



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Master Thesis

Διακίνηση καυσίμων μέσω αγωγών και ατυχήματα. Παρουσίαση Υδρογόνου ως καύσιμη ύλη. Μελέτη πιθανού ατυχήματος σε αγωγό διανομής υδρογόνου σε περιοχή του Ελλαδικού χώρου και εκτίμηση συνεπειών στο ευρύτερο περιβάλλον.

Distribution of fuels through pipelines and accidents. Introduction of Hydrogen as a fuel. Study of a potential accident in a hydrogen distribution pipeline in the Greek territory and impact assessment in the wider environment.

Δονάτος Δόσης/ Donatos Dosis

A.M. / R.N.: 18048

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. 2020030

Αθήνα, Ιανουάριος 2020
Athens, January 2020



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Master Thesis

Διακίνηση καυσίμων μέσω αγωγών και ατυχήματα. Παρουσίαση Υδρογόνου ως καύσιμη ύλη. Μελέτη πιθανού ατυχήματος σε αγωγή διανομής υδρογόνου σε περιοχή του Ελλαδικού χώρου και εκτίμηση συνεπειών στο ευρύτερο περιβάλλον.

Distribution of fuels through pipelines and accidents. Introduction of Hydrogen as a fuel. Study of a potential accident in a hydrogen distribution pipeline in the Greek territory and impact assessment in the wider environment.

Δονάτος Δόσης / Donatos Dosis

A.M. / R.N.: 18048

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Ε. Σκούρτσος,
Επικ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

Δρ. Σ. Λόζιος,
Επικ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

Δρ. Χ. Κράνης,
Επικ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

Εξειδικευμένη Επιστημονική Καθοδήγηση

Γ. Μουζάκης
Χημικός Μηχανικός-ΥΠΕΝ/Διεύθυνση
Περιβαλλοντικής Αδειοδότησης

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. 2020030

Αθήνα, Ιανουάριος 2020
Athens, January 2020

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	i
Πρόλογος.....	iv
Ευχαριστίες.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract.....	vii
Αφιέρωση.....	viii
Κατάλογος Πινάκων.....	ix
Κατάλογος Εικόνων.....	x
Συνομογραφίες.....	xiii
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή στις έννοιες του Κινδύνου και της Καταστροφής.....	1
1.1 Λίγα Λόγια για τον κίνδυνο.....	1
1.1.1 Αντίληψη κινδύνου.....	2
1.1.2 Κίνδυνοι κατά τη Διαχείριση Τοξικών και γενικότερα επικίνδυνων Ουσιών.....	4
1.2 Λίγα Λόγια για τις καταστροφές.....	5
1.3 Πως μία φυσική καταστροφή μπορεί να οδηγήσει σε μία τεχνολογική ή NaTech καταστροφή.....	7
Κεφάλαιο 2. Ατυχήματα Αγωγών Διανομής Καυσίμων.....	9
2.1 Εισαγωγή.....	9
2.2 Αργό Πετρέλαιο (crude oil).....	9
2.2.1 Burnaby, Καναδάς, 24 Ιουλίου 2007.....	9
2.2.2 Qingdao, Shandong, Κίνα, 22 Νοεμβρίου 2013.....	12
2.2.3 Strathcona County, Alberta, Καναδάς, 17 Φεβρουαρίου 2017.....	16
2.2.4 Krasnoarmeiskoye, Saratov στη Ρωσία, 18 Ιανουαρίου 2018.....	16
2.3 Πετρέλαιο (petroleum, diesel oil).....	17
2.3.1 Saint-Clet, Quebec, Καναδάς, 7 Δεκεμβρίου 2002.....	17
2.4 Βενζίνη (petrol, gasoline).....	17
2.4.1 Bellingham, Καναδάς, 10 Ιουνίου 1999.....	17
2.4.2 Tiahuelilipan, Χιιτάλγκο, Μεξικό, 18 Ιανουαρίου 2019.....	19
2.5 Κηροζίνη (Jet fuel, kerosene).....	21
2.6 Φυσικό Αέριο (Natural Gas, LNG).....	21
2.6.1 Wilmington, Delaware, Η.Π.Α., 2 Ιουλίου 2003.....	21
2.6.2 Fort McMurray, Alberta, Καναδάς, 17 Οκτωβρίου 2013.....	22
2.6.3 Nagaram, Kakinada, Ινδία, 27 Ιουνίου 2014.....	22
2.6.4 Μπανγκαλόρ (Bangalore), Καρνατάκα, Ινδία, 29 Απριλίου 2017.....	24
2.7 Υδρογόνο (Hydrogen).....	25
2.7.1 Heineoord, Binnenmaas, Ολλανδία, 12 Οκτωβρίου 2007.....	25
2.7.2 Kjørbo, Sandvika, Νορβηγία, 10 Ιουνίου 2019.....	25
Κεφάλαιο 3. Γνωριμία με το Υδρογόνο ως μελλοντικό καύσιμο.....	27
3.1 Εισαγωγή.....	27
3.2 Ιστορικά δρώμενα.....	27
3.2.1 Cop21-Paris Climate Conference.....	28
3.2.2 Αρχικές Παρατηρήσεις.....	29
3.3 Λίγα λόγια για το στοιχείο του Υδρογόνου.....	30
3.4 Χαρακτηριστικά.....	31
3.5 Ευφλεξιμότητα.....	31

3.6	Πως παράγεται το Υδρογόνο	32
3.6.1	Ηλεκτρόλυση.....	33
3.6.2	Θερμοχημική μετατροπή.....	33
3.6.3	Βιοχημική παραγωγή	34
3.7	Το Υδρογόνο ως Καύσιμη Ύλη και Εφαρμογές.....	34
3.7.1	Υδρογόνο & Διαστημικά Μέσα.....	34
3.7.2	Υδρογόνο & Εναέρια Μέσα	35
3.7.3	Υδρογόνο & Πλωτά Μέσα	35
3.7.4	Υδρογόνο & Σιδηροδρομικά Μέσα	35
3.7.5	Υδρογόνο & Μηχανήματα Έργου	36
3.7.6	Υδρογόνο & Λεωφορεία	36
3.7.7	Υδρογόνο & Φορτηγά.....	37
3.7.8	Υδρογόνο & Δίτροχα (Μοτοσυκλέτες).....	37
3.7.9	Υδρογόνο & Αυτοκίνητα	37
3.7.10	Άλλες Εφαρμογές.....	38
3.8	Υδρογόνο & Περιβάλλον	38
3.9	Αποθήκευση & Διανομή	39
3.10	Το καύσιμο Υδρογόνου στον παγκόσμιο χάρτη.....	41
3.10.1	Η.Π.Α. & Καλιφόρνια	41
3.10.1.1	H ₂ USA	41
3.10.1.2	CaFCP	41
3.10.2	Ευρώπη	41
3.10.2.1	FCH JU	41
3.10.2.2	H ₂ ME.....	42
3.10.2.3	EU AFID directive.....	42
3.10.3	Ιαπωνία.....	42
3.10.3.1	H ₂ SUT	42
3.10.4	Γερμανία	43
3.10.4.1	CEP	43
3.10.4.2	H ₂ Mobility	43
3.10.4.3	Άλλες μελέτες και έρευνες	43
3.10.5	Ελλάδα.....	43
3.10.5.1	ΔΕΣΦΑ - NATURALHY	43
3.10.5.2	Ελληνικά Πετρέλαια.....	44
3.10.5.3	Νομοθετικό πλαίσιο.....	44

Κεφάλαιο 4. Σενάριο Υποθετικού Ατυχήματος Σε Αγωγό Διακίνησης Υδρογόνου

		45
4.1	Περιγραφή – Επιλογή Σημείου Υποθετικού Ατυχήματος.....	45
4.2	Χρήσιμα Στοιχεία.....	47
4.2.1	Πιθανά Ατυχήματα σε Αγωγό Διανομής Αέριου Καυσίμου (Υδρογόνου) ..	48
4.2.1.1	Έκρηξη αερίου νέφους (UVCE).....	48
4.2.1.2	Γλώσσα φωτιάς (jet fire).....	48
4.2.1.3	Στιγμιαία ανάφλεξη αερίου νέφους (flash fire).....	49
4.2.1.4	Ζώνες Επικινδυνότητας.....	49
4.3	Υπόθεση Σεναρίου	52
4.4	Πίνακας Δεδομένων Υποθετικών Σεναρίων.....	52
4.5	Αποτελέσματα Σεναρίου Α	54
4.5.1	Αρχικές παρατηρήσεις.....	54
4.5.2	Πιθανό Αποτέλεσμα Α1.....	55
4.5.3	Πιθανό Αποτέλεσμα Α2.1	55
4.5.4	Πιθανό Αποτέλεσμα Α2.2.....	58
4.5.5	Πιθανό Αποτέλεσμα Α3.....	61
4.6	Αποτελέσματα Σεναρίου Β	64

Συμπεράσματα & Προτάσεις.....	69
--	-----------

Βιβλιογραφία	71
---------------------------	-----------

Λογισμικό:.....	77
-----------------	----

Πολυμέσα:	77
-----------------	----

Ιστοσελίδες:	77
--------------------	----

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία θα δομηθεί σε τέσσερα διακριτά μέρη. Στο πρώτο κεφάλαιο θα παρασχεθούν κάποιες εισαγωγικές πληροφορίες και έννοιες και εν συνεχεία στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά σε επιλεγμένα ατυχήματα που συνέβησαν σε αγωγούς μεταφοράς διαφόρων ειδών καυσίμων. Στο τρίτο κεφάλαιο θα επιχειρηθεί η εισαγωγή των βασικών πληροφοριών, που θα βοηθήσουν στην κατανόηση του Υδρογόνου ως ένα από τα "καθαρότερα" καύσιμα και τέλος, στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί μία μελέτη περίπτωσης (case study) υποθετικού ατυχήματος σε αγωγό διανομής Υδρογόνου στην εδαφική επικράτεια του Ελλαδικού χώρου και θα γίνει παρουσίαση και εκτίμηση των τυχόν επικείμενων επιπτώσεων που θα προκληθούν.

Ευχαριστίες

Στο πλαίσιο της συγγραφικής πορείας μου, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον αξιότιμο καθηγητή κ. Γεώργιο Μουζάκη για την άρτια καθοδήγηση που μου παρείχε.

Στο πλαίσιο των σπουδών μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές και το προσωπικό του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών για την ατομική και συνολική προσπάθεια που κατέβαλαν καθημερινά, οδηγώντας σε ένα άρτιο και ολοκληρωμένο αποτέλεσμα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον Διευθυντή του Μεταπτυχιακού Προγράμματος κ. Ευθύμιο Λέκκα για την ατέρμονη θέληση και επιμονή του ως προς την προσπάθεια διατήρησης της παρεχόμενης ύψιστης ποιότητας, απ' όλες τις απόψεις, προγράμματος σπουδών.

Σε προσωπικό πλαίσιο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο και πνευματικό μου αδερφό Αθανάσιο Σπυρόπουλο για την υποστήριξη του τόσο ως προς εμένα, όσο και στην οικογένειά μου.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να εκφράσω την αστείρευτη ευγνωμοσύνη και αγάπη μου στις μούσες μου, από τις οποίες αντλώ καθημερινά δύναμη, εκτός των άλλων και για την πρόδοό μου και οι οποίες δεν είναι άλλες από την αξιαγάπητη σύζυγό μου, Σπυριδούλα και την αξιολάτρευτη κόρη μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την αγάπη μου στους γονείς μου Φώτιο και Στέλλα και στον αδερφό μου Κωνσταντίνο, χωρίς τους οποίους δεν θα κατάφερνα να γίνω ο άνθρωπος που είμαι σήμερα.

Περίληψη

Με το πέρασμα του χρόνου τα ορυκτά κοιτάσματα (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) έγιναν η κινητήριος δύναμη σχεδόν για κάθε είδους μηχανή καύσης. Με αφορμή πολλούς λόγους (πολιτικούς, οικονομικούς, περιβαλλοντολογικούς) και επειδή τα αποθέματά τους τείνουν να εξαντληθούν στο ορατό μέλλον, επιχειρείται από τον ανεπτυγμένο κόσμο η αποστροφή από την χρήση των συμβατικών καυσίμων και η μεταστροφή σε νέα πιο “καθαρά” καύσιμα, φιλικότερα προς το περιβάλλον.

Ανάμεσα στις επικρατέστερες και πολλά υποσχόμενες επιλογές, βρίσκεται το Υδρογόνο ως καύσιμο, για το οποίο τα τελευταία χρόνια οικοδομούνται γερές βάσεις και γίνονται βήματα. Σήμερα, η χρήση Υδρογόνου ως καύσιμο, συμπεριλαμβάνεται σε κάθε “καθαρή” λύση, για την αντιμετώπιση της μόλυνσης του περιβάλλοντος (μέσω της εκπομπής αερίων) στο παγκόσμιο χάρτη.

Πολλοί είναι οι τρόποι διανομής των καυσίμων, όπως για παράδειγμα με χερσαία, πλωτά ή και εναέρια μέσα, αλλά μία ουσιαστική διανομή και διακίνηση πραγματοποιείται μέσω αγωγών που εξαπλώνονται τόσο σε στεριά όσο και θάλασσα. Μέσω των αγωγών διανομής καυσίμων, τα ήδη εγκατεστημένα δίκτυα των οποίων διατρέχουν εκατοντάδες χιλιάδες χιλιόμετρα, προμηθεύουν ένα τεράστιο μέρος του παγκόσμιου χάρτη με καύσιμα.

Οι αγωγοί χρησιμοποιούνται ως μέσο διανομής και διακίνησης καυσίμων ανά την υφήλιο αρκετά χρόνια τώρα. Παρά όμως τα δρακόντεια μέτρα ασφαλείας που έχουν αναπτυχθεί όλα αυτά τα χρόνια στην κατασκευή, συντήρηση και προστασία τους από ανθρωπογενείς και περιβαλλοντολογικούς παράγοντες, έχουν σημειωθεί αρκετά ατυχήματα με ποικίλες συνέπειες στο ευρύτερο περιβάλλον.

Στην παρούσα εργασία θα γίνει αναφορά σε ατυχήματα που συνέβησαν σε αγωγούς διακίνησης και διανομής καυσίμων, καθώς και του υδρογόνου, ανά τον κόσμο και θα περιγραφεί η επιλογή του Υδρογόνου ως καύσιμη ύλη σε Ευρωπαϊκό και τοπικό επίπεδο.

Επιπρόσθετα, θα πραγματοποιηθεί μελέτη και παρουσίαση ενός πιθανού ατυχήματος σε αγωγό διανομής υδρογόνου σε περιοχή της Ελλάδας και θα γίνει εκτίμηση των συνεπειών στο ευρύτερο περιβάλλον.

Λέξεις κλειδιά: Αγωγοί διανομής καυσίμων, Ατυχήματα σε αγωγούς διανομής, Καύσιμο Υδρογόνο, Καύσιμο, Ατύχημα σε αγωγό διανομής υδρογόνου.

Abstract

Through the years' passage fossil fuels (coal, oil, natural gas) became the moving force almost in any kind of burst engine. Due to several respects (political, economical, environmental) and because of their disposals might expire in near future, there is an effort by developed countries to move from them to new more "pure" fuels, environmental friendlier.

Between the most sufficient and promising choices there is Hydrogen as fuel, for which in lately years there have been implemented some concrete basis and there is movement. Today, the use of Hydrogen as fuel, is included in any "pure" solution, world widely, as an addressing of environment pollution (caused by gas emissions).

There are many ways in fuel distribution, for instance by ground, sea or air means, but the most substantial manner of distribute and transfer fuels is by pipelines located not only on land but also in the sea. The vast majority of the planet is supplied with fuels through the already installed fuel distribution pipelines, which travel hundreds of miles.

For many years now pipelines are used as a fuel distribution and transfer mean around the globe. Despite the fact that there are sufficient safety and secure measures, developed during the years, in respect of construction, maintenance and protection from human and environmental causes, there have been noted quite a lot accidents with vary impacts on the wider environment.

In this thesis will be reported fuel distribution and transfer pipelines accidents, Hydrogen included, around the world and will be a description of Hydrogen as fuel in European and national level.

In addition, there will be a study and presentation of a case of a hypothetical accident in hydrogen distribution pipeline in Greek territory and will be an impact assessment in the wider environment.

Key Words: Fuel distribution pipelines, Distribution pipelines' accidents, Fuel of Hydrogen, Accident in hydrogen fuel pipeline.

Αφιέρωση

Στον πατέρα μου.

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1.	Πίνακας κατηγοριοποίησης κινδύνων. Πηγή: Λέκκας & Ανδρεαδάκης (2015).....	2
Πίνακας 3.1.	Χιλιομετρικές αποστάσεις που διανύουν οι αγωγοί διακίνησης Υδρογόνου ανά Ήπειρο και ανά χώρα.....	40
Πίνακας 4.1.	Διαμόρφωση Ζωνών Επικινδυνότητας βάσει ελληνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας. (Πηγή: ΦΕΚ 354B/17-02-2016).....	50
Πίνακας 4.2.	Διαμόρφωση Ζώνης Πολλαπλασιαστικών φαινομένων (domino) βάσει ελληνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας. (Πηγή: ΦΕΚ 354B/17-02-2016)	50
Πίνακας 4.3.	Δεδομένα Υποθετικού Σεναρίου.....	54

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1.	Γράφημα απεικόνισης σύγκρισης μεταξύ των πραγματικών διαστάσεων κάποιων κινδύνων και της κοινωνικής αντίληψης. Πηγή: Kennedy (2017)..	4
Εικόνα 1.2.	Απεικόνιση διαφόρων Τύπων Φυσικών Καταστροφών.	5
Εικόνα 1.3.	Παραδείγματα Τεχνολογικών Ατυχημάτων. Πηγή: https://geopoliticraticus.wordpress.com/2013/07/23/how-industrial-accidents-shape-industrial-technological-civilization/ .	6
Εικόνα 1.4.	Σχηματική απεικόνιση έκφρασης NaTech καταστροφής.	6
Εικόνα 1.5.	Εικόνες από το ατύχημα στο Εργοστάσιο Πυρηνικής Ενέργειας στη Fukushima μετά από Σεισμό και το Τσουνάμι που ακολούθησε (έτος 2011). Πηγή: ανοικτές πηγές διαδικτύου.	8
Εικόνα 2.1.	Απεικόνιση δρόμου πλημμυρισμένου από αργό πετρελαίου, Μπέρναμπι (Burnaby), Καναδάς. Αφορά το ατύχημα του αγωγού Westridge Dock Transfer Line στις 24 Ιουλίου 2007. Πηγή: CBC-Radio Canada (2007)..	8
Εικόνα 2.2.	Κηλίδα αργού πετρελαίου σε ακτή και θάλασσα, Μπέρναμπι (Burnaby), Καναδάς. Αφορά το ατύχημα του αγωγού Westridge Dock Tranfer Line στις 24 Ιουλίου 2007. Πηγή: CBC-Radio Canada (2007).	11
Εικόνα 2.3.	Απεικόνιση κάτοψης του σημείου διαρροής του αγωγού Westridge Dock Tranfer Line, Μπέρναμπι (Burnaby), Καναδάς. Πηγή: Transportation Safety Board of Canada (2007), Pipeline Investigation Report: P07H0040 (2018).	11
Εικόνα 2.4.	Υπεύθυνοι ασφαλείας της εταιρείας Sinopec επιθεωρούν αγωγό διανομής αργού πετρελαίου στη περιοχή Qingdao, Shandong, στην Κίνα, περίπου 3 ώρες πριν την επερχόμενη έκρηξη που προκλήθηκε από διαρροή, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Hong & Jing (2013).	12
Εικόνα 2.5.	Στιγμιότυπο σύννεφου καπνού μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Reuters (2013).	13
Εικόνα 2.6.	Καταστροφές σε οδικό δίκτυο μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Reuters (2013).	13
Εικόνα 2.7.	Καταστροφές σε οδικό δίκτυο μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Reuters (2013).	14
Εικόνα 2.8.	Επιχείρηση πυροσβεστών για την αντιμετώπιση κηλίδας πετρελαίου και καταστροφές μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Reuters (2013).	14
Εικόνα 2.9.	Προσπάθειες αποκατάστασης περιβαλλοντολογικής καταστροφής (κηλίδα πετρελαίου) μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Jing & Hong (2013).	15
Εικόνα 2.10.	Προσπάθειες αποκατάστασης περιβαλλοντολογικής καταστροφής (κηλίδα πετρελαίου) μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Chen (2013).	15

Εικόνα 2.11.	Στιγμιότυπο από πλάνο στο οποίο καταγράφεται το “πύρινο τοίχος” που σχηματίστηκε μετά την έκρηξη αγωγού μεταφοράς πετρελαίου, Krasnoarmeiskoye, Saratov Ρωσία, 18 Ιαν. 2018. Πηγή: Мобильный репортер official (2018).....	16
Εικόνα 2.12.	Προσπάθειες αποκατάστασης καταστροφής μετά την έκρηξη αγωγού μεταφοράς πετρελαίου, Krasnoarmeiskoye, Saratov, Ρωσία, 18 Ιαν. 2018. Πηγή: Newsmaker (2018).	17
Εικόνα 2.13.	Απεικόνιση σύννεφου καπνού που σχηματίστηκε κατά την έκρηξη αγωγού μεταφοράς βενζίνης, Bellingham, Καναδάς, 10 Ιου. 1999. Πηγή: McClary (2003).	18
Εικόνα 2.14.	Πανοραμική απεικόνιση καπνού μία μέρα μετά την έκρηξη αγωγού μεταφοράς βενζίνης, Bellingham, Καναδάς, 10 Ιου. 1999. Πηγή: McClary (2003).	19
Εικόνα 2.15.	Απεικόνιση φωτιάς μετά από έκρηξη αγωγού διανομής βενζίνης, Tlahuelilpan, Χιντάλγκο, Μεξικό, 18 Ιαν. 2019. Πηγή: Chavez et al. (2019).	20
Εικόνα 2.16.	Απεικόνιση πίδακα φωτιάς μετά από έκρηξη αγωγού διανομής βενζίνης, Tlahuelilpan, Χιντάλγκο, Μεξικό, 18 Ιαν. 2019. Πηγή: AP News (2019), προερχόμενη από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας - Secretary of National Defense.	20
Εικόνα 2.17.	Κάτοψη ακριβές σημείου όπου σημειώθηκε έκρηξη αγωγού διανομής βενζίνης, Tlahuelilpan, Χιντάλγκο, Μεξικό, 18 Ιαν. 2019. Πηγή: Chavez et al. (2019).	21
Εικόνα 2.18.	Έκρηξη σε αγωγό μεταφοράς Φυσικού Αερίου, Nagaram, Kakinada, Ινδία, 27 Ιου. 2014. Πηγή: Ranjan (2014).	23
Εικόνα 2.19.	Έκρηξη αγωγού μεταφοράς Φυσικού Αερίου, Nagaram, Kakinada, Ινδία, 27 Ιου. 2014. Πηγή: The Indian Express (b) (2014).....	23
Εικόνα 2.20.	Απεικόνιση αγωγού μεταφοράς Φυσικού Αερίου μετά από έκρηξη, Nagaram, Kakinada, Ινδία, 27 Ιου. 2014. Πηγή: The Indian Express (b)(2014).....	24
Εικόνα 2.21.	Ατύχημα σε δεξαμενή αποθήκευσης Υδρογόνου πρατηρίου καυσίμων, Kjørbo, Sandvika, Νορβηγία, 10 Ιου. 2019. Πηγή: Loeffler, J. (2019).	26
Εικόνα 3.1.	Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας παραγωγής Υδρογόνου. Πηγή Jörg et al.(2017).	32
Εικόνα 3.2.	Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας Ηλεκτρόλυσης. Πηγή: Ανοικτές πηγές διαδικτύου.....	33
Εικόνα 4.1.	Απεικόνιση δικτύου μεταφοράς Φυσικού Αερίου υψηλής πίεσης στον Ελλαδικό χώρο. (Πηγή: ΔΕΣΦΑ, www.desfa.gr/national-natural-gas-system/transmission).	45
Εικόνα 4.2.	Προσεγγιστική απεικόνιση υποθετικού κλάδου δικτύου αγωγών διακίνησης καυσίμου Υδρογόνου που ενώνει τις πόλεις/περιοχές Κόρινθος και Μεγαλόπολης Πελοποννήσου, μέσω των χαρτών του ηλεκτρονικού ιστότοπου www.google.gr/maps	46
Εικόνα 4.3.	Σχεδιάγραμμα ρυθμού απελευθέρωσης αερίου Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου Α. (Πηγή: ALOHA).....	55
Εικόνα 4.4.	Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων Σεναρίου Α, Περίπτωση Α2.1. (Πηγή: ALOHA).....	56

Εικόνα 4.5.	Σχεδιάγραμμα εξέλιξης συγκέντρωσης θερμικής ακτινοβολίας σε σημείο που απέχει 529 μέτρα από το σημείο του ατυχήματος μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου A, Περίπτωση A2.1. (Πηγή: ALOHA).....	57
Εικόνα 4.6.	Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη που επηρεάζεται μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου A, Περίπτωση A2.1. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)	58
Εικόνα 4.7.	Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη δορυφόρου που επηρεάζεται μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου A, Περίπτωση A2.1. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps).....	58
Εικόνα 4.8.	Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων Σεναρίου A, Περίπτωση A2.2. (Πηγή: ALOHA).....	59
Εικόνα 4.9.	Σχεδιάγραμμα εξέλιξης συγκέντρωσης θερμικής ακτινοβολίας σε σημείο που απέχει 783 μέτρα από το σημείο του ατυχήματος μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου A, Περίπτωση A2.2. (Πηγή: ALOHA).....	60
Εικόνα 4.10.	Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη που επηρεάζεται μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του του Σεναρίου A, Περίπτωση A2.2. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)	61
Εικόνα 4.11.	Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη δορυφόρου που επηρεάζεται μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά την συντηρητική το ατύχημα του Σεναρίου A, Περίπτωση A2.2. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps).....	61
Εικόνα 4.12.	Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων Σεναρίου A, Περίπτωση A3. (Πηγή: ALOHA).....	62
Εικόνα 4.13.	Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη που επηρεάζεται μετά την έκρηξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου A, Περίπτωση A3. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)	63
Εικόνα 4.14.	Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη δορυφόρου που επηρεάζεται μετά την έκρηξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου A, Περίπτωση A3. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps).....	64
Εικόνα 4.15.	Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων Σεναρίου B. (Πηγή: ALOHA)	64
Εικόνα 4.16.	Σχεδιάγραμμα εξέλιξης εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας κατά τη δημιουργία γλώσσας φωτιάς (jet fire) καυσίμου Υδρογόνου σε αγωγό, κατά το ατύχημα του Σεναρίου B. (Πηγή: ALOHA)	65
Εικόνα 4.17.	Σχεδιάγραμμα εξέλιξης θερμικής ακτινοβολίας στην πηγή εμφάνισης γλώσσας φωτιάς (jet fire) καυσίμου Υδρογόνου σε αγωγό, κατά το ατύχημα του Σεναρίου B. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps).....	65
Εικόνα 4.17.	Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη που επηρεάζεται από την εκδήλωση γλώσσας φωτιάς (jet fire) σε αγωγό διανομής Υδρογόνου μετά το ατύχημα του Σεναρίου B. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps).....	67
Εικόνα 4.14.	Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη δορυφόρου που επηρεάζεται από την εκδήλωση γλώσσας φωτιάς (jet fire) σε αγωγό διανομής Υδρογόνου μετά το ατύχημα του Σεναρίου B. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)	68

Συντομογραφίες

Bangalore Water Supply and Sewerage Board (BWSSB)
Bureau for Analysis of Industrial Risks and Pollutions (BARPI)
Centro de Información Química para Emergencias (CIQUIME)-Argentina
Chemical Abstracts Service (CAS)
Clean Energy Partnership (CEP)
Climate Change Conference (CCC)
Conference of Parties (COP)
Department of Energy (DOE)
Department of Transportation (DOT) – U.S.
Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου (ΔΕΣΦΑ)
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (Ε.Κ.Π.Α.)
Emergency Response Guidebook (ERG2004)
Environmental Protection Agency (EPA)
Fuel Cell Electric Buses (FCEB)
Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)
Fuel Cell and Hydrogen Energy Association (FCHEA)
Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)
Gas Authority of India Limited (GAIL)
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (Η.Π.Α.)
Ηνωμένα Έθνη (Η.Ε.)
Hydrogen Implementing Agreement (HIA)
Hydrogen Supply and Utilisation Technology (HySUT)
Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH)
International Energy Agency (IEA)
International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)
Level of Concern (LOC)
Lower Explosive Limit (LEL)
Lower Flammable Limit (LFL)
Μη Κυβερνητική Οργάνωση (ΜΚΟ)
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)
Parts Per Million (ppm)
Pipeline Investigation Report (P.I.R.)
Scandinavian Hydrogen Highway Partnership SHHP
Secretariat of Transport and Communications (SCT) - Mexico
Transport Canada (TC)
Transportation Safety Board of Canada (TSBC)
Φυσικό αέριο (Φ.Α.)
Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE)
United States (U.S.) – America
United Nations (U.N.)
United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)
United Nations environment programme (UNep)

Κεφάλαιο 1.

Εισαγωγή στις έννοιες του Κινδύνου και της Καταστροφής

1.1 Λίγα Λόγια για τον κίνδυνο

Όπως κάθε λογικός άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί το περιβάλλον στο οποίο διαβιούμε κάθε άλλο παρά ασφαλές είναι. Οι κίνδυνοι που διατρέχει κανείς σε καθημερινή βάση είναι απροσδιόριστοι και τις περισσότερες φορές απρόβλεπτοι. Ως αναπόφευκτο κομμάτι της ζωής, ο κίνδυνος μπορεί να προέλθει από ένα απλό τυχαίο γεγονός, όπως για παράδειγμα ένα τροχαίο ατύχημα μέχρι ένα πολύ καλά σχεδιασμένο και οργανωμένο συμβάν, όπως συμβαίνει σε κάποιο τρομοκρατικό χτύπημα.

Η πιθανότητα εκδήλωσης κάποιου φαινομένου είναι αυτό που αντιπροσωπεύει ο κίνδυνος, ο οποίος σύμφωνα με τους Λέκκα & Ανδρεαδάκη (2015), μπορεί να ορισθεί ως «ένα δυνητικά καταστροφικό γεγονός, φαινόμενο ή ανθρώπινη δραστηριότητα που μπορεί να προκαλέσει απώλειες ζωής ή τραυματισμούς, ζημιές σε περιουσίες, κοινωνικές και οικονομικές διαταραχές ή περιβαλλοντική υποβάθμιση. Επίσης, ο όρος μπορεί να αναφέρεται στην πιθανότητα εκδήλωσης ενός τέτοιου φαινομένου σε μια περιοχή, ειδικά όταν συσχετίζεται με την τρωτότητα και τη διακινδύνευση».

Οι κατηγορίες κινδύνων που απειλούν τον άνθρωπο, την περιουσία και το περιβάλλον μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους, ως παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Κατηγορίες Κινδύνων	
Φυσικοί Κίνδυνοι	
Πρόκειται για φυσικές διεργασίες ή φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στην βιόσφαιρα που μπορεί να αποτελέσουν ένα ζημιογόνο γεγονός. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη γεωλογική, την υδρομετεωρολογική ή την βιολογική τους προέλευση.	
Προέλευση	Φαινόμενο
Υδρομετεωρολογικοί Κίνδυνοι Φυσικές διεργασίες ή φαινόμενα ατμοσφαιρικής, υδρολογικής ή ωκεάνιας φύσης.	<ul style="list-style-type: none"> - Πλημμύρες και λασποροές - Τροπικοί κυκλώνες, καταιγίδες, άνεμοι, βροχή και έντονες βροχοπτώσεις, χιονοθύελλες, κεραυνοί - Ξηρασία, ερημοποίηση, πυρκαγιές, ακραίες θερμοκρασίες, αμμοθύελλες - Παγετώνες, χιονοστιβάδες
Γεωλογικοί Κίνδυνοι Φυσικές διεργασίες ή φαινόμενα που περιλαμβάνουν διεργασίες ενδογενούς, όπως η τεκτονική δράση ή εξωγενούς προέλευσης, όπως οι μετακινήσεις μαζών.	<ul style="list-style-type: none"> - Σεισμοί, σεισμικά θαλάσσια κύματα (τσουνάμι) - Ηφαιστειακή δραστηριότητα και εκλύσεις - Μετακινήσεις μαζών, κατολισθήσεις, κατολισθήσεις βράχων, ρευστοποίηση, υποθαλάσσιες κατολισθήσεις - Κατάρρευση επιφανειών, γεωλογική δράση ρηγμάτων
Βιολογικοί Κίνδυνοι Διεργασίες οργανικής προέλευσης ή διεργασίες που έχουν μεταφερθεί από βιολογικούς φορείς, περιλαμβάνοντας την έκθεση σε παθογενείς μικρο-οργανισμούς, τοξίνες και βιοενεργές ουσίες.	<ul style="list-style-type: none"> - Ξεσπάσματα επιδημικών ασθενειών, μόλυνση φυτών ή ζώων και εκτεταμένος παρασιτισμός
Τεχνολογικοί Κίνδυνοι	
Κίνδυνοι που σχετίζονται με τεχνολογικά ή βιομηχανικά ατυχήματα, με ανεπάρκεια της υποδομής ή συγκεκριμένες ανθρώπινες δραστηριότητες που μπορούν να προκαλέσουν απώλειες ζωής, τραυματισμούς, καταστροφή περιουσιών, κοινωνική και οικονομική διαταραχή ή υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Πολλές φορές αναφέρονται και ως ανθρωπογενείς κίνδυνοι. Παραδείγματα αποτελούν η βιομηχανική μόλυνση, η διαρροή ραδιενέργειας, τοξικά απόβλητα, κατάρρευση φραγμάτων, ατυχήματα μέσω μεταφοράς, βιομηχανικά και τεχνολογικά ατυχήματα (εκρήξεις, πυρκαγιές, διαρροές).	
Πολιτικοί/Κοινωνικοί Κίνδυνοι	
Πρόκειται για τους κινδύνους που προέρχονται από περιστατικά τρομοκρατίας, δολιοφθοράς, κοινωνικών ταραχών, ομηρίες, επιδρομές, πολέμους.	
Υποβάθμιση του Περιβάλλοντος	
Διεργασίες που προκαλούνται από την ανθρώπινη συμπεριφορά και δραστηριότητα (μερικές φορές σε συνδυασμό με τους φυσικούς κινδύνους) που προκαλούν ζημιές στην βάση φυσικών αποθεμάτων και επεμβαίνουν αρνητικά στις φυσικές διεργασίες ή οικοσυστήματα. Τα πιθανά αποτελέσματα ποικίλουν και μπορούν να συνεισφέρουν στην αύξηση της τρωτότητας και την συχνότητα και ένταση των φυσικών κινδύνων. Παραδείγματα αποτελούν η υποβάθμιση της γης, η αποψίλωση, η ερημοποίηση, οι πυρκαγιές, η απώλεια της βιοποικιλότητας, μόλυνση του εδάφους, του νερού και του αέρα, κλιματικές αλλαγές, αύξηση της στάθμης της θάλασσας και η μείωση του όζοντος.	

