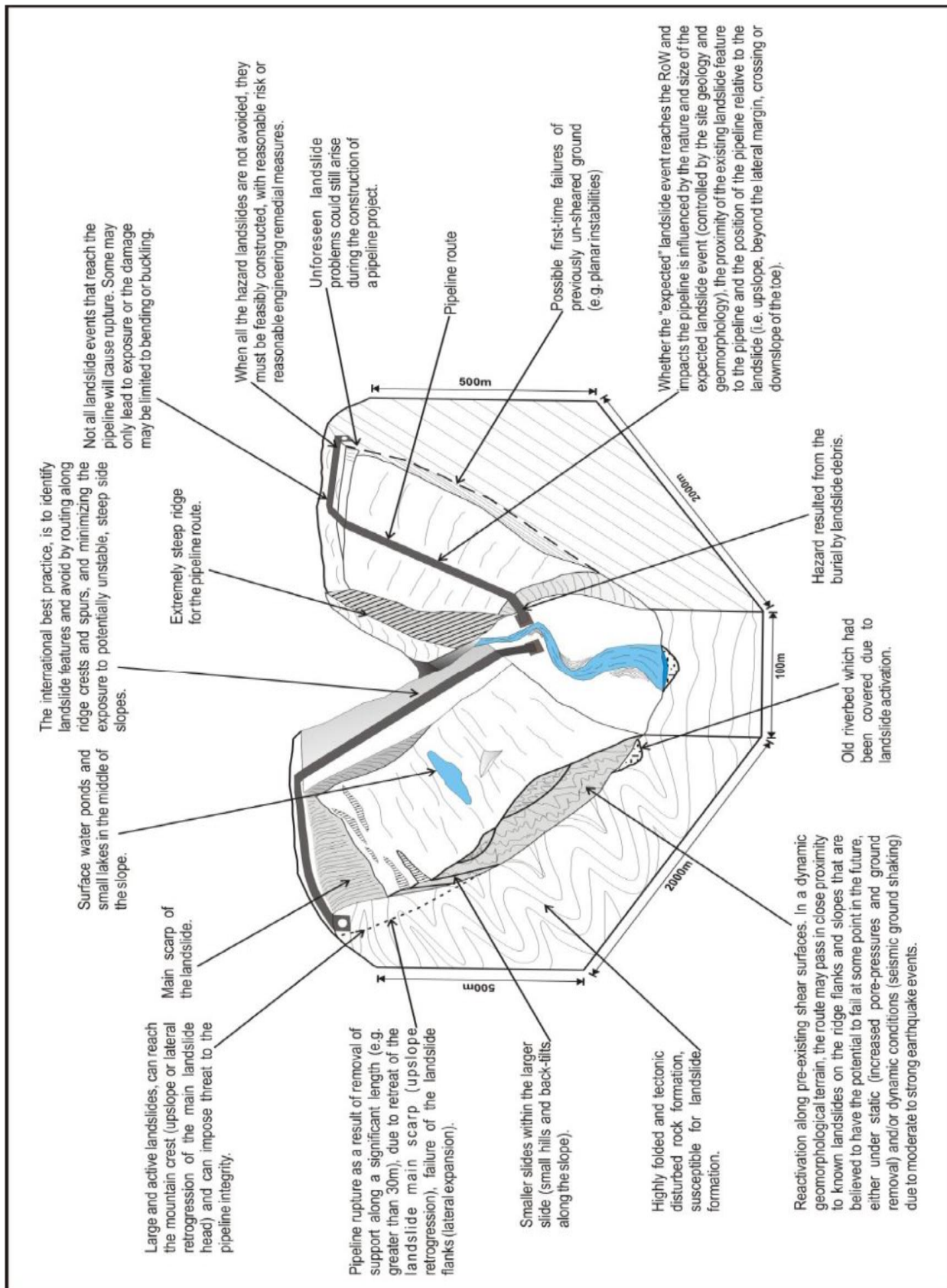
Οι κατολισθήσεις μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα την έκθεση ενός θαμμένου αγωγού, τη δημιουργία βαθουλμάτων και εκδορών σε αυτόν ή και την πλήρη ρήξη. Ο βαθμός στον οποίο μπορούν να επηρεάσουν το δίκτυο εξαρτάται από την έκταση και φύση του φαινομένου, τη γεωμορφολογία, την εγγύτητα του αγωγού στο φαινόμενο και τη σχετική θέση αυτού. Η τρωτότητα διακρίνεται σε τέσσερις βασικές αστοχίες (Marinos *et al.*, 2016 από Nyman *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2009; Young and Lockey, 2013):

- Πλευρικός ή κατακόρυφος εκτοπισμός αγωγού. Προκύπτει από τη συνδυασμένη οριζόντια και κάθετη κίνηση του εδάφους και η επίδραση στον αγωγό σχετίζεται με το βάθος και το υλικό του αγωγού, την ταχύτητα κίνησης του εδάφους και τη συνολική εδαφική κίνηση με το πέρασμα του χρόνου.
- Πρόσκρουση σώματος στον αγωγό. Προκύπτει όταν τμήμα του θαμμένου αγωγού εκτεθεί λόγω της κίνησης του εδάφους και βράχια/ογκόλιθοι που μετακινούνται παράλληλα, συγκρούονται με αυτόν. Η επίδραση στον αγωγό σχετίζεται με το βαθμό έκθεσης αυτού, την απόσταση που διανύει ο βράχος πριν την πρόσκρουση (ύψος πτώσης) και τον όγκο του βράχου.
- Φόρτωση του αγωγού. Προκύπτει από τις δυνάμεις που δέχεται ο αγωγός από υλικό που επικάθεται. Η επίδραση στον αγωγό σχετίζεται με το βάθος του αγωγού και το βάρος του εναποτεθέντος υλικού.
- Απώλεια στήριξης. Προκύπτει ως αποτέλεσμα της υποβάθμισης ή της αφαίρεσης έργων στήριξης του αγωγού σε σημαντικό μήκος (30 m.) αυτού, λόγω της υποχώρησης του εδάφους. Η επίδραση στον αγωγό σχετίζεται με την κάθετη εδαφική μετατόπιση.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει συγκεκριμένος φορέας που να υποχρεούται να διατηρεί βάση δεδομένων σχετικά με τις κατολισθήσεις. Ανάλογα την επηρεαζόμενη περιοχή (κατοικημένη περιοχή, οδικό δίκτυο, γέφυρες), διαφορετικοί φορείς εμπλέκονται με την καταγραφή των κατολισθήσεων, ενώ μελέτες Πανεπιστημίων εστιάζουν συνήθως σε περιορισμένες γεωγραφικά περιοχές. Ο κάθε φορέας δηλαδή ασχολείται με διαφορετικές πτυχές των επιπτώσεων, με επικέντρωση είτε στην οικονομική ζημιά, είτε στις κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις, είτε στις περιβαλλοντικές. Ως επίπτωση, τα ιστορικά αρχεία δεν αντιπροσωπεύουν σωστά τη χωρική κατανομή των κατολισθήσεων καθώς οι καταγραφές εκτελούνται μονάχα όταν οι κατολισθήσεις επηρεάζουν το ανθρώπινο περιβάλλον. Αν λάβουμε υπόψη το γεγονός ότι μεγάλο τμήμα των αγωγών φυσικού αερίου διέρχεται από περιοχές που δεν υφίσταται ανθρώπινη δραστηριότητα, εύλογα διαπιστώνουμε την ανάγκη της πλήρους καταγραφής του φαινομένου στη χώρα μας. Αυτό θα μας προσφέρει τη δυνατότητα για ορθότερες αποφάσεις κατά το σχεδιασμό των δικτύων και αποτελεσματικότερη παρακολούθηση του δικτύου στο στάδιο της πρόληψης. Το 2005, το τμήμα

Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πάτρας και το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), εκδώσαν έναν εθνικό χάρτη ζωνοποίησης του κινδύνου κατολισθήσεων, ο οποίος απεικόνιζε τη χωρική κατανομή τους για την περίοδο 1950 -2004. Η βάση δεδομένων αυτής της μελέτης μεταφέρθηκε αργότερα σε λογισμικό GIS και προστέθηκαν περαιτέρω πληροφορίες όπως ο παράγοντας πρόκλησης και οι επιπτώσεις (Sabatakakis, Koukis, Vassiliades, & Lainas, 2013).

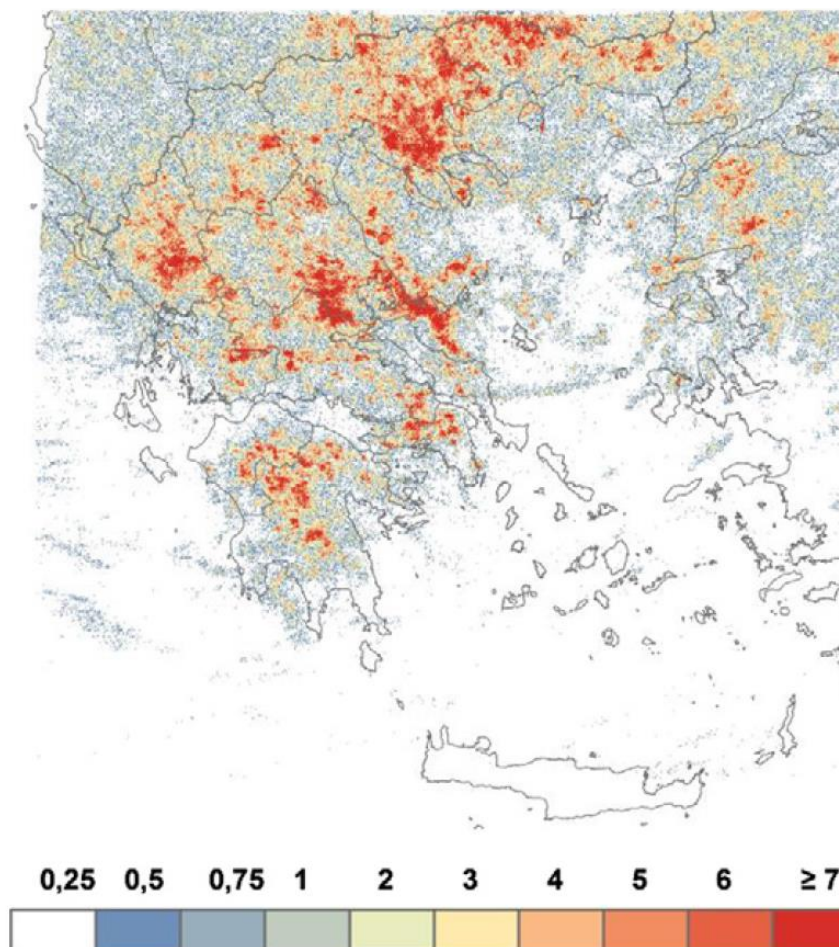
Το GREDASS (Greek Database of Seismogenic Sources) αποτελεί αποθετήριο γεωλογικών και τεκτονικών δεδομένων και παρέχει πληροφορίες σχετικά με ενεργά ρήγματα. Αποτελεί ουσιαστικά μια βάση δεδομένων για πιθανούς κινδύνους από σεισμούς ($M > 5,5$) στην ελληνική επικράτεια. Χάρτης που διατίθεται στην ηλεκτρονική πλατφόρμα, περιλαμβάνει τα ενεργά ρήγματα και τις περιοχές όπου έχουν εκδηλωθεί ρευστοποιήσεις. Χρησιμοποιεί πληροφορίες από το λογισμικό DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) του INVG (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), οι οποίες είναι διαθέσιμες για το ευρύ κοινό και είναι ανοικτό σε βελτίωση και προσθήκες. Η δράση είναι μια πρωτοβουλία από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και το πανεπιστήμιο Ferrara. Αναφέρεται, καθότι αποτελεί εργασία υπό εξέλιξη, ότι δεν εξασφαλίζεται η ακρίβεια και η αξιοπιστία των παρεχόμενων πληροφοριών. Η βάση δεδομένων έπαυσε να ενημερώνεται το Δεκέμβριο του 2016 και σαφώς δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δράσεις που αφορούν τη δημόσια ασφάλεια, αποτελεί όμως εν δυνάμει ένα χρήσιμο εργαλείο που μπορεί να επανεξεταστεί και να συνεισφέρει στην αναγνώριση των περιοχών σεισμικού κινδύνου όσον αφορά τα ρήγματα, τις περιοχές ρευστοποιήσεων και τα σημεία διασταύρωσης αυτών με το δίκτυο αγωγών (Caruto & Pavlides, 2016).



Εικόνα 2.13 Κίνδυνος κατολισθήσεων για τους αγωγούς φυσικού αερίου. Πηγή: (Marinos et al., 2016).

Παράλληλα, μελέτες σχετικά με τις βροχοπτώσεις στην Ελλάδα και άλλες μεσογειακές χώρες, παρουσιάζουν ενδιαφέρον ευρήματα για την περίπτωση μας. Λόγω της κλιματικής αλλαγής, έχουν μειωθεί οι ημέρες με βροχή ανά έτος αλλά η ποσότητα της βροχής δεν έχει μειωθεί. Σε κάποιες περιοχές, η βροχή μπορεί να οδηγήσει σε κορεσμό του εδάφους, όπως συνέβη πρόσφατα με το όρος Πατέρα στην περιοχή της Μάνδρας. Αυτό συμβαίνει διότι παρατηρούνται ακραίες τιμές κατά την εκδήλωση των βροχών (ακραία καιρικά φαινόμενα) (P. Nastos & Zeferos, 2010). Διακρίνεται αύξηση των ισχυρών βροχοπτώσεων σε σχέση με τις μικρής έντασης βροχοπτώσεις στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Alpert et al., 2002). Γίνεται εύκολα αντιληπτό συνεπώς, ότι τμήμα του δικτύου φυσικού αερίου δύναται να εκτεθεί σε ισχυρές συνθήκες διάβρωσης του εδάφους και διάβρωσης του ίδιου του δικτύου. Εν αντιθέσει με τους σεισμικούς κινδύνους, υπάρχουν ελάχιστες μελέτες εκτίμησης της διακινδύνευσης σχετικά με την τρωτότητα των αγωγών στον κίνδυνο της πλημμύρας. Οι περισσότερες μελέτες αφορούν την εκτίμηση διακινδύνευσης σε σπίτια και ελάχιστες σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και συγκεκριμένα σε αγωγούς (Piccinelli & Krausmann, 2013). Οι Ferris et al. (2015) ανέφεραν ότι οι περισσότερες αστοχίες σε αγωγούς, λόγω της επίδρασης των υδάτων, προκαλούνται από τη σύγκρουση αντικειμένων σε αυτόν (φερτά υλικά και ανάδευση υλικών πυθμένα), τη φόρτιση που επιδέχονται οι αγωγοί από την πίεση του νερού και την κόπωση υλικού που επιδέχονται τα τμήματα που έχουν χάσει τα στηρίγματά τους (αύξηση του πλάτους των ποτάμιων συστημάτων λόγω διάβρωσης) και από τις δονήσεις-ταλαντεύσεις που προκαλεί η τυρβώδης ροή του νερού (κόπωση υλικού αγωγών). Στη μελέτη τους διαπιστώσανε ότι πρακτικά το σύνολο των αστοχιών σε αγωγούς, εκδηλώθηκε σε σημεία διασταύρωσης αυτού με το υδρογραφικό δίκτυο (τμήματα των λεκανών απορροής) κατά τη διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων. Ουσιαστικά, στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, αυξανόμενου του ρυθμού απορροής εκδηλώθηκε διάβρωση του εδάφους γύρω από τον αγωγό με αποτέλεσμα την έκθεση αυτού. Σημειώνεται ότι το ανωτέρω φαινόμενο εκδηλώθηκε και σε περιπτώσεις μη υπερχειλίσις των ποταμών.

Κίνδυνο για το δίκτυο παρουσιάζουν και οι κεραυνοί. Οι έρευνες σχετικά με το κίνδυνο από κεραυνό έχουν αυξηθεί από το 2013 λόγω της κλιμάκωσης των υδρομετεωρολογικών φαινομένων (κλιματική αλλαγή) (Cruz & Suarez-Paba, 2019). Ενδεικτικά, το 2009 καταγράφηκαν περισσότερες από 1.967.973 ηλεκτρικές εκκενώσεις στην Ελλάδα. Το 2007, η ΕΜΥ (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) εγκατέστησε ένα δίκτυο για την ακριβή καταγραφή τους (PLN - Precision Lightning Network). Το δίκτυο αυτό αποτελούταν το 2014 από οκτώ αισθητήρες που κάλυπταν τον ευρύτερο ελλαδικό χώρο. Επεξεργασία των δεδομένων του δικτύου αυτού και αποτύπωση σε λογισμικό GIS, απέδωσε τη δραστηριότητα για τα έτη 2008 και 2009. Η μεγαλύτερη δραστηριότητα παρατηρήθηκε κατά τους φθινοπωρινούς μήνες και δευτερευόντως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (59% - 39% και 34% - 35% αντίστοιχα για τα έτη 2008, 2009). Για τη μελέτη μας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η χωρική κατανομή των κεραυνών CG (Cloud to Ground) και ιδιαίτερα για τους καλοκαιρινούς μήνες καθότι επηρεάζουν περιοχές όπου διέρχεται το δίκτυο φυσικού αερίου (Εικόνα 2.14). Γενικά την περίοδο της Άνοιξης και του Καλοκαιριού, παρατηρούνται περισσότεροι κεραυνοί CG στο ηπειρωτικό τμήμα της χώρας μας. (P. T. Nastos, Matsangouras, & Chronis, 2014). Μελέτη έχει συνδέσει τη δραστηριότητα ηλεκτρικών εκκενώσεων με την άνοδο της θερμοκρασίας και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η δραστηριότητα αυξάνει 20-44% για κάθε 1°C αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους (Kandalgaonkar et al., 2005). Αν λάβουμε υπόψη την άνοδο της θερμοκρασίας με την κλιματική αλλαγή, θα αυξηθεί μελλοντικά η τρωτότητα του δικτύου στον εν λόγω κίνδυνο.



Εικόνα 2.14 Χωρική κατανομή δραστηριότητας κεραυνών CG (Cloud to Ground) ανά km², για την περίοδο των καλοκαιρινών μηνών του 2008 και 2009. Πηγή: (P. T. Nastos et al., 2014).

Τέλος, το δίκτυο διέρχεται από εκτάσεις όπου λαμβάνουν μέρος αγροτικές εργασίες αλλά και κατασκευαστικές/εργολαβικές εργασίες και συνεπώς ο κίνδυνος της εξωτερικής παρέμβασης υφίσταται πάντα. Όπως φαίνεται και από τις βάσεις δεδομένων των περιστατικών, αποτελεί μεγάλη απειλή στην περίπτωση μας και αντιμετωπίζεται κυρίως με ειδικές σημάνσεις και ενημερότητα του κοινού. Οι κατασκευαστικές αστοχίες έχουν μειωθεί με την πρόοδο της τεχνολογίας και των εφαρμοζόμενων τεχνικών στην κατασκευή.

2.7. Η περίπτωση του TAP

Το δίκτυο του TAP στην Ελλάδα κατασκευάστηκε από σωλήνες με συγκολλημένο ασάλι διαμέτρου 48 ιντσών. Χρησιμοποιήθηκαν βαλβίδες συγκολλητών άκρων, μέθοδος που δεν επιτρέπει την είσοδο θραυσμάτων στον αγωγό κατά τη διαδικασία συγκόλλησης. Η εξωτερική επίστρωση αποτελείται από πολυαιθυλένιο τριών στρωμάτων, το εσωτερικό είναι επιστρωμένο με εποξική ρητίνη και κάποια τμήματα του αγωγού επενδύονται περαιτέρω με οπλισμένο σκυρόδεμα. Είναι εξολοκλήρου θαμμένος, καλύπτεται από τουλάχιστον 1-1,5 μέτρο εδάφους, προστατεύεται από σύστημα καθοδικής προστασίας και η μέθοδος διάνοιξης τάφρου εξασφάλισε την αποφυγή δημιουργίας χαραγματιών και βαθουλωμάτων κατά την τοποθέτηση του αγωγού. Ο

σχεδιασμός προβλέπει τη λειτουργία για 50 έτη αλλά είναι πολύ πιθανό να λειτουργήσει για παραπάνω έτη.

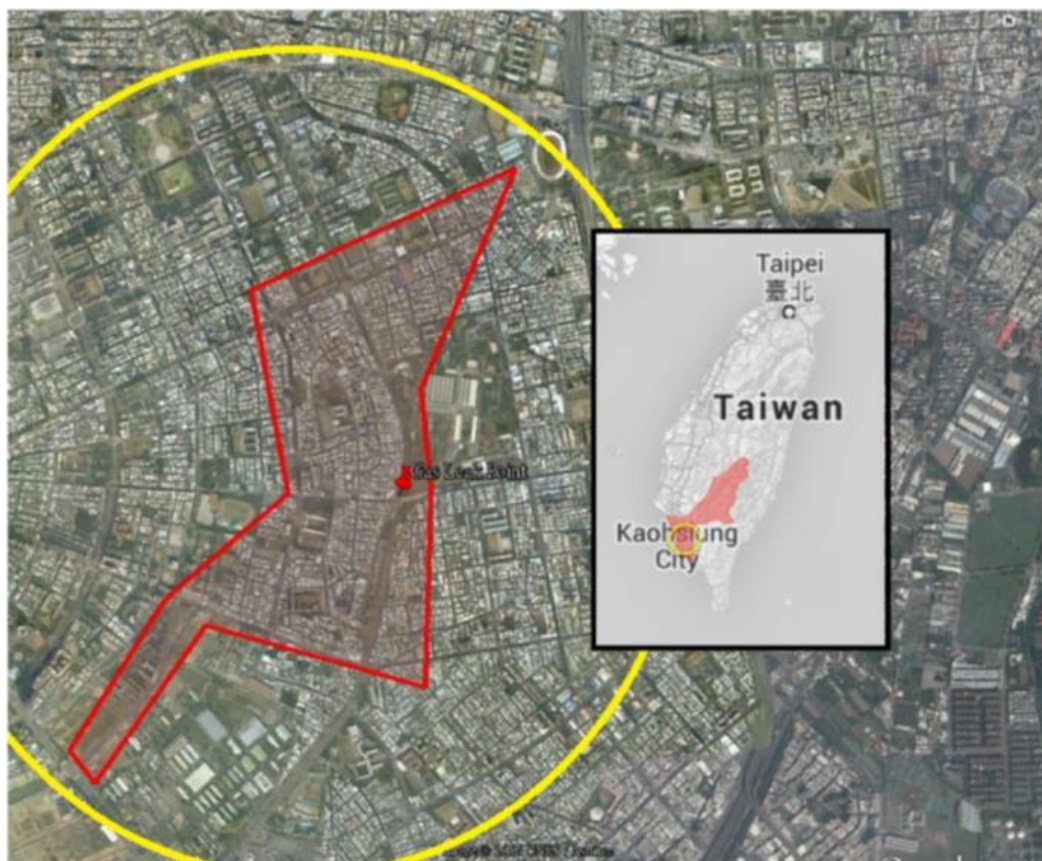
Ο παράγοντας της εξωτερικής παρέμβασης εκμηδενίζεται πρακτικά, λόγω του μεγέθους του αγωγού αλλά και του βάθους κάλυψης, ενώ τα υλικά επίστρωσης και η εγκατάσταση συστήματος καθοδικής προστασίας αποτελούν τα καλύτερα μέτρα για την προστασία από τη διάβρωση. Το γεγονός ότι ο TAP αποτελεί σύγχρονη κατασκευή, συνεισφέρει στη μεγιστοποίηση της ασφαλούς λειτουργίας του αλλά ο παράγοντας της εδαφικής κίνησης είναι αυτός στον οποίο πρέπει να δοθεί μεγάλη έμφαση για την περίπτωση μας. Εκτός από τη σεισμική δραστηριότητα, στον ελλαδικό χώρο εκδηλώνονται συχνά κατολισθήσεις και δεν πρέπει να εξαιρέσουμε και τις περιπτώσεις κίνησης του εδάφους λόγω διάβρωσης και βροχοπτώσεων. Κατά την κατασκευή του TAP, έχει προβλεφθεί η αποστράγγιση υδάτων στα ορύγματα όπου αυτό κρίθηκε αναγκαίο αλλά και την παρέκκλιση του υδάτινου δικτύου σε συνεννόηση με τις αρμόδιες αρχές.

Κατά την εκπόνηση της Μελέτης Περιβαλλοντικών και Κοινωνικών Επιπτώσεων (ΜΠΚΕ), η περιοχή μελέτης ορίστηκε στο ένα χιλιόμετρο εκατέρωθεν της προτεινόμενης όδευσης του αγωγού. Η μόνιμη ζώνη προστασίας παρέχει το δικαίωμα ελεύθερης πρόσβασης στον φορέα και ορίστηκε στα τέσσερα μέτρα εκατέρωθεν του αγωγού TAP για σκοπούς επισκευής, επιθεώρησης, συντήρησης αλλά το σημαντικότερο για την προστασία αυτού. Επιτρέπονται σε αυτή τη ζώνη οι γεωργικές διεργασίες μέχρι το βάθος των 30 εκατοστών και εξαιρούνται οι καλλιέργειες που αφορούν σε φυτά με βαθύ ριζικό σύστημα. Υφίσταται παράλληλα η εσωτερική ζώνη ασφαλείας, με την οποία περιορίζονται οι κατασκευαστικές εργασίες 20 μέτρα εκατέρωθεν του αγωγού και η διευρυμένη ζώνη ασφαλείας, με την οποία λαμβάνονται υπόψη οι νέες κατασκευαστικές δραστηριότητες 200 μέτρα εκατέρωθεν του αγωγού. (TAP, 2020b).

Κεφάλαιο 3. Ιστορική ανασκόπηση καταστροφών συσχετιζόμενων με δίκτυα Φυσικού Αερίου

3.1. Η περίπτωση της Ταιβάν το 2014

Την 31 Ιουλίου του 2014, αλληλουχία υπόγειων εκρήξεων έλαβε μέρος στην αστική περιοχή της Καοσιούνγκ (Kaoshiung), την έκτη μεγαλύτερη πόλη της Ταιβάν την περίοδο εκείνη (Wikipedia, 2020). Το εν λόγω συμβάν είναι η μεγαλύτερη καταστροφή της εξεταζόμενης κατηγορίας στην ιστορία της χώρας. Αποτέλεσμα των εκρήξεων ήταν η απώλεια 32 ανθρώπινων ζώων, ο τραυματισμός 321 ατόμων καθώς και εκτεταμένες ζημιές κατά μήκος 6 χιλιομέτρων του οδικού δικτύου της πόλης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι λόγω της έκρηξης, οχήματα και άνθρωποι εκτοξεύθηκαν σε οροφές των γειτνιάζοντων κτηρίων. Η επέκταση της διαρροής μέσω του αποχετευτικού δικτύου, επέκτεινε περαιτέρω την επηρεαζόμενη περιοχή. Λόγω της σπανιότητας της έκτασης της καταστροφής του είδους αυτού, διενεργήθηκε άμεσα έρευνα προς αναζήτηση των αιτιών. Στο Παράρτημα διατίθενται εικόνες της καταστροφής (Chen, Sheen, & Wang, 2016).



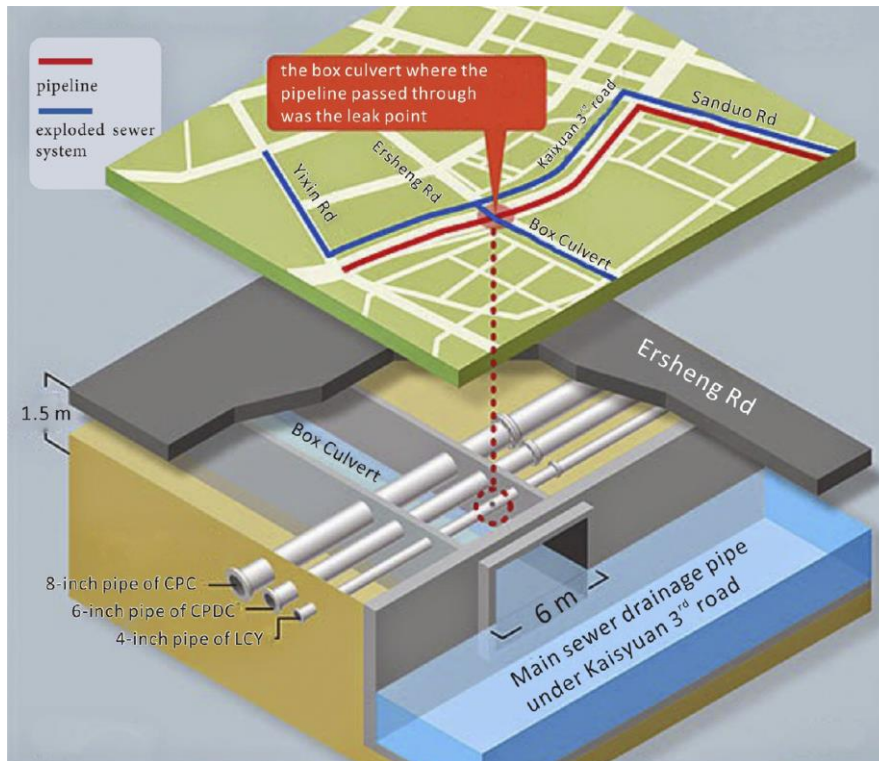
Εικόνα 3.1 Τοποθεσία περιστατικού και επηρεασμένη περιοχή. Η κόκκινη πινέζα καταδεικνύει το σημείο διαρροής. Πηγή: (Chen et al., 2016).

Αρχικά υπήρξε πτώση της πίεσης σε κοινό δίκτυο αγωγών δυο εταιρειών παροχής. Έπειτα από αναφορές περιέργων οσμών στην περιοχή αλλά και ανάδυσης λευκού καπνού από τα φρεάγια, οι εταιρείες παροχής προέβησαν στη διακοπή της παροχής με καθυστέρηση περίπου μίας ώρας και έπειτα σε έλεγχο του δικτύου, ενώ παράλληλα η πυροσβεστική υπηρεσία έλαβε τα απαραίτητα από πλευράς της μέτρα. Εν συνεχεία κρίθηκε ότι δεν υπήρχε διαρροή (ενώ υπήρχε στην πραγματικότητα) και σε αυτό συνέβαλε το γεγονός ότι στην εν λόγω περιοχή δεν διερχόταν το δίκτυο παροχής. Έπειτα από αυτή την αρχική διερεύνηση, το δίκτυο επανήλθε σε κανονική λειτουργία. Υπολογίστηκε μετέπειτα ότι κατά τη διάρκεια επαναλειτουργίας, διέρρευσαν 10 τόνοι φυσικού αερίου σε διάστημα 2 με 3 ωρών και το γεγονός αυτό διαπιστώθηκε μετά την εκδήλωση της καταστροφής από τη διερεύνηση. Ειδική ομάδα ανταπόκρισης κατέφθασε αργότερα στην περιοχή, επιβεβαίωσε την παρουσία αλκενίων (alkenes) και λίγα λεπτά μετά ξεκίνησαν οι υπόγειες εκρήξεις (Chen et al., 2016).

Από τις έρευνες προέκυψε ότι οι αγωγοί φυσικού αερίου είχαν εγκατασταθεί το 1991 αλλά ότι ένα χρόνο μετά (1992), στο σημείο από όπου διέρχονταν οι αγωγοί, κατασκευάστηκε νέο τμήμα του αποχετευτικού δικτύου. Ο νέος αποχετευτικός αγωγός δεν κατασκευάστηκε σύμφωνα με το σχεδιασμό, γεγονός που οδήγησε σε απαίτηση μετακίνησης των αγωγών φυσικού αερίου από την αρχική τους θέση. Αποτέλεσμα της αλλαγής αυτής ήταν η έκθεση τμήματος των αγωγών φυσικού αερίου σε περιβάλλον υγρασίας, για 23 χρόνια (1992-2014) (Chen et al., 2016).

Στο σημείο διαρροής υπήρχαν αγωγοί τριών διαφορετικών διαμέτρων (4, 6 και 8 ιντσών). Η οπτική παρατήρηση δειγμάτων των αγωγών, έδειξε ότι όλοι οι αγωγοί είχαν υποστεί διάβρωση αλλά σε σημαντικότερο βαθμό ο μικρότερος (4") και ο μεγαλύτερος (8"), στην εξωτερική πλευρά τους, η οποία ήταν και η περισσότερο εκτεθειμένη στην υγρασία. Το υλικό επικάλυψης (steel asphalt coating) ήταν ουσιαστικά ανύπαρκτο στις εξωτερικές πλευρές των εν λόγω αγωγών. Καθότι δεν υπήρχαν ενδείξεις διάβρωσης και ζημιάς στην επικάλυψη των αγωγών πέρα από το σημείο διασταύρωσης με το αποχετευτικό δίκτυο, πιθανόν αυτή υπέστη φθορά κατά την κατασκευή του αποχετευτικού τμήματος. Ο συνδυασμός φθοράς της επικάλυψης με το περιβάλλον υγρασίας, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου οι αγωγοί εμβαπτιζόνταν στο νερό (βροχές-πλημμύρες), αποτέλεσε την αιτία της σοβαρής διάβρωσης και κατ' επέκταση της διάρρηξης. Η συνεχής διάβρωση προκάλεσε στη διάρκεια των 23 ετών μείωση του πάχους του αγωγού των 4" κατά 85,9%. Σε αυτό το σημείο αναφέρουμε πως περαιτέρω ανάλυση και έλεγχος των αγωγών, έδειξε ότι τηρούνταν όλες οι τεχνικές και μηχανικές προδιαγραφές (Chen et al., 2016).

Εν κατακλείδι, η σημαντική μείωση του πάχους στο εξωτερικό του αγωγού, αποτέλεσμα της διάβρωσης που προκλήθηκε (φθορά επικάλυψης και έκθεση σε υγρασία), είχε ως συνέπεια τη διάρρηξη του αγωγού από το εσωτερικό προς το εξωτερικό λόγω μη αντοχής αυτού στην πίεση λειτουργίας.



