



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΚΑΙ
ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ**

**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ ΧΗΜΙΚΟΣ, ΟΠΤΙΚΟΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ Ν. ΣΤΑΥΡΑΚΑΚΗ, MBA, MSc
Πλοιάρχου (Μ) ΠΝ ε.α.**

ΑΘΗΝΑ 2012



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΚΑΙ
ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ**

**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ ΧΗΜΙΚΟΣ, ΟΠΤΙΚΟΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ Ν. ΣΤΑΥΡΑΚΑΚΗ, MBA, MSc
Πλοιάρχου (Μ) ΠΝ ε.α.**

ΑΘΗΝΑ 2012

ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μ. Σταθερόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Ν. Τζαμτζής, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Α. Παππά, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μ. Σταθερόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ (επιβλέπων)

Ν. Τζαμτζής, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Α. Παππά, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ

Ι. Αντωνιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Ν. Μήτρου, Καθηγητής ΕΜΠ

Μ. Ζερβάκης, Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης

Φ. Φουντάς, Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ανώτατη Σχολή Χημικών Μηχανικών δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα (Ν.5343/1932, Άρθρο 202).

Στην οικογένεια μου, ελάχιστο αντίδωρο

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κατά το διάστημα 2006-2012. Σ' αυτή την εργασία εφαρμόζεται και αξιολογείται, μία νέα και καινοτόμος μεθοδολογία, για την παρακολούθηση, εργαστηριακής κλίμακας, φωτιάς, με συνθήκες που προσομοιάζουν το πεδίο εσωτερικών χώρων. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκε η συνδυασμένη παρακολούθηση, στο εργαστήριο, της καύσης διάφορων, κοινών υλικών, με ποικιλία διαφορετικών προσομοιωμένων συνθηκών πεδίου. Η μελέτη αυτή βασίστηκε στην συνδυασμένη χημική, οπτική και ακουστική ανάλυση του φαινομένου.

Η χημική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το όργανο PSS-MS (Pulsed Sampling System – Mass Spectrometer), το οποίο ελέγχθηκε για την δυνατότητά του να παρακολουθεί on-line, ταχέως μεταβαλλόμενα και περίπλοκα φαινόμενα όπως αυτό της καύσης.

Στην οπτική ανάλυση πραγματοποιήθηκε επεξεργασία, Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκαν τεχνικές και αλγόριθμοι για την επεξεργασία των σημάτων αυτών.

Στην ακουστική ανάλυση, αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία, των ακουστικών σημάτων που ελήφθησαν από πυκνωτικό μικρόφωνο και τα οποία αναλύθηκαν περαιτέρω, με κατάλληλους αλγόριθμους, που αναπτύχθηκαν για το σκοπό αυτό.

Επίσης, στα ανωτέρω επεξεργασμένα σήματα εφαρμόστηκαν σύγχρονες τεχνικές μοντελοποίησης για τον εντοπισμό των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών από την καύση του κάθε υλικού.

Επίσης, η παραπάνω μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο για την συνδυασμένη χημική, ακουστική και οπτική παρατήρηση και ανάλυση εργαστηριακής κλίμακας φωτιάς, μεταφέρθηκε στο ανοιχτό πεδίο. Ειδικότερα, η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη, μεγάλης κλίμακας, φωτιάς δασικής ύλης. Επίσης, στο πείραμα αυτό έγινε και εφαρμογή της θερμογραφίας για την οπτική ανάλυση του φαινομένου αυτού.

Από την παρούσα διατριβή προέκυψαν μία δημοσίευση στο περιοδικό *Sensors and Actuators: Chemical B*, μία δεύτερη εργασία έχει ήδη υποβληθεί στο ίδιο περιοδικό, μία τρίτη εργασία ήδη προετοιμάζεται για υποβολή σε κατάλληλο διεθνές επιστημονικό περιοδικό, τέσσερις ανακοινώσεις στο διεθνές συνέδριο *ONSITE International Conference On-Site Analysis for Homeland Security, Forensics and Environmental Remediation*, τα έτη 2006, 2008, 2009 και 2011, που πραγματοποιείται στις ΗΠΑ και μία ανακοίνωση στο διεθνές συνέδριο *Annual Meeting of Marine Technology 2010, Technological Conference & Exhibition, Hellenic Institute of Marine Technology*, 31 November – 1 December 2010, Athens, Greece. Επίσης υποβλήθηκε προς κρίση μία ανακοίνωση στο διεθνές συνέδριο *SNAME 4th International Symposium on “Ship Operations, Management and Economics”*, November 8-9, 2012 Athens. Επίσης προέκυψαν και δύο αναρτήσεις *Posters* σε διεθνή συνέδρια, το πρώτο ήταν στο *Structure 2010, Advances In Structure Elucidation*, 24 – 25 February, 2010, Leicestershire, U.K. και το δεύτερο ήταν στο *11th International Conference on Chemometrics in Analytical Chemistry*, July, 2008, Montpellier, France.

