

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΙΤΙΩΝ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ FIREBALL (ΠΥΡΟΣΦΑΙΡΑΣ)
ΣΤΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟ ΔΥΣΤΥΧΗΜΑ ΤΩΝ ΤΕΜΠΩΝ
28/2/2023**



**Αχιλλέας Μιχόπουλος
Χημικός Μηχανικός MSc, ΑΠΘ/UMASS**

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΙΤΙΩΝ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ FIREBALL (ΠΥΡΟΣΦΑΙΡΑΣ)
ΣΤΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟ ΔΥΣΤΥΧΗΜΑ ΤΩΝ ΤΕΜΠΩΝ, 28/2/2023

Περιεχόμενα

A. Εισαγωγή.....	3
B. Δεδομένα εύφλεκτων και μη οργανικών ενώσεων	4
Γ. Συμπεράσματα από τη μελέτη των δεδομένων αναφλεξιμότητας	5
Δ. Βιβλιογραφικά δεδομένα για VCE (Vapor Cloud Explosion), TNO Yellow Book, 2005	6
Ε. Εκτίμηση των διαστάσεων του fireball	7
Ζ. Ερμηνεία της εξέλιξης και διάρκειας του fireball	10
Η. Υπολογισμοί ποσότητας υδρογονανθράκων / διάρκειας ζωής του νέφους με στατικά μοντέλα	13
Θ. Υπολογισμοί ποσότητας υδρογονανθράκων / διάρκειας ζωής του νέφους / ακτινοβολίας με δυναμικό μοντέλο	14
Ι. Επίπτωση της ακτινοβολίας του fireball	15
Κ. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υπολογισμών του fireball	16
Λ. Εκτίμηση ποσότητας υδρογονανθράκων στον συρμό	17
Μ. Συμπεράσματα.....	18
Ν. Παράρτημα Α: Ανάλυση Βίντεο Βόρειας Κάμερας	19
Ξ. Παράρτημα Β: Συγχρονισμός Βίντεο	33
Ο. Παράρτημα Γ: Αποτύπωση fireball σε κάτοψη	44

A. Εισαγωγή

Στο μεγάλο δυστύχημα των Τεμπών της 28/2/2023, μεγάλος αριθμός των θυμάτων (30 από σύνολο 57) βρέθηκαν απανθρακωμένα λόγω της πυρκαγιάς που ακολούθησε τη σύγκρουση.

Πριν εκδηλωθεί η πυρκαγιά, έγινε μια σειρά εκρήξεων και ακολούθησε η δημιουργία fireball (πυρόσφαιρας).

Αρχικά, η δημιουργία του fireball αποδόθηκε λανθασμένα σε ανάφλεξη του ελαίου σιλικόνης που χρησιμοποιείται σαν ψυκτικό μέσο των μηχανών των αμαξοστοιχιών.

Ωστόσο, το συγκεκριμένο υλικό είναι ιδιαίτερα δύσκολο να αναφλεγεί και δεν είναι συμβατό με την αιτία της δημιουργίας του φαινομένου της πυρόσφαιρας όπως έχει καταγραφεί από τις κάμερες. Μπορεί να καεί με έντονη υποβοήθηση άλλου εξαιρετικά εύφλεκτου υλικού, αλλά θα σβήσει μόλις σταματήσει η υποβοήθηση.

Επιπλέον, οι δειγματοληψίες από το σημείο του δυστυχήματος που έγιναν από το Γ.Χ.Κ. περίπου ένα μήνα μετά το ατύχημα και οι επακόλουθες ποιοτικές αναλύσεις έδειξαν την ύπαρξη άγνωστων ποσοτήτων πλήθους εύφλεκτων υδρογονανθράκων. Σημειωτέον ότι οι εν λόγω υδρογονάνθρακες είναι πολύ πτητικοί, οπότε μετά την πάροδο ενός μηνός βρέθηκαν τα υπολείμματα της αρχικής ποσότητας και σύνθεσης. Οι πλέον πτητικοί εξατμίστηκαν πιο γρήγορα και στη δειγματοληψία δεν εντοπίζονται, γιατί στο διάστημα που παρεμβλήθηκε η διάχυση μέσω του πορώδους του εδάφους και η εξάτμιση ελαχιστοποιήσε την παρουσία τους, έτσι στις αναλύσεις εμφανίζονται μόνο οι λιγότερο πτητικές ενώσεις.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και ανάλυση των εικόνων που πάρθηκαν από τα βίντεο των καμερών ελέγχου κυκλοφορίας της Εθνικής Οδού έγινε μια προσπάθεια διερεύνησης των πιθανών αιτιών που ερμηνεύει το συμβάν των εκρήξεων, δημιουργίας του fireball και εν τέλει της πυρκαγιάς.

Το κυρίαρχο στοιχείο της διερεύνησης είναι ο προσδιορισμός της ελάχιστης ποσότητας αναφλέξιμου υγρού υδρογονάνθρακα που μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση fireball τέτοιων διαστάσεων όπως έχει καταγραφεί από τρεις διαφορετικές κάμερες ασφαλείας και ελέγχου κυκλοφορίας.

B. Δεδομένα εύφλεκτων και μη οργανικών ενώσεων

Στην ανάλυση που ακολουθεί θεωρείται ότι το φορτίο υγρών υδρογονανθράκων (βενζολίου, τολουολίου, ξυλλολίου ή κάποιου άγνωστου μίγματος), ήταν στην Εμπορική αμαξοστοιχία.

Έχει εν τέλει μικρή σημασία ποια ουσία ήταν, δεδομένου ότι η συμπεριφορά τους και τα δεδομένα αναφλεξιμότητας/εκρηκτικότητας είναι παρόμοια.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΥΦΛΕΚΤΩΝ (ΚΑΙ ΜΗ) ΕΝΩΣΕΩΝ - ΑΝΑΦΛΕΞΙΜΟΤΗΤΑ

	CAS #	RON	LEL	UEL	Flash Point	Auto-Ignition Temperature	Boiling Point	Density
Pentane	109-66-0	61.8	1.4%	8%	-40 °C	260 °C	36.1 °C	623 Kg/m ³
Hexane	110-54-3	25	1.2%	7.3%	-18 °C	290 °C	66 °C	672 Kg/m ³
Heptane	142-82-5	0	1.05%	6.7%	-4 °C	223 °C	98.4 °C	679 Kg/m ³
Benzene	71-43-2	101	1.2%	7.8%	-11 °C	498 °C	80 °C	876 Kg/m ³
Toluene	108-88-3	120	1.1%	7.1%	4 °C	535 °C	110.6 °C	867 Kg/m ³
o-Xylene	95-47-6	113	0.9%	6.7%	32 °C	463 °C	144.4 °C	876 Kg/m ³
m-Xylene	108-38-3	117.5	1.1%	7.0%	27 °C	527 °C	139.3 °C	860 Kg/m ³
p-Xylene	106-42-3	116.4	1.1%	7.0%	27 °C	464 °C	138.4 °C	861 Kg/m ³
Xylenes	1330-20-7	116	1.9%	12.3%	27 °C	500 °C	139-141	870 Kg/m ³
Light Arom. Naphtha	64742-95-6	-	1.4%	7.6%	41 °C	280-470 °C	135-210 °C	620-880 Kg/m ³
Light Naphtha	8030-30-6	56	1.1%	5.9%	-24.7 °C	225 °C	30-90 °C	740 Kg/m ³
Gasoline	8006-61-9	95	1.4%	7.6%	-43 °C	260 °C	35-200 °C	743 Kg/m ³
Ελαιο Σιλικόνης		-	-	-	>300 °C	Δεν αναφέρεται	-	-

Επισημάνσεις:

1. Ο όρος **RON** αναφέρεται στον **αριθμό οκτανίων μιας εύφλεκτης ουσίας**. Αφορά τις ουσίες που χρησιμοποιούνται σαν βελτιωτικά του αριθμού οκτανίων των βενζινών.
2. Οι όροι **LEL**, **UEL** είναι το **κάτω και άνω όριο** σύστασης **εκρηκτικού μίγματος** της ουσίας.
3. Ο όρος **Flash Point** αναφέρεται στην **χαμηλότερη θερμοκρασία** των **ατμών** μιας ουσίας που βρίσκονται επάνω από **εύφλεκτο υγρό** και **αναφλέγονται** αν υπάρξει φλόγα ή σπινθήρας.
4. Ο όρος **Auto-Ignition Temperature** αναφέρεται στη θερμοκρασία στην οποία **οι ατμοί μιας εύφλεκτης ουσίας αναφλέγονται χωρίς την παρουσία θερμής πηγής** (φλόγας ή σπινθήρα).
5. Με την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου (“διύλιση”) προκύπτουν στα διυλιστήρια (παγκοσμίως) κάποια μίγματα με συστάσεις που εξαρτώνται από τον τύπο του αργού πετρελαίου και το σημείο απόληξης του μίγματος αυτού. Αυτά τα μίγματα χαρακτηρίζονται με τον όρο “νάφθα”, και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους μπορεί να έχουν την ονομασία “Ελαφριά Νάφθα (Light Naphtha)”, “Ελαφριά Αρωματική Νάφθα (Light Aromatic Naphtha)”, “Βαριά Νάφθα (Heavy Naphtha)”. Τα μίγματα αυτά έχουν κατά κανόνα μικρή προστιθέμενη αξία και τιμή πώλησης. Η πώληση τους είναι ασύμφορη, οπότε κατά κανόνα ανατροφοδοτούν μονάδες των διυλιστηρίων για αναμόρφωση τους και παραγωγή προϊόντων με μεγάλη προστιθέμενη αξία (π.χ. βενζίνη).