Εικόνα 3.2 Η διάταξη των τριών αγωγών φυσικού αερίου σε σχέση με το αποχετευτικό δίκτυο. Πηγή: (Chen et al., 2016).



Εικόνα 3.3 Αριστερά: Φωτογραφία του μικρού αγωγού (4"). Δεξιά: Το σημείο διάρρηξης του αγωγού. Πηγή: (Chen et al., 2016).

3.2. Η περίπτωση της Ινδίας το 2014

Στις 22 Ιουνίου 2014, εκδηλώθηκε έκρηξη σε υπόγειο αγωγό της εταιρείας GAIL (Gas Authority of India Limited) στην περιοχή Andhra Pradesh της Ινδίας. Γενεσιουργός αιτία ήταν η αύξηση της πίεσης παροχής, η οποία οδήγησε σε έκρηξη του αγωγού και τη δημιουργία κρατήρα διαμέτρου περίπου 7 μέτρων. Η διάρρηξη είχε ως συνέπεια τη διαρροή αερίου σε ακτίνα περίπου 0,5 χλμ. Στη συνέχεια το αέριο αναφλέγει από άγνωστη πηγή και σχηματίστηκαν λίμνες φωτιάς (Pool Fire) που διατηρήθηκαν για αρκετές ώρες λόγω της υπάρχουσας συγκέντρωσης και της συνεχούς τροφοδότησης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι υπήρξαν αναφορές εβδομάδες προ της εκδήλωσης, για ύπαρξη οσμών (ενδείξεις διαρροής), οι οποίες αγνοήθηκαν από την εταιρεία παροχής. Μετέπειτα αναλύσεις δεν απέκλεισαν την πιθανότητα ύπαρξης ρωγμής μικρής διατομής (1 με 5 χιλιοστά), η οποία υπόθεση όμως δεν δικαιολογούσε το μέγεθος του κρατήρα. Υπήρχαν επίσης ενδείξεις υπέρβασης του κανονικού ορίου πίεσης παροχής κατά το διπλάσιο σχεδόν. Ο συνδυασμός αυτών των δυο στοιχείων, είναι που οδήγησε πιθανόν στην πλήρη ρήξη του αγωγού. Αποτέλεσμα της επακόλουθης μεγάλης διαρροής, ήταν η δημιουργία μεγάλου αερίου νέφους (large flammable vapor cloud). Το περιβάλλον ωφέλησε τη διασπορά του αερίου στο χώρο (δέντρα, φυτά, έδαφος), διευκολύνοντας τη μετέπειτα έκρηξη του αερίου νέφους (UVCE-Unconfined Vapor Cloud Explosion). Μετά την έκρηξη UVCE, παρά τη μικρή πιθανότητα, εκδηλώθηκαν γλώσσες φωτιάς (Jet Fires) πλησίον του κρατήρα για περίοδο περίπου μιας ώρας, ύψους 50 μέτρων. Η ύπαρξη αυτών υποδήλωνε και την διατήρηση της παροχής του αερίου. Παράλληλα εκδηλώθηκαν Pool Fires μακριά από το κρατήρα, διαμέτρου 50-200 μέτρων, στα σημεία όπου είχε συγκεντρωθεί αέριο. Υπολογίστηκε για το συγκεκριμένο συμβάν, απόσταση ασφαλείας 1-2,4 χιλιόμετρα από την εξωτερική στεφάνη των Pool Fires και αντίστοιχα 39 μέτρων όσον αφορά τα Jet Fires. Οι απώλειες ανθρώπινων ζώων ανήλθαν σε 18, οι τραυματισμοί σε 40 και προέκυψαν ανυπολόγιστες οικονομικές και περιβαλλοντικές ζημιές. Το μέγεθος των Pool Fires και το γεγονός ότι εκδηλώθηκαν πλησίον κατοικημένων περιοχών, αποτέλεσε τον κύριο παράγοντα απωλειών. Το συγκεκριμένο συμβάν έλαβε μέρος νωρίς το πρωί και οι καιρικές συνθήκες χαρακτηρίστηκαν σταθερές (δεν υπήρχε βροχή και επικρατούσε πρακτικά άπνοια). Όλοι οι παράγοντες δηλαδή που αφορούσαν το συμβάν, ευνόησαν την εκδήλωση του χειρότερου δυνατού σεναρίου (worst case scenario) (Mishra & Wehrstedt, 2015).

Η ασφαλής αποθήκευση και διακίνηση επικίνδυνων υλικών όπως το φυσικό αέριο, είναι επιτακτικής σημασίας και απαιτείται η εκπόνηση ρεαλιστικών σεναρίων για το σωστό σχεδιασμό στη διαχείριση καταστροφών του είδους. Οι Mishra et al. (2013) έκαναν λόγο για την ανεπάρκεια των μεθόδων και των μοντέλων που εφαρμόζονται, σχετικά με την πρόβλεψη αποστάσεων ασφαλείας για τα διάφορα είδη εκρήξεων. Έδειξαν αντίστοιχα ότι σύγχρονοι μέθοδοι όπως το CFD (Computational Fluid Dynamics), που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη περίπτωσης στην Ινδία, παρέχουν πολύ καλύτερες εκτιμήσεις για τον τρισδιάστατο χώρο άρα η χρήση τους πρέπει να είναι επιτακτική.



Εικόνα 3.4 Ο κρατήρας που δημιουργήθηκε από την ολική διάρρηξη του υπερσυμπιεσμένου αγωγού. Πηγή: (Mishra & Wehrstedt, 2015).

3.3. Η περίπτωση της Κίνας το 2016

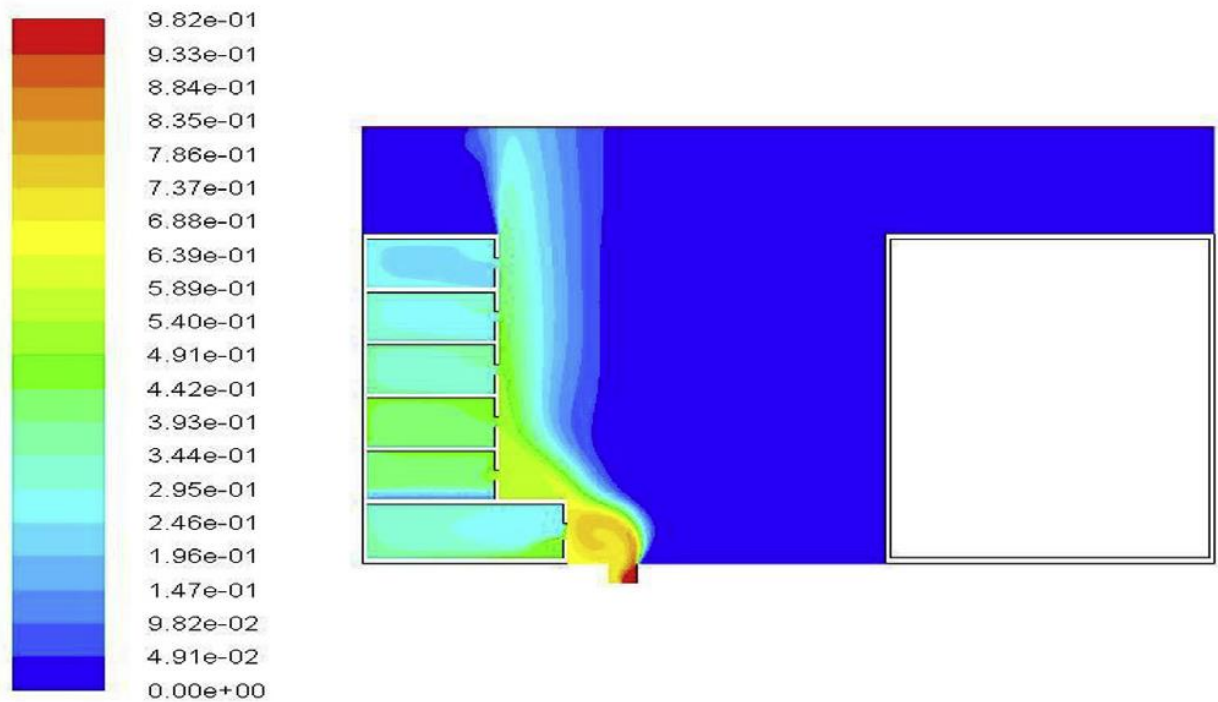
Στις 10 Απριλίου 2016, εκδηλώθηκε έκρηξη στην επαρχία Haidian του Πεκίνο. Ο ιδιοκτήτης μιας κατοικίας στην εν λόγω περιοχή, είχε εκτελέσει στο παρελθόν εργασίες επέκτασης στον εξωτερικό χώρο του κτηρίου με προσωπική του πρωτοβουλία. Ενώ το προσωπικό συντήρησης του δικτύου φυσικού αερίου εκτέλεσε σωστά το καθήκον του, παρερμήνευσε τα κατασκευαστικά σχέδια καθότι οι παρεμβάσεις του ιδιοκτήτη δεν ήταν αποτυπωμένες σε αυτά (αυθαίρετες). Ο αγωγός του δικτύου θεωρήθηκε εύλογα ότι δεν θα επηρεαστεί από τις προγραμματισμένες εργασίες αλλά οι εργασίες εκσκαφής εκτελέστηκαν τελικά σε λανθασμένη τοποθεσία.

Ένας αγωγός του δικτύου (διάμετρος 63 χιλιοστά, πίεση παροχής 0,08 Mpa) υπέστη πλήρη ρήξη από έναν εκσκαφέα και η διαρροή φυσικού αερίου είχε ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση αυτού στα γεινιάζοντα κτήρια. Από την έναρξη της διαρροής έως την ενεργοποίηση των διαδικασιών ανάγκης (διακοπή παροχής), μεσολάβησε χρονικό διάστημα 2,5 ωρών, κατά τη διάρκεια του οποίου η διαφυγή αερίου συνεχίστηκε. Οι συνθήκες ανέμου, η διαρρύθμιση του κτηρίου, το χρονικό διάστημα της διαρροής και η κατεύθυνση αυτής, οδήγησαν στην συγκέντρωση ικανής ποσότητας φυσικού αερίου, σε κοντινή εξώροφη πολυκατοικία, για τη δημιουργία έκρηξης. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι παρόλο που συσσωρεύθηκε ένα μικρό τμήμα του αερίου που διέφυγε (0,4%) εντός του κτηρίου, αυτό ήταν αρκετό για να αναφλεγεί και να προκαλέσει έκρηξη. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος CFD (με την επέκταση FLACS) για την

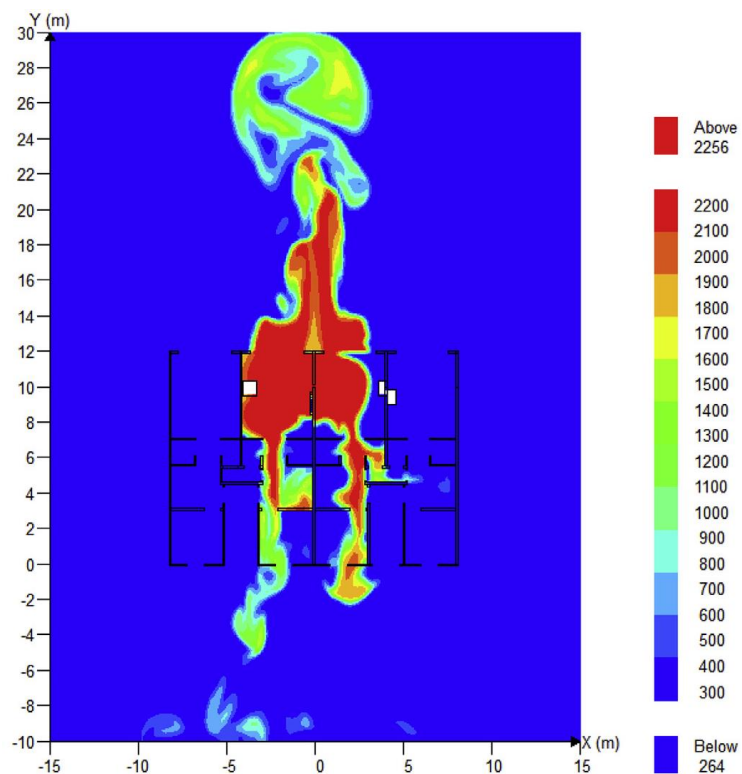
εξομοίωση της έκρηξης, η οποία θεωρείται αξιόπιστη και ακριβής για τα συγκεκριμένα περιστατικά. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, πέρα από τρισδιάστατο, ήταν και πολύ ακριβές αφού συμπεριλάμβανε τα κύρια έπιπλα και τις διόδους του κάθε διαμερίσματος. Διερεύνηση στο πεδίο, έδειξε ότι πιθανότερη πηγή ανάφλεξης αποτέλεσε ένα ψυγείο σε λειτουργία. Η μέγιστη θερμοκρασία που αναπτύχθηκε ήταν 2283K (2010°C) και η μέγιστη πίεση αντιστοιχούσε σε περίπου 28kPa (εντός 0,5 δευτερολέπτου). Οι θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν ήταν αρκετές για να προκαλέσουν πυρκαγιά και οι πιέσεις αρκετές για να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές εντός του κτηρίου και πτώση της σκαλωσιάς εξωτερικά αυτού. Η πιθανότητα θανάτου λόγω της υπερπίεσης υπολογίστηκε στο 1% και πραγματικό αποτέλεσμα της έκρηξης ήταν ο θάνατος ενός ατόμου (λόγω ασφυξίας από το καπνό, όχι λόγω της έκρηξης) και ο τραυματισμός δύο ατόμων (εγκαύματα). Επισημαίνεται σε αυτό το σημείο ότι η χρήση φυσικού αερίου στο Πεκίνο, σχεδόν πενταπλασιάστηκε τη δεκαετία 2001-2010 (Ji et al., 2017).



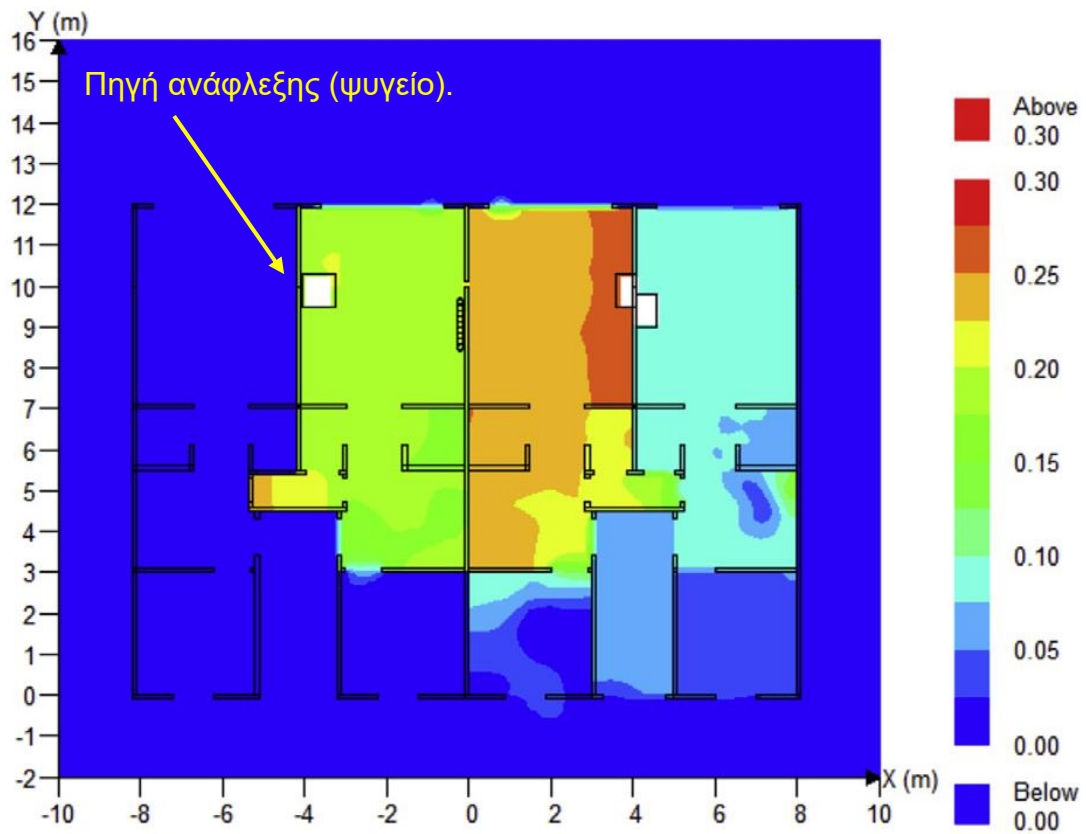
Εικόνα 3.5 Το κτήριο όπου εκδηλώθηκε η έκρηξη. Πηγή: (Ji et al., 2017).



Εικόνα 3.6 Η κατανομή της συγκέντρωσης του φυσικού αερίου μετά από διάστημα 2,5 ωρών. Πηγή: (Ji et al., 2017).



Εικόνα 3.7 Η κατανομή της θερμοκρασίας (σε K) στον 1^ο όροφο του κτηρίου, 0,85 δευτερόλεπτα μετά την έκρηξη. Πηγή: (Ji et al., 2017).



Εικόνα 3.8 Η κατανομή της πίεσης ($\times 10^{-5}$ Pa) στον 1^ο όροφο του κτηρίου, 0,479 δευτερόλεπτα μετά την έκρηξη. Πηγή: (Ji et al., 2017).

Κεφάλαιο 4.

Διδάγματα και Μάθηση από την εμπειρία (Lessons Learned)

Σε πολλές περιπτώσεις γίνονται μελέτες μετά την εκδήλωση μιας καταστροφής, οι οποίες καταλήγουν σε χρήσιμα συμπεράσματα όπως το γιατί και το πως εκδηλώθηκε. Συχνά σε αυτές τις μελέτες αναφέρονται και διδάγματα με τη μορφή νέας γνώσης ή τονίζονται σφάλματα που οδήγησαν σε μια καταστροφή. Οι καταστροφές υπήρχαν και θα υπάρχουν όσο καλά μέτρα και αν εφαρμόζονται καθότι υφίστανται οι αστάθμητοι παράγοντες των φυσικών διεργασιών του περιβάλλοντος, οι αστοχίες των ανθρώπινων κατασκευασμάτων και τα σφάλματα στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Σημασία έχει να μαθαίνουμε από τα σφάλματα και τις αστοχίες για την αποφυγή παρόμοιων συμβάντων αλλά και η αξιοποίηση της υπάρχουσας γνώσης. Ο όγκος της πληροφορίας, ιδιαίτερα στο τομέα που εξετάζουμε, είναι μεγάλος και απαιτείται οργάνωση αυτής για να υλοποιήσουμε τον απώτερο σκοπό: Την βελτιστοποίηση της ασφάλειας και της πρόληψης.

4.1. Ταιβάν 2014

Όπως διαπιστώθηκε, έργα υποδομών που λαμβάνουν μέρος πλησίον ήδη υπαρχόντων αγωγών φυσικού αερίου, χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής στο σχεδιασμό καθώς είναι εύκολο να οδηγήσουν σε φθορά και συνεπώς σε διαρροές. Μια νέα παρέμβαση δύναται να προκαλέσει επίσης συνθήκες που ευνοούν την περαιτέρω φθορά. Παράλληλα, έργα όπως το αποχετευτικό δίκτυο μιας πόλης, δύναται να συμβάλλουν στην έκταση των απωλειών (οικονομικών και κοινωνικών). Καταστροφή συσχετιζόμενη με αγωγούς φυσικού αερίου, τόσο μεγάλης έκτασης, είναι σπάνια αλλά αποτελεί μια πιθανότητα υπό συνθήκες που ευνοούν την εκδήλωσή της.

Σημαντικό επίσης μάθημα του συγκεκριμένου ατυχήματος είναι ότι όταν υπάρχει η παραμικρή υποψία, θα πρέπει να διακόπτεται άμεσα η παροχή μέχρι να διερευνηθεί πλήρως το συμβάν. Σε κάθε περίπτωση προέχει η προστασία του ανθρώπινου κεφαλαίου και δευτερευόντως η προστασία περιουσιών και υποδομών. Η διακοπή παροχής μπορεί να προκαλέσει διαταραχή για ένα χρονικό διάστημα αλλά δεν συγκρίνεται με το χειρότερο σενάριο της εκάστοτε περίπτωσης. Αν υπάρχει αμφιβολία, δράση πρέπει να λαμβάνεται με γνώμονα το χειρότερο σενάριο που μπορεί να προκύψει μέχρι να επανεξεταστεί η κατάσταση και να επανακαθοριστεί ο τρόπος δράσης.

Οι φορείς που εμπλέκονται με την Πολιτική Προστασία, συνήθως δεν διαθέτουν την απαιτούμενη πείρα και τις κατάλληλες γνώσεις για την αντιμετώπιση των υπό μελέτη συμβάντων. Σε αυτό το πλαίσιο, η ανάλυση παρόμοιων περιστατικών με τη μέθοδο *timeline analysis*, μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη και το μετριασμό καθώς ενισχύει το μηχανισμό λήψης αποφάσεων και στην επιμόρφωση του προσωπικού.

4.2. Ινδία 2014

Είναι σημαντική η χρήση του μοντέλου CFD στις μελέτες διακινδύνευσης και να ενσωματώνονται τα αποτελέσματα αυτών στα αντίστοιχα Σ.Α.Τ.Α.Μ.Ε. (Σχέδια Αντιμετώπισης Τεχνολογικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση CFD, παρέχουν ρεαλιστικές αποστάσεις ασφαλείας άρα συνεισφέρουν στο μηχανισμό πρόληψης και αντιμετώπισης. Αποδείχτηκε η μεγάλη ακρίβεια των αποτελεσμάτων του μοντέλου, σε σχέση με την παρατήρηση της περιοχής και τις συνεντεύξεις των μαρτύρων. Η προσέγγιση μέσω του CFD αλλά και η ημιεμπειρική, έδειξαν ότι η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας από αγωγούς φυσικού αερίου πρέπει να είναι τουλάχιστον 2,5 χιλιόμετρα για την περίπτωση δυσμενούς σεναρίου. Η θερμική ακτινοβολία από τις γλώσσες φωτιάς (jet fires) και τις λίμνες φωτιάς λίμνης (pool fires), αποτέλεσαν το κύριο αίτιο απώλειας ανθρώπινων ζωών.

Συμπληρωματικά, οι εταιρείες παροχής πρέπει αρχικά να προβαίνουν σε προληπτικές ενέργειες όταν γίνονται αναφορές που υποδηλώνουν διαρροή φυσικού αερίου, να διεξάγουν πλήρη έλεγχο και έπειτα να δρουν ανάλογα με του ελέγχου. Η διακοπή παροχής δημιουργεί φυσικά προβλήματα αλλά είναι επιτακτική προς αποφυγή ατυχήματος.

4.3. Κίνα 2016

Αναδεικνύεται για μια ακόμα φορά η ακρίβεια του μοντέλου CFD σε σχέση με τις παρατηρήσεις του πεδίου. Τονίζεται επίσης ότι η πηγή ανάφλεξης σε περιπτώσεις διαρροών φυσικού αερίου, είναι παράγοντας που αμελείται και δεν λαμβάνεται συχνά υπόψη στις μελέτες περιπτώσεων. Πολλοί παράγοντες μπορούν να αποτελέσουν πηγή ανάφλεξης και ο έλεγχος αυτών μπορεί να αποδειχθεί δύσκολος έως αδύνατος. Όπως δείχνουν και τα δεδομένα των παγκόσμιων βάσεων δεδομένων (EGIG κ.α.), ένα ακόμα συμβάν ήταν αποτέλεσμα εργασιών εκσκαφής. Αναφέρεται σε αυτό το σημείο ότι αυθαίρετες ενέργειες που οδηγούν σε λανθασμένη απεικόνιση κατασκευαστικών σχεδίων, εύκολα οδηγούν σε ατυχήματα διαρροών. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά αυθαίρετα κτίσματα και επεκτάσεις που μπορούν να οδηγήσουν υπό συνθήκες σε παρόμοιες καταστάσεις. Είναι συνεπώς σημαντική η επιβολή των νόμων και των κανονισμών που ήδη υπάρχουν για να υπάρχει αποτελεσματική έμμεση πρόληψη στο παράγοντα εξωτερικής παρέμβασης.

Στο υπό εξέταση συμβάν, η τοποθεσία του αγωγού παρερμηνεύτηκε από τον πολιτικό μηχανικό, το συμβάν αναφέρθηκε 1,5 ώρα αφού συνέβη, δεν είχαν ληφθεί μέτρα ασφαλείας στο χώρο εργασίας και το σχέδιο αντιμετώπισης του φορέα παροχής αποδείχθηκε ελλιπές και ανέφικτο με το ανεκπαίδευτο προσωπικό. Όπως ανέφεραν οι Ji et al. (2017), όταν γίνονται εργασίες πλησίον της ζώνης ασφάλειας των αγωγών, είναι σημαντικό να παρίσταται εκπρόσωπος του φορέα παροχής προς αποφυγή σφαλμάτων ή και παρερμηνεύσεων. Συμπεραίνουμε επίσης τη σημασία της άμεσης ενημέρωσης και κατ' επέκταση της άμεσης επέμβασης καθώς ο χρόνος επιτρέπει τη συγκέντρωση φυσικού αερίου σε επικίνδυνες για έκρηξη ποσότητες. Η αλυσίδα ενημέρωσης εξασφαλίζει τη δράση του αρμόδιου προσώπου/φορέα αλλά επιβάλλεται οι διαδικασίες να χαρακτηρίζονται από αμεσότητα.

Τα σχέδια αντιμετώπισης μπορεί να είναι κατάλληλα αλλά η επιτυχής διαχείριση αυτών συνδέεται άμεσα με το προσωπικό που τα διαχειρίζεται και τα μέτρα πρόληψης και ασφάλειας

πρέπει να εφαρμόζονται πάντα. Σενάρια που δεν έχουν προβλεφθεί απαιτούν εμπειρία και γνώση για να είναι αποτελεσματική η αντιμετώπισή τους. Στο συγκεκριμένο συμβάν, ο διαχειριστής της κατασκευαστικής αλλά και ο διαχειριστικός φορέας φυσικού αερίου δεν προέβησαν στην εκτέλεση των προβλεπόμενων σχεδίων έγκαιρα. Είναι συνεπώς σημαντική η εκπαίδευση του προσωπικού σε διαδικασίες έκτακτης ανάγκης αλλά και η συνεχής επιμόρφωση των στελεχών με την πρόοδο της γνώσης στο τομέα. Η νοοτροπία αυτή δύναται κατ' επέκταση να οδηγήσει σε αναθεωρήσεις σχεδίων ή/και στη θέσπιση νέων σχεδίων για σενάρια που δεν έχουν ήδη προβλεφθεί.

4.4. Λοιπές πηγές

Τα Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών (ΓΠΣ), μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην πρόληψη αλλά και στην αντιμετώπιση των καταστροφών. Η πολλαπλασιαστική συμβολή των γεωχωρικών δεδομένων είναι αναγνωρισμένη από την Ευρωπαϊκή Οδηγία INSPIRE (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2007) και η παραγωγή αλλά και ο διαμοιρασμός αυτών των δεδομένων επιβάλλεται (με περιορισμούς). Η Οδηγία μάλιστα εστιάζει στο τομέα των Natech καταστροφών και στη διαχείριση κρίσεων στο πλαίσιο επηρεασμού γειτνιαζόντων κρατών μελών (European Commission, 2020b). Στην Ελλάδα έχουν παραχθεί κάποια δεδομένα αλλά αυτά δεν είναι σε καμία περίπτωση αρκετά. Στην κατηγορία που αφορά τις ζώνες φυσικής διακινδύνευσης (Natural Risk Zones), έχουν παραχθεί μόνο δεδομένα που αφορούν τους πλημμυρικούς κινδύνους σε αντίθεση με αρκετά κράτη-μέλη που περιλαμβάνουν δεδομένα για πυρκαγιές, σεισμούς κ.λ.π. (European Commission, 2020a). Κρίνεται συνετό να δημιουργηθούν λοιπόν τα κατάλληλα δεδομένα και αυτά να καταστούν διαθέσιμα στους άμεσα ενδιαφερόμενους, υπό κοινή βάση αναφοράς, για να εκμεταλλευτούν ορθά. Παράδειγμα αποτελεί η παραγωγή γεωχωρικών δεδομένων για τους φυσικούς κινδύνους, του συστήματος παροχής φυσικού αερίου, του αποχετευτικού δικτύου και πηγών που εν δυνάμει μπορούν να αποτελέσουν πηγή ανάφλεξης.

Στο Νοτιο-ανατολικό τμήμα των Η.Π.Α. έχει αναδειχθεί τα τελευταία έτη, η ανάγκη πρόληψης και αντιμετώπισης πλημμυρικών φαινομένων που επηρεάζουν το δίκτυο φυσικού αερίου. Στο πλαίσιο αυτό συστάθηκε μια ομάδα εργασίας το 2013, μέσω της συνεργασίας της NGA (Northeast Gas Association), της SGA (South Gas Association) και της AGA (American Gas Association). Η δράση αυτή συνέδεσε ειδικούς επι του θέματος και ανταλλάχθηκαν απόψεις και εμπειρίες με στόχο το διαμοιρασμό της παραγόμενης γνώσης και τη συμβολή αυτής στη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου για δίκτυα φυσικού αερίου. Τονίζεται σε σχετική αναφορά επι του θέματος (Dessanti & Peterson, 2014) η συμβολή της κλιματικής αλλαγής και πιο συγκεκριμένα οι αυξημένες σε ποσότητα βροχοπτώσεις, οι εντονότερες καταιγίδες, η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης και οι αυξημένες θερμοκρασίες, στην αύξηση του κινδύνου. Οι κίνδυνοι περιλαμβάνουν την είσοδο νερού στο δίκτυο αγωγών, τον εμβαπτισμό του δικτύου σε νερό, την έκθεση θαμμένων τμημάτων του δικτύου και τη μετακίνηση του εδάφους. Η διαχείριση του κινδύνου σε αυτή την αναφορά, επικεντρώνεται στις αιφνίδιες πλημμύρες (flash floods), στις ποτάμιες πλημμύρες (river floods), στις παράκτιες πλημμύρες (coastal surge floods) και στις διαρροές του δικτύου ύδρευσης (water main breaks). Σημαντικοί παράγοντες που αναφέρονται σε σχέση με αυτά τα φαινόμενα, είναι η αναγνώριση περιοχών που χαρακτηρίζονται από τρωτότητα όσον αφορά τον πλημμυρικό κίνδυνο, η αναγνώριση συνύπαρξης του κινδύνου αυτού με άλλους κινδύνους που πολλαπλασιάζουν τη διακινδύνευση (κατολισθήσεις, καθιζήσεις, σεισμοί, διάβρωση) και κατ' επέκταση η αναγνώριση κρίσιμων υποδομών που μπορούν να επηρεαστούν από τα προαναφερθέντα και εν δυνάμει να αποτελέσουν εμπόδιο στην

αποτελεσματική αντιμετώπιση μιας καταστροφής. Σημαντική πρόταση στην αναφορά, αποτελεί η διερεύνηση και χαρτογράφηση των ευαίσθητων στο αλμυρό νερό (περίπτωση παράκτιας πλημμύρας) υποδομών και ομοίως η χαρτογράφηση του δικτύου ύδρευσης και ηλεκτρισμού που βρίσκεται σε εγγύτητα με το δίκτυο φυσικού αερίου. Προτείνονται παράλληλα καλές πρακτικές όσον αφορά τη σχεδίαση των δικτύων. Κρίσιμα στοιχεία του δικτύου φυσικού αερίου, όπως οι εγκαταστάσεις ρύθμισης της πίεσης (pressure regulating stations), θα πρέπει να εξετάζονται ως προς τη δυνατότητα απομόνωσης από το λοιπό δίκτυο (shut off valves). Ομοίως τμήματα του αγωγού που διέρχονται από γέφυρες και ποτάμια, θα πρέπει να διαθέτουν βαλβίδες σε ικανή απόσταση, για την αποτελεσματική απομόνωσή τους εφόσον προκύψει η ανάγκη. Αγωγοί που είναι κατασκευασμένοι με τρωτά σε διαρροές υλικά (cast-iron, bare steel pipe) ή λειτουργούν υπό χαμηλή πίεση σε περιοχές πλημμυρικού κινδύνου, συστήνεται να αντικαθίστανται σταδιακά για την αποφυγή εισαγωγής νερού σε αυτούς. Η εκπαίδευση του προσωπικού σε θεωρητικό αλλά και πρακτικό επίπεδο, μέσω επιχειρησιακών ασκήσεων, εξασφαλίζουν την επιτυχία ενός υπάρχοντος σχεδίου. Μια ανοικτή στο κοινό πλατφόρμα μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση καθώς θα μπορεί οποιοσδήποτε να αναφέρει σε πραγματικό χρόνο, αποτελεσματικά και χωρίς κόστος. Οι εισηγήσεις και τα σχόλια της προαναφερθείσας ομάδας εργασίας, ενσωματώθηκαν σε μνημόνια ενεργειών (Checklists) και στην παρακάτω εικόνα παρατίθεται εκείνο που αφορά την περίπτωση των αιφνίδιων πλημμυρών.

