



Faisal Khan, Ph.D., P.Eng.

Professor and Mike O'Connor Chair II

Head, Artie McFerrin Department of Chemical Engineering

Director, Mary Kay O'Connor Process Safety Center (MKOPSC)

Director, Ocean Engineering Safety Institute (OESI)

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Είμαι, ο Dr. Faisal Khan, Ph.D. Ο κ. Κοκοτσάκης, εκ μέρους των εντολέων του θυμάτων τυ σιδηροδρομικού δυστυχήματος της 28 Φεβρουαρίου 2023 ως εμπειρογνώμονας για να αναλύσω την αιτία του ατυχήματος της πυρκαγιάς και τις πιθανές επιπτώσεις της .
2. Με αυτή την ιδιότητα, μου ζητήθηκε να γνωμοδοτήσω για τα αίτια της πυρκαγιάς, τον τύπο της και τις πηγές της αλλά και τις επιπτώσεις της χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα βίντεο και άλλα σχετικά δεδομένα.
3. Ποτέ στο παρελθόν δεν έχω εργαστεί ή γνωμοδοτήσει για λογαριασμό του κ. Κοκοτσάκη, ή άλλων συμβούλων του, ή έχω καταθέσει ή έχω δεσμευθεί να καταθεσω ως πραγματογνώμων ή τεχνικός σύμβουλος σε σχέση με νομική ενέργεια που σχετίζεται με αυτό το ατύχημα.

II. ΠΡΟΣΟΝΤΑ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

4. Είμαι καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Texas A&M και κατεχω την έδρα Mike O'Connor II του Artie McFerrin Τμήματος Χημικής Μηχανικής. Δίνω διαλέξεις σε θέματα που σχετίζονται με τη μηχανική ασφάλειας, κινδύνου και αξιοπιστίας.
5. Είμαι επίσης Διευθυντής του Κέντρου Ασφάλειας Διαδικασιών Mary Kay O'Connor (MCOPSC), το οποίο είναι το κορυφαίο Κέντρο Ασφάλειας Διαδικασιών με έδρα το πανεπιστήμιο στον κόσμο. Το Κέντρο αυτό εξυπηρετεί τη βιομηχανία, την κυβέρνηση, τον ακαδημαϊκό κόσμο και το κοινό. Παρέχει εκπαίδευση στελεχών, εκτελεί ερευνητικό έργο σε σχέση με θέματα και παρέχει υπηρεσίες σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη. Το Κέντρο διεθύνεται από μια Επιτροπή απαρτιζόμενη από εκπροσώπους των εταιρειών

μελών του κέντρου και από μια Τεχνική Συμβουλευτική Επιτροπή εμπειρογνομόνων του κλάδου. Η καθοδήγηση που παρέχει η δεύτερη επιτροπή διασφαλίζει ότι οι δραστηριότητες του Κέντρου σχετίζονται με την πραγματική πρακτική της ασφάλειας χημικών επεξεργασιών.

6. Υπηρέτησα ως Σύμβουλος Ασφάλειας και Κινδύνων στην Κυβέρνηση του Newfoundland στον Καναδά και σε άλλους διεθνείς οργανισμούς σχετικά με θέματα ασφάλειας και διαχείρισης κινδύνου.
7. Έκανα το διδακτορικό μου στη Μηχανική Περιβάλλοντος από το Πανεπιστήμιο Pondicherry, Ινδία (1998), έλαβα το δίπλωμα Master στη Χημική Μηχανική από το Πανεπιστήμιο του Roorkee, Ινδία (1994) και πήρα το πτυχίο μου στη Χημική Μηχανική από το Aligarh Muslim University, Ινδία (1992). Επισυνάπτεται ως Έκθεμα Α το βιογραφικό μου, το οποίο ενσωματώνεται με αναφορά στην παρούσα Έκθεση.
8. Έχω συγγράψει πάνω από 500 ερευνητικά άρθρα σε περιοδικά με κριτές. Αυτά τα άρθρα αναφέρονται συχνά από άλλους επαγγελματίες.
9. Επισυνάπτεται ως Έκθεμα Α η λίστα των βίντεο που εξέτασα και στα οποία βασίστηκα κατά τη σύνταξη αυτής της Έκθεσης.
10. Επισυνάπτονται ως Εκθέματα Β έγγραφα που εξέτασα και είναι διαθέσιμα στο κοινό και δεν έχουν μέχρι στιγμής εισφερθεί στη διαδικασία.