Γ. Συμπεράσματα από τη μελέτη των δεδομένων αναφλεξιμότητας

1. Από την παράθεση και μελέτη των δεδομένων αναφλεξιμότητας των ουσιών του πίνακα, φαίνεται ξεκάθαρα ότι το έλαιο ψύξης των μετασχηματιστών των μηχανών είναι απολύτως αδύνατο να έχει προκαλέσει τα fireballs που περιγράφονται στην συνέχεια και τη πυρκαγιά που ακολούθησε, με συνέπεια την απανθράκωση των Θυμάτων της Επιβατικής αμαξοστοιχίας.
2. Με δεδομένες τις αναλύσεις του Γ.Χ.Κ. που εντοπίζουν πλήθος οργανικών ενώσεων στα δείγματα χώματος, σε συνδυασμό με τις θερμοκρασίες που επικρατούσαν τη στιγμή του συμβάντος και τα flash points που αναφέρονται στον πίνακα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το υλικό που δημιούργησε το νέφος και ανεφλέγη δημιουργώντας το fireball ήταν μίγμα αρωματικών υδρογονανθράκων που περιείχε βενζόλιο σε μεγάλη συγκέντρωση (flash point βενζολίου -11 °C) και τολουόλιο (flash point τολουολίου 4 °C). Έτσι ερμηνεύεται η άμεση ανάφλεξη του νέφους με τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος που επικρατούσαν.
3. Η παρουσία και ξυλολίων στα δείγματα χώματος είναι δεδομένη, οπότε προκύπτει το συμπέρασμα ότι το εν λόγω υγρό ήταν μίγμα τουλάχιστον αρωματικών υδρογονανθράκων. Ωστόσο, τα flash points των 3 ισομερών του ξυλολίου είναι 27-32 °C, άρα η ανάφλεξη των ξυλολίων στις επικρατούσες θερμοκρασίες θα ήταν απίθανη. Τα ξυλόλια αναφλέγηκαν δευτερογενώς.

Δ. Βιβλιογραφικά δεδομένα για VCE (Vapor Cloud Explosion), TNO Yellow Book, 2005

Όλα τα VCEs προκύπτουν από την ανάφλεξη (ignition) ενός εύφλεκτου (flammable) νέφους που σχηματίστηκε λόγω απελευθέρωσης (release) μεγάλης ποσότητας εύφλεκτου υγρού που αεριοποιείται ή αερίου από ένα δοχείο αποθήκευσης, ή δοχείο μεταφοράς, ή γραμμή μεταφοράς (pipeline). Ωστόσο, δεν προκύπτει πάντα VCE. Εν γένει, πρέπει να ικανοποιούνται διάφορες συνθήκες για να προκύψει VCE με αξιολογή αύξηση της πίεσης και συνεπακόλουθες καταστροφικές συνέπειες.

Πρώτον, το υλικό που απελευθερώθηκε πρέπει να είναι εύφλεκτο και σε ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Παραδείγματα είναι τα υγραέρια (προπάνιο, βουτάνιο), συνηθισμένα εύφλεκτα υγρά σε υψηλή θερμοκρασία ή/και πίεση (κυκλοεξάνιο, νάφθα) και μη υγροποιημένα αέρια (μεθάνιο, αιθάνιο, ακετυλένιο).

Δεύτερον, πρέπει να δημιουργηθεί νέφος πριν την ανάφλεξη, φάση διασποράς (dispersion phase). Αν υπάρξει σπινθήρας αμέσως μετά την έναρξη της διαρροής, θα προκύψει φλόγα (flare) που θα προκαλέσει περιορισμένης έκτασης ζημιές λόγω θερμικής ακτινοβολίας. Ωστόσο, δεν είναι πιθανό να προκύψουν εκτεταμένες ζημιές λόγω υπερπίεσης (blast pressures). Αν το νέφος έχει τη δυνατότητα να σχηματιστεί σε χρονικό οριζόντα και στη συνέχεια αναφλεγεί, οι υπερπίεσεις που διακινούνται από το κέντρο του νέφους προς την περιφέρεια μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές σε ευρύτερη περιοχή.

Τρίτον, ένα τμήμα του νέφους πρέπει να έχει σύσταση μέσα στα όρια αναφλεξιμότητας (LEL, UEL) του υλικού. Ένα νέφος έχει φυσιολογικά τρεις περιοχές από πλευράς σύστασης, **η πλούσια περιοχή**, κοντά στο σημείο της διαρροής (συγκέντρωση υλικού μεγαλύτερη από το UEL), **η πτωχή περιοχή**, στην εξωτερική περίμετρο του νέφους (συγκέντρωση υλικού μικρότερη από το LEL), και **η ενδιάμεση, αναφλέξιμη περιοχή**. Το ποσοστό κατανομής του νέφους στις τρεις περιοχές είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων, όπως ο τύπος και η ποσότητα του υλικού, πίεση τη στιγμή της διαρροής, μέγεθος της οπής στο δοχείο, βαθμός περιορισμού (confinement) του νέφους, ταχύτητα ανέμου, υγρασία.

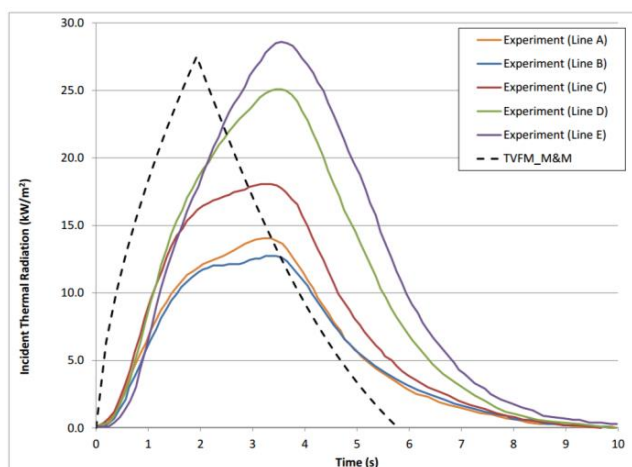
Τέταρτον, οι επιπτώσεις της έκρηξης (blast effects) που προκύπτουν από ένα VCE καθορίζονται από την ταχύτητα του μετώπου της φλόγας (speed of flame propagation). Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του μετώπου, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η υπερπίεση στο νέφος, που αυξάνει τις επιπτώσεις (blast effects) του νέφους. Αυτό καταδεικνύει ότι ο μηχανισμός της εξάπλωσης της φλόγας (mode of flame propagation) είναι εξαιρετικά σημαντικός. **Κατά κανόνα, ο μηχανισμός αυτός είναι απλή ανάφλεξη (deflagration, ταχύτητες <340 m/s).** Κάτω από εξαιρετικές συνθήκες, μπορεί να προκληθεί **έκρηξη (detonation, ταχύτητες >340 m/s).**

Ο ρυθμός της καύσης και η συνεπαγόμενη ακτινοβολία αρχικά αυξάνονται ραγδαία, φτάνουν στη μέγιστη τιμή και μετά μειώνονται με σχετικά αργό ρυθμό.

Ενδεικτικά το διάγραμμα από σχετικά πειράματα (DNV) δίνει την θερμική ακτινοβολία (ουσιαστικά και το ρυθμό αντίδρασης) στις διάφορες χρονικές στιγμές του φαινομένου, από πειράματα που έγιναν:

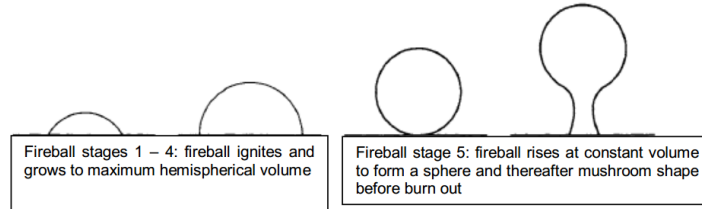
Επισημαίνεται ότι όλα τα μαθηματικά μοντέλα στους σχετικούς προσομοιωτές που χρησιμοποιούνται για να γίνει εκτίμηση των επιπτώσεων έκρηξης και ανάφλεξης αερίου νέφους, θεωρούν ότι η απελευθέρωση του υλικού γίνεται στιγμιαία.

Η μορφή της καμπύλης που περιγράφει την συνολική ένταση της ακτινοβολίας, προκύπτει από τον συνδυασμό του ρυθμού της αντίδρασης καύσης και της συνολικής επιφάνειας του εξωτερικού κελύφους του fireball.



Ε. Εκτίμηση των διαστάσεων του fireball

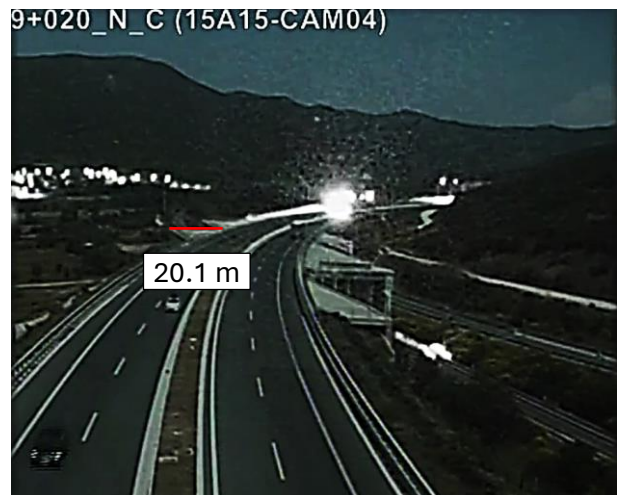
Η δημιουργία και η εξέλιξη ενός τυπικού fireball έχει μελετηθεί διεξοδικά από πολλούς διεθνείς οργανισμούς (π.χ. DNV, TNO) και ερευνητές. Για τον προσδιορισμό της ποσότητας του καυσίμου που συμμετέχει στο φαινόμενο, οι πλέον κρίσιμες παράμετροι είναι η διάμετρος του fireball σε πλήρη ανάπτυξη και ο συνολικός χρόνος ζωής του. Ενδεικτικά οι φάσεις εξέλιξης ενός fireball φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Το fireball στο ατύχημα των Τεμπών σε πλήρη ανάπτυξη φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία. Φυσικά, συντίθεται από το πρωτογενές στη μέγιστη διάμετρο και το δευτερογενές fireball σε φάση ανάπτυξης:



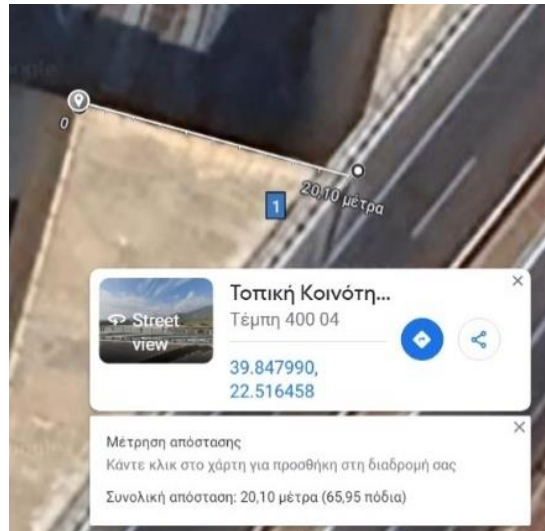
Βάσει μετρήσεων από τα βίντεο, σε πλήρη ανάπτυξη (μέγιστες διαστάσεις και ένταση ακτινοβολίας) το συνδυασμένο fireball έχει κερατοειδές σχήμα. Οι διαστάσεις που προκύπτουν για τον συνδυασμό του πρωτογενούς με το δευτερογενές, είναι 79 m (μέγιστη διάμετρος στην κεφαλή), το κέντρο της κεφαλής είναι σε ύψος ~75 m πάνω από το επίπεδο της Εθνικής Οδού.