Η διαδικασία εξαγωγής των NRA, μπορεί να αποβεί αποτελεσματικότερη αν αποτελέσει μια διαδικασία που συμπεριλαμβάνει πολλά ενδιαφερόμενα μέλη και φορείς. Η προσέγγιση της μελέτης εκ των κάτω (bottom-up), δύναται να αναδείξει κινδύνους που αγνοούνται ή δεν συνυπολογίζονται από το ένα επίπεδο στο άλλο (από το τοπικό στο εθνικό και αντίστροφα) αλλά οι απαιτήσεις σε εξειδικευμένο προσωπικό καλύπτονται ευκολότερα με μια συγκεντρωτική διαδικασία (στρατηγικό επίπεδο) λόγω της μεγάλης ανάγκης σε πόρους. Ο μη αποκλεισμός επιτρέπει τη συνέργεια μεταξύ των διαφορετικών φορέων και υπουργείων, οδηγώντας σε ορθότερες εκτιμήσεις όπου συνυπολογίζονται όσο το δυνατόν περισσότεροι παράγοντες. Η συμμετοχή πανεπιστημίων, ερευνητικών ινστιτούτων, ΜΚΟ και φορέων ιδιωτικού χαρακτήρα, μπορεί να οδηγήσει σε πιο πλήρεις αναλύσεις.

Για την περίπτωση της Ελλάδας, προτείνεται μια συγκεντρωτική διαδικασία, με συνεργασία πανεπιστημίων και λοιπών φορέων αλλά και τη δυνατότητα ανοικτής συμμετοχής του κοινού με τη μορφή προτάσεων. Επίσης στις αναλύσεις NRA, οι Natech καταστροφές θα πρέπει να περιλαμβάνονται και να μην σιγηρίζονται μονάχα σε μεμονωμένες τεχνολογικές και φυσικές καταστροφές. Οι υποδομές που εξετάζουμε, επηρεάζουν και άλλες χώρες πέρα από τη δικιά μας καθώς το ελληνικό δίκτυο είναι τμήμα μιας ευρύτερης, υπερεθνικής υποδομής. Οι NRA λοιπόν θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν ενδιαφερόμενους και σε υπερεθνικό επίπεδο όπως ορίζουν οι διεθνείς συμφωνίες (OECD, 2018).

- a. *Identify flash flood-prone areas based upon topography/hydrology, technical specialists' input and past experience.*
- b. *Identify gas facilities in ground movement hazard areas within flash flood areas (i.e., erosion, washout and landslide zones).*
- c. *Identify protected vs. unprotected gas facilities in these areas (e.g., cased, rip-rapped, reinforced, exposed).*
- d. *Consider rapid snowmelt areas in the north.*
- e. *Color code gas system by pressure and elevations (to determine head pressure of flood waters).*
- f. *Develop CIS database of meters as being inside or outside the house/building.*
- g. *Identify flash-flood prone roads that could hinder access to facilities, even if the facilities themselves are not in a flood-prone area.*
- h. *Identify company-owned and third party telemetry in flash flood-prone areas.*
- i. *Map drip locations and sizes in flash flood-prone area.*
- j. *Map primary, secondary and above-ground valves in flash flood-prone areas.*
- k. *Identify upstream supply feeds that may be impacted by flash floods - their loss can drop your system even if your system is not flooded.*
- l. *Consider and map (if possible) loss of supply to un-flooded areas.*
- m. *Assess all normal operations and maintenance policies and practices to see if they still make sense in a major flood emergency - create exceptions/waivers or alternate policies as needed.*
- n. *Integrate flash flood risk assessment into a formal Distribution Integrity Management Plan.*
- o. *Consider scale/magnitude effects; i.e., the risk presented by the flash-flooding of 10 different locations at once that would not exist if only 1 location were flooded.*

Εικόνα 4.1 *Λίστα ενεργειών (Checklist) προετοιμασίας και συντονισμού, για την περίπτωση αιφνίδιων πλημμυρικών φαινομένων. Πηγή: (Dessanti & Peterson, 2014).*

Κεφάλαιο 5.

Σενάρια καταστροφών και επιπτώσεις αυτών για την περίπτωση της Ελλάδας

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει χρήση των λογισμικών ALOHA (5.4.7) και MARPLOT (United States EPA, 2016), για να εξομοιωθούν υποθετικά σενάρια καταστροφικών συμβάντων σε αγωγούς φυσικού αερίου. Το ALOHA (Areal Locations Of Hazardous Atmospheres) έχει σκοπό τη μοντελοποίηση χημικών διαρροών, ώστε να αξιοποιούνται τα παραγόμενα δεδομένα στη διαχείριση των καταστροφών (πρόληψη με υποθετικά σενάρια και αντιμετώπιση με την εισαγωγή πραγματικών δεδομένων). Μας δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της διάχυσης μιας επικίνδυνης ουσίας στο χώρο και τη δυνατότητα εξαγωγής στοιχείων πυρκαγιάς και εκρήξεων. Έχει σχεδιαστεί με γνώμονα την παραγωγή και χαρτογράφηση δεδομένων και αυτό επιτυγχάνεται με μια σχέση ισορροπίας μεταξύ ακρίβειας αυτών και γρήγορων αποτελεσμάτων (αμεσότητα). Η βάση δεδομένων του προγράμματος περιέχει περίπου 1.000 επικίνδυνες ουσίες και υπάρχει παράλληλα η δυνατότητα εισαγωγής νέων ουσιών. Σημαντικές λειτουργίες του έχουν ως εξής:

- Παρέχει πληροφορίες για ζώνες επικινδυνότητας ανάλογα το σενάριο που επιθυμούμε να εξετάσουμε.
- Υπολογίζει το ρυθμό διαφυγής από δεξαμενές, αγωγούς κ.λ.π.
- Απεικονίζει με γραφήματα σενάρια που μας ενδιαφέρουν (λίμνες φωτιάς, γλώσσες φωτιάς κ.α.) καθώς τα δεδομένα είναι συμβατά με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS).
- Παρέχει εκτίμηση διάφορων κινδύνων (τοξικότητα, θερμική ακτινοβολία κ.λ.π.).
- Λαμβάνει υπόψη σφάλματα που μπορεί να έχουν γίνει στην εισαγωγή δεδομένων και υπολογίζει τη διασπορά σε υδάτινο περιβάλλον.

Σε αυτό το πλαίσιο αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τους φορείς αντιμετώπισης μιας καταστροφής καθώς είναι εύκολο στη χρήση, γρήγορο στην εξαγωγή δεδομένων και χαρτογράφησης αυτών και το σημαντικότερο, μας δίνει τη δυνατότητα ορισμού των ζωνών που προβλέπει το σχέδιο ΗΡΑΚΛΕΙΤΟΣ.

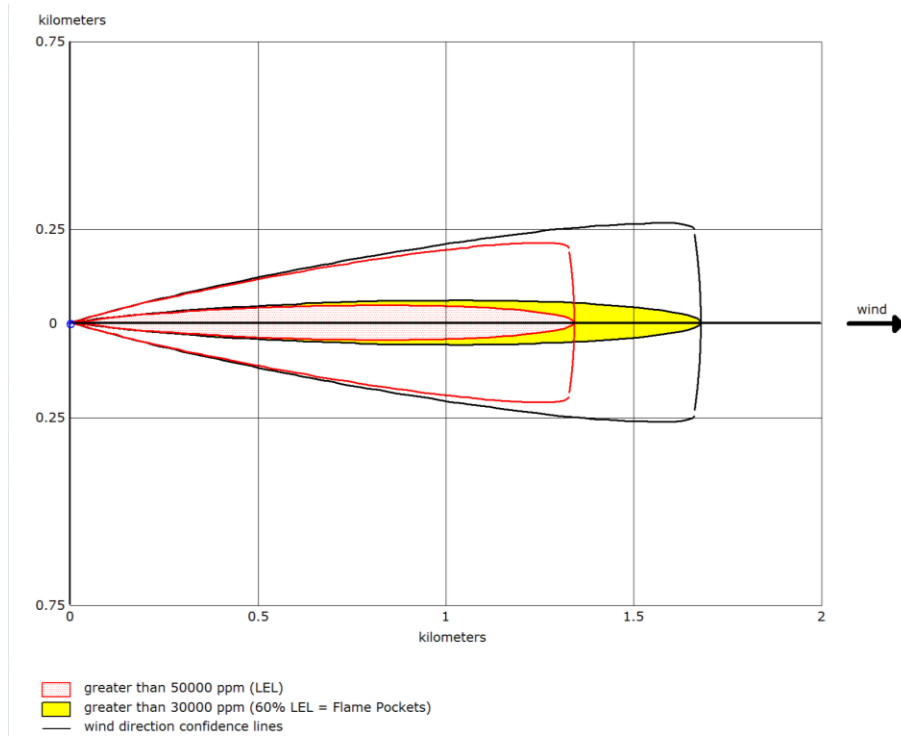
Όπως αναφέρεται κατά την έναρξη του προγράμματος ALOHA, το μοντέλο δεν περιλαμβάνει τις επιδράσεις των χημικών αντιδράσεων και προσμίξεων, των μικρό-σωματιδίων, των εδαφικών εξάρσεων και των επικίνδυνων θραυσμάτων. Επίσης εφιστά την προσοχή στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων για τις περιπτώσεις σεναρίων υπό τις εξής συνθήκες: πολύ χαμηλή ταχύτητα ανέμου, πολύ σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες, εναλλαγών του ανέμου και της επίδρασης του εδαφικού ανάγλυφου σε αυτόν και τέλος της ανομοιογένειας στη συγκέντρωση μιας ουσίας (ειδικά κοντά στην πηγή προέλευσης αυτής). Τα απαραίτητα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εξομοίωση των υποθετικών σεναρίων, έγιναν διαθέσιμα από το ΔΕΣΦΑ.

5.1. Σενάριο

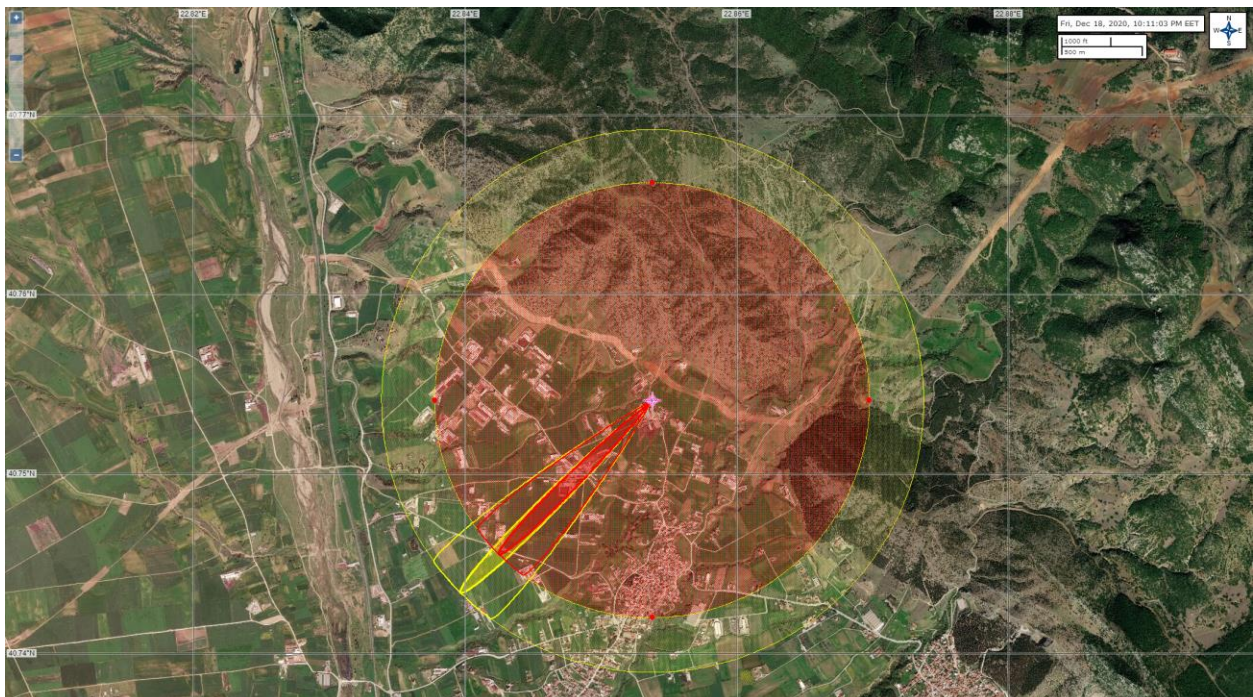
Στο σενάριο αυτό θα εξομοιώσουμε ρήξη αγωγού στο δίκτυο του ΔΕΣΦΑ, σε περιοχή βόρεια της πόλης της Θεσσαλονίκης (Πεντάλοφος). Στο σημείο αυτό διέρχεται αγωγός του δικτύου του ΔΕΣΦΑ, ο οποίος έχει διάμετρο 36 ιντσών, μέση πίεση λειτουργίας 41,69 barg και μέγιστη πίεση λειτουργίας 70 barg. Για το σενάριο θα λάβουμε υπόψη τη μέγιστη πίεση λειτουργίας και θα υποθέσουμε ότι ο αγωγός έχει υποστεί πλήρη ρήξη. Θα υποθέσουμε ότι η παροχή διακόπηκε σε απόσταση 5 χιλιομέτρων. Αναφορικά με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, θα χρησιμοποιηθούν οι προτεινόμενες ρυθμίσεις από το ΥΠΕΝ (Άνεμος 5m/s, κατηγορία ατμοσφαιρικής σταθερότητας "D" (μέτριες αναταράξεις), θερμοκρασία 15°C). Καθώς υφίστανται ελάχιστα κτίρια στην εξεταζόμενη περιοχή και το περιβάλλον χαρακτηρίζεται κυρίως ως ανοιχτός, υπαίθριος χώρος με αγροτεμάχια χαμηλής βλάστησης και μεμονωμένα δέντρα, θα θεωρηθεί ότι το περιβάλλον είναι υπαίθριο (open country). Η επιλογή αυτή θεωρείται από το συγγραφέα ως η καταλληλότερη λόγω της μεγαλύτερης διασποράς που υπολογίζεται από το λογισμικό και βοηθάει στην εκτίμηση της μέγιστης ζώνης κινδύνου (δυσμενέστερο σενάριο - worst case scenario). Θα χρησιμοποιηθεί το μεθάνιο (methane) ως επικίνδυνη ουσία καθότι το φυσικό αέριο αποτελείται κατά κύριο λόγο από αυτό.

5.1.1. Πρώτη περίπτωση

Η πρώτη περίπτωση αφορά τη διαρροή φυσικού αερίου χωρίς την εκδήλωση πυρκαγιάς. Αρχικά υπολογίστηκαν τα δεδομένα για την περίπτωση κινδύνου ανάφλεξης, λόγω συγκέντρωσης του αερίου νέφους (Vapor Cloud). Το ALOHA υπολογίζει την περιοχή αυτή με βάση το 60% του LEL (Lower Explosive Limit) καθότι θεωρεί ότι δύναται να αναφλεγεί ένα αέριο σε μικρότερες από τις εκτιμώμενες συγκεντρώσεις LEL. Το LEL ορίζεται ως η μικρότερη ποσοστιαία συγκέντρωση ενός αερίου στον αέρα περιβάλλοντος, ικανή να προκαλέσει φωτιά, παρουσία πηγής ανάφλεξης (σπινθήρας, φωτιά, θερμότητα). Στα αποτελέσματα θα απεικονίσουμε δυο ζώνες που αντιπροσωπεύουν το LEL και το 60% του LEL. Το LEL υπολογίστηκε στα 50.000 ppm, η διάρκεια διαρροής στα 11 λεπτά και η συνολική ποσότητα αερίου που διέφυγε σε 153.767 kg. Η έκταση της περιοχής που μπορεί να επηρεαστεί για όλες τις περιπτώσεις ανέμου, αντιστοιχεί σε 5.712.205 m² (ζώνη LEL). Αντίστοιχα, με γνωστά τα δεδομένα ανέμου σε περίπτωση εκδήλωσης πραγματικού συμβάντος, η έκταση της περιοχής LEL αντιστοιχεί σε 90.137 m². Η ζώνη 60% LEL εκτείνεται στα 1,7 χιλιόμετρα και η ζώνη LEL στα 1,3 χιλιόμετρα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνολικά δεδομένα που προέκυψαν καθώς και η απεικόνιση των ζωνών επί χάρτου (Μουζάκης, 2018).



Γράφημα 5.1 Ζώνες κινδύνου ανάφλεξης με βάση το LEL (πλήρης ρήξη). Παράλληλα διακρίνεται το υπολογιζόμενο για τον άνεμο σφάλμα. Πηγή: Ίδια επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.



Εικόνα 5.1 Απεικόνιση των ζωνών κινδύνου επι χάρτου (πλήρης ρήξη). Οι δυο κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις περιπτώσεις αλλαγής των συνθηκών ανέμου. Πηγή: Ίδια επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.

```

SITE DATA:
Location: PENTALOFOS, GREECE
Building Air Exchanges Per Hour: 1.06 (unsheltered single storied)
Time: December 19, 2020 1845 hours DST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: METHANE
CAS Number: 74-82-8                               Molecular Weight: 16.04 g/mol
PAC-1: 65000 ppm   PAC-2: 230000 ppm   PAC-3: 400000 ppm
LEL: 50000 ppm   UEL: 150000 ppm
Ambient Boiling Point: -161.7° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 5 meters/second from NE at 3 meters
Ground Roughness: open country   Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 15° C           Stability Class: D
No Inversion Height              Relative Humidity: 60%

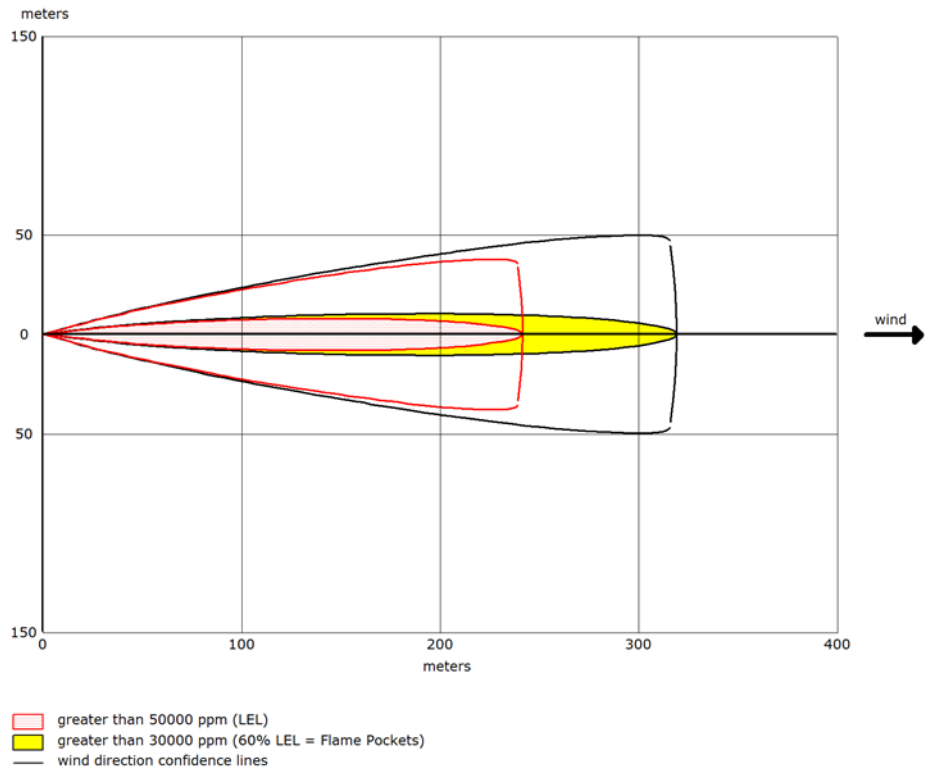
SOURCE STRENGTH:
Flammable gas escaping from pipe (not burning)
Pipe Diameter: 36 inches         Pipe Length: 5000 meters
Unbroken end of the pipe is closed off
Pipe Roughness: smooth          Hole Area: 1,018 sq in
Pipe Press: 70 atmospheres      Pipe Temperature: 15° C
Release Duration: 11 minutes
Max Average Sustained Release Rate: 103,000 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 153,767 kilograms

THREAT ZONE:
Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
Model Run: Gaussian
Red   : 1.3 kilometers --- (50000 ppm = LEL)
Yellow: 1.7 kilometers --- (30000 ppm = 60% LEL = Flame Pockets)

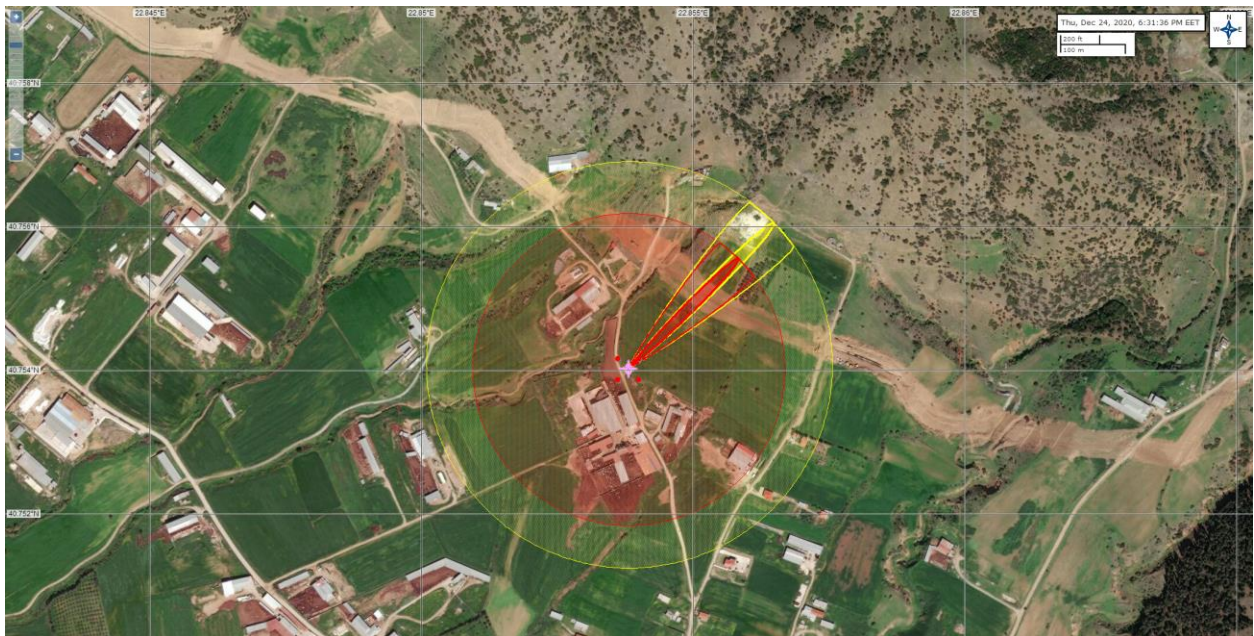
```

Εικόνα 5.2 Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της πρώτης περίπτωσης (πλήρης ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.

Το ανωτέρω αποτελεί ακραίο σενάριο και χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή της απόστασης ασφαλείας (καθορισμός ζωνών) ως αρχική αντίδραση, σε περίπτωση έλλειψης στοιχείων που αφορούν τη διαρροή. Περαιτέρω διερεύνηση οδηγεί σε επαναπροσδιορισμό των αποστάσεων ανάλογα με την επικρατούσα κατάσταση. Θα εξετάσουμε λοιπόν στη συνέχεια μια πιθανότερη εκδοχή του σεναρίου (μερική ρήξη), για να αναδείξουμε τις αλλαγές που προκύπτουν. Υποθέτουμε ότι ο αγωγός υπέστη μερική ρήξη με οπή 3*3 ιντσών (9 in²) και οι υπόλοιπες παράμετροι θα παραμείνουν ίδιες. Στην περίπτωση αυτή, η ζώνη 60% LEL εκτείνεται στα 319 μέτρα και η ζώνη LEL στα 241 μέτρα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνολικά δεδομένα που προέκυψαν καθώς και η απεικόνιση των ζωνών επί χάρτου. Η έκταση της περιοχής που μπορεί να επηρεαστεί για όλες τις περιπτώσεις ανέμου, αντιστοιχεί σε 173.921 m² (ζώνη LEL). Αντίστοιχα, με γνωστά τα δεδομένα ανέμου σε περίπτωση εκδήλωσης πραγματικού συμβάντος, η έκταση της περιοχής LEL αντιστοιχεί σε 2.854 m². Διακρίνουμε τη μεγάλη διαφορά στα αποτελέσματα μεταξύ πλήρους και μερικής ρήξης.



Γράφημα 5.2 Ζώνες κινδύνου ανάφλεξης με βάση το LEL (μερική ρήξη). Παράλληλα διακρίνεται το υπολογιζόμενο για τον άνεμο σφάλμα. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.



Εικόνα 5.3 Απεικόνιση των ζωνών κινδύνου επι χάρτου (μερική ρήξη). Οι δυο κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις περιπτώσεις αλλαγής των συνθηκών ανέμου. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.

SITE DATA:
 Location: PENTALOFOS, GREECE
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.06 (unsheltered single storied)
 Time: December 19, 2020 1338 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: METHANE
 CAS Number: 74-82-8 Molecular Weight: 16.04 g/mol
 PAC-1: 65000 ppm PAC-2: 230000 ppm PAC-3: 400000 ppm
 LEL: 50000 ppm UEL: 150000 ppm
 Ambient Boiling Point: -161.7° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from SW at 3 meters
 Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
 Air Temperature: 15° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 60%

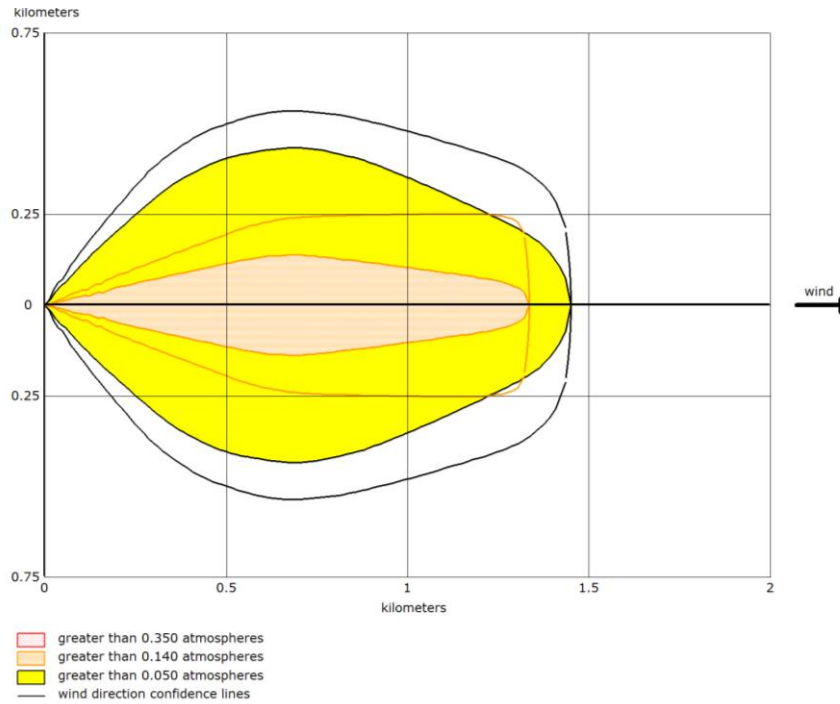
SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 36 inches Pipe Length: 5000 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth Hole Area: 9 sq in
 Pipe Press: 70 atmospheres Pipe Temperature: 15° C
 Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
 Max Average Sustained Release Rate: 3,840 kilograms/min
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 123,777 kilograms

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
 Model Run: Gaussian
 Red : 241 meters --- (50000 ppm = LEL)
 Yellow: 319 meters --- (30000 ppm = 60% LEL = Flame Pockets)

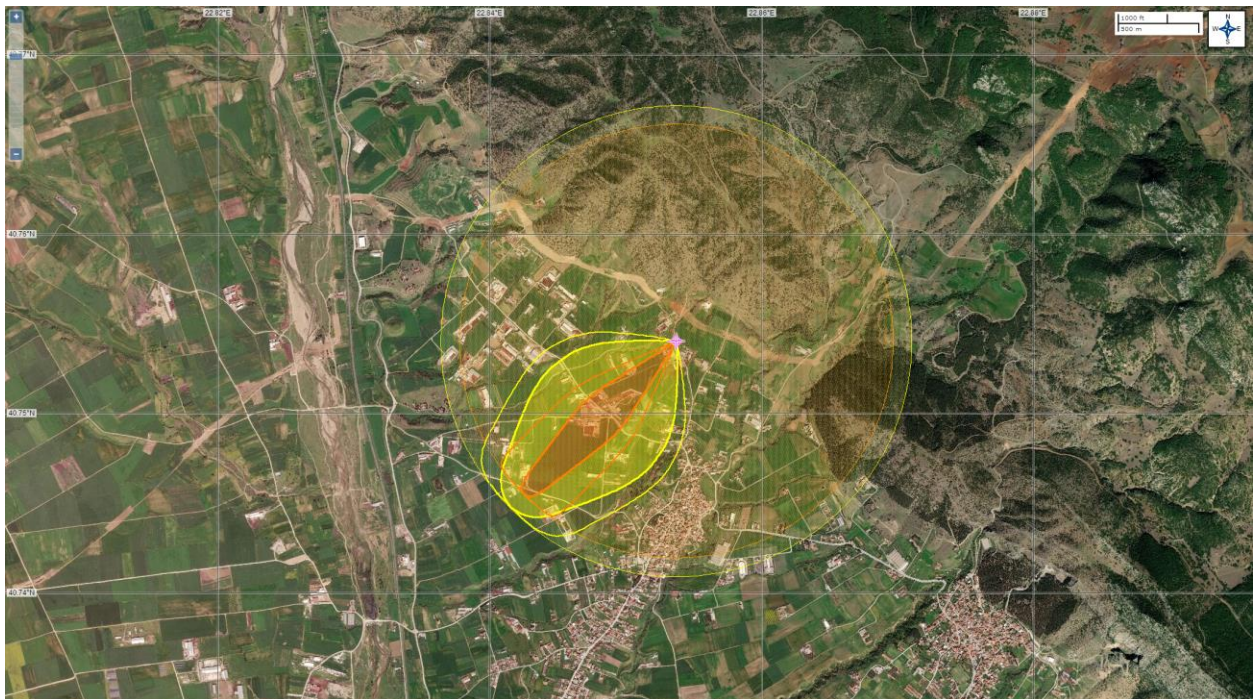
Εικόνα 5.4 Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της πρώτης περίπτωσης (μερική ρήξη). Πηγή: Ίδια επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.

5.1.2. Δεύτερη περίπτωση

Η δεύτερη περίπτωση αφορά πάλι τη διαρροή φυσικού αερίου όπου δεν έχει εκδηλωθεί πυρκαγιά αλλά υπολογίζεται η έκταση της επηρεαζόμενης περιοχής, σε περίπτωση έκρηξης του αερίου νέφους (ωστικό κύμα – υπερπίεση και θραύσματα). Το ALOHA υπολογίζει την περιοχή αυτή με βάση το κριτήριο της πίεσης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα υπολογίστηκαν τρεις περιοχές. Η πρώτη ζώνη αντιστοιχεί σε 350 mbar (προστασία δυνάμεων καταστολής), η δεύτερη σε 140 mbar (προστασία πληθυσμού από σοβαρό τραυματισμό) και η τρίτη σε 50 mbar (προστασία πληθυσμού από ελαφρύ τραυματισμό). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, πιθανή έκρηξη του αερίου νέφους επιφέρει επιπτώσεις που αντιστοιχούν στη δεύτερη και τρίτη ζώνη, σε απόσταση 1,3 και 1,5 χιλιομέτρων αντίστοιχα (στρογγυλοποιημένες τιμές), με την έκταση αυτών να αντιστοιχεί σε 235.654 και 864.314 m². Σενάριο μερικής ρήξης (οπτή 9 in²) επιφέρει αντίστοιχα επιπτώσεις σε απόσταση 247 και 178 μέτρων (100/33 μέτρων εκατέρωθεν) και έκταση 36.031 και 6.873 m². Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνολικά δεδομένα που προέκυψαν καθώς και η απεικόνιση των ζωνών επί χάρτου (Μουζάκης, 2018).



Γράφημα 5.3 Ζώνες επιπτώσεων από πιθανή έκρηξη με βάση το κριτήριο της πίεσης σε atm (πλήρης ρήξη). Παράλληλα διακρίνεται το υπολογιζόμενο για τον άνεμο σφάλμα. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.