III. ΙΣΤΟΡΙΚΟ

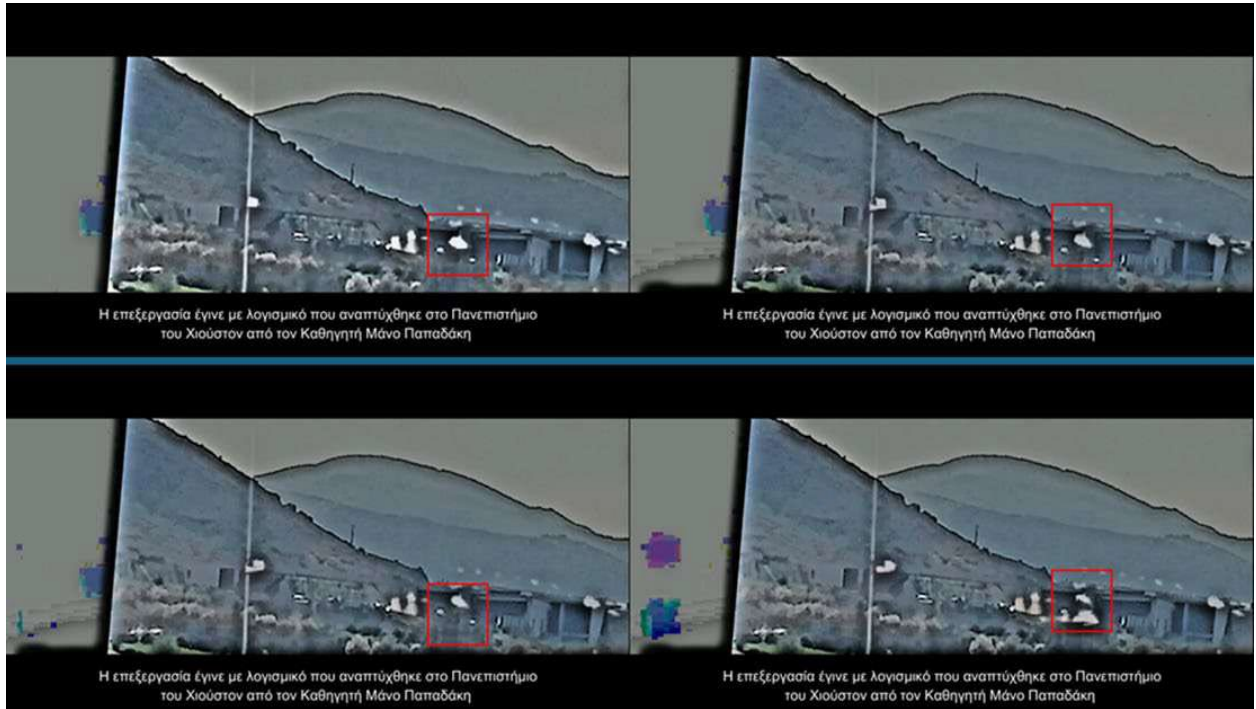
Στις 28 Φεβρουαρίου 2023, Τρίτη, στις 11:21 μ.μ., κοντά στον οικισμό Ευαγγελισμός Τέμπων, Λάρισα, το ηλεκτρικό επιβατικό τρένο INTERCITY (IC) 62, το οποίο εκτελούσε

προγραμματισμένη διαδρομή στην πορεία Αθήνα - Θεσσαλονίκη, συγκρούστηκε μετωπικά με η εμπορική αμαξοστοιχία 63503, η οποία εκτελούσε τη διαδρομή Θεσσαλονίκη - Αθήνα (Θριάσιο), με αποτέλεσμα τον θάνατο 57 επιβατών συμπεριλαμβανομένου του προσωπικού του τρένου και τουλάχιστον 85 τραυματιών.