Ο υπολογισμός της μέγιστης διαμέτρου του fireball είναι κομβικής σημασίας στην προσπάθεια εκτίμησης της ποσότητας εύφλεκτου υγρού στο νέφος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε με βάση τις εικόνες από την Νότια κάμερα της ΠΑΘΕ, δεδομένου ότι έχει οπτική γωνία κατά μέτωπο του συμβάντος και υπάρχουν εύκολα μετρήσιμα μήκη στο επίπεδο αναφοράς, δηλαδή του fireball.

Το επίπεδο αναφοράς, πάνω στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις, είναι το κατακόρυφο επίπεδο που ορίζει η έξοδος του τούνελ.

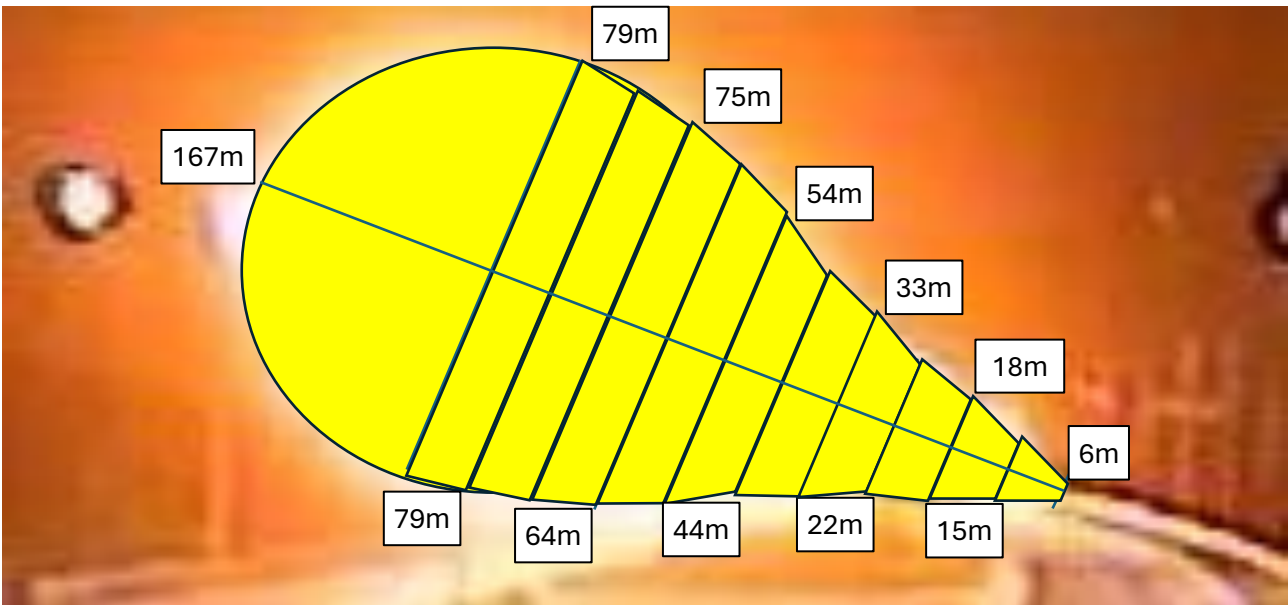
Το πλάτος του τούνελ διαγράφεται πολύ καθαρά στην φωτογραφία επάνω δεξιά και είναι 20.1 m, όπως προέκυψε από μέτρηση στο Google Maps. Από τη σύγκριση αυτού του μήκους με τον κύκλο που περικλείει το fireball, προκύπτει μέγιστη διάμετρος 79 m.



Η προβολή του κερατοειδούς σχήματος σε οριζόντιο επίπεδο έχει μέγιστο τόξο μήκους ~157 m.

Η χορδή του τόξου που σχηματίζουν τα επί μέρους κέντρα των κύκλων που περιγράφουν το κερατοειδές στερεό σχήμα έχει μήκος ~167 m.

Λόγω του ακανόνιστου σχήματος του fireball, χρησιμοποιώντας τις παραπάνω διαστάσεις και όλες τις επί μέρους διαμέτρους που εμφανίζει στο χώρο, έγινε αναπαράσταση 3 διαστάσεων και ογκομέτρηση του θύλακα του συνδυασμού των fireballs. Ο όγκος του θύλακα είναι ~324900 m³.



Η αποτύπωση του fireball σε κάτοψη δίνεται στην συνέχεια. Η αποτύπωση αυτή ήταν απαραίτητη για να προσδιοριστούν όλες οι επί μέρους διαστάσεις και ο συνολικός όγκος του.



Με δεδομένο ότι τα σχετικά μοντέλα διασποράς και αποτίμησης των συνεπειών από την ανάφλεξη νέφους λειτουργούν με βασική παράμετρο την διάμετρο του fireball (για να προσδιοριστεί η μάζα του εύφλεκτου υλικού), θεωρώντας ότι το fireball είναι τέλεια σφαίρα, ο παραπάνω όγκος του κερατοειδούς σχήματος του αναφλέξιμου θύλακα (~324900 m³) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ισοδύναμης διαμέτρου της αντίστοιχης τέλειας σφαίρας με τον ίδιο όγκο.

Η μέγιστη ισοδύναμη διάμετρος τέλειας σφαίρας του συνδυασμού των fireballs είναι 85,3 μέτρα.

Z. Ερμηνεία της εξέλιξης και διάρκειας του fireball

Όπως προαναφέρθηκε, η διάρκεια ζωής ενός fireball είναι πρώτιστα συνάρτηση του αναφλέξιμου υλικού και της ποσότητας του.

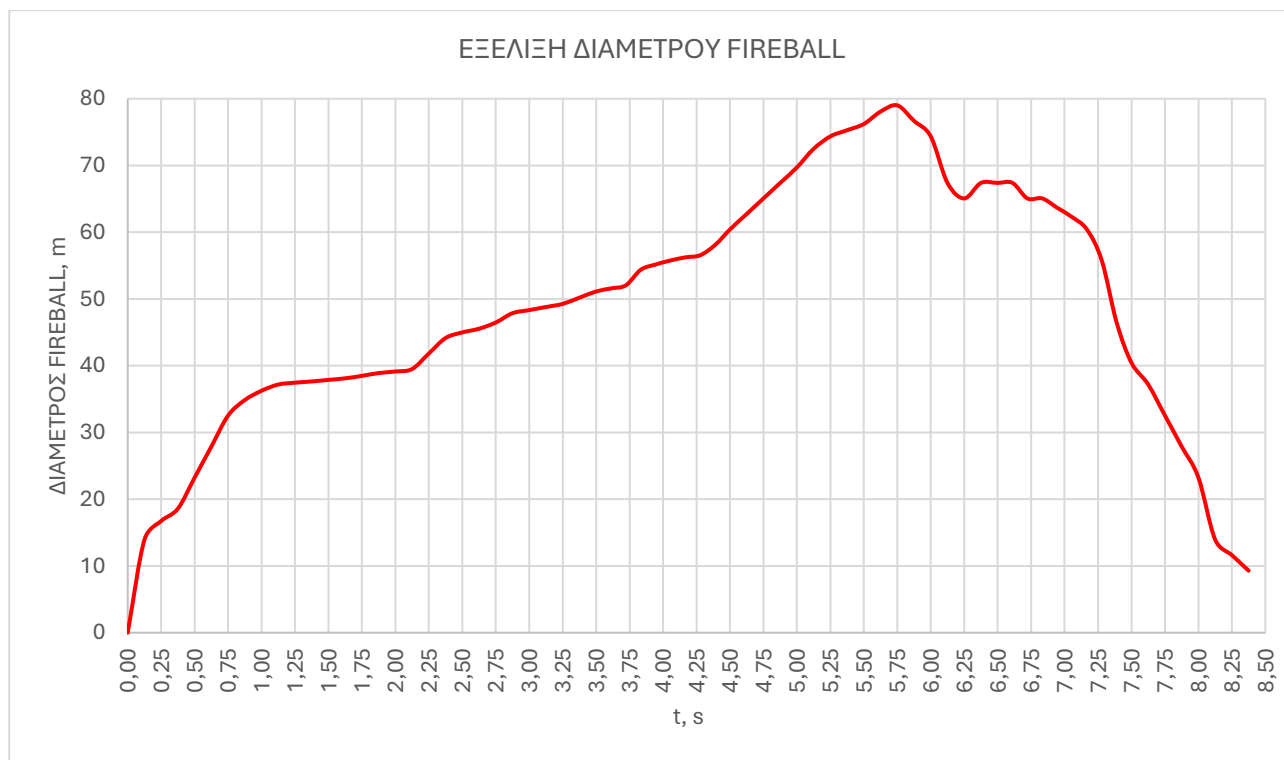
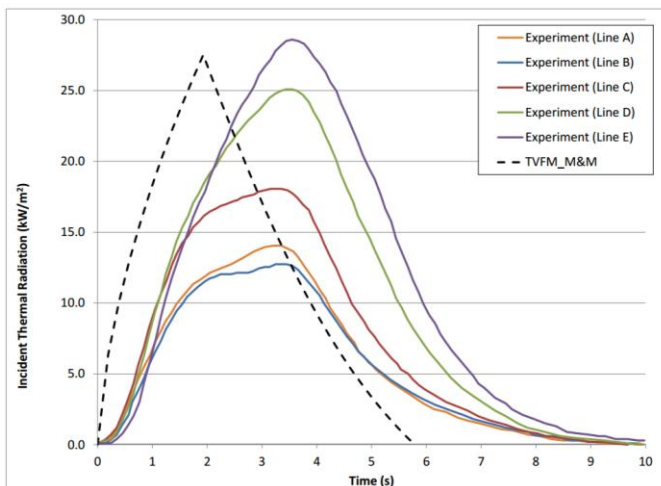
Η μορφή του ρυθμού καύσης και κατά συνέπεια της ακτινοβολίας που εκπέμπεται φαίνεται στο διάγραμμα, όπου καταγράφονται τα αποτελέσματα μετρήσεων από σχετικά πειράματα.