Εικόνα 5.5 Απεικόνιση των ζωνών επιπτώσεων επι χάρτου (πλήρης ρήξη). Ο κύκλος αντιπροσωπεύει τις περιπτώσεις αλλαγής των συνθηκών ανέμου. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.

```

SITE DATA:
Location: PENTALOFOS, GREECE
Building Air Exchanges Per Hour: 1.06 (unsheltered single storied)
Time: January 23, 2021 1446 hours DST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: METHANE
CAS Number: 74-82-8 Molecular Weight: 16.04 g/mol
PAC-1: 65000 ppm PAC-2: 230000 ppm PAC-3: 400000 ppm
LEL: 50000 ppm UEL: 150000 ppm
Ambient Boiling Point: -161.7° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 5 meters/second from NE at 3 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 15° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 60%

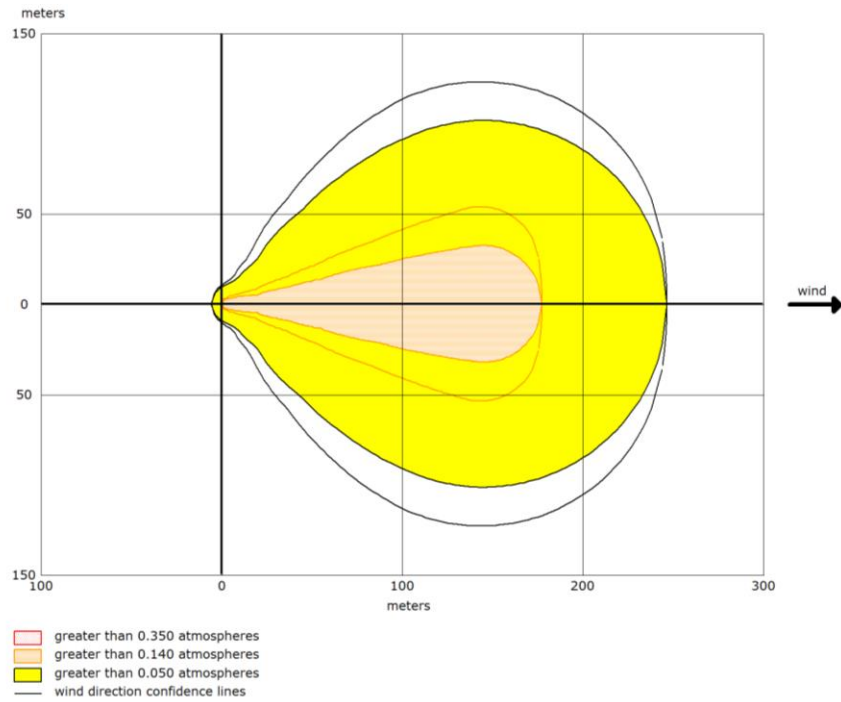
SOURCE STRENGTH:
Flammable gas escaping from pipe (not burning)
Pipe Diameter: 36 inches Pipe Length: 5000 meters
Unbroken end of the pipe is closed off
Pipe Roughness: smooth Hole Area: 1,018 sq in
Pipe Press: 70 atmospheres Pipe Temperature: 15° C
Release Duration: 11 minutes
Max Average Sustained Release Rate: 103,000 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 153,767 kilograms

THREAT ZONE:
Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
Type of Ignition: ignited by spark or flame
Level of Congestion: congested
Model Run: Gaussian
Red : LOC was never exceeded --- (0.350 atmospheres)
Orange: 1.3 kilometers --- (0.140 atmospheres)
Yellow: 1.5 kilometers --- (0.050 atmospheres)

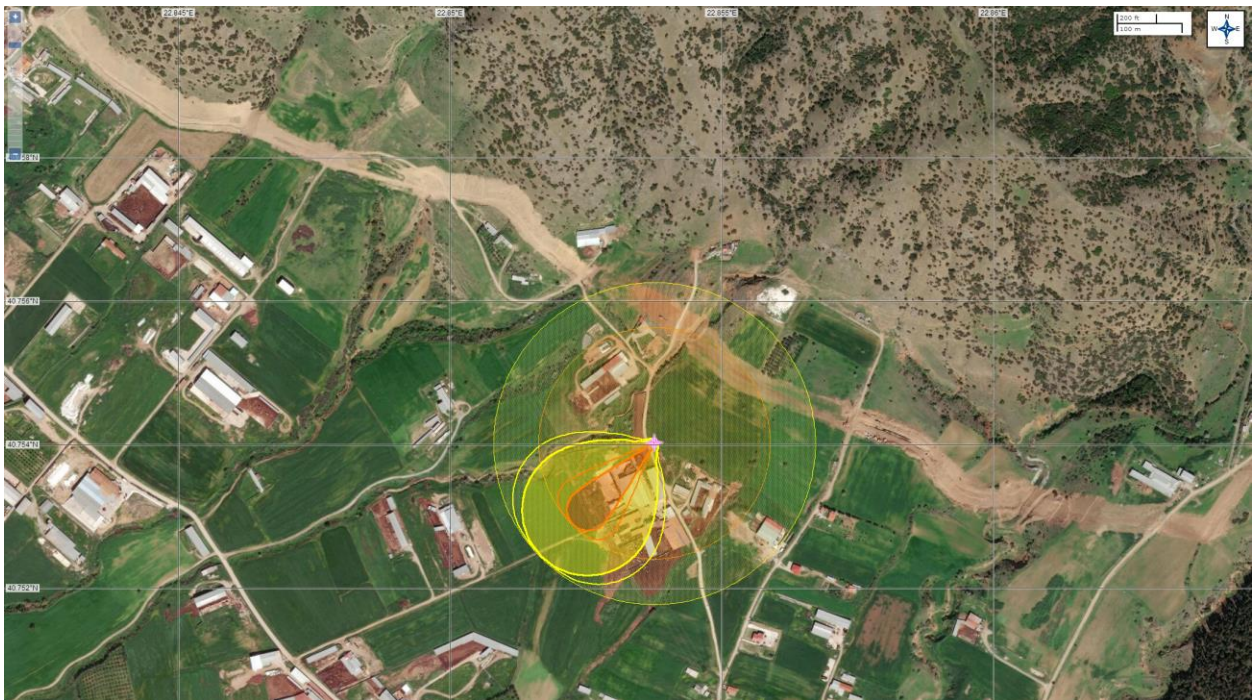
```

Εικόνα 5.6 Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της δεύτερης περίπτωσης (πλήρης ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συνολικά δεδομένα που προέκυψαν για την εκδοχή της μερικής ρήξης (οπτή 9 in²), ομοίως για να αναδείξουμε τις διαφορές δυσμενέστερης εκδοχής - πιθανότερης εκδοχής. Τα όρια της πρώτης ζώνης δεν υπερβαίνονται σε αυτήν την περίπτωση (Μουζάκης, 2018).



Γράφημα 5.4 Ζώνες επιπτώσεων από πιθανή έκρηξη με βάση το κριτήριο της πίεσης (μερική ρήξη). Παράλληλα διακρίνεται το υπολογιζόμενο για τον άνεμο σφάλμα. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.



Εικόνα 5.7 Απεικόνιση των ζωνών επιπτώσεων επι χάρτου (μερική ρήξη). Ο κύκλος αντιπροσωπεύει τις περιπτώσεις αλλαγής των συνθηκών ανέμου. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.

SITE DATA:
 Location: PENTALOFOS, GREECE
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.06 (unsheltered single storied)
 Time: January 23, 2021 1446 hours DST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: METHANE
 CAS Number: 74-82-8 Molecular Weight: 16.04 g/mol
 PAC-1: 65000 ppm PAC-2: 230000 ppm PAC-3: 400000 ppm
 LEL: 50000 ppm UEL: 150000 ppm
 Ambient Boiling Point: -161.7° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from NE at 3 meters
 Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
 Air Temperature: 15° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 60%

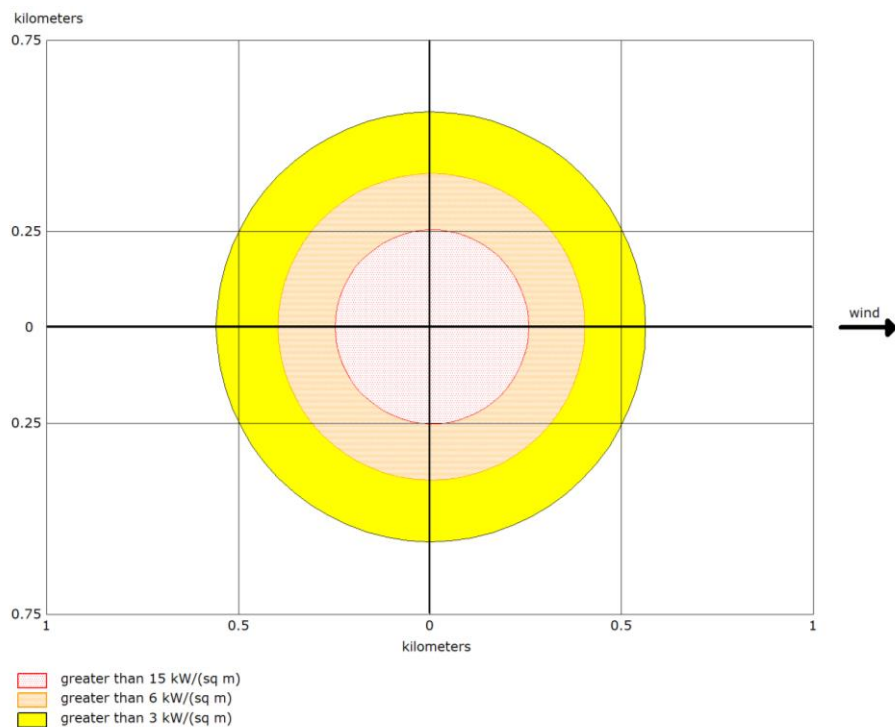
SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 36 inches Pipe Length: 5000 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth Hole Area: 9 sq in
 Pipe Press: 70 atmospheres Pipe Temperature: 15° C
 Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
 Max Average Sustained Release Rate: 3,840 kilograms/min
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 123,777 kilograms

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Gaussian
 Red : LOC was never exceeded --- (0.350 atmospheres)
 Orange: 178 meters --- (0.140 atmospheres)
 Yellow: 247 meters --- (0.050 atmospheres)

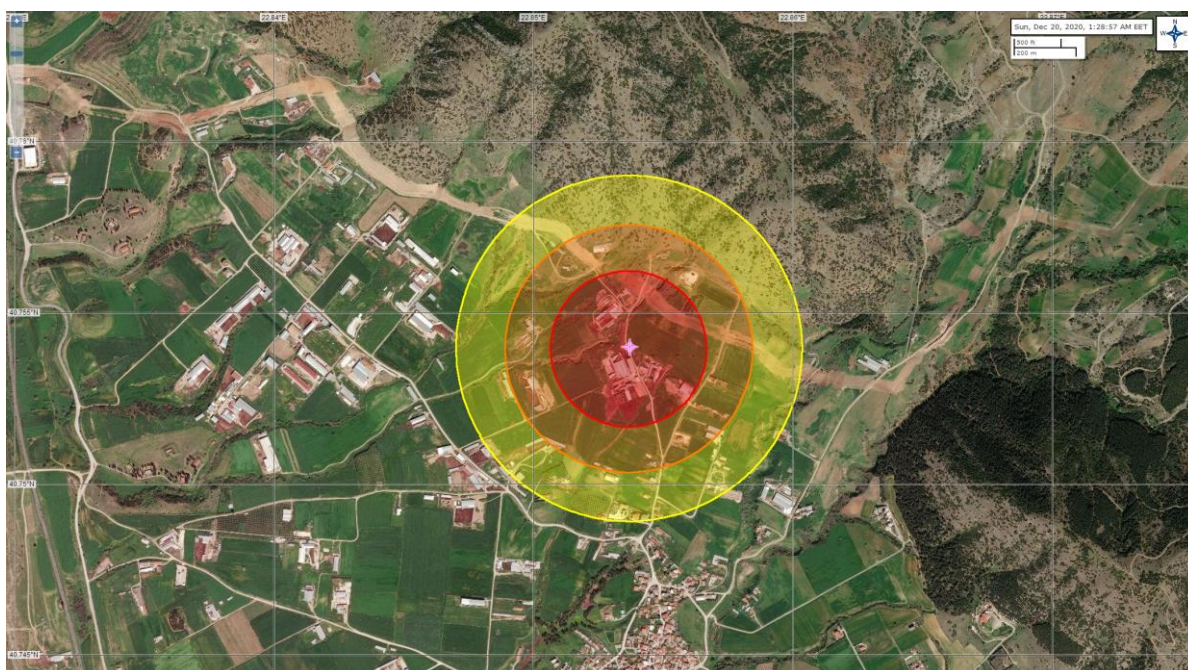
Εικόνα 5.8 Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της δεύτερης περίπτωσης (μερική ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.

5.1.3. Τρίτη περίπτωση

Η τρίτη περίπτωση αφορά τη διαρροή φυσικού αερίου που έχει αναφλεγεί (Γλώσσες φωτιάς-Jet Fires). Οι περιοχές κινδύνου σε αυτή την περίπτωση υπολογίζονται με βάση τις επιπτώσεις της θερμικής ακτινοβολίας. Αυτές υπολογίζονται σύμφωνα με το TDU (Thermal Dose Unit) και ορίζονται τρεις ζώνες για το παράδειγμά μας: Η πρώτη ζώνη αντιστοιχεί σε 1500 TDU (Εγκαύματα Γ' βαθμού σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του πληθυσμού), η δεύτερη σε 450 TDU (Εγκαύματα Γ' βαθμού στο 1% του πληθυσμού) και η τρίτη σε 170 TDU. Οι τιμές αυτές των TDU αντιστοιχούν σε ένταση ακτινοβολίας 15, 6 και 3 KW/m². Η έκταση της πρώτης ζώνης αντιστοιχεί σε 201.737 m², της δεύτερης σε 505.796 m² και της τρίτης σε 990.069 m². Οι τρεις ζώνες εκτείνονται στα 259, 405 και 564 μέτρα αντίστοιχα, από το σημείο της διαρροής. Για το σενάριο της μερικής ρήξης, οι ζώνες εκτείνονται στα 42, 64 και 90 μέτρα αντίστοιχα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συνολικά δεδομένα που προέκυψαν καθώς και η απεικόνιση των ζωνών επί χάρτου (Μουζάκης, 2018).



Γράφημα 5.5 Ζώνες επιπτώσεων θερμικής ακτινοβολίας (πλήρη ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.



Εικόνα 5.9 Απεικόνιση των ζωνών επιπτώσεων επι χάρτου (πλήρη ρήξη). Διακρίνεται η ζώνη των $15\text{KW}/\text{m}^2$ με κόκκινο, η ζώνη των $6\text{KW}/\text{m}^2$ με πορτοκαλί και η ζώνη των $3\text{KW}/\text{m}^2$ με κίτρινο. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.

SITE DATA:
Location: PENTALOFOS, GREECE
Building Air Exchanges Per Hour: 1.06 (unsheltered single storied)
Time: December 19, 2020 1845 hours DST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: METHANE
CAS Number: 74-82-8 Molecular Weight: 16.04 g/mol
PAC-1: 65000 ppm PAC-2: 230000 ppm PAC-3: 400000 ppm
LEL: 50000 ppm UEL: 150000 ppm
Ambient Boiling Point: -161.7° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

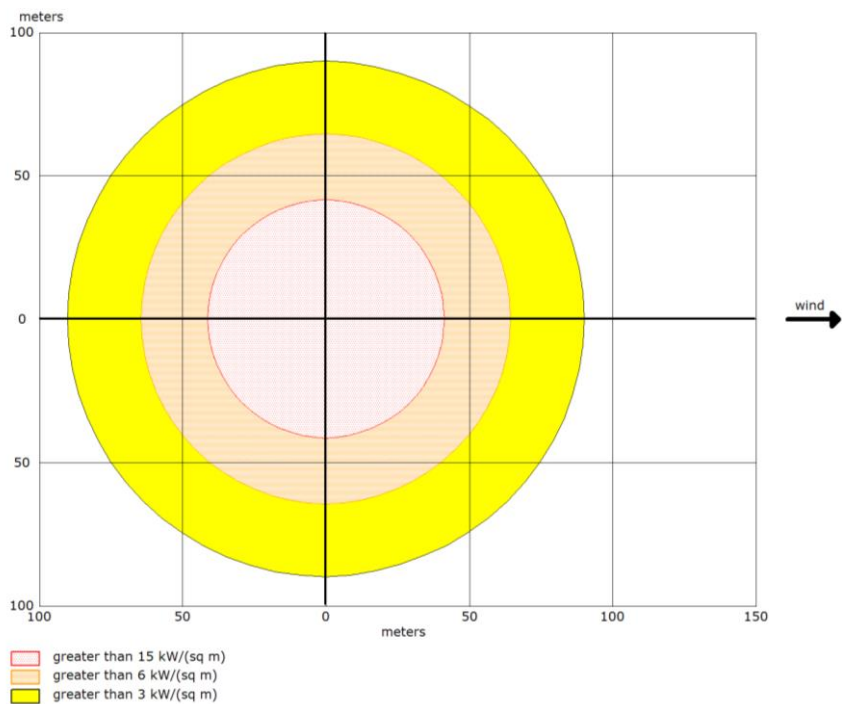
ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 5 meters/second from NE at 3 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 15° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 60%

SOURCE STRENGTH:
Flammable gas is burning as it escapes from pipe
Pipe Diameter: 36 inches Pipe Length: 5000 meters
Unbroken end of the pipe is closed off
Pipe Roughness: smooth Hole Area: 1,018 sq in
Pipe Press: 70 atmospheres Pipe Temperature: 15° C
Max Flame Length: 102 meters Burn Duration: 11 minutes
Max Burn Rate: 474,000 kilograms/min
Total Amount Burned: 153,767 kilograms

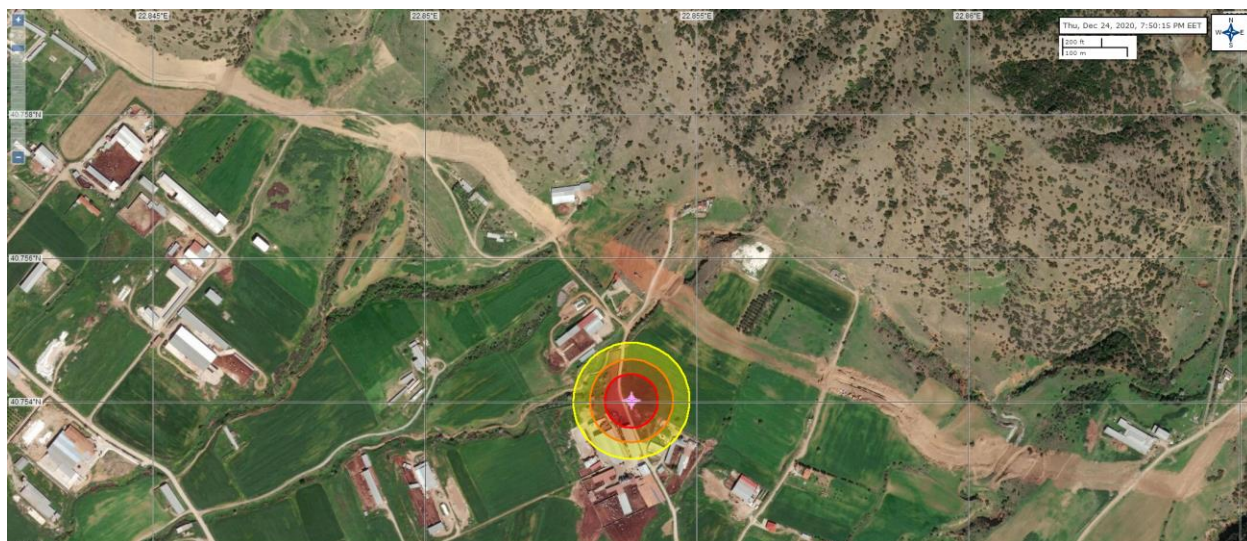
THREAT ZONE:
Threat Modeled: Thermal radiation from jet fire
Red : 259 meters --- (15 kW/(sq m))
Orange: 405 meters --- (6 kW/(sq m))
Yellow: 564 meters --- (3 kW/(sq m))

Εικόνα 5.10 Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της τρίτης περίπτωσης (πλήρης ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συνολικά δεδομένα που προέκυψαν για την εκδοχή της μερικής ρήξης (οπή 9 in²), ομοίως για να αναδείξουμε τις διαφορές δυσμενέστερης εκδοχής - πιθανότερης εκδοχής (Μουζάκης, 2018).



Γράφημα 5.6 Ζώνες επιπτώσεων θερμικής ακτινοβολίας (μερική ρήξη). Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.



Εικόνα 5.11 Απεικόνιση των ζωνών επιπτώσεων επι χάρτου (μερική ρήξη). Διακρίνεται η Ζώνη των 15KW/m² με κόκκινο, η ζώνη των 6 KW/m² με πορτοκαλί και η ζώνη των 3 KW/m² με κίτρινο. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο MARPLOT με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.


```
SITE DATA:
Location: PENTALOFOS, GREECE
Building Air Exchanges Per Hour: 1.06 (unsheltered single storied)
Time: December 19, 2020 1338 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: METHANE
CAS Number: 74-82-8 Molecular Weight: 16.04 g/mol
PAC-1: 65000 ppm PAC-2: 230000 ppm PAC-3: 400000 ppm
LEL: 50000 ppm UEL: 150000 ppm
Ambient Boiling Point: -161.7° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 5 meters/second from NE at 3 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 15° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 60%

SOURCE STRENGTH:
Flammable gas is burning as it escapes from pipe
Pipe Diameter: 36 inches Pipe Length: 5000 meters
Unbroken end of the pipe is closed off
Pipe Roughness: smooth Hole Area: 9 sq in
Pipe Press: 70 atmospheres Pipe Temperature: 15° C
Max Flame Length: 7 meters
Burn Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Burn Rate: 4,190 kilograms/min
Total Amount Burned: 123,777 kilograms

THREAT ZONE:
Threat Modeled: Thermal radiation from jet fire
Red : 42 meters --- (15 kW/(sq m))
Orange: 64 meters --- (6 kW/(sq m))
Yellow: 90 meters --- (3 kW/(sq m))
```

Εικόνα 5.12 Σύνοψη κριτηρίων και αποτελεσμάτων της τρίτης περίπτωσης (μερική ρήξη). Πηγή: Ίδια επεξεργασία στο ALOHA με δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ.

5.2. Αξιοποίηση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων

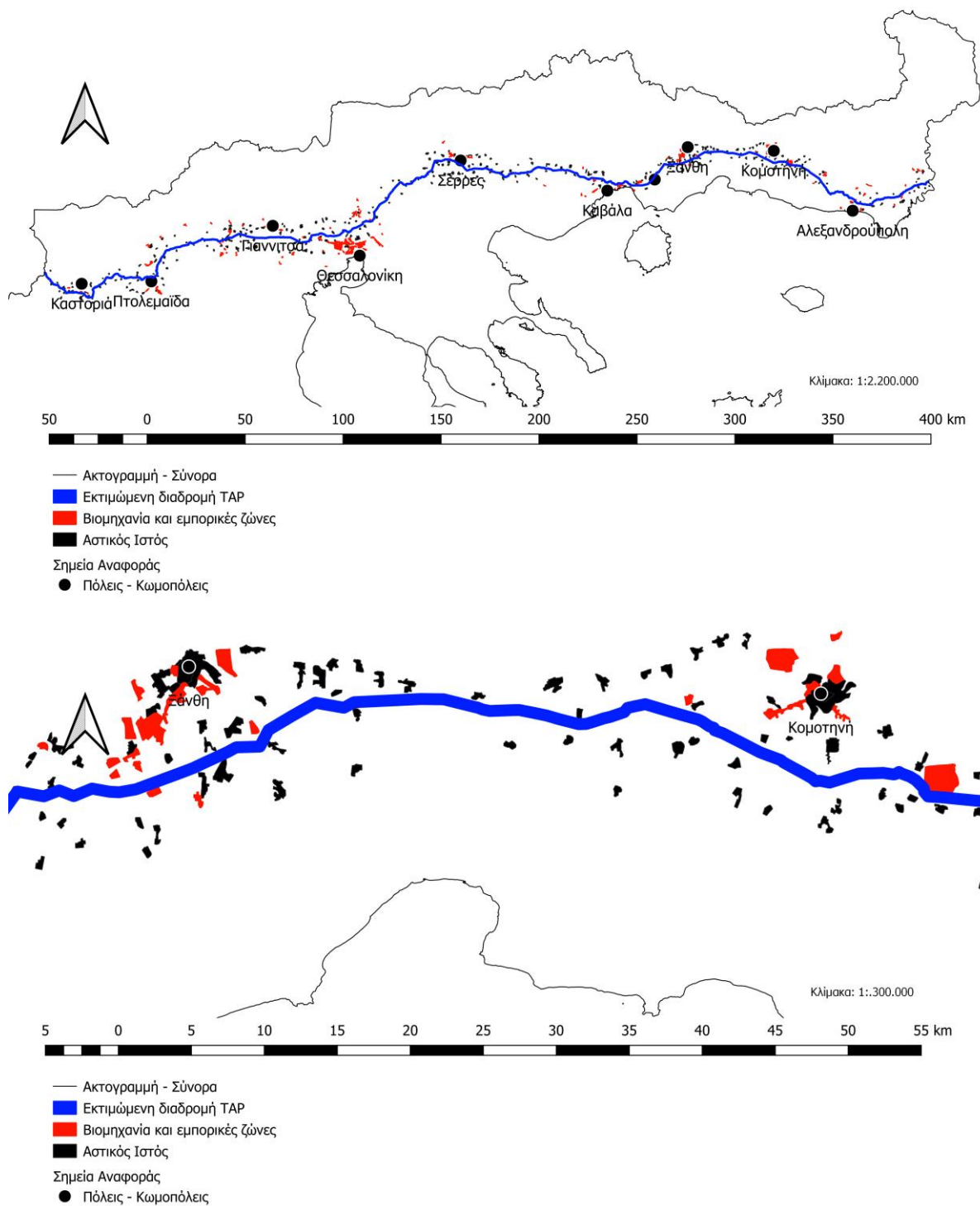
Για την παραγωγή των χαρτών που θα παρουσιαστούν παρακάτω, χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό QGIS (έκδοση 3.10-A Coruna), το Google Earth και ανοικτά γεωχωρικά δεδομένα. Με βάσει τις πληροφορίες που αντλήθηκαν από τις βάσεις δεδομένων αλλά και από την ανασκόπηση συμβάντων, επιλέχθηκαν ενδεικτικά κάποιοι παράγοντες που δύναται να ενισχύσουν την πρόληψη και την αντιμετώπιση τεχνολογικών και Natech καταστροφών αλλά και την εκτίμηση της διακινδύνευσης. (TAP, 2020d);(QGIS, 2020);(Google, 2020);(ΥΠΕΝ, 2020).

Τα γεωχωρικά δεδομένα που αφορούν την Ελλάδα δεν είναι συγκεντρωμένα σε κοινή βάση δεδομένων. Επίσης πολλά δεδομένα που μπορούν να συμβάλουν στη διαχείριση κρίσεων και καταστροφών, δεν έχουν παραχθεί ακόμα. Για την περίπτωση της παρούσας εργασίας, δεν υπάρχουν διαθέσιμα τα γεωχωρικά δεδομένα του αγωγού TAP και του ΔΕΣΦΑ για λόγους ασφαλείας. Για εποπτικούς και μόνο λόγους, αποτυπώθηκε ο αγωγός TAP για τις ανάγκες παραγωγής των χαρτών και για να είναι δυνατή η επίδειξη της συμβολής των γεωχωρικών δεδομένων, στις προαναφερθέντες διαδικασίες.

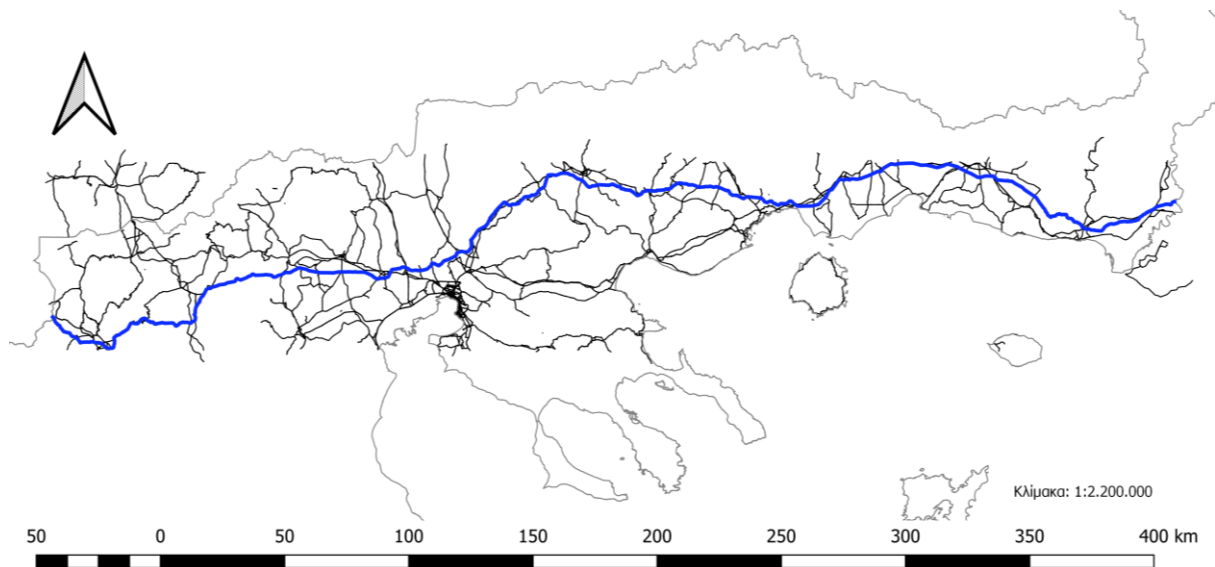
5.2.1. Μεθοδολογία

Με τη χρήση παρελθοντικών εικόνων από την εφαρμογή Google Earth και παράλληλα τη συμβουλευτική χρήση της ιστοσελίδας του ΤΑΡ (Μελέτη Περιβαλλοντικών και Κοινωνικών Επιπτώσεων), δημιουργήθηκε η διαδρομή του αγωγού ΤΑΡ στο τμήμα της Ελλάδας (Γεωαναφορά με διορθώσεις). Προστέθηκε στη συνέχεια μια ζώνη 500 μέτρων γύρω από τον αγωγό για να καθοριστούν οι άμεσα επηρεαζόμενες περιοχές και η επιλογή της απόστασης της ζώνης έγινε με βάση τα προαναφερθέντα στο Κεφάλαιο 2 (Η ΜΠΚΕ είχε ζώνη μελέτης 2 χιλιομέτρων). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δεν ήταν αναγκαία η πλήρης χαρτογράφηση των υποδομών, καθότι σκοπός μας εδώ, αποτελεί η ανάδειξη της πολλαπλασιαστικής ισχύος των ΓΣΠ και η συμβολή τους στον μηχανισμό διαχείρισης καταστροφών. Στη συνέχεια αξιοποιήθηκαν ανοικτά γεωχωρικά δεδομένα, για να δημιουργηθούν διάφορα επίπεδα στο χάρτη. Αυτό έγινε με τη χρήση διαδικτυακών υπηρεσιών (WFS, WMS, WCS), ανοιχτών δεδομένων επιθεμάτων, ανοιχτών δεδομένων σε μορφή excel αλλά και με τη χρήση εικόνων που υπέστησαν γεωαναφορά. Οι εν λόγω χάρτες όπως θα δούμε παρακάτω, αποτυπώνουν κινδύνους, τρωτότητα ή απλά πληροφορία που δύναται να αποβεί χρήσιμη για την πρόληψη (προκαταστροφικό στάδιο) αλλά και την αντιμετώπιση και δράση μετά την καταστροφή (συνκαταστροφικό/μετακαταστροφικό στάδιο). Καθώς τα γεωχωρικά δεδομένα της διαδρομής του ΤΑΡ δεν διατίθενται και παρήχθησαν από το συγγραφέα, αποτελούν εκτίμηση και δεν αντιπροσωπεύονται από ακρίβεια.

Στα παραδείγματα θα αξιοποιήσουμε τις διαπιστώσεις που έχουν ήδη αναφερθεί, από τις αναφορές των παγκόσμιων βάσεων δεδομένων, για την παραγωγή χαρτών που δύναται κατά την κρίση του συγγραφέα, να χρησιμοποιηθούν στη διαχείριση ή/και την πρόληψη. Οι χάρτες έχουν σκοπό να αναδείξουν τα είδη πληροφοριών που μπορούμε να αντλήσουμε από μια καλά δομημένη, ενιαία βάση πληροφοριών. Συμπερασματικά, με ορθή χρήση των παρεχόμενων γεωχωρικών δεδομένων αλλά και με την παραγωγή νέων, απαραίτητων δεδομένων, διαπιστώνουμε την πολλαπλασιαστική ενίσχυση που δύναται να προσφέρουν τα ΓΣΠ στα διάφορα στάδια της διαχείρισης των καταστροφών. Ένα εθνικό σύστημα διαχείρισης κρίσεων και καταστροφών προαπαιτεί μια καλά δομημένη, κοινή βάση δεδομένων, με την ενοποίηση πληροφοριών από ποικίλους φορείς.

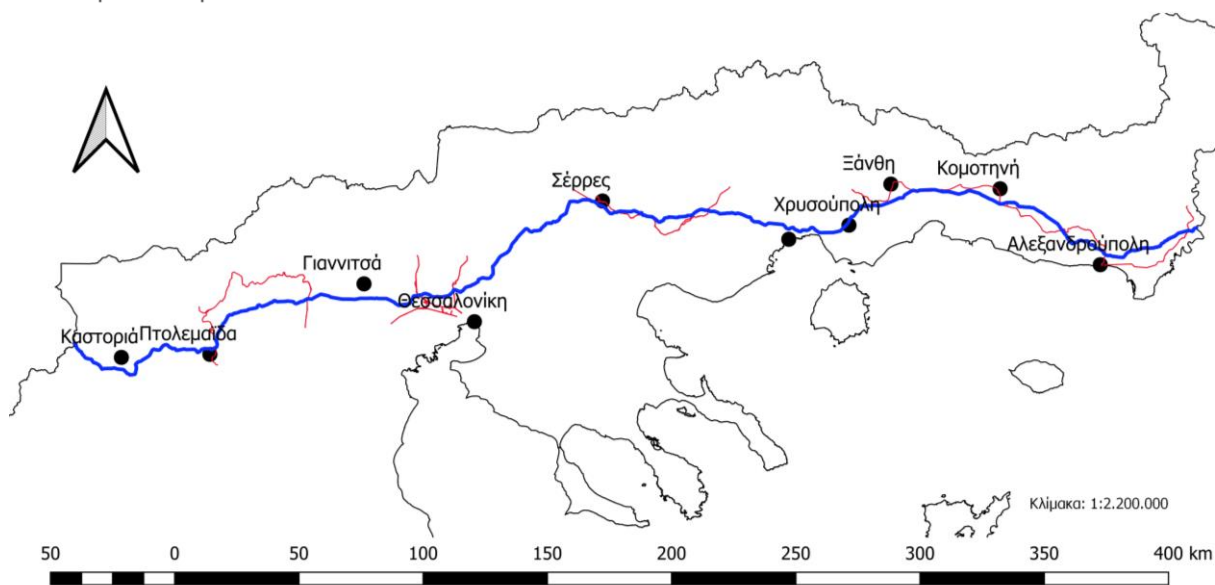


Εικόνα 5.13 Βιομηχανία, Εμπορικές ζώνες και Αστικός ιστός πλησίον εκτιμώμενης διαδρομής TAP. Πάνω: Η συνολική εικόνα. Κάτω: η περιοχή Ξάνθης-Κομοτηνής σε μεγαλύτερη κλίμακα. Πηγή: Ίδια επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων και συμπληρωματική ίδια αποτύπωση (ΥΠΕΝ, 2020 από ΕΕΑ, 2018).