Η επιβατική αμαξοστοιχία κατευθύνθηκε λανθασμένα από τον σταθμάρχη Λάρισας στην λάθος γραμμή και κινήθηκε στην αντίθετη κατεύθυνση των κανονικών συνθηκών κυκλοφορίας. Ως αποτέλεσμα, η επιβατική αμαξοστοιχία βρέθηκε σε πορεία σύγκρουσης με την εμπορική.

Ο οδηγός της εμπορικής αμαξοστοιχίας αντελήφθη την επιβατική που εξερχόταν από μια σήραγγα λίγα λεπτά πριν από τη σύγκρουση και εφάρμοσε τον μηχανισμό έκτακτης πέδησης για να την σταματήσει. Ως αποτέλεσμα αυτής της ενέργειας, η 1η και η 2η μηχανή της εμπορικής αμαξοστοιχίας εξετράπησαν από τις γραμμές (ράγες), αποφεύγοντας μια μετωπική σύγκρουση με την επιβατική. Όλες οι τρεις μηχανές που εξετράπησαν δεν είχαν ίχνη φωτιάς και βρέθηκαν σε διαφορετικές θέσεις στον τόπο του ατυχήματος.

Αμέσως μετά την εκτροπή των δύο μηχανών, παρατηρήθηκε μια σειρά ηλεκτρικών τόξων. Αυτά είναι επίσης ορατά στο παραδοθέν βίντεο (κάμερα της Μαλιακού Α.Ε.). Λίγα λεπτά πριν από την έναρξη της πύρινης σφαίρας (fireball), παρατηρούμε επίσης ένα νέφος (Εικόνα 1) που ανέρχεται ευκρινώς πάνω από τον τόπο του ατυχήματος.



Εικόνα 1. Το ανυψούμενο νεφελωμα εικονίζεται μέσα στα κοκκινα τετράγωνα. Στην κατω δεξιά εικόνα φαίνεται και φλόγα κάτω από αυτό. (Εληφθη από την έκθεση του τεχνικού συμβούλου κ. Κοκοτσάκη).

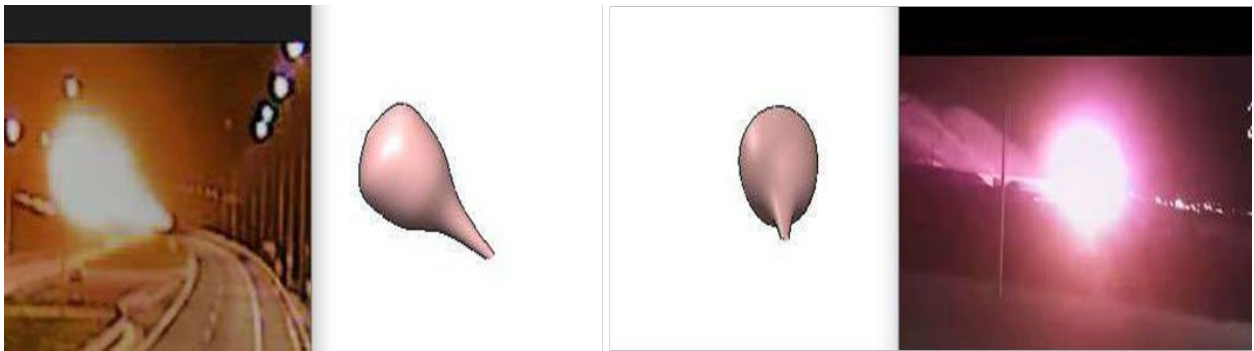
Στη συνέχεια έχουμε την ανάπτυξη της πύρινης σφαίρας. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Solidworks, προσομοιώσαμε τη πύρινη σφαίρα. Η προσομοίωση μας έδωσε τον μέγιστο όγκο της στα 139987m^3 . Η πύρινη σφαίρα δεν ήταν ισοτροπική. Το μεγαλύτερο μέγεθός της ήταν 113 μέτρα επειδή επεκτάθηκε από το πέρασμα του πρώτου βαγονιού του επιβατικού τρένου ακολουθούμενο από το βαγόνι που βρίσκεται το κυλικείο του τρένου. Αυτό το μήκος εκτιμήθηκε από την οπτική γωνία της κάμερας που βρισκόταν στη βόρεια σήραγγα που αποτύπωσε τη πύρινη σφαίρα. Ο διαμήκης άξονας της πυρόσφαιρας σχηματίζει γωνία περίπου 103 μοιρών με την ευθεία που ενώνει