Πίνακας 1.1. Πίνακας κατηγοριοποίησης κινδύνων. Πηγή: Λέκκας & Ανδρεαδάκης (2015).

1.1.1 Αντίληψη κινδύνου

Ο τρόπος που αντιλαμβάνεται ο κάθε άνθρωπος ξεχωριστά τον κίνδυνο διαφέρει τόσο από την αντίληψη των υπολοίπων, όσο και από τις αντικειμενικότερες επιστημονικές αντιλήψεις. Για να προσδιορισθεί και να εκτιμηθεί η διακινδύνευση θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν ταυτόχρονα και οι επιστημονικές και οι υποκειμενικές αντιλήψεις. Ο καθένας ατομικά προσπαθεί να εκτιμήσει το μέγεθος του κινδύνου, βάσει των προσωπικών πεποιθήσεων που σχηματίζονται από την εμπειρία, την πείρα και την αντίληψη του γενικότερα.

Για να εκτιμηθεί το ύψος της διακινδύνευσης ούτως ώστε να σχεδιασθεί μία στρατηγική αντιμετώπισης και διαχείρισης των επιπτώσεων που μπορεί να προκληθούν από μία επικείμενη καταστροφή, απαιτείται μία ολοκληρωμένη αρχική ανάλυση. Η ανάλυση δε μπορεί να βασίζεται μόνο στα επιστημονικά εργαλεία και τις τεχνικές αναλύσεις, αλλά θα πρέπει να περιλαμβάνει και πτυχές της γενικής κοινωνικής αντίληψης ως προς το τι είναι κίνδυνος.

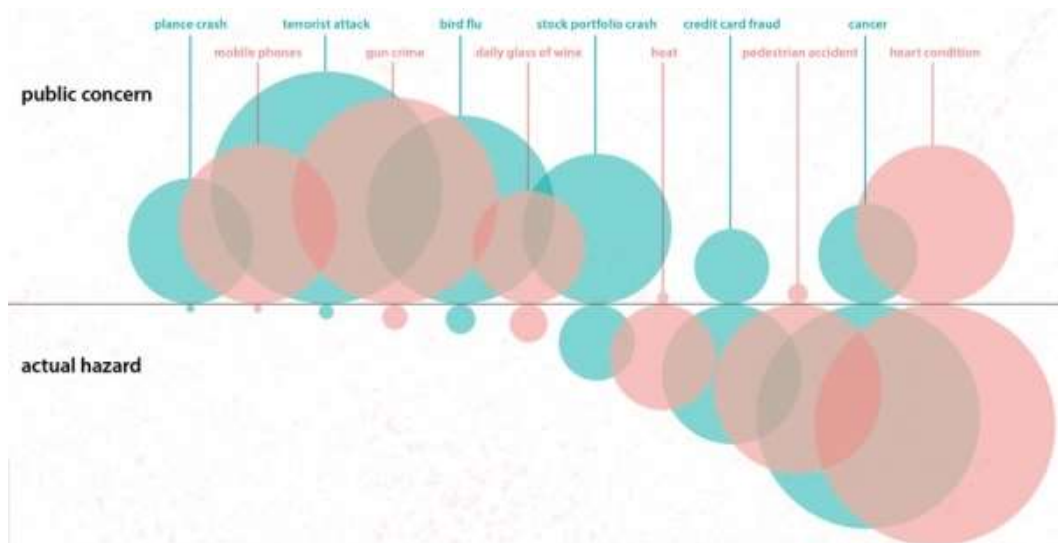
Η εκτίμηση της διακινδύνευσης (Risk Assessment) με την αντίληψη (Risk Perception) αυτής διαφέρουν αρκετά. (Kennedy, 2017)

Κατά την εκτίμηση της διακινδύνευσης επιχειρείται ο αποκλεισμός όλων των απόψεων προερχόμενων από ψυχολογικούς και συγκινησιακούς παράγοντες και αξιολογούνται οι κρίσεις που είναι αποτέλεσμα προσωπικών προτιμήσεων. Οι προσωπικές προτιμήσεις δεν ανήκουν μόνο στο κοινωνικό σύνολο, αλλά και στους ίδιους τους εκτιμητές της διακινδύνευσης. Όλα τα παραπάνω στοχεύουν στην εξαγωγή εφαρμόσιμων και υλοποιήσιμων συμπερασμάτων, τα οποία είναι δυνατό να επαναληφθούν όσες φορές απαιτηθεί από μία ομάδα ατόμων.

Από την άλλη πλευρά η αντίληψη της διακινδύνευσης δεν μπορεί να είναι σταθερή και όμοια συνεχώς. Ο κίνδυνος, η κάθε ενδεχόμενη απειλή, μεταφράζεται εντελώς διαφορετικά από το καθένα, ακόμη και ανάμεσα σε άτομα της ίδιας ομάδας ή και οικογένειας. Κάθε προσωπική αντίληψη διακινδύνευσης είναι αποδεκτή, αλλά συνήθως όποιος κίνδυνος ή απειλή θεωρείται υψίστης σημασίας, δεν συνδυάζεται από σημαντικές πιθανότητες εμφάνισης στην πραγματικότητα.

Η επιστημονική πλευρά προσπαθεί να εκτιμήσει σπάνιες ή όχι μεγάλης συχνότητας καταστροφές που επιφέρουν σημαντικές απώλειες ζωής (θανάτους, σοβαρούς τραυματισμούς), και τις συγκρίνει ισάξια με καταστροφές που συμβαίνουν την ίδια χρονική περίοδο, αρκετά συχνά, αποτελώντας μέρος της καθημερινότητας, αλλά οι οποίες προκαλούν το θάνατο σε έναν μόνο άνθρωπο. Δίνεται δηλαδή η ίδια βαρύτητα και σημασία τόσο στους ακούσιους, όσο και στους εκούσιους κινδύνους.

Εν αντιθέσει, η πλειοψηφία των ανθρώπων θεωρούν σημαντικότερες τις καταστροφές που προκαλούν το θάνατο σε μεγάλο αριθμό ανθρώπων πιστεύοντας ότι οι καθημερινές μικρές καταστροφές είναι ήσσονος σημασίας. Δίνεται λοιπόν μεγαλύτερη έμφαση στους ακούσιους κινδύνους. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί όπως αναφέρθηκε ο κάθε άνθρωπος σχηματίζει άποψη βάσει των ατομικών εμπειριών, τη προσωπικότητα, τις αξίες και την ενημέρωση που έχει λάβει από έμμεσες πηγές, όπως για παράδειγμα τα Μ.Μ.Ε. Στη συνέχεια παρατίθεται σχηματική απεικόνιση της σύγκρισης μεταξύ των πραγματικών διαστάσεων κάποιων κινδύνων και της διάστασης που τα αντιλαμβάνεται το κοινωνικό σύνολο.



Εικόνα 1.1. Γράφημα απεικόνισης σύγκρισης μεταξύ των πραγματικών διαστάσεων κάποιων κινδύνων και της κοινωνικής αντίληψης. Πηγή: Kennedy (2017).

Αν και πολλοί αναλυτές διακινδύνευσης θεωρούν την αντίληψη αυτής ένα περιττό στοιχείο που βασίζεται μόνο σε συναισθηματισμούς, αξίζει να σημειωθεί ότι η πραγματική δυσκολία κατά την σφαιρική και ολοκληρωμένη εκτίμηση της διακινδύνευσης εντοπίζεται στην αποδοχή των συμπερασμάτων των ειδικών από τους πολίτες. Αυτό συμβαίνει γιατί ενώ οι πρώτοι θεωρούν υποχρεωτική την αποδοχή των συμπερασμάτων τους λόγω της αντικειμενικότητάς τους, οι πολίτες αρνούνται να τα υιοθετήσουν εξαιτίας της έλλειψης ατομικών ενδιαφερόντων και φόβων τους. Θα πρέπει λοιπόν η επιστημονική κοινότητα που ασχολείται με την εκτίμηση διακινδύνευσης, να προσπαθήσει να αφουγκραστεί τους φόβους και τις αντιλήψεις της κοινωνίας ώστε να μπορέσουν να εφαρμοστούν τα περισσότερα από αυτά που απαιτούνται να γίνουν, καθώς οι επιπτώσεις και τα προβλήματα που δημιουργούνται συχνά τόσο στον άνθρωπο, όσο και στο περιβάλλον είναι μη αναστρέψιμες. (Λέκκας & Ανδρεαδάκης, 2015).

1.1.2 Κίνδυνοι κατά τη Διαχείριση Τοξικών και γενικότερα επικίνδυνων Ουσιών

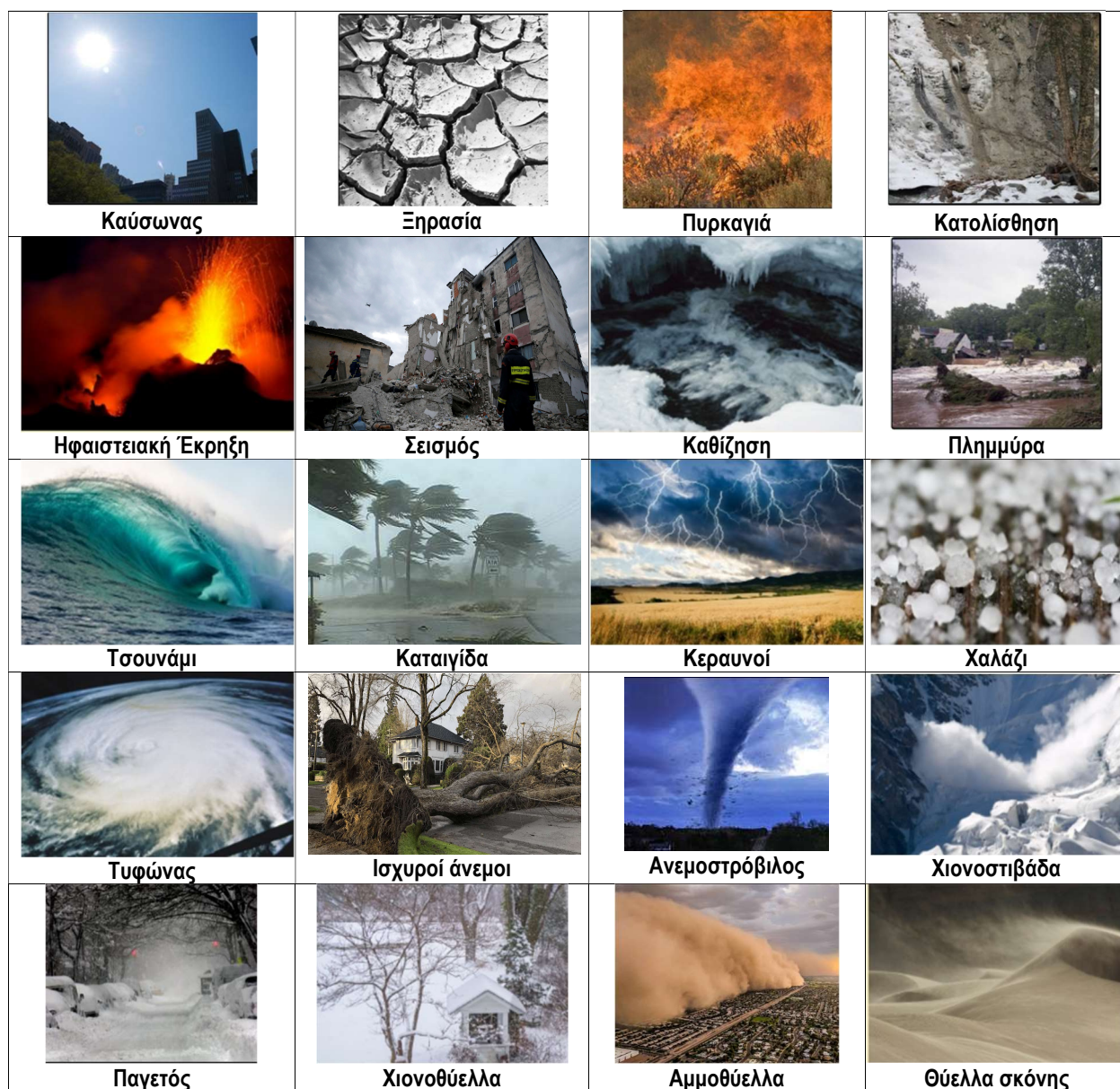
Η ασφαλής διαχείριση των τοξικών και γενικότερα επικίνδυνων ουσιών στις οποίες σε αρκετές περιπτώσεις περιλαμβάνονται και τα γνωστά καύσιμα, αποτελεί ανά τον κόσμο ένα δύσκολο και μερικές φορές ακατόρθωτο έργο. Στα ατυχήματα που συμβαίνουν είτε στις εγκαταστάσεις παραγωγής ή και διατήρησης/αποθήκευσης τοξικών και γενικότερα επικίνδυνων ουσιών, είτε ακόμη και στα μέσα με τα οποία αυτές διανέμονται και διακινούνται έχουν καταγραφεί δεκάδες εκατοντάδες ατυχήματα από τα οποία προκλήθηκαν από ελαφρές υλικές ζημιές έως δεκάδες ανθρώπινες απώλειες και εκατοντάδες τραυματισμοί με ταυτόχρονη πολυετή μόλυνση του περιβάλλοντος και της ατμόσφαιρας. Ένα τέτοιου μεγέθους ατύχημα αποτελεί και η απελευθέρωση ραδιενέργειας στη περίπτωση του πυρηνικού δυστυχήματος στο πυρηνικό σταθμό παραγωγής ενέργειας του Τσέρνομπιλ. Ως μέσα διανομής και διακίνησης τοξικών και γενικότερα επικίνδυνων ουσιών δεν αποτελούν μόνο τα ειδικά βυτιοφόρα οχήματα τα οποία πιθανών όλοι να πιστεύουν ως τα μοναδικά, αλλά υπάρχουν και άλλες μέθοδοι όπως τα δίκτυα αγωγών.

Αν και το Υδρογόνο που θα αποτελέσει το επίκεντρο της παρούσας εργασίας, όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια δεν αποτελεί τοξική ουσία. Ο μόνος τρόπος ώστε να επιβαρυνθεί η

ανθρώπινη παρουσία σε περίπτωση απελευθέρωσής του είναι η περίπτωση περιστατικού που συμβαίνει πυρκαγιά ή έκρηξη που συμμετέχει και το υδρογόνο.

1.2 Λίγα Λόγια για τις καταστροφές

Ως φυσική καταστροφή νοείται η καταστροφή που είναι αποτέλεσμα ενός φυσικού φαινομένου, όπως για παράδειγμα ένας σεισμός, μία έκρηξη ηφαιστείου, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και όλα όσα συνεπάγονται αυτών. Έτσι μία πυρκαγιά προερχόμενη από κεραυνό, μία ισχυρή καταιγίδα, μία χιονοθύελλα, ο καύσωνας, ένας ανεμοστρόβιλος, ένα τσουνάμι, μία κατολίσθηση αποτελούν ομοίως φυσικά φαινόμενα που μπορούν να οδηγήσουν σε καταστροφή. Και με τον όρο καταστροφή θεωρούμε την κατάσταση εκείνη που διαταράσσει την κοινωνικοοικονομική ομαλότητα και τη δραστηριότητα μιας κοινωνίας ανθρώπων και επιφέρει οικονομικές αλλά και ανθρώπινες απώλειες. (Μουζάκης, 2017 & 2019)



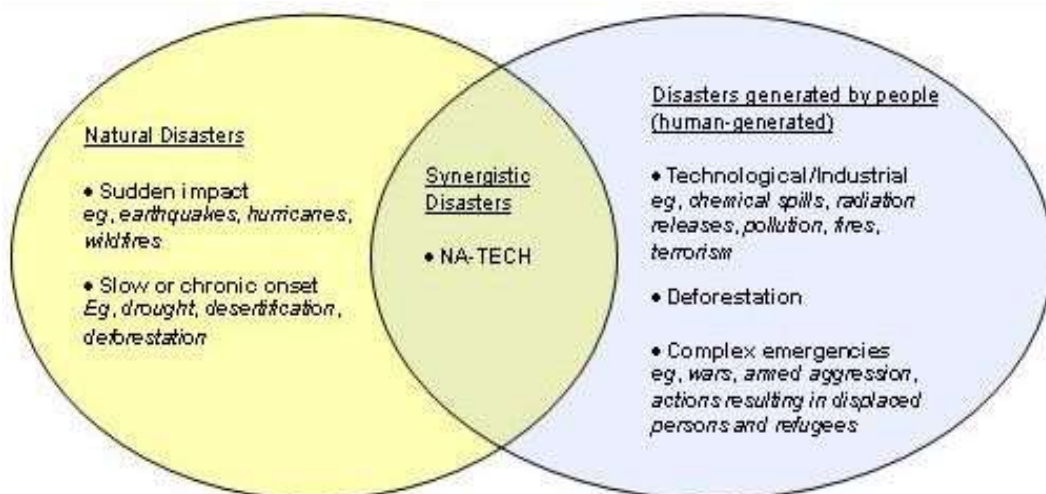
Εικόνα 1.2. Απεικόνιση διαφόρων Τύπων Φυσικών Καταστροφών.

Ως τεχνολογική καταστροφή νοείται η καταστροφή που προκαλείται είτε από τεχνολογικούς κινδύνους, οι οποίοι δεν αντιμετωπίζονται έγκαιρα και με τον πιο σωστό τρόπο, είτε από κάποιο τεχνολογικό ατύχημα που οφείλεται σε πράξη ή παράλειψη ανθρώπινης συμπεριφοράς, αστοχία εξοπλισμού, οργανωτική ή διοικητική δυσλειτουργία και άλλα. Φυσικά, δεν μπορούν να μην αναφερθούν και οι περιπτώσεις εκείνες που προκαλούνται με δόλο είτε πρόκειται για κάποιο σαμποτάζ είτε για τρομοκρατική ενέργεια. (Μουζάκης, 2017 & 2019)



Εικόνα 1.3. Παραδείγματα Τεχνολογικών Ατυχημάτων. Πηγή: <https://geopoliticatus.wordpress.com/2013/07/23/how-industrial-accidents-shape-industrial-technological-civilization/>.

Ως NaTech καταστροφή (Natural disaster triggering a technological disaster) χαρακτηρίζεται μία τεχνολογική καταστροφή που προκαλείται από ένα φυσικό φαινόμενο, μία φυσική καταστροφή, όπως σεισμό, κεραυνό, ισχυρή βροχόπτωση, πλημμύρα, ανεμοστρόβιλος, τσουνάμι. (Μουζάκης, 2017 & 2019)



Εικόνα 1.4. Σχηματική απεικόνιση έκφρασης NaTech καταστροφής.

Όλες οι παραπάνω κατηγορίες φαινομένων ονομάζονται καταστροφές λόγω του γεγονότος ότι έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην κοινωνικοοικονομική ζωή της περιοχής που πλήττουν, καθώς μπορούν να οδηγήσουν σε απώλεια περιουσίας, σε υλικές ζημιές, σε τραυματισμούς ανθρώπων ακόμη και σε θανάτους, καθώς και σε καταστροφές στο περιβάλλον συμπεριλαμβανομένων της πανίδας και της χλωρίδας. (Μουζάκης, 2017 & 2019)

Οι κυριότερες εκφάνσεις NaTech καταστροφών που εμφανίζονται στη βιβλιογραφία αναφέρονται σε Χημικά Ατυχήματα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, σε Ατυχήματα μεταφοράς: οδικά, σιδηροδρομικά, θαλάσσια, αεροπορικά, αγωγοί, σε Κατάρρευση Φραγμάτων, σε Πυρηνικά Ατυχήματα και σε Χημικά-Βιολογικά-Ραδιολογικά-Πυρηνικά (ΧΒΡΠ) συμβάντα. (Μουζάκης, 2017 & 2019)

1.3 Πως μία φυσική καταστροφή μπορεί να οδηγήσει σε μία τεχνολογική ή NaTech καταστροφή

Ανακεφαλαιώνοντας τα προαναφερόμενα, οι επιπτώσεις μίας φυσικής καταστροφής μπορούν να πλήξουν μία τεχνολογική εγκατάσταση, υποδομή ή άλλη μορφή τεχνολογικής δραστηριότητας προκαλώντας μία τεχνολογική καταστροφή. Αυτή η συνδυαστική μορφή καταστροφής ονομάζεται NaTech καταστροφή. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε τέτοιου είδους καταστροφές παρατηρείται και το φαινόμενο ντόμινο (domino effects). Το φαινόμενο ντόμινο εξηγείται απλά με το να αναλογιστούμε ότι μία φυσική καταστροφή (φαινόμενο), μπορεί να προκαλέσει αρχικά ένα γεγονός (έναυσμα - αρχή), το οποίο με τη σειρά του θα οδηγήσει σε μία ακολουθία άλλων γεγονότων (ντόμινο) προκαλώντας τελικά μία καταστροφή.

Για παράδειγμα με την πρόκληση ενός σεισμού, δημιουργείται κατολίσθηση και από αυτή προκαλείται μία ρωγμή σε μία δεξαμενή αποθήκευσης καυσίμων ενός διυλιστηρίου που βρίσκεται στους πρόποδες ενός βουνού. Η ρωγμή είναι το αρχικό γεγονός που προκλήθηκε από τη φυσική καταστροφή (σεισμός). Στη συνέχεια από τη ρωγμή ξεχύνεται το αποθηκευμένο καύσιμο. Στο διαρρέων καύσιμο προκαλείται ανάφλεξη, λόγω απροσδιόριστων συνθηκών και η δεξαμενή εκρήγνυται προκαλώντας τεράστια απώλεια του υλικού, φθορές σε γύρω δεξαμενές και στην εγκατάσταση και διοχετεύεται τοξικό νέφος στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τον κίνδυνο απώλειας ανθρώπινων ζώων αλλά και τη μόλυνση του περιβάλλοντος. Τα επακόλουθα καταστρεπτικά γεγονότα (διαρροή καυσίμου, φωτιά, έκρηξη) αποτελούν την ακολουθία που προκλήθηκε μετά από το αρχικό γεγονός (της ρωγμής) που δημιούργησε μία φυσική καταστροφή (σεισμός).

Ένα από τα καταστροφικότερα ατυχήματα που έλαβαν χώρα στην παγκόσμια ιστορία και αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα ακολουθίας γεγονότων καθώς και πως μπορεί να δημιουργηθεί μία NaTech καταστροφή είναι αυτό που συνέβη στο εργοστάσιο παραγωγής πυρηνικής ενέργειας στην Fukushima της Ιαπωνίας τον Μάρτιο του 2011. Οι καταστροφές και οι επιπτώσεις που σημειώθηκαν στοιχειώνουν τον παγκόσμιο χάρτη ακόμη και σήμερα. Υπάρχουν μελέτες που ερευνούν αν το εν λόγω ατύχημα συνέβαλε και συμβάλει στην κλιματική αλλαγή. Το ατύχημα προκλήθηκε από το συνδυασμό ισχυρού σεισμού και κύματος τσουνάμι που ακολούθησε εξαιτίας αυτού.



Εικόνα 1.5. Εικόνες από το ατύχημα στο Εργοστάσιο Πυρηνικής Ενέργειας στη Fukushima μετά από Σεισμό και το Τσουνάμι που ακολούθησε (έτος 2011).
Πηγή: ανοικτές πηγές διαδικτύου.

Κεφάλαιο 2.

Ατυχήματα Αγωγών Διανομής Καυσίμων

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία επιγραμματική αναφορά διαφόρων περιστατικών, τα οποία έχουν λάβει χώρα σε όλο το κόσμο και αφορούν ατυχήματα αγωγών διανομής καυσίμων. Σκοπός είναι να αναδειχθεί η σοβαρότητα των επιπτώσεων ενός επικείμενου ατυχήματος σε αγωγό μεταφοράς καύσιμης ύλης στο ευρύτερο περιβάλλον.

Για την καλύτερη κατανομή, τα ατυχήματα έχουν ομαδοποιηθεί ανάλογα με το είδος καυσίμου και εν συνεχεία έχουν ταξινομηθεί ανά χρονολογία που συνέβησαν, από το παλιότερο ως το πιο σύγχρονο. Τα ατυχήματα έχουν επιλεγεί ως συνάρτηση του είδους καυσίμου, των επιπτώσεων που προκλήθηκαν και τέλος το χρόνο τέλεσης. Βέβαια, η επιλογή εστιάστηκε κυρίως στα ατυχήματα που προκλήθηκαν συνεπεία ανθρώπινης πράξης ή παράλειψης, κοινώς σε όσα η αιτία ήταν ο άνθρωπος παράγοντας.

Όπως εύκολα θα παρατηρηθεί στη συνέχεια, παρόλο που οι κανόνες και τα μέτρα ασφαλείας βελτιώνονται και αυξάνονται με το πέρασμα των χρόνων, οι επιπτώσεις των ατυχημάτων στους αγωγούς διακίνησης καυσίμων όχι μόνο δεν αποτρέπονται, αλλά ούτε και μετριάζονται.

2.2 Αργό Πετρέλαιο (crude oil)

2.2.1 Burnaby, Καναδάς, 24 Ιουλίου 2007

Περί την 12:30 ώρα (τοπική) της 24 Ιουλίου 2007 στην περιοχή του Μπέρναμπι (Βρετανική Κολούμπια) στον Καναδά, κατά τη διάρκεια οργανωμένων χωματοουργικών εργασιών που λάμβαναν χώρα πλησίον εθνικής οδού (Inlet Drive), εκσκαφεία χτύπησε αγωγό μεταφοράς αργού πετρελαίου με την ονομασία Westridge Dock Transfer Line, που ανήκε στην εταιρεία Trans Mountain Pipeline L.P. και λειτουργούσε υπό την εποπτεία της εταιρείας Kinder Morgan Canada Inc., προκαλώντας του διάρρηξη. Οι εργασίες διενεργούνταν για την κατασκευή αποχετεύσεων παραπλεύρως της οδού. (TSBC-R.I.P.: P07H0040,2018)

Αμέσως μετά το χτύπημα διέρρευσαν περίπου 234 κυβικά μέτρα αργού πετρελαίου από τα οποία τα 210 περίπου, κατέστη επικτό να ανακτηθούν. Το αργό πετρέλαιο εξαπλώθηκε μέσω των αποχετεύσεων στον κόλπο της περιοχής, ενώ από τον πίδακα που δημιουργήθηκε 11 σπίτια ψεκάστηκαν και πληθώρα άλλων περιουσιών χρειάστηκαν ανακατασκευές λόγω της διαρροής. Περί τους 250 κατοίκους εγκατέλειψαν οικιοθελώς τις περιουσίες τους, ενώ οι αρχές εκκένωσαν 50 κατοικίες για κάποιες μέρες.

Αυτόπτες μάρτυρες ανέφεραν ότι ο πίδακας αργού πετρελαίου που δημιουργήθηκε είχε ύψος 30 μέτρα και διήρκησε για περίπου 25 λεπτά. (CBC-Radio Canada, 2007)

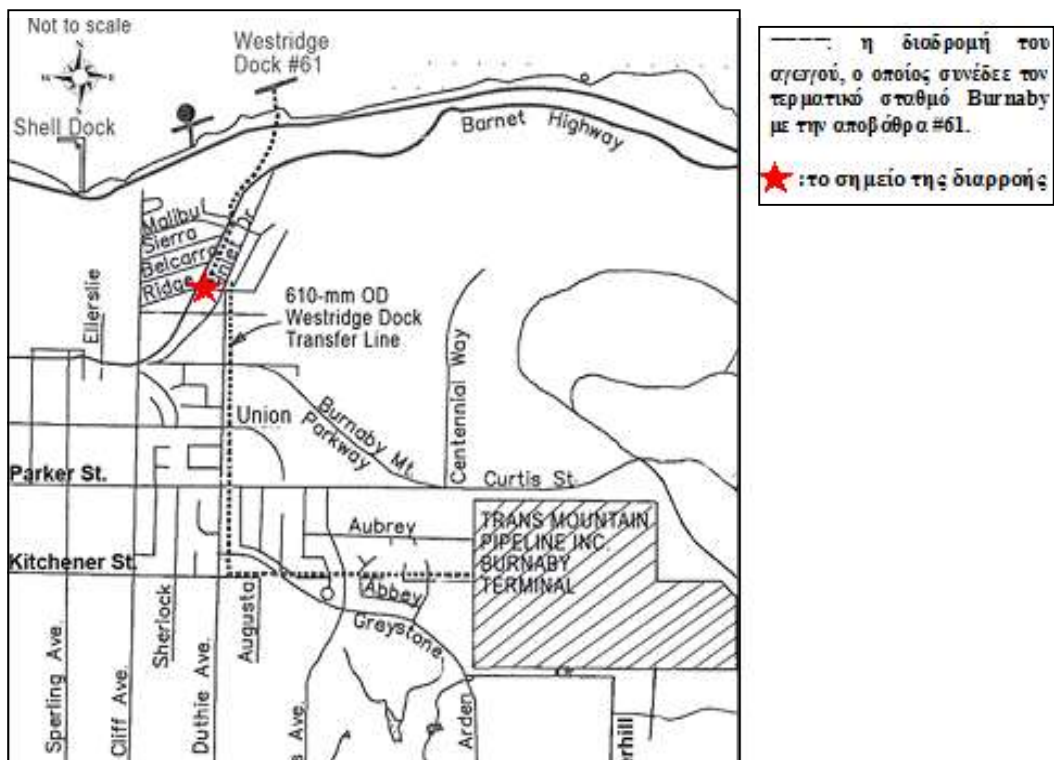
Λόγω του ότι η κηλίδα εξαπλώθηκε και πέρα από τον κόλπο της περιοχής, φθάνοντας ως τα ανοικτά νερά της θάλασσας (Burrard Inlet), εκδηλώθηκε έντονα ο φόβος ειδικών για τις χρόνιες πιθανές επιπτώσεις που θα μπορούσε να έχει η εν λόγω διαρροή, κυρίως λόγω των τοξικών ουσιών που επηρέασαν το ευρύτερο περιβάλλον (χλωρίδα και πανίδα). Οι φόβοι τους εστιάζονταν σε προβλήματα στο συκώτι και στους πνεύμονες, ενώ αναφέρθηκαν και σε πιθανή αρνητική επιρροή στα ερυθρά αιμοσφαίρια. (TSBC-R.I.P.: P07H0040,2018)



Εικόνα 2.1. Απεικόνιση δρόμου πλημμυρισμένου από αργό πετρελαίου, Μπέρναμπι (Burnaby), Καναδάς. Αφορά το ατύχημα του αγωγού Westridge Dock Transfer Line στις 24 Ιουλίου 2007. Πηγή: CBC-Radio Canada (2007).



Εικόνα 2.2. Κηλίδα αργού πετρελαίου σε ακτή και θάλασσα, Μπέρναμπι (Burnaby), Καναδάς. Αφορά το ατύχημα του αγωγού Westridge Dock Transfer Line στις 24 Ιουλίου 2007. Πηγή: CBC-Radio Canada (2007).



Εικόνα 2.3. Απεικόνιση κάτοψης του σημείου διαρροής του αγωγού Westridge Dock Transfer Line, Μπέρναμπι (Burnaby), Καναδάς. Πηγή: Transportation Safety Board of Canada (2007), Pipeline Investigation Report: P07H0040 (2018).

2.2.2 Qingdao, Shandong, Κίνα, 22 Νοεμβρίου 2013

Περί την 10:30 ώρα (τοπική) της 22 Νοεμβρίου 2013 στην περιοχή Qingdao, Shandong, στην Κίνα σημειώθηκε έκρηξη στους υπονόμους μετά από διαρροή αερίων και πετρελαίου προερχόμενη από αγωγό της εταιρείας Sinopec Corp, γνωστή και ως το "Κινέζικο πετρέλαιο". (Chen, 2013, Hong & Jing, 2013, Jing & Hong, 2013, Liu et al., 2015, Reuters, 2013, Ruwitch & Coates, 2013, Zhao, 2014)

Οι εκρήξεις που σημειώθηκαν σήκωσαν δρόμους και ανασήκωσαν ολόκληρα κτήρια, ενώ μεγάλο μέρος των αγωγών θέρμανσης και νερού της πόλης τέθηκε προσωρινά εκτός λειτουργίας. Από το ρήγμα του αγωγού σημειώθηκε διαρροή αργού πετρελαίου για περίπου 15 λεπτά πριν διακοπεί η παροχή με αποτέλεσμα το υλικό να εξαπλωθεί όχι μόνο στο χερσαίο τμήμα της περιοχής αλλά και στο θαλάσσιο.

Για το εν λόγω περιστατικό επισημάνθηκε ως πρόβλημα η θέση των αγωγών συγκριτικά με το σύστημα αποχέτευσης και η αμέλεια συντήρησής τους.

Συνολικά 55 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και περισσότεροι από 130 τραυματίστηκαν και νοσηλεύτηκαν.



Εικόνα 2.4. Υπεύθυνοι ασφαλείας της εταιρείας Sinopec επιθεωρούν αγωγό διανομής αργού πετρελαίου στη περιοχή Qingdao, Shandong, στην Κίνα, περίπου 3 ώρες πριν την επερχόμενη έκρηξη που προκλήθηκε από διαρροή, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Hong & Jing (2013).



Εικόνα 2.5. Στιγμιότυπο σύννεφου καπνού μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Reuters (2013).



Εικόνα 2.6. Καταστροφές σε οδικό δίκτυο μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Reuters (2013).



Εικόνα 2.7. Καταστροφές σε οδικό δίκτυο μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Reuters (2013).



Εικόνα 2.8. Επιχείρηση πυροσβεστών για την αντιμετώπιση κηλίδας πετρελαίου και καταστροφές μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Reuters (2013).



Εικόνα 2.9. Προσπάθειες αποκατάστασης περιβαλλοντολογικής καταστροφής (κηλίδα πετρελαίου) μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Jing & Hong (2013).



Εικόνα 2.10. Προσπάθειες αποκατάστασης περιβαλλοντολογικής καταστροφής (κηλίδα πετρελαίου) μετά από την έκρηξη αγωγού διανομής αργού πετρελαίου της εταιρείας Sinopec στη περιοχή Qingdao, Shandong, 22 Νοε. 2013. Πηγή: Chen (2013).