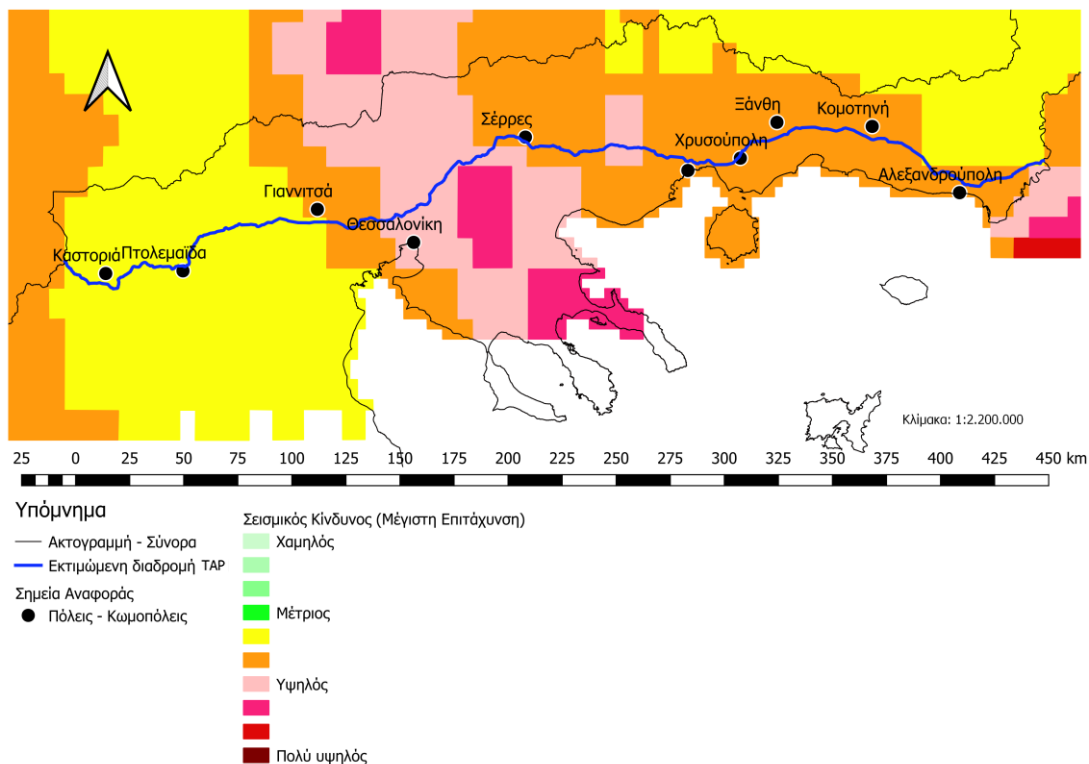
Υπόμνημα

- Ακτογραμμή - Σύνορα
- Εκτιμώμενη διαδρομή TAP
- Οδικό δίκτυο
- Κύριο και Δευτερεύων

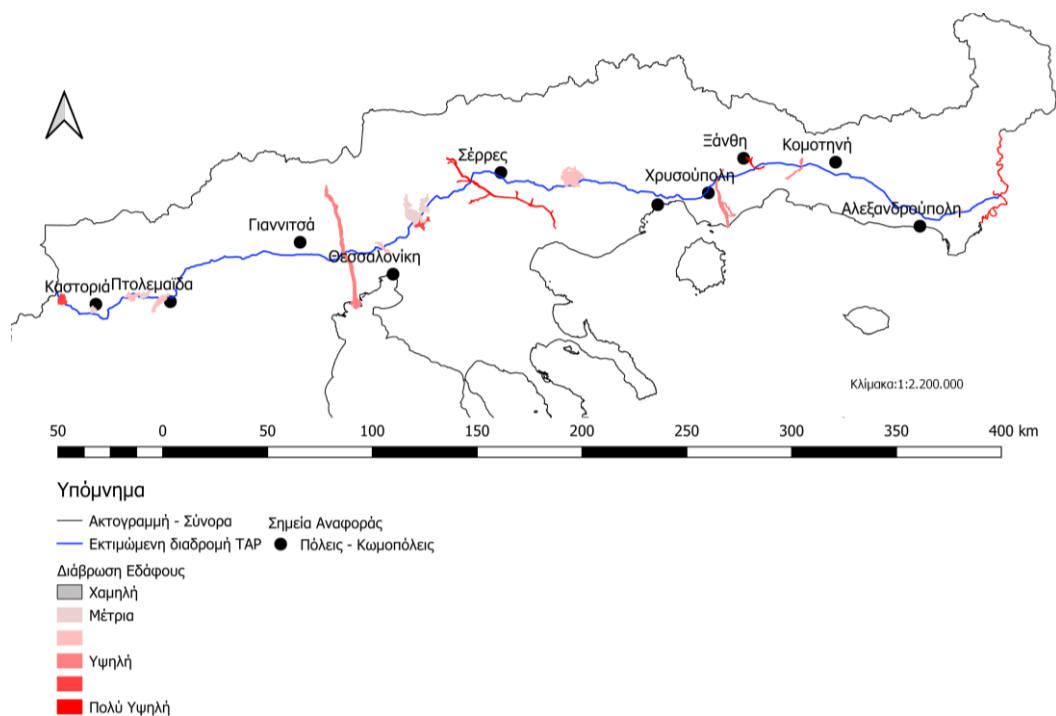


- Ακτογραμμή - Σύνορα
- Εκτιμώμενη διαδρομή TAP
- Σιδηροδρομικό Δίκτυο
- Σημεία Αναφοράς
- Πόλεις - Κωμοπόλεις

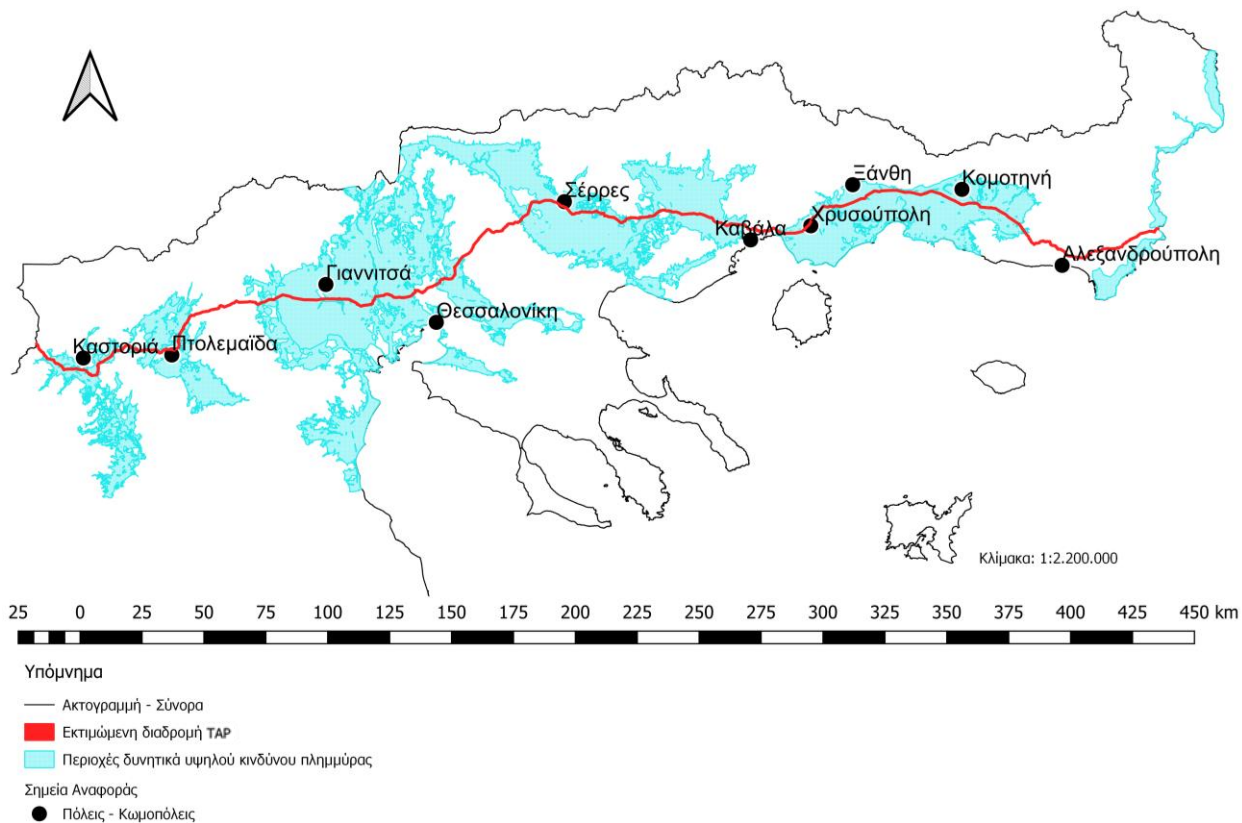
Εικόνα 5.14 Σημεία διασταύρωσης Οδικού και Σιδηροδρομικού δικτύου με την εκτιμώμενη διαδρομή του TAP. Πηγή: Ίδια επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (OpenStreetMap Contributors, 2020).



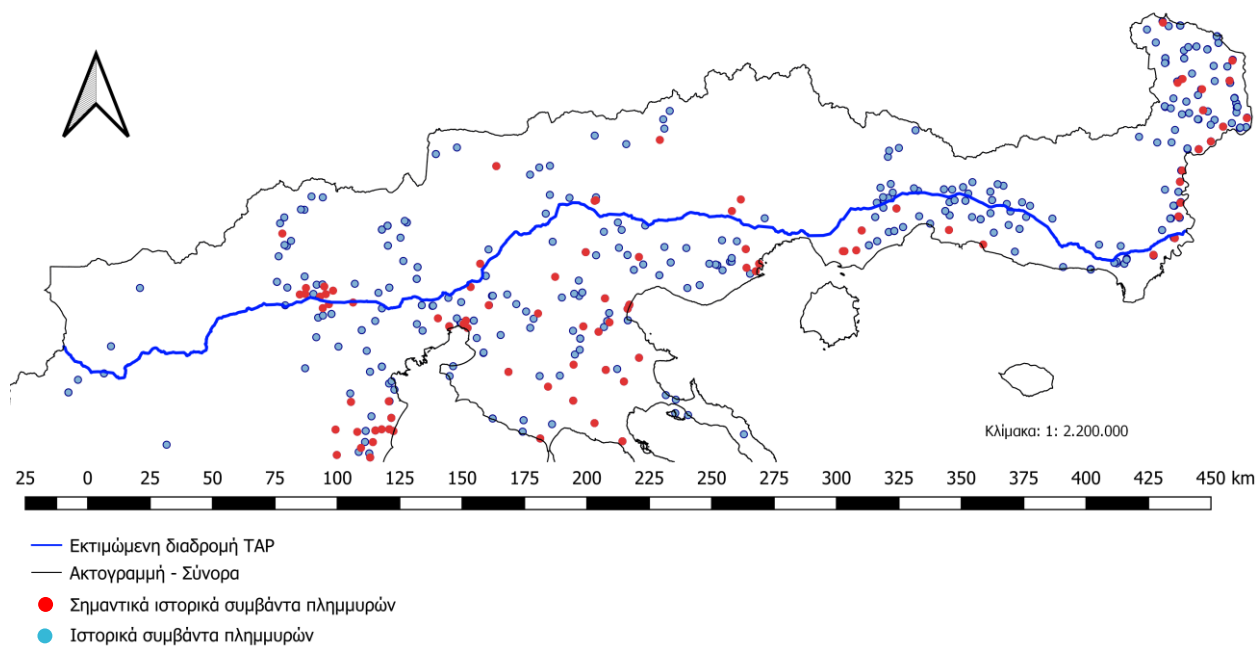
Εικόνα 5.15 Περιοχές Σεισμικού Κινδύνου με βάση τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA). Διακρίνουμε ότι ο ΤΑΡ διέρχεται από περιοχές μέτριου προς υψηλού κινδύνου. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (CHRR & CIESIN, 2005).



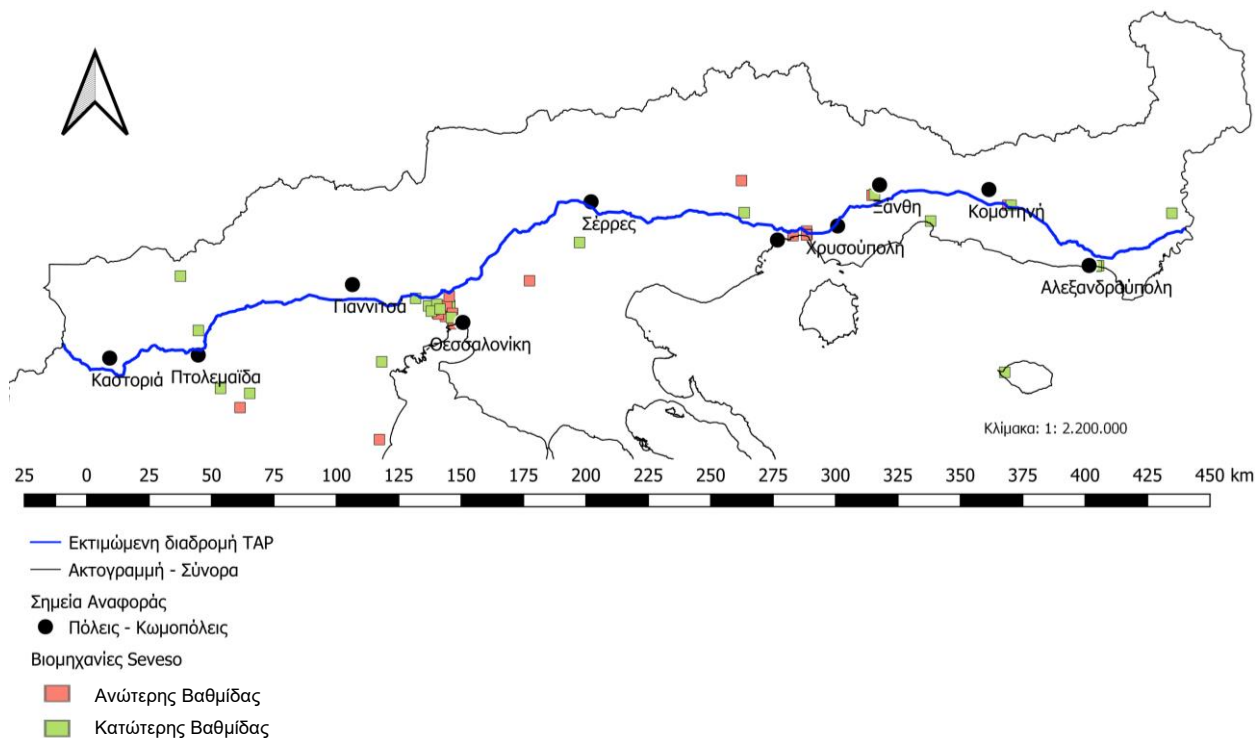
Εικόνα 5.16 Σημεία διασταύρωσης του αγωγού με περιοχές διάβρωσης εδάφους. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (ΥΠΕΝ, 2020 από ΕΕΑ, 2018).



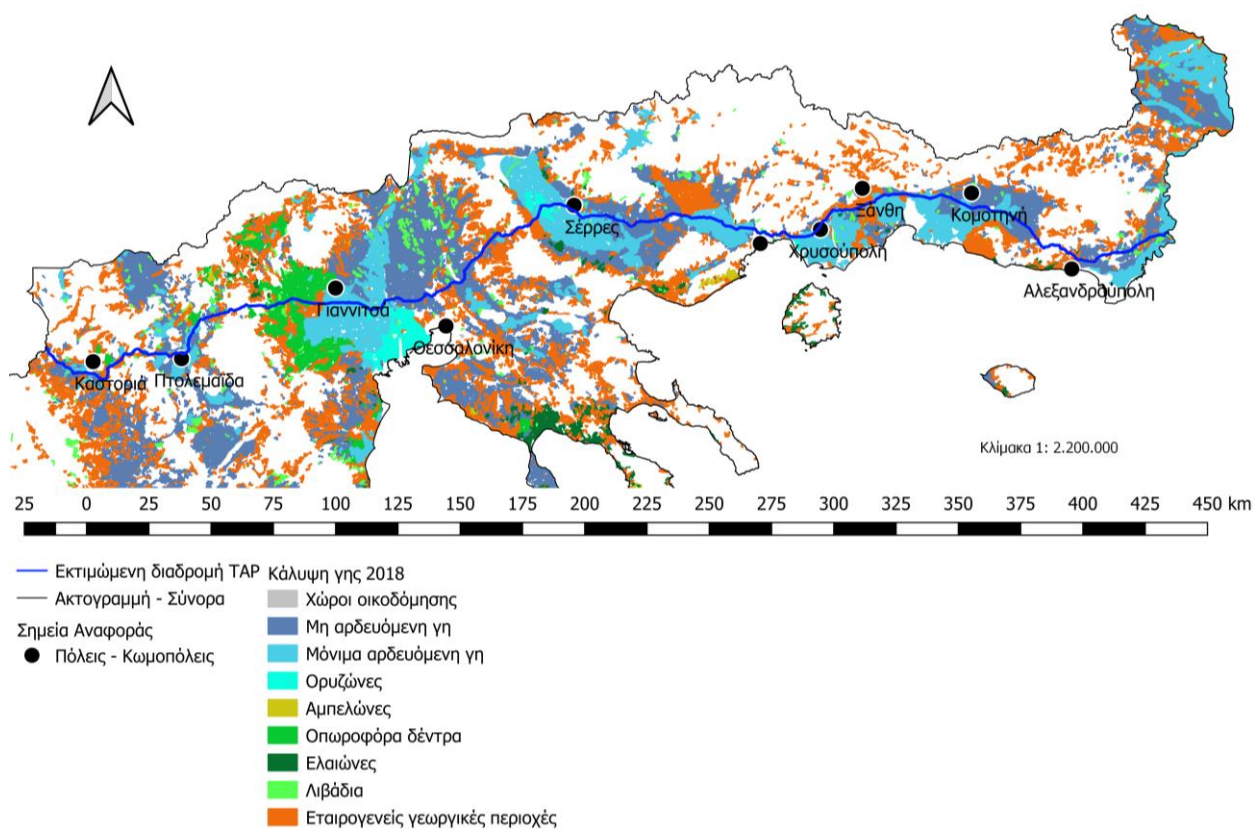
Εικόνα 5.17 Σημεία διασταύρωσης του αγωγού με περιοχές δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (ΥΠΕΝ, 2020).



Εικόνα 5.18 Σημεία διασταύρωσης του αγωγού με σημεία ιστορικών συμβάντων πλημμυρών και σημαντικών ιστορικών συμβάντων πλημμυρών. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (ΥΠΕΝ, 2020).



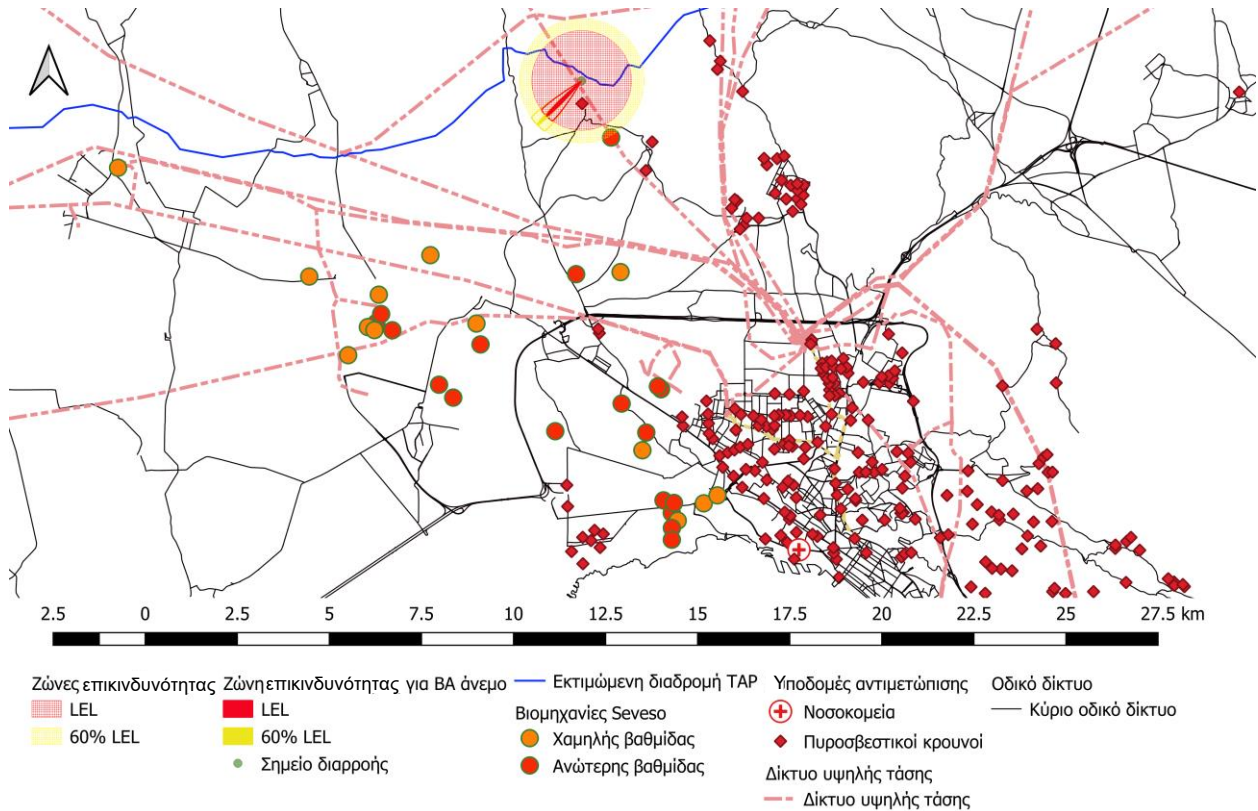
Εικόνα 5.19 Εγγύτητα αγωγού με βιομηχανίες Seveso. Πηγή: Ίδια επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (ΥΠΕΝ, 2020).



Εικόνα 5.20 Σημεία διασταύρωσης του αγωγού με περιοχές οικοδόμησης και γεωργικών διεργασιών. Πηγή: Ίδια επεξεργασία στο QGIS 3.10 με χρήση ανοικτών δεδομένων (ΥΠΕΝ, 2020 από ΕΕΑ, 2018).

Στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών όπως το QGIS, μια καλά δομημένη βάση δεδομένων μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στο μηχανισμό διαχείρισης. Τα διάφορα επιθέματα (layers-επίπεδα) μπορούν να συνδυαστούν και να χαρακτηριστούν κάποιες περιοχές ως ιδιαίτερα τρωτές. Για παράδειγμα σε κάποιο σημείο της διαδρομής του αγωγού TAP, μπορεί να υπάρχει ταυτόχρονη εγγύτητα με το δίκτυο του ΔΕΣΦΑ, να χαρακτηρίζεται η περιοχή τρωτή στην εδαφική επιτάχυνση και να υφίσταται ο κίνδυνος πλημμύρας και συμπληρωματικά να δραστηριοποιούνται πλησίον, εγκαταστάσεις Seveso υψηλής βαθμίδας. Σε ένα παράδειγμα σαν και αυτό, λαμβάνοντας υπόψη την ταυτόχρονη εκδήλωση πολλαπλών φυσικών καταστροφών και τεχνολογικών ατυχημάτων, με μεγάλη πιθανότητα επηρεασμού υποδομών ζωτικής σημασίας (οδικό δίκτυο, παροχή ηλεκτρισμού κ.λ.π.), η αντιμετώπιση θα ήταν εκτός σχεδίων αλλά και με πολλαπλά εμπόδια. Σε αυτό το πλαίσιο είναι δυνατός ο χαρακτηρισμός ορισμένων περιοχών σε σχέση με την τρωτότητα σε έναν ή περισσότερους κινδύνους ή/και την εκτίμηση κινδύνου/ων. Στους χάρτες που παρουσιάστηκαν παραπάνω, μπορούμε να διακρίνουμε ότι η ευρύτερη περιοχή βόρεια της Θεσσαλονίκης αποτελεί μια τρωτή περιοχή όπου μπορούν να εκδηλωθούν αρκετές καταστροφές (φαινόμενα domino). Στην περιοχή αυτή υφίσταται ο κίνδυνος φυσικών καταστροφών (πιθανότητα μεγάλης εδαφικής επιτάχυνσης, κατολισθήσεων ως συνοδό φαινόμενο σεισμού, εδαφικής διάβρωσης ως φαινόμενο μετακίνησης του εδάφους και πιθανότητα πλημμύρας). Επίσης δραστηριοποιούνται εγκαταστάσεις Seveso (ανώτερης και κατώτερης βαθμίδας) και διέρχεται τμήμα του δικτύου φυσικού αερίου (TAP, ΔΕΣΦΑ) άρα υφίσταται ο κίνδυνος περισσότερων του ενός, τεχνολογικών ατυχημάτων. Συμπληρωματικά διέρχονται από την περιοχή δίκτυα κοινής ωφέλειας (lifelines) όπως τμήματα του κύριου και δευτερεύοντος οδικού δικτύου και του σιδηροδρομικού δικτύου. Η βαρύτητα των προαναφερθέντων τονίζεται και σε σχετική αναφορά (Dessanti & Peterson, 2014), όπως και η σημασία των επικαιροποιήσεων στα δεδομένα του GIS. Κάποιες πληροφορίες είναι διαθέσιμες (αρκετές πρέπει να παραχθούν) αλλά θα πρέπει να μετατραπούν σε μορφή κατάλληλη για λογισμικά GIS και να ενσωματωθούν σε κοινό πλαίσιο αναφοράς, για να γίνει η διασύνδεση μεταξύ τους και να αξιοποιηθούν.

Μια κοινή βάση δεδομένων και ιδιαίτερα μια ανοιχτή βάση δεδομένων, μας δίνει τη δυνατότητα να αναλογιστούμε σενάρια για τα οποία δεν υπάρχει πρόβλεψη όσον αφορά την πρόληψη και το μετριασμό τους. Είδαμε παραπάνω στην περίπτωση της Ταιβάν (Κεφ. 4.1) ότι η διασπορά του φυσικού αερίου έγινε διαμέσου του αποχετευτικού συστήματος, επιφέροντας συνέπειες σε μεγάλη έκταση. Η συνύπαρξη των δεδομένων αγωγών φυσικού αερίου και του αποχετευτικού δικτύου θα μπορούσε να οδηγήσει εν δυνάμει σε πρόβλεψη του εν λόγω σεναρίου ή για την περίπτωση που δεν θα υπήρχε πρόβλεψη (ως σενάριο μικρής πιθανότητας), στην αντιμετώπιση αυτού στο πρώιμο στάδιο της προειδοποίησης, προτού εκδηλωθεί η καταστροφική έκρηξη. Οι φορείς παροχής στο συμβάν αυτό, ορθά διέκοψαν την παροχή αλλά προχώρησαν στην επαναλειτουργία του δικτύου αφού κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι στην επηρεαζόμενη περιοχή δεν διερχόταν αγωγός του δικτύου. Συνδυασμός των δεδομένων που αναφέραμε, θα μπορούσε να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι το φυσικό αέριο διέρρευσε μέσω του αποχετευτικού δικτύου. Για να καλυφθούν τα διάφορα πιθανά σενάρια καταστροφής, απαιτείται διεπιστημονική συνεργασία και συνέργεια μεταξύ διαφορετικών φορέων. Σε αυτό το πλαίσιο, παλιά αλλά και νέα δεδομένα από μελέτες περιπτώσεων μπορούν να ενσωματωθούν σε μια κοινή βάση και να ενισχύσουν περαιτέρω τον ευρύτερο μηχανισμό διαχείρισης. Κλείνοντας το κεφάλαιο, παρουσιάζεται ένα δείγμα ενσωμάτωσης των δεδομένων του ALOHA, στο QGIS. Απεικονίζονται ενδεικτικά, υποδομές που μπορούν να συμβάλουν στην εκδήλωση πολλαπλασιαστικών φαινομένων (domino effects), υποδομές αντιμετώπισης (νοσοκομεία, πυροσβεστικοί κρουνοί) και κρίσιμες υποδομές (οδικό δίκτυο, ηλεκτρικό δίκτυο).



Εικόνα 5.21 Αξιοποίηση δεδομένων ALOHA στο QGIS. Πηγή: Ιδία επεξεργασία στο QGIS 3.10 με ανοικτά δεδομένα, δεδομένα από το ALOHA και δεδομένα που παρασχέθηκαν από το ΔΕΣΦΑ (OpenStreetMap Contributors, 2020); (United States EPA, 2016).

Η FEMA (Federal Emergency Management Agency) έχει εκδώσει ένα πλήρες εγχειρίδιο για τη χρήση του λογισμικού Hazus, του οποίου τα παραγόμενα δεδομένα μπορούν να αξιοποιηθούν σε προγράμματα GIS και να συμβάλλουν σε πληθώρα δραστηριοτήτων της διαχείρισης καταστροφών, όπως το μετριασμό, την πρόληψη, την αρωγή, την αντιμετώπιση, το σχεδιασμό ετοιμότητας και τη διεξαγωγή ασκήσεων (Rozelle, Bausch, & Seligson, 2019).

Κεφάλαιο 6. Επιχειρησιακές ασκήσεις - Συνεργασία ΕΚΠΑ & ΔΕΣΦΑ

Εξετάστηκε από το συγγραφέα η δυνατότητα συνεργασίας του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΕΚΠΑ) με το Διαχειριστή Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου (ΔΕΣΦΑ). Ο ΔΕΣΦΑ έχει διοργανώσει ασκήσεις επι χάρτου αλλά και στο πεδίο (η τελευταία πραγματοποιήθηκε το Νοέμβριο του 2019 στη Ρεβυθούσα). Παράλληλα, το ΕΚΠΑ έχει μεγάλη εμπειρία στον τομέα διαχείρισης καταστροφών καθώς έχει συμμετάσχει σε περισσότερες από 60 αποστολές στο εσωτερικό και εξωτερικό, πραγματοποιεί ήδη σε ετήσια βάση επιχειρησιακές ασκήσεις σχετικές με τη διαχείριση κρίσεων και καταστροφών (Rhodes Protect, Santo Protect) και αξιοποιεί τεχνολογικές πρακτικές στον υπόψη τομέα (drones για χαρτογράφηση, GIS κ.λ.π.). Αξίζει να σημειωθεί ότι το Μάρτιο του 2020 οργανώθηκε το 3^ο Επιστημονικό Forum για τη μείωση της διακινδύνευσης από καταστροφές στην Ελλάδα (ΕΚΠΑ - EDCM, 2020). Επιδίωξη του Forum είναι ο συντονισμός των Πανεπιστημιακών και ερευνητικών φορέων και η ανάδειξη της συμβολής αυτής της συνεργασίας στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των κινδύνων και το μετριασμό των επιπτώσεων. Στο πλαίσιο αυτό, προγραμματίστηκε με πρόταση του συγγραφέα, τηλεδιάσκεψη μεταξύ ΕΚΠΑ και ΔΕΣΦΑ η οποία πραγματοποιήθηκε την 17 Δεκεμβρίου 2020 με τον συγγραφέα ως παρατηρητή κυρίως και συμμετέχοντες ήταν οι ακόλουθοι κύριοι:

- Ο καθηγητής κύριος Ευθύμιος Λέκκας ως Διευθυντής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών & Κρίσεων».
- Ο κύριος Σεραφείμ Ιωαννίδης ως Διευθυντής Ασφάλειας και Ποιότητας του ΔΕΣΦΑ.
- Ο κύριος Fernando Kalligas ως Επικεφαλής Εταιρικών Υποθέσεων και Γραφείου Διοίκησης.
- Ο κύριος Ιερώνυμος Γιακουμάτος ως Προϊστάμενος Υγείας και Ασφάλειας του ΔΕΣΦΑ.

Σκοπός της συνάντησης ήταν η αρχική επαφή (Brainstorming) των δυο φορέων με απώτερο σκοπό την προοπτική συνεργασίας του Πανεπιστημίου με το ΔΕΣΦΑ και την διεξαγωγή επιχειρησιακών ασκήσεων. Προτάθηκε αρχικά η οργάνωση ασκήσεων επι χάρτου για να αναγνωριστούν έγκαιρα και να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά τυχόν δυσχέρειες που μπορούν να προκύψουν σε σκηνές δράσης στο πεδίο και εν συνεχεία, η οργάνωση επιχειρησιακής άσκησης στην οποία θα εμπλακούν οι ενδιαφερόμενοι. Σχετικά με την οργάνωση προτάθηκε να ηγηθεί των ασκήσεων η Πολιτική Προστασία και να εμπλακούν υπό την καθοδήγηση αυτής όλοι οι ενδιαφερόμενοι φορείς (Πυροσβεστικό Σώμα, Αστυνομία, ΔΕΣΦΑ, ΕΚΠΑ, Λιμενικό Σώμα, ΕΚΑΒ, Πολίτες κ.α.). Έγινε αναφορά και στην κυκλοφορία LNG (υγροποιημένο φυσικό αέριο) στη χώρα μας, που σχεδιάζεται στο προσεχές μέλλον. Τη στιγμή παράδοσης της παρούσας εργασίας έχει ήδη προγραμματιστεί δεύτερη συνάντηση στην οποία θα παρουσιαστούν από τους δυο φορείς, επιχειρησιακές ασκήσεις που έχουν ήδη πραγματοποιηθεί. Σκοπός είναι η ανάδειξη της προσέγγισης των δυο φορέων και η ανταλλαγή απόψεων. Στο προσεχές μέλλον η συνεργασία είναι πολύ πιθανό να υλοποιηθεί και να οδηγήσει στην εμπλοκή περισσότερων φορέων.