το φακό της κάμερας με την βορειότερη κορυφή της πυρόσφαιρας (Εικόνα 2). Οι μετρήσεις αυτές όπως και οι μετρήσεις του όγκου της πυρόσφαιρας δεν είναι δικές μας και μας παραχωρήθηκαν από την ομάδα του κ.Κοκοτσάκη. Η ομάδα αυτή



Εικόνα 2. Το τρίγωνο που εικονίζεται μας δίνει την μέγιστη διάσταση της πυρόσφαιρας στην διατομή περίπου κάθετα στον άξονα της κάμερας της συρραγγας Τεμπη 1. Η εικόνα αυτή ελήφθη από το βίντεο που είναι τμήμα της δικογραφίας κα. Η εικόνα αυτή με το τρίγωνο περιλαμβάνεται στην έκθεση του κ. Κοκοτσάκη. Η κάμερα απείχε περίπου 750 μ. Από τη δεξιά κορυφή του τριγώνου με τις μπλε πλευρές.

χρησιμοποιώντας το λογισμικό SolidWorks δημιούργησε ένα τρισδιάστατο μοντέλο της πυρόσφαιρας. Το μοντέλο αυτό εξετασθηκε για την ταυτιση του με τα καρέ των δύο βίντεο (σ.μ. Μαλλιακός και κάμερα αυτοκινητοδρόμου Αιγαίου) που αναφέρονται στο Παράρτημα Α και βρέθηκε να είναι απόλυτα συμβατό με την εικόνα της πυρόσφαιρας που καταγράφεται απο τις δύο αυτές κάμερες (Εικόνα 3). Η πυρόσφαιρα έζησε για 9,6 δεύτερα.



Εικόνα 3 Σύγκριση δύο όψεων της προσομοιωμένης πυρόσφαιρας με την πραγματική εικόνα. Η προσομοίωση της οψεως μας δίνει πως θα εμφανιζόταν η προσωμοιωμένη πυροσφαιρα στην κάμερα της συραγγας Τέμπη 1 (αριστερά) και της κάμερας της Μαλλιακός. Η κλίμακα των προσομοιώσεων είναι 1:1

Επακόλουθη ανάλυση με την τεχνική της φασματομετρίας μαζών δειγμάτων εδάφους εδάφους κατέδειξε την παρουσία ιχνών βενζολίου (σε 7 δείγματα), τολουολίου (σε 4 δείγματα) και ξυλενίου (και των τριών ισομερών του) (σε 7 δείγματα). Αυτά τα

ευρήματα αναφέρονται στον κατάλογο εγγράφων που αναγνωρίζονται με τους ελληνικούς χαρακτήρες ΕΜΠ 12-3,6,10,14,19,20.