Στην προσπάθεια για την εκπόνηση και την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής καθοριστικός ήταν ο ρόλος αρκετών ανθρώπων. Αποτελεί ιδιαίτερη τιμή, για τον υπογράφοντα, η ευεργετική συνεισφορά, αυτών των εξαιρετων προσώπων, στους σκοπούς αυτής της εργασίας. Για το λόγο αυτό, η έκφραση των ευχαριστιών του υπογράφοντα είναι ένα ελάχιστο δείγμα βαθιάς εκτίμησης προς τα άτομα αυτά. Οι πιο θερμές ευχαριστίες του υπογράφοντα απευθύνονται, ως κάτωθι:

Στον Καθηγητή, κ. Μιλτιάδη Σταθερόπουλο της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την ευκαιρία που έδωσε στον υπογράφο για να εκπονήσει τη διατριβή αυτή και την σημαντική του συμβολή, με τις επιστημονικές του παρεμβάσεις και τις γόνιμες παρατηρήσεις, ώστε, τα θέματα που διαπραγματεύεται η παρούσα μελέτη, να προσεγγιστούν με την μέγιστη δυνατή επιστημονική διάθεση.

Στην Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Αθηνά Παππά, της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την αμέριστη συμπαράστασή της αλλά και το έμπρακτο ενδιαφέρον που έδειξε κατά την πορεία της παρούσας εργασίας, τις χρήσιμες και εποικοδομητικές υποδείξεις στη συγγραφή της παρούσας διατριβής.

Στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Νικόλαο Τζαμτζή, της Σχολής Χημικών Μηχανικών, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την συμμετοχή του στην συμβουλευτική επιτροπή.

Στον Καθηγητή, κ. Μιχάλη Ζερβάκη, του Τμήματος Ηλεκτρονικών και Μηχανικών Υπολογιστών, του Πολυτεχνείου Κρήτης και Διευθυντή του Εργαστηρίου Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων και Εικόνας, για το ενδιαφέρον, την προσήλωσή του και τις πολύτιμες υποδείξεις που συνέδραμαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Στον Επίκουρο Καθηγητή, κ. Σπύρο Φουντά, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ουσιαστική συμβολή του και το έμπρακτο ενδιαφέρον στους σκοπούς αυτής της εργασίας.

Στον κ. Simon Blackmore, Professor at Harper Adams University College και Visiting Professor σε πέντε ακαδημαϊκά και ερευνητικά ιδρύματα, για το ιδιαίτερο ενδιαφέρον και τις χρήσιμες υποδείξεις του.

Στον Ομότιμο Καθηγητή, κ. Γεώργιο Σαρόγλου, του Τμήματος Νοσηλευτικής του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την ουσιαστική συμβολή στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Στους νυν και παλιούς συνεργάτες της Μονάδας Χημικών Αναλύσεων και Τεχνολογίας Πεδίου (Field Analytical Chemistry and Technology Unit - FIACTU), του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και ιδιαίτερα τους παρακάτω:

Στην συνοδοιπόρο και σύμβουλο, Διδάκτορα κ. Κατερίνα Μικέδη, ΙΔΑΧ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για κάθε χρήσιμη παραίνεση, διδαχή και καθοδήγηση καθώς και την υπευθυνότητα και προσήλωση με την οποία συνεπέβλεψε την διεξαγωγή των πειραμάτων, των αναλύσεων και γενικά όλη την πορεία της παρούσας εργασίας.

Στον συνοδοιπόρο και σύμβουλο, Διδάκτορα κ. Αγάπιο Αγαπίου, ΙΔΑΧ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την συμπαράσταση και την προσήλωση στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Στην Διδάκτορα κ. Σοφία Κάρμα, ΙΔΑΧ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στον Διδάκτορα κ. Γεώργιο Πάλλη και τον κ. Σταμάτη Γιαννούκο, για την συμπαράσταση, την υποστήριξη και την διάθεση συνεργασίας τους.

Επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες και μνεία αξίζουν, στον κ. Ευάγγελο Αδαλή, Senior Surveyor at Lloyd's Register, στους κ. Δρ. Παύλο Σαράφη και κ. Ελπινίκη Παπαγεωργίου, Καθηγητές Εφαρμογών στο ΤΕΙ Λαμίας, στον κ. Παντελή Σταυρουλιδάκη, της εταιρείας SCICOM ΑΕ, στον κ. Πέτρο Μπουτσελάκη, της εταιρείας NAYTEX ΑΕ, στον Δρ. Ευθύμη Παριώτη, Λέκτορα στην Σχολή Ναυτικών Δοκίμων, στην Υποψήφια Διδάκτορα κ. Κωνσταντίνα Μοιρογιώργου στο Πολυτεχνείο Κρήτης, στον κ. Χρήστο Κουφομιχάλη, της εταιρείας ΕΛΜΟΝ ΑΕ, στους κ. Βασίλειο Χαρμπίλα και κ. Μάρκελο Βλασόπουλο, της εταιρείας SIGNAL ΑΕ, στον κ. Δρ. Ιωάννη Ανδρέου, της εταιρείας ΕΛΠΕ ΑΕ, και στον κ. Δρ. Μιχάλη Χάλαρη, του

Υπουργείου Εργασίας, οι οποίοι ποικιλοτρόπως εξέφρασαν την υποστήριξη τους και την αρωγή τους και έδειξαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους σκοπούς της διατριβής αυτής, συντελώντας έτσι αποφασιστικά στην υπέρβαση των δυσχερειών και στην ολοκλήρωση της προσπάθειας αυτής.