Η διενέργεια επιχειρησιακών ασκήσεων μικρής-μεγάλης κλίμακας, έχουν ως αποτέλεσμα την άρτια και συνεχή εκπαίδευση των εμπλεκόμενων φορέων, από το επίπεδο διοίκησης έως το προσωπικό καταστολής. Παράλληλα μπορεί να επιτευχθεί η έμμεση ενημέρωση του κοινού, η αύξηση δηλαδή της αντίληψης αυτού στο συγκεκριμένο κίνδυνο, τόσο μέσω της παθητικής/ενεργητικής συμμετοχής (συμμετοχή πολιτών ως ηθοποιοί ή θεατές), όσο και με την κοινοποίηση των αποτελεσμάτων σε πλατφόρμες δημόσιας πρόσβασης. Ένα πολύ καλό παράδειγμα των προαναφερθέντων διακρίνεται στην πλατφόρμα της PAPA (Pipeline Association for Public Awareness), όπου βρίσκονται διαθέσιμες μελέτες περιπτώσεων, σενάρια αντιμετώπισης, εκπαιδευτικά εργαλεία και γενικές οδηγίες για την αντιμετώπιση (PAPA, 2020). Η πλατφόρμα είναι πολύ καλά οργανωμένη αφού διαθέτει οπτικοακουστικό υλικό, παρουσιάσεις και ψηφιακά εγχειρίδια, ενώ αποτελεί αξιόλογη προσπάθεια ενημέρωσης του κοινού αλλά και παροχής εργαλείων και μεθόδων για την εκπαίδευση του εμπλεκόμενου προσωπικού στα κατώτερα επίπεδα. Ενδεικτικά, στις γενικές οδηγίες για την αντιμετώπιση, αναφέρονται οι ενδείξεις μιας διαρροής φυσικού αερίου, οι κίνδυνοι που μπορούν να προκύψουν, οι ενέργειες αρχικής αντίδρασης (πολίτες και σώματα ασφαλείας), προτεινόμενες αποστάσεις ασφαλείας, εγχειρίδια διαδικασιών και μνημόνια ενεργειών (checklists). Στο Παράρτημα διατίθενται οι οδηγίες για ένα σενάριο διαρροής φυσικού αερίου και οι ελάχιστες συνιστώμενες αποστάσεις ασφαλείας.

Το 2011, έλαβε μέρος η άσκηση φυσικού αερίου «ΚΥΚΛΩΠΑΣ 2011» η οποία αποτελεί διυπηρεσιακή άσκηση ετοιμότητας και αντιμετώπισης διαρροής-πυρκαγιάς σε αγωγό φυσικού αερίου. Η άσκηση πραγματοποιήθηκε σε μετρητικό/ρυθμιστικό σταθμό φυσικού αερίου στα Άνω Λιόσια και συμμετείχαν το Π.Σ., Η ΔΕΠΑ-ΔΕΣΦΑ, η ΕΠΑ Αττικής, η ΕΛ.ΑΣ., το ΕΚΑΒ, η ΔΕΗ, ο ΤΡΕΝΟΣΣΕ και η Γ.Γ.Π.Π. Οι φάσεις της άσκησης είχαν ως εξής:

- 1^η φάση: Εκδήλωση συμβάντος.
- 2^η φάση: Επιπτώσεις-Εκτίμηση-Συναγερμός.
- 3^η φάση: Κινητοποίηση προσωπικού εμπλεκόμενων φορέων.
- 4^η φάση: Διοίκηση-συντονισμός στο πεδίο δράσης, αναγνώριση-επέμβαση, αποκατάσταση, ιατρική βοήθεια-αντιμετώπιση.
- 5^η φάση: Διοικητική υποστήριξη.

Αφού εκδηλώθηκε το συμβάν, αυτό επιβεβαιώθηκε και άμεσα ενημερώθηκαν όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς οι οποίοι κινητοποίησαν το προσωπικό τους. Εντοπίστηκε το σημείο διαρροής όπου είχε ήδη εκδηλωθεί γλώσσα φωτιάς και πυρκαγιά νοτίως της εγκατάστασης. Αφού καταγράφηκαν οι περιβαλλοντικές συνθήκες και σημειώθηκαν οι γειτνιάζουσες εγκαταστάσεις-υποδομές κοινής ωφέλειας, καθορίστηκαν αρχικές περίμετροι προστασίας (60 μέτρων) και ελήφθησαν οι απαραίτητες ενέργειες ανά εμπλεκόμενο (αποσυμπίεση του δικτύου, ενέργειες ελέγχου-κατάσβεσης της πυρκαγιάς, προστασία κρίσιμων υποδομών, ενημέρωση επιπλέον εμπλεκόμενων). Στα σημαντικά συμπεράσματα της άσκησης περιλαμβάνονται τα εξής: Η διαχείριση καταστροφικών συμβάντων πρέπει να εκτελείται χωρίς βιασύνες και να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι απαραίτητοι παράγοντες πριν τη λήψη των αποφάσεων. Όλο το προσωπικό και ιδίως εκείνο που ενεργεί στο πεδίο (Ζώνες I, II, III), πρέπει να λαμβάνει τα απαραίτητα μέτρα προστασίας (προστατευτικός εξοπλισμός, αποστάσεις ασφαλείας). Η επικοινωνία καθόλη τη διάρκεια είναι σημαντική για το σωστό συντονισμό και η εξοικονόμηση δυνάμεων και πόρων είναι υψίστης σημασίας γιατί πάντα μπορεί να χρειαστούν δυνάμεις σε άλλα περιστατικά. Οι ανωτέρω πληροφορίες έγιναν διαθέσιμες από το ΔΕΣΦΑ (Κλεφτόπουλος, Τριδημάς, & Κυριαζής, 2011).

Κεφάλαιο 7. Προτάσεις, Μέτρα και Δράσεις για την πρόληψη και το μετριασμό των καταστροφών σε αγωγούς φυσικού αερίου

7.1. Μέτρα βάσει των πληροφοριών από τις βάσεις δεδομένων

Σχετικά με τις βάσεις δεδομένων του Κεφαλαίου 2 και την πληροφορία που μας παρέχουν, κρίνονται σκόπιμα τα εξής:

Οι αντίστοιχοι φορείς της Ελλάδας (ΔΕΣΦΑ, ΤΑΡ) θα πρέπει να ενταχθούν στο δίκτυο του EIGIG για να αξιοποιήσουν την πολυετή εμπειρία των λοιπών ευρωπαϊκών φορέων και αντίστοιχα για να διαμοιραστεί η εμπειρία της ελληνικής πλευράς. Ιδιαίτερα με τις εξελίξεις των τελευταίων ετών αλλά και της τρέχουσας δεκαετίας (ΤΑΡ, EastMed, Σταθμοί LNG), η Ελλάδα αναδεικνύεται ως ενεργειακός κόμβος. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αυξανόμενη απαίτηση σε υποδομές φυσικού αερίου για την ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι εν λόγω υποδομές θα συνεχίσουν να εξελίσσονται στη χώρα μας. Η διεύρυνση του δικτύου φυσικού αερίου στη χώρα μας, αναπόφευκτα θα οδηγήσει σε περισσότερα συμβάντα (όχι απαραίτητα καταστροφών). Η καταγραφή αυτών θα πρέπει να είναι πλήρης για να αξιοποιείται η πληροφορία και θα πρέπει να ενσωματώνεται σε κοινή βάση δεδομένων, όπως έχουμε ήδη αναφέρει.

Η σωστή και συνεχής εκπαίδευση των συνεργείων συντήρησης των δικτύων, θα συμβάλει στη βελτιστοποίηση της έγκαιρης αναγνώρισης των συμπτωμάτων διάβρωσης και στρέβλωσης αποτελώντας αδιαμφισβήτητο παράγοντα πρόληψης. Παράλληλα, περιοδικές επιθεωρήσεις του δικτύου με έμφαση σε περιοχές υψηλής υγρασίας, συχνών βροχοπτώσεων, περιοχών με έντονη εδαφική διάβρωση και περιοχών με έντονη σεισμική δραστηριότητα / έντονη δυναμική για πλημμύρα, θα αυξήσει την πιθανότητα έγκαιρου εντοπισμού πιθανών αστοχιών, άρα θα συμβάλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος προ της εκδήλωσης συμβάντος. Σε περιπτώσεις εκδήλωσης πλημμυρών ή/και σεισμών, κρίνεται αναγκαία η άμεση διεκπεραίωση συστηματικών ελέγχων με προληπτικά μέτρα όπως η προσωρινή παύση λειτουργίας των αγωγών. Οι περιοχές ελέγχου μπορούν να καθοριστούν μέσω της κοινής βάσης δεδομένων όπως για παράδειγμα ο συνδυασμός χαρτών εδαφικής κίνησης (shakemaps) - δίκτυο αγωγών - εδαφολογικός χάρτης.

Είναι σημαντική η περιοδική ενημέρωση μέσω των M.M.E. ή/και μέσω ενημερωτικών σεμιναρίων, για την ενίσχυση της αντίληψης του κοινού (public awareness), όσον αφορά τον κίνδυνο. Παράδειγμα αποτελεί ο πληθυσμός που ασχολείται με τη γεωργία καθότι ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούν αποτελεί εν γένει παράγοντα εξωτερικής παρέμβασης. Περαιτέρω εστιασμός σε περιοχές τρωτότητας, δύναται να πραγματοποιηθεί με την αξιοποίηση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (Χρήσεις γης - Δραστηριότητες - Διακινδύνευση).

Οι ζημιές σε αγωγούς υπερτερούν κατά πολύ αριθμητικά σε σχέση με τη ρήξη αυτών. Η αναφορά εν λόγω συμβάντων από το κοινό και από κατασκευαστικές/εργολαβικές εταιρείες είναι επιτακτικής σημασίας και θα πρέπει να ενθαρρύνεται, για να πραγματοποιείται αποκατάσταση και καταγραφή των ζημιών. Όπως είδαμε μονάχα ένα μικρό ποσοστό των συνολικών συμβάντων

έχει ως κατάληξη τη διαρροή φυσικού αερίου αλλά το τμήμα του δικτύου που έχει υποστεί ζημιά, μπορεί να χαρακτηριστεί από αυξημένη τρωτότητα και κρίνεται απαραίτητη η καταγραφή και παρακολούθηση αυτού.

Η ανάλυση παλαιότερων συμβάντων είναι σημαντική για την αναγνώριση των βλαβών που μπορούν να προκύψουν σε δίκτυο αγωγών, την καλύτερη κατανόηση των παραγόντων που συμβάλουν στις βλάβες αυτές και κατ' επέκταση στην εξαγωγή κατάλληλων μέτρων πρόληψης και μετριασμού. Οι βάσεις δεδομένων θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από πληρότητα αλλά για να γίνει αυτό είναι αναγκαία η άντληση πληροφοριών από πολλούς και διάφορους φορείς. Για να γίνει αποτελεσματικά, κρίνεται απαραίτητη μια κοινή βάση δεδομένων όπου ο κάθε φορέας θα συμπληρώνει τα στοιχεία που διαθέτει και το τελικό προϊόν θα μπορεί να αξιολογηθεί και να διορθωθεί από εξειδικευμένο προσωπικό.

7.2. Εκπαίδευση και ενημέρωση ενδιαφερόμενων - Επιχειρησιακές ασκήσεις

Όπως διαπιστώσαμε, η ασφάλεια των υποδομών ενέργειας εμπίπτει σε σειρά κανονισμών και οδηγιών. Απαιτείται λοιπόν η συνεχής ενημέρωση για να εξασφαλίζεται η τήρηση αυτών αλλά και η εκπαίδευση των ενδιαφερόμενων ώστε να αξιολογούνται στην πράξη οι διαδικασίες που προκύπτουν από αυτές. Έχουν ήδη πραγματοποιηθεί ασκήσεις επί χάρτου και στο πεδίο με συμμετοχή του ΔΕΣΦΑ, του ΤΑΡ και του ΚΕ.ΜΕ.Α. και στο πλαίσιο αυτό προτείνεται η διεύρυνση της συνεργασίας με το Ε.Κ.Π.Α και λοιπούς πανεπιστημιακούς/ερευνητικούς φορείς, για να εμπλουτίζονται τα σενάρια με τις τελευταίες εξελίξεις και τεχνολογικές καινοτομίες που αφορούν το αντικείμενο. Ασκήσεις αυτού του είδους θα ενισχύσουν παράλληλα την αντίληψη του κοινού καθώς δύναται να συμμετέχουν ενεργά ή και παθητικά οι πολίτες, πέρα από το προσωπικό των εμπλεκόμενων φορέων. Παράλληλα κατά τη διεξαγωγή των ασκήσεων θα εντοπίζονται πιθανές αδυναμίες του μηχανισμού αντιμετώπισης και οι εκθέσεις που θα προκύπτουν θα συνεισφέρουν στην εξάλειψη αυτών. Η πρόληψη και η διορατικότητα σχετικά με τους πιθανούς κινδύνους, αποτελούν τα καλύτερα μέτρα για τη διαχείριση μιας καταστροφής/κρίσης αλλά προηγούμενες εμπειρίες έχουν αποδείξει ότι η αποφυγή μιας καταστροφής δεν είναι πάντα δυνατή. Σε αυτή τη λογική η εκπαίδευση στην πράξη όσον αφορά διαδικασίες αντιμετώπισης, είναι εξίσου σημαντικές και απαραίτητες. Η διετής διεξαγωγή αυτών των ασκήσεων κρίνεται εύλογη για τον εντοπισμό αναγκών επικαιροποίησης των σχεδίων και για την εξασφάλιση της ετοιμότητας των εμπλεκόμενων φορέων.

Οι φυσικές και οι τεχνολογικές καταστροφές έχουν μελετηθεί αρκετά αλλά ο συνδυασμός αυτών όχι. Η έλλειψη γνώσης και εμπειρίας για τις Natech καταστροφές, μπορεί να προκαλέσει μεγάλη δυσκολία στην αντιμετώπιση μιας καταστροφής του είδους καθώς απαιτείται η ταυτόχρονη αντιμετώπιση των επιπτώσεων φυσικής/ών και τεχνολογικής/ών καταστροφής/ών. Τμήμα των κρίσιμων υποδομών και υποδομών κοινής ωφέλειας (lifelines), συχνά απαραίτητο για την αποτελεσματική αντιμετώπιση, πιθανόν να μην είναι διαθέσιμο (Krausmann, Cozzani, Salzano, & Renni, 2011). Τα σχέδια αντιμετώπισης πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την ταυτόχρονη εκδήλωση συμβάντων και να υπάρχει πρόβλεψη για το πιθανότερο αλλά και το χειρότερο σενάριο.

7.3. Πρόληψη και έγκαιρη ενημέρωση. Ο ρόλος των κοινωνικών μέσων δικτύωσης και της τεχνολογίας

Τα κοινωνικά μέσα δικτύωσης, μεταξύ των ποικίλων χρήσεων τους, αποτελούν παράλληλα πηγή αναφοράς ειδήσεων σε πραγματικό χρόνο. Ο συνδυασμός της τεχνολογίας των κινητών τηλεφώνων και η εκτενής διάδοση αυτής έχει μετατρέψει, κατά μία έννοια, τον κάθε χρήστη σε εν δυνάμει «δημοσιογράφο». Δεδομένου ότι η αποτελεσματική και ουσιαστική διαχείριση/πρόληψη των καταστροφών προϋποθέτει την άμεση αντίδραση, τα κοινωνικά μέσα δικτύωσης αλλά και οι εφαρμογές που υποστηρίζουν τα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα, δύναται να συνεισφέρουν στην απαραίτητη, άμεση απόκριση. Οι φορείς παροχής φυσικού αερίου διαθέτουν τηλέφωνα ανάγκης και υπάρχει όλη η διαθέσιμη πληροφορία στο διαδίκτυο περί ενημέρωσης και αρχικής αντιμετώπισης σε περιπτώσεις ανάγκης. Το δίκτυο του θαμμένου αγωγού είναι σημειωμένο με προειδοποιητικές σημάνσεις ανά τακτά διαστήματα. Παρέχεται επίσης ολοκληρωμένη ενημέρωση για εργασίες που εν δυνάμει επηρεάζουν τον αγωγό, όπως με τη δράση «*Τηλεφώνησε πριν σκάψεις*» του ΤΑΡ και του ΔΕΣΦΑ. Μέσω της δράσης αυτής οι ενδιαφερόμενοι ενημερώνονται για τη θέση του δικτύου φυσικού αερίου, μπορούν να αιτηθούν την παρουσία τεχνικών και μπορούν να λάβουν οδηγίες από τεχνικούς. Στα ενημερωτικά ηλεκτρονικά φυλλάδια, βρίσκονται διαθέσιμες οδηγίες και αρχικές ενέργειες για την περίπτωση διαρροής με εκδήλωση και χωρίς εκδήλωση φωτιάς. Στόχος είναι η αντιμετώπιση της εξωτερικής παρέμβασης, η προστασία των σημάτων και η αναχαίτιση περιστατικών διαρροών πριν την εκδήλωση καταστροφικών συμβάντων (ΤΑΡ, 2020ε; ΔΕΣΦΑ, 2020). Διατίθενται και εφαρμογές για κινητά τηλέφωνα, όπως το *TAP HSE* (Health, Safety and Environment). Η εν λόγω εφαρμογή είναι διαθέσιμη μόνο για το προσωπικό του φορέα και μέσω αυτής παρέχονται κανόνες-μέτρα ασφαλείας, πληροφορίες για την αναφορά συμβάντων, πληροφορίες επικοινωνίας, φόρμες σχετικά με την υγεία και ασφάλεια κ.λ.π. (ΤΑΡ, 2020α). Διαθέσιμες είναι και εφαρμογές που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την εκδήλωση καταστροφών, όπως το *Disaster Report*, το οποίο τη στιγμή συγγραφής της εργασίας διαθέτει τις τελευταίες πληροφορίες για την περίπτωση των σεισμών και θα επεκταθεί στην αναφορά λοιπών κινδύνων μελλοντικά (Karakostas, 2020). Η ανάπτυξη μιας εξειδικευμένης εφαρμογής ή μιας «ομάδας» σε πλατφόρμα κοινωνικής δικτύωσης, για την αναφορά συμβάντων που μπορούν να οδηγήσουν σε καταστροφή, αποτελεί πιθανόν μια ορθή προσέγγιση αν λάβουμε υπόψη ότι μεγάλο μέρος του πληθυσμού διαθέτει τη δυνατότητα και ικανότητα χρήσης αυτής της τεχνολογίας. Ειδικότερα, η αξιοποίηση δεδομένων γεωγραφικής θέσης (GPS) μπορεί να ενισχύσει την ταχύτητα απόκρισης με τον άμεσο, ακριβή προσδιορισμό της τοποθεσίας ενός συμβάντος.

Μελέτη σχετικά με την προστασία θαμμένων αγωγών φυσικού αερίου έναντι κεραυνών, έδειξε την αποτελεσματικότητα των υπάρχοντων μέτρων προστασίας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά στα οποία στηρίχτηκε η μελέτη, αφορούσαν ασάλινους αγωγούς (steel) 16 ιντσών, με κάλυψη πολυαιθυλενίου (polyethylene), σε βάθος 1,5 μέτρου. Τα αποτελέσματα της έρευνας σχετικά με την προστασία, το κόστος και το χρόνο που απαιτεί το κάθε μέτρο προστασίας, φαίνονται στην εικόνα (Kijima, Takato, & Murakawa, 2011).

	Shielding effect	Construction expense and time	Total Evaluation
With no cover	×	/	×
Sheath pipe protection (whole)	○	×	△
Sheath pipe protection (upper part)	○	△	○
Protection griddle	△	×	△
Counterpoise (whole)	○	△	○
Counterpoise (1m interval)	○	○	◎

◎very good, ○good, △so-so, ×bad

Εικόνα 7.1 Αξιολόγηση των μέτρων προστασίας θαμμένων αγωγών φυσικού αερίου, έναντι του κεραυνικού κινδύνου. Πηγή: (Kijima et al., 2011).

7.4. Έγκαιρη προειδοποίηση, μέθοδοι πρώιμης ανίχνευσης αστοχιών και βελτίωση μεθόδων πρόληψης

7.4.1. Κεραυνοί

Ο ΔΕΣΦΑ με αφορμή δυο περιστατικά διάτρησης σε θαμμένους αγωγούς που προκλήθηκαν από κεραυνό, συνεργάστηκε με την εταιρεία ΕΛΕΜΚΟ και το Πανεπιστήμιο Κύπρου, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της επίδρασης των κεραυνικών πληγμάτων. Αποτέλεσμα της συνεργασίας ήταν η εκπόνηση εργαλείου εκτίμησης για τον εν λόγω κίνδυνο, το οποίο λαμβάνει υπόψη την πυκνότητα των κεραυνών ανά περιοχή, τη γήρανση της μόνωσης, τις ηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους κ.α. (ΔΕΣΦΑ, 2019 από Charalambous, A et al. 2020).

7.4.2. Σεισμοί

Οι Kramer και Upsall (2006), μελέτησαν τη σχέση μεταξύ των χαρακτηριστικών της εδαφικής κίνησης και των κινδύνων που προκαλούνται από σεισμούς. Μεταξύ άλλων (φαινόμενα ρευστοποίησης, καθιζήσεις κ.λ.π.), εστίασαν σε ρήξεις που δύναται να προκληθούν σε αγωγούς που βρίσκονται θαμμένοι στη γη και παρουσίασαν δυο ποσοτικές κλίμακες. Η μία κλίμακα παρέχει την ένταση από 0-10 (instrumental intensity scales I-X) ενώ η άλλη αφορά στην αντίληψη της έντασης του σεισμού (Perceived Shaking). Οι δυο αυτές κλίμακες, δύναται να χρησιμοποιηθούν στην αναγνώριση περιοχών πιθανής αστοχίας σε συνεργασία με τη χρήση εξειδικευμένων

χαρτών εδαφικής κίνησης (Shake Maps). Οι χάρτες εδαφικής κίνησης παράγονται με το λογισμικό ShakeMap του φορέα USGS (United States Geological Survey), μέσω αυτοματοποιημένης υπηρεσίας που παρέχεται από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο. Οι χάρτες που δημοσιεύονται αυτόματα παρέχουν προκαταρκτικές και ατελείς εκτιμήσεις και παρέχονται για καθαρά ερευνητικούς σκοπούς αλλά τονίζεται σε αυτό το σημείο ότι η παραγωγή τους σε πρακτικά πραγματικό χρόνο, αποτελεί παράγοντα κλειδί για την αρχική αντιμετώπιση (National Observatory of Athens, 2020). Η άμεση επέμβαση μπορεί να εξασφαλιστεί με τη χρήση αυτής της υπηρεσίας και μπορεί να οδηγήσει στην αποφυγή μιας εν δυνάμει καταστροφής.

Οι προαναφερθέντες κλίμακες περιγράφουν ποιοτικά και όχι ποσοτικά την κίνηση του εδάφους. Τα ποσοτικά δεδομένα δύναται να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή χαρτών που απεικονίζουν την ένταση της κίνησης του εδάφους και κατ' επέκταση να αξιοποιηθούν για τη σωστή διαχείριση του μηχανισμού πολιτικής προστασίας αλλά και την ορθή κινητοποίηση των αντίστοιχων φορέων (ΤΑΡ, ΔΕΣΦΑ). Θα χρησιμεύουν στην κατανόηση των πιθανών ζημιών σε αγωγούς (μέσω αντιστοίχισης χαρτών εδαφικής κίνησης-πραγματικών καταγραφών των αστοχιών) και θα οδηγήσουν στον αποτελεσματικότερο εντοπισμό αστοχιών που μπορούν να προκύψουν κατά την εκδήλωση σεισμού. Η έκταση των ζημιών εξαρτάται βέβαια και από την τρωτότητα του γεωλογικού περιβάλλοντος πέρα από την ένταση, οπότε για τη βέλτιστη αξιοποίηση των δεδομένων, απαιτείται παράλληλη χρήση γεωλογικού-σεισμοτεκτονικού χάρτη. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η παραγωγή των χαρτών είναι δυνατή εντός λεπτών από την εκδήλωση σεισμού (πραγματικά δεδομένα) αλλά μπορούν να κατασκευαστούν και βάσει θεωρητικών σεναρίων (Scenario Shakemaps) και να ενσωματωθούν στα μελλοντικά Σ.Α.Τ.Α.Μ.Ε και σε σχέδια της Πολιτικής Προστασίας (ως πιθανότερα σενάρια-δυσμενέστερα σενάρια). Το λογισμικό Hazus αποτελεί επίσημη μεθοδολογία που εφαρμόζεται στις Η.Π.Α. και παρέχει μοντέλα εκτίμησης των απωλειών από σεισμούς, πλημμύρες, τσουνάμι και τυφώνες. Συνεργάζεται με το λογισμικό ArcGis και δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης των κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων (κτηριακό απόθεμα, κρίσιμες υποδομές, εκτοπισμένος και επηρεασμένος πληθυσμός, διακοπή εργασίας κ.λ.π.). Η αυξανόμενη χρήση του ανοικτού αυτού λογισμικού σε συνδυασμό με την πληθώρα ανοικτών γεωχωρικών και μη δεδομένων, έχει συμβάλει στην ενίσχυση της διαχείρισης των κρίσεων από τις πολιτείες αλλά και στην αύξηση της αντίληψης των κινδύνων από το κοινό (FEMA, 2020). Αξιοσημείωτη δυνατότητα του προγράμματος Hazus είναι η συμπληρωματική προσθήκη εδαφολογικών δεδομένων, δεδομένων ρευστοποίησης, δεδομένων τρωτότητας όσον αφορά τις κατολισθήσεις και δεδομένων του υδροφόρου ορίζοντα. Η προσθήκη των ανωτέρω δεδομένων έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων στα σενάρια και η FEMA συνιστά τη χρήση τους όταν αυτά είναι διαθέσιμα (FEMA, 2019).

Με τη χρήση δεδομένων από το δίκτυο επιταχυνσιογράφων και θεωρώντας ως κρισιμότερο παράγοντα ζημιάς σε αγωγούς τη μέγιστη ταχύτητα κίνησης του εδάφους (PVA), οι Kramer και Upsall κατέληξαν σε ένα μοντέλο εκτίμησης ζημιάς (motions in the ground database). Βάσει της κλίμακας SMI (ShakeMap Intensity) των Wald et al. (1999), δημιούργησαν έναν τροποποιημένο πίνακα αντιστοιχίας με την κλίμακα MMI (Modified Mercalli Intensity Scale), όπου διακρίνεται η πιθανότητα ζημιών (Πίνακας 4). Το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών χρησιμοποιεί κλίμακα που είναι βασισμένη στους Worden et al. (2012) και διακρίνονται διαφορές με τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4 Κλίμακες Εδαφικής Κίνησης (βάσει Wald et al., 1999). Διακρίνεται το μέγεθος της πιθανής ζημιάς. Πηγή: Kramer και Upsall (2006).

Perceived Shaking	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
Potential Damage	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very heavy
PGA (%g)	< 0.17	0.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2	18-34	34-65	65-124	> 124
PGV (cm/sec)	< 0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	> 116
Instrumental intensity	I	II – III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

7.4.3. Κατολισθήσεις

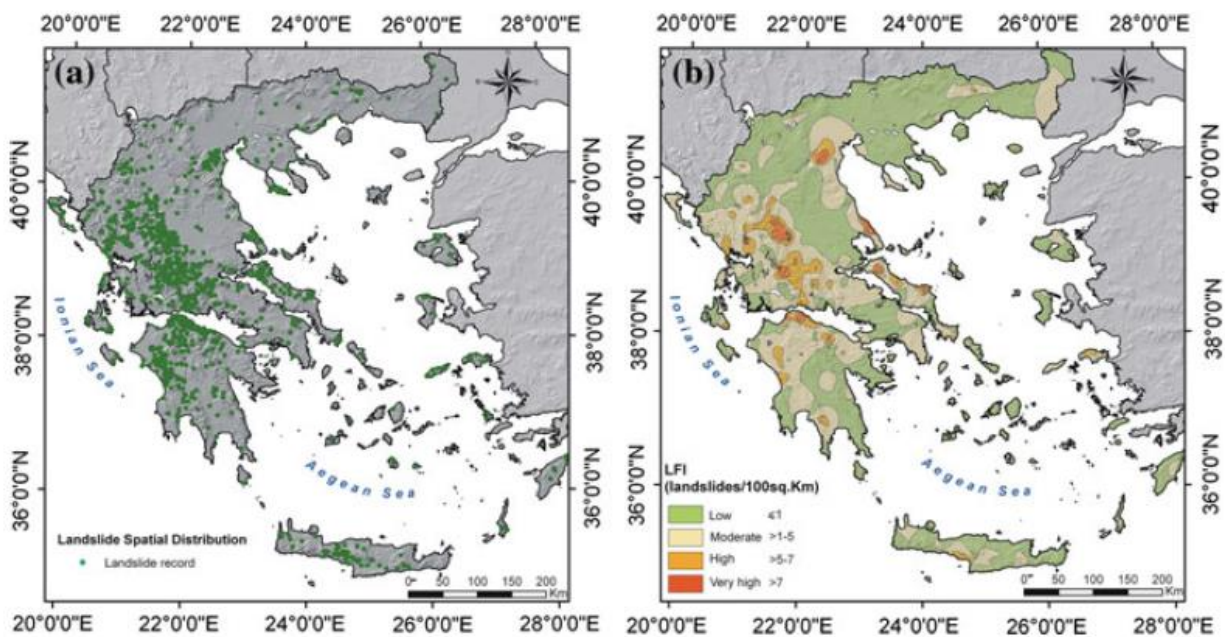
Στο αρχικό στάδιο του σχεδιασμού ενός δικτύου φυσικού αερίου, θα πρέπει να εξετάζεται η δυνατότητα αλλαγής της διαδρομής αυτού, αν διαπιστωθεί ότι ο αγωγός διέρχεται από περιοχές όπου εκδηλώνονται κατολισθήσεις (ιδιαίτερα μεγάλης έκτασης). Πέρα από τη μελέτη τοπογραφικών χαρτών, τη χρήση τηλεπισκόπησης (δορυφορικές εικόνες, drones) και την αναγνώριση-χαρτογράφηση των επιφανειακών υδάτων, απαιτείται μελέτη στο πεδίο από έμπειρη ομάδα γεωλόγων για να επαληθευτούν τα δεδομένα και να επικαιροποιηθούν στοιχεία που πιθανόν να έχουν αλλάξει. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντικότερη κατά τη φάση του σχεδιασμού για να αποφευχθούν οι περιοχές κινδύνου κατολίσθησης, αλλά πρέπει να αποτελεί διαρκής διαδικασία καθώς μπορούν να προκύψουν νέες περιοχές κινδύνου και άρα να επανεξεταστεί εκ νέου η ανάγκη έργων-μέτρων πρόληψης (Marinos et al., 2016).

Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η αλλαγή της αρχικής διαδρομής, μια γεωτεχνική μελέτη μπορεί να αναδείξει τις συνθήκες και τους παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν σε κατολίσθηση και να προκαλέσουν αστοχία του αγωγού. Το τελικό προϊόν αυτής της μελέτης θα καθορίσει και το κατάλληλο μέτρο προστασίας που μπορεί να ληφθεί. Θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη στοιχεία της γεωλογικής δομής (λιθοστρωματογραφική διάρθρωση, λιθολογία, γεωλογικοί σχηματισμοί, τεκτονική επίδραση), στοιχεία των υδρολογικών συνθηκών (υδρολιθολογία, υπόγεια ύδατα), στοιχεία των γεωτεχνικών συνθηκών και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατολισθαίνουσας μάζας. Παραδείγματα μέτρων-έργων πρόληψης, για το μετριασμό των επιπτώσεων και τη μείωση της διακινδύνευσης, αποτελούν η επιφανειακή/υπόγεια αποστράγγιση, η διαμόρφωση του πρανούς, η φυτοκάλυψη, οι τοίχοι αντιστήριξης/συγκράτησης και η απομάκρυνση επικίνδυνων για κατάπτωση όγκων (Marinos et al., 2016);(Λέκκας και Ανδρεαδάκης, 2015a).

Οι Castiglia, Fierro και Santucci De Magistris (2020), παρουσίασαν μια μελέτη σχετικά με τις επιδράσεις των ρευστοποιήσεων που προκαλούνται από σεισμούς, στους θαμμένους αγωγούς. Βασίστηκαν σε καταγραφές πεδίου και πειραματικά-αριθμητικά μοντέλα, για να αναδείξουν τις κύριες επιδράσεις και για να καταγράψουν τις αποδόσεις των αγωγών υπό την επίδραση του φαινομένου. Επικεντρώθηκαν στην ανάδειξη της συσσωρευμένης γνώσης επί του αντικείμενου και τα εμπόδια για την περαιτέρω απόκτηση πληροφοριών, με απώτερο σκοπό την ενημέρωση των ακαδημαϊκών και των επαγγελματιών του τομέα και κατ' επέκταση την ενίσχυση των μεθόδων ανάλυσης. Η προσέγγισή τους είναι σημαντική καθώς ο συσχετισμός πραγματικών

παρατηρήσεων-πειραματικών μοντέλων, συμβάλει στην κατανόηση των επιπτώσεων της ρευστοποίησης σε αγωγούς και συνεισφέρει στη βελτίωση της πρόληψης στον εν λόγω κίνδυνο.