IV. ΑΝΑΛΥΣΗ

11. Η λεπτομερής θεώρηση του βιντεοσκοπημένου υλικού δείχνει ξεκάθαρα ένα ατύχημα πυρκαγιάς (πύρινη σφαίρα). Η πύρινη σφαίρα δημιουργήθηκε, μετά τη σύγκρουση, σε λιγότερο από τρία δευτερόλεπτα.
12. Η πύρινη σφαίρα είναι πολύ μεγάλων διαστάσεων. Είναι δύσκολο να εκτιμηθούν επακριβώς οι διαστάσεις της λόγω έλλειψης δεδομένων. Ωστόσο, η οπτική ανάλυση δείχνει ότι είναι μη ισοτροπικού σχήματος και διαμέτρου >100 μέτρων.
13. Πύρινη σφαίρα τέτοιου μεγέθους είναι συνηθισμένη στη βιομηχανία υδρογονανθράκων ή που σχετίζονται με χρήση αυτών.
14. Η πύρινη σφαίρα έχει διαπιστωμένη σχέση με ατυχήματα που συμβαίνουν σε οδικές αρτηρίες αλλά και και σιδηροδρομικά ατυχήματα που υπεισέρχονται υδρογονάνθρακες.
15. Η θερμοκρασία στη πύρινη σφαίρα ξεπερνάει εύκολα τους 1000°C [ανάλογα με τον τύπο των χημικών ουσιών και τον βαθμό ανάμιξής τους].
16. Ό,τι περικλείεται από την πύρινη σφαίρα είναι πιθανό να υποστεί σοβαρές βλάβες, η δε έκθεση ανθρώπων σε αυτήν θα προκαλέσει τον θάνατό τους.
17. Η πύρινη σφαίρα σε περιορισμένες περιπτώσεις μπορεί να δημιουργήσει υπερπίεση [δηλ. συνθήκες έκρηξης]. Ωστόσο, οι βλάβες από υπερπίεση είναι μικρότερες από αυτές που προκαλούνται λόγω του αναπτυσσόμενου θερμικού φορτίου.
18. Η πύρινη σφαίρα δημιουργείται όταν μεγάλη ποσότητα υδρογονανθράκων απελευθερώνεται, σε ανοιχτή περιοχή ή σε περιοχή που καλύπτεται με κτίρια και

άλλα εμπόδια (συχνά οριζόμενη ως ημιπεριορισμένη περιοχή), αναμιχθεί επαρκώς με τον αέρα και αναφλεγεί (νέφος αναφλέξιμων ατμών). Η ανάφλεξη, που διαφαίνεται από την δημιουργία πύρινης σφαίρας, οδήγησε σε ταχύτατο ρυθμό καύσης του νέφους ατμών δημιουργώντας έντονο φορτίο θερμότητας.

19. Σε περιοριστικές συνθήκες (όταν το καιόμενο νέφος ατμών περιορίζεται μέσα στον χώρο ανάπτυξής του από εμπόδια όπως κτίρια), η πύρινη σφαίρα δημιουργεί υπερπίεση με συνακόλουθο το κρουστικό κύμα.
20. Η δημιουργία της πύρινης σφαίρας απαιτεί τις εξής καθοριστικές συνθήκες: νέφος ατμών, υψηλή ανάμιξη και πηγή ανάφλεξης. Ένα σιδηροδρομικό ατύχημα συχνά παρέχει όλα τα προαναφερόμενα στοιχεία. Το νέφος ατμών συχνά προέρχεται από το ελαφρύ ή πτητικό υγρό καύσιμο, όπως η βενζίνη (πετρέλαιο), η σύγκρουση ευνοεί την ανάμιξη των απελευθερωμένων ατμών του καυσίμου και ο σπινθηρισμός ή η παραγόμενη θερμότητα από αυτή αποτελεί την πηγή της ανάφλεξης.
21. Η πύρινη σφαίρα είναι πιο πιθανό να δημιουργηθεί από την έκλυση πτητικών υδρογονανθράκων, που αποτελούν κύριο συστατικό της βενζίνης των καυσίμων των αεροπλάνων, πτητικών αρωματικών υδρογονανθράκων (βενζόλιο και τα παράγωγά του), καθώς και αερίων όπως το βουτάνιο και το προπάνιο.

ΓΝΩΜΟΔΟΤΗΣΗ

22. Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του ατυχήματος και το βιντεοσκοπημένο υλικό, καθίσταται εμφανές ότι η αμαξοστοιχία μετέφερε πιθανότατα πτητικούς υδρογονάνθρακες.
23. Η χημική ανάλυση σε δείγματα που ελήφθησαν στην περιοχή του ατυχήματος, των υπολειμμάτων στα θύματα καθώς και στα κατεστραμμένα υλικά από υποδομές της

περιοχής δείχνουν την παρουσία των χημικών ενώσεων βενζολίου, τολουολίου και ξυλολίου (ή ξυλενίου).