2.2.3 Strathcona County, Alberta, Καναδάς, 17 Φεβρουαρίου 2017

Στις 17 Φεβρουαρίου 2017, στην περιοχή Strathcona County στην Αλμπέρτα, Καναδάς, κατά την εξέλιξη κατασκευαστικών εργασιών από εταιρεία κατασκευής αγωγών (TransCanada Pipelines), χτυπήθηκε αγωγός της εταιρείας Enbridge Inc. με αποτέλεσμα 200 κυβικά μέτρα αργού πετρελαίου να διαρρεύσουν στο περιβάλλον. Η έκταση που επηρεάστηκε ήταν ιδιωτική και βρισκόταν σε βιομηχανική ζώνη της περιοχής. (Enbridge Inc., 2017, Mertz, 2017)

Λόγω του γεγονότος ότι υπήρξε άμεση ενημέρωση και ανταπόκριση κατέστη εφικτό να ανακτηθεί το μεγαλύτερο μέρος του υλικού και από σχετικές μετρήσεις δεν φάνηκε να επηρεάστηκε το εναέριο περιβάλλον.

2.2.4 Krasnoarmeiskoye, Saratov στη Ρωσία, 18 Ιανουαρίου 2018

Περί την 15:30 ώρα (τοπική) της 18 Ιανουαρίου 2018 στη περιοχή Krasnoarmeiskoye, Saratov στη Ρωσία σημειώθηκε έκρηξη σε αγωγό μεταφοράς πετρελαίου, της εταιρείας Transneft. Ο αγωγός συνδέει τις πόλεις Kuibyshev (σημερινή Samara) και Tikhoretsk. (Newsmaker, 2018, RT, 2018, Transneft, 2018)

Το σημείο όπου υπήρξε διαρροή ήταν πλησίον του ποταμού Βόλγα ο οποίος εκείνη τη χρονική στιγμή ήταν καλυμμένος από χοντρό στρώμα πάγου, μη επιτρέποντας στο καύσιμο να εισχωρήσει. Συνολικά απελευθερώθηκαν 900 κυβικά μέτρα υλικού και όπως ανέφεραν τα Μέσα η φωτιά που ξέσπασε, διήρκησε ώρες και έδινε την εικόνα πύρινου τοίχους.

Ως αίτιο αναφέρθηκε η κατάρρευση σε μέρος του αγωγού με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί διαρροή. Από το συμβάν 2 κτίρια καταστράφηκαν ολοσχερώς, ενώ δεν αναφέρθηκαν ανθρώπινες απώλειες.



Εικόνα 2.11. Στιγμιότυπο από πλάνο στο οποίο καταγράφεται το “πύρινο τοίχος” που σχηματίστηκε μετά την έκρηξη αγωγού μεταφοράς πετρελαίου, Krasnoarmeiskoye, Saratov Ρωσία, 18 Ιαν. 2018. Πηγή: Мобильный репортер official (2018).



Εικόνα 2.12. Προσπάθειες αποκατάστασης καταστροφής μετά την έκρηξη αγωγού μεταφοράς πετρελαίου, Krasnoarmeiskoye, Saratov, Ρωσία, 18 Ιαν. 2018. Πηγή: Newsmaker (2018).

2.3 Πετρέλαιο (petroleum, diesel oil)

2.3.1 Saint-Clet, Quebec, Καναδάς, 7 Δεκεμβρίου 2002

Περί την 10:53 ώρα (τοπική) της 7 Δεκεμβρίου 2002 εξαιτίας υψηλής πίεσης προκλήθηκε ρήγμα στον κεντρικό αγωγό της εταιρείας Trans-Northern Pipelines Inc. που συνδέει το Μόντρεαλ του Quebec με το Οντάριο (τερματικός σταθμός) στον Καναδά. Ως αποτέλεσμα ήταν 32 κυβικά μέτρα πετρελαίου (χαμηλού θείου, Low Sulphur Diesel) να απελευθερωθούν στην ευρύτερη περιοχή του Saint-Clet στο Quebec και να εξαπλωθούν μέσω του αποχετευτικού συστήματος. (TSBC-R.I.P.: P02H0052, 2018)

Δεν σημειώθηκαν τραυματισμοί, ενώ περισυλλέχθηκε το μεγαλύτερο μέρος του υλικού από την εταιρεία διανομής.

2.4 Βενζίνη (petrol, gasoline)

2.4.1 Bellingham, Καναδάς, 10 Ιουνίου 1999

Περί την 15:25 ώρα (τοπική) της 10 Ιουνίου 1999 στη περιοχή Bellingham στον Καναδά σημειώθηκε διαρροή σε αγωγό διανομής βενζίνης της εταιρείας Olympic Pipe Line. Η διαρροή ως διαπιστώθηκε προήλθε μετά από μηχανικό σφάλμα σε βαλβίδα ρύθμισης, λόγω μη ορθής συντήρησης και αποκατάστασης, η οποία ήταν υπεύθυνη να διακόψει τη παροχή σε περίπτωση διαρροής. Έτσι όταν διανοίχθηκε ρωγμή στον αγωγό δεν διακόπηκε η ροή με αποτέλεσμα περισσότερο από ένας τόνος καυσίμου να χυθεί στους ποταμούς Hanna and Whatcom, οι οποίοι καταλήγουν στον κόλπο της περιοχής. (Carmody et al., 2002, McClary, 2003)

Από τις αναθυμιάσεις της βενζίνης περί την 16:55 ώρα της ίδιας προκλήθηκε έκρηξη με τον καπνό που δημιουργήθηκε να φτάνει τα 30.000 πόδια στον αέρα, κάνοντας τον ορατό από απόσταση σχεδόν 100 χιλιομέτρων. Οι κατασβέσεις άρχισαν να έχουν αποτελέσματα περί την 19:00 ώρα της ίδιας με την κατ' εκτίμηση υψηλότερη τιμή της θερμοκρασίας να ξεπερνά τους 1.000 °C.

Η συνολική οικονομική ζημία που αφορά στην απώλεια περιουσιών ανέρχεται στα 45 εκατομμύρια δολάρια Αμερικής.

Από το συμβάν έχασαν τη ζωή τους 3 νεαροί άνθρωποι, εκ των οποίων οι 2 ήταν παιδιά και αναφέρθηκαν και κάμποιοι τραυματισμοί.



Εικόνα 2.13. Απεικόνιση σύννεφου καπνού που σχηματίστηκε κατά την έκρηξη αγωγού μεταφοράς βενζίνης, Bellingham, Καναδάς, 10 Ιου. 1999. Πηγή: McClary (2003).



Εικόνα 2.14. Πανοραμική απεικόνιση καπνού μία μέρα μετά την έκρηξη αγωγού μεταφοράς βενζίνης, Bellingham, Καναδάς, 10 Ιου. 1999. Πηγή: McClary (2003).

2.4.2 Tlahuelilpan, Χιντάλγκο, Μεξικό, 18 Ιανουαρίου 2019

Περί την 19:10 ώρα (τοπική) της 18 Ιανουαρίου 2019 στην περιοχή Tlahuelilpan, Χιντάλγκο, στο Μεξικό έλαβε χώρα έκρηξη σε αγωγό μεταφοράς βενζίνης της εταιρείας Pemex. Περί την 17:05 ώρα της ίδιας σημειώθηκε διαρροή, η οποία σύμφωνα με τους αρμόδιους, οφείλεται σε ομάδα κλεφτών βενζίνης που δρα στην ευρύτερη περιοχή. Πολλοί ήταν εκείνοι που προσέγγισαν το σημείο προκειμένου να προμηθευθούν δωρεάν καύσιμο για ίδια χρήση, πλην όμως η διαρροή είχε μορφή πίδακα με συνέπεια η βενζίνη να περιλούζει όλο το περιβάλλον. Όταν λοιπόν κάτι ή κάποιος πυροδότησε την έκρηξη όλοι όσοι βρίσκονταν στο σημείο τυλίχθηκαν στις φλόγες. (AP News, 2019, Argen, 2019, Chavez et al., 2019, El Universal, 2019, Graham et al., 2019, Milenio, 2019)

Εκτιμάται ότι η ποσότητα που απελευθερώθηκε συνολικά ήταν 10.000 βαρέλια.

Συνολικά, οι ανθρώπινες απώλειες ανήλθαν στις 96, ενώ επιπλέον 48 άνθρωποι διακομίσθηκαν σε νοσοκομείο για ιατροφαρμακευτική περίθαλψη κυρίως λόγω εγκαυμάτων.



Εικόνα 2.15. Απεικόνιση φωτιάς μετά από έκρηξη αγωγού διανομής βενζίνης, Tlahuelilpan, Χιντάλγκο, Μεξικό, 18 Ιαν. 2019. Πηγή: Chavez et al. (2019).



Εικόνα 2.16. Απεικόνιση πίδακα φωτιάς μετά από έκρηξη αγωγού διανομής βενζίνης, Tlahuelilpan, Χιντάλγκο, Μεξικό, 18 Ιαν. 2019. Πηγή: AP News (2019), προερχόμενη από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας - Secretary of National Defense.



Εικόνα 2.17. Κάτοψη ακριβές σημείου όπου σημειώθηκε έκρηξη αγωγού διανομής βενζίνης, Tlahuelilpan, Χιντάλγκο, Μεξικό, 18 Ιαν. 2019. Πηγή: Chavez et al. (2019).

2.5 Κηροζίνη (Jet fuel, kerosene)

Λόγω του ότι δεν κατέστη εφικτό να εντοπισθεί η καταγραφή ατυχήματος σε αγωγό διανομής Κηροζίνης από έγκυρη πηγή θα αναφερθούμε σε κάποια στοιχεία που χαρακτηρίζουν την ουσία αυτή.

Το χαρακτηριστικό καύσιμο που προέρχεται από τη κηροζίνη είναι το καύσιμο αεροσκαφών τύπου Jet-A. Τόσο η κηροζίνη όσο και τα παράγωγά της πρόκεινται για ιδιαίτερα εύφλεκτα υλικά. Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι σε μία κηλίδα καυσίμου Jet-A η εξάπλωση πυρκαγιάς είναι 30 μέτρα ανά λεπτό (ίσως και λιγότερο). (Fewtrell et al., 2000)

2.6 Φυσικό Αέριο (Natural Gas, LNG)

2.6.1 Wilmington, Delaware, Η.Π.Α., 2 Ιουλίου 2003

Περί την 13:44 ώρα (τοπική) της 2 Ιουλίου 2003 στη περιοχή Wilmington, Delaware των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, κατά τη διάρκεια ανασκαφών, σημειώθηκε ρήξη, έκρηξη και πυρκαγιά σε αγωγό μεταφοράς φυσικού αερίου της εταιρείας Delmarva Power. (NTSB: DCA-03-MP-004, 2004)

Αναφέρθηκαν 14 τραυματισμοί, με την οικονομική ζημία να ανέρχεται στις 300.000 δολάρια Αμερικής.

2.6.2 Fort McMurray, Alberta, Καναδάς, 17 Οκτωβρίου 2013

Περί την 02:35 ώρα (τοπική) της 17/10/2013 νοτιοανατολικά της περιοχής Fort McMurray, Alberta στον Καναδά, διαπιστώθηκε διαρροή φυσικού αερίου από τον Βόρειο κεντρικό αγωγό με την ονομασία "Corridor Loop Buffalo Creek West Section" της εταιρείας TransCanada PipeLines Limited's (NOVA Gas Transmission Ltd). (Hildebrandt, 2013, PR NEWSWIRE, 2015)

Ως αιτία πρόκλησης της ρωγμής κρίθηκε η ρήξη ενός συνδέσμου του αγωγού που λόγω της πίεσης μεγάλωσε η διατομή της σε διάστημα πενήντα ημερών, όταν ο αγωγός διένεμε υπό αυξημένη θερμοκρασία και πίεση προκειμένου να καλύψει αυξημένη ζήτηση. (TSBC-P.I.R.: P13H0107, 2015)

Ως εκτιμήθηκε συνολικά διέρρευσαν 16,5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα καυσίμου.

Στο εν λόγω συμβάν δεν αναφέρθηκαν τραυματισμοί ή ανθρώπινες απώλειες.

2.6.3 Nagaram, Kakinada, Ινδία, 27 Ιουνίου 2014

Περί τις 06:00 ώρα (τοπική) της 27 Ιουνίου 2014 λόγω διάβρωσης, σημειώθηκε διαρροή ακολουθούμενη από έκρηξη και φωτιά σε αγωγό διανομής φυσικού αερίου, πλησίον του χωριού Nagaram της Kakinada στη Νότια Ινδία. (BBC News, 2014, Indian Express (a), 2014, Indian Express (b), 2014)

Ο αγωγός διαχειριζόταν από την εταιρεία Gas Authority of India Limited (GAIL), η οποία τυγχάνει κρατική και ως αιτιολόγηση της διάβρωσης αναφέρθηκε η εναλλαγή μεταφοράς ξηρού και υγροποιημένου φυσικού αερίου, καθότι ο αγωγός είχε αρχικά κατασκευαστεί για τη διανομή μόνο ξηρού. (Mishra & Wehrstedt, 2015, Ranjan, 2014)

Χρειάστηκαν δύο ώρες για να τιθασευθεί η φωτιά που ξέσπασε και η οποία εξαπλώθηκε σε απόσταση 50 μέτρων και ενώ είχε διακοπεί η ροή του αερίου από τον αγωγό. Από το εν λόγω συμβάν έχασαν τη ζωή τους 22 άνθρωποι, ανάμεσα στους οποίους 3 γυναίκες και τρία παιδιά, ενώ 38 συνολικά άνθρωποι τραυματίστηκαν. Παράλληλα σημειώθηκαν φθορές και σε κατοικίες.



Εικόνα 2.18. Έκρηξη σε αγωγό μεταφοράς Φυσικού Αερίου, Nagaram, Kakinada, Ινδία, 27 Ιου. 2014. Πηγή: Ranjan (2014).



Εικόνα 2.19. Έκρηξη αγωγού μεταφοράς Φυσικού Αερίου, Nagaram, Kakinada, Ινδία, 27 Ιου. 2014. Πηγή: The Indian Express (b) (2014).



Εικόνα 2.20. Απεικόνιση αγωγού μεταφοράς Φυσικού Αερίου μετά από έκρηξη, Nagaram, Kakinada, Ινδία, 27 Ιου. 2014. Πηγή: The Indian Express (b)(2014).

2.6.4 Μπανγκαλόρ (Bangalore), Καρνατάκα, Ινδία, 29 Απριλίου 2017

Περί την 13:45 ώρα (τοπική) της 29 Απριλίου 2017 στην περιοχή της Μπανγκαλόρ (Bangalore), Καρνατάκα στην Ινδία, κατά τις εργασίες που πραγματοποιούνταν, εργάτες έσκαψαν πλησίον αγωγού μεταφοράς φυσικού αερίου της εταιρείας Gas Authority of India Limited (GAIL) προκαλώντας του ρήγμα. (The Hindu, 2017)

Το εν λόγω συνεργείο εργαζόταν βάσει εντολής του κρατικού φορέα παροχής νερού και αποχέτευσης (Bangalore Water Supply and Sewerage Board-BWSSB) και οι εργασίες αφορούσαν στο δίκτυο αποχέτευσης το οποίο είναι εγκατεστημένο σε πολύ κοντινή απόσταση από τον αγωγό διανομής φυσικού αερίου, με την αιτιολογία ότι δεν υπάρχει άλλος ελεύθερος χώρος.

Στο ρήγμα ξέσπασε φωτιά, πλην όμως άμεσα επιχείρησαν συνεργεία και την κατέσβησαν πριν σημειωθούν εκρήξεις και τραυματισμοί.

2.7 Υδρογόνο (Hydrogen)

2.7.1 Heinenoord, Binnenmaas, Ολλανδία, 12 Οκτωβρίου 2007

Την 12 Οκτωβρίου 2007 στη περιοχή του Heinenoord, Binnenmaas της Νότιας Ολλανδίας σημειώθηκε φωτιά στον αγωγό "The Netherlands Pipeline Corridor" διανομής Υδρογόνου σε αέρια μορφή. Η φωτιά ήταν αποτέλεσμα διαρροής από ρήγμα που είχε προκληθεί σε σημείο όπου ο αγωγός εισερχόταν σε κτίριο. Ως προκληθείσα αιτία της ρωγμής αναφέρθηκε αρχικά η συσκευή που είναι υπεύθυνη για να διακόπτει την καθοδική πορεία του υλικού που κυκλοφορεί στον αγωγό, όμως κατά την έρευνα που διενεργήθηκε διαπιστώθηκε ότι υπήρξε και ελλιπής έλεγχος από τους αρμόδιους για την συντήρηση του αγωγού. (BARPI: 35860, 2009)

Λόγω της φύσης της διαρροής δεν κατέστη εφικτό να προσδιορισθεί ο ακριβής χρόνος της έναρξής της, ο οποίος θα μπορούσε να ξεπερνάει ακόμη και το μήνα. Στο σημείο δεν σημειώθηκε έκρηξη αλλά δημιουργήθηκε φωτιά στην επιφάνεια του εδάφους κάτω από το οποίο περνούσε ο αγωγός.

Επειδή το Υδρογόνο δεν είναι τοξικό και λόγω του ότι η φωτιά που ξέσπασε περιορίστηκε άμεσα δεν σημειώθηκαν τραυματισμοί ή άλλες απώλειες. Λόγω όμως του γεγονότος ότι θα μπορούσε η διαρροή να ήταν πολύ μεγαλύτερη με την πιθανότητα έκρηξης με καταστρεπτικές συνέπειες, το εν λόγω ατύχημα κρίθηκε ως σοβαρό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαρροή από τη στιγμή που εντοπίστηκε διήρκησε 7 ώρες και απελευθερώθηκαν 50 κιλά υδρογόνου στην ατμόσφαιρα.

2.7.2 Kjørbo, Sandvika, Νορβηγία, 10 Ιουνίου 2019

Περί την 17:40 ώρα (τοπική) της 10 Ιουνίου 2019 αναφέρθηκε ένα ατύχημα σε πρατήριο καυσίμου Υδρογόνου με την ονομασία «Uno-x» στο Kjørbo, στη πόλη Sandvika, λίγο πιο έξω από το Όσλο Νορβηγίας. Άμεσα μετέβη στο σημείο ειδική ομάδα ανταπόκρισης της διαχειρίστριας εταιρείας Nel ASA. (Wijnen, 2019)

Όπως έδειξαν οι έρευνες το ατύχημα οφειλόταν σε αστοχία συναρμολόγησης και συγκεκριμένα σε μη σωστή τοποθέτηση ενός φιν στην δεξαμενή αποθήκευσης Υδρογόνου υψηλής πίεσης. Αυτό οδήγησε σε διαρροή Υδρογόνου το οποίο αναμείχθηκε με τον ατμοσφαιρικό αέρα (Οξυγόνο), αποτέλεσμα να προκληθεί ανάφλεξη και να προκληθεί πυρκαγιά. Η πηγή της ανάφλεξης δεν έχει καταστεί εφικτό να προσδιορισθεί έως και σήμερα. (Nel ASA, 2019)

Κατά την ανάφλεξη του νέφους του μίγματος (Υδρογόνου-αέρα) που σχηματίστηκε, προκλήθηκε ένα ωστικό κύμα το οποίο με τη σειρά του προκάλεσε την ενεργοποίηση των αερόσακων σε οχήματα που βρίσκονταν κοντά στο σημείο.

Από το συμβάν τραυματίστηκαν ελαφρώς τρεις άνθρωποι, από τη μη αναμενόμενη ενεργοποίηση των αερόσακων των οχημάτων τους και διακομίσθηκαν στο νοσοκομείο για ιατροφαρμακευτική περίθαλψη.



Εικόνα 2.21. Ατύχημα σε δεξαμενή αποθήκευσης Υδρογόνου πρατηρίου καυσίμων, Kjørbo, Sandvika, Νορβηγία, 10 Ιου. 2019. Πηγή: Loeffler, J. (2019).

Κεφάλαιο 3.

Γνωριμία με το Υδρογόνο ως μελλοντικό καύσιμο

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία προσέγγιση της ουσίας του Υδρογόνου ως καύσιμη ύλη με σκοπό να αναδειχθούν και να κατανοηθούν οι αρχές που το διέπουν ως υλικό.

Εστιάζοντας στο να γίνει εύκολα και απλά κατανοητό τι είναι το καύσιμο Υδρογόνου και γιατί θεωρείται ένα από τα καθαρότερα καύσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον δε θα πραγματοποιηθούν διεξοδικές αναλύσεις και μεθοδεύσεις ούτε ως προς το κατά πόσο συμφέρουσα θα ήταν η πλήρης απαξίωση των σημερινών συμβατικών καυσίμων και η πλήρης μεταστροφή στο Υδρογόνο, αλλά ούτε και κατά πόσο κάτι τέτοιο θα ήταν εφικτό και με ποιους τρόπους.

Στη συνέχεια αφού θα έχει περιγραφεί το Υδρογόνο, θα γίνει αναφορά σε νομοθεσίες, μελέτες και δραστηριότητες που πραγματώνονται στην ελληνική, ευρωπαϊκή και παγκόσμια επικράτεια.

3.2 Ιστορικά δρώμενα

Σήμερα είναι ευρέως διαδεδομένο ότι τα συνεχώς αυξανόμενα ποσοστά εκπομπών ρυπογόνων αερίων, έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Πολλοί όροι που σήμερα μας φαίνονται οικείοι όπως η κλιματική αλλαγή ή το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν ήταν πάντα γνωστά στο ευρύ κοινό και πόσο μάλλον να αποτελούν και προτεραιότητα αντίδρασης κυβερνήσεων.

Η διεθνής πολιτική ανταπόκριση στην κλιματική αλλαγή ξεκίνησε στη Σύνοδο Κορυφής στο Ρίο, μόλις το 1992, όπου η “σύμβαση του Ρίο” συμπεριέλαβε και το σχέδιο του Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών (UNFCCC) σχετικά με το τι συμβαίνει και το τι θα πρέπει να αλλάξει για ένα βιώσιμο μέλλον. Η σύμβαση τέθηκε σε ισχύ τον Μάρτιο του 1994 και είχε ως κύριο γνώμονα την σταθεροποίηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα για την αποφυγή της επικίνδυνης ανθρωπογενούς παρέμβασης στο σύστημα του κλίματος.

Έκτοτε λαμβάνουν χώρα ετήσιες Σύνοδοι των συμμετεχόντων μερών (COP) προκειμένου να τεθούν σε εφαρμογή τα όσα μέτρα λήφθηκαν. Η πρώτη Σύνοδος πραγματοποιήθηκε το 1995 στο Βερολίνο στη Γερμανία και με το πέρασμα των χρόνων και των Συνόδων, όλο ένα και περισσότερα πρωτόκολλα, μέτρα και σχέδια συμπεριλαμβάνονταν στις συμβάσεις για το καλό του πλανήτη.

Μετά από 20 χρόνια διαπραγματεύσεων των Ηνωμένων Εθνών έλαβε χώρα και η Σύνοδος COP21 η οποία έμελλε να αλλάξει για πάντα ως προς την αντίληψη και δράση στη διεθνή κοινότητα. (www.cop21paris.org/)

3.2.1 Cop21-Paris Climate Conference

Κατά το χρονικό διάστημα από την 30 Νοεμβρίου έως την 13 Δεκεμβρίου του 2015 στο Παρίσι και συγκεκριμένα στο προάστιο Λε Μπουρζέ (Le Bourget) πραγματοποιήθηκε η πρώτη Σύνοδος (COP21) των μερών της Σύμβασης του Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (Climate Change Conference). Η συμφωνία που κατατέθηκε παρέμεινε ανοιχτή προς υπογραφή στην έδρα των Η.Ε. στη Νέα Υόρκη από την 22 Απριλίου 2016 έως την 21 Απριλίου 2017 (events.climateaction.org/sustainable-innovation-forum/agenda)

Ως “ιστορική” χαρακτηρίστηκε η συμφωνία για τον απλούστατο λόγο ότι πρόκειται για την πρώτη παγκόσμια συμφωνία στις διαπραγματεύσεις που αφορούν το παγκόσμιο κλίμα. Στις διαπραγματεύσεις και διαβουλεύσεις συμμετείχαν συνολικά 197 χώρες, συμπεριλαμβανομένης και της Ε.Ε. Η συμφωνία που υπεγράφη αποσκοπεί στην μείωση της εκπομπής αερίων που εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ο πρωταρχικός στόχος που τέθηκε για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, ήταν ο περιορισμός της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας εντός του αιώνα που διανύουμε κάτω από 2°C πάνω από την προ βιομηχανική εποχή και να γίνουν προσπάθειες για περεταίρω μείωση σε 1,5°C. Οι προσπάθειες αυτές θα ευδοκιμήσουν μέσω της χρήσης εναλλακτικών “πράσινων” πηγών ενέργειας.

Προτάθηκαν μέτρα για την τιμή του άνθρακα (κάρβουνου) και τη φορολογία του εντός και εκτός Ευρώπης καθώς και ως προς τη σωστή και ελεγχόμενη χρήση του, όπου και όταν πρέπει.

Η συμφωνία τέθηκε σε ισχύ την 4 Νοεμβρίου 2016 όταν είχε επικυρωθεί από 55 συμβαλλόμενα μέρη που εκτιμάται ότι κατέχουν το 55% της παγκόσμιας εκπομπής αερίων.

Το τρέχον έτος (2019) έχουν υπογράψει 197 χώρες συν την Ευρωπαϊκή Ένωση, με τα 186 έθνη και την Ε.Ε. να έχουν επικυρώσει την συμφωνία.

Οι χώρες που δεν έχουν επικυρώσει ακόμη τους όρους της συμφωνίας ενώ έχουν υπογράψει είναι οι ακόλουθες δέκα: Αγκόλα, Ερυθραία, Ιράν, Ιράκ, Κιργιζιστάν, Νότιο Σουδάν, Λιβύη, Λίβανος, Τουρκία, Υεμένη. (Paris Agreement)

Αξίζει να σημειωθεί ότι η Ελλάδα δεν άργησε να επικυρώσει την συμφωνία, κάτι που έγινε την 14 Οκτωβρίου 2016, αφού είχε υπογράψει την 22 Απριλίου του ίδιου έτους.

Σύμφωνα με το δέκατο ετήσιο forum βιώσιμης καινοτομίας (10th Sustainable Innovation Forum 2019) κάθε χρόνο πραγματοποιείται η σύσκεψη των μερών (COP) κάτι που θα γίνει και στα μέσα Δεκεμβρίου 2019 στη πόλη της Μαδρίτης στην Ισπανία, όπου θα λάβει χώρα το COP25 στο οποίο βάσει της σύσκεψη του 2018, αναμένεται να παρευρίσκονται 635 άτομα εκπροσωπώντας 82 χώρες απ’ όλο το πλανήτη. Κατά τη σύσκεψη θα συζητηθούν 17 στόχοι οι οποίοι επιγραμματικά αναφέρονται ακολούθως. (Paris Agreement, www.un.org/sustainabledevelopment/, events.climateaction.org/sustainable-innovation-forum/agenda)

1. Όχι φτώχεια
2. Όχι πείνα

3. Καλή υγεία και διαβίωση
4. Ποιοτική εκπαίδευση
5. Ισότητα φύλων
6. Καθαρό νερό και εγκαταστάσεις υγιεινής
7. Προσιτή και καθαρή ενέργεια
8. Αξιοπρεπείς εργασία και ανάπτυξη οικονομίας
9. Βιομηχανία, καινοτομία, υποδομές
10. Μείωση ανισοτήτων
11. Βιώσιμες πόλεις και κοινωνίες
12. Υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή
13. Κλιματική δράση
14. Ζωή κάτω από το νερό
15. Ζωή στη στεριά
16. Ειρήνη, δικαιοσύνη και ισχυροί θεσμοί
17. Συνεργασίες για τους στόχους

Οι συμμετέχοντες απαρτίζονται από επικεφαλής του ιδιωτικού τομέα στο μεγαλύτερο ποσοστό και ακολουθούν κυβερνητικοί εκπρόσωποι του δημόσιου τομέα, εκπρόσωποι των ΜΜΕ, των ΜΚΟ και ακαδημαϊκοί.

3.2.2 Αρχικές Παρατηρήσεις

Όπως μπορεί εύκολα να καταλάβει κανείς από τα προλεγόμενα, σχεδόν σύσσωμος ο κόσμος, αναπτυγμένος ή αναπτυσσόμενος, παρά τις όσες γεωστρατηγικές, οικονομικές, πολιτικές ή άλλες διαφορές που υφίστανται, έχει ενωθεί στην καταπολέμηση σοβαρών προβλημάτων που κλονίζουν το σύγχρονο τρόπο ζωής και απειλούν την βιωσιμότητα του πλανήτη. Ένα από τα πεδία που εστιάζεται η παγκόσμια προσοχή είναι και η χρήση καθαρής ενέργειας και η ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίων που συμβάλουν στην διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και ουσιαστικά στην κλιματική αλλαγή.

Μία από τις πιο σημαντικές πηγές εκπομπών αερίων είναι και η χρήση και καύση των καυσίμων που προέρχονται από τους υδρογονάνθρακες.

Σύμφωνα με τους Garcia et al., (2010) η χρήση του Υδρογόνου θεωρείται μία από τις σημαντικότερες εναλλακτικές πηγές ενέργειας για την βιώσιμη περιβαλλοντική ανάπτυξη. Μπορεί να αντικαταστήσει άλλους υδρογονάνθρακες που χρησιμοποιούνται σήμερα ως καύσιμες ύλες, η χρήση των οποίων συνδράμει σημαντικά στην μόλυνση του περιβάλλοντος, καθώς και στην επιδείνωση των φαινομένων της τρύπας του όζοντος και του θερμοκηπίου. (Crouzet et al., 2017, Kondratenko et al., 2013, Setiani et al., 2012)

3.3 Λίγα λόγια για το στοιχείο του Υδρογόνου

Όπως χαρακτηριστικά ανέφερε το 1972 ο Γερμανός φυσικός, ακαδημαϊκός και επιστημονικός αρθρογράφος, Hoimar Gerhard Friedrich Ernst von Ditfurth: «In the beginning, there was hydrogen», ελληνιστή “εν αρχή, ήταν το υδρογόνο”.

Λέγεται πως το υδρογόνο δημιουργήθηκε στα πρώτα λεπτά αμέσως μετά το Big Bang που προκάλεσε τη διαστολή του σύμπαντος και ακόμη και σήμερα είναι η αιτία που θερμαίνονται οι πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος, μιας και αποτελεί το καύσιμο που αναλώνεται στον Ήλιο, σε θερμοκρασία 13 εκατομμυρίων βαθμών και πυκνότητα 200 κιλών ανά λίτρο. Η κατανάλωσή του αγγίζει τους 600 εκατομμύρια τόνους ανά δευτερόλεπτο. (Γαλδαδάς, 2013, Jörg et al., 2017)

Ως προς την ονομασία του, το υδρογόνο πρόκειται για σύνθετη λέξη αποτελούμενη από τις λέξεις ύδωρ και γεννώ, ήτοι παραγωγός νερού. Η ονομασία δόθηκε αρχικά από τον Γάλλο χημικό Antoine Laurent de Lavoiser περί τα 1787 ο οποίος δανείστηκε την ονομασία από τις προαναφερόμενες ελληνικές λέξεις. Αυτό συνέβη διότι το Υδρογόνο όταν αντιδράσει με το οξυγόνο παράγεται νερό. (Jörg et al., 2017)

Άλλες ονομασίες για το στοιχείο του Υδρογόνου ήταν “εύφλεκτος αέρας” λόγω της υψηλής ευφλεκτότητάς του, που δόθηκε από τον Άγγλο φυσικοχημικό Henry Cavendish, ενώ οι Γερμανοί το αποκαλούσαν «Wasserstoff», δηλαδή “ουσία νερού”. (Jörg et al., 2017)

Από χημικής οπτικής το Υδρογόνο αποτελεί το πρώτο στοιχείο του περιοδικού πίνακα κατέχοντας το 1 ως ατομικό αριθμό και έχοντας ατομικό βάρος 1,00794. Πρόκειται για το 3^ο κατά φθίνουσα σειρά στοιχείο στο φλοιό της Γης (έως το βάθος 16 χλμ), απαρτίζοντας παράλληλα το 75% του ορατού σύμπαντος. Αξίζει να σημειωθεί ότι ως ουσία δεν έχει τοξικές ιδιότητες.

Βοηθά στην δημιουργία βιώσιμων συνθηκών επάνω στον πλανήτη μας, από άποψη θερμοκρασίας, αφού συμμετέχοντας στο σχηματισμό υδρατμών που μας περιβάλλουν, συμβάλλει στη διατήρηση μιας μέσης θερμοκρασίας στους +15°C αντί για τους -20°C που θα επικρατήσουν χωρίς αυτό.

Η σημαντικότερη όμως συμβολή του Υδρογόνου στη βιωσιμότητα του πλανήτη μας είναι φυσικά οι δεσμοί που σχηματίζει, όπου διαφορετικά μόρια έλκονται από τα άτομα υδρογόνου που τα απαρτίζουν. Κατ’ αυτόν τον τρόπο σχηματίζεται και το μόριο του νερού, το οποίο αν δεν γινόταν η σύνδεση μεταξύ των ατόμων υδρογόνου από άλλα μόρια και εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι πολύ ελαφρύ, θα μπορούσε να υπάρχει σε αέρια κατάσταση αντί για υγρή όπως συμβαίνει τώρα, λόγω της σύνδεσης μεταξύ των μορίων του. (Jörg et al., 2017)

Ακόμη και στη περίπτωση που το νερό βρίσκεται σε κατάσταση ψύχους (κάτω των 0°C) οι δεσμοί υδρογόνου είναι εκείνοι που επιτρέπουν τη δημιουργία κρυσταλλικού πλέγματος, ώστε ο πάγος να έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό με αποτέλεσμα να επιπλέει.

Οι δεσμοί Υδρογόνου μας βοηθάνε και εντός του σώματός μας, αφού τους συναντάμε στις πρωτεΐνες των μυών, στα ένζυμα και στον εγκέφαλο. Ακόμη και η δομή του DNA μας με τη μορφή του διπλού έλικα οφείλεται εκτός των άλλων και στους δεσμούς υδρογόνου. (Γαλδαδάς, 2013)

Από το σημείο αυτό και για όλη την συνέχεια της παρούσας εργασίας όταν γίνεται αναφορά στο Υδρογόνο θα νοείται το Υδρογόνο δύο ατόμων δηλαδή H_2 .

Σημειώνεται επίσης, ότι το Υδρογόνο ως στοιχείο φέρει μοναδικό αναγνωριστικό αριθμό (CAS) 1333-74-0 (Seveso III), ο οποίος περιλαμβάνεται στην Διεθνή Ένωση Καθαρής και Εφαρμοσμένης Χημείας (IUPAC).