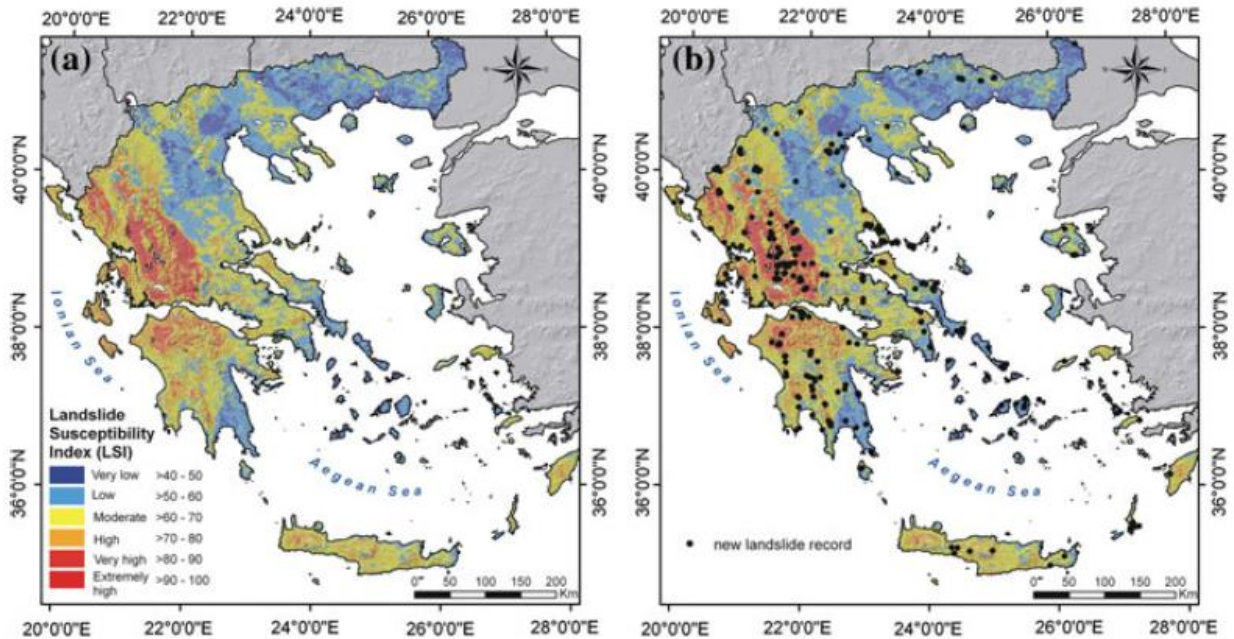
Οι Σαβατακάκης et al. (2013) σε μια μελέτη τους, ψηφιοποίησαν τα δεδομένα από 1.635 πλήρως καταγεγραμμένες κατολισθήσεις και συνδύασαν δέκα παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθήσεων, για να δημιουργήσουν χάρτη που απεικονίζει τη χωρική κατανομή των κατολισθήσεων στον ελλαδικό χώρο (LSI-Landslide Susceptibility Index). Τόνισαν την ανάγκη πληρέστερης καταγραφής του φαινομένου (ακατοίκτητες περιοχές και περιπτώσεις χωρίς ουσιαστικές επιπτώσεις), ώστε να επικαιροποιηθεί ο χάρτης και να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Αρχικά απεικόνισαν με λογισμικό GIS τη συχνότητα κατολισθήσεων ανά 100 km² με βάση τις καταγραφές (Εικόνα 7.2) και στη συνέχεια ψηφιοποίησαν δέκα παράγοντες (Λιθολογία, υψόμετρο, εδαφική κλίση, πυκνότητα λεκανών απορροής-υδρογραφικού δικτύου, ετήσια βροχόπτωση, κλιματικές συνθήκες, σεισμικότητα-PGA, κάλυψη-χρήση γης, πυκνότητα οδικού δικτύου, πυκνότητα πληθυσμού) και καθορίσανε την επίδραση του κάθε ένα από αυτούς για να δημιουργήσουν τον τελικό χάρτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κλίση του εδάφους αναδείχθηκε ως μικρής βαρύτητας παράγοντας αλλά αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι καταγραφές αφορούσαν περιοχές με μικρή ή ανύπαρκτη κλίση. Η κλίση του εδάφους αποτελεί στην πραγματικότητα σημαντικό παράγοντα συμβολής στην εκδήλωση κατολισθήσεων. Για την περίπτωση των αγωγών φυσικού αερίου, είναι επιτακτικής σημασίας η επικαιροποίηση του χάρτη ευπάθειας κατολισθήσεων και αυτό θα είναι δυνατό μόνο μέσω της πλήρους καταγραφής του φαινομένου.



Εικόνα 7.2 Χωρική κατανομή καταγεγραμμένων κατολισθήσεων (Αριστερά) και δείκτης LFI (Landslide Frequency Index) (Δεξιά). Πηγή: (Sabatakakis et al., 2013).

Ο τελικός χάρτης που φαίνεται στην Εικόνα 7.3 κρίθηκε αξιόπιστος με βάση τις μετέπειτα καταγεγραμμένες κατολισθήσεις αλλά δύναται να καταστεί ακριβέστερος όπως προαναφέραμε. Περαιτέρω επικαιροποίηση αυτού θα βοηθήσει στον ορθότερο σχεδιασμό των δικτύων, όπως για παράδειγμα του αγωγού EastMed που θα διέρχεται από περιοχές ευπαθείς σε κατολισθήσεις. Παράλληλα θα είναι δυνατή η αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση-πρόληψη ατυχημάτων, αφού θα παρέχεται πλέον η δυνατότητα να εστιαστούν οι έλεγχοι σε συγκεκριμένες περιοχές του δικτύου,

μετά την εκδήλωση ισχυρών βροχοπτώσεων και σεισμικών φαινομένων και να καθορίσουμε περιοχές περιοδικών ελέγχων.



Εικόνα 7.3 Χάρτης ζωνοποίησης που απεικονίζει τη χωρική κατανομή του δείκτη LSI (Landslide Susceptibility Index) (Αριστερά) και συμπερίληψη νέων καταγεγραμμένων συμβάντων για επικύρωση των αποτελεσμάτων της έρευνας (Δεξιά). Πηγή: (Sabatakakis et al., 2013).

7.4.4. Πλημμύρες

Στο συνέδριο Pipeline Conference and Exposition που διεξήχθη στο Ρίο (Ferris et al., 2015), προτάθηκε η χρήση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος παρακολούθησης πλημμυρών. Η παρακολούθηση του ρυθμού απορροής σε τμήματα των αγωγών που διασταυρώνονται με το υδρογραφικό δίκτυο, παρέχει στους διαχειριστικούς φορείς τη δυνατότητα έγκαιρης προειδοποίησης και συγκεκριμένα για την πιθανότητα αστοχίας υπό πλημμυρικές συνθήκες. Σε συνδυασμό με τη χρήση κατάλληλων σχεδίων δράσης, οι επιπτώσεις δύναται να μετριαστούν ή και να αποφευχθούν. Το σύστημα παρακολούθησης προσφέρει εκτιμήσεις για την έκθεση και την αστοχία του αγωγού, μέσω αισθητήρων που μεταδίδουν πληροφορίες σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (αυτοματοποιημένη ειδοποίηση μέσω e-mail κ.λ.π.). Επιπρόσθετα, παράγονται αυτοματοποιημένες ημερήσιες αναφορές με ποσοτικά δεδομένα, με σκοπό την περαιτέρω ανάπτυξη του συστήματος. Για τον καθορισμό των ορίων προειδοποίησης κατά περίπτωση, προέβησαν σε ανάλυση της συχνότητας πλημμύρας (Flood Frequency Analysis) για να καθορίσουν τα αναμενόμενα επίπεδα πλημμύρας (περίοδος επιστροφής και ρυθμός απορροής), εκτίμησαν την αναμενόμενη ταχύτητα και βάθος των υδάτων και συγκρίνανε το βάθος του θαμμένου αγωγού με την υπολογιζόμενη αποσάθρωση του πυθμένα (λόγω της κίνησης των υδάτων). Έτσι υπολογίσανε την πιθανότητα έκθεσης του αγωγού. Η χρήση του συστήματος προαπαιτεί την εγκατάσταση και συντήρηση πολλών αισθητήρων και την καταγραφή των δεδομένων τους, για να είναι δυνατή η ανάλυση αυτών και ο καθορισμός των προαναφερθέντων. Δύναται φυσικά να χρησιμοποιηθούν και ιστορικά αρχεία με τις μέγιστες τιμές απορροής, αλλά για τη βελτιστοποίηση του συστήματος απαιτούνται αισθητήρες. Αναφέρεται ο όρος *critical free span length*, ο οποίος αναφέρεται στην τιμή εκείνη του μήκους ενός μη στηριζόμενου αγωγού, όπου η συχνότητα ταλάντωσης ισούται με την ιδιοσυχνότητα αυτού και οδηγεί συνήθως στην

αστοχία λόγω κόπωσης. Μελετήθηκαν αγωγοί διαμέτρου 3 έως 24 ιντσών και πάχους 3,18 με 7,92 χιλιοστών. Διαπιστώθηκε ότι η τιμή του *critical free span length* αυξάνει όταν αυξάνει η διάμετρος του αγωγού, ελαττώνεται με την αύξηση της ταχύτητας των υδάτων και αυξάνεται ελαφρώς με την αύξηση του πάχους του αγωγού.

Το εν λόγω σύστημα εφαρμόστηκε πρώτη φορά το 2013 και μετά από ένα χρόνο λειτουργίας αναδείχθηκαν σημαντικά συμπεράσματα. Σε 8 από τις 15 τοποθεσίες όπου ξεπεράστηκε το ενδιάμεσο όριο του συστήματος (όριο στο οποίο οι διαχειριστικοί φορείς λαμβάνανε μέτρα στο πεδίο), παρατηρήθηκαν σημαντικές μόνιμες αλλαγές στη δομή του πυθμένα και στις όχθες των ποταμών. Στις περιπτώσεις αυτές, διαπιστώθηκε μετέπειτα στην έρευνα πεδίου, η ανάγκη έργων επιδιόρθωσης και μέτρων μετριασμού. Σε έξι τοποθεσίες δεν διαπιστώθηκαν μόνιμες αλλαγές σε σημαντικό βαθμό αλλά αυτό οφείλεται πιθανόν στην επανακαθίζηση του πυθμένα μετά την εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου. Σε μια μονάχα τοποθεσία, η αύξηση του πλάτους του ποταμού οδήγησε σε εκ νέου θάψιμο του αγωγού. Το σύστημα κρίθηκε ως αποτελεσματικό και συμπεραίνεται ότι η υιοθέτηση του στην Ελλάδα θα συμβάλλει στην πρόληψη και το μετριασμό των επιπτώσεων σε αγωγούς σχετικά με τον πλημμυρικό κίνδυνο (Ferris et al., 2015).

7.4.5. Πυρκαγιές

Το DISARM (Drought and Fire Observatory and Early Warning System), αποτελεί ένα ευρωπαϊκό ερευνητικό έργο που χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα διακρατικής συνεργασίας Interreg V-B Balkan-Mediterranean 2014-2020, την Ε.Ε. και εθνικούς πόρους. Αφορά την παρακολούθηση και πρόγνωση του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς, βασίζεται κυρίως σε τεχνολογίες δορυφορικής επιτήρησης και στη χώρα μας συντονίζεται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (METEO). Μέσω του DISARM επιτυγχάνεται η εκτίμηση της επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών, παρακολουθούνται οι εστίες αυτών και με το εξειδικευμένο σύστημα πρόγνωσης της εξάπλωσης (IRIS-Rapid Response fire Spread Forecasting System), παράγεται εξάωρη και εικοσιτετράωρη πρόγνωση της ταχύτητας εξάπλωσης, της έντασης και της περιμέτρου της πυρκαγιάς, σε μόλις 15 με 60 λεπτά από την ενεργοποίηση του συστήματος. Το IRIS λαμβάνει υπόψη τις καιρικές συνθήκες (προγνωστικά μοντέλα) και τοπογραφικά δεδομένα, δεδομένα χρήσης γης υψηλής-πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης και τα αποτελέσματα του μοντέλου απεικονίζονται σε χάρτες ανάλυσης 100 μέτρων. Λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα ταυτόχρονης εκδήλωσης πυρκαγιάς και διαρροής φυσικού αερίου, αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την αποφυγή Natech καταστροφών. Το IRIS χρησιμοποιεί 15 τύπους καύσιμης ύλης που είναι διαθέσιμα μέσω του COPERNICUS και είναι δυνατή η εισαγωγή συντελεστών προσαρμογής μέσω της σύγκρισης των πειραματικών με των πραγματικών δεδομένων, για να εκτελείται ακόμα πιο ακριβής και αξιόπιστη πρόγνωση. Το 2019, εκδόθηκε επιστημονική έρευνα σχετικά με τη βελτίωση του IRIS. Συγκεκριμένα διερευνήθηκε η παραμετροποίηση για τον εντοπισμό εστιών, υπολογισμός για την υγρασία της καύσιμης ύλης, παραμετροποίηση για τις ριπές ανέμου και η δυνατότητα μικρό-συντονισμού για τη συνεχή επικαιροποίηση του μοντέλου. Οι προαναφερθέντες βελτιώσεις εκτιμάται ότι θα ενσωματωθούν εντός της επόμενης διετίας. Στα θετικά συγκαταλέγεται και η δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων σε προγράμματα GIS (Ηγουμενίδη, 2020);(Γιάνναρος, Κοτρώνη, & Λαγουβάρδος, 2019).

7.5. Σύνοψη

Όσο αναπτύσσεται το δίκτυο φυσικού αερίου στη χώρα μας από διαφορετικούς φορείς και επηρεάζει ολοένα και περισσότερη έκταση, τόσο μεγαλύτερη βαρύτητα πρέπει να δίνεται στην πιθανότητα εκδήλωσης ενός καταστροφικού σεναρίου. Μελέτες περιπτώσεων διάφορων επιστημονικών μελετών προσφέρουν πολύτιμη γνώση είτε πειραματική, είτε εμπειρική. Η συγκέντρωση αυτής είναι σημαντική, διότι τα καταστροφικά συμβάντα εξελίσσονται συχνά διαφορετικά από το αναμενόμενο και ανακαλύπτονται συνεχώς νέοι παράγοντες που δεν λαμβάνονταν υπόψη στο παρελθόν. Βελτιώνονται έτσι οι υπάρχουσες μεθοδολογίες και πρακτικές. Οι φορείς λαμβάνουν φυσικά μέτρα για να αποφεύγονται οι ακούσιες διαρροές και να αντιμετωπίζονται οι καταστάσεις ανάγκης αλλά θα διαπιστωθεί μελλοντικά η αποτελεσματικότητα και η πληρότητα αυτών. Παράλληλα το νομικό πλαίσιο πρέπει να αναθεωρείται τακτικά, σε συνοχή τόσο με τις Οδηγίες της Ε.Ε., όσο και με τις αλλαγές στον ενεργειακό χάρτη της Ελλάδας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση των κανόνων ασφαλείας και τη δημιουργία κανονιστικών ρυθμίσεων που θα συμβάλουν στην πρόληψη, ως το πρώτο και κυριότερο στάδιο για τη διαχείριση μιας καταστροφής. Το γενικό κοινό, οι ερευνητικοί φορείς και οι πανεπιστημιακοί φορείς, μπορούν να ενισχύσουν περαιτέρω την ασφάλεια αλλά απαιτείται η πρόσβαση σε πληροφορίες και δεδομένα για να είναι δυνατή και αποτελεσματική η συμβολή τους. Η παραγωγή νέων δεδομένων και η επικαιροποίηση των ήδη υπαρχόντων, θα έχει ως αποτέλεσμα την ορθή χαρτογράφηση των φυσικών και τεχνολογικών κινδύνων για τους αγωγούς. Αυτό θα συμβάλει και στην αποτελεσματική συμπερίληψη των Natech σεναρίων στις αναλύσεις NRA, αναβαθμίζοντας αισθητά την εκτίμηση της διακινδύνευσης στη χώρα μας. Η έλλειψη δεδομένων αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στην αναβάθμιση της διαχείρισης καταστροφών στον εξεταζόμενο τομέα και αυτό θα αλλάξει μόνο αν ξεκινήσει η συστηματική και ολοκληρωμένη καταγραφή όλων των συμβάντων (τεχνολογικών, φυσικών και Natech). Η πλειοψηφία των προγραμμάτων και λογισμικών, συνδέεται έμμεσα ή άμεσα με εφαρμογές GIS. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η δημιουργία πλατφόρμας που να περιέχει τη δυνατότητα χρήσης των δεδομένων μέσω GIS καθώς η οπτικοποίηση της πληροφορίας είναι σημαντικότερη για όλα τα στάδια του κύκλου διαχείρισης των καταστροφών. Το επόμενο σημαντικό βήμα, είναι η συγκέντρωση όλων των απαραίτητων δεδομένων υπό κοινό πλαίσιο και σύστημα αναφοράς, για να είναι δυνατή η συνδυασμένη αξιοποίηση αυτών, περίπτωση ιδιαίτερα επιθυμητή για την εξέταση των Natech σεναρίων. Η συμμετοχή των φορέων σε πρωτοβουλίες όπως η SecureGas και σε βάσεις δεδομένων όπως η EGIG, προωθεί το διαμοιρασμό της γνώσης και της εμπειρίας και κρίνεται απαραίτητη καθώς συμβάλει σε όλα τα στάδια της διαχείρισης των καταστροφών. Αναπτύσσονται συνεχώς και ιδιαίτερα τις τελευταίες δυο δεκαετίες, εξειδικευμένα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης. Η υιοθέτηση και εφαρμογή αυτών είναι επιτακτικής σημασίας και σε συνδυασμό με τις διεπιστημονικές συνεργασίες που προαναφέραμε, μπορούν να αποτελέσουν ισχυρό εργαλείο στην πρόληψη και τον μετριασμό. Η τακτή θεωρητική εκπαίδευση του προσωπικού με τη συμμετοχή σε σεμινάρια και τη διεξαγωγή διαλέξεων, καθιστά αυτό ενημερωμένο και κατάλληλα καταρτισμένο σε σχέση με τις τελευταίες εξελίξεις στο χώρο. Οι περιφερειακές αυτοδιοικήσεις πρέπει να ολοκληρώσουν τις διαδικασίες εκπόνησης των εξωτερικών ΣΑΤΑΜΕ για να υφίσταται ένα αρχικό σχέδιο και μπορούν να προχωρήσουν σε διορθώσεις μελλοντικά. Τέλος οι επιχειρησιακές ασκήσεις αλλά και οι ασκήσεις επί χάρτου, επιβάλουν έμμεσα μια ανασκόπηση εφ' όλης της ύλης αφού και κάνουν δυνατό τον εντοπισμό πιθανών αδυναμιών στα σχέδια ή/και κενών στη νομοθεσία και τις προβλεπόμενες διαδικασίες. Παράλληλα η εξάσκηση μέσω ασκήσεων ενδυναμώνει την ικανότητα της κοινωνίας στην αντιμετώπιση των εξεταζόμενων καταστροφών και αναδεικνύει την ανάγκη, εφόσον υφίσταται, για επικαιροποιήσεις.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Alpert, P., Ben-Gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Yekutieli, D., Colacino, M., ... Manes, A. (2002). The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29(10), 31–1 to 31–34. <https://doi.org/10.1029/2001GL013554>
- APGA. (2020). Pipeline Incident Database. Retrieved December 29, 2020, from <https://www.apga.org.au/resources/pipeline-incident-database>
- Ayoo, C. (2020). Towards Energy Security for the Twenty-First Century. In *Energy Policy*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90872>
- Caputo, R., & Pavlides, S. (2016). The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS), version 2.0.0: A compilation of potential seismogenic sources (Mw > 5.5) in the Aegean Region. <https://doi.org/10.15160/unife/gredass/0200>
- Castiglia, M., Fierro, T., & Santucci De Magistris, F. (2020). Pipeline Performances under Earthquake-Induced Soil Liquefaction: State of the Art on Real Observations, Model Tests, and Numerical Simulations. *Shock and Vibration*, 1–20. <https://doi.org/10.1155/2020/8874200>
- CER. (2020). CER – Incident Data. Retrieved December 11, 2020, from <https://www.cer-rec.gc.ca/en/safety-environment/industry-performance/interactive-pipeline/incident-data.html>
- Chen, C. hung, Sheen, Y. N., & Wang, H. Y. (2016). Case analysis of catastrophic underground pipeline gas explosion in Taiwan. *Engineering Failure Analysis*, 65, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.03.013>
- CHRR, & CIESIN. (2005). Global Earthquake Hazard Distribution - Peak Ground Acceleration. Retrieved October 25, 2020, from <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/ndh-earthquake-distribution-peak-ground-acceleration>
- Cruz, A. M., & Suarez-Paba, M. C. (2019). Advances in Natech research: An overview. *Progress in Disaster Science*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100013>
- Dessanti, D., & Peterson, A. (2014). *Flood planning for natural gas utilities: Lessons learned and best practices*. Northeast Gas Association. Retrieved from <https://www.northeastgas.org/publications.php>
- EEA. (2018). Copernicus Land Monitoring Service. Retrieved October 25, 2020, from <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- EGIG. (2018). *10th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2016)*. European Gas Pipeline Incident Data Group. Retrieved from <https://www.egig.eu/reports>
- EIA. (2017). Today in Energy. Retrieved September 13, 2020, from <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=32912>
- EIA. (2019). Natural gas explained. Retrieved September 13, 2020, from <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/>
- EM-DAT CRED. (2020a). EM-DAT Public Mapping Tool. Retrieved November 16, 2020, from <https://public.emdat.be/mapping>
- EM-DAT CRED. (2020b). Explanatory Notes. Retrieved November 16, 2020, from <https://www.emdat.be/explanatory-notes>

- Enerdata. (2019). Global Energy Statistical yearbook 2020. Retrieved November 8, 2020, from <https://yearbook.enerdata.net/natural-gas/gas-consumption-data.html>
- Entsog. (2020). Transmission Capacity and System Development Maps. Retrieved October 16, 2020, from <https://www.entsog.eu/maps#transmission-capacity-map-2019>
- EUR-Lex. (2011). Πρωτόκολλο του Κυότο για τις κλιματικές μεταβολές. Retrieved November 18, 2020, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128060>
- European Commission. (2020a). INSPIRE Geoportal Datasets - Natural Risk Zones. Retrieved November 18, 2020, from <https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/overview.html?view=themeOverview&theme=nz>
- European Commission. (2020b). INSPIRE Knowledge Base. Retrieved November 18, 2020, from <https://inspire.ec.europa.eu/>
- FEMA. (2019). Hazus Import a ShakeMap for an Earthquake Scenario. Retrieved December 6, 2020, from https://www.youtube.com/watch?v=3wTM7fyGvM8&ab_channel=FEMA
- FEMA. (2020). Hazus. Retrieved December 7, 2020, from <https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/hazus>
- Ferris, G., Newton, S., Ho, M., Eichhorn, G., & Bear, D. (2015). Flood Monitoring for Buried Pipeline Watercourse Crossings. In *Rio Pipeline Conference and Exposition 2015*. Rio de Janiro: IBP. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/309610471_Flood_Monitoring_for_Buried_Pipeline_Watercourse_Crossings
- Ganter, S., Srivastana, K., Vogelbacher, G., Finger, J., Vamanu, B., Kopustinskas, V., ... Stolz, A. (2020). Towards Risk and Resilience Quantification of Gas Networks based on Numerical Simulation and Statistical Event Assessment. In *Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference*. Venice: ESREL 2020 PSAM 15. Retrieved from <https://www.rpsonline.com.sg/proceedings/esrel2020/html/3971.xml>
- Girgin, S., & Krausmann, E. (2014). Onshore Natural Gas and Hazardous Liquid Pipeline Natchs in the USA: Analysis of PHMSA Incident Reports. In *2014 10th International Pipeline Conference - IPC2014* (p. 10). Calgary, Alberta, Canada: ASME. <https://doi.org/10.1115/IPC2014-33366>
- Girgin, Serkan, Necci, A., & Krausmann, E. (2019). Dealing with cascading multi-hazard risks in national risk assessment: The case of Natch accidents. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101072>
- Google. (2020). Earth Versions. Retrieved October 25, 2020, from <https://www.google.com/earth/versions/>
- Government of Canada. (2019). Pipeline transportation occurrence data from January 1979 - Open Government Portal. Retrieved December 11, 2020, from <https://open.canada.ca/data/en/dataset/3f273148-3aaf-4194-b846-04fbf524e476>
- GRDP. (2020). Global Risk Data Platform. Retrieved September 13, 2020, from <https://preview.grid.unep.ch/index.php?preview=map&lang=eng>
- Haring, I., Ganter, S., Finger, J., Srivastana, K., Agrafioti, E., Fuggini, C., & Bolletta, F. (2020). Panarchy Process for Risk Control and Resilience Quantification and Improvement. In *Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference*. Venice: ESREL 2020 PSAM 15. Retrieved from <https://www.rpsonline.com.sg/proceedings/esrel2020/html/4264.xml>
- Hromada, M., Rehak, D., & Walker, N. (2020). Electricity Infrastructure Technical Security:

- Practical Application and Best Practices of Risk Assessment. In *Safety and Security Issues in Technical Infrastructures* (pp. 1–30). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3059-7.ch001>
- IGI Poseidon. (2020). Eastmed. Retrieved November 18, 2020, from <http://www.igi-poseidon.com/en/eastmed>
- Jahangiri, V., & Shakib, H. (2018). Seismic risk assessment of buried steel gas pipelines under seismic wave propagation based on fragility analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(3), 1571–1605. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0260-1>
- Ji, T., Qian, X., Yuan, M., Wang, D., He, J., Xu, W., & You, Q. (2017). Case study of a natural gas explosion in Beijing, China. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 49, 401–410. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.07.013>
- JRC. (2011). eNatech Database. Retrieved December 28, 2020, from https://enatech.jrc.ec.europa.eu/error_pages/maintenance_enatech.html
- Kandalgaonkar, S., Tinmaker, M., Kulkarni, J., Nath, A., Kulkarni, M., & Trimbake, H. (2005). Spatio-temporal variability of lightning activity over the Indian region. *Journal of Geophysical Research*, 110(D11), D11108. <https://doi.org/10.1029/2004JD005631>
- Karakostas, K. (2020). Disaster Report – Apps on Google Play. Retrieved January 15, 2021, from <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.karakostas.disasterreport>
- Kijima, H., Takato, K., & Murakawa, K. (2011). Lightning Protection for Gas-Pipelines installed under the Ground. *International Journal of Systems Applications, Engineering and Development*, 5(1), 117–126.
- Kramer, S., & Upsall, S. B. (2006). Instrumental Intensity Scales for Geohazards. In *Proceedings Geohazards Engineering Conferences International*. Retrieved from <http://dc.engconfintl.org/geohazards/11>
- Krausmann, E., Cozzani, V., Salzano, E., & Renni, E. (2011). Industrial accidents triggered by natural hazards: An emerging risk issue. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(3), 921–929. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-921-2011>
- Lanzano, G., Salzano, E., De Magistris, F. S., & Fabbrocino, G. (2013). Seismic vulnerability of natural gas pipelines. *Reliability Engineering and System Safety*, 117, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2013.03.019>
- Liaw, H. J. (2016). Lessons in process safety management learned in the Kaohsiung gas explosion accident in Taiwan. *Process Safety Progress*, 35(3), 228–232. <https://doi.org/10.1002/prs.11818>
- Lyons, C. J., Goodfellow, G. D., & Haswell, V. J. (2020). *UKOPA Pipeline Product Loss Incidents and Faults Report (1962-2018)*. Ambergate UK. Retrieved from <https://www.ukopa.co.uk/published-documents/ukopa-reports/>
- Marinos, V., Stoumpos, G., Papathanassiou, G., Grendas, N., Papouli, D., & Papazachos, C. (2016). Landslide Geohazard for Pipelines of Natural Gas Transport. In *Proceedings of the 14th International Congress - Bulletin of the Geological Society of Greece* (Vol. L, pp. 845–853). Thessaloniki.
- Mishra, K. B., & Wehrstedt, K. D. (2015). Underground gas pipeline explosion and fire: CFD based assessment of foreseeability. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 24, 526–542. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.04.010>
- Mishra, K. B., Wehrstedt, K. D., & Krebs, H. (2013). Lessons learned from recent fuel storage fires. *Fuel Processing Technology*, 107, 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.08.003>

- Nastos, P. T., Matsangouras, I. T., & Chronis, T. G. (2014). Spatio-temporal analysis of lightning activity over Greece - Preliminary results derived from the recent state precision lightning network. *Atmospheric Research*, 144, 207–217. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.021>
- Nastos, P., & Zeferos, C. (2010). Climate Change and precipitation in Greece. *Hellenic Journal OfGeosciences*, 45, 185–192.
- National Observatory of Athens - Institute of Geodynamics. (2020). Hellenic Strong Motion Network - ShakeMaps. Retrieved December 5, 2020, from <https://accelnet.gein.noa.gr/shakemaps/>
- OECD. (2018). *National Risk Assessments: A Cross Country Perspective*. Paris. [https://doi.org/ISBN 978-92-64-28753-2](https://doi.org/ISBN%20978-92-64-28753-2) (PDF)
- OpenStreetMap Contributors. (2020). OpenStreetMap. Retrieved October 25, 2020, from <https://www.openstreetmap.org/export#map=8/41.115/23.824>
- PAPA. (2020). Pipeline Association for Public Awareness Training Website. Retrieved December 20, 2020, from <https://training.pipelineawareness.org/>
- PHMSA. (2020). Pipeline Incident 20 Year Trends. Retrieved December 28, 2020, from <https://www.phmsa.dot.gov/data-and-statistics/pipeline/pipeline-incident-20-year-trends>
- Piccinelli, R., & Krausmann, E. (2013). *Analysis of natech risk for pipelines: A review*. <https://doi.org/10.2788/42532>
- Pipeline Safety Trust. (2020). Pipeline Incidents allstates. Retrieved November 17, 2020, from <http://pstrust.org/maps/index.php?state=allstates&pos=1#>
- QGIS. (2020). QGIS - A Free and Open Source Geographic Information System. Retrieved October 25, 2020, from <https://qgis.org/en/site/>
- Rehak, D., Hromada, M., Gkotsis, I., Gazi, A., Agrafioti, E., Chalkidou, A., ... Fuggini, C. (2020). Validation Strategy as a Part of the European Gas Network Protection. In *Issues on Risk Analysis for Critical Infrastructure Protection [Working Title]*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94644>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2019). Fossil Fuels. Retrieved November 4, 2020, from <https://ourworldindata.org/fossil-fuels>
- Rozelle, J., Bausch, D., & Seligson, H. A. (2019). Hazus Earthquake Model. FEMA Standard Operating Procedure for Hazus Earthquake Data Preparation and Scenario Analysis. Retrieved December 7, 2020, from https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-09/fema_hazus_earthquake-sop.pdf
- Sabatakakis, N., Koukis, G., Vassiliades, E., & Lainas, S. (2013). Landslide susceptibility zonation in Greece. *Natural Hazards*, 65(1), 523–543. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0381-4>
- SecureGas. (2020). Home Page - Securegas. Retrieved December 25, 2020, from <https://www.securegas-project.eu/>
- Siddi, M. (2019). The EU's Botched Geopolitical Approach to External Energy Policy: The Case of the Southern Gas Corridor. *Geopolitics*, 24(1), 124–144. <https://doi.org/10.1080/14650045.2017.1416606>
- Symonds, C. (2018). Experience with the Australian / New Zealand Pipeline Incident Database. Retrieved December 26, 2020, from https://www.apga.org.au/sites/default/files/uploaded-content/field_f_content_file/colin_symonds_pipeline_integrity_specialist.pdf
- TAP. (2020a). TAP HSE – Apps on Google Play. Retrieved January 15, 2021, from https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tap_ag.hse

- TAP. (2020b). ΜΠΚΕ για την Ελλάδα Trans Adriatic Pipeline (TAP). Retrieved November 9, 2020, from <https://www.tap-ag.gr/viosimhoteta/heggrapha-mpke/mpke-gia-ten-ellhada-sta-ellenikha>
- TAP. (2020c). Ο Διαδριατικός Αγωγός Φυσικού Αερίου TAP έχει ολοκληρωθεί. Retrieved November 18, 2020, from <https://www.tap-ag.gr/nhea/nhea-eidheseis/o-diadriatikos-agoghos-physikohu-aerhioy-tar-hechei-oloklerotheti>
- TAP. (2020d). Όδευση και υποδομή του TAP. Retrieved October 25, 2020, from <https://www.tap-ag.gr/ypodomhe-leitoyrghia/h-hodeyse-kai-ypodomhe-toy-tap>
- TAP. (2020ε). Τηλεφώνησε πριν σκάψεις Trans Adriatic Pipeline (TAP). Retrieved January 15, 2021, from <https://www.tap-ag.gr/ge-kai-idiokthetes/telephhones-prin-skhapsis>
- United Nations. (2014). Safety Guidelines and Good Practices for Pipelines. Retrieved November 10, 2020, from <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2015/TEIA/publications/Pipelines-Layout-WEB.pdf>
- United States EPA. (2016). ALOHA Software - CAMEO (Computer-Aided Management of Emergency Operations). Retrieved October 25, 2020, from <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>
- Warr, B. S., & Ayres, R. U. (2010). Evidence of causality between the quantity and quality of energy consumption and economic growth. *Energy*, 35(4), 1688–1693. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.12.017>
- Wikipedia. (2020). Demographics of Taiwan. Retrieved October 23, 2020, from https://en.wikipedia.org/wiki/Demographics_of_Taiwan
- ΓΓΠΠ. (2020). 3η Έκδοση Γενικού Σχεδίου Αντιμετώπισης Τεχνολογικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης (Γενικό ΣΑΤΑΜΕ) με την κωδική ονομασία «ΗΡΑΚΛΕΙΤΟΣ».
- Γιάνναρος, Θ., Κοτρώνη, Β., & Λαγουβάρδος, Κ. (2019). Ανάπτυξη προγνωστικού συστήματος ταχείας απόκρισης για την πρόγνωση της εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών στα πλαίσια του προγράμματος DISARM. Retrieved January 15, 2021, from https://edcm.edu.gr/images/news/hdrf/presentations/07_Giannaros-DISARM-IRIS.pdf
- ΔΕΣΦΑ. (2019). A case study on lightning strikes on the integrity of gas pipelines - desfa.gr. Retrieved December 28, 2020, from <https://www.desfa.gr/en/press-center/press-releases/meleth-epidrashs-keraynikwn-plhgmatawn-sthn-akeraiothta-agwgwn-fysikoy-aerioy-dhmosieysh-se-periodiko-ths-ieee>
- ΔΕΣΦΑ. (2020). Τηλεφώνησε πριν σκάψεις ΔΕΣΦΑ. Retrieved January 15, 2021, from <https://www.desfa.gr/userfiles/brochurepdf/enimerwtiko-entypo-tilefwnise-prin-skapsis.pdf>
- ΕΔΕΥ. (2020). Έρευνα. Retrieved November 18, 2020, from https://www.greekhydrocarbons.gr/gr/ExplorationDevelopmentProduction_gr.html
- ΕΚΠΑ - EDCM. (2020). 3ο Επιστημονικό Forum για τη Μείωση της Διακινδύνευσης από Καταστροφές στην Ελλάδα. Retrieved December 28, 2020, from <https://edcm.edu.gr/en/hdrf-2020/3o-forum>
- Ελληνική Δημοκρατία. (2005). Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας Αρ. Φύλλου 224 12 Σεπτεμβρίου 2005 Ν.3387.
- Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2007). Οδηγία 2007/2/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 14ης Μαρτίου 2007. Retrieved November 18, 2020, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex%3A32007L0002>
- Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2008). Οδηγία 2008/114/EK του Συμβουλίου της