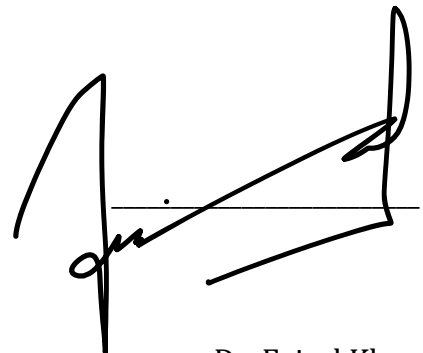
24. Το βενζόλιο, το τολουόλιο και το ξυλολιο είναι πτητικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες και χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών συμπεριλαμβανομένων των προσθετικών καυσίμων, βαφών, καλλυντικών και άλλων.
25. Είναι πολύ πιθανό ότι η εμπορική αμαξοστοιχία μετέφερε βενζόλιο, τολουόλιο και ξυλόλιο. Λόγω της πρόσκρουσης που προκλήθηκε από τη σύγκρουση, αυτές οι ουσίες εκλύθηκαν από τα κοντέινερ που τα περιείχαν και έτσι σχηματίστηκε το νέφος ατμών που αναμίχθηκε αποτελεσματικά με τον αέρα και δημιούργησε την πύρινη σφαίρα (Περιλαμβάνεται εδώ και το 26 του Αγγλικού κειμένου).
27. Παράγωγα υδρογονανθράκων όπως ουσίες υψηλού ιξώδους έλαια σιλικόνης, είναι θερμικά και χημικά σταθερά και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ως λιπαντικά και ψυκτικά υγρά. Όταν εκλύονται, λόγω των προαναφερόμενων ιδιοτήτων τους, δεν θα προκαλέσουν πύρινη σφαίρα επειδή η αναφλεξιμότητά τους είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Η υψηλή χημική αστάθεια και αναφλεξιμότητα είναι απαραίτητες ιδιότητες των χημικών ενώσεων που απαιτούνται για τη δημιουργία νεφους ατμών που καίγονται με μεγάλη ταχύτητα σχηματίζοντας πυρόσφαιρες.
28. Η πυρόσφαιρα εξερράγη πλησίον της θέσεως των χημικών στην εμπορική αμαξοστοιχία και όπως φαίνεται στα βίντεο εξελήχθηκε από την πηγή της προς τα έξω.
29. Η πυρόσφαιρα κάλυψε την περιοχή της επιβατικής αμαξοστοιχίας, προκαλώντας σοβαρές βλάβες και θανατηφόρα ατυχήματα.

30. Οι βλάβες στο σιδηροδρομικό υλικό και την υποδομή (αποχρωματισμός βαγονιών αμαξοστοιχιών) και τα θανατηφόρα κρούσματα επιβεβαιώνουν την παρουσία της πύρινης σφαίρας και τις καταστροφές που προκάλεσε.

Διατηρώ το δικαίωμα να τροποποιήσω την έκθεση αυτή εν όλω ή εν μέρει εάν νεά στοιχεία περιέλουν στην αντίληψή μου. Αν κληθώ να καταθέσω η κατάθεσή μου ουδόλως θα αναιρεί το περιεχόμενο της εκθέσεως αυτής.

Παραδόθηκε την 24^η Ιουλίου 2024

Υπογραφή

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, connected strokes. The signature is positioned above a horizontal line.

Dr. Faisal Khan

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Εξετάστηκαν τα βίντεο

OSE1.mp4 (από την κάμερα της κοινοπραξίας Μαλλιακός)

Fireball simulation overlaid.mp4 (παρήχθη απο την ομάδα Κοκοτσάκη)

600193_T1SB7-PTZ_2023_02_28.23_18_00_60_RC.avi (κάμερα αυτοκινητοδρόμου Αιγαίου)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

1. Fireball mathematical models and experimental data: A literature review. HSE UK, Research report 1185 (2022)
2. BLEV (FIREBALL) Theory and Validation, DNV, December 2023
3. Silicones, Chapter 8 in collection Reactive Polymers Fundamentals and Applications. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-4557-3149-7.00008-5>, 2013 Elsevier Inc. All rights reserved.
4. Fire Ball accident:
<https://www.hazmatnation.com/news/massive-fireball-after-train-18-wheeler-collide-burns-down-barn-leaves-several-families-homes-heat-damaged/>
5. Definition of Fire Ball
<https://www.aiche.org/ccps/resources/glossary/process-safety-glossary/fireball>