Τέλος, η κατευόδωση και η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής οφείλεται κατά κύριο στην ηθική και συναισθηματική υποστήριξη της οικογένειάς του υπογράφοντος, η οποία επέδειξε απaráμιλλη κατανόηση, ακόμη και ανοχή, για τον χρόνο που στερήθηκε τον πατέρα και σύζυγο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας η οποία θα ενσωματώνει το PSS-MS και την τεχνολογία ανάλυσης ήχου και εικόνας προκειμένου να είναι εφικτή η ολοκληρωμένη παρακολούθηση τόσο σε μοριακό όσο και μακροσκοπικό επίπεδο, του φαινομένου της καύσης στο εργαστήριο σε ελεγχόμενες συνθήκες, που θα προσομοιάζουν με το πεδίο εσωτερικών χώρων. Στην παρούσα διατριβή εφαρμόζεται ο συνδυασμός της φασματομετρίας μάζας, με την οπτική και ακουστική ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, ένα εμπορικό MS (Mass Spectrometer) που συνδυάστηκε με το παλμικό δειγματοληπτικό σύστημα PSS (Pulsed Sampling System) πρωτότυπης τεχνολογίας ΕΜΠ χρησιμοποιήθηκε μαζί με οπτικό και ακουστικό αισθητήρα, δηλαδή μία κάμερα CCD οπτικού φάσματος και ένα κατευθυντικό πυκνωτικό μικρόφωνο για την παρακολούθηση και ανάλυση του φαινομένου της καύσης στο εργαστήριο.

Επίσης, η μεθοδολογία αυτή περιλαμβάνει τις τεχνικές εκείνες που επιτρέπουν την αποτελεσματική συλλογή δεδομένων από τα αισθητήρια όργανα και την επεξεργασία τους. Η επεξεργασία των σημάτων των αισθητήρων που αναπτύχθηκε στην εργασία αυτή, είχε σαν σκοπό την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων που αφορούν στην χρονική εξέλιξη του φαινομένου της καύσης αλλά και στην απόκτηση της κρίσιμης πληροφορίας, όπου με βάση αυτήν θα είναι εφικτός ο εντοπισμός και ο χαρακτηρισμός των μοναδικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων σημάτων προκειμένου να ταυτοποιηθούν ιδιαίτερα στοιχεία της καύσης.

Για την υλοποίηση των σκοπών της παρούσας διατριβής αναπτύχθηκε η κατάλληλη υποδομή και το κατάλληλο πειραματικό πρωτόκολλο για την πραγματοποίηση των πειραμάτων καύσης. Επιπλέον, τα τελικά πειράματα της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν σε δύο σειρές στο εργαστήριο καθώς και ένα πείραμα μεγάλης κλίμακας στο πεδίο.

Στην πρώτη σειρά πειραμάτων αναπτύχθηκαν δύο σενάρια που προσομοίαζαν διαφορετικές συνθήκες πεδίου. Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκε η απευθείας παρατήρηση της καύσης αλλά και η παρατήρηση με την παρεμβολή εμποδίων. Η παρεμβολή των εμποδίων επηρέαζε την μακροσκοπική παρατήρηση του φαινομένου. Ο σκοπός των πειραμάτων αυτών ήταν αφενός η διερεύνηση της δυνατότητας του PSS-MS για την on-line παρακολούθηση των VOCs που εκλύονται κατά την διάρκεια των πειραμάτων καύσης και αφετέρου εάν η δυνατότητα κάθε τεχνολογίας να λειτουργήσει συμπληρωματικά ή επιβεβαιωτικά στις άλλες δύο, στην παρατήρηση του φαινομένου της καύσης.

Στην επόμενη σειρά πειραμάτων μελετήθηκε η καύση τριών διαφορετικών υλικών. Τα υλικά αυτά ήταν το βαμβακερό ύφασμα, το λευκό χαρτί εκτύπωσης και το αποξηραμένο ξύλο δρυς. Η καύση σ' αυτά τα πειράματα πραγματοποιήθηκε με κλίση 30° και χωρίς παρεμβολή εμποδίων, έτσι ώστε να προσομοιωθεί η καύση στο πεδίο με διαφοροποιημένες από την προηγούμενη σειρά πειραμάτων συνθήκες. Στα πειράματα αυτά η επιδίωξη ήταν να βελτιστοποιηθούν οι αλγόριθμοι επεξεργασίας των χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων, έτσι ώστε να διερευνηθεί πλέον η αξιοπιστία της προτεινόμενης μεθόδου για την παρακολούθηση του φαινομένου καύσης διαφορετικών υλικών και που παρουσιάζουν διαφορές στην καύση τους. Επιπλέον επιδιώχθηκε να διερευνηθεί και να ελεγχθεί η αναλυτική ικανότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας με την χρήση τεχνικών μοντελοποίησης.

Η βελτίωση των αλγορίθμων διευκόλυνε την εξαγωγή γνώσης που στα προηγούμενα πειράματα δεν ήταν εφικτή. Επιπλέον η διαδικασία μοντελοποίησης με τα βελτιωμένα επεξεργασμένα σήματα εντόπισε μοναδικά χαρακτηριστικά από την καύση του κάθε υλικού. Για τα ακουστικά και τα οπτικά σήματα η μοντελοποίηση έγινε στη χρονική ακολουθία, ενώ η επεξεργασία των ακουστικών σημάτων έλαβε χώρα στο

συχνοτικό φάσμα (frequency domain) έτσι ώστε να αναλυθούν στις αρμονικές τους και να αποκωδικοποιηθεί η χρήσιμη φέρουσα πληροφορία. Επιπρόσθετα, η διαδικασία της μοντελοποίησης αποτέλεσε ένα σημαντικό εργαλείο ελέγχου της αναλυτικής δυνατότητας της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Τα συμπεράσματα αυτής της διαδικασίας έδειξαν ότι με βάση τα επεξεργασμένα σήματα των αισθητήρων εντοπίστηκαν και ταυτοποιήθηκαν μοναδικά χαρακτηριστικά της καύσης του κάθε υλικού.