Τα εν λόγω πειράματα έγιναν με **στιγμαία απελευθέρωση** του υλικού που αναφλέγεται.

Το fireball που προέκυψε στο υπό διερεύνηση ατύχημα, φαίνεται ότι προήλθε, όχι από μια και μοναδική απελευθέρωση, αλλά πιθανότατα από διαδοχικές απελευθερώσεις και ανατροφοδοτήσεις καύσιμης ύλης.

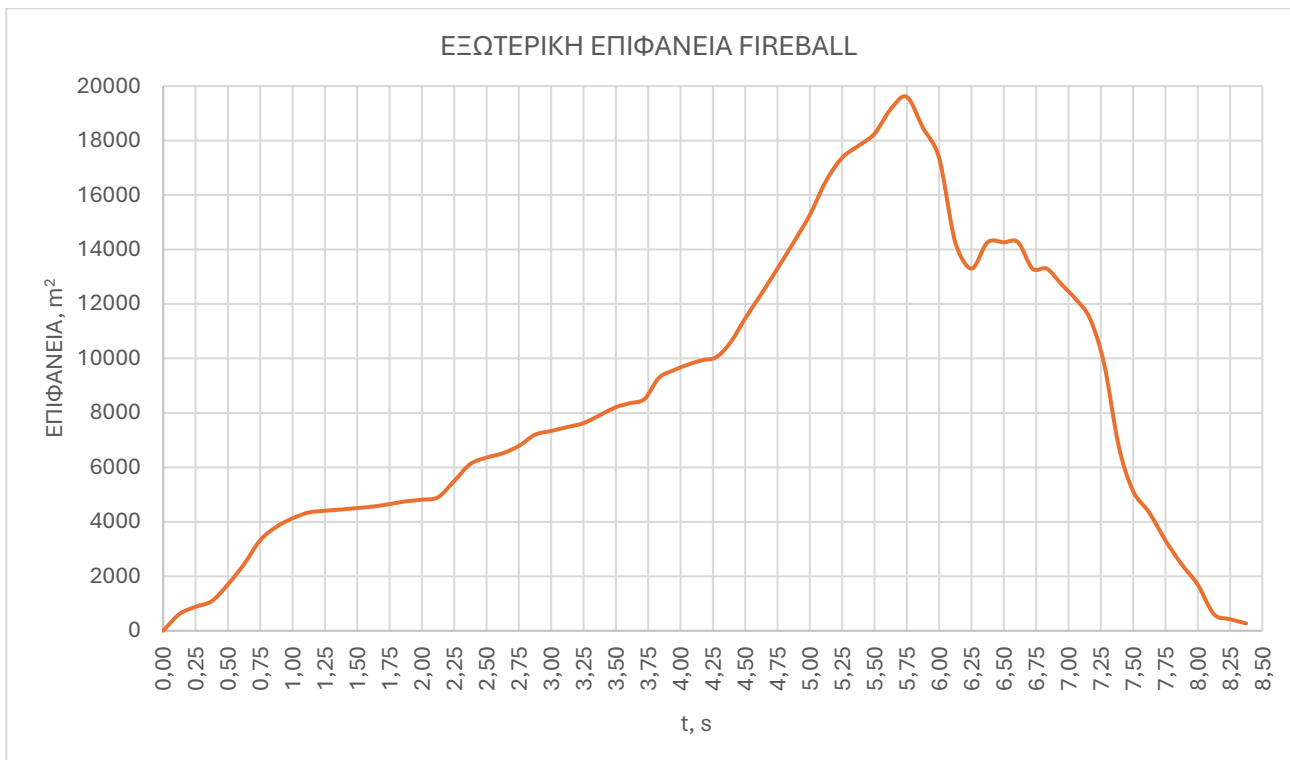
Από τη λεπτομερή ανάλυση των δεδομένων των διαδοχικών εικόνων που πάρθηκαν από τα διαθέσιμα βίντεο, έγινε αποτύπωση της εξέλιξης της διαμέτρου του πρωτογενούς fireball, όπως αυτό εξελίσσεται.

Η καταγραφή των διαμέτρων συναρτήσει του χρόνου φαίνεται στο διάγραμμα:



Η καταγραφή των διαμέτρων συναρτήσει του χρόνου μετατρέπεται (με απλούς μαθηματικούς υπολογισμούς) στην εξέλιξη της συνολικής εξωτερικής επιφάνειας του fireball, έτσι ώστε να πάρουμε ένα διάγραμμα που να αντιστοιχεί στη συνολική εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας.

Η εκπομπή ακτινοβολίας στη φάση της μεγέθυνσης μπορεί να θεωρηθεί σταθερή, οπότε η συνολική ακτινοβολία είναι ευθέως ανάλογη της εξωτερικής επιφάνειας, η οποία εξελίσσεται σύμφωνα με την εικόνα που φαίνεται στο διάγραμμα:



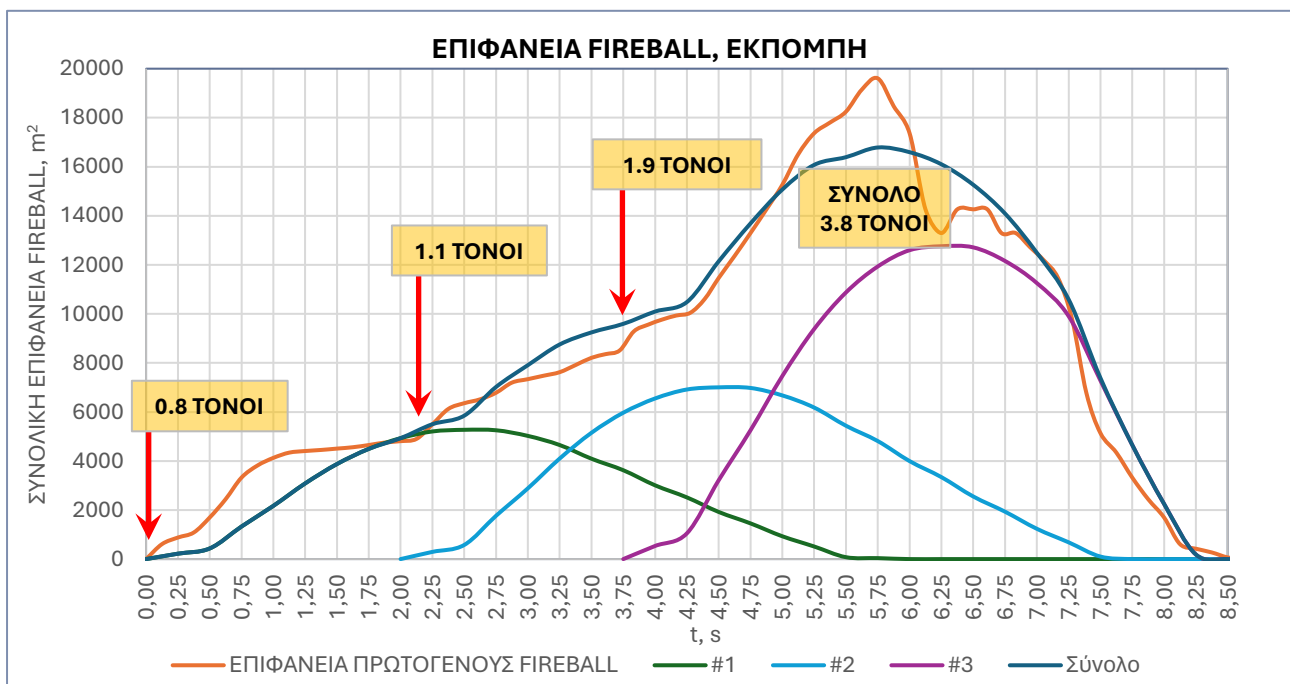
Η παραπάνω μορφή της καμπύλης του fireball **δεν φαίνεται να έχει καμία σχέση με την τυπική μορφή εξέλιξης ενός fireball** που ήδη αναφέρθηκε.

Αν, ωστόσο, γίνει προσπάθεια **σύνθεσης** των **διαδοχικών προσθηκών υλικού**, προκύπτει μια σύνθετη καμπύλη που προσεγγίζει ικανοποιητικά τα δεδομένα των μετρήσεων των διαμέτρων.

Η μέθοδος αυτή (Cascade release ή διαδοχικές απελευθερώσεις) προσπαθεί να ξεπεράσει την εγγενή αδυναμία των υπολογιστικών μοντέλων, που λειτουργούν στη λογική της στιγμιαίας απελευθέρωσης του υλικού (instantaneous release).

Με διαδικασία βελτιστοποίησης (ελαχιστοποίησης του αθροίσματος των τετραγώνων των αποκλίσεων του μοντέλου από τα πραγματικά δεδομένα) προσδιορίζονται οι επί μέρους ποσότητες που μπαίνουν στο νέφος από την αρχική πρόσκρουση και τις επακόλουθες ανατροφοδοσίες (0.8/1.1/1.9 τόνοι).

Με αυτή τη μέθοδο η **συνολική ποσότητα υδρογονανθράκων στο νέφος** εκτιμάται **3.8 τόνοι**.



Οι τρεις καμπύλες (#1, #2, #3) αποτυπώνουν την συνεισφορά των τριών επί μέρους περιστατικών απελευθέρωσης υλικού.