3.4 Χαρακτηριστικά

Από φυσικού του το Υδρογόνο βρίσκεται σε αέρια μορφή. Μάλιστα για δεκαετίες θεωρούταν ότι βρίσκεται μόνιμα σε τέτοια μορφή, ανεξαρτήτων των συνθηκών και ότι δεν μπορούσε να μετατραπεί με κανένα τρόπο σε υγρό ή στερεό. (Holleman & Wiberg, 2007)

Για να μπορέσει να λάβει υγρή μορφή, το Υδρογόνο θα πρέπει να βρεθεί σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο βρασμού του, που σημειώνεται στους $-252,76^{\circ}C$ και υπό μία φυσιολογική πίεση των 1,013 bar.

Γενικά, προκειμένου να αλλάξει μορφή ένα αέριο σώμα δεν απαιτούνται μόνο οι κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας (για το υδρογόνο πολύ χαμηλή), αλλά ταυτόχρονα θα πρέπει να υφίστανται και κατάλληλες συνθήκες πίεσης.

Τα αέρια, όταν τίθενται κάτω από υψηλές συνθήκες πίεσης έχουν την τάση να υγροποιούνται λόγω της συγκέντρωσης των μορίων τους. Βέβαια, υπάρχει μία θερμοκρασία πάνω από την οποία κάτι τέτοιο δεν μπορεί να συμβεί, όσο υψηλή και να είναι η πίεση. Η θερμοκρασία αυτή ονομάζεται κρίσιμη και στη περίπτωση του υδρογόνου αντιστοιχεί στους $-239,96^{\circ}C$. Παρόμοια, διατηρώντας μία κατάλληλη θερμοκρασία και αυξάνοντας συνεχώς τη πίεση, ένα αέριο δε μπορεί να μετατραπεί σε υγρό, κάτι που στο υδρογόνο συμβαίνει όταν η πίεση αγγίξει τα 13,1 bar (κρίσιμη πίεση).

Οι τιμές που αναφέρθηκαν προηγουμένως της κρίσιμης θερμοκρασίας και πίεσης χαρακτηρίζουν το κρίσιμο σημείο του Υδρογόνου κατά το οποίο τόσο η υγρή όσο και η αέρια φάση συνυπάρχουν. Στο σημείο αυτό η πυκνότητα του Υδρογόνου είναι 31 γραμμάρια ανά λίτρο.

Στη θερμοκρασία των $-259,19^{\circ}C$, δηλαδή ελαφρώς χαμηλότερα από το σημείο βρασμού του και υπό φυσιολογικές συνθήκες πίεσης, το Υδρογόνο μετατρέπεται από υγρό σε στερεό.

3.5 Ευφλεξιμότητα

Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του καθαρού Υδρογόνου ανέρχεται στους $585^{\circ}C$, πολύ υψηλότερη από τα υπόλοιπα συμβατικά καύσιμα, πλην όμως το γεγονός ότι η ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης που χρειάζεται για να το πυροδοτήσει είναι μόλις 0,02MJ, πολύ χαμηλότερη από όλα τα υπόλοιπα καύσιμα, οδηγεί στο δίκαιο χαρακτηρισμό του Υδρογόνου ως εξαιρετικά εύφλεκτο αέριο υλικό.

Η μέγιστη ταχύτητα της φλόγας που θα προκύψει από μία ανάφλεξη Υδρογόνου ανέρχεται σε 12,456 χιλιόμετρα ανά ώρα ή αλλιώς 3,46 μέτρα το δευτερόλεπτο.

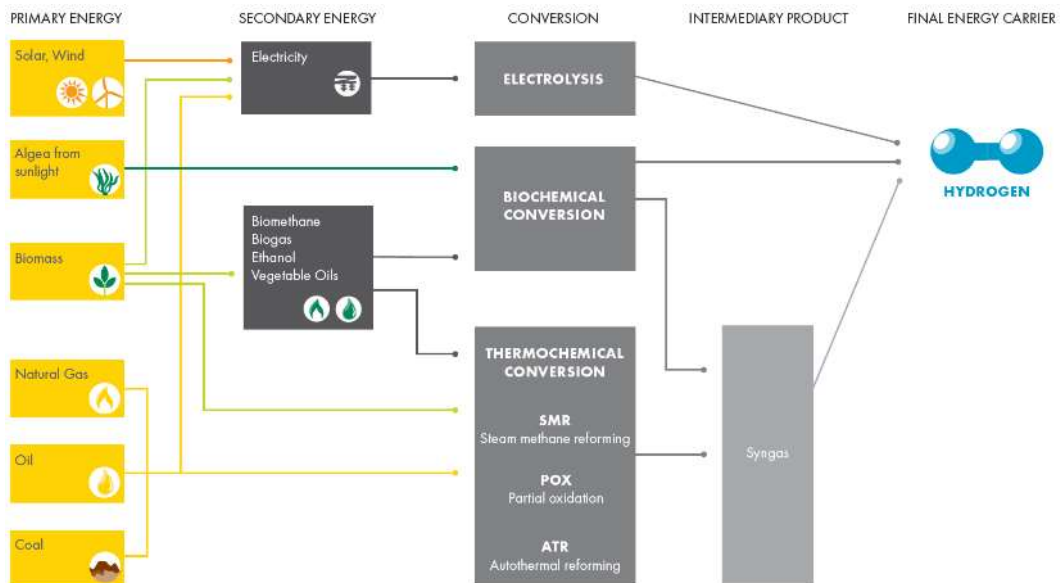
Αξίζει να σημειωθεί ότι όταν καίγεται το Υδρογόνο η φλόγα που παράγεται είναι σχεδόν διάφανη και δεν μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτή με γυμνό μάτι. Προκειμένου να καταστεί ορατή πιθανόν να απαιτείται ακόμη και η χρήση ειδικών εργαλείων και μεθόδων, όπως για παράδειγμα χρήση θερμικής κάμερας. (ERG, 2004)

Αξίζει να σημειωθεί ότι το Υδρογόνο από μόνο του δεν μπορεί να αναφλεγεί, αλλά μόλις αναμειχθεί με το οξυγόνο, το τελευταίο διαδραματίζει το ρόλο του οξειδωτή και συνεπώς στην περίπτωση που υπάρξει κάποια πηγή ανάφλεξης, όπως μία σπίθα για παράδειγμα, θα προκληθεί πυρκαγιά με ότι αυτό συνεπάγεται κατά περίπτωση. (Jörg et al., 2017)

3.6 Πως παράγεται το Υδρογόνο

Το Υδρογόνο εντοπίζεται σε χημικές ενώσεις και γι' αυτό ο μόνος τρόπος παραγωγής του είναι μέσω συγκεκριμένων διαδικασιών. Σήμερα οι πιο συχνοί τρόποι βασίζονται σε επεξεργασία έτερων υδρογονανθράκων που χρησιμοποιούνται ως πηγές ενέργειας (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ηλεκτρισμός).

Στο γράφημα που παρατίθεται ακολούθως παρουσιάζεται η διαδικασία παραγωγής Υδρογόνου τα τελευταία χρόνια.



Εικόνα 3.1. Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας παραγωγής Υδρογόνου. Πηγή Jörg et al.(2017).

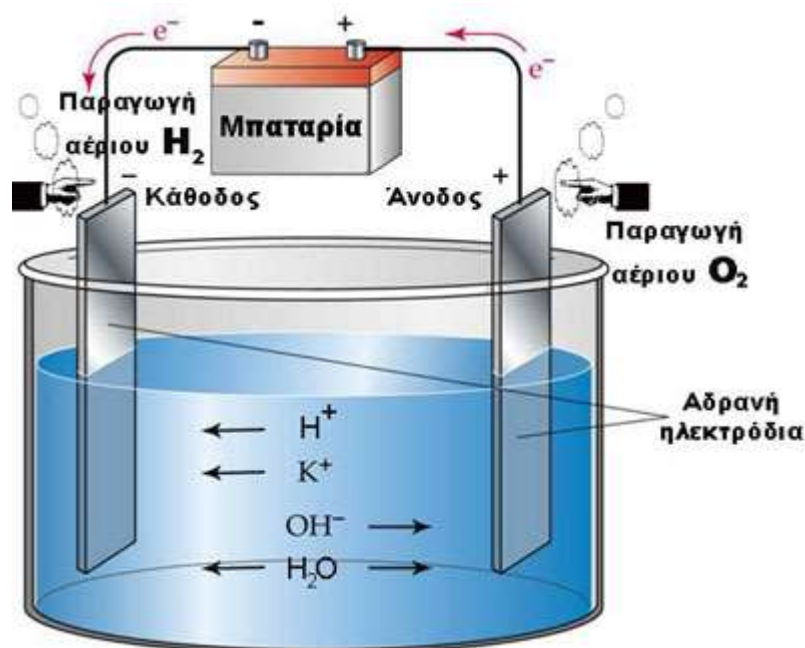
Όπως απεικονίζεται και στο ανωτέρω γράφημα οι τρεις βασικές διαδικασίες βιομηχανικής παραγωγής Υδρογόνου είναι οι παρακάτω:

1. Ηλεκτρόλυση
2. Βιοχημική μετατροπή

3. Θερμοχημική μετατροπή

3.6.1 Ηλεκτρόλυση

Είναι η διαδικασία κατά την οποία το νερό διασπάται σε Υδρογόνο και Οξυγόνο μέσω του ηλεκτρισμού. Αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια κάποιου ηλεκτρολύτη, όπως για παράδειγμα σε μία αλκαλική ηλεκτρόλυση, ένα διάλυμα καυστικής ποτάσας (υδροξείδιο ποτάσας-KOH). (Eichlseder & Klell, 2012)



Εικόνα 3.2. Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας Ηλεκτρόλυσης. Πηγή: Ανοικτές πηγές διαδικτύου.

Αν και σήμερα δεν είναι ευρέως διαδεδομένη η χρήση της ηλεκτρόλυσης, κυρίως λόγω του αυξημένου κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται, εκτιμήσεις αναφέρουν ότι στο μέλλον η παραγωγή Υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης θα αυξηθεί, ειδικά όσο αυξάνονται οι ανανεώσιμες πηγές ηλεκτροδότησης.

3.6.2 Θερμοχημική μετατροπή

Πρόκειται για τη πιο διαδεδομένη μέθοδο και αφορά την μετατροπή ορυκτών υδρογονανθράκων σε Υδρογόνο μέσω χημικών διαδικασιών κατά τις οποίες επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 700°C με 800°C περίπου. Κατά την εν λόγω διαδικασία προκαλείται η εξάτμιση του νερού που περιέχεται στο υλικό που υπόκειται τη διαδικασία, ενώ παράλληλα υπάρχει και η παραγωγή μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα. Στην περίπτωση που γίνεται χρήση του αέρα ως οξειδωτικό, το παραγόμενο αέριο περιέχει επίσης και άζωτο. Η μετατροπή υποστηρίζεται και από έναν καταλύτη, ενώ υπάρχει συνεχώς μία παροχή διοχέτευσης οξυγόνου. Βάσει του οξειδωτή που θα χρησιμοποιηθεί η διαδικασία διαμορφώνεται σε τρεις βασικές μεθόδους, όπως αναφέρουν οι Aicher T., Blum L. & Specht M. (2004):

- ❖ **Αναμόρφωση υδρατμών:** Ως οξειδωτής εδώ χρησιμοποιείται το καθαρό νερό. Για την αντίδραση απαιτείται η εισαγωγή θερμότητας.

- ❖ **Μερική οξείδωση:** Οξειδωτής εδώ είναι το Οξυγόνο ή ο αέρας. Στην περίπτωση αυτή προκαλείται παραγωγή θερμότητας.
- ❖ **Αυτοθερμική αναμόρφωση:** Πρόκειται για συνδυασμό των ανωτέρω δύο μεθόδων, λειτουργώντας με ένα μείγμα οξυγόνου και υδρατμών. Η αναλογία των οξειδωτών γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην απαιτείται εισαγωγή θερμότητας, αλλά ταυτόχρονα και να μην εκλύεται.

3.6.3 Βιοχημική παραγωγή

Συναντιέται ως μέθοδος στην περίπτωση της βιομάζας με τη χρήση μικροοργανισμών (όπως ετερότροφα βακτήρια ή φωτοσυνθετικά βακτήρια) και ίσως και τη χρήση ενέργειας μέσω των ακτίνων του ήλιου. (Zech et al., 2014)

Κυριότερες μέθοδοι αποτελούν (i) η σκοτεινή ζύμωση, (ii) η φωτεινή ζύμωση και (iii) η βιολογική διάσπαση του νερού με τη χρήση πράσινων φυκιών ή κυανοβακτηρίων.

3.7 Το Υδρογόνο ως Καύσιμη Ύλη και Εφαρμογές

Στην αρχή αυτής της παραγράφου εκτιμήθηκε ότι θα πρέπει να παρατεθεί μία πρόταση από το μυθιστόρημα του Ιούλιου Βέρν «το Μυστήριο Νησί» το 1974, η οποία είναι «Water will be the coal of the future», ελληνιστί “το νερό θα είναι το κάρβουνο του μέλλοντος”.

Η χρήση του Υδρογόνου ως καύσιμο μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με την χημική του σύσταση και ανάλογα με τον μετατροπέα ενέργειας που χρησιμοποιείται.

Έτσι, έχουμε την άμεση χρήση καθαρού μορίου Υδρογόνου χωρίς περαιτέρω μετατροπή, ως κύρια πηγή ενέργειας. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει είτε σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, είτε σε συστήματα κυψελών καυσίμου.

Έπειτα, έχουμε την έμμεση χρήση του Υδρογόνου προκειμένου είτε να παραχθεί η τελική πηγή ενέργειας, είτε να μετατραπεί μέσα από μία διαδικασία σε καύσιμη ύλη.

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα της χρήσης του Υδρογόνου, είναι ότι κατά την καύση του σημειώνεται μηδενική εκπομπή αερίων ρύπων (άνθρακα), σε αντίθεση με την περίπτωση καύσης καυσίμων υδρογονανθράκων.

Μελέτες έχουν δείξει ότι κατά τη καύση Υδρογόνου σε μηχανές εσωτερικής καύσης δεν σημειώνεται μεγαλύτερη απόδοση, όπως ίσως αναμενόταν, σε σύγκριση με τη χρήση συμβατικών καυσίμων όπως βενζίνης ή πετρελαίου. (Eichseder & Klell, 2014)

3.7.1 Υδρογόνο & Διαστημικά Μέσα

Το Υδρογόνο υπό μορφή κρυογονικού υγρού (LH₂) χρησιμοποιείται ως κινητήριος δύναμη σε διαστημόπλοια και πυραύλους από το 1950 με 1960. Η καθαρή καύση και η υψηλή ειδική ώθηση είναι τα πλεονεκτήματα που οδήγησαν στη χρήση του σ' αυτόν το τομέα.

Ακόμη και το διαστημόπλοιο του διαστημικού σταθμού Ευρώπης, European Ariane 5, ένα από τα πιο αξιόπιστα του πλανήτη, ήταν εφοδιασμένο με 185 τόνους LH₂ μαζί με κρυογονικό υγρό Οξυγόνο (LOX) προκειμένου να μεταφέρει έως και 20 τόνους σε τροχιά γύρω από τη Γη. (Airanospace, 2016)

3.7.2 Υδρογόνο & Εναέρια Μέσα

Εδώ και μερικά χρόνια επιχειρείται η χρήση κινητήρων κυψελών καυσίμου στα εναέρια μέσα, κυρίως στα αεροσκάφη. Αυτό συμβαίνει για το λόγο του ότι σε στιγμές που απαιτείται υπάρχει η δυνατότητα χρήσης βοηθητικής μονάδας μέσω ηλεκτρικής ενέργειας.

Λόγω του ότι το Υδρογόνο μπορεί να βρει εφαρμογή στους κινητήρες κυψελών καυσίμου και επειδή αυτού του είδους οι κινητήρες έχει αποδειχθεί ότι παράγουν πολύ περισσότερη ενέργεια σε σύγκριση με τους κινητήρες αεροσκαφών, εξετάζεται το ενδεχόμενο να εφαρμοστεί η καύση του Υδρογόνου και στα εναέρια μέσα, ακόμη και με τη χρήση νερού ή ακόμη και την υγρασία της ατμόσφαιρας. (Renouard-Valleta et al., 2012)

Κάτι τέτοιο θα βοηθούσε τόσο στην εξοικονόμηση του ακριβού καυσίμου που χρησιμοποιείται τώρα, αλλά και στη σημαντική μείωση των ρυπογόνων αερίων που εκπέμπονται.

3.7.3 Υδρογόνο & Πλωτά Μέσα

Στα πλοία και σκάφη οι κινητήρες πετρελαίου και βενζίνης κυριαρχούν. Όμως όπως και στην περίπτωση των εναέριων μέσων η παραγωγή ενέργειας θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί από κινητήρες κυψελών καυσίμου, κάτι που έχει δοκιμαστεί με επιτυχία. (Würsig, 2016)

Στην περίπτωση των υποβρυχίων η τεχνολογική πρόοδος έχει προχωρήσει και ήδη σε Ευρώπη (Γερμανία) και Αμερική λειτουργούν υποβρύχια με συστήματα κυψελών καυσίμου για την παροχή καθαρού οξυγόνου στο πλήρωμα. Έτσι και εδώ θα μπορούσε να βρει εφαρμογή το Υδρογόνο.

3.7.4 Υδρογόνο & Σιδηροδρομικά Μέσα

Πολύ πρόσφατα γίνεται λόγος για τα Hydrail οχήματα που σε μια πολύ ελεύθερη μετάφραση θα μπορούσαν να ονομάζονται Υδρογονοσιδηρότροχα. Στην ουσία πρόκειται για οχήματα που κινούνται πάνω σε σιδηρογραμμές και τα οποία για τη κίνησή τους χρησιμοποιούν Υδρογόνο. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί σε περιπτώσεις που δεν μπορεί να κατασκευαστεί μία ηλεκτρική γραμμή και παράλληλα θα απαιτούσαν η μηδενική μόλυνση κατά τη λειτουργία. (Jörg et al., 2017)

Σήμερα τα μέσα που κινούνται πάνω σε σιδηροδρομικές γραμμές (τραίνα, τράμ, υπερταχείες κ.ο.κ.) χρησιμοποιούν για την κίνησή τους αποκλειστικά ηλεκτρική ενέργεια ή πετρέλαιο (είτε ως μοναδικό καύσιμο, είτε σε συνδυασμό με ηλεκτρική ενέργεια). Τα επίπεδα ηλεκτροκίνησης σε Ευρώπη και Ασία κυμαίνονται μεταξύ 60% έως και 80%, ενώ σε παγκόσμιο επίπεδο η ηλεκτροκίνηση στις σιδηρογραμμές καλύπτει το ένα τρίτο συνολικά. Αναφορικά με τα ποσοστά ηλεκτροκίνησης, όπως ήδη αναφέρθηκε στην Ευρώπη κατέχει ένα 60%, στην Ινδία πάνω από το 50%, στη Κίνα 40% και στην Αφρική κοντά στο 20% του συνόλου των σιδηρογραμμών. Μικρό όμως είναι το ποσοστό ακόμη στη Βόρεια Αμερική. (IEA & UIC, 2015)

Στη Κίνα σήμερα υπάρχει τραμ στη παράκτια περιοχή Quingdao που λειτουργεί με Υδρογόνο, το οποίο αποκαλείται ως Hydrolley.

3.7.5 Υδρογόνο & Μηχανήματα Έργου

Στο παγκόσμιο χάρτη τα μηχανήματα έργου, ή πιο απλά τα οχήματα που χρησιμοποιούνται για εργασίες όχι μόνο σε βιομηχανικό επίπεδο αλλά και σε οικιστικό, όπως για παράδειγμα σε γεωργικές και άλλες εργασίες (τρακτέρ, γεωτρύπανα, γερανοί) αποτελούν ένα στόλο των 10 εκατομμυρίων λειτουργικών οχημάτων τα οποία επιχειρούν σε καθημερινή βάση. (Günthner & Micheli, 2015)

Οι Η.Π.Α. έχουν ήδη κατασκευάσει και προμηθεύσει την αγορά με 11.000 οχήματα που χρησιμοποιούν τη τεχνολογία κυψελών καυσίμου, ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνονται και οχήματα που για τη κίνησή τους χρησιμοποιούν Υδρογόνο σε διάφορες μορφές. (Curtin & Gangi, 2016)

Στην Ευρώπη υφίστανται γύρω στα 140 μόνο ανυψωτικά μηχανήματα, ενώ βάσει του Ευρωπαϊκού προγράμματος HyLIFT θα πραγματοποιηθεί σταδιακή προμήθεια 200 συνολικά οχημάτων χειρισμού υλικών τεχνολογίας κυψελών καυσίμου μέσα στο άμεσο μέλλον. (Jörg et al., 2017)

Τέλος, στην Ασία και συγκεκριμένα στην Ιαπωνία υπάρχουν μόνο πρωτότυπα οχήματα που χρησιμοποιούν τη τεχνολογία κυψελών καυσίμου χρησιμοποιώντας και καύσιμο Υδρογόνου τα οποία δεν έχουν μπει σε μαζική παραγωγή. (Jörg et al., 2017)

3.7.6 Υδρογόνο & Λεωφορεία

Από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα μέχρι και σήμερα μερικές εκατοντάδες λεωφορεία λειτουργούν με Υδρογόνο με κυρίαρχες τις περιοχές της Βόρειας Αμερικής, της Ευρώπης και της Ασίας.

Παρά όμως την ανάπτυξη και χρήση αυτής τη τεχνολογίας παρατηρείται ότι ίσως και λόγω κόστους παραγωγής, προτιμάται τα τελευταία χρόνια η λειτουργία ηλεκτροκίνητων με κυψέλες καυσίμου λεωφορείων (FCEB) αντί Υδρογονοκίνητων. Τα FCEB (fuel cell electric buses) έχουν σχεδόν τετραπλάσια τιμή, κυρίως λόγω της μικρής παραγωγής, με ανεβασμένο το κόστος συντήρησης, σε σχέση πάντα με τα συμβατικά λεωφορεία πετρελαίου. (Hua et al., 2014)

Η παρούσα κατάσταση αναμένεται να αλλάξει έως το 2030, όταν και θα υπάρχει μία σημαντική, αλλά πολύ μικρότερη διαφορά με τα συμβατικά λεωφορεία, αγγίζοντας όμως τα επίπεδα των υβριδικών πετρελαιοκίνητων. (Berger, 2015, Jörg et al., 2017)

Πλέον τα FCEB αποδίδουν με έως 40% λιγότερη ενέργεια εν συγκρίσει με τα συμβατικά πετρελαιοκίνητα, καταναλώνοντας μόλις 8 με 9 κιλά καυσίμου ανά 100 χλμ. Τα Υδρογονοκίνητα λεωφορεία την ίδια στιγμή καταναλώνουν περισσότερα από 20 κιλά.

Μέσα στα επόμενα χρόνια αναμένεται η ενίσχυση του Ευρωπαϊκού στόλου με 200 έως 300 FCEB, ενώ αντίστοιχες ενέργειες γίνονται και στην Κίνα. (Berger, 2015)

Η συνεισφορά των λεωφορείων κυρίως ως μέσο μαζικής μεταφοράς, οδήγησε στην διεύρυνση των νέων τεχνολογιών που απασκοπούν στην εξοικονόμηση καυσίμου και στην καθαρότερη καύση χωρίς εκπομπές αερίων ρύπων. Αυτή η τεχνολογική εξέλιξη θα αναδιαμορφώσει και την χρήση των εμπορικότερων οχημάτων όπως τα ιδιωτικής χρήσης. (Berger, 2015)

3.7.7 Υδρογόνο & Φορτηγά

Όταν αναφερόμαστε σε φορτηγά σχεδόν όλοι σκεφτόμαστε τα επαγγελματικά φορτηγά που χρησιμοποιούνται σε όλο το κόσμο για μεταφορά αγαθών, αντικειμένων και εμπορευμάτων παντός είδους. Λόγω του σημαντικού πλεονεκτήματος που έχει το πετρέλαιο ως καύσιμο, σε σχέση με τη βενζίνη, μέχρι πολύ πρόσφατα είχε σχεδόν το μονοπώλιο στην αγορά των επαγγελματικών και μη φορτηγών. Ο συνδυασμός χαμηλότερου κόστους και ταυτόχρονα μεγαλύτερη αποδιδόμενη χιλιομετρική απόσταση, κατέστησαν όλα αυτά τα χρόνια το κύριο καύσιμο φορτηγών να είναι το πετρέλαιο.

Στη Καλιφόρνια και τη Γερμανία έχουν ήδη κυκλοφορήσει φορτηγά που ως καύσιμο χρησιμοποιούν Υδρογόνο. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα εδώ, εκτός από το προφανές (μηδανιές εκπομπές αερίων), αποτελεί και τα πολύ χαμηλά επίπεδα ηχορύπανσης που δημιουργούνται κατά τη λειτουργία των εν λόγω φορτηγών.

Στα αστικά κέντρα, που κυκλοφορούν δεκάδες εκατοντάδες φορτηγά διαφόρων τύπων, η ηχορύπανση που δημιουργείται από τη κίνηση και λειτουργία των φορτηγών τυχάνει τουλάχιστον ενοχλητική. Για να μην αναφερθούμε και στη ρύπανση της ατμόσφαιρας με κάθε πάτημα του πεταλιού του γκαζιού από τα πετρελαιοφόρα οχήματα βαρέως τύπου.

Φυσικά για την αποκλειστική παραγωγή φορτηγών με καύσιμο Υδρογόνου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα σχετικά βάρη (μεικτό, φορτίου), οι τιμές καυσίμων, η αυτονομία και ένα επαρκές δίκτυο παροχής καυσίμου (ανεφοδιασμού). (Berger, 2015, Wietschel et al, 2016)

3.7.8 Υδρογόνο & Δίτροχα (Μοτοσυκλέτες)

Εδώ οι πιθανότητες εφαρμογής του Υδρογόνου μειώνονται κατά πολύ εξαιτίας του υψηλότερου κόστους τόσο της αγοράς, όσο και της ανάπτυξης και της εφαρμογής της απαιτούμενης τεχνολογίας, της αυτονομίας και του μη διαδεδομένου δικτύου παροχής του. (Wing, 2012)

Αν και έχουν ήδη παραχθεί και δοκιμαστεί δίκυκλα με καύσιμο Υδρογόνου (Suzuki, 2011) με ενθαρρυντικά αποτελέσματα, φαίνεται πως τα ηλεκτροκίνητα δίτροχα είναι το μέλλον στη δίκυκλη μετακίνηση, αποτελώντας μία “καθαρή” λύση χωρίς ρύπους και θορύβους. (Jörg et al., 2017)

3.7.9 Υδρογόνο & Αυτοκίνητα

Η αυτοκίνηση ίσως είναι το κύριο μέλημα της παγκόσμιας αυτοκινητοβιομηχανίας. Οι εταιρείες θέλοντας να μπορέσουν να συμβαδίσουν με τις κείμενες νομοθεσίες και προκειμένου να μπορέσουν να επενδύσουν σε επιλογές φιλικές προς το περιβάλλον κάνουν συνεχώς προσπάθειες που αφορούν στην ανάπτυξη τεχνολογιών με καθαρότερα καύσιμα.

Τουλάχιστον εδώ και μία δεκαετία αναπτύχθηκαν σχέδια και παράχθηκαν πρωτότυπα αυτοκίνητα που δοκιμάστηκαν με καύσιμο Υδρογόνου ως εναλλακτική λύση της βενζίνης. Για την ακρίβεια επρόκειτο για οχήματα με διπλό καύσιμο (βενζίνη και Υδρογόνο). (Eichseder & Klell, 2012)

Αν και το Υδρογόνο είναι ένα καθαρό καύσιμο με μηδαμινές εκπομπές αερίων και εξαιρετικές φυσικοχημικές ιδιότητες, δεν κατάφερε να κερδίσει την αποδοχή που του άξιζε ως καύσιμο για τα μηχανοκίνητα μεταφορικά οχήματα όλων των ειδών που ήταν γνωστό.

Πλέον όμως η προσοχή όλων για τα ιδιωτικής χρήσης οχήματα έχει στραφεί σχεδόν αποκλειστικά στο Υδρογόνο. Ήδη αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν προβεί στην παραγωγή και την προσφορά οχημάτων ως πρόωρα μοντέλα με καύσιμο Υδρογόνου. Η προσφορά αυτή αναμένεται να αναπτυχθεί ραγδαία μέσα στα επόμενα έτη. (IEA & HIA, 2016, Curtin & Gangi, 2016a)

3.7.10 Άλλες Εφαρμογές

Εκτός όμως από την εφαρμογή στους κινητήρες των χρησιμοποιούμενων οχημάτων, γεγονός που αποτελεί ίσως το μεγαλύτερο όφελος της χρήσης του Υδρογόνου, υπάρχει ακόμη σωρεία άλλων εφαρμογών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ακριβώς όπως συμβαίνει και με το φυσικό αέριο έτσι και το Υδρογόνο βρίσκει εφαρμογή σε μία τεράστια γκάμα μηχανών που χρησιμοποιούνται τόσο σε επίπεδο νοικοκυριού όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο. Φυσικά οι εφαρμογές που αναφέρονται αφορούν όλα τα συστήματα που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου ως τεχνολογία καύσης, όπως τα υπάρχοντα συστήματα θέρμανσης και παροχής ενέργειας. (Jörg et al., 2017)

3.8 Υδρογόνο & Περιβάλλον

Σύμφωνα με σχετικές μετρήσεις που έγιναν το 2014, ο τομέας μετακίνησης/μεταφορών ευθυνόταν για το 23% των παγκόσμιων αερίων ρύπων που σχετίζονται με τη μόλυνση της ατμόσφαιρας (φαινόμενο θερμοκηπίου). Μαζί με τον τομέα της ενέργειας (ηλεκτρισμός και θέρμανση) κατείχαν ένα από τα μεγαλύτερα ποσοστά απελευθέρωσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), που το 2014 άγγιζε τους 5,7 γιγατόνους, που αντιστοιχούσαν στο 17.5% των εκπομπών αερίων ρύπων παγκοσμίως, που σχετίζονταν με την ενέργεια.

Από τα νεότερα στοιχεία του 2017, ο τομέας μετακινήσεων/μεταφορών εμφανίζει ετήσια αύξηση ύψους 2% για τα χρόνια 2000-2017, με αποτέλεσμα το 2017 να απελευθερώνονται εξαιτίας του 8 γιγατόνοι διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), που αντιστοιχούν στο 24% των εκπομπών ρύπων παγκοσμίως. (Jörg et al., 2017, IEA, 2019)

Κατά την εξέταση υποθετικών σεναρίων προέκυψε ότι το 2050, αν η χρήση του Υδρογόνου θα τείνει πρώτη επιλογή ως καύσιμο οχημάτων, θα υπάρξει σημαντική μείωση των ρυπογόνων αερίων που εκπέμπονται και σχετίζονται με τις μετακινήσεις/μεταφορές. Ανάμεσα στις παραμέτρους που λήφθηκαν υπόψιν περιλαμβάνονται η μεγάλη αύξηση των στόλων οχημάτων Υδρογόνου και η μείωση χρήσης άλλων καυσίμων. Ως ένα από τα θετικότερα πιθανό αποτελεσμα που σημειώθηκε ήταν ότι η μείωση των ρυπογόνων αερίων που προαναφέρθηκαν

ενδέχεται να ξεπεράσει τους 190 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε παγκόσμιο επίπεδο. (Jörg et al., 2017)

3.9 Αποθήκευση & Διανομή

Λόγω της χαμηλής πυκνότητάς του, για την αποθήκευση και την μεταφορά του Υδρογόνου, απαιτείται να βρίσκεται υπό συνθήκες πίεσης. Η πιο κοινή εμπορική μέθοδος αποθήκευσης Υδρογόνου είναι υπό μορφή πεπιεσμένου αερίου. Μεγαλύτερη συμπύκνωση και συνεπώς περισσότερη συσσώρευση υλικού μπορεί να επιτευχθεί με την υγροποίηση του Υδρογόνου.

Αναφορικά με την αλλαγή της πυκνότητας οι Hollemann A.F. & Wiberg N. (2007) σύγκριναν την πυκνότητα του Υδρογόνου (υγρής μορφής) κοντά στα σημεία βρασμού (-253°C) και τήξης (-259,2°C) του και διαπίστωσαν ότι μεταβάλλεται σημαντικά κάτω από τις ίδιες συνθήκες πίεσης (1,013 bar). Συγκεκριμένα μεταβάλλεται από 70,79 gr/lit σε 76,3 gr/lit, που σε μεγάλη ποσότητα το κέρδος είναι εξαιρετικό.

Άλλο ένα στοιχείο του Υδρογόνου που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την αποθήκευση και τη διακίνησή του είναι η υψηλή διαχυτικότητα του. Έτσι, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν υλικά που δεν θα επιτρέψουν τη διάχυση και συνεπώς θα οδηγήσουν στην απώλειά του. (Hollemann & Wiberg, 2007)

Το γεγονός ότι στην αέρια μορφή του είναι ελαφρύτερο από τον αέρα, συνεπάγεται ότι σε περίπτωση απελευθέρωσής του (διαρροή) να αποκτά ανοδική πορεία. Γι' αυτό και θα πρέπει το σημείο που βρίσκεται να είναι καλά σφραγισμένο και να αποτελείται από υλικά που δε θα επιτρέψουν την διαρροή του.

Τέτοια υλικά θα μπορούσαν να είναι ο ωστενιτικός ανοξειδωτός χάλυβας (που είναι πολύ ανθεκτικός στη διάβρωση) ή ακόμη και κάποια στρώματα-επίπεδα επιστρώσεων που θα εμποδίσουν την όποια διάχυση του υλικού. (Jörg et al., 2017)

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο ευφλεξιμότητας το υδρογόνο από μόνο του δεν μπορεί να αναφλεγεί, αλλά μόλις αναμειχθεί με το οξυγόνο, το τελευταίο διαδραματίζει το ρόλο του οξειδωτή και συνεπώς στην περίπτωση που υπάρξει κάποια πηγή ανάφλεξης, όπως μία σπίθα για παράδειγμα, θα προκληθεί πυρκαγιά. Στη περίπτωση δε πρόκλησης πυρκαγιάς απαιτείται μεγάλη προσοχή καθώς η φλόγα που δημιουργείται είναι αόρατη και για να καταστεί ορατή χρειάζεται να γίνει χρήση ειδικών εργαλείων και μεθόδων, όπως για παράδειγμα χρήση θερμικής κάμερας. (ERG, 2004)

Σε ότι αφορά τη διανομή στη παρούσα χρονική στιγμή οι τρόποι που χρησιμοποιούνται κατά κόρον είναι φορητά αυτοκίνητα εξοπλισμένα με δεξαμενές συμπιεσμένου αερίου και σε ελάχιστες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τάνκερ με κρυογονικό υγρό. Φυσικά χρησιμοποιούνται και τα ήδη εγκατεστημένα δίκτυα αγωγών μέσω των οποίων διακινούνται άλλα καύσιμα (φυσικό αέριο). Κάτωθι παρατίθεται πίνακας με τις χιλιομετρικές αποστάσεις αγωγών μεταφοράς Υδρογόνου σε χώρες του κόσμου με στοιχεία έως το 2016. (HyARC, h2tools.org/hyarc, Jörg et al., 2017)

Ήπειρος	Απόσταση (σε χιλιόμετρα)
Χώρα	
Ασία	174
Βιετνάμ	3
Ιαπωνία	1
Κίνα	25
Κορέα	5
Νότια Κορέα	82
Πακιστάν	5
Σιγκαπούρη	40
Ταϊλάνδη	13
Ευρώπη	1611
Αγγλία (Η.Β.)	40
Βέλγιο	613
Γαλλία	303
Γερμανία	390
Ελβετία	2
Ιταλία	8
Ολλανδία	237
Σουηδία	18
Καναδάς	148
Αλμπέρτα	127
Οντάριο	31
Η.Π.Α.	2520
Αλαμπάμα	50
Γιούτα	10
Ιντιάνα	22
Καλιφόρνια	26
Κάνσας	1
Λουϊζιάνα	817
Μίσιγκαν	9
Νέα Υόρκη	5
Οκλαχόμα	2
Ουάσιγκτον	5
Οχάιο	15
Τέξας	1558
Νότια Αμερική	8
Βραζιλία	8
Ωκεανία	8
Αυστραλία	8

Πίνακας 3.1. Χιλιομετρικές αποστάσεις που διανύουν οι αγωγοί διακίνησης Υδρογόνου ανά Ήπειρο και ανά χώρα.

Μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί προκειμένου να βρεθούν οι κατάλληλες συνθήκες προκειμένου να αξιοποιηθούν τα ήδη εγκατεστημένα δίκτυα αγωγών διανομής φυσικού αερίου ώστε μελλοντικά να είναι η κύρια μέθοδος για όλα τα αέρια και υγρά καύσιμα. (Melaina et al., 2013)

3.10 Το καύσιμο Υδρογόνου στον παγκόσμιο χάρτη

3.10.1 Η.Π.Α. & Καλιφόρνια

3.10.1.1 H2USA

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής υφίστανται αρκετές πρωτοβουλίες σχετικά με την εφαρμογή του Υδρογόνου. Ανάμεσα σ' αυτές ανήκει και η επονομαζόμενη «H2USA». Πρόκειται για μία συνεργασία δημόσιου και ιδιωτικού τομέα με σκοπό την εισαγωγή και υιοθέτηση των οχημάτων που κινούνται με Υδρογόνο και Ηλεκτρισμό (μπαταρία) γνωστά με το ακρωνύμιο FCEV που χρησιμοποιείται αντί του πλήρους ονόματος Fuel Cell Electric Vehicle.

Ειδικότερα η Καλιφόρνια, αποτελεί φάρος ανάπτυξης ως προς τις υποδομές σταθμών (πρατηρίων) ανεφοδιασμού καυσίμου Υδρογόνου και FCE οχημάτων, ήτοι τεχνολογίας ηλεκτροκίνητων με κυψέλη καυσίμου.

3.10.1.2 CaFCP

Η κοινοπραξία «California Fuel Cell Partnership» (CaFCP) δημιουργήθηκε το 1999 υπό την αιγίδα της Επιτροπής Ενέργειας (California Energy Commission) και του Συμβουλίου Εναέριων Πηγών Καλιφόρνιας (California Air Resources Board). Με την εν λόγω κοινοπραξία έχουν τεθεί σημαντικοί στόχοι πάνω σε χρονικό οργανόγραμμα. Πιο αναλυτικά, το 2012 τέθηκε στόχος, έως το τέλος του 2017 να εγκατασταθούν 84 πρατήρια ανεφοδιασμού με μέγιστη δυναμικότητα εξυπηρέτησης 53.000 οχημάτων. (CaFCP, 2012, cafcp.org/)

Περισσότεροι από 30 πρατήρια παροχής Υδρογόνου λειτούργησαν έως το 2016 και επιπλέον 20 ήταν υπό κατασκευή ή υπό διαδικασίες έγκρισης. (Jörg et al., 2017)

Σήμερα υφίστανται συνολικά 60 σημεία παροχής καυσίμου Υδρογόνου (αντλίες), σε συνολικά 38 πρατήρια. (Martinez, 2019)

3.10.2 Ευρώπη

3.10.2.1 FCH JU

Πολλά προγράμματα τρέχουν εντός της Ευρώπης είτε ανάμεσα στα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είτε ως διασυνοριακά μεταξύ αυτών. Η πράσινη ανάπτυξη στις Ευρωπαϊκές πόλεις και η απόκτηση ενός κοινού στόλου πράσινων λεωφορείων είναι κάποια από τα παραδείγματα που όλοι γνωρίζουν λίγο ή πολύ. Μία από τις σημαντικότερες πρωτοβουλίες αποτελεί η κοινή επιχείρηση κυψελών καυσίμων και Υδρογόνου (Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking - FCH JU). Πρόκειται για μία συμμαχία μεταξύ της Επιτροπής της Ε.Ε., των βιομηχανιών και των

ερευνητικών ινστιτούτων με σκοπό να μετατρέψουν τις κυψέλες καυσίμου και το Υδρογόνο, στις κύριες πηγές των Ευρωπαϊκών συστημάτων ενέργειας και μετακίνησης. (www.fch.europa.eu/)

Οι εφαρμογές και οι στόχοι του εν λόγω προγράμματος έχουν προγραμματισθεί να τρέχουν έως και το 2024, βάσει και της δεύτερης φάσης (FCH JU 2).

3.10.2.2 H2ME

Άλλη μία αξιοσημείωτη πρωτοβουλία που έχει παρθεί από κράτη μέλη της Ε.Ε. είναι η δημιουργία μιας κοινής ηλεκτρονικής πλατφόρμας κινητοποίησης Υδρογόνου στην Ευρώπη (Hydrogen Mobility Europe), η οποία απαρτίζεται από δύο μέρη. Το H2M1 και το H2M2. Στη δημιουργία της εν λόγω πλατφόρμας βοήθησαν οι εθνικές πρωτοβουλίες για το Υδρογόνο των χωρών της Αγγλίας, της Γαλλίας, της Γερμανίας και της Σκανδιναβίας. (www.h2me.eu)

Στόχος είναι η ανάπτυξη και κατασκευή μιας συνολικής υποδομής σταθμών ανεφοδιασμού οχημάτων με καύσιμο Υδρογόνου και ταυτόχρονα μία συντονισμένη παραγωγή FCE οχημάτων (ηλεκτροκίνητων με τεχνολογία κυψελών καυσίμου). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα περιλαμβάνει περισσότερους από 40 συμμετέχοντες προερχόμενοι από εννέα χώρες και οι οποίοι πρόκειται για ειδικούς σε θέματα μεταφορών, ενέργειας και Υδρογόνου.

Μέσα στην υφιστάμενη Σκανδιναβική Συμμαχία Λεωφόρου Υδρογόνου (Scandinavian Hydrogen Highway Partnership-SHHP) περιλαμβάνονται τόσο η Δανία, όσο η Νορβηγία και η Σουηδία. (www.scandinavianhydrogen.org)

3.10.2.3 EU AFID directive

Το 2014 η Ε.Ε. μέσω της οδηγίας 2014/94/EU (Alternative fuels for sustainable mobility in Europe-AFID) θέσπισε τα ελάχιστα προαπαιτούμενα για την κατασκευή εναλλακτικών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένου και του Υδρογόνου. Η Οδηγία ορίζει την κατασκευή πρατηρίων καυσίμου Υδρογόνου έως το 2050 προκειμένου να διασφαλισθεί η κινητοποίηση των οχημάτων με τεχνολογία Υδρογόνου και FCE. (Οδηγία 2014/94/ΕΕ)

3.10.3 Ιαπωνία

3.10.3.1 HySUT

Ο Κυβερνητικός οργανισμός Ιαπωνίας Νέας Ενέργειας και Ανάπτυξης Βιομηχανικής Τεχνολογίας (NEDO) προωθεί συνεχώς την χρήση του Υδρογόνου τόσο σε οικιακό και ενεργειακό επίπεδο (σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής), όσο και στο τομέα των μεταφορών. Το 2009 ιδρύθηκε η Ένωση Παροχής Υδρογόνου και Τεχνολογίες Χρήσης (HySUT) που ανήκε στον προαναφερόμενο οργανισμό (NEDO), με σκοπό την διάδοση των απαιτούμενων τεχνολογικών προϋποθέσεων για τη μελλοντική εφαρμογή υποδομών Υδρογόνου. (www.hysut.or.jp/en/)

Μετά από αναδιάρθρωση το 2016 η HySUT έχει πλέον εμπλακεί στην εμπορευματοποίηση του συστήματος παροχής Υδρογόνου και των FCE οχημάτων. Σημαντικές σχετικές εκδηλώσεις έλαβαν χώρα τα τελευταία χρόνια με σκοπό το 2026 να υπάρξει πλήρης εμπορευματοποίηση. Από το 2017 τουλάχιστον 90 σταθμοί ανεφοδιασμού λειτουργούν στην Ιαπωνία με το πλάνο να έχουν γίνει 160 έως το 2020.

Και η παραγωγή οχημάτων που υποστηρίζουν την καύση Υδρογόνου αυξάνεται τα τελευταία χρόνια με σταθερά βήματα.

3.10.4 Γερμανία

3.10.4.1 CEP

Από το 2002 η Γερμανία έχει ενταχθεί στη κοινοπραξία της βιομηχανίας σύμπραξης καθαρής ενέργειας (CEP) για την ανάπτυξη μιας οικονομίας αυτοκίνησης Υδρογόνου. (cleanenergypartnership.de/home/)

Κατά το χρονικό διάστημα 2012-2016 με την προαναφερόμενη σύμπραξη τέθηκε ο στόχος δημιουργίας ενός βασικού δικτύου ανεφοδιασμού Υδρογόνου, περιλαμβάνοντας 50 πρατήρια καυσίμου σε όλη τη χώρα. (CEP, 2016)

3.10.4.2 H2 Mobility

Το 2014 ιδρύθηκε η διαχειρίστρια εταιρεία H2 Mobility, η οποία ουσιαστικά έθεσε κοινούς υποχρεωτικούς κανόνες στο χτίσιμο και τη λειτουργία των σταθμών ανεφοδιασμού Υδρογόνου στη Γερμανία. Ως μία από τις σημαντικότερες πηγές παροχής Υδρογόνου σε ολόκληρο το δίκτυο η H2 Mobility έχει προγραμματίσει να εγκατασταθούν οι πρώτοι 100 σταθμοί Υδρογόνου έως το 2019 και έκτοτε 400 συνολικά σταθμοί έως το 2023, ανεξαρτήτως τον αριθμό FCE οχημάτων που κυκλοφορούν. ([//h2.live/](http://h2.live/))

Ήδη από τις αρχές του 2017 λειτουργούν πάνω από 35 σταθμοί ανεφοδιασμού Υδρογόνου, στα πλαίσια της κοινοπραξίας CEP, οι οποίοι πλέον λειτουργούν μέσω της H2 Mobility.

3.10.4.3 Άλλες μελέτες και έρευνες

Οι μελέτες και οι έρευνες συνεχίζουν και θα συνεχίσουν να διεξάγονται για την καταλληλότερη χρήση καθαρών καυσίμων στη χώρα, όπως για παράδειγμα οι Kluschke P. και Neumann F. (2019) πραγματοποίησαν συγκριτική μελέτη μεταξύ της εφαρμογής χρήσης καυσίμου Υδρογόνου και του συστήματος ηλεκτροδότησης. Η μελέτη αφορούσε κυρίως την εφαρμογή στα οχήματα βαρέως τύπου της Γερμανίας και πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των γενικών ρυθμίσεων σχετικά με το σύστημα ενέργειας έως το 2050.

3.10.5 Ελλάδα

3.10.5.1 ΔΕΣΦΑ - NATURALHY

Κατά τον ετήσιο εταιρικό απολογισμό του Διαχειριστή Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου (ΔΕΣΦΑ), αναφέρεται μεταξύ άλλων ότι ο εν λόγω οργανισμός συμμετείχε στο Ευρωπαϊκό Ερευνητικό Πρόγραμμα NaturalHy το οποίο ολοκληρώθηκε περί τα τέλη του 2009, μετά από πέντε έτη δραστηριότητας. Σκοπός του εν λόγω προγράμματος ήταν να «πρασινίσει» το Φυσικό Αέριο με τη προσθήκη Υδρογόνου στο υπάρχον δίκτυο διακίνησης. Η διαδικασία ονομάστηκε «Greening the Gas». (ΔΕΣΦΑ, 2008)

Ως αναφέρεται οι ομάδες εργασίας που συμμετείχε και ο ΔΕΣΦΑ πραγματοποίησαν μελέτες σχετικά με το τι θα συμβεί από τη διανομή Υδρογόνου μέσω τους αγωγούς του υπάρχοντος δικτύου Φυσικού Αερίου, κατά τις οποίες εξετάστηκαν η αντοχή των υλικών και των τμημάτων που αποτελούν το δίκτυο. Υπήρξε επίσης η πρόθεση ανάπτυξης ενός διαχειριστικού συστήματος (Decision Support Toll), το οποίο θα έδειχνε τη καταλληλότητα του συστήματος διανομής φυσικού αερίου για τη παράλληλη μεταφορά Υδρογόνου.

3.10.5.2 Ελληνικά Πετρέλαια

Κατά την ομιλία του στο 2^ο Διεθνές Συνέδριο Πετρελαίου που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα κατά το χρονικό διάστημα 8 έως 10 Ιουνίου 2017, ο Στεργιούλης Γ., ως εκπρόσωπος του διοικητικού συμβουλίου των ΕΛ.ΠΕ. αναφερόμενος στο κομμάτι της καινοτομίας του Ομίλου, σημείωσε τόσο την υφιστάμενη συνεργασία με ερευνητικά και πανεπιστημιακά ιδρύματα ως προς τη παραγωγή Υδρογόνου, όσο και το σχεδιασμό και την εγκατάσταση υποδομών που υποστηρίζουν εναλλακτικές ενεργειακές λύσεις, όπως πρατήρια καυσίμων και ενέργειας, τα οποία θα διαθέτουν μεταξύ άλλων και Υδρογόνο, πέρα από τα συμβατικά καύσιμα.

3.10.5.3 Νομοθετικό πλαίσιο

Τον Ιούνιο του 2006 η Ελλάδα εισήγαγε το Υδρογόνο ως Βιοκαύσιμο, ορίζοντας ως Βιοϋδρογόνο το καύσιμο που παράγεται από την επεξεργασία Βιομάζας ή προϊόντα Βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Αυτό έγινε κατά την επικύρωση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2001/77/ΕΚ που αναφερόταν στη «προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας» με το Νόμο 3468/06. Στον ίδιο Νόμο περιείχονταν άρθρα που αποσκοπούσαν στη προώθηση της εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και στις μονάδες Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης. (ΦΕΚ Α 129/27-06-2006)

Στα τέλη Νοέμβρη του 2016 με το Νόμο 4439/16 επικυρώθηκε η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2014/94/ΕΕ από το ελληνικό κοινοβούλιο και ενσωματώθηκε στην Ελληνική Νομοθεσία το Υδρογόνο ως «εναλλακτικό καύσιμο» και ορίστηκαν τα ελάχιστα προαπαιτούμενα για τη δημιουργία υποδομών σχετικών με τα εναλλακτικά καύσιμα. Οι υποδομές περιλαμβάνουν σημεία επαναφόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων και σημεία ανεφοδιασμού οχημάτων με φυσικό αέριο και Υδρογόνο.

Σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από το καύσιμο πετρέλαιο και από τα υπόλοιπα συμβατικά καύσιμα, ώστε να περιοριστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τον τομέα των μετακινήσεων/μεταφορών. (ΦΕΚ Α' 222/30.11.2016)

Κεφάλαιο 4.

Σενάριο Υποθετικού Ατυχήματος Σε Αγωγό Διακίνησης Υδρογόνου

4.1 Περιγραφή – Επιλογή Σημείου Υποθετικού Ατυχήματος

Στο σημείο αυτό θα γίνει προσπάθεια να παρουσιαστεί όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά ένα πιθανό ατύχημα σε αγωγό μεταφοράς Υδρογόνου στον Ελλαδικό χώρο και οι επιπτώσεις που θα μπορούσε να επιφέρει.

Λόγω του ότι τα περισσότερα καύσιμα που διακινούνται μέσω αγωγών χρειάζονται διαφορετικές συνθήκες (όπως για παράδειγμα πίεση, θερμοκρασία) και όχι αναγκαία διαφορετικό αποκλειστικό δίκτυο, σύνηθες είναι το φαινόμενο κάθε φορά που χρειάζεται να διακινηθούν διαφορετικά καύσιμα να χρησιμοποιείται ένα υπάρχον, ήδη εγκατεστημένο δίκτυο αγωγών.

Όπως εξηγήθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η διακίνηση Υδρογόνου μέσω των ήδη εγκατεστημένων δικτύων Φυσικού Αερίου θα αποτελέσει στο άμεσο μέλλον αποκλειστικό μέσο διανομής του, ενώ ήδη οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και η Γερμανία το έχουν πράξει χωρίς αρνητικές επιπτώσεις και επιπλοκές. (Jörg et al., 2017) Στην Ελλάδα δεν βρέθηκε να έχει ληφθεί κάποια επίσημη απόφαση για το αν θα χρησιμοποιηθεί κάποιο υπάρχον εγκατεστημένο δίκτυο, όπως για παράδειγμα του Φυσικού Αερίου. Για μόνρφωση άποψης παρατίθεται απεικόνιση του υπάρχοντος εγκατεστημένου δικτύου Φυσικού Αερίου στον Ελλαδικό χώρο.



Εικόνα 4.1. Απεικόνιση δικτύου μεταφοράς Φυσικού Αερίου υψηλής πίεσης στον Ελλαδικό χώρο. (Πηγή: ΔΕΣΦΑ, www.desfa.gr/national-natural-gas-system/transmission).

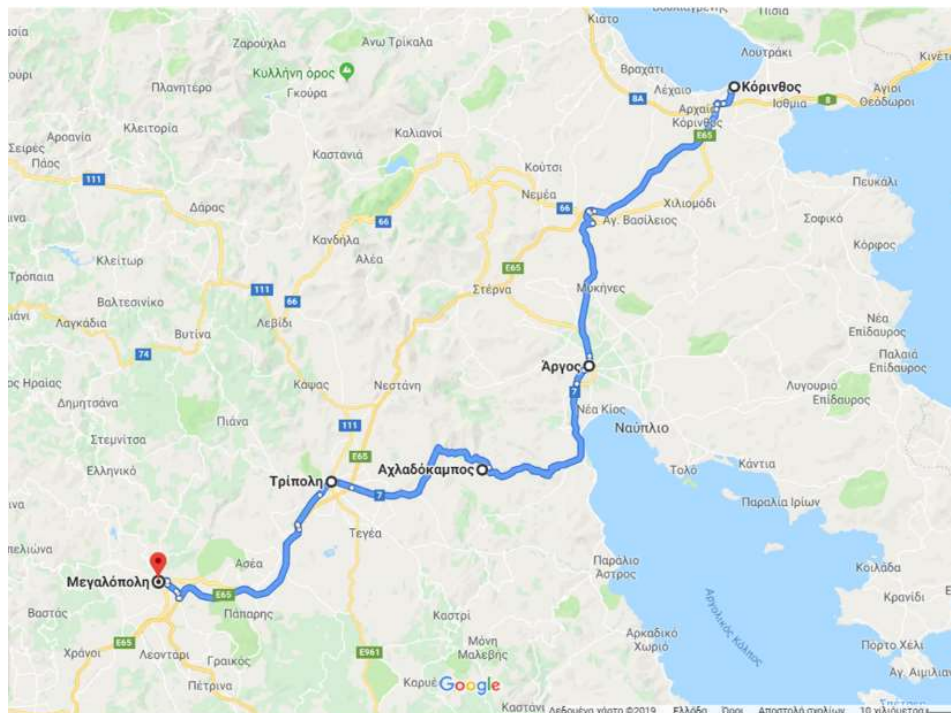
Επίσης, στον Ελλαδικό χώρο σήμερα δεν έχει αναφερθεί επίσημη ανάληψη έργου κατασκευής ενός ολοκληρωμένου δικτύου διακίνησης Υδρογόνου, κάτι το οποίο θα απαιτούσε τεράστιους πόρους υλικούς και άυλους.

Για τις απαιτήσεις του σεναρίου της παρούσας εργασίας λαμβάνεται ως δεδομένη η χρήση ενός ολοκληρωμένου υποθετικού δικτύου αγωγών διακίνησης Υδρογόνου που θα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της ηπειρωτικής Ελλάδος και ο οποίος θα χωρίζεται σε επιμέρους κλάδους που περιλαμβάνουν σταθμούς, υποσταθμούς και επιμέρους διακλαδώσεις.

Ως προς το τμήμα του αγωγού επιλέχθηκε ένας κλάδος του προαναφερόμενου υποθετικού δικτύου ο οποίος θα συνδέει την πόλη της Κορίνθου με την πόλη της Μεγαλόπολης στη Πελοπόννησο και τις ενδιάμεσες περιοχές. Η απόσταση του εν λόγω κλάδου ανέρχεται περίπου στα 156 χιλιόμετρα και έχει διάμετρο 24 ίντσες, ήτοι 60.96 εκατοστά¹.

Επίσης, θα υποθεθεί ότι σε όλη αυτή την απόσταση είναι εγκατεστημένοι 6 σταθμοί βαλβιδοστασίων που έχουν τη δυνατότητα να απομονώνουν τμηματικά την μεταφορά του υλικού που διανέμεται σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης και 4 σταθμοί μέτρησης ή/και ρύθμισης, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με βαλβίδες ρύθμισης της πίεσης και άμεσης διακοπής εφόσον συντρέχει λόγος ενώ φέρουν σύγχρονα συστήματα αυτοματισμών (μετρήσεων, τηλεχειρισμού).

Η διαδρομή που διαγράφει ο κλάδος του υποθετικού δικτύου που προαναφέρθηκε απεικονίζεται στον παρακάτω χάρτη:



Εικόνα 4.2. Προσεγγιστική απεικόνιση υποθετικού κλάδου δικτύου αγωγών διακίνησης καυσίμου Υδρογόνου που ενώνει τις πόλεις/περιοχές Κόρινθος και Μεγαλόπολης Πελοποννήσου, μέσω των χαρτών του ηλεκτρονικού ιστότοπου www.google.gr/maps.

¹ Μία ίντσα ισοδυναμεί με 2.54 εκατοστά.

Ως προς το ακριβές σημείο που θα λάβει χώρα το υποθετικό ατύχημα, επιλέχθηκε μία επαρχιακή πόλη πλησίον της Τρίπολης, της πρωτεύουσας του Νομού Αρκαδίας. Η Τρίπολη σύμφωνα με την ελληνική στατιστική αρχή κατά την απογραφή του 2011 αριθμούσε πληθυσμό 30.090 κατοίκων. (ΦΕΚ 699B/20-03-2014)

Η Τρίπολη βρίσκεται σε υψόμετρο 660 μέτρων² από τη θάλασσα και στα ανατολικά της βρίσκεται ο Αχλαδόκαμπος, απ' όπου έχει κατεύθυνση ο αγωγός. Όπως είναι φανερό ο υποθετικός αγωγός, ο οποίος προσομοιάζει αρκετά με τον υπάρχοντα του Φ.Α., πλησίον της Τρίπολης διέρχεται από αρκετές καλλιεργήσιμες εκτάσεις (πότε πλησίον και πότε ακριβώς από κάτω) γεγονός που τον καθιστά ευάλωτο σε σχέση με πιθανό προκληθέν ατύχημα ανθρώπινου παράγοντα.

Με την μη τήρηση των κανόνων ασφαλείας, οι γεωργικές και χωματοουργικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις μπορούν πολύ εύκολα να επηρεάσουν τις συνθήκες διανομής καυσίμων μέσω των αγωγών που βρίσκονται είτε στο υπέδαφος, είτε σε εξωτερικό χώρο. Οι ανασκαφές, το όργωμα και οι γεωτρήσεις είναι κάποιες από τις συνηθέστερες εργασίες που συμβαίνουν και χρειάζονται τη βοήθεια μηχανημάτων έργων, όπως για παράδειγμα εκσκαφείς, που μπορούν να επιφέρουν χτύπημα σε κάποιον αγωγό εφόσον δεν έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα προληπτικά μέτρα για την αποφυγή μιας τέτοιας περίπτωσης.

Ανάμεσα στα γενικά προληπτικά μέτρα που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν πριν από κάποια χωματοουργική εργασία ανήκουν και τα εξής:

- ✓ ελεγχόμενη πρόσβαση
- ✓ έλεγχος του εδάφους για τυχόν ολίσθηση ή κατάρρευση
- ✓ σχεδιασμός σχεδίου διάσωσης
- ✓ παρακολούθηση εργασιών για τυχόν αλλαγές
- ✓ αξιολόγηση κινδύνων από αρμόδιο κλιμάκιο
- ✓ εντοπισμός όλων των υπόγειων βοηθητικών παροχών καλωδίων και σωληνώσεων
- ✓ έκδοση σχετικής άδειας (εφόσον απαιτείται).

Επειδή, η απόσταση του ανωτέρω υποθετικού κλάδου του αγωγού καταλαμβάνει μία αρκετά μεγάλη χιλιομετρική απόσταση συνολικά, κάτι το οποίο συνεπάγεται μεγαλύτερη πιθανότητα ατασθαλιών τόσο στη διαχείριση, όσο και στην επίβλεψη από τους αρμόδιους φορείς, η πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος είναι αρκετά μεγάλη.

4.2 Χρήσιμα Στοιχεία

Προτού αναλυθεί το υποθετικό σενάριο που επιλέχθηκε, θεωρείται αναγκαίο και χρήσιμο να αναφερθούν σε αυτό το σημείο κάποιες έννοιες και ορισμοί που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια, ώστε να βοηθήσουν τον αναγνώστη να κατανοήσει καλύτερα όσα πρόκειται να περιγραφούν στη συνέχεια.

² Σύμφωνα με τον ιστότοπο wikipedia.org.

Σε ότι αφορά τους κινδύνους που εξηγήθηκαν στην ενότητα 1.1.2 του Κεφαλαίου 1 και τις πιθανές επιπτώσεις που αυτοί μπορούν να προκαλέσουν θα πρέπει να υπογραμμισθεί ότι στην περίπτωση ατυχήματος σε αγωγό διακίνησης καυσίμου Υδρογόνου δεν υφίστανται εκείνοι που επηρεάζονται άμεσα από την τοξικότητα της διακινούμενης ουσίας, καθόσον όπως έχει ήδη αναφερθεί το Υδρογόνο δεν αποτελεί τοξική ουσία.

4.2.1 Πιθανά Ατυχήματα σε Αγωγό Διανομής Αέριου Καυσίμου (Υδρογόνου)

Ακολουθεί περιγραφή των πιθανών ατυχημάτων (είδος) προσαρμοσμένα στη περίπτωση του Υδρογόνου, όπως αναφέρονται στο σύγγραμμα του Μουζάκη Γ. (2017) «Διαχείριση και Αντιμετώπιση Μεγάλων Τεχνολογικών κινδύνων».

4.2.1.1 Έκρηξη αερίου νέφους (UVCE)

Όταν ελευθερώνεται αέριο καύσιμο (όπως το Υδρογόνο), αναμιγνύεται με τον αέρα και είναι πιθανόν να σχηματισθεί εκρηκτικό νέφος.

Ακολούθως, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο γύρω περιβάλλον (κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμου, διαμόρφωση περιοχής), το νέφος μπορεί να εξαπλωθεί αρκετά. Εάν υπάρξει επαφή με κάποια πηγή ενέργειας τότε το νέφος αναφλέγεται και εκρήγνυται, κάτι το οποίο θεωρείται σχεδόν βέβαιο.

Ο χρόνος ανάμεσα στην έναρξη της διαρροής και της επικείμενης έκρηξης ή φωτιάς κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα έως και λίγα λεπτά. Όσο μεγαλώνει το χρονικό διάστημα, τόσο αυξάνεται η μάζα του νέφους και συνεπώς η έκταση που καταλαμβάνει. Έτσι, οι επιπτώσεις είναι εντονότερες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αρχικές συνθήκες δημιουργίας στιγμιαίας φωτιάς (flash fire) ή έκρηξης (UVCE) είναι οι ίδιες, ενώ βιβλιογραφικά προκύπτει ότι η πιθανότητα έκρηξης είναι 2/3 σε αντίθεση με τη πιθανότητα στιγμιαίας φωτιάς στο 1/3. Προκειμένου όμως να συμβεί έκρηξη UVCE θα πρέπει η μάζα του διαφεύγοντος υδρογόνου να έχει μια ελάχιστη ποσότητα, η οποία στη περίπτωση των υγραερίων είναι οι 1000 τόνοι.

4.2.1.2 Γλώσσα φωτιάς (jet fire)

Στη περίπτωση διαρροής αερίου (Υδρογόνου) υπό πίεση σε ελεύθερο χώρο μέσω ενός ακροφυσίου, ή μέσω διατομής σε έναν αγωγό εάν υπάρξει ανάφλεξη θα προκληθεί γλώσσα φωτιάς ή αλλιώς, jet fire.

Η γλώσσα της φωτιάς, θεωρείται ότι εκτείνεται από το σημείο της διαρροής έως το σημείο εκείνο, όπου η συγκέντρωση του αερίου αγγίζει το κατώτερο επίπεδο ανάφλεξης. Δεν υπάρχει καθορισμένη κατεύθυνση της φλόγας καθόσον είναι δυνατόν να σχηματίζει οποιαδήποτε γωνία σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο.

Από το φαινόμενο αυτό δημιουργείται θερμική ακτινοβολία και συνεπώς θα πρέπει να εκτιμηθεί ο κίνδυνος λαμβανόμενης δόσης θερμικής ακτινοβολίας.

4.2.1.3 Στιγμιαία ανάφλεξη αερίου νέφους (flash fire)

Κατά το σχηματισμό νέφους ενός αερίου υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης στιγμιαίας ανάφλεξης όταν αυτό συναντήσει μια πηγή ανάφλεξης με επιστροφή της φλόγας στο σημείο απ' όπου ξεκίνησε η διαρροή.

Η φλόγα που θα σχηματισθεί θα καλύψει την περιοχή στην οποία η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από το κατώτατο όριο αναφλεξιμότητας (LFL) της ουσίας που διαρρέει.

Το μέγεθος των επιπτώσεων που είναι πιθανό να προκληθούν είναι απόρροια της θερμικής ακτινοβολίας που παράγεται, με το μέγεθος και τη σοβαρότητά τους να εξαρτάται όχι μόνο από την ποσότητα του αερίου που έχει απελευθερωθεί, αλλά και από την έκταση της περιοχής που έχει καλυφθεί από το σχηματισμένο νέφος.

Το φαινόμενο μιας στιγμιαίας ανάφλεξης μπορεί να αποτελέσει το εφαλτήριο ενός αλυσιδωτού ατυχήματος γνωστό στη διεθνή βιβλιογραφία ως domino effect, για το λόγο του ότι μπορεί να εμφανισθεί είτε στο σημείο εκροής, είτε ακόμη και σε κάποιο σημείο στο χώρο που καλύπτεται από το νέφος, το οποίο μπορεί να απέχει αρκετή απόσταση από αυτό της διαρροής.

Ως πηγές ανάφλεξης συνήθως θεωρούνται σημεία διαφορετικά μη σχετιζόμενα απαραίτητα της όλης διεργασίας, όπως κινούμενα οχήματα, ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα ή ο ανθρώπινος παράγοντας.

Υπογραμμίζεται ότι το εν λόγω φαινόμενο είναι αρκετά σοβαρό καθόσον έχει υψηλά ποσοστά θνησιμότητας που μπορεί να φθάσουν μέχρι και το 95% στα όρια του σχηματιζόμενου νέφους μετά από διαρροή 10 μόλις λεπτών.

4.2.1.4 Ζώνες Επικινδυνότητας

Δυνάμει της μεθοδολογίας της Πυροσβεστικής Ακαδημίας Ολλανδίας σχετικά με τη προστασία των δυνάμεων καταστολής, αλλά και του πληθυσμού που πλήττεται από μία καταστροφή έχουν προσδιορισθεί τρεις ζώνες προστασίας ανάλογα με τις επιπτώσεις που είναι δυνατόν να προκληθούν. Τις εν λόγω ζώνες τις υιοθέτησαν παγκοσμίως για τη διαχείριση βιομηχανικών ατυχημάτων και πιο συγκεκριμένα μέσω αυτών προσδιορίζεται η ένταση των επιπτώσεων στον άνθρωπο γύρω από ένα σημείο ατυχήματος με στόχο τον καθορισμό ορίων ασφαλείας.

Αρχικά, στην Ελλάδα προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες λειτουργίας του Επιχειρησιακού Κέντρου που είναι εγκατεστημένο στη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας και του σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση βιομηχανικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης, προτάθηκαν από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τμήμα Χημικών Μηχανικών (επιστημονικός υπεύθυνος Καθηγητής κ. Ν. Μαρκάτος), τρεις (3) ζώνες προστασίας. (Μουζάκης Γ., 2017). Οι ζώνες αυτές έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

Η **Ζώνη I** (άνωτερη): περιλαμβάνει σοβαρούς τραυματισμούς ή και θανάτους σε σημαντικό ποσοστό των πληγέντων. Ως προς τα κτίρια αναμένονται να σημειωθούν σοβαρές και

μη επισκευάσιμες ζημιές στη τοιχοποιία. Στη ζώνη αυτή δεν προβλέπεται να γίνει κάποια ενέργεια διάσωσης.

Η **Ζώνη II** (μεσαία): περιλαμβάνει σοβαρούς τραυματισμούς με μη αναστρέψιμες βλάβες στην υγεία για το μεγαλύτερο μέρος των πληγέντων και υπάρχει η πιθανότητα θανάτου σε μικρό ποσοστό. Ως προς τα κτίρια αναμένονται να σημειωθούν ζημιές στη τοιχοποιία. Στη ζώνη αυτή μπορούν να πραγματοποιηθούν ενέργειες διάσωσης συστηματικά από σωστικά συνεργεία.

Η **Ζώνη III** (κατώτερη): πρόκειται για τη ζώνη στην οποία δεν αναμένονται θάνατοι και οι όποιοι τραυματισμοί και βλάβες στην υγεία θα επέλθουν σε σχετικά μικρό αριθμό ατόμων. Ως προς τα κτίρια αναμένονται να σημειωθούν ζημιές σε πόρτες, παράθυρα και ελαφρές ρηγματώσεις σε τοίχους. Στη ζώνη αυτή η διάσωση γίνεται κυρίως με ίδια μέσα από τον πληθυσμό και σε λίγες περιπτώσεις από τα σωστικά συνεργεία.