Πέραν των ανωτέρω, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο με τις ελεγχόμενες και σε μικρή κλίμακα φωτιές μεταφέρθηκε στο ανοιχτό πεδίο. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε η οπτική, χημική και ακουστική παρατήρηση της καύσης δασικής ύλης μεγάλης κλίμακας στο ανοιχτό πεδίο. Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόστηκε με διαφοροποίηση των αισθητηρίων οργάνων. Αυτό σημαίνει ότι η οπτική παρατήρηση πραγματοποιήθηκε με θερμογραφική κάμερα στο υπέρυθρο φάσμα αντί του οπτικού φάσματος που έγινε στο εργαστήριο με τον αισθητήρα CCD και η χημική ανάλυση βασίστηκε στα δεδομένα του αναλυτή καυσαερίων MRU Delta 1600V αντί του PSS-MS που έγινε στο εργαστήριο: παρά τις δυσκολίες, τελικά διαπιστώθηκε ότι και οι τρεις τεχνολογίες παρακολούθησαν το φαινόμενο με ακρίβεια και παρουσίασαν ευαισθησία στις μεταβολές του φαινομένου.

Συμπερασματικά, η προτεινόμενη μεθοδολογία παρουσίασε την δυνατότητα να παρακολουθεί αποτελεσματικά το φαινόμενο της καύσης τόσο στο εργαστήριο αλλά και στο πεδίο. Η αναλυτική δυνατότητα της συνδυαστικής δράσης των τριών τεχνολογιών είχε ως αποτέλεσμα, μέσω της διαδικασίας της επεξεργασίας σημάτων και της μοντελοποίησης, τον εντοπισμό ιδιαίτερων και μοναδικών στοιχείων της καύσης του κάθε υλικού. Οι προοπτικές που ανοίγονται από τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, μέσω της περαιτέρω διερεύνησης, αφορούν σε νέες εφαρμογές παρακολούθησης του πεδίου για την έγκαιρη ανίχνευση και ταυτοποίηση επικίνδυνων φαινομένων στο πεδίο.

ABSTRACT

In the present doctoral thesis an integrated method proposed, where, PSS-MS, acoustic, and video sensing technologies were used for monitoring lab scale indoor fires under controlled field simulated conditions. In this work, mass spectrometry was combined with optical and acoustical analysis. In particular, a commercial MS (Mass Spectrometer) combined with the in-house developed PSS (Pulsed Sampling System) were used with an optical and an acoustic sensor in order to monitor lab scale burning. The optical sensor was a CCD (Charged Coupled Device) camera operating in visual spectrum. The acoustic sensor was a shotgun condenser microphone with frequency range 20 – 20000 Hz.

In addition, the proposed method includes all the techniques used for efficient data acquisition, which collected from sensory equipment. The developed, for this work, signal processing had the aim to reach to conclusions regarding the burning evolution process. Besides the processing of raw data, a quite effective approach proceeds with the modelling of the signal waveform through curve fitting and the utilization of model parameters as characteristic features. In the modelling process, the effort was focused to explore model parameters for the various (chemical or physical) signals in order to select unique characteristics during the burning of each different material.

For implementing the experimental section of this thesis, the appropriate experimental set-up and protocol were developed. The final fire monitoring experiments were performed in two lab series and a scale-up experiment in open field.

In the first series, two types of fire experiments were carried out; direct and indirect fire monitoring experiments. The main objective of indirect fire monitoring experiments was to simulate the case where physical obstacles in the field prevent the microphone and the camera from direct fire monitoring.

In these experiments, audio and video signals either reaffirmed the chemical detection inferences or they provided complementary information when limitations in chemical detection occurred. Similarly, chemical detection in molecular base but strongly related to macroscopic phenomena, supplemented audio and video monitoring when macroscopic scale observations were absent. Audio and video signals proved to provide useful information about the fire event even when physical obstacles prevented the direct audio and video monitoring of the fire. Reflected audio and video signals on metallic surfaces or audio signals from the interaction of the fire with the surrounding materials were recorded and combined with PSS-MS measurements in those cases.

In the next series of fire monitoring experiments the burning of different common materials such as cotton textile, inkjet white paper, and oak wood was investigated in lab environment under controlled field-simulated conditions. The burning of combustible materials took place on an inclined metallic plate, with angular orientation 30° with the horizontal level.

Integration of mass spectrometry with audio and video signals enabled combined monitoring of the event in both molecular and macroscopic scale. The synergistic effects of the three sensing technologies supplemented by signal processing and modelling appeared to be significant for studying the fire patterns of different materials. Chemical, video and acoustic signal processing took place as an exploratory work in order to identify modalities during burning process of different materials, through the modelling and curve fitting techniques. For the chemical and optical responses the temporal models with curve fitting were used, whereas for the acoustic signal the spectral analysis was used for quantifying harmonics. The extrapolations of this work were ensued with initial models, characteristic for each material studied.