Η μπλε καμπύλη αντιστοιχεί στο άθροισμα των καμπυλών των τριών επί μέρους περιστατικών.

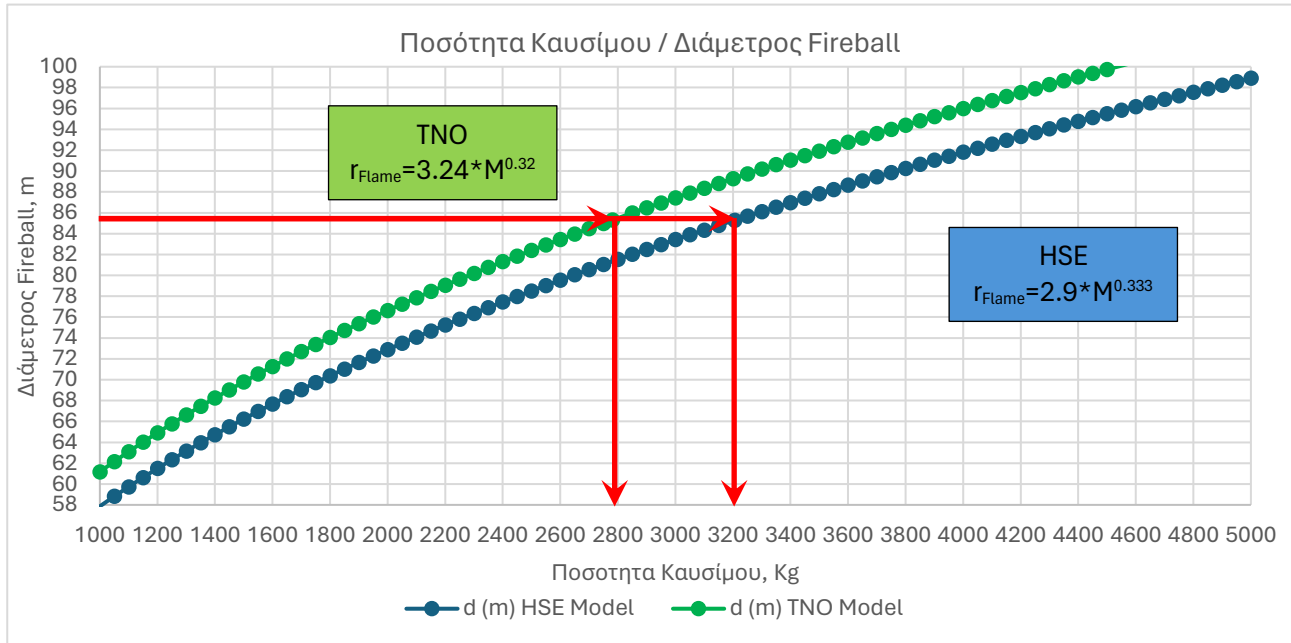
Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η καμπύλη του συνόλου προσομοιάζει αρκετά ικανοποιητικά την καμπύλη που αποτυπώνει την εξέλιξη της συνολικής επιφάνειας του πρωτογενούς fireball.

Η παραπάνω μέθοδος, αν και μη πιστοποιημένη, **αποτελεί στην ουσία επέκταση και αξιοποίηση υφιστάμενων διεθνώς παραδεκτών και πιστοποιημένων μεθόδων**, και μπορεί να **ξεπεράσει τις εγγενείς αδυναμίες των μοντέλων που χρησιμοποιούνται διεθνώς** και να ερμηνεύσει το φαινόμενο συνολικά από πλευράς ποσοτήτων και χρόνων διάρκειας. Η μέθοδος αυτή **ερμηνεύει και την απροσδόκητα μεγάλη συνολική διάρκεια ζωής του fireball**, για τις ποσότητες που εμπλέκονται στη δημιουργία του, επειδή το αρχικό νέφος ανατροφοδοτείται.

Η. Υπολογισμοί ποσότητας υδρογονανθράκων / διάρκειας ζωής του νέφους με στατικά μοντέλα

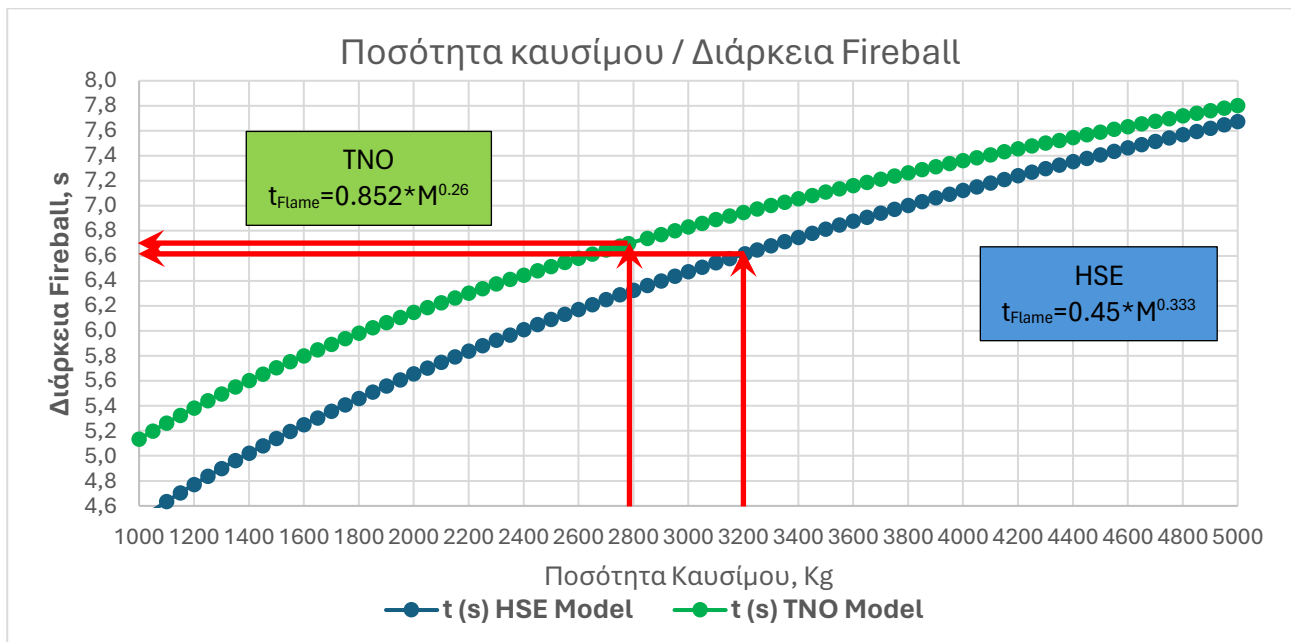
Με χρήση υπολογιστικών **στατικών μοντέλων** της DNV (**HSE / TNO**) έγινε εκτίμηση της ποσότητας αρωματικών υδρογονανθράκων που ανεφλέγη στο νέφος βάσει της μέσης ισοδύναμης διαμέτρου του.

Εξετάζεται το σενάριο για **μέση ισοδύναμη διάμετρο του fireball 85.3 m** και όγκο **~324900 m³**:



- HSE model: d=85.3 m, M=3.2 tons
- TNO model: d=85.3 m, M=2.8 tons

Τα μοντέλα αυτά, δίνουν και τη συσχέτιση μάζας/χρόνου ζωής του fireball:



- HSE model: d=85.3 m, t=6.6 s
- TNO model: d=85.3 m, t=6.7 s

Από την ανάλυση του βίντεο ο συνολικός χρόνος καύσης του fireball είναι 9.59 s.

Η απόκλιση αυτή θεωρείται φυσιολογική λόγω του γεγονότος ότι το καύσιμο δεν τροφοδότησε το νέφος μία μόνο φορά, αλλά υπήρξαν 2 πρόσθετες δόσεις ανατροφοδосίας.

Θ. Υπολογισμοί ποσότητας υδρογονανθράκων / διάρκειας ζωής του νέφους / ακτινοβολίας με δυναμικό μοντέλο

Έγιναν υπολογισμοί των παραμέτρων του φαινομένου και στο εξειδικευμένο software **Effects** της TNO (**δυναμικό μοντέλο**).

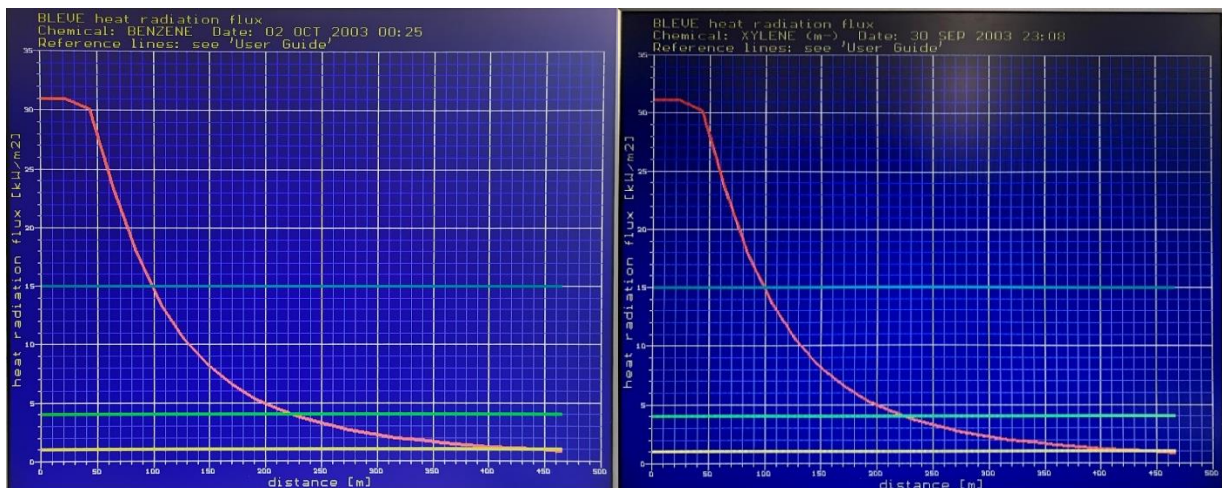
Για μάζα ξυλολίου στο νέφος 2.4 τόνων δίνει ισοδύναμη διάμετρο fireball (μέγιστη) 81 m και διάρκεια ζωής 6.43 s. Ποιοτικά και ποσοτικά ίδια αποτελέσματα προκύπτουν για βενζόλιο και τολουόλιο.

Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τα αντίστοιχα των στατικών μοντέλων.

INPUTS ΣΤΟ SOFTWARE EFFECTS ΓΙΑ ΔΙΑΜΕΤΡΟ FIREBALL 81 m, BENZOLIO / ΞΥΛΟΛΙΟ

BLEVE heat radiation flux and heat load			BLEVE heat radiation flux and heat load		
data	unit	value	data	unit	value
Chemical : BENZENE			Chemical : XYLENE (m-)		
INPUT:			INPUT:		
Total mass released	kg	2370	Total mass released	kg	2370
Initial temperature	K	420	Initial temperature	K	420
Burst pressure vessel	pa	1000000	Burst pressure vessel	pa	1000000
Orientation angle to fireball	°	0	Orientation angle to fireball	°	0
Ambient temperature	K	283.15	Ambient temperature	K	283.15
Relative humidity	%	70	Relative humidity	%	70
Fraction CO2 atmosphere	vol%	0.03	Fraction CO2 atmosphere	vol%	0.03
Horizontal distance (X-coordinate)	m	100	Horizontal distance (X-coordinate)	m	100
OUTPUT:			OUTPUT:		
Heat radiation flux	kW/m2	14.66	Heat radiation flux	kW/m2	14.75
Safe distance (Q=1 kW/m2)	m	442.86	Safe distance (Q=1 kW/m2)	m	444.18
Surface Emissive Power fireball	kW/m2	196.52	Surface Emissive Power fireball	kW/m2	197.63
Duration of the fireball	s	6.43	Duration of the fireball	s	6.43
Radius of the fireball	m	40.49	Radius of the fireball	m	40.49
Height bottom fireball	m	40.49	Height bottom fireball	m	40.49
Heat load	s. (W/m2)	0.2305E+07	Heat load	s. (W/m2)	0.2324E+07

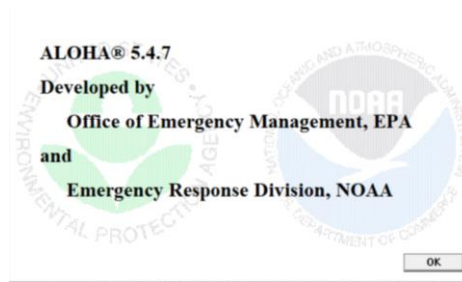
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ FIREBALL ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ, BENZOLIO / ΞΥΛΟΛΙΟ



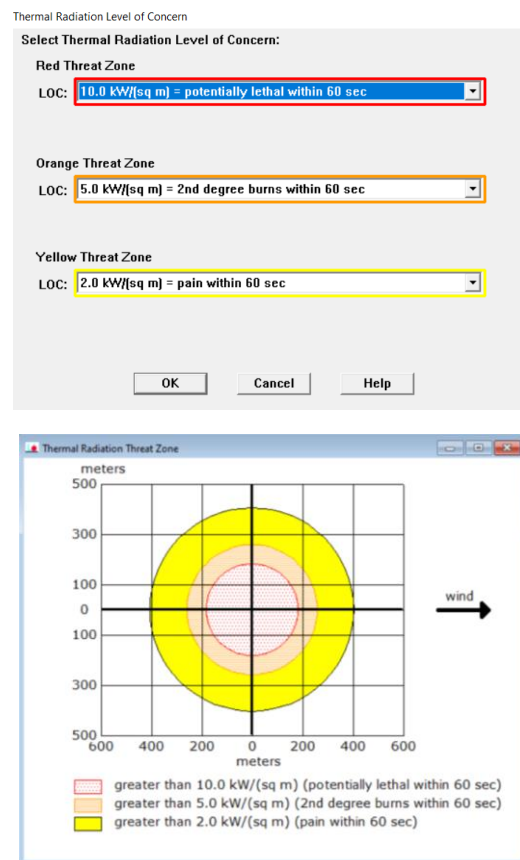
Όσον αφορά την ακτινοβολία που εξέπεμψε το fireball, φαίνεται ότι η πτώση της έντασης από τα 50 m προς μεγαλύτερες αποστάσεις είναι δραστική, πέφτει στο 1 kW/m² (ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο θάλασσας) σε απόσταση 450 m. Σε απόσταση μέχρι 40 m, η ένταση της είναι ~30 kW/m².

I. Επίπτωση της ακτινοβολίας του fireball

Για την εκτίμηση της έντασης της ακτινοβολίας του fireball έγινε χρήση του λογισμικού ALOHA (EPA).



Έγιναν ενδεικτικοί υπολογισμοί για ποσότητα 3 τόνων βενζολίου στο fireball. Η ακτινοβολία που προκύπτει φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, όπου φαίνονται οι 3 επί μέρους ζώνες γύρω από το κέντρο του fireball με τις αντίστοιχες εντάσεις ακτινοβολίας:



Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η ακτινοβολία έντασης άνω των 10 kW/m^2 φτάνει σε απόσταση 183 m από το κέντρο του fireball. Επισημαίνεται ότι η ένταση αυτή θεωρείται θανατηφόρα σε 60 δευτερόλεπτα, όταν υπάρχει απ' ευθείας έκθεση σε αυτή (direct exposure).

Με δεδομένο ότι το fireball ήταν υπερυψωμένο πάνω από την Επιβατική αμαξοστοιχία, τα άτομα που είχαν άμεση έκθεση στην ακτινοβολία ήταν όσοι είχαν θέση στην δεξιά πλευρά της επιβατικής (κατά την φορά κίνησης της) και δίπλα σε παράθυρο. Σε αυτή την περίπτωση, το παράθυρο απορροφά ένα τμήμα της. Οι υπόλοιποι Επιβάτες εκτέθηκαν μόνο σε ακτινοβολία από αντανάκλαση, ακόμη χαμηλότερη, αλλά αδύνατο να εκτιμηθεί.

Εκτός των παραπάνω στοιχείων, για την ποσότητα των 3 τόνων το λογισμικό δίνει διάμετρο fireball 81 m και διάρκεια ζωής 7 s.

Κ. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υπολογισμών του fireball

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα των υπολογισμών που έγιναν έχουν ως εξής:

Μοντέλο	Μάζα υδρογονανθράκων στο fireball ισοδύναμης διαμέτρου 85.3 m	Διάρκεια ζωής του fireball
Cascade Release	3.8 Τόνοι	8.5 s
HSE (Στατικό)	3.3 Τόνοι	6.6 s
ALOHA (Στατικό)	3.0 Τόνοι	7.0 s
TNO Yellow Book (Στατικό)	2.8 Τόνοι	6.7 s
TNO Effects (Δυναμικό)	2.4 Τόνοι	6.4 s

Η απόκλιση των εκτιμήσεων μάζας που εμπλέκεται στη δημιουργία του fireball μεταξύ των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν θεωρείται φυσιολογική και είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται σε πλείστες παρόμοιες περιπτώσεις, όπως αυτό φαίνεται και από τη σχετική βιβλιογραφία (DNV).

Ο χρόνος ζωής του fireball που δίνουν τα επίσημα μοντέλα (6.4-7.0 s) είναι μικρότερος από τον χρόνο που προκύπτει από το βίντεο (9.59 s), λόγω της ανατροφοδοσίας του αρχικού fireball από το υλικό που προέκυψε λόγω των εμβολισμών τους σε δεύτερο χρόνο. Σημειωτέον ότι τα μοντέλα λειτουργούν στη λογική της στιγμιαίας απελευθέρωσης του υλικού (instant release), οπότε δεν είναι εφικτή υπολογιστικά η αποτίμηση της συνεισφοράς της ποσότητας που μπαίνει στη διαδικασία της καύσης σε δεύτερο χρόνο. Ως εκ τούτου, η απόκλιση αυτή ερμηνεύεται επαρκώς.

Το πλεονέκτημα του μοντέλου Cascade Release είναι ότι εκτός των άλλων, προσεγγίζει ικανοποιητικά και τον χρόνο ζωής του fireball (8.5s / 9.6s).

Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι η ποσότητα που εν τέλει καίγεται στο fireball, είναι πάντοτε το 90-92% της συνολικής ποσότητας του νέφους. Ο λόγος είναι ότι στα έξω όρια του νέφους η συγκέντρωση του καυσίμου είναι κάτω από το κάτω όριο έκρηξης/ανάφλεξης, οπότε αυτή η ποσότητα (8-10% της αρχικής) παραμένει άκαυστη και διαχέεται στην ατμόσφαιρα.

Λ. Εκτίμηση ποσότητας υδρογονανθράκων στον συρμό

Στις αντίστοιχες περιπτώσεις VCE **υγραερίων (προπάνιο, βουτάνιο)** το εύρημα από σχετικά πειράματα και η συνήθης παραδοχή στις μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι ότι η ποσότητα του υγραερίου που συμμετέχει στο νέφος είναι 60% της συνολικής ποσότητας. Το υπόλοιπο 40% χύνεται στο έδαφος και καίγεται με τη μορφή του pool fire.

Στην περίπτωση που εξετάζεται, η πτητικότητα των αρωματικών είναι εμφανώς χαμηλότερη από αυτή των υγραερίων. Βέβαια, το νέφος προκλήθηκε από την απελευθέρωση ποσοτήτων υγρού εν κινήσει, οπότε αρχικά δημιουργήθηκε νέφος μικροσταγονιδίων (spray) και μικρής ποσότητας ατμών.

Αυτό το γεγονός δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά του νέφους από πλευράς έκρηξης/καύσης (detonation / deflagration).

Για το μίγμα αρωματικών υδρογονανθράκων που από τα στοιχεία που υπάρχουν φαίνεται να ήταν στο νέφος, γίνεται η παραδοχή ότι **η ποσότητα του νέφους (και του fireball)** αντιπροσωπεύει το 30% της αρχικής ποσότητας που περιείχαν τα δοχεία. Το υπόλοιπο 70% χύθηκε στο έδαφος.

Άλλες βιβλιογραφικές αναφορές από μελέτες προσπάθειας μοντελοποίησης αεροπορικών ατυχημάτων, εκτιμούν **την ποσότητα που καίγεται άμεσα στην αρχική πυρόσφαιρα στο 40%, με το υπόλοιπο 60% να μένει στο έδαφος** και ένα μέρος του να συνεχίζει να καίγεται ως pool fire.

Μ. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση που έγινε, έχουν ως εξής:

1. Η δημιουργία του fireball αποκλείεται να οφείλεται σε ανάφλεξη του ελαίου σιλικόνης των μηχανών των αμαξοστοιχιών. Η επιλογή του συγκεκριμένου τύπου ελαίου, εξ άλλου, έχει γίνει και με κριτήριο την ασφάλεια των μεταφορών.

2. Με δεδομένα:

- Τις αναλύσεις του Γ.Χ.Κ. που εντοπίζουν στα δείγματα χύματος μετά πάροδο 29 ημερών εύφλεκτες και πτητικές οργανικές ενώσεις,
- Τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος που επικρατούσαν τη στιγμή του συμβάντος,
- Τα flash points των ουσιών που μελετήθηκαν,

Προκύπτει το συμπέρασμα ότι το υλικό που δημιούργησε το νέφος και ανεφλέγη δημιουργώντας το fireball ήταν **μίγμα αρωματικών υδρογονανθράκων** που περιείχε **βενζόλιο** σε μεγάλη συγκέντρωση (flash point βενζολίου -11 °C), **τολουόλιο** (flash point τολουολίου 4 °C) και **ξυλόλιο**. Έτσι ερμηνεύεται η άμεση ανάφλεξη του νέφους με τις θερμοκρασίες που επικρατούσαν. Εν ολίγοις προκύπτει αβίαστα το συμπέρασμα ότι το εν λόγω υγρό ήταν **μίγμα των τριών αρωματικών υδρογονανθράκων**.

3. Για τη δημιουργία ενός fireball αυτού του μεγέθους, η ποσότητα αρωματικού υδρογονάνθρακα (βενζολίου, τολουολίου ή ξυλολίου) ή μίγματος των τριών, που απαιτείται, είναι της τάξης των **2.4-3.8 τόνων**, βάσει των 4 μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν.

4. Η ακτινοβολία που δημιούργησε το fireball ήταν ιδιαίτερα έντονη, μεγαλύτερη από 10 kW/m² σε απόσταση μέχρι 183 m από το κέντρο του. Ωστόσο, η ένταση αυτή, σε συνδυασμό με τη διάρκεια του φαινομένου, δεν φαίνεται να δικαιολογεί την απανθράκωση των θυμάτων. Εδώ πρέπει εδώ να λάβουμε υπόψη ότι απανθρακωμένοι σοροί ανασύρθηκαν μέσα από τα συντρίμια (βαγόνια κυλικείου και B2) ενώ ο βαθμός απανθράκωσης ήταν εξάρτηση του χρόνου έκθεσης στη δευτερογενή φωτιά που συντηρήθηκε από τα καιόμενα υλικά. Από τη στιγμή που διασώθηκαν επιβάτες από το κυλικείο χωρίς εγκαύματα λόγω ακτινοβολίας, είναι αδύνατο να απανθρακώθηκε κάποια σορός από το fireball.

5. Η ποσότητα των αρωματικών υδρογονανθράκων που χύθηκε στο έδαφος δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Όμως, είναι σαφές ότι δεν έχει καταναλωθεί όλη η ποσότητα του καυσίμου από το fireball, άρα οι εκτιμώμενες ποσότητες της παραγράφου Νο 3 πρέπει να ληφθούν ως οι ελάχιστες ποσότητες, στις οποίες θα πρέπει να προστεθεί και η επιπλέον ποσότητα καυσίμου που κάηκε δευτερογενώς υπό τη μορφή pool fire και προκάλεσε την ανάφλεξη άλλων υλικών ή χύθηκε στο έδαφος και απορροφήθηκε από το χώμα χωρίς να καεί.



Αχιλλέας Μιχόπουλος

Χημικός Μηχανικός MSc, ΑΠΘ/UMASS

27/5/2024

N. Παράρτημα A: Ανάλυση Βίντεο Βόρειας Κάμερας

Η ανάλυση του βίντεο φαίνεται καρέ-καρέ με τη μορφή πινάκων στη συνέχεια.

Αρχικά υπάρχει ο πίνακας με τη χρονοσειρά των κρίσιμων γεγονότων της εξέλιξης της ζωής του fireball, με επιλεγμένες ενδεικτικές φωτογραφίες.



















Στη συνέχεια υπάρχει ο πίνακας με το σύνολο των εικόνων που πάρθηκαν από την ανάλυση του βίντεο.

Και στους δύο πίνακες παρατίθεται και σχολιασμός των φωτογραφιών σε σχέση με την εξέλιξη του φαινομένου.

ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ FIREBALL

CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:29	29,50	0,00		Εναρξη ανάφλεξης νέφους.		
	29,63	0,13				
	29,75	0,25				
	29,88	0,38				
23:18:30	30,00	0,50		Συνεχής διόγκωση του fireball. Δεν διακρίνεται οριζόντια μετατόπιση.		
	30,13	0,63				
	30,25	0,75				
	30,38	0,88				
23:18:31	30,50	1,00		Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Πρώτος εμβολισμός δοχείου από την Επιβατική, η ποσότητα προκαλεί 1η επέκταση του fireball προς βορρά.	
	30,63	1,13				
	30,75	1,25				
	30,88	1,38				
23:18:32	31,00	1,50		Το σχήμα του fireball γίνεται πλέον ωοειδές.		
	31,13	1,63				
	31,25	1,75				
	31,38	1,88				
23:18:33	31,50	2,00		Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1° εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	Δεύτερος εμβολισμός δοχείου από την Επιβατική, η ποσότητα προκαλεί 2η επέκταση του fireball προς βορρά.
	31,63	2,13				
	31,75	2,25				
	31,88	2,38				
23:18:34	32,00	2,50		Κορύφωση διαστάσεων fireball καθ' ύψος, πλάτος και προς βορρά. Κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας		
	32,13	2,63				
	32,25	2,75				
	32,38	2,88				
23:18:35	32,50	3,00		Εναρξη της κάμψης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
	32,63	3,13				
	32,75	3,25				
	32,88	3,38				
23:18:36	33,00	3,50		Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
	33,11	3,61				
	33,22	3,72				
	33,33	3,83				
23:18:37	33,44	3,94		Εναρξη μείωσης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.		
	33,56	4,06				
	33,67	4,17				
	33,78	4,28				
23:18:38	33,89	4,39		Η καύση της αρχικής μάζας βγαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
	34,00	4,50				
	34,11	4,61				
	34,22	4,72				
23:18:39	34,33	4,83		Η καύση της αρχικής μάζας έχει σχεδόν ολοκληρωθεί.		
	34,44	4,94				
	34,56	5,06				
	34,67	5,17				
23:18:40	34,78	5,28		Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Το fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
	34,89	5,39				
	35,00	5,50				
	35,13	5,63				
23:18:41	35,25	5,75				
	35,38	5,88				
	35,50	6,00				
	35,63	6,13				
23:18:42	35,75	6,25				
	35,88	6,38				
	36,00	6,50				
	36,11	6,61				
23:18:43	36,22	6,72				
	36,33	6,83				
	36,44	6,94				
	36,56	7,06				
23:18:44	36,67	7,17				
	36,78	7,28				
	36,89	7,39				
	37,00	7,50				
23:18:45	37,13	7,63				
	37,25	7,75				
	37,38	7,88				
	37,50	8,00				
23:18:46	37,63	8,13				
	37,75	8,25				
	37,88	8,38				
	38,00	8,50				
23:18:47	38,13	8,63				
	38,25	8,75				
	38,38	8,88				
	38,50	9,00				
23:18:48	38,63	9,13				
	38,75	9,25				
	38,88	9,38				
	39,00	9,50				
23:18:49	39,11	9,61				
	39,22	9,72				
	39,33	9,83				
	39,44	9,94				
23:18:50	39,56	10,06				
	39,67	10,17				
	39,78	10,28				
	39,89	10,39				
23:18:51	40,00	10,50				
	40,13	10,63				
	40,25	10,75				
	40,38	10,88				
23:18:52	40,50	11,00				
	40,63	11,13				
	40,75	11,25				
	40,88	11,38				
23:18:53	41,00	11,50				
	41,13	11,63				
	41,25	11,75				
	41,38	11,88				
23:18:54	41,50	12,00				
	41,63	12,13				
	41,75	12,25				
	41,88	12,38				
23:18:55	42,00	12,50				

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:29	29,50	0,00					
23:18:29	29,63	0,13			Εναρξη ανάφλεξης νέφους.		
23:18:29	29,75	0,25					
23:18:29	29,88	0,38			Το fireball αναδύεται πάνω από το επίπεδο της Εθνικής Οδού.		
23:18:30	30,00	0,50			Το fireball αναδύεται πάνω από το επίπεδο της Εθνικής Οδού.		
23:18:30	30,13	0,63			Το fireball αποκτά σφαιρικό σχήμα.		
23:18:30	30,25	0,75			Εναρξη διόγκωσης του fireball.		
23:18:30	30,38	0,88			Συνεχής διόγκωση του fireball. Δεν διακρίνεται οριζόντια μετατόπιση.		
23:18:30	30,50	1,00			Συνεχής διόγκωση του fireball. Δεν διακρίνεται οριζόντια μετατόπιση.		

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:30	30,63	1,13			Συνεχής διόγκωση του fireball. Δεν διακρίνεται οριζόντια μετατόπιση.		
23:18:30	30,75	1,25			Συνεχής διόγκωση του fireball. Δεν διακρίνεται οριζόντια μετατόπιση.		
23:18:30	30,88	1,38			Συνεχής διόγκωση του fireball. Δεν διακρίνεται οριζόντια μετατόπιση.		
23:18:31	31,00	1,50			Συνεχής διόγκωση του fireball. Δεν διακρίνεται οριζόντια μετατόπιση.		
23:18:31	31,13	1,63			Συνεχής διόγκωση του fireball.		
23:18:31	31,25	1,75			Συνεχής διόγκωση του fireball.		
23:18:31	31,38	1,88			Συνεχής διόγκωση του fireball.		
23:18:31	31,50	2,00			Συνεχής διόγκωση του fireball.		
23:18:31	31,63	2,13			Συνεχής διόγκωση του fireball.	Πρώτος εμβολισμός δοχείου από την Επιβατική, η ποσότητα προκαλεί 1η επέκταση του fireball προς βορρά.	



















ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:31	31,75	2,25			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Επέκταση του fireball προς βορρά.	
23:18:31	31,88	2,38			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Επέκταση του fireball προς βορρά.	
23:18:32	32,00	2,50			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Επέκταση του fireball προς βορρά.	
23:18:32	32,13	2,63			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Επέκταση του fireball προς βορρά.	
23:18:32	32,25	2,75			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Επέκταση του fireball προς βορρά.	
23:18:32	32,38	2,88			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Επέκταση του fireball προς βορρά.	
23:18:32	32,50	3,00			Το σχήμα του fireball γίνεται πλέον ωοειδές.		
23:18:32	32,63	3,13			Το σχήμα του fireball γίνεται πλέον ωοειδές.		
23:18:32	32,75	3,25			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	



















ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:32	32,88	3,38			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	
23:18:33	33,00	3,50			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	
23:18:33	33,11	3,61			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	
23:18:33	33,22	3,72			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	
23:18:33	33,33	3,83			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	
23:18:33	33,44	3,94			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	
23:18:33	33,56	4,06			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	
23:18:33	33,67	4,17			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	
23:18:33	33,78	4,28			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	Δεύτερος εμβολισμός δοχείου από την Επιβατική, η ποσότητα προκαλεί 2η επέκταση του fireball προς βορρά.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:33	33,89	4,39			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 2 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.
23:18:34	34,00	4,50			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 2 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.
23:18:34	34,11	4,61			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 2 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.
23:18:34	34,22	4,72			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 2 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.
23:18:34	34,33	4,83			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 2 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.
23:18:34	34,44	4,94			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 2 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.
23:18:34	34,56	5,06			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 2 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.
23:18:34	34,67	5,17			Το fireball διογκώνεται και ανυψώνεται σταθερά (αρχική ποσότητα).	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 1 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.	Γίνεται εμφανής στην δεξιά πλευρά του fireball η ποσότητα από τον 2 ^ο εμβολισμό να επεκτείνεται προς βορρά.
23:18:34	34,78	5,28			Το φαινόμενο οδεύει προς κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας.		



















ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:34	34,89	5,39			Το φαινόμενο οδεύει προς κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας.		
23:18:35	35,00	5,50			Το φαινόμενο οδεύει προς κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας.		
23:18:35	35,13	5,63			Το φαινόμενο οδεύει προς κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας.		
23:18:35	35,25	5,75			Κορύφωση διαστάσεων fireball καθ' ύψος, πλάτος και προς βορρά. Κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας		
23:18:35	35,38	5,88			Εναρξη της κάμψης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:35	35,50	6,00			Εναρξη της κάμψης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:35	35,63	6,13			Εναρξη της κάμψης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:35	35,75	6,25			Εναρξη της κάμψης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:35	35,88	6,38			Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	



















ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:36	36,00	6,50			Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:36	36,11	6,61			Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:36	36,22	6,72			Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:36	36,33	6,83			Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:36	36,44	6,94			Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:36	36,56	7,06			Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας και των διαστάσεων.	Η ένταση της καύσης και η ακτινοβολία αυξάνονται. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:36	36,67	7,17			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:36	36,78	7,28			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Κορύφωση της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:36	36,89	7,39			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Έναρξη μείωσης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	



















ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:37	37,00	7,50			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Εναρξη μείωσης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:37	37,13	7,63			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Εναρξη μείωσης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:37	37,25	7,75			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Εναρξη μείωσης της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:37	37,38	7,88			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:37	37,50	8,00			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:37	37,63	8,13			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:37	37,75	8,25			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:37	37,88	8,38			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:38	38,00	8,50			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	


















ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:38	38,13	8,63			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:38	38,25	8,75			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:38	38,38	8,88			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:38	38,50	9,00			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:38	38,63	9,13			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:38	38,75	9,25			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:38	38,88	9,38			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:39	39,00	9,50			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:39	39,11	9,61			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ

CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:39	39,22	9,72			Η καύση της αρχικής μάζας βαίνει προς ολοκλήρωση.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:39	39,33	9,83			Η καύση της αρχικής μάζας έχει σχεδόν ολοκληρωθεί.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:39	39,44	9,94			Η καύση της αρχικής μάζας έχει σχεδόν ολοκληρωθεί.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:39	39,56	10,06			Η καύση της αρχικής μάζας έχει σχεδόν ολοκληρωθεί.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:39	39,67	10,17			Η καύση της αρχικής μάζας έχει σχεδόν ολοκληρωθεί.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:39	39,78	10,28			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:39	39,89	10,39			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:40	40,00	10,50			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:40	40,13	10,63			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
















ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ





















CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:40	40,25	10,75			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:40	40,38	10,88			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Σαφής κάμψη της έντασης της καύσης και της ακτινοβολίας. Οι διαστάσεις του fireball των δύο ποσοτήτων είναι σαφώς μικρότερες του αρχικού.	
23:18:40	40,50	11,00			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Το fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
23:18:40	40,63	11,13			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Το fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
23:18:40	40,75	11,25			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Το fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
23:18:40	40,88	11,38			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Το fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
23:18:41	41,00	11,50			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Το fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
23:18:41	41,13	11,63			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Το fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
23:18:41	41,25	11,75			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	Το fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΝΤΕΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ










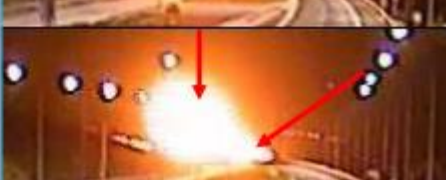










CAMERA TIMESTAMP	TIME (ΚΛΑΣΜΑ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΛΗΡΗΣ ΕΙΚΟΝΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 1ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ 2ΗΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
23:18:41	41,38	11,88			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	To fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
23:18:41	41,50	12,00			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	To fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
23:18:41	41,63	12,13			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	To fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
23:18:41	41,75	12,25			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	To fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
23:18:41	41,88	12,38			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	To fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	
23:18:42	42,00	12,50			Η καύση της αρχικής μάζας έχει ολοκληρωθεί. Δεν εμφανίζεται εκπομπή στο ορατό φάσμα.	To fireball των 2 ποσοτήτων που ανατροφοδότησαν το αρχικό οδεύει προς το τέλος του.	





















Ξ. Παράρτημα Β: Συγχρονισμός Βίντεο

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΒΟΡΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
0,000			
0,033			
0,133			
0,267			
0,400			
0,500			
0,633			
0,733	0,100		
0,867	0,234		
1,000	0,367		






TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΒΟΡΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
1,100	0,467		
1,233	0,600		
1,333	0,700		
1,467	0,834		
1,600	0,967		
1,700	1,067		
1,833	1,200		
1,933	1,300		
2,067	1,434		
2,200	1,567		





TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΒΟΡΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
2,300	1,667	+020_N_C (15A15-CAM04) 	
2,433	1,800	+020_N_C (15A15-CAM04) 	
2,533	1,900	+020_N_C (15A15-CAM04) 	
2,667	2,034	+020_N_C (15A15-CAM04) 	
2,800	2,167	+020_N_C (15A15-CAM04) 	
2,900	2,267	+020_N_C (15A15-CAM04) 	
3,033	2,400	+020_N_C (15A15-CAM04) 	
3,133	2,500	+020_N_C (15A15-CAM04) 	
3,267	2,634	+020_N_C (15A15-CAM04) 	
3,400	2,767	+020_N_C (15A15-CAM04) 	





TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΒΟΡΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
3,500	2,867		
3,633	3,000		
3,733	3,100		
3,867	3,234		
4,000	3,367		
4,100	3,467		
4,233	3,600		
4,333	3,700		
4,467	3,834		
4,600	3,967		





















TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΒΟΡΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
4,700	4,067		
4,833	4,200		
4,933	4,300		
5,067	4,434		
5,200	4,567		
5,300	4,667		
5,433	4,800		
5,533	4,900		
5,667	5,034		
5,890	5,257		




















TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΒΟΡΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
5,900	5,267		
6,033	5,400		
6,133	5,500		
6,267	5,634		
6,400	5,767		
6,500	5,867		
6,633	6,000		
6,733	6,100		
6,867	6,234		
7,000	6,367		

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΒΟΡΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
7,100	6,467		
7,233	6,600		
7,333	6,700		
7,467	6,834		
7,600	6,967		
7,700	7,067		
7,833	7,200		
7,933	7,300		
8,067	7,434		
8,200	7,567		

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΒΟΡΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
8,300	7,667		
8,433	7,800		
8,533	7,900		
8,667	8,034		
8,800	8,167		
8,900	8,267		
9,033	8,400		
9,133	8,500		
9,267	8,634		
9,400	8,767		

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΒΟΡΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
9,500	8,867		
9,633	9,000		
9,733	9,100		
9,867	9,234		
10,000	9,367		
10,100	9,467		
10,233	9,600		
10,333	9,700		
10,467	9,834		
10,600	9,967		

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΒΟΡΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
10,700	10,067		
10,833	10,200		
10,933	10,300		
11,057	10,424		
11,200	10,567		
11,300	10,667		
11,433	10,800		
11,533	10,900		
11,667	11,034		
11,800	11,167		

TIME 1	TIME 2	ΝΟΤΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΒΟΡΙΑ ΚΑΜΕΡΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
11,900	11,267		
12,033	11,400		
12,167	11,534		
12,267	11,634		
12,400	11,767		
12,500	11,867		
12,633	12,000		
12,767	12,134		
12,867	12,234		
13,000	12,367		

Ο. Παράρτημα Γ: Αποτύπωση fireball σε κάτοψη

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ (GOOGLE MAPS) ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΟΣ FIREBALL (ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΣ) ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ (GOOGLE MAPS) ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΟΣ FIREBALL
(ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ) ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ



ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ (GOOGLE MAPS) ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΟΣ FIREBALL (ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ) ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