Ακολούθως, οι προαναφερόμενες ζώνες επαναπροσδιορίστηκαν σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2012/18/ΕΕ, η οποία επικυρώθηκε με την υπ' αριθ. 172058 Κ.Υ.Α. το Φλεβάρη του 2016 και η οποία ισχύει έως και σήμερα, ως ακολούθως (ΦΕΚ 354Β/17-02-2016):

Επιπτώσεις Ζώνες	Θερμική Ακτινοβολία		Ωστικό Κύμα	Τοξικές Ουσίες
	Δόση (TDU)	Ένταση (kW/m ²)	Υπερπίεση (mbar)	Συγκέντρωση (mg/m ³)
ΖΩΝΗ I (Προστασία Δυνάμεων Καταστολής)	1500	$q = 241,0/t^{3/4}$	350	LC ₅₀
ΖΩΝΗ II (Προστασίας Πληθυσμού-Σοβαρές Επιπτώσεις)	450	$q = 97,7/t^{3/4}$	140	LC ₁
ΖΩΝΗ III (Προστασίας Πληθυσμού-Μέτριες Επιπτώσεις)	170	$q = 47,1/t^{3/4}$	50	IDLH

Πίνακας 4.1. Διαμόρφωση Ζωνών Επικινδυνότητας βάσει ελληνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας. (Πηγή: ΦΕΚ 354Β/17-02-2016)

ΖΩΝΗ Πολλαπλασιαστικών φαινομένων (Domino)	Θερμική Ακτινοβολία	Ωστικό Κύμα
	Λίμνη Φωτιάς: Θερμική ακτινοβολία 37,5 kW/m ² για χρόνο έκθεσης 16 λεπτά	Υπερπίεση 700 mbar
	Πύρινη σφαίρα: η ακτίνα της πύρινης σφαίρας	

Πίνακας 4.2. Διαμόρφωση Ζώνης Πολλαπλασιαστικών φαινομένων (domino) βάσει ελληνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας. (Πηγή: ΦΕΚ 354Β/17-02-2016)

Και ως διευκρινήσεις- παρατηρήσεις- ορισμοί του παραπάνω πίνακα αναφέρονται τα κάτωθι στην ίδια Κ.Υ.Α. (ΦΕΚ 354Β/17-02-2016):

- Λόγω του ότι οι Ζώνες I, II και III όπως ορίζονται αντιστοιχούν σε ισοδύναμα επίπεδα επικινδυνότητας μόνο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες έκθεσης του ανθρώπου (διάρκεια έκθεσης, διάρκεια φαινομένου, δόση έκθεσης) τα προτεινόμενα όρια θερμικής ακτινοβολίας, υπερπίεσης ωστικού κύματος και συγκέντρωσης τοξικής ουσίας θα πρέπει να εξετάζονται πάντοτε σε συνδυασμό με τα χρονικά όρια για τα

οποία ορίζονται (IDLH 30 λεπτά) και για τη χρονική διάρκεια που τεκμηριωμένα εφαρμόζονται για κάθε φαινόμενο και σενάριο που εξετάζεται.

- Ο τύπος της έντασης ακτινοβολίας ισχύει για ακίνητο παρατηρητή. Για φαινόμενο Λίμνη Φωτιάς ο χρόνος έκθεσης ακίνητου παρατηρητή λαμβάνεται ίσος με 40 δευτερόλεπτα, η ένταση ακτινοβολίας για ακίνητο παρατηρητή είναι 15 kW/m^2 , 6 kW/m^2 και 3 kW/m^2 για δόσεις 1500, 450 και 170 TDU αντίστοιχα.
- Για φαινόμενο BLEVE ο χρόνος έκθεσης ακίνητου παρατηρητή λαμβάνεται ίσος με τη διάρκεια του φαινομένου.
- TDU: Οι επιπτώσεις της θερμικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο είναι συνάρτηση της λαμβανόμενης δόσης θερμικής ακτινοβολίας (D), η οποία υπολογίζεται από την ένταση θερμικής ακτινοβολίας (q) και από το χρόνο έκθεσης (t) δίνεται από τον τύπο $D=q^{4/3} * t$ και εκφράζεται σε TDU ($1 \text{ TDU}= 1(\text{kW/m}^2)^{4/3}\text{s}$). Η δόση υπολογίζεται για ακίνητο ή κινούμενο παρατηρητή και στην τελευταία περίπτωση η ένταση μεταβάλλεται με την απόσταση.
- LC50 (Lethal Concentration 50): Η θανατηφόρα Συγκέντρωση 50, ορίζεται ως η συγκέντρωση μιας τοξικής ουσίας στον αέρα, η οποία είναι πιθανό να προκαλέσει θάνατο στο 50% του πληθυσμού λόγω εισπνοής για καθορισμένο χρόνο έκθεσης 30 λεπτών.
- LC1 (Lethal Concentration 1): Η θανατηφόρα Συγκέντρωση 1, ορίζεται ως η συγκέντρωση μιας τοξικής ουσίας στον αέρα, η οποία είναι πιθανό να προκαλέσει θάνατο στο 1% του πληθυσμού λόγω εισπνοής για καθορισμένο χρόνο έκθεσης 30 λεπτών.
- IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health): Ως IDLH ορίζεται η μέγιστη συγκέντρωση μιας τοξικής ουσίας στον αέρα, στην οποία μπορεί να εκτεθεί ένας υγιής εργαζόμενος για 30 λεπτά και να διαφύγει χωρίς να υποστεί μη-ανατάξιμες βλάβες στην υγεία του ή τραυματισμούς που να εμποδίζουν τη διαφυγή του (κυρίως ερεθισμούς ματιών ή πνευμόνων). Τα όρια IDLH αναφέρονται αποκλειστικά στις βλάβες που επέρχονται με την εισπνοή τοξικής ουσίας και αφορούν βλάβες σοβαρές και μη-ανατάξιμες.
- Ζώνη I: Σοβαροί τραυματισμοί και θάνατοι σε σημαντικό ποσοστό.
- Ζώνη II: Μη ανατάξιμες βλάβες αναμένονται στην υγεία για τα περισσότερα άτομα και πιθανοί θάνατοι σε μικρό ποσοστό του πληθυσμού. Στη ζώνη αυτή γίνονται συστηματικές ενέργειες διάσωσης από τα σωστικά συνεργεία.
- Ζώνη III: Δεν αναμένονται θάνατοι ενώ σε σχετικά μικρό αριθμό ατόμων αναμένονται βλάβες στην υγεία τους. Η διάσωση γίνεται κυρίως με ίδια μέσα από τον πληθυσμό και σε λίγες περιπτώσεις από τα σωστικά συνεργεία.

Σχετικά με την Θερμική ακτινοβολία σημειώνεται ότι οι επιπτώσεις που αναμένονται με ανά Ζώνη επικινδυνότητας είναι οι εξής:

Για τη Ζώνη I με θερμική δόση 1500 TDU αναμένονται εγκαύματα τρίτου βαθμού σε ποσοστό άνω του 50 % του συνόλου του εκτιθέμενου πληθυσμού.

Για τη Ζώνη II με θερμική δόση 450 TDU αναμένονται εγκαύματα τρίτου βαθμού στο 1% του πληθυσμού.

Ενώ, για τη Ζώνη III με θερμική δόση 170 TDU αναμένονται εγκαύματα πρώτου βαθμού σε σημαντικό τμήμα του πληθυσμού.

Επιπρόσθετα, οι επιπτώσεις που αναμένονται από τις διαφορετικές τιμές υπερπίεσης που δημιουργούν Ωστικό Κύμα ανα Ζώνη είναι επικινδυνότητας είναι οι κάτωθι:

Για τη Ζώνη I με τιμή υπερπίεσης 350 mbar αναμένονται σοβαρές και μη επισκευάσιμες ζημιές στο φέροντα οργανισμό και στους τοίχους κτιρίων.

Για τη Ζώνη II με τιμή υπερπίεσης 140 mbar αναμένονται ζημιές στο φέροντα οργανισμό καθώς και στην τοιχοποιία τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά των κτιρίων.

Και τέλος, για τη Ζώνη III με τιμή υπερπίεσης 50 mbar αναμένονται ζημιές σε εξωτερικές πόρτες και παράθυρα, καθώς και ελαφρές ρηγματώσεις σε τοίχους.

4.3 Υπόθεση Σεναρίου

Την 10 Μαΐου υποθετικού έτους περί την 12:30 ώρα, λίγο έξω από την Τρίπολη Αρκαδίας στην Πελοπόννησο σε απόσταση περίπου ενός χιλιομέτρου από την είσοδο της πόλης, σε σημείο με γεωγραφικές συντεταγμένες [37.507311, 22.390394], και κατά τη πραγματοποίηση χωματουργικών εργασιών σε καλλιεργήσιμη έκταση πλησίον του κεντρικού δρόμου, που ενώνει την περιοχή του Αχλαδόκαμπου με την πόλη της Τρίπολης, χειριστής εκσκαφέα, μετά από λάθος υπολογισμό, καταφέρνει χτύπημα με τον εμπρόσθιο κάδο, σε σημείο του αγωγού διανομής Υδρογόνου υπό πίεση, με αποτέλεσμα να επέλθει σε αυτόν καταστροφική ρήξη και η διάμετρος της οπής να είναι πλέον η διάμετρος του αγωγού. Λόγω της ρήξης ελευθερώνεται ποσότητα Υδρογόνου σε αέρια μορφή υπό πίεση, έως ότου διακοπεί η παροχή από το πλησιέστερο βαλβιδοστάσιο ή κέντρο μέτρησης/ρύθμισης του αγωγού.

- **Πιθανό Σενάριο Α:** δεν υπάρχει ανάφλεξη.
 - ✓ **Πιθανό αποτέλεσμα Α1:** ελευθέρωση ουσίας με αποτέλεσμα το σχηματισμό νέφους Υδρογόνου.
 - ✓ **Πιθανό αποτέλεσμα Α2:** πρόκληση πυρκαγιάς από την ανάφλεξη των ατμών (flash fire) Υδρογόνου.
 - ✓ **Πιθανό αποτέλεσμα Α3:** έκρηξη των ατμών (UVCE) Υδρογόνου που απελευθερώνονται.
- **Πιθανό Σενάριο Β:** κατά την διάτρηση του αγωγού δημιουργείται σπίθα προκαλώντας ανάφλεξη. Έτσι, το Υδρογόνο που διαρρέει αναφλέγεται και έχουμε μία γλώσσα φωτιάς (jet fire).

4.4 Πίνακας Δεδομένων Υποθετικών Σεναρίων

Προκειμένου να απλοποιήσουμε τις παραμέτρους του υποθετικού σεναρίου, αναφέρονται συγκεντρωτικά τα λαμβανόμενα ως δεδομένα:

Σημείο Ατυχήματος	
Περιοχή	πλησίον Τρίπολης Αρκαδίας, Πελοπόννησος, Ελλάδα
Συντεταγμένες (μέσω χαρτών ηλεκτρονικού ιστότοπου google.gr/maps)	37°30'26.3"N 22°23'25.4"E (37.507311, 22.390394)
Περιβαλλοντολογικές Συνθήκες	
Καιρός	Αίθριος
Υγρασία	25%
Άνεμος	20 χλμ/ώρα (≈3,5 μποφόρ ή 5,56 m/s)
Κατεύθυνση ανέμου	Νότιο-Ανατολικός
Υψόμετρο	660
Εποχή	Άνοιξη
Μήνας	Μάιος
Μέρα	10
Θερμοκρασία	27 °C
Ωρα	12:30
Αγωγός	
Διάμετρος	24 ίντσες
Θερμοκρασία	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
Πίεση	13 bar (≈12,83 ατμόσφαιρες)
Δίκτυο	Υποθετικό (που προσομοιάζει με τον υπάρχοντα αγωγό του Φ.Α.)
Πλησιέστερο σημείο διακοπής ροής	22 χιλιόμετρα από το σημείο διάτρησης (υποθετικά Αχλαδόκαμπος)
Διακινούμενη Καύσιμη Ύλη	
Υλικό	Υδρογόνο
Μορφή	Αέριο
Πιθανό Σενάριο Α	
Ανάφλεξη υλικού κατά την έξοδο	Αρνητικό
Πιθανό Αποτέλεσμα A1	Απελευθέρωση υλικού σε αέρια μορφή, σχηματισμός νέφους
Τιμή Ανώτερης ζώνης επικινδυνότητας (Ζώνη I)	-
Πιθανό Αποτέλεσμα A2.1	Εκδήλωση πυρκαγιάς μετά από ανάφλεξη του νέφους (Flash Fire)
Τιμή ελάχιστου ορίου αναφλεξιμότητας (LEL 100%)	40000 ppm
Πιθανό Αποτέλεσμα A2.2	Εκδήλωση πυρκαγιάς μετά από ανάφλεξη του νέφους (Flash Fire)
Τιμή ορίου αναφλεξιμότητας 50% LEL συντηρητικό σενάριο για μεγαλύτερη ασφάλεια	20000 ppm
Πιθανό Αποτέλεσμα A3	Εκδήλωση έκρηξης στο σχηματιζόμενο νέφος
Στιγμή ανάφλεξης	Άγνωστη
Τύπος ανάφλεξης	Από σπίθα ή φλόγα

Επίπεδο συμφόρησης στο κομμάτι εντός του φλεγόμενου αερίου	Χωρίς συμφόρηση, εύκολη διέλευση (ανοικτός χώρος)
Τιμή Ανώτερης ζώνης Επικινδυνότητας (Ζώνη I)	0,35 ατμόσφαιρες
Τιμή Μεσαίας ζώνης Επικινδυνότητας (Ζώνη II)	0,14 ατμόσφαιρες
Τιμή Χαμηλής ζώνης Επικινδυνότητας (Ζώνη III)	0,05 ατμόσφαιρες
Πιθανό Σενάριο Β	
Ανάφλεξη υλικού κατά την έξοδο	Θετικό
Πιθανό Αποτέλεσμα Β1	Jet Fire (γλώσσα φωτιάς)
Τιμή Ανώτερης ζώνης Επικινδυνότητας (Ζώνη I)	15 kW/m ²
Τιμή Μεσαίας ζώνης Επικινδυνότητας (Ζώνη II)	6 kW/m ²
Τιμή Χαμηλής ζώνης Επικινδυνότητας (Ζώνη III)	3 kW/m ²
Λογισμικό Μοντέλων³	
Ατυχήματος	ALOHA version 5.4.7 με ημερομηνία έκδοσης το Σεπτέμβριο 2016
Απεικόνιση σε χάρτη	MARPLOT version 5.1.1 με ημερομηνία έκδοσης το Δεκέμβριο 2017

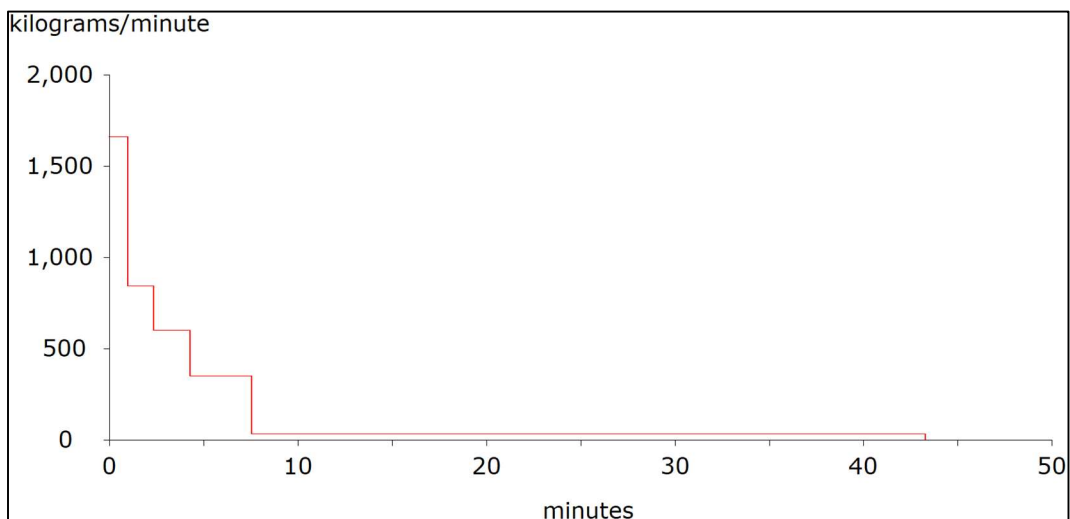
Πίνακας 4.3. Δεδομένα Υποθετικού Σεναρίου.

4.5 Αποτελέσματα Σεναρίου Α

4.5.1 Αρχικές παρατηρήσεις

Σύμφωνα με το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, η συνολική ποσότητα αερίου Υδρογόνου που θα διαρρεύσει υπολογίσθηκε σε 6.257 κιλά, με το μέγιστο ρυθμό απελευθέρωσης το πρώτο λεπτό (1') να ανέρχεται σε 1.660 κιλά ανά λεπτό, ήτοι περίπου 27,67 κιλά ανά δευτερόλεπτο. Στη συνέχεια, ο ρυθμός θα μειώνεται ριζικά έως το όγδοο περίπου λεπτό (8'), όταν ο ρυθμός θα είναι σχεδόν μηδαμινός. Η διαρροή εκτιμήθηκε ότι θα συνεχισθεί έως και το τεσσαρακοστό τρίτο λεπτό (43') όταν και θα διακοπεί εντελώς η ροή, όπως εμφανίζεται και στο κάτωθι διάγραμμα.

³ Πρόκειται για ελεύθερα λογισμικά (freewares) τα οποία παρέχονται από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (EPA) και έχουν αναπτυχθεί σε συνεργασία με την Εθνική Ωκεανική και Ατμοσφαιρική Διοίκηση των Η.Π.Α. (NOAA).



Εικόνα 4.3. Σχεδιάγραμμα ρυθμού απελευθέρωσης αερίου Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου Α. (Πηγή: ALOHA)

4.5.2 Πιθανό Αποτέλεσμα A1

Στη περίπτωση απλής απελευθέρωσης Υδρογόνου δεν θα υπάρξει κάποια επίπτωση στο περιβάλλον ή στην ομαλή διαβίωση των έμβιων όντων στη γύρω περιοχή, δεδομένου ότι το υδρογόνο δεν είναι τοξικό. Υπάρχει όμως η επικινδυνότητα που θα εξεταστεί στα επόμενα πιθανά αποτελέσματα.

4.5.3 Πιθανό Αποτέλεσμα A2.1

Βάσει των δεδομένων που αναλυτικά αναφέρθηκαν προηγουμένως και τα οποία παρουσιάζονται μέσα από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε (βλ. Εικόνα 4.4), η απειλούμενη ζώνη από τη σχηματιζόμενη πυρκαγιά μετά την ανάφλεξη αερίων-ατμών από το διαρρέων αέριο Υδρογόνου φθάνει έως και τα 539 μέτρα. Όπως είναι λογικό όσο απομακρυνόμαστε από το σημείο του ατυχήματος τόσο μειώνονται τα ποσοστά θερμικής ακτινοβολίας που επηρεάζουν τη ζωή.

```

SITE DATA:
  Location: TRIPOLI ARKADIAS, GREECE
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.66 (unsheltered double storied)
  Time: May 10, 2019 1230 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: HYDROGEN
  CAS Number: 1333-74-0           Molecular Weight: 2.02 g/mol
  PAC-1: 65000 ppm   PAC-2: 230000 ppm   PAC-3: 400000 ppm
  LEL: 40000 ppm     UEL: 750000 ppm
  Ambient Boiling Point: -253.0° 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: 5.56 meters/second from ESE at 4 meters
  Ground Roughness: open country           Cloud Cover: 3 tenths
  Air Temperature: 27° C                   Stability Class: D
  No Inversion Height                       Relative Humidity: 25%

SOURCE STRENGTH:
  Flammable gas escaping from pipe (not burning)
  Pipe Diameter: 24 inches                 Pipe Length: 22000 meters
  Unbroken end of the pipe is closed off
  Pipe Roughness: smooth                   Hole Area: 452 sq in
  Pipe Press: 12.83 atmospheres           Pipe Temperature: 27° C
  Release Duration: 43 minutes
  Max Average Sustained Release Rate: 1,660 kilograms/min
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 6,257 kilograms

THREAT ZONE:
  Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
  Model Run: Gaussian
  Red   : 539 meters --- (40000 ppm = LEL)

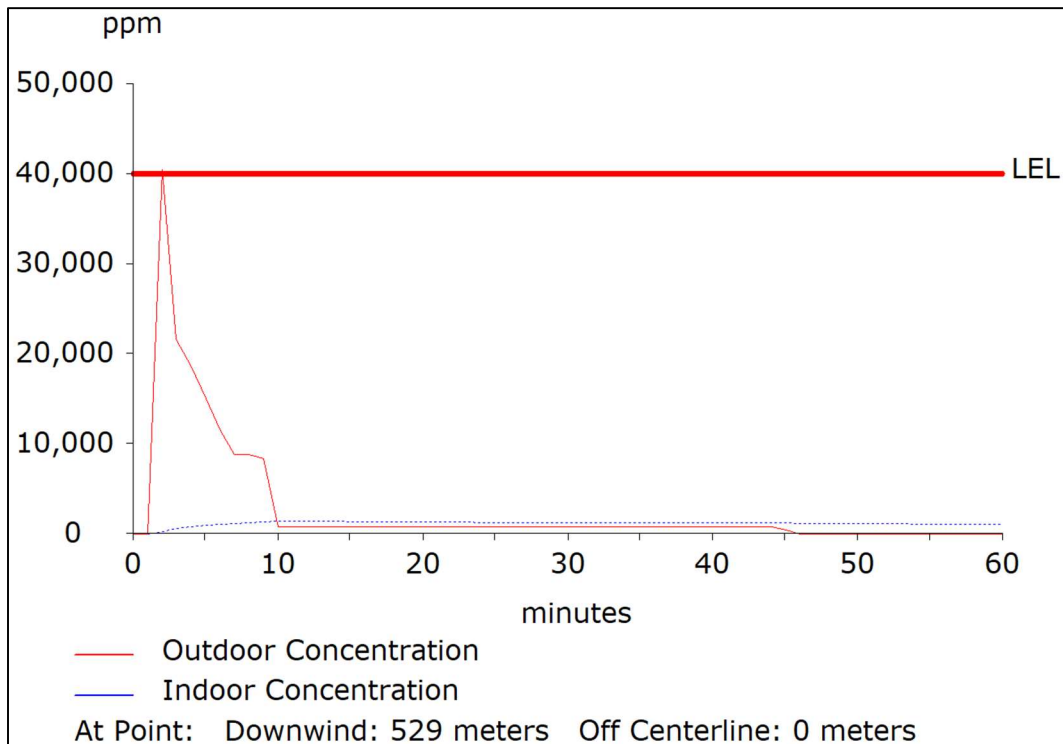
```

Εικόνα 4.4. Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων Σεναρίου Α, Περίπτωση Α2.1. (Πηγή: ALOHA)

Επί της ουσίας στη περίπτωση που το σχηματιζόμενο από το διαρρέων αέριο καύσιμο Υδρογόνου, νέφος, αναφλεγεί, η φλόγα θα επιστρέψει έως το σημείο της διαρροής ακολουθώντας τη πορεία της “ουράς” του νέφους. Η φλόγα που θα σχηματισθεί θα καλύψει την περιοχή στην οποία η συγκέντρωση του Υδρογόνου είναι μεγαλύτερη του κατώτατου ορίου αναφλεξιμότητάς του, κάτι που ισχύει έως και τα 539 μέτρα από το σημείο διαρροής. Πιθανή πηγή ανάφλεξης θα μπορούσε να είναι ένα ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα ή ακόμη και ένα κινούμενο όχημα. Οι αναμενόμενες επιπτώσεις εξαρτώνται κυρίως από την θερμική ακτινοβολία που θα εκπεμφθεί. Αναμένονται τραυματισμοί που σχετίζονται με εγκαύματα τα οποία θα φθάσουν έως και 3^{ου} βαθμού στον άμεσα εκτεθειμένο πληθυσμό.

Κατά την επιλογή τυχαίου σημείου που απέχει 529 μέτρα από το σημείο του ατυχήματος (πηγή φωτιάς) το οποίο συμβαδίζει με τη κατεύθυνση του ανέμου και συνεπώς βρίσκεται εντός της ζώνης επικινδυνότητας με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση θερμικής ακτινοβολίας, παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή ακτινοβολίας προκύπτει σχεδόν αμέσως μετά το ατύχημα, ενώ ακολούθως μειώνεται εκθετικά. Περίπου μετά το πέρασμα δέκα λεπτών (10') λαμβάνει αρκετά χαμηλή τιμή και

τελικώς μηδενίζεται μετά από περίπου σαράντα πέντε λεπτά (45'). Ακολουθεί σχηματική απεικόνιση.

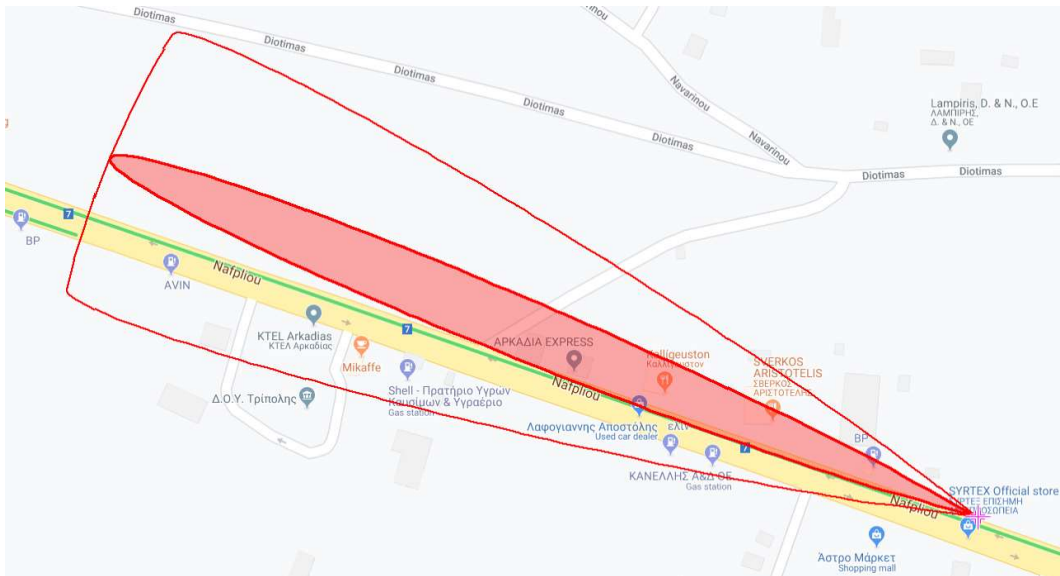


Εικόνα 4.5. Σχεδιάγραμμα εξέλιξης συγκέντρωσης θερμικής ακτινοβολίας σε σημείο που απέχει 529 μέτρα από το σημείο του ατυχήματος μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου Α, Περίπτωση Α2.1. (Πηγή: ALOHA)

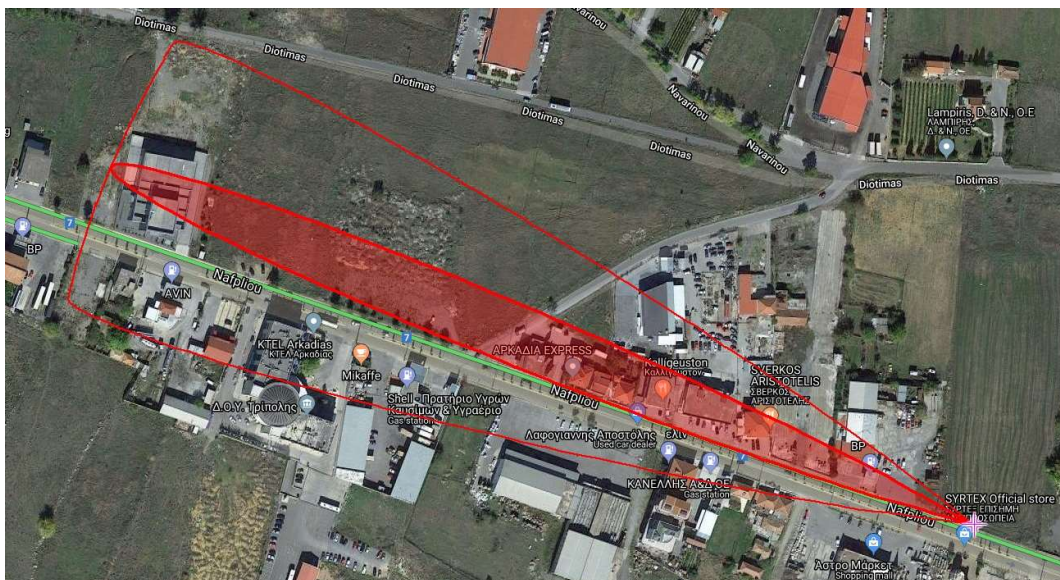
Σημαντική διαπίστωση στη παρούσα εξεταζόμενη περίπτωση είναι το γεγονός ότι ο κίνδυνος υφίσταται μόνο για όσους δεν βρίσκονται εντός κτιρίων ή άλλης προστασίας, αλλά είναι άμεσα εκτεθειμένοι στο φαινόμενο.

Στην ουσία το νέφος φωτιάς που θα σχηματισθεί και οι αναθυμιάσεις θα καλύψουν περιοχή με συνολική περίμετρο 1,25 χιλιόμετρα καλύπτοντας ουσιαστικά έκταση 0,057 τετραγωνικών χιλιομέτρων.

Ακολουθώς παρατίθενται απεικονίσεις σε χάρτες (κλασσικό και δορυφορικό) της επιρροής αυτής. Η σκιαγραφημένη περιοχή αφορά την περιοχή που θα επηρεασθεί με βεβαιότητα ενώ η υπόλοιπη περιοχή που περικλείεται της κόκκινης γραμμής ενδέχεται να επηρεασθεί ανάλογα την εξέλιξη του ανέμου.



Εικόνα 4.6. Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη που επηρεάζεται μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου Α, Περίπτωση Α2.1. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)



Εικόνα 4.7. Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη δορυφόρου που επηρεάζεται μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου Α, Περίπτωση Α2.1. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)

4.5.4 Πιθανό Αποτέλεσμα Α2.2

Προκειμένου να καλυφθούν όλες οι πιθανές περιπτώσεις και σε συνέχεια του πιθανού αποτελέσματος της περίπτωσης Α2.1 που αναλύθηκε προηγουμένως, θεωρήθηκε αναγκαίο από άποψη ασφάλειας να εκτιμηθούν και οι επιπτώσεις για την περίπτωση που το ελάχιστο όριο αναφλεξιμότητας (LEL) θα φθάσει έως τη μισή ήδη ελέγξιμη τιμή του, δηλαδή έως τα 20000 ppm.

Κρίνεται απαραίτητος ένα τέτοιος έλεγχος καθόσον, όπως έχει ήδη αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια το Υδρογόνο πρόκειται για ένα εξαιρετικά εύφλεκτο υλικό. Έτσι, εξετάζοντας την περίπτωση που τα σωματίδια του Υδρογόνου είναι πιο αραιωμένα στο χώρο και

το σχηματιζόμενο νέφος δεν είναι τόσο πυκνό, λόγω της τυρβώδους ροής διάχυσης του υδρογόνου στην ατμόσφαιρα, όσο στην περίπτωση A2.1 (LEL=40000 ppm), θα ήταν πιο ολοκληρωμένη η εκτίμηση του κινδύνου σε ένα ενδεχόμενο ατύχημα σε αγωγό διακίνησής του εν λόγω καυσίμου, εξετάζοντας ένα πρόσθετο σενάριο για λόγους ασφάλειας στο 50% του κατώτερου σημείου αναφλεξιμότητας (50% LEL=20000 ppm).

Βάσει και των νεότερων δεδομένων τα οποία παρουσιάζονται μέσα από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε (βλ. Εικόνα 4.8), η απειλούμενη ζώνη από τη σχηματιζόμενη πυρκαγιά μετά την ανάφλεξη αερίων-ατμών από το διαρρέων αέριο Υδρογόνου φθάνει τώρα έως και τα 789 μέτρα. Δηλαδή η απειλούμενη ζώνη αυξήθηκε κατά 250 μέτρα.

```
SITE DATA:
Location: TRIPOLI ARKADIAS, GREECE
Building Air Exchanges Per Hour: 0.66 (unsheltered double storied)
Time: May 10, 2019 1230 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: HYDROGEN
CAS Number: 1333-74-0 Molecular Weight: 2.02 g/mol
PAC-1: 65000 ppm PAC-2: 230000 ppm PAC-3: 400000 ppm
LEL: 40000 ppm UEL: 750000 ppm
Ambient Boiling Point: -253.0° 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: 5.56 meters/second from ESE at 4 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 3 tenths
Air Temperature: 27° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 25%

SOURCE STRENGTH:
Flammable gas escaping from pipe (not burning)
Pipe Diameter: 24 inches Pipe Length: 22000 meters
Unbroken end of the pipe is closed off
Pipe Roughness: smooth Hole Area: 452 sq in
Pipe Press: 12.83 atmospheres Pipe Temperature: 27° C
Release Duration: 43 minutes
Max Average Sustained Release Rate: 1,660 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 6,257 kilograms

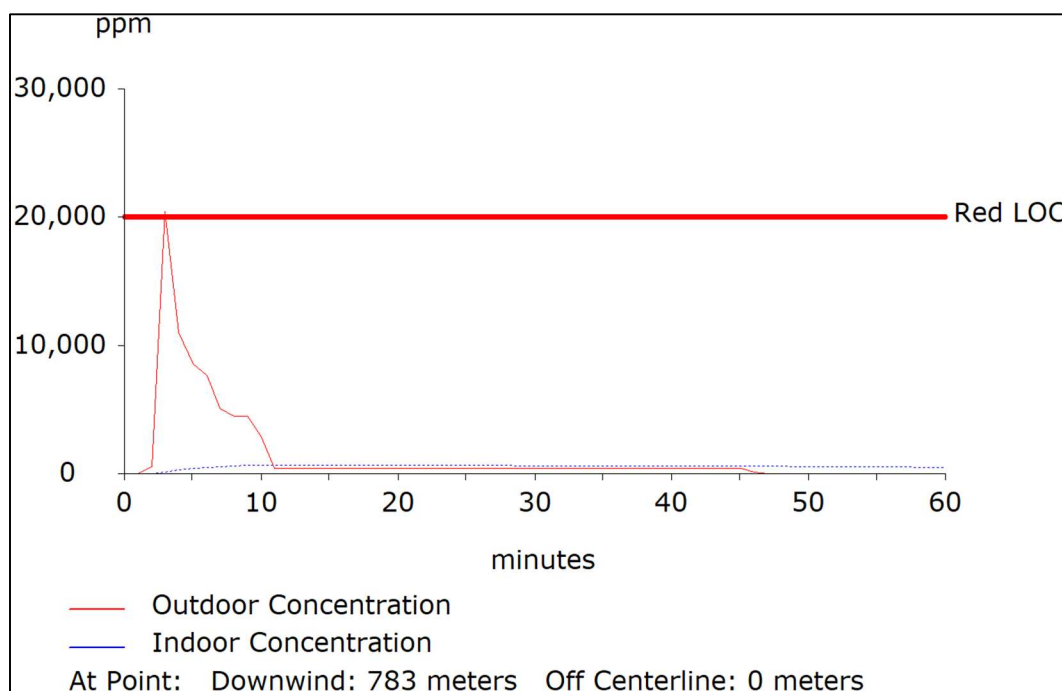
THREAT ZONE:
Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
Model Run: Gaussian
Red : 789 meters --- (20000 ppm)
```

Εικόνα 4.8. Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων Σεναρίου A, Περίπτωση A2.2. (Πηγή: ALOHA)

Και σε αυτό το ενδεχόμενο, εφόσον το σχηματιζόμενο από το διαρρέων αέριο καύσιμο Υδρογόνου, νέφος, αναφλεγεί, η φλόγα θα επιστρέψει έως το σημείο της διαρροής ακολουθώντας τη πορεία της “ουράς” του νέφους, με τη φλόγα που θα σχηματισθεί να καλύπτει την περιοχή στην οποία η συγκέντρωση του Υδρογόνου είναι μεγαλύτερη του νέου εξεταζόμενου κατώτατου ορίου αναφλεξιμότητας (50% LEL=20000 ppm), κάτι που ισχύει έως και τα 789 μέτρα από το σημείο

διαρροής. Και εδώ οι αναμενόμενες επιπτώσεις εξαρτώνται κυρίως από την θερμική ακτινοβολία που θα εκπεμφθεί και αναμένονται παρόμοιοι τραυματισμοί με αυτούς που αναφέρθηκαν στην Περίπτωση A2.1. Πιο συγκεκριμένα αναμένονται εγκαύματα τα οποία θα φθάσουν έως και 3^{ου} βαθμού στα άμεσα εκτεθειμένα άτομα.