In the scale-up experiment the proposed method, developed for monitoring lab scale indoor fire, was applied to monitor a large scale fire of dried forest material in the open field. More specifically a large fire was on-site monitored by chemical, optical and acoustical sensors. The chemical analysis was performed by gas exhaust analyser MRU 1600V Delta, as well as video and acoustical signal were provided a thermographic camera and a shotgun condenser microphone, respectively. Despite difficulties, originated by field conditions, the proposed integrated method was successfully employed.

In conclusion, the proposed method presented the capability to effectively monitor the burning process, under lab and field conditions. The analytical capability of the combined action of the three sensing technologies has effected by signal processing and modeling to identify unique characteristics of each material's combustion. The promising potentials of the present work, with further elaboration, might find field monitoring applications regarding the early warning and identification of hazardous and unsafe conditions.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Γενικά	1
1.2. Η περιγραφή του προβλήματος και η προσέγγισή του στην διατριβή	1
1.3. Στόχος, αντικείμενο και πρωτοτυπία της διατριβής	3
1.4. Συνοπτική παρουσίαση της δομής	6
ΜΕΡΟΣ Ι: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ	11
2.1. Γενικά	11
2.2. Ακουστικοί Αισθητήρες	13
2.2.1. Sound-Level Meter	15
2.2.2. Βαθμονόμηση	15
2.2.3. Νέες Τεχνολογίες	16
2.2.3.1. Οπτικοί Αισθητήρες	16
2.2.3.2. Solid-State Sensors	16
2.2.3.3. Νέα Υλικά	16
2.3. Οργανολογία Επεξεργασίας Ακουστικών Δεδομένων	17
2.4. Ηχοεντοπισμός	17
2.4.1. Acoustic Holography – Beamforming	18
Βιβλιογραφία	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΟΠΤΙΚΗ	23
3.1. Γενικά	23
3.2. Καταγραφή και απεικόνιση	24
3.2.1. Αισθητήρες CMOS	25
3.2.2. Αισθητήρες CCD	26
3.3. Υπέρυθρη Ακτινοβολία και Θερμική Απεικόνιση	27
3.3.1. Λειτουργία της κάμερας Θερμικής απεικόνισης	28
3.4. Ενδοσκόπιο	30
3.5. Εκπομπή, αναπαραγωγή και αποθήκευση εικόνας και βίντεο	30
3.5.1. Αναπαραγωγή βίντεο	31
3.5.2. Αποθήκευση βίντεο	32
Βιβλιογραφία	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΔΙΟΥ	35
4.1. Γενική περιγραφή της χημικής ανάλυσης πεδίου	35
4.2. Χημικοί αισθητήρες - είδη και εφαρμογές	37
4.2.1. Αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας	38
4.2.2. Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες	39
4.2.3. Ημιαγώγιμοι αισθητήρες	39
4.2.4. Αισθητήρες Φωτοϊονισμού	40
4.2.5. Καταλυτικοί Αισθητήρες	40
4.2.6. Αισθητήρες Ακουστικής Επιφάνειας	42
4.2.7. Εφαρμογές	42
4.3. Φασματομετρικές μέθοδοι για εφαρμογές πεδίου	45
4.3.1. Φασματομετρία μάζας (MS – Mass Spectrometry)	45
4.3.1.1 Total Ion Current	47

4.3.2. Φασματομετρία Κινητικότητας Ιόντων (IMS – Ion Mobility Spectrometry)	47
4.4. Φορητά ή μεταφερόμενα αναλυτικά όργανα πεδίου	49
Βιβλιογραφία	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	54
5.1. Ορισμός, παραδείγματα και εφαρμογές απόκτησης δεδομένων	54
5.2. Υλικό και λογισμικό	54
5.3. Οι μετατροπείς	55
5.4. Οι συσκευές επεξεργασίας σήματος	55
5.4.1. Μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D converters)	56
Βιβλιογραφία	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ	58
6.1. Γενικά	58
6.2. Επεξεργασία αναλογικού σήματος (Analog Signal Processing)	59
6.3. Ψηφιακή επεξεργασία σήματος (Digital Signal Processing – DSP)	59
6.4. Μετατροπείς Σήματος (Signal Converters)	60
6.4.1. Μετατροπέας Ψηφιακού σήματος σε Αναλογικό (DAC)	61
6.4.2. Μετατροπέας Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό (ADC)	62
6.4.2.1. Δειγματοληψία Αναλογικών Σημάτων	62
6.4.2.2. Κβάντιση ή Τμηματοποίηση	63
6.4.2.3. Κωδικοποίηση των Κβαντισμένων Δειγμάτων	63
6.5. Σήματα και συστήματα	64
6.6. Μετασχηματισμοί σημάτων	65
6.7. Ο μετασχηματισμός Laplace	65
6.8. Ο μετασχηματισμός Z	66
6.9. Ο μετασχηματισμός Hilbert	66
6.10. Ο μετασχηματισμός Fourier	66
6.11. Πολυπλεξία	67
6.12. Δειγματοληψία	68
6.13. Ψηφιακά Φίλτρα	68
6.14. Ανάλυση ακουστικού σήματος	69
6.14.1. Φίλτρα	70
6.15. Ανάλυση εικόνας και video	72
6.16. Ανάλυση χημικού σήματος	74
Βιβλιογραφία	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ	79
7.1. Γενικά	79
7.2 Ανάλυση των αιτιών που σχετίζονται με την πρόκληση ναυτικών ατυχημάτων	80
7.3. Παρακολούθηση πεδίου στο πλοίο	82
7.3.1. Συστήματα πηδαλίου και εντοπισμού ανωμαλιών στην κίνηση του πλοίου	83
7.3.2. Σταθμιστήρες	84
7.3.3. Συστήματα εντοπισμού ανώμαλων λειτουργιών μηχανής	84
7.3.4. Συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς στους επικίνδυνους χώρους του πλοίου	91
7.3.5. Συστήματα ανίχνευσης στοιχείων σε συστήματα κλιματισμού/ εξαερισμού και στους χώρους του πλοίου	92
7.4. Συστήματα ελέγχου	93