- 8ης Δεκεμβρίου 2008. Retrieved November 8, 2020, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0114&from=EN>
- Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2009). Οδηγία 2009/73/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 13ης Ιουλίου 2009. Retrieved September 22, 2020, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex:32009L0073>
- Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2012). Οδηγία 2012/18/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Ιουλίου 2012. Retrieved September 21, 2020, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0018&from=EN>
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. (2017). Κανονισμός (ΕΕ) 2017/1938 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Οκτωβρίου 2017. Retrieved November 8, 2020, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32017R1938&from=EN>
- Ευρωπαϊκό Συμβούλιο. (2020). Συμφωνία των Παρισίων για την κλιματική αλλαγή. Retrieved November 18, 2020, from <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change/paris-agreement/>
- Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. (2012a). *Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας Αρ. Φύλλου 2026/Β/ΚΥΑ Δ3/Α/8857/20 Ιουνίου 2012 Τροποποίηση του Δ3/Α/οικ.4303/22-02-2012 Τεχνικού Κανονισμού «Συστήματα μεταφοράς Φυσικού Αερίου με Μέγιστη Πίεση Λειτουργίας άνω των 16 bar» (ΦΕΚ 603/Β/5* .
- Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. (2012b). Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας Αρ. Φύλλου 603/Β/5 Μαρτίου 2012. Retrieved from http://www.nomoskopio.gr/a_d3-a_4303_12.php?toc=0&printWindow&
- Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. (2016). *Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας Αρ. Φύλλου 354 17 Φεβρουαρίου 2016 ΚΥΑ 172058*.
- Ηγουμενίδη, Τ. (2020). Δρ. Βάσω Κοτρώνη: Το DISARM είναι εργαλείο για την προστασία του περιβάλλοντος. Retrieved January 15, 2021, from <https://www.naftemporiki.gr/story/1647735/dr-baso-kotroni-to-disarm-einai-ergaleio-gia-tin-prostasia-tou-periballontos>
- Καζανάς, Κ., Μπερτάνος, Β., Κοροβέσης, Κ., Γκουντρομίχου, Χ., Τοκάκης, Β., Ρουσσάκης, Β., ... Δούσης, Α. (2018). Εγχειρίδιο: Εκπαιδεύσεις για την προστασία των Υποδομών Ζωτικής Σημασίας. Retrieved November 8, 2020, from <http://www.ciprotection.gr/images/CIPManual/CIPmanual.pdf>
- Κλεφτόπουλος, Ι., Τριδημάς, Σ., & Κυριαζής, Ν. (2011). Κύκλωπας 2011.
- Λέκκας, Ε., & Ανδρεαδάκης, Ε. (2015a). *Γεωδυναμικές Καταστροφές*. Αθήνα: ΕΚΠΑ - Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών, Κρίσεων.
- Λέκκας, Ε., & Ανδρεαδάκης, Ε. (2015b). *Εισαγωγή στη θεωρία της Διαχείρισης Καταστροφών και Κρίσεων*. Αθήνα: ΕΚΠΑ.
- Μουζάκης, Γ. (2018). *Τεχνολογικές Και Natech Καταστροφές*. Αθήνα: Γιώργος Μουζάκης - ΕΚΠΑ.
- Τσακίρης, Θ. (2018). *Η Ελληνική Ενεργειακή Γεωπολιτική από τη Βαλκανική έως τη Νοτιοανατολική Μεσόγειο*. Retrieved from www.eliamer.gr
- ΥΠΕΝ. (2020). Κατάλογος γεωχωρικών δεδομένων. Retrieved October 11, 2020, from <http://geoportal.ypen.gr/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/home>

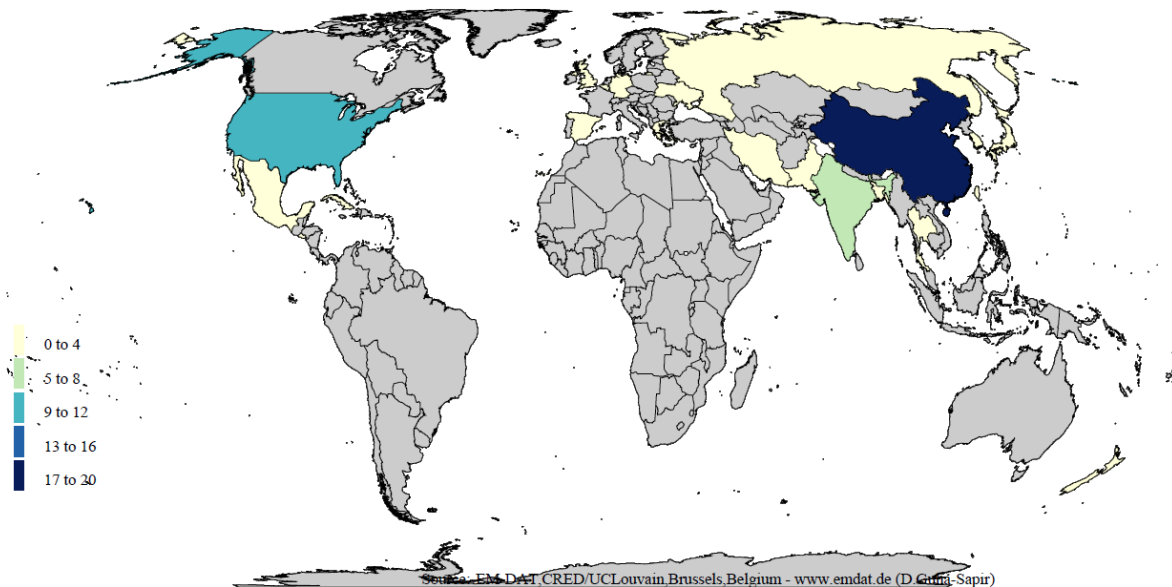
Παράρτημα

Πίνακας 1 Αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου σε χιλιάδες εκατομμύρια βαρέλια, με τα στοιχεία από το 1980-2017. Πηγή: (Αγρο, 2020).

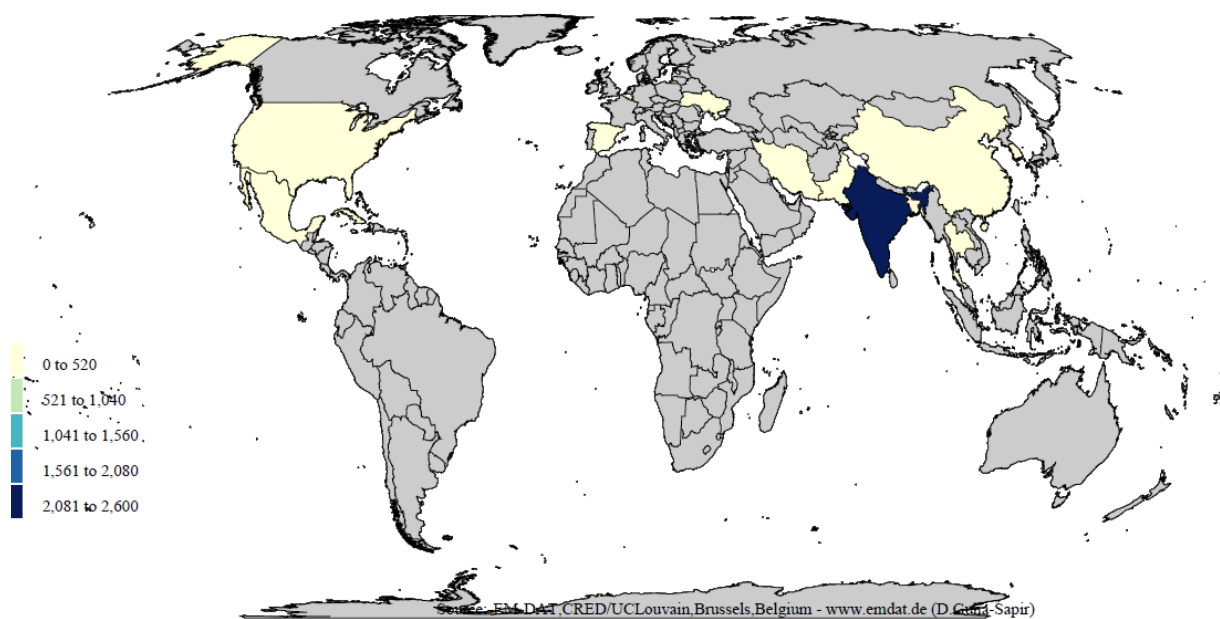
	1980	1990	2000	2010	2017
North America	123.3	125.4	232.1	221.5	226.1
South and Central America	26.9	71.5	97.9	325.2	330.1
CIS	67.0	58.4	120.5	144.5	144.9
Europe	16.6	17.5	20.6	13.4	13.4
Middle East	362.4	659.6	696.7	765.9	807.7
Africa	53.4	58.7	93.0	124.5	126.5
Asia Pacific	33.9	36.3	40.1	48.0	48.0
World	683.5	1027.5	1300.9	1643.1	1696.6

Πίνακας 2 Αποδεδειγμένα αποθέματα φυσικού αερίου σε τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια, με τα στοιχεία από το 1980-2017. Πηγή: (Αγρο, 2020).

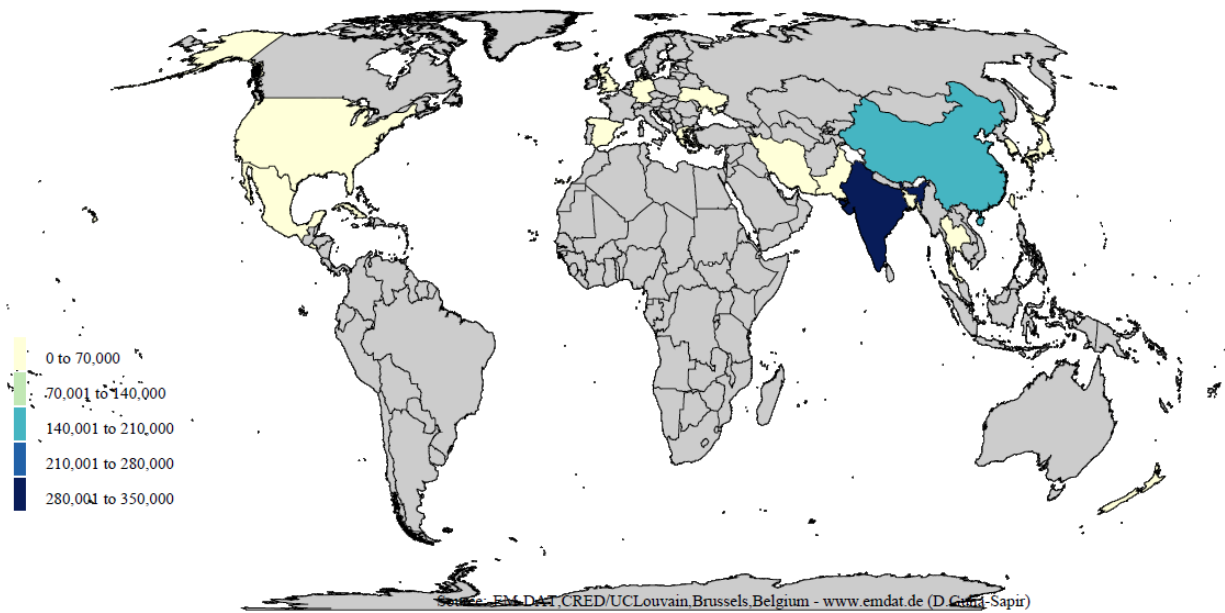
	1980	1990	2000	2010	2017
North America	9.6	9.2	7.2	10.5	10.8
South and Central America	2.8	5.5	7.3	8.1	8.2
CIS	20.5	34.9	40.3	50.0	59.2
Europe	4.2	5.2	4.7	4.4	3.0
Middle East	24.2	37.2	58.3	78.2	79.1
Africa	5.7	9.0	11.9	14.0	13.8
Asia Pacific	4.5	9.0	11.1	14.9	19.3
World	71.6	109.3	140.9	180.1	193.5



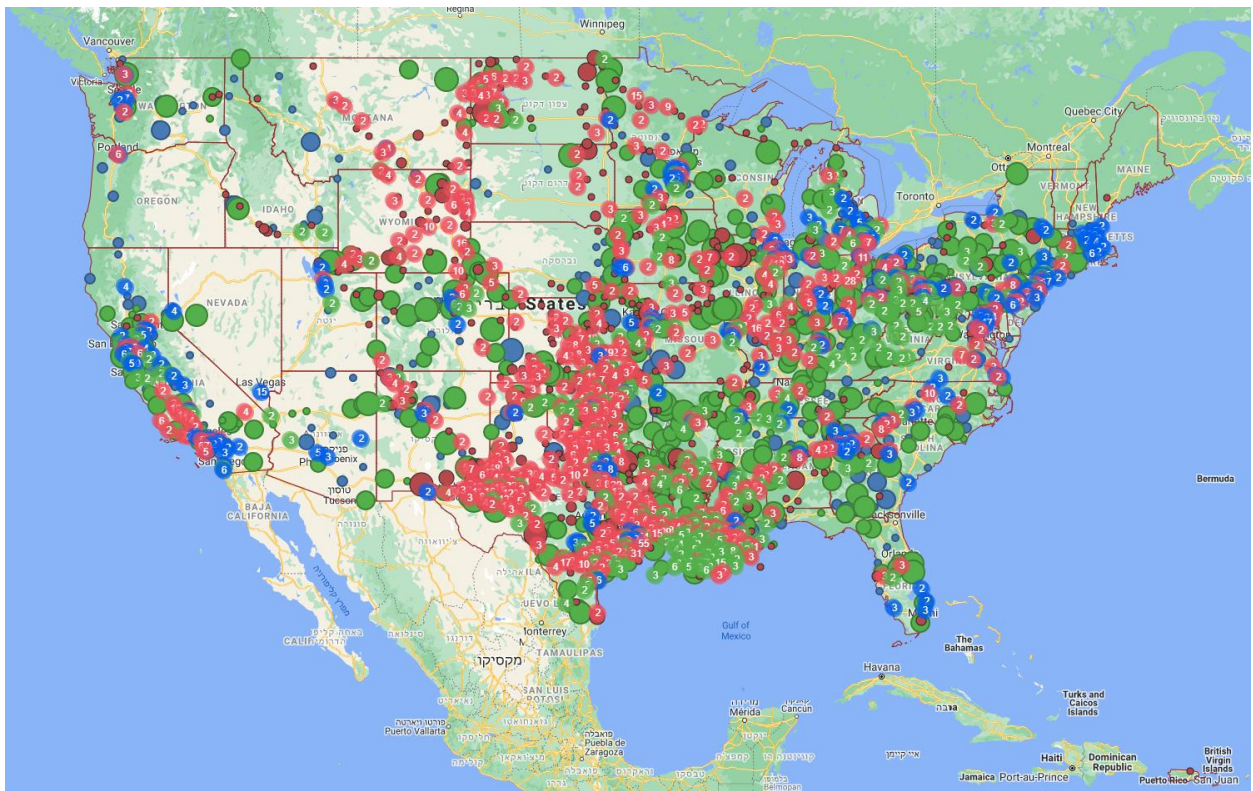
Εικόνα 1 Παγκόσμια συμβάντα καταστροφών από διαρροή φυσικού αερίου, για το χρονικό διάστημα 1900-2020. Πηγή: (EM-DAT CRED, 2020a).



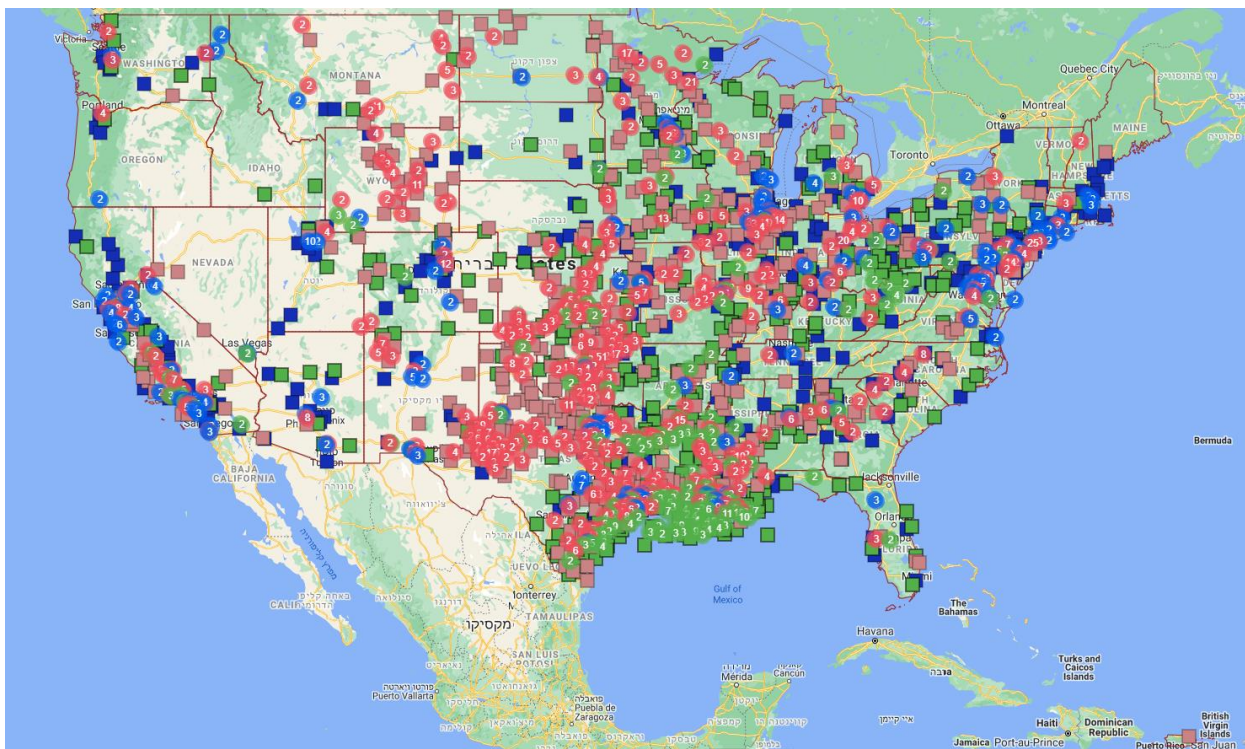
Εικόνα 2 Συνολικοί θάνατοι από καταστροφές προκαλούμενες από διαρροή φυσικού αερίου, για το χρονικό διάστημα 1900-2020. Πηγή: (EM-DAT CRED, 2020a).



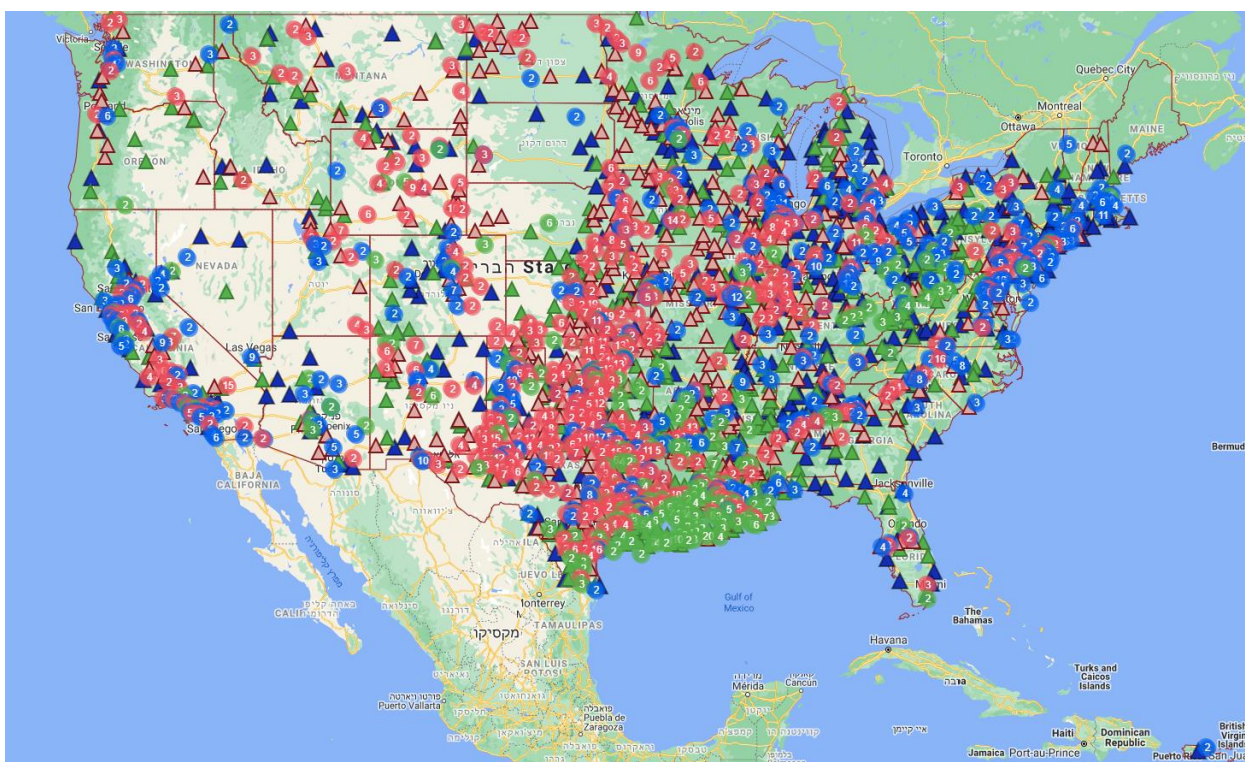
Εικόνα 3 Σύνολο επηρεασμένου πληθυσμού από καταστροφές προκαλούμενες από διαρροές φυσικού αερίου, για το χρονικό διάστημα 1900-2020. Πηγή: (EM-DAT CRED, 2020a).



Εικόνα 4 Συμβάντα διαρροής φυσικού αερίου (ΦΑ) στις ΗΠΑ (πλην Αλάσκας και Χαβάης) από το 2010 έως το 2020 (Νοέμβριος). Με πράσινο απεικονίζονται συμβάντα σε αγωγούς του κεντρικού δικτύου, με μπλε στο δίκτυο διανομής και με κόκκινο του υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ). Πηγή: (Pipeline Safety Trust, 2020).



Εικόνα 5 Συμβάντα διαρροής ΦΑ στις ΗΠΑ (πλην Αλάσκας και Χαβάης) από το 2004 έως το 2009 (Νοέμβριος). Με πράσινο απεικονίζονται συμβάντα σε αγωγούς του κεντρικού δικτύου, με μπλε στο δίκτυο διανομής και με κόκκινο του ΥΦΑ. Πηγή: (Pipeline Safety Trust, 2020).



Εικόνα 6 Συμβάντα διαρροής ΦΑ στις ΗΠΑ (πλην Αλάσκας και Χαβάης) από το 1986 έως το 2004 (Νοέμβριος). Με πράσινο απεικονίζονται συμβάντα σε αγωγούς του κεντρικού δικτύου, με μπλε στο δίκτυο διανομής και με κόκκινο του ΥΦΑ. Πηγή: (Pipeline Safety Trust, 2020).

Calendar Year	Number	Fatalities	Injuries	Calendar Year	Number	Fatalities	Injuries
2000	51	22	59	2000	7	15	16
2001	30	5	46	2001	4	2	5
2002	30	10	44	2002	4	1	4
2003	51	11	58	2003	8	1	8
2004	38	18	37	2004	2	0	2
2005	28	14	37	2005	5	0	5
2006	24	16	28	2006	6	3	3
2007	29	9	29	2007	8	2	7
2008	28	6	47	2008	5	0	5
2009	37	9	47	2009	6	0	11
2010	25	8	39	2010	6	10	61
2011	29	11	48	2011	1	0	1
2012	23	7	43	2012	3	0	7
2013	19	7	34	2013	1	0	2
2014	24	18	92	2014	2	1	1
2015	22	2	32	2015	3	6	16
2016	31	10	74	2016	4	3	3
2017	19	3	26	2017	3	3	3
2018	33	5	72	2018	3	1	7
2019	23	11	26	2019	2	1	8
Grand Total	594	202	918	Grand Total	83	49	175

Εικόνα 7 Αριθμός συμβάντων, νεκροί και τραυματίες ανά έτος από σοβαρά (serious) περιστατικά (βάσει PHMSA) (Οι καταγραφές αριστερά αφορούν το δίκτυο διανομής- Distribution και αυτές δεξιά το δίκτυο μεταφοράς - Transmission). Πηγή: (PHMSA, 2020).

Calendar Year	Number	Fatalities	Injuries	Total Cost Current Year Dollars
2000	98	22	59	\$31,243,867
2001	69	5	46	\$17,223,435
2002	65	10	44	\$31,174,748
2003	102	11	58	\$26,859,499
2004	101	18	37	\$39,021,149
2005	78	14	37	\$629,429,759
2006	60	16	28	\$21,170,745
2007	70	9	29	\$20,357,390
2008	66	6	47	\$20,756,106
2009	80	9	47	\$27,814,106
2010	55	8	39	\$21,328,717
2011	56	11	48	\$24,604,081
2012	52	7	43	\$25,939,217
2013	60	7	34	\$38,401,577
2014	60	18	92	\$75,825,702
2015	66	2	32	\$31,614,171
2016	74	10	74	\$57,037,027
2017	63	3	26	\$76,031,008
2018	74	5	72	\$1,663,629,849
2019	88	11	26	\$64,496,311
Grand Total	1,437	202	918	\$2,943,958,466

Εικόνα 8 Αριθμός συμβάντων, νεκροί, τραυματίες και οικονομική ζημιά ανά έτος από σημαντικά (significant) περιστατικά (βάσει PHMSA). Οι καταγραφές αφορούν το δίκτυο διανομής- Distribution. Πηγή: (PHMSA, 2020).

Calendar Year	Number	Fatalities	Injuries	Total Cost Current Year Dollars
2000	54	15	16	\$23,174,854
2001	50	2	5	\$17,994,306
2002	56	1	4	\$30,970,884
2003	70	1	8	\$56,160,394
2004	63	0	2	\$39,336,677
2005	111	0	5	\$360,426,723
2006	78	3	3	\$41,959,911
2007	75	2	7	\$59,537,150
2008	73	0	5	\$290,862,227
2009	73	0	11	\$60,568,428
2010	79	10	61	\$689,040,703
2011	84	0	1	\$137,379,542
2012	62	0	7	\$59,618,724
2013	71	0	2	\$53,411,093
2014	77	1	1	\$54,797,283
2015	79	6	16	\$60,392,573
2016	56	3	3	\$111,856,091
2017	65	3	3	\$80,721,449
2018	59	1	7	\$59,158,262
2019	69	1	8	\$97,648,434
Grand Total	1,404	49	175	\$2,385,015,708

Εικόνα 9 Αριθμός συμβάντων, νεκροί, τραυματίες και οικονομική ζημιά ανά έτος από σημαντικά (significant) περιστατικά (βάσει ΡΗΜΣΑ). Οι καταγραφές αφορούν το δίκτυο μεταφοράς-Transmission. Πηγή: (ΡΗΜΣΑ, 2020).



Εικόνα 10 Εικόνα της καταστροφής από την έκρηξη στο Καοσιουνγκ της Ταιβάν το 2014. Διακρίνονται το κατεστραμμένο οδικό δίκτυο και κατεστραμμένα αυτοκίνητα. Πηγή: (Liaw, 2016).



Εικόνα 11 Εικόνα της καταστροφής από την έκρηξη στο Καοσιουνγκ της Ταιβάν το 2014. Διακρίνονται κατεστραμμένα αυτοκίνητα Πηγή: (Liaw, 2016).

		Pipeline Size (Inches)											
		4	6	8	10	12	16	20	22	24	30	36	42
Pressure (psig)	100	91	137	182	228	274	365	456	502	547	684	821	958
	200	129	193	258	322	387	516	645	709	774	967	1161	1354
	300	158	237	316	395	474	632	790	869	948	1185	1422	1659
	400	182	274	365	456	547	730	912	1003	1094	1368	1642	1915
	500	204	306	408	510	612	816	1020	1122	1224	1529	1835	2141
	600	223	335	447	558	670	894	1117	1229	1340	1675	2011	2346
	700	241	362	483	603	724	965	1206	1327	1448	1810	2172	2534
	800	258	387	516	645	774	1032	1290	1419	1548	1935	2322	2709
	900	274	410	547	684	821	1094	1368	1505	1642	2052	2462	2873
	1000	288	433	577	721	865	1154	1442	1586	1730	2163	2596	3028
	1100	302	454	605	756	907	1210	1512	1664	1815	2269	2722	3176
	1200	316	474	632	790	948	1264	1580	1738	1896	2369	2843	3317
	1300	329	493	658	822	986	1315	1644	1809	1973	2466	2959	3453
	1400	341	512	682	853	1024	1365	1706	1877	2047	2559	3071	3583
1500	353	530	706	883	1060	1413	1766	1943	2119	2649	3179	3709	
1600	365	547	730	912	1094	1459	1824	2006	2189	2736	3283	3830	
1700	376	564	752	940	1128	1504	1880	2068	2256	2820	3384	3948	
1800	387	580	774	967	1161	1548	1935	2128	2322	2902	3482	4063	
1900	398	596	795	994	1193	1590	1988	2186	2385	2981	3578	4174	
2000	408	612	816	1020	1224	1631	2039	2243	2447	3059	3671	4283	
2100	418	627	836	1045	1254	1672	2090	2299	2508	3134	3761	4388	
2200	428	642	856	1069	1283	1711	2139	2353	2567	3208	3850	4492	

Εικόνα 12 Συνιστώμενες ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας (σε πόδια) για διαρροές αγωγών φυσικού αερίου. Αναφέρονται σε πλήρη διάρρηξη και υπολογίζεται μόνο η προστασία από τη θερμική ακτινοβολία για την περίπτωση πυρκαγιάς σε εξέλιξη (450 Btu/hr ft²). Παράγοντες όπως ο άνεμος δεν συνυπολογίζονται. Πηγή: (PAPA, 2020).

Gas Release in a Suburban Building

A natural gas leak inside a building is one of the most common emergencies responders face. This scenario will discuss natural gas escaping inside a building, which can lead to an explosion often with catastrophic results. Most emergency response actions taken at the natural gas emergency are the responsibility of the fire department. Law enforcement personnel, however, are typically the first to arrive on the scene. This scenario will focus on what actions any first responder should consider when responding to a natural gas emergency.

Target Audience: First Responders – Fire and/or Law Enforcement officers

Location: Suburban Community

Product: Natural Gas

Pipeline: Local Distribution Company

Overall Goals

- Understand and be aware of the signs of a gas release
 - What you see
 - What you hear
 - What you smell
- Recognize the danger of a gas release inside a building
 - Safety Tip - Be aware that odor does or does not indicate flammability. Odorant is used as a safety tool to indicate the potential presence of a natural gas release
- Understand only direct reading monitoring with a calibrated combustible gas indicator used by local utility personnel or trained emergency responders can aid in determining the risk of potential explosion.
 - "When in doubt, get them out!"

Emergency Priority Goals

- Life:
 - When occupants' safety is in doubt, evacuate the building
 - Isolate the building
 - Secure the immediate area
 - Consider adequate placement of emergency vehicles
 - Is the current placement safe?
 - Use the DOT ERG to determine the hazards and risks
 - Discuss the evacuation with first arriving utility personnel
- Stabilization:
 - As soon as possible notify the utilities (electric, etc.) to secure ignition sources
 - Contact appropriate officials
 - Natural gas officials
 - Community
 - Recognize natural gas can displace oxygen in confined areas
- Product Control:
 - If safe to do so, secure the gas by using the building valve or the specific apartment customer valve.
 - Know the difference between a main valve and a customer gas valve.
 - Never operate main valves.

Other Considerations:

- Incident Command
 - Establish and identify the Incident Commander
 - Call for additional help early on
 - Consider calling for a hazmat unit
 - Natural gas is a Hazardous Material (ERG Guide No. 115)
 - If additional help is needed consider staging
 - Establish offices of Public Information office and Safety early on
- All personnel should report any signs of the incident escalating

Εικόνα 13 Οδηγίες (Syllabus) για υποθετικό σενάριο διαρροής φυσικού αερίου, σε κτήριο στα προάστια. Πηγή: (ΡΑΡΑ, 2020).