Κατά την επιλογή τυχαίου σημείου που απέχει 783 μέτρα από το σημείο του ατυχήματος (πηγή φωτιάς) το οποίο συμβαδίζει με τη κατεύθυνση του ανέμου και συνεπώς βρίσκεται εντός της ζώνης επικινδυνότητας με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση θερμικής ακτινοβολίας, παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή ακτινοβολίας προκύπτει περίπου μετά το πέρας δύο λεπτών (2') από το ατύχημα, ενώ ακολούθως μειώνεται εκθετικά. Περίπου μετά το πέρας έντεκα λεπτών (11') λαμβάνει αρκετά χαμηλή τιμή και τελικώς μηδενίζεται μετά από περίπου σαράντα έξι (46') λεπτά. Ακολουθεί σχηματική απεικόνιση.

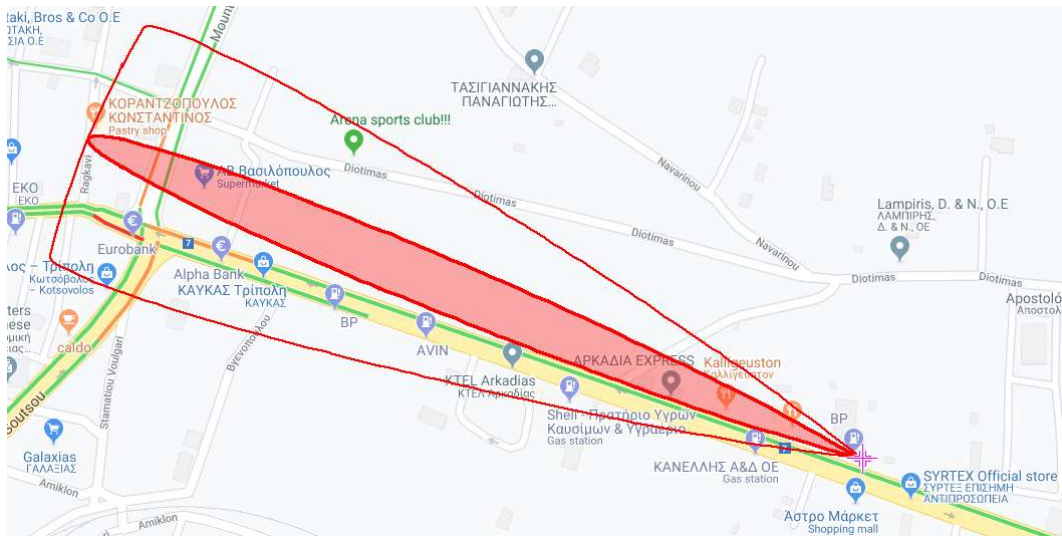


Εικόνα 4.9. Σχεδιάγραμμα εξέλιξης συγκέντρωσης θερμικής ακτινοβολίας σε σημείο που απέχει 783 μέτρα από το σημείο του ατυχήματος μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου A, Περίπτωση A2.2. (Πηγή: ALOHA)

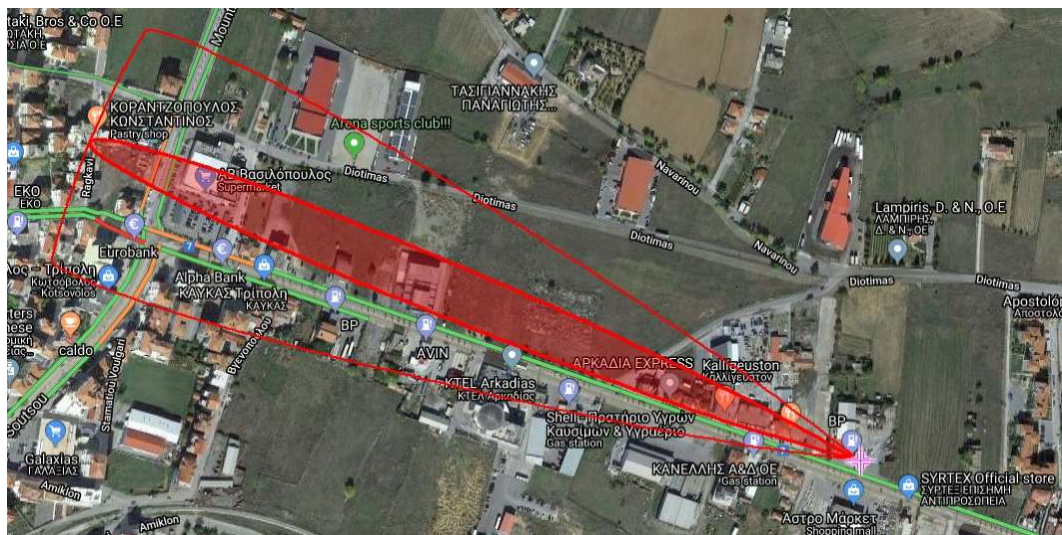
Και εδώ ισχύει το γεγονός ότι ο κίνδυνος υφίσταται μόνο για όσους είναι άμεσα εκτεθειμένοι στο φαινόμενο και δεν προστατεύονται από κάποιο μέσο προστασίας, όπως ένα κτίριο.

Το νέφος φωτιάς που θα σχηματισθεί και οι αναθυμιάσεις θα καλύψουν περιοχή με συνολική περίμετρο 1,82 χιλιόμετρα καλύπτοντας ουσιαστικά έκταση 0,122 τετραγωνικών χιλιομέτρων.

Ακολούθως παρατίθενται απεικονίσεις σε χάρτες (κλασσικό και δορυφορικό) της επιρροής αυτής. Η σκιαγραφημένη περιοχή αφορά την περιοχή που θα επηρεασθεί με βεβαιότητα ενώ η υπόλοιπη περιοχή που περικλείεται της κόκκινης γραμμής ενδέχεται να επηρεασθεί ανάλογα την εξέλιξη του ανέμου.



Εικόνα 4.10. Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη που επηρεάζεται μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του του Σεναρίου A, Περίπτωση A2.2. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)



Εικόνα 4.11. Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη δορυφόρου που επηρεάζεται μετά την ανάφλεξη νέφους Υδρογόνου κατά την συντηρητική το ατύχημα του Σεναρίου A, Περίπτωση A2.2. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)

4.5.5 Πιθανό Αποτέλεσμα A3

Βάσει των δεδομένων που αναλυτικά αναφέρθηκαν προηγουμένως και τα οποία παρουσιάζονται μέσα από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε (βλ. Εικόνα 4.8), προκύπτει ότι η τιμή που απαιτείται για να απειληθεί η ζωή (τιμή ανώτερης ζώνης) δεν καλύπτεται και συνεπώς δεν υπάρχει ο κίνδυνος απώλειας ζωής από την έκρηξη των αέριων μαζών (UVCE) που σχηματίζονται από την απελευθέρωση του αερίου Υδρογόνου.

```

SITE DATA:
  Location: TRIPOLI ARKADIAS, GREECE
  Building Air Exchanges Per Hour: 0.66 (unsheltered double storied)
  Time: May 10, 2019 1230 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: HYDROGEN
  CAS Number: 1333-74-0
  Molecular Weight: 2.02 g/mol
  PAC-1: 65000 ppm   PAC-2: 230000 ppm   PAC-3: 400000 ppm
  LEL: 40000 ppm   UEL: 750000 ppm
  Ambient Boiling Point: -253.0° 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: 5.56 meters/second from ESE at 4 meters
  Ground Roughness: open country   Cloud Cover: 3 tenths
  Air Temperature: 27° C   Stability Class: D
  No Inversion Height   Relative Humidity: 25%

SOURCE STRENGTH:
  Flammable gas escaping from pipe (not burning)
  Pipe Diameter: 24 inches   Pipe Length: 22000 meters
  Unbroken end of the pipe is closed off
  Pipe Roughness: smooth   Hole Area: 452 sq in
  Pipe Press: 12.83 atmospheres   Pipe Temperature: 27° C
  Release Duration: 43 minutes
  Max Average Sustained Release Rate: 1,660 kilograms/min
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 6,257 kilograms

THREAT ZONE:
  Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
  Type of Ignition: ignited by spark or flame
  Level of Congestion: uncongested
  Model Run: Gaussian
  Red : LOC was never exceeded --- (0.35 atmospheres)
  Orange: 316 meters --- (0.14 atmospheres)
  Yellow: 419 meters --- (0.05 atmospheres)

```

Εικόνα 4.12. Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων Σεναρίου Α, Περίπτωση Α3. (Πηγή: ALOHA)

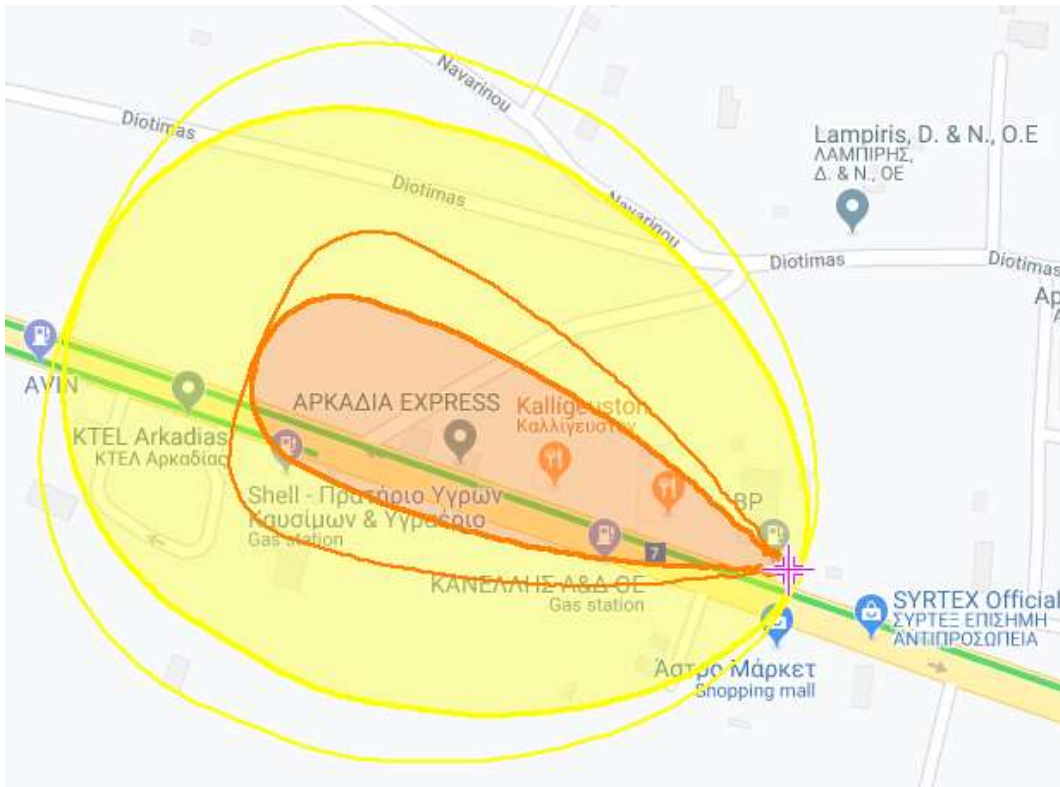
Υπάρχει όμως ο κίνδυνος πρόκλησης ζημιών από το ωστικό κύμα της έκρηξης με τα φαινόμενα να είναι έντονα σε απόσταση έως 316 μέτρα και λιγότερο έντονα σε απόσταση έως 419 μέτρα.

Πιο αναλυτικά μεγαλύτερο κίνδυνο (μεσαία ζώνη) αντιμετωπίζει περιοχή με συνολική περίμετρο 0,802 χιλιόμετρα καλύπτοντας ουσιαστικά έκταση 0,037 τετραγωνικών χιλιομέτρων.

Ενώ μικρότερου ύψους ζημιές (κατώτατη ζώνη) μπορούν να προκληθούν σε περιοχή με συνολική περίμετρο 1,29 χιλιόμετρα, έκτασης 0,131 τετραγωνικών χιλιομέτρων.

Ακολούθως, παρατίθενται απεικονίσεις σε χάρτες (κλασσικό και δορυφορικό) των επιρροών της έκρηξης και του ωστικού της κύματος. Η σκιαγραφημένη περιοχή με πορτοκαλί χρώμα αφορά τη περιοχή που θα επηρεασθεί εντονότερα (μεσαία ζώνη επικινδυνότητας), ενώ με βεβαιότητα ενώ η σκιαγραφημένη περιοχή με κίτρινο χρώμα αφορά τη περιοχή που θα επηρεασθεί λιγότερο (κατώτερη ζώνη επικινδυνότητας). Οι υπόλοιπες περιοχές που

περικλείονται των περιμετρικών γραμμών (πορτοκαλί και κίτρινου χρώματος αντίστοιχα) ενδέχεται να επηρεασθούν ανάλογα την εξέλιξη του ανέμου.



Εικόνα 4.13. Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη που επηρεάζεται μετά την έκρηξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου Α, Περίπτωση Α3. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)



Εικόνα 4.14. Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη δορυφόρου που επηρεάζεται μετά την έκρηξη νέφους Υδρογόνου κατά το ατύχημα του Σεναρίου Α, Περίπτωση Α3. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)

4.6 Αποτελέσματα Σεναρίου Β

Βάσει των δεδομένων που αναλυτικά αναφέρθηκαν προηγουμένως και τα οποία παρουσιάζονται μέσα από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε (βλ. Εικόνα 4.11), στη περίπτωση εκδήλωσης γλώσσας φωτιάς (jet fire) θα δημιουργηθούν τρεις ζώνες επικινδυνότητας με αυτή της σπουδαιότερης σημασίας (Ζώνη Ι) να φτάνει σε απόσταση έως και τα 55 μέτρα, της μεσαίας σημασίας (Ζώνη ΙΙ) έως τα 84 και της μικρότερης σημασίας (Ζώνη ΙΙΙ) τα 118 μέτρα. Πέρα τα 118 μέτρα δεν θα σημειωθούν φθορές ή απώλειες ζωής.

```
SITE DATA:
Location: TRIPOLI ARKADIAS, GREECE
Building Air Exchanges Per Hour: 0.66 (unsheltered double storied)
Time: May 10, 2019 1230 hours DST (user specified)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: HYDROGEN
CAS Number: 1333-74-0 Molecular Weight: 2.02 g/mol
PAC-1: 65000 ppm PAC-2: 230000 ppm PAC-3: 400000 ppm
LEL: 40000 ppm UEL: 750000 ppm
Ambient Boiling Point: -253.0° 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: 5.56 meters/second from ESE at 4 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 3 tenths
Air Temperature: 27° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 25%

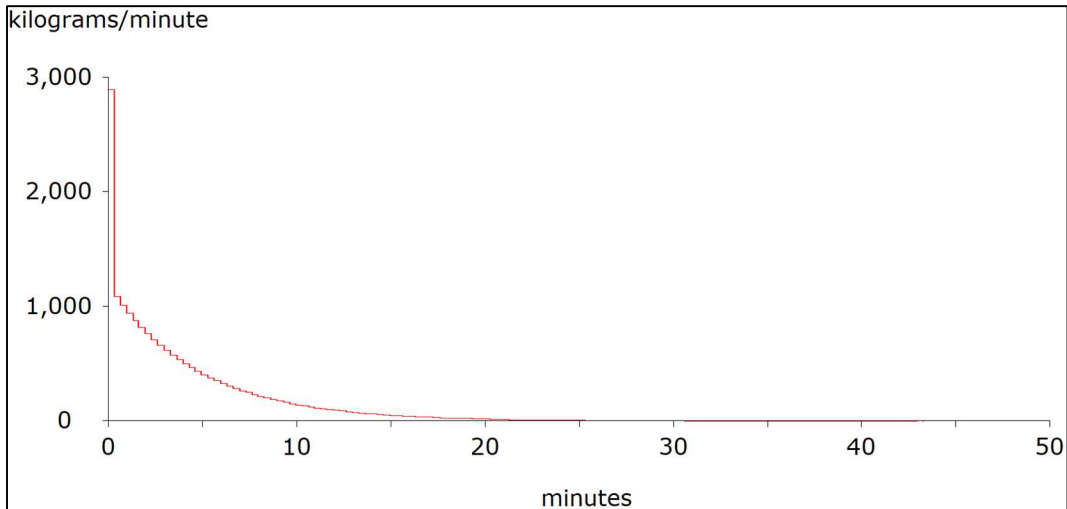
SOURCE STRENGTH:
Flammable gas is burning as it escapes from pipe
Pipe Diameter: 24 inches Pipe Length: 22000 meters
Unbroken end of the pipe is closed off
Pipe Roughness: smooth Hole Area: 452 sq in
Pipe Press: 12.83 atmospheres Pipe Temperature: 27° C
Max Flame Length: 20 meters Burn Duration: 43 minutes
Max Burn Rate: 13,000 kilograms/min
Total Amount Burned: 6,257 kilograms

THREAT ZONE:
Threat Modeled: Thermal radiation from jet fire
Red : 55 meters --- (15 kW/(sq m))
Orange: 84 meters --- (6 kW/(sq m))
Yellow: 118 meters --- (3 kW/(sq m))
```

Εικόνα 4.15. Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων Σεναρίου Β. (Πηγή: ALOHA)

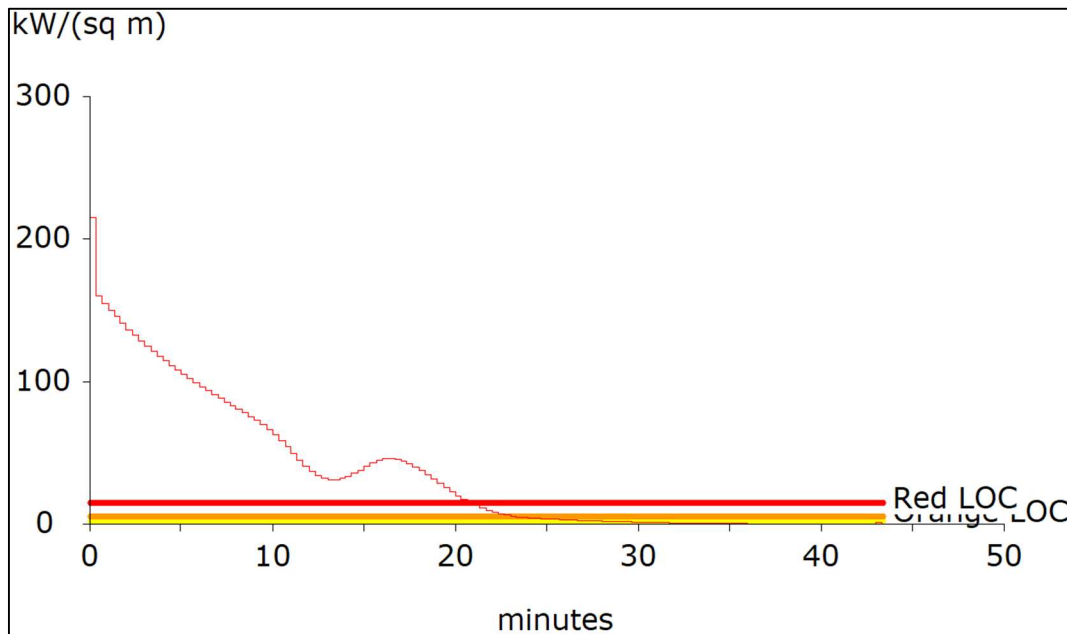
Ειδικότερα, στην περίπτωση που το διαρρέων αέριο καύσιμο Υδρογόνο συναντήσει κάποια πηγή ανάφλεξης, η οποία μπορεί να είναι και μία σπίθα από τη σύγκρουση χωματοουργικού εργαλείου στον αγωγό διανομής του, θα οδηγήσει στη δημιουργία μίας πύρινης γλώσσας (jet fire). Η θερμική ακτινοβολία που θα παραχθεί θα επηρεάσει ό,τι βρίσκεται σε

απόσταση 118 μέτρων από το σημείο διαρροής, για χρονικό διάστημα τουλάχιστον εικοσιδύο (22') λεπτών από τη δημιουργία της πύρινης γλώσσας (βλ. Εικόνα 4.16).



Εικόνα 4.16. Σχεδιάγραμμα εξέλιξης εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας κατά τη δημιουργία γλώσσας φωτιάς (jet fire) καυσίμου Υδρογόνου σε αγωγό, κατά το ατύχημα του Σεναρίου Β. (Πηγή: ALOHA)

Στη πηγή του φαινομένου θα υπάρξει θερμική ακτινοβολία που φθάνει έως και τα 215 kW ανά τετραγωνικό μέτρο, ενώ υπολογίζεται ότι η διάρκεια του φαινομένου εντός των τιμών που έχουν ορισθεί και για τις τρεις ζώνες επικινδυνότητας, ανέρχεται σε εικοσιεπτά (27') λεπτά περίπου, όπως απεικονίζεται και στη συνέχεια.



Εικόνα 4.17. Σχεδιάγραμμα εξέλιξης θερμικής ακτινοβολίας στην πηγή εμφάνισης γλώσσας φωτιάς (jet fire) καυσίμου Υδρογόνου σε αγωγό, κατά το ατύχημα του Σεναρίου Β. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)

Βάσει των υπολογισμών του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση οι τρεις ζώνες επικινδυνότητας που διαμορφώνονται καταλαμβάνουν με σειρά

σπουδαιότητας (ανώτερη - μεσαία - κατώτερη) περιοχές με περίμετρο 0,330 - 0,521 – 0,731 χιλιόμετρα και συνολικής έκτασης αντίστοιχα 0,009 - 0,022 - 0,043 τετραγωνικών χιλιομέτρων.

Πιο συγκεκριμένα αναμένεται ότι:

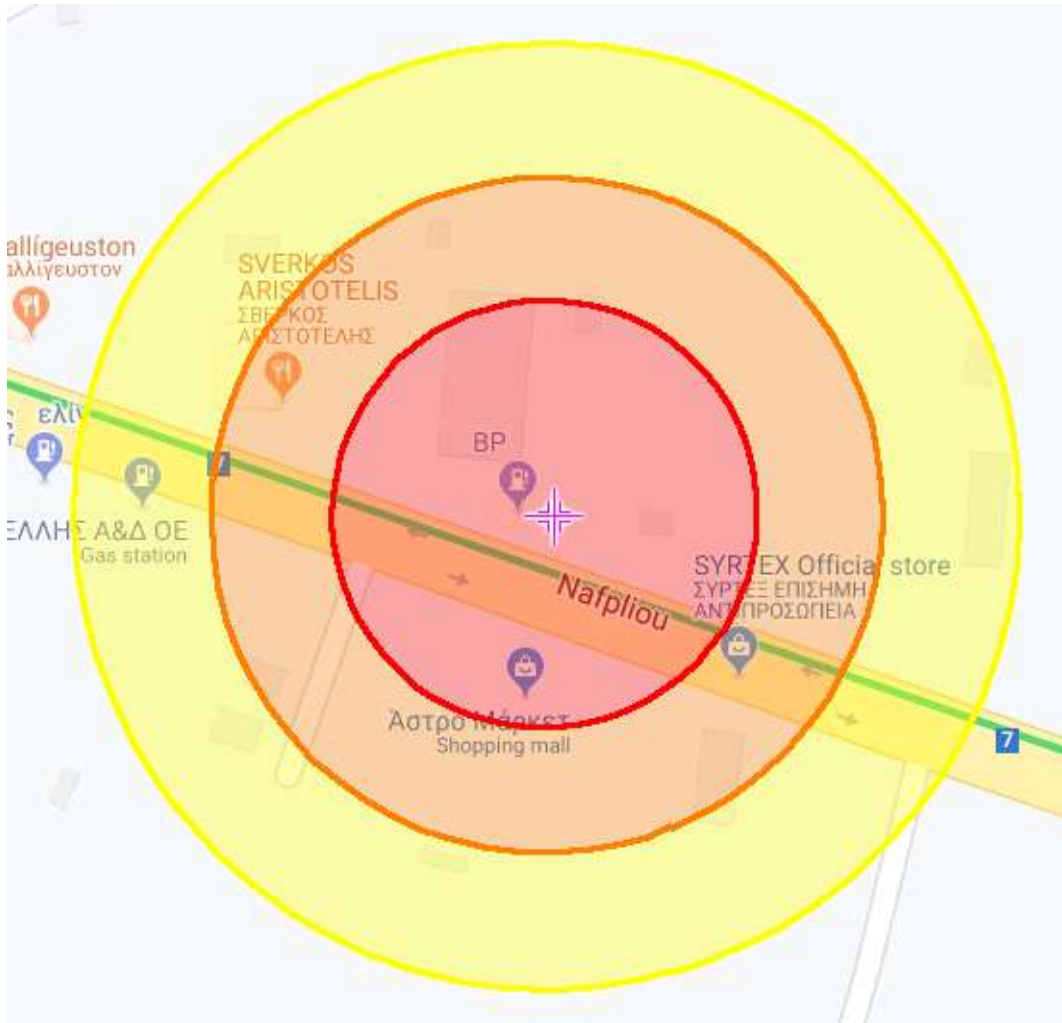
Στη Ζώνη I (έως 55 μέτρα από το σημείο διαρροής) τουλάχιστον οι μισοί άνθρωποι οι οποίοι θα πληγούν άμεσα από τη θερμική ακτινοβολία θα υποστούν εγκαύματα έως και 3^{ου} βαθμού,

Στη Ζώνη II (έως 84 μέτρα από το σημείο διαρροής) τουλάχιστον το 1% των εκτιθέμενων ανθρώπων εγκαύματα τρίτου βαθμού στο 1% του πληθυσμού και

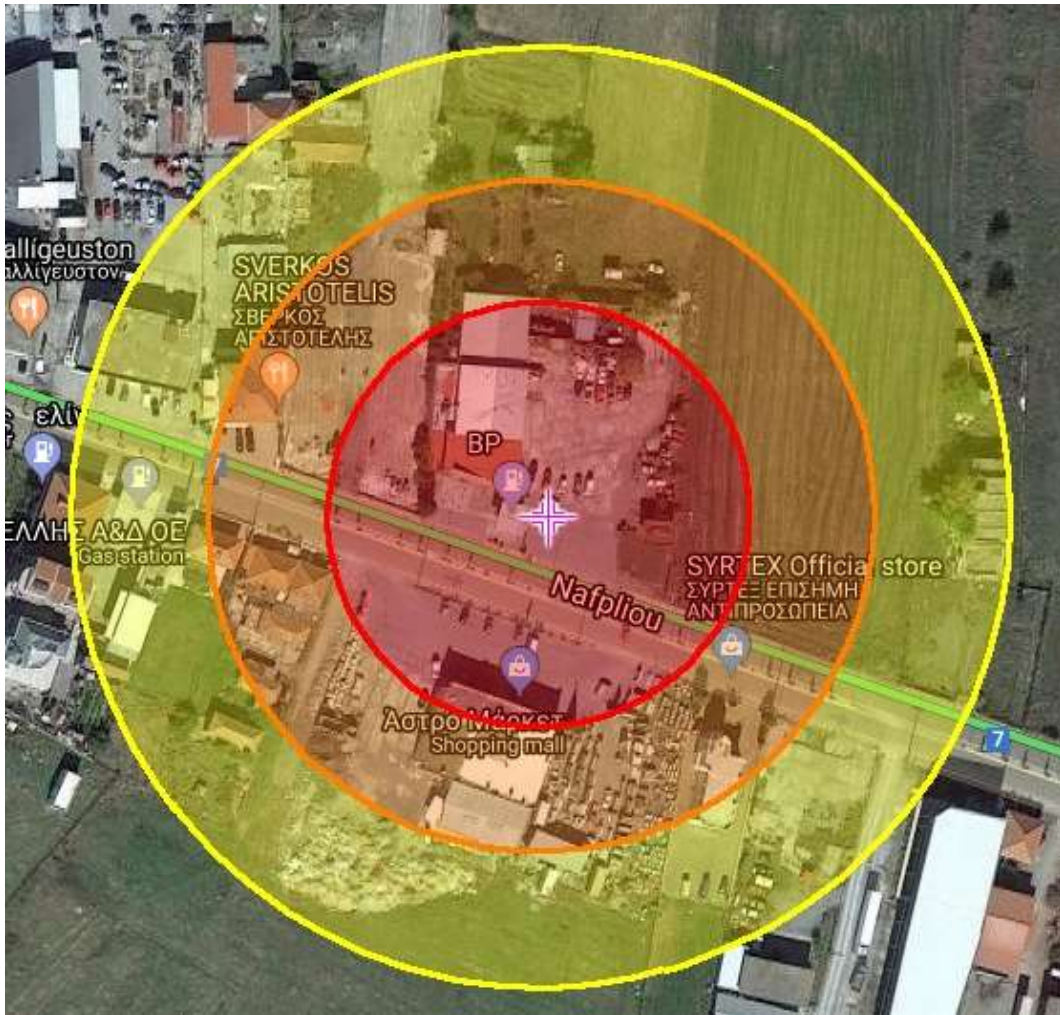
στη Ζώνη III (έως 118 μέτρα από το σημείο διαρροής) αναμένονται εγκαύματα πρώτου βαθμού σε σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού.

Ακολούθως παρατίθενται απεικονίσεις σε χάρτες (κλασσικό και δορυφορικό) των τριών ζωνών επικινδυνότητας.

Η σκιαγραφημένη περιοχή με κόκκινο χρώμα αφορά τη περιοχή που θα επηρεασθεί περισσότερο από όλες και θα προκληθούν οι σημαντικότερες απώλειες και ζημιές (ανώτερη ζώνη επικινδυνότητας), η σκιαγραφημένη περιοχή με πορτοκαλί χρώμα αφορά τη περιοχή που θα επηρεασθεί έντονα αλλά με μικρές πιθανότητες απώλειας ζωής (μεσαία ζώνη επικινδυνότητας) και τέλος, η σκιαγραφημένη περιοχή με κίτρινο χρώμα αφορά τη περιοχή που θα επηρεασθεί λιγότερο (κατώτερη ζώνη επικινδυνότητας). Οι υπόλοιπες περιοχές που περικλείονται των περιμετρικών γραμμών (κόκκινου, πορτοκαλί και κίτρινου χρώματος αντίστοιχα) ενδέχεται να επηρεασθούν ανάλογα την εξέλιξη του ανέμου.



Εικόνα 4.18. Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη που επηρεάζεται από την εκδήλωση γλώσσας φωτιάς (jet fire) σε αγωγό διανομής Υδρογόνου μετά το ατύχημα του Σεναρίου Β. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)



Εικόνα 4.19. Απεικόνιση περιοχής σε χάρτη δορυφόρου που επηρεάζεται από την εκδήλωση γλώσσας φωτιάς (jet fire) σε αγωγό διανομής Υδρογόνου μετά το ατύχημα του Σεναρίου Β. (Πηγή: ALOHA, MARPLOT, GOOGLE/maps)

Συμπεράσματα & Προτάσεις

Ως έχει επισημανθεί από αρκετούς, οι αγωγοί διανομής και μεταφοράς καυσίμων ανά τον κόσμο έχουν εγκατασταθεί αρκετές δεκαετίες τώρα και υφίσταται το θέμα της πιθανής αύξησης των σοβαρών περιστατικών, με το σκεπτικό της επερχόμενης φθοράς των υλικών, λόγω παλαιότητας.

Στην παρούσα εργασία έγινε μία προσπάθεια να παρουσιασθούν σύγχρονα ατυχήματα ανά τον κόσμο προκειμένου να καταστεί κατανοητό ότι δεν φθάνει ο πλούτος και η τεχνογνωσία μιας χώρας ή μιας εταιρείας προκειμένου να αποφευχθεί μία καταστροφή.

Η μελέτη, η κατασκευή, η συντήρηση, η έγκαιρη διάγνωση των σφαλμάτων, ο έγκαιρος εντοπισμός των προβλημάτων, η αποκατάσταση και επιδιόρθωση βλαβών και σφαλμάτων, η επίβλεψη των όποιων εργασιών, η συνεχής βελτίωση των υποδομών, η υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών είναι κάποια από τα καθημερινά στάδια που βιώνουν όσοι ασχολούνται με τους αγωγούς διακίνησης καυσίμων.

Η πολύχρονη εμπειρία σχεδόν ενός αιώνα αποδεικνύει ότι δεν έχει καταστεί εφικτό να σχεδιασθούν και προβλεφθούν όλα όπως θα έπρεπε με αποτέλεσμα να σημειώνονται ανά τον κόσμο αρκετά ατυχήματα σε αγωγούς διανομής καυσίμων μικρής και μεγάλης έκτασης.

Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι με το πέρασμα των χρόνων και την ολοένα και περισσότερη ενημέρωση που αποκτούν όσοι έρχονται σε επαφή καθιονδήποτε τρόπο με τους αγωγούς έχει βοηθήσει να περιορισθούν οι ανθρώπινες απώλειες.