7.5. Συναγερμοί	94
7.6. Ολοκληρωμένα συστήματα ασφαλείας	95
7.7. Εμπορικές εφαρμογές	98
7.7.1. Martek Marine	98
7.7.2. Wärtsilä	99
7.7.3. CMR	99
7.7.4. Bjørge Marine Automation	99
7.7.5. KONGSBERG	99
7.7.6. Sperry Marine	100
7.7.7. EMI	100
7.7.8. Lyngsø MARINE	101
7.7.9. Converteam	101
7.7.10. TeCoMan	101
7.7.11. Kingcat MCAS	102
7.8. Ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας ασφαλείας στο πλοίο	103
Βιβλιογραφία	105

ΜΕΡΟΣ ΙΙ: ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ	112
8.1. Γενικά	112
8.2. Χημική Ανάλυση	112
8.2.1. QRAE PLUS, PGM-2000	112
8.2.2. MRU Delta 1600 V	113
8.2.3. Anagas CD98 Carbon Dioxide (CO ₂)	114
8.2.4. Φασματογράφος μάζας HP 5972A MSD	115
8.3. Οπτική ανάλυση	116
8.3.1. Κάμερα οπτικού φάσματος GANZ ZC-Y12	116
8.3.2. Θερμογραφική κάμερα FLIR T360	117
8.3.3. Θερμική κάμερα FLIR VRS-6	117
8.4. Ακουστική ανάλυση	118
8.4.1. Το μικρόφωνο AKG C 391 B	118
8.4.2. Προενισχυτής AKG SE 300 B	118
8.4.3. Εξωτερική κάρτα ήχου M- AUDIO, Fast Track Pro	119
8.5. Λοιπός εξοπλισμός	119
8.5.1. Εξαεριστήρας	119
8.5.2. Pinneacle video transfer δεδομένων	120
8.5.3. Εξωτερική κάρτα Crypto TV4ALL	121
8.5.4. Φορητός Μετεωρολογικός Σταθμός	121
8.6. Λειτουργικά προγράμματα	121
8.6.1. Audacity 1.2.6	122
8.6.2. MRU 32 Bit Data Logger	122
8.6.3. Matlab -image processing toolbox	122
8.6.4. HonestechTVR2.5	123
8.6.5. VLC media player	123
8.6.6. MS chemstation	123
Βιβλιογραφία	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	125
9.1. Γενικά	125
9.2. Πειραματική Διάταξη	126

9.3. Όργανα και Συσκευές	128
9.4. Πειραματικό Πρωτόκολλο	132
9.5. Επεξεργασία Δεδομένων – Μεθοδολογία	133
9.5.1. Υπηρεσία Central Cloud του ΕΜΠ	133
9.5.1.1. Υπηρεσία Cloud Storage του ΕΜΠ	133
9.5.2. Επεξεργασία Εικόνας	133
9.5.3. Επεξεργασία Ήχου	136
Βιβλιογραφία	138
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΕΜΠΟΔΙΩΝ	139
10.1. Εισαγωγή	139
10.2. Στόχοι	140
10.3. Υλικά	140
10.4. Απευθείας Παρατήρηση Χωρίς την Ύπαρξη των Εμποδίων	140
10.4.1. Χημική Ανάλυση	141
10.4.1.1. Αναλυτής Καυσαερίων MRU Delta 1600	141
10.4.1.2. PSS-MS	143
10.4.1.2.1. Χαρακτηριστικά Λειτουργικότητας (Figures of Merits)	143
10.4.1.2.2. Μέθοδος Ανίχνευσης και Παρακολούθησης	143
10.4.1.2.3. Αποτελέσματα	144
10.4.2. Οπτική Ανάλυση	146
10.4.2.1. Εξέταση της Μεταβολής του R	146
10.4.2.2. Εξέταση της Μεταβολής του G	148
10.4.2.3. Εξέταση της Μεταβολής του B	149
10.4.2.4. Σύγκριση των Μεταβολών του R, G και του B	151
10.4.3. Ακουστική Ανάλυση	152
10.5. Παρακολούθηση Με Εμπόδια	155
10.5.1. Οπτική Ανάλυση	157
10.5.1.1. Εξέταση της Μεταβολής των R, G και B	158
10.5.2 Ακουστική Ανάλυση	161
10.6. Συγκρίσεις Αποτελεσμάτων	162
10.7. Συμπεράσματα	164
Βιβλιογραφία	166
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ, ΥΠΟ ΚΛΙΣΗ, ΤΡΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	167
11.1. Εισαγωγή	167
11.2. Στόχοι	168
11.3. Υλικά	168
11.3.1. Επιλογή των υλικών	168
11.3.2. Καύση των στερεών υλικών	169
11.4. Επεξεργασία Δεδομένων	170
11.4.1. Οπτική Ανάλυση	170
11.4.2. Ακουστική Ανάλυση	171
11.4.3. Κανονικοποίηση των Επεξεργασμένων Σημάτων	173
11.4.4. Μοντελοποίηση και Προσαρμογή Καμπύλης	173
11.5. Καύση Βαμβακερού Υφάσματος	173
11.5.1. Χημική Ανάλυση Καύσης του Βαμβακερού Υφάσματος	174
11.5.2. Οπτική Ανάλυση Καύσης του Βαμβακερού Υφάσματος	176
11.5.3. Ακουστική Ανάλυση Καύσης του Βαμβακερού Υφάσματος	179

11.5.4. Κανονικοποίηση των Επεξεργασμένων Σημάτων Καύσης του Βαμβακερού Υφάσματος	180
11.6. Καύση Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης	181
11.6.1. Χημική Ανάλυση Καύσης του Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης	182
11.6.2. Οπτική Ανάλυση Καύσης του Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης	185
11.6.3. Ακουστική Ανάλυση Καύσης του Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης	187
11.6.4. Κανονικοποίηση των Επεξεργασμένων Σημάτων Καύσης του Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης	188
11.7. Καύση Ξύλου	189
11.7.1. Χημική Ανάλυση Καύσης του Ξύλου	190
11.7.2. Οπτική Ανάλυση Καύσης του Ξύλου	193
11.7.3. Ακουστική Ανάλυση Καύσης του Ξύλου	194
11.7.4. Κανονικοποίηση των Επεξεργασμένων Σημάτων Καύσης του Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης	195
11.8. Μοντελοποίηση της καύσης του βαμβακερού υφάσματος, του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και του ξύλου	196
11.8.1. Χημικές Υπογραφές	197
11.8.2. Οπτικές Υπογραφές	200
11.8.3. Ακουστικές Υπογραφές	203
11.9. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων	206
11.10. Συμπεράσματα	208
Βιβλιογραφία	210
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12: ΠΕΙΡΑΜΑ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΟ ΑΝΟΙΧΤΟ ΠΕΔΙΟ	211
12.1. Εισαγωγή	211
12.2. Στόχος	211
12.3. Υλικά	212
12.4. Εξοπλισμός και χρήση του στο πεδίο	212
12.5. Πειραματικό Πρωτόκολλο	213
12.6. Αποτελέσματα	215
12.6.1. Χημική Ανάλυση	217
12.6.2. Ακουστική Ανάλυση	219
12.6.3. Οπτική Ανάλυση	224
12.6.3.1. Εξοικείωση με τις θερμικές και θερμογραφικές κάμερες	225
12.6.3.2. Εξέταση της Μεταβολής του Average Gray Intensity και του R	226
12.7. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων	228
12.8. Συμπεράσματα	231
Βιβλιογραφία	232
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	233
13.1. Συμπεράσματα	233
13.2. Συμπεράσματα 1ης σειράς πειραμάτων	233
13.3. Συμπεράσματα 2ης σειράς πειραμάτων	234
13.4. Συμπεράσματα από το πείραμα εξωτερικού πεδίου.	237
13.5. Γενικά συμπεράσματα και προσφορά διατριβής	238
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14: ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	240
14.1. Γενικά	240
14.2. Βελτίωση του PSS-MS	240
14.3. Πειραματικός Σχεδιασμός Επόμενων Πειραμάτων	243
14.3.1. Σκοπός και στόχος των Επόμενων Πειραμάτων	243

14.3.2. Οργανολογία	243
1.4.3.3. Ανάπτυξη Κατάλληλου Πειραματικού Πρωτοκόλλου	245
1.4.3.4. Επεξεργασία Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο	247
1.4.3.4.1. Ορισμοί	247
1.4.3.4.2. Προτάσεις	248
14.4. Επισημάνσεις	249
Βιβλιογραφία	251
Ευρετήριο Εικόνων	252
Ευρετήριο Πινάκων	255
Ευρετήριο Διαγραμμάτων	256
ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ: Σχέδιο Ασφαλείας των Πειραμάτων Καύσης	260
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Δημοσιεύσεις και Ανακοινώσεις	267

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Η ανάπτυξη των διαφόρων τεχνολογιών αισθητήρων έδωσε την δυνατότητα εφαρμογής διαφόρων αναλυτικών μεθόδων και τεχνολογιών στο πεδίο. Μερικές από τις πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές αποτελούν εκείνες οι τεχνολογίες που επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση συγκεκριμένων φαινομένων και έχουν την δυνατότητα να παράσχουν έγκαιρη προειδοποίηση όταν μία κατάσταση τείνει να γίνει κρίσιμη. Αυτό δύναται να πραγματοποιηθεί μέσω της παρακολούθησης διαφόρων χαρακτηριστικών παραμέτρων μίας διαδικασίας που, όταν προσεγγίζουν προκαθορισμένα όρια, τότε σημαίνεται προειδοποίηση.

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται σ' αυτές τις τεχνολογίες, όταν το κριτήριο για τον χαρακτηρισμό μίας κρίσιμης κατάστασης είναι ο συνδυασμός διαφόρων παραμέτρων. Το ζητούμενο είναι όχι μόνο να κριθεί τότε μία κατάσταση τείνει να γίνει κρίσιμη και να δοθεί έγκαιρη προειδοποίηση αλλά να αποκλειστεί και το ενδεχόμενο του ψευδοσυναγερμού.

Το φαινόμενο του ψευδοσυναγερμού και η συχνή επανάληψη του στο πεδίο, σε συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου, έχει επιπτώσεις που δύνανται να εξελιχθούν σε ανεπιθύμητες καταστάσεις.

Η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται από τα συστήματα αισθητήρων μπορούν να επεξεργαστούν σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να εξάγονται συμπεράσματα για την εξέλιξη της υπό παρακολούθηση διαδικασίας. Επιπρόσθετα, η επεξεργασία δεδομένων σε δεύτερο χρόνο επιτρέπει την εξαγωγή και την επισήμανση της χρήσιμης γνώσης, που θα υποστηρίξει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και τη λύση προβλημάτων.

1.2. Η περιγραφή του προβλήματος και η προσέγγιση του στην διατριβή

Στην παρούσα διατριβή εφαρμόζεται ο συνδυασμός της χημικής ανάλυσης πεδίου γενικά και ειδικότερα η φασματομετρία μάζας με την οπτική και ακουστική ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, ένα εμπορικό MS (Mass Spectrometer) που συνδυάστηκε με το παλμικό δειγματοληπτικό σύστημα PSS (Pulsed Sampling Switch), πρωτότυπης τεχνολογίας ΕΜΠ, χρησιμοποιήθηκε μαζί με οπτικό και ακουστικό αισθητήρα για την παρακολούθηση και ανάλυση του φαινομένου της καύσης στο εργαστήριο.

Το πρώτο ζητούμενο της παρούσας εργασίας ήταν η αξιοποίηση του οργάνου PSS-MS για την online παρακολούθηση σύνθετων φαινομένων στο πεδίο. Η πραγματοποίηση ενός τέτοιου στόχου οφείλει να λάβει υπόψη τα παρακάτω:

α. Γενικά τα MS είναι όργανα, τα οποία παρουσιάζουν υψηλή ευαισθησία και επιλεκτικότητα με ικανότητα να ανιχνεύουν γρήγορα ένα ευρύ φάσμα αερίων και

VOCs. Για το λόγο αυτό, η τεχνολογία αυτή, παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον για εφαρμογές πεδίου, όπου απαιτείται αξιόπιστη και σχεδόν πραγματικού χρόνου χημική ανάλυση δυναμικών διαδικασιών και μεταβατικών φαινομένων. Υπάρχει, όμως, ένα πλήθος θεμάτων, όπως είναι η φορητότητα, η αντοχή, η χαμηλή απαίτηση ισχύος και η αποτελεσματική δειγματοληψία, η διευθέτηση των οποίων προηγείται της μεταφοράς του MS στο πεδίο.

β. Η ανάπτυξη του PSS όμως δίνει την δυνατότητα δειγματοληψίας σε οξειδωτικό ή υψηλά επιβαρυσμένο περιβάλλον καθώς ελαχιστοποιείται η επίδραση του οξυγόνου ή των μολυσματικών παραγόντων στον αναλυτή και την πηγή ιονισμού του MS. Επίσης, το PSS επιτρέπει την ταχεία δειγματοληψία, σχεδόν πραγματικού χρόνου, ενός μεγάλου πλήθους VOCs απευθείας στο MS σε αντίθεση με τη δειγματοληψία που πραγματοποιείται μέσω μεμβράνης που είναι βραδύτερη και επιλεκτική. Επομένως, το PSS-MS είναι ένα, εν δυνάμει, σύστημα παρακολούθησης, σχεδόν πραγματικού χρόνου, ενός περιβάλλοντος με δυναμικές μεταβολές των συγκεντρώσεων των VOCs.

γ. Επίσης, η αποτελεσματικότητα της αέριας δειγματοληψίας στο ανοιχτό πεδίο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του αέριου νέφους. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, μετεωρολογικές συνθήκες, όπως ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, νεφελοκάλυψη, ένταση φωτός, ύπαρξη και ισχύς αέριων στροβιλισμών και μορφολογία πεδίου.

Το δεύτερο ζητούμενο της παρούσας εργασίας ήταν να διερευνηθούν και άλλες τεχνολογίες πεδίου, που θα μπορούν να συνδυαστούν μαζί με το PSS-MS για την παρακολούθηση σύνθετων φαινομένων στο πεδίο. Οι τεχνολογίες αυτές θα πρέπει να συνδράμουν συνδυαστικά και συνεπικουρικά το PSS-MS στην παρακολούθηση σύνθετων φαινομένων στο πεδίο. Η πραγματοποίηση ενός τέτοιου στόχου οφείλει να λάβει υπόψη τα παρακάτω:

α. Η εξέλιξη του PSS-MS για χρήση στο πεδίο παρουσιάζει κάποιους σημαντικούς περιορισμούς. Αυτοί οι περιορισμοί περιλαμβάνουν το γεγονός ότι το όργανο αυτό είναι ένας σημειακός ανιχνευτής