Αντίθετα, εξαιτίας της ολοένα αυξανόμενης ζήτησης, διανέμονται τεράστιες ποσότητες καυσίμων παντός είδους μέσω των αγωγών, με αποτέλεσμα κάθε φορά που σημειώνεται κάποιο ατύχημα να εξαπολύονται σημαντικές ποσότητες αυτών στο περιβάλλον, προκαλώντας ανεπανόρθωτα προβλήματα.

Για να μπορέσει να αντιμετωπισθεί μία επερχόμενη καταστροφή από ατύχημα διανέμοντος καυσίμου μέσω αγωγών θα πρέπει να εξελιχθεί και βελτιωθεί ο σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης και να πραγματοποιούνται εικονικά σενάρια τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Η διεξαγωγή ακόμη και επιμορφωτικών σεμιναρίων και εκδηλώσεων ενημέρωσης των κοινωνιών των περιοχών που επηρεάζονται έστω και σε ελάχιστο βαθμό από το δίκτυο διανομής θα πρέπει να μία από τις προτεραιότητες κάθε εμπλεκόμενου φορέα Δημόσιου ή ιδιωτικού. Η ύπαρξη κοινού κώδικα επικοινωνίας και κοινής αντίληψης για τον τρόπο αντίδρασης και προφύλαξης σε επερχόμενο ατύχημα θα εξαλείψει αρκετά από τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται σε περιπτώσεις ατυχημάτων και καταστροφών.

Η σωστή και έγκυρη ενημέρωση από αρμόδιους, ειδικούς φορείς ως προς τα μέτρα προφύλαξης για την αποφυγή αλλά και για την ασφάλεια κατά τη τέλεση ενός ατυχήματος θα βοηθήσουν στην ελαχιστοποίηση των ανθρώπινων απωλειών.

Ένα ακόμη ισχυρό εργαλείο στους εμπλεκόμενους φορείς αποτελεί φυσικά και η έγκαιρη ενημέρωση του κοινού σε περίπτωση ατυχήματος ή ακόμη και σοβαρής υπόνοιας αυτού. Ακόμη

και η χρήση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας ή και ραδιοφωνίας της κοινότητας η οποία επηρεάζεται άμεσα ή έμμεσα από κάποιο ατύχημα θα συμβάλει ουσιαστικά στην όσο το δυνατόν έγκαιρη ενημέρωση των πληγέντων πολιτών. Ένα άμεσο και περιεκτικό γραπτό ή προφορικό μήνυμα θα δώσει σε όλους τους δέκτες να καταλάβουν πως υπάρχει κίνδυνος για τη ζωή τους και θα πρέπει να ακολουθήσουν τις οδηγίες που έχουν δοθεί ή δίνονται προκειμένου να διασφαλίσουν την υγεία ή και την περιουσία τους.

Εκτός όμως των όσων πρέπει να βελτιώσουν οι αρμόδιοι φορείς, είναι σημαντικό και καθείς από μας να παλέψει για τη διατήρηση ενός υγιούς περιβάλλοντος βελτιώνοντας τον τρόπο σκέψης και δράσης του. Η μόλυνση του πλανήτη μας έχει ξεπεράσει από τη στιγμή που έχουμε αρχίσει να μιλάμε για την μόλυνση και εκτός αυτού, συνεπώς δεν καθίσταται επιτακτική, αλλά υποχρεωτική η μεταστροφή σε βιώσιμες λύσεις, φιλικές προς το περιβάλλον στο οποίο επιβιώνουμε.

Το Υδρογόνο είναι μία πολλά υποσχόμενη πηγή καυσίμου, μη τοξική και με καθαρές εκπομπές αερίων, άρα είναι μία "πράσινη" επιλογή. Για να μπορέσει όμως να υπάρξει συστηματική παραγωγή κινητήρων υδρογόνου και γενικότερα και άλλων πράσινων επιλογών, θα πρέπει να υπάρξει σημαντική αλλαγή στην ζήτηση από πλευρά καταναλωτών, κοινωνιών και κρατών. Μόνο έτσι θα πεισθούν οι όποιοι κερδοσκόποι να "αγαπήσουν" το περιβάλλον βάζοντάς το σε πρώτη προτεραιότητα για το καλό όλων.

Προτείνεται η συνέχιση πρωτοβουλιών, σκέψεων, προτάσεων και ενεργειών με μοναδικό γνώμονα την εξεύρεση λύσεων που θα βοηθήσουν στην συντήρηση και προστασία του περιβάλλοντος. Ως περιβάλλον πλέον θα πρέπει να θεωρείται όχι μόνο η ατμόσφαιρα της γης στην οποία διαβιούμε, αλλά και πέρα από αυτή, στα ανώτερα και ανώτατα στρώματα του πλανήτη.

Πιο συγκεκριμένα προτείνεται να δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα στα πανεπιστημιακά και τεχνολογικά εκείνα ιδρύματα που σχετίζονται με καθ' οιονδήποτε τρόπο με την εξεύρεση, διατήρηση και διανομή καυσίμων, ώστε οι όποιες έρευνες, μελέτες και πειράματα που θα διεξαχθούν από αυτά να οδηγήσουν στην βιώσιμη πορεία της έμβιας και μη ζωής του πλανήτη, ώστε να επιβιώσει για όσο το δυνατό περισσότερο, χωρίς προβλήματα.

Ερευνητικά κέντρα με τη συνδρομή των προαναφερόμενων ιδρυμάτων να μελετήσουν και να παρέχουν πορίσματα και πειραματικά πρότυπα / μοντέλα που θα βοηθήσουν στην κατανόηση των θετικών αποτελεσμάτων που θα έχει η στρέψη προς μία πράσινη επιλογή καύσιμης ύλης.

Σε πολιτειακό επίπεδο προτείνεται η προσπάθεια εξεύρεσης κεφαλαίων τα οποία θα καλύψουν τις όποιες ανάγκες, των ανωτέρω ερευνητικών και πανεπιστημιακών ιδρυμάτων και κέντρων έρευνας και μελέτης, που θα ανακύψουν.

Σε κρατικό επίπεδο προτείνεται να ληφθούν ριζοσπαστικές αποφάσεις ως προς την αλλαγή του τρόπου που αντιλαμβάνεται ο μέσος πολίτης την "πράσινη" ανάπτυξη. Εκτός από την πλήρη ενημέρωση και εκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού και των πολιτών, θα μπορούσε επίσης, να πραγματοποιηθεί, βάσει σχετικού οργανογράμματος, αντικατάσταση όλου του στόλου οχημάτων του Δημοσίου με οχήματα φιλικά προς το περιβάλλον.

Βιβλιογραφία

- Aicher, T., Blum, L., Specht, M. (2004), Wasserstoffgewinnung aus Erdgas - Anlagenentwicklung und Systemtechnik, Themen 2004, Wasserstoff und Brennstoffzellen - Energieforschung im Verbund, Methoden der Wasserstoffherzeugung, pp 60-64., Berlin, 25-26/11/2004.
- Air Resources Board (ARB) (2015), Draft Technology Assessment: Medium - And Heavy - Duty Fuel Cell Electric Vehicles, California Environmental Protection Agency, California, U.S.A., Nov. 2015.
- AP News (2019), The Latest: Death toll rises to 73 in Mexico pipeline blast, αναρτήθηκε 20/01/2019, ανακτήθηκε από το url: www.apnews.com/1c106a2272dc413db4e11db6fc2361c2, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Argen, D. (2019), Mexico explosion: scores dead after burst pipeline ignites, The Guardian, αναρτήθηκε 19/01/2019, ανακτήθηκε από το url: www.theguardian.com/world/2019/jan/19/mexico-explosion-deaths-burst-pipeline-gasoline, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Arianespace (2016), Ariane 5, User's Manual, Issue 5, Revision 2, Oct. 2016, ανακτήθηκε από το url: https://www.arianespace.com/wp-content/uploads/2011/07/Ariane5_Users-Manual_October2016.pdf.
- BBC News (2014), Fourteen killed in India gas pipeline blast, αναρτήθηκε 27/06/2014, ανακτήθηκε από το url: www.bbc.com/news/world-asia-india-28052104, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Berger, R. (2015), Fuel Cell Electric Buses - Potential for Sustainable Public Transport in Europe, A study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), München, Germany, Sep. 2015.
- Bureau for Analysis of Industrial Risks and Pollutions (BARPI) (2009), Leakage of a hydrogen-pipeline due to an inadequate inspection philosophy 12 October 2007 Binnenmaas (South Holland) The Netherlands, European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law (IMPEL), French Ministry of sustainable development DGPR/ SRT/ BARPI, Dutch Ministry of environment, 35860, δημοσιεύθηκε την 12/10/2007, ανακτήθηκε από το url: https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/fiche_detaillee/35860_en/?lang=en, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Γαλδαδός, Α. (2013), Υδρογόνο: ο σπόρος του Σύμπαντος, ΤΟ ΒΗΜΑ, 26/05/2013, Αθήνα, ανακτήθηκε από το url <https://www.tovima.gr/2013/05/25/science/ydrogono-o-sporos-toy-sympantos/>.
- California Fuel Cell Partnership (CaFCP) (2012), A California Road Map: The Commercialization of Hydrogen Fuel Cell Vehicles, W. Sacramento, California U.S.A., Jun. 2012.
- Carmody C., Hammerschmidt J., Goglia J., Black G. (2002), Pipeline Accident Report, Pipeline Rupture and Subsequent Fire in Bellingham, Washington June 10, 1999», National Transportation Safety Board (NTSB), PAR-02/02, Washington, D.C., 08/10/2002.
- CBC-Radio Canada (2007), Cleanup continues on B.C. oil spill, αναρτήθηκε 24/07/2007, τελευταία τροποποίηση 25/07/2007, ανακτήθηκε από το url: www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/cleanup-continues-on-b-c-oil-spill-1.676094, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Chavez, N., Castillo, J., Fernandez, D.-S. & Gallón, N., με τη συνεισφορά των Shoichet, C., Alvarado, A., Dominguez, C., Castillo, J., Sterling, J. & Parisi, K. (2019), Mexico explosion: At least 91 people killed, dozens injured after gasoline pipeline blew up, CNN, τελευταία τροποποίηση 22/01/2019, ανακτήθηκε από το url: edition.cnn.com/2019/01/18/americas/mexico-gasoline-explosion-tlahuailpan/index.html, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.

- Chen, S. (2013), Qingdao oil pipeline blast toll rises to 52 as Xi Jinping delivers safety appeal, South China Morning Post (SCMP), αναρτήθηκε 25/11/2013, ανακτήθηκε από το url: www.scmp.com/news/china/article/1364803/qingdao-oil-pipeline-blast-toll-rises-52-xi-jinping-delivers-safety, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Clean Energy Partnership (CEP) (2016), Wasserstoff – Was uns bewegt hat. 2002–2016, ανακτήθηκε από το url: https://cleanenergypartnership.de/fileadmin/Assets/06_h2-mediathek/_pdf-download/CEP_Abschlussdokumentation_DE.pdf
- Crouzet, C., Brunet, F., Recham, N., Findling, N., Lanson, M., Guyot, F., Ferrasse, J.-H., Goffé, B. (2017). Hydrogen production by hydrothermal oxidation of FeO under acidic conditions. International Journal of Hydrogen Energy, 42(2), 795–806. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2016.10.019>.
- Curtin, S., Gangi, J., (FCHEA) (2016), State of the States: Fuel Cells in America 2016, 7th edition, Fuel Cell Technologies Office, U.S. DOE, Washington, U.S.A., Nov. 2016.
- Curtin, S., Gangi, J. (2016a), Fuel Cell Technologies Market Report 2015, U.S. DOE, Washington, Aug. 2016.
- ΔΕΣΦΑ (2008), Ετήσιο Δελτίο Απολογισμού 2008, Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου, Φορέας Εποπτευόμενος από το Υπουργείο Ανάπτυξης, ανακτήθηκε από το url: <https://www.desfa.gr/userfiles/brochurepdf/etairikos-apologismos-desfa-2008.pdf>.
- Eichlseder, H., Klell, M. (2012), Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Erzeugung, Speicherung, Anwendung, 3rd edition, PRAXIS, Springer Vieweg, Austria, Jan. 2012, DOI: 10.1007/978-3-8348-2196-6.
- El Universal (2019), Llamada al 911 alertó de fuga en ducto de Hidalgo; dos horas después explotó, El Universal, αναρτήθηκε 18/01/2019, ανακτήθηκε από το url: www.eluniversal.com.mx/estados/llamada-al-911-alerto-fuga-de-combustible-en-ducto-que-exploto-en-hidalgo, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Enbridge Inc. (2017), ενημερωτικές αναφορές της εταιρείας Enbridge Inc. σχετικά με το «Edmonton Line 2A incident», με τίτλο «Enbridge responds to third party pipeline strike in Strathcona County, Alberta», δημοσιεύθηκε 18/02/2017, τελευταία τροποποίηση 10/03/2017, ανακτήθηκε από το url: www.enbridge.com/media-center/media-statements/strathcona-county-incident-response, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Fewtrell, P., Petrie, A., Lines, I., Cowell, N., Livingston, A., Jones, C., Atuobeng, B., Mather, J. (2000), Quantified Risk Assessment of Aircraft Fuelling Operations, Health and Safety Executive (HSE), AM5204, Ιούλιος 2000, ανακτήθηκε από το url: http://www.hse.gov.uk/research/crr_pdf/2000/crr00288.pdf, τελευταία πρόσβαση 18/10/2019.
- Garcia, B., Beaumont, V., Perfetti, E., Rouchon, V., Blanchet, D., Oger, P., Dromart, G., Huc, A.-Y., Haeseler, F. (2010). Experiments and geochemical modelling of CO2 sequestration by olivine: Potential, quantification. Applied Geochemistry, 25(9), 1383–1396, δημοσιεύθηκε 26/06/2010, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2010.06.009>.
- Graham, D. & Solomon, D.-B. σε συνεργασία με Baum, B. & Maler, S. (2019), Death toll in Mexico gasoline pipeline blast climbs to 96, Reuters, αναρτήθηκε 22/01/2019, ανακτήθηκε από το url: www.reuters.com/article/us-mexico-fuel-theft-casualties/death-toll-in-mexico-gasoline-pipeline-blast-climbs-to-96-idUSKCN1PG1NB, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Günthner, W.-A., Micheli, R. (2015), Forschungsbericht H2IntraDrive – Einsatz einer wasserstoffbetriebenen Flurförderfahrzeugflotte unter Produktionsbedingungen, München Germany, 2015.

- Hildebrandt, A. (2013), Pipeline safety incident rate doubled in past decade, CBC-Radio Canada, αναρτήθηκε 28/10/2013, τελευταία τροποποίηση 08/11/2013, ανακτήθηκε από το url: www.cbc.ca/news/pipeline-safety-incident-rate-doubled-in-past-decade-1.2251771, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Hollemann, A.-F., Wiberg, N., (2007), Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 102nd edition, 2007, München.
- Hong, Z. & Jing, L. (2013), Human error blamed for Qingdao oil pipeline explosion, South China Morning Post (SCMP), αναρτήθηκε 26/11/2013, ανακτήθηκε από το url: www.scmp.com/news/china/article/1365685/human-error-blamed-qingdao-oil-pipeline-explosion, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Hua, T., Ahluwalia, R., Eudy, L., Singer, G., Jermer, B., Asselin-Miller, N., Wessel, S., Patterson, T., Marcinkoski, J. (2014), Status of hydrogen fuel cell electric buses worldwide, Journal of Power Sources, Vol. 269, pp. 975-993, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.06.055>.
- International Energy Agency (IEA) & International Union of Railways (IUC) (2015), Railway Handbook 2015, Energy Consumption and CO₂ Emissions, Focus On Vehicle Efficiency, Paris, 30/11/2015.
- International Energy Agency (IEA), (2016), Hydrogen Implementing Agreement 2015 Annual Report IEA Agreement on the production and utilization of Hydrogen, Bethesda/USA, 2016, ISBN-13:978-1-945951-03-9.
- International Energy Agency (IEA) (2019), CO₂ Emissions from Fuel Combustion, Statistics Overview/ Highlights, Nov. 2019.
- Jing, L. & Hong, Z. (2013), Qingdao explosions that killed 55 an eerie reminder of deadly blast 24 years ago, South China Morning Post (SCMP), αναρτήθηκε 25/11/2013, ανακτήθηκε από το url: www.scmp.com/news/china/article/1365162/work-safety-lessons-not-learned-qingdao-oil-pipeline-blast, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Jörg, A., Christoph, H. B., Jurgen, L., Uwe, S., Manfred, F., Karin, A., Wiss, A.-P., Dietmar, S. (2017), Shell Hydrogen Study Energy Of The Future? Sustainable Mobility through Fuel Cells and H₂, Shell, Wuppertal Institut, Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg.
- Kennedy, J. (2017), Our senses are hopeless at calculating risk, αναρτήθηκε 15/08/2017, ανακτήθηκε από το url: <https://jameskennedymonash.wordpress.com/2017/08/15/our-senses-are-hopeless-at-calculating-risk/>, τελευταία πρόσβαση 07/12/2019.
- Kluschke, P. & Neumann, F. (2019), εργασία με θέμα «Interaction of a Hydrogen Refueling Station Network for Heavy-Duty Vehicles and the Power System in Germany for 2050», για το Πανεπιστήμιο Cornell της Νέας Υόρκης Αμερικής, δημοσιεύθηκε στις 27/08/2019 και έλαβε μοναδικό αριθμό arXiv: 1908.10119v.1.
- Kondratenko, E.-V., Mul, G., Baltrusaitis, J., Larrazábal, G.O., Pérez-Ramírez, J. (2013). Status and perspectives of CO₂ conversion into fuels and chemicals by catalytic, photocatalytic and electrocatalytic processes. Energy and Environmental Science, Vol. 6, pp. 3112–3135, δημοσιεύθηκε 14/08/2013, <https://doi.org/10.1039/c3ee41272e>.
- Λέκκας, Ε. & Ανδρεαδάκης, Ε. (2015), ηλεκτρονική έκδοση μαθήματος με τίτλο «Μάθημα Α-01 Εισαγωγή στη θεωρία της Διαχείρισης Καταστροφών και Κρίσεων», για το ΜΠΣ Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων του Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α., Αθήνα, 2015, ανάκτηση τον Οκτώβριο του 2018.
- Liu, H., He, W., Guo, J., Huang, Q. (2015), Risk propagation mechanism: Qingdao Crude Oil Leaking and Explosion case study, Science Direct, Engineering Failure Analysis, τόμος 56, σελίδες 555-561, δημοσιεύθηκε 23/10/2014, DOI: 10.1016/J.ENGFAILANAL.2014.10.003.

- Loeffler, J. (2019), Hydrogen Fueling Station Explosion Halts Fuel Cell Car Sales by Toyota, Hyundai, Interesting Engineering, αναρτήθηκε 11/06/2019, ανακτήθηκε από το url: <https://interestingengineering.com/hydrogen-fueling-station-explosion-halts-fuel-cell-car-sales-by-toyota-hyundai>, τελευταία πρόσβαση 30/12/2019.
- Martinez, A., (2019), 2019 Annual Evaluation of Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle Deployment and Hydrogen Fuel Station Network Development, California Air Resources Board, ανακτήθηκε από το url: https://cafc.org/sites/default/files/AB82019_Webinar_public.pdf.
- McClary, D. (2003), Olympic Pipe Line accident in Bellingham kills three youths on June 10, 1999, History Link, 5468, δημοσιεύθηκε 11/06/2003, ανακτήθηκε από το url: www.historylink.org/File/5468, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Melaina, M.-W., Antonia, O., Penev, M. (2013), Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks: A Review of Key Issues, National Renewable Energy Laboratory (NREL), DOI: 10.2172/1219920.
- Mertz, E. (2017), Enbridge shuts down area pipelines after leak in Strathcona County, Global News, αρχικό άρθρο 18/02/2017, τροποποιήθηκε στις 19/02/2017, ανακτήθηκε από το url: globalnews.ca/news/3258502/enbridge-shuts-down-area-pipelines-after-leak-in-strathcona-county/, τελευταία πρόσβαση 15/10/2019.
- Milenio (2019), Explosión en Hidalgo: Cifra de muertos sube a 96, Milenio, αναρτήθηκε 23/01/2019, ανακτήθηκε από το url: www.milenio.com/estados/sube-96-cifra-muertos-explosion-tlahuelilpan, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Mishra, K.-B., Wehrstedt, K.-D. (2015), Underground gas pipeline explosion and fire: CFD based assessment of foreseeability, Science Direct, Journal of Natural Gas Science and Engineering, τόμος 24, σελίδες 526-542, δημοσιεύθηκε 04/05/2015, DOI: 10.1016/j.jngse.2015.04.010.
- Μουζάκης, Γ. (2017), έντυπη παρουσίαση με τίτλο «Διαχείριση και Αντιμετώπιση Μεγάλων Τεχνολογικών κινδύνων», για το ΜΠΣ Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων του Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α., ανάκτηση τον Ιανουάριο του 2019.
- Μουζάκης, Γ. (2019), έντυπη παρουσίαση με τίτλο «Τεχνολογικές και NaTech Καταστροφές», για το ΜΠΣ Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων του Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ, ανάκτηση τον Ιανουάριο του 2019.
- National Transportation Safety Board (NTSB) (2004), αναφορά διερεύνησης ατυχήματος σε αγωγό με τίτλο «Pipeline Accident Brief, National Transportation Safety Board, Washington D.C., DCA-03-MP-004, ημερομηνία έκκρισης 06/04/2004.
- Newsmaker (2018), «Transneft» has called the cause of the accident at the pipeline near Saratov, Russia News Today, αναρτήθηκε στις 19/01/2018, ανακτήθηκε από το url: chel.org.com/2018/01/19/transneft-has-called-the-cause-of-the-accident-at-the-pipeline-near-saratov/, τελευταία πρόσβαση 14/10/2019.
- Οδηγία 2012/18/ΕΕ (Seveso III), Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο της 14^{ης} Ιουλίου 2012 για την αντιμετώπιση των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων σχετιζόμενων με επικίνδυνες ουσίες και για την τροποποίηση και στη συνέχεια την κατάργηση της οδηγίας 96/82/ΕΚ του Συμβουλίου, επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 197/1, 24/07/2012.
- Οδηγία 2014/94/ΕΕ, Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο της 22^{ας} Οκτωβρίου 2014 για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 307/1, 28/10/2014.
- Paris Agreement, XXVII-7-d, Ηνωμένα Έθνη, Νέα Υόρκη.

- PR NEWSWIRE (2015), Thermal expansion on elbow joint led to October 2013 pipeline rupture near Fort McMurray, Alberta, SYS-CON MEDIA, αναρτήθηκε 03/11/2015, ανακτήθηκε από το url: [news.sys-con.com/node/3536027](https://www.sys-con.com/node/3536027), τελευταία πρόσβαση 14/10/2019.
- Ranjan, A. (2014), 22 wouldn't have died in pipeline blast had GAIL installed safety features: Probe report, The Indian Express, αναρτήθηκε 08/09/2014, ανακτήθηκε από το url: [indianexpress.com/article/india/india-others/22-would-not-have-died-in-pipeline-blast-had-gail-installed-safety-features-as-it-had-promised-probe-report/](https://www.indianexpress.com/article/india/india-others/22-would-not-have-died-in-pipeline-blast-had-gail-installed-safety-features-as-it-had-promised-probe-report/), τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Renouard-Vallet, G., Saballus, M., Schumann, P., Kallo, J., Friedrich, K.-A., & Müller-Steinhagen, H. (2012), Fuel cells for civil aircraft application: On-board production of power, water and inert gas, Chemical Engineering Research and Design, Vol. 90, Issue 1, pp 3–10, <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.07.016>.
- Reuters (2013), Chinese oil pipeline explosion, αναρτήθηκε στις 22/11/2013, ανακτήθηκε από το url: www.reuters.com/news/picture/chinese-oil-pipeline-explosion-idUSRTX15OM8#a=1, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- RT (2018), Wall of fire: Oil pipe leak sparks huge blaze in Russian village, αναρτήθηκε στις 18/01/2018, ανακτήθηκε από το url: <https://www.rt.com/news/416339-russia-pipeline-village-blaze/>, τελευταία πρόσβαση 14/10/2019.
- Ruwitch, J. & Coates, S.(2013), Police detain nine after Qingdao oil blasts: media, Reuters, αναρτήθηκε 26/11/2013, ανακτήθηκε από το url: www.reuters.com/article/us-china-sinopec-blasts/police-detain-nine-after-qingdao-oil-blasts-media-idUSBRE9AP02N20131126, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Setiani, P., Watanabe, N., Kishita, A., & Tsuchiya, N. (2012). Temperature- and pH-dependent mechanism of hydrogen production from hydrothermal reactions of sulfide. International Journal of Hydrogen Energy, 37(24), 18679–18687. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2012.10.013>.
- Στεργιούλης, Γ. (2017), Ενεργειακή Ασφάλεια: Προκλήσεις στην περιοχή της ΝΑ Ευρώπης, Ελλάδα: Τα αποθέματα Πετρελαίου & Φυσικού Αερίου μπορούν να αποτελέσουν βασικό μοχλό ανάπτυξης της χώρας, Δελτίο Τύπου, ομιλία Δ.Σ. του ομίλου ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ, 2ο Διεθνές Συνέδριο Πετρελαίου ΠΣΕΕΠ/ΕΕΤΙ, 08/06/2017.
- Suzuki (2011), Suzuki's Burgman Fuel-Cell Scooter becomes world's first fuel-cell vehicle to earn European Whole Vehicle Type Approval, Global News, Press Release, δημοσιεύτηκε 09/03/2011, ανακτήθηκε από το url: <https://www.globalsuzuki.com/globalnews/2011/0309.html>.
- The Hindu (2017), Fire breaks out on road following leak in GAIL gas pipeline, δημοσιεύθηκε 29/04/2017, ανακτήθηκε από το url: www.thehindu.com/news/cities/bangalore/fire-breaks-out-on-road-following-leak-in-gail-gas-pipeline/article18314848.ece, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- The Indian Express (a) (2014), At least 15 killed in blast at GAIL site in Andhra Pradesh, over 20 injured, αναρτήθηκε 27/06/2014, ανακτήθηκε από το url: indianexpress.com/article/india/india-others/blast-at-gail-site-in-andhra-pradesh-at-least-3-killed-say-reports/, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- The Indian Express (b) (2014), GAIL Explosion Takes 16 Lives, αναρτήθηκε 28/06/2014, ανακτήθηκε από το url: <http://www.newindianexpress.com/galleries/2014/jun/28/GAIL-Explosion-Takes-16-Lives-2273--1.html>, τελευταία πρόσβαση 18/10/2019.
- Transport Canada (TC), U.S. Department of Transportation (DOT), Secretariat of Transport and Communications of Mexico (SCT) σε συνεργασία με Centro de Información Química para Emergencias of Argentina (CIQUIME), εγχειρίδιο οδηγιών ανταπόκρισης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, κατά τη διάρκεια της αρχικής φάσης, με τίτλο «Emergency Response Guidebook (ERG) 2004».

- Transportation Safety Board of Canada (TSBC) (2015), αναφορά διερεύνησης ατυχήματος σε αγωγό με τίτλο «Pipeline Investigation Report P13H0107», αναρτήθηκε 03/11/2015, τελευταία τροποποίηση 24/05/2018, ανακτήθηκε από το url: <http://www.tsb-bst.gc.ca/eng/rappports-reports/pipeline/2013/p13h0107/p13h0107.html>, τελευταία πρόσβαση 14/10/2019.
- Transportation Safety Board of Canada (TSBC) (2018), αναφορά διερεύνησης ατυχήματος σε αγωγό με τίτλο «Pipeline Investigation Report P07H0040», τελευταία τροποποίηση 24/05/2018, ανακτήθηκε από το url: www.bst-tsb.gc.ca/eng/rappports-reports/pipeline/2007/p07h0040/p07h0040.html, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Transportation Safety Board of Canada (TSBC) (2018), αναφορά διερεύνησης ατυχήματος σε αγωγό με τίτλο «Pipeline Investigation Report P02H0052», αναρτήθηκε 18/05/2005, τελευταία τροποποίηση 24/05/2018, ανακτήθηκε από το url: www.tsb.gc.ca/eng/rappports-reports/pipeline/2002/p02h0052/p02h0052.html, τελευταία πρόσβαση 13/10/2019.
- Transneft (2018), Emergency Response to an Oil Spill at the Kuibyshev – Tikhoretsk Oil Trunk Pipeline, ανακτήθηκε από το url: en.transneft.ru/newsPress/view/id/14815/, τελευταία πρόσβαση 14/10/2019.
- Wietschel, M., Gnann, T., Thielmann, A., Kühn, A. (2016), Stand der Forschung, Marktpotenziale und Forschungsbedarf für Brennstoffzellen-Lkw, Präsentation, MKS-Fachworkshop, Berlin, Germany, 30/05/2016, ανακτήθηκε από το url: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/MKS/mkw-fachworkshop-brennstoffzellen-lkw-praesentation.pdf?__blob=publicationFile.
- Wijnen, P. (2019), Hydrogen station on fire after an explosion, NORWAYTODAY, αναρτήθηκε 18/06/2019, ανακτήθηκε από το url: <https://norwaytoday.info/news/hydrogen-station-fire-sandvika/>, τελευταία πρόσβαση 30/12/2019.
- Wikipedia, Τρίπολη Αρκαδίας, ανακτήθηκε από το url: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CE%AF%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B7%CE%91%CF%81%CE%BA%CE%B1%CE%B4%CE%AF%CE%B1%CF%82#cite_note-1, τελευταία πρόσβαση 23/10/2019.
- Wing, J. (2012), Two-Wheelers and the Demand for Fuel Cells, Fuel Cell Today, 01/08/2012, ανακτήθηκε από το url: <http://www.fuelcelltoday.com/analysis/analyst-views/2012/12-08-01-two-wheelers-and-the-demand-for-fuel-cells>.
- Würsig, G. (2016), Brennstoffzellen im maritimen Einsatz 2009- 2016, e4ships, Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V., Hamburg Germany, Dec, 2016.
- ΦΕΚ Α' 129/27-06-2006 (Νόμος 3468/2006), Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις.
- ΦΕΚ 222/Α/30-11-2016 (Νόμος 4439/2016), Ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία της Οδηγίας 2014/94/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 22ας Οκτωβρίου 2014 για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων, απλοποίηση διαδικασίας αδειοδότησης και άλλες διατάξεις πρατηρίων παροχής καυσίμων και ενέργειας και λοιπές διατάξεις.
- ΦΕΚ 354Β/17-02-2016 (ΚΥΑ 172058/11-02-2016), Καθορισμός κανόνων, μέτρων και όρων για την αντιμετώπιση κινδύνων από ατυχήματα μεγάλης έκτασης σε εγκαταστάσεις ή μονάδες, λόγω της ύπαρξης επικίνδυνων ουσιών, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2012/18/ΕΕ «για την αντιμετώπιση των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων σχετιζομένων με επικίνδυνες ουσίες και για την τροποποίηση και στη συνέχεια την κατάργηση της οδηγίας 96/82/ΕΚ του Συμβουλίου» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Ιουλίου 2012. Αντικατάσταση της υπ' αριθ. 12044/613/2007 (Β' 376), όπως διορθώθηκε (Β' 2259/2007).

ΦΕΚ 699B/20-03-2014 (Απόφαση Γ.Π. 192/18-03-2014), Τροποποίηση της Απόφασης με αριθμό 2891/15.03.2013 (ΦΕΚ 630/B'/20.03.2013) και θέμα «Αποτελέσματα της Απογραφής Πληθυσμού-Κατοικιών 2011 που αφορούν στον De facto Πληθυσμό της Χώρας».

Zech, K., Grasemann, E., Oehmichen, K., Kiendl, I., Schmersahl, R., Rönsch, S., Seiffert, M., Müller-Langer, F. (DBFZ), Weindorf, W. (LBST), Funke, S., Michaelis, J., Wietschel, M. (Fraunhofer ISI) (2014), Evaluierung der Verfahren und Technologien für die Bereitstellung von Wasserstoff auf Basis von Biomasse, DBFZ Report Nr. 19, Hy-NOW, 17/04/2014, Leipzig 2014.

Zhao, B. (2014), Qingdao pipeline explosion: introductions and reflections, Springer Link, Natural Hazards, τόμος 74, τεύχος 2, σελίδες 1299-1305, δημοσιεύθηκε 17/05/2014, DOI 10.1007/s11069-014-1232-2.

Λογισμικό:

ALOHA Software, λογισμικό μοντέλων κινδύνου του συστήματος εφαρμογών λογισμικού CAMEO® software suite, που χρησιμοποιείται ευρέως για το σχεδιασμό και την ανταπόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης προερχόμενες από χημικές ουσίες, σχεδιάστηκε από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (EPA) και έχει αναπτυχθεί σε συνεργασία με την σε συνεργασία με την Εθνική Ωκεανική και Ατμοσφαιρική Διοίκηση (NOAA), ανακτήθηκε από το url: <https://www.epa.gov/cameo/what-cameo-software-suite>.

MARPLOT Software, λογισμικό χαρτών του συστήματος εφαρμογών λογισμικού CAMEO® software suite, που χρησιμοποιείται ευρέως για το σχεδιασμό και την ανταπόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης προερχόμενες από χημικές ουσίες, σχεδιάστηκε από την Υπηρεσία Ανταπόκρισης και Αποκατάστασης της Εθνικής Ωκεανικής και Ατμοσφαιρικής Διοίκησης (NOAA), ανακτήθηκε από το url: <https://www.epa.gov/cameo/marplot-software>.

Πολυμέσα:

Мобильный репортер official (2018), Первое видео. Под Саратовом прорвало нефтепровод - топливо пришло в поселок Красноармейск, Youtube Channel, αναρτήθηκε 18/01/2018.

Ιστοσελίδες:

California Fuel Cell Partnership, <https://cafcp.org/>.

Clean Energy Partnership (CEP), <https://cleanenergypartnership.de/home/>.

Cop21 Paris France Sustainable Innovation Forum 2015, <http://www.cop21paris.org/>.

ΔΕΣΦΑ, <https://www.desfa.gr/national-natural-gas-system/transmission>.

Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), <https://www.fch.europa.eu/>.

H2Live, <https://h2.live/>.

Hydrogen Analysis Research Center (HyARC), <https://h2tools.org/hyarc>.

Hydrogen Mobility Europe, www.h2me.eu.

Nel ASA (2019), <https://nelhydrogen.com/status-and-qa-regarding-the-kjorbo-incident/>.

Scandinavian Hydrogen Highway Partnership-SHHP, www.scandinavianhydrogen.org.

Sustainable Development Goals, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>.

Sustainable Innovation Forum 2019, <https://events.climateaction.org/sustainable-innovation-forum/agenda>.

The Association of Hydrogen Supply and Utilization Technology (HySUT), <http://www.hysut.or.jp/en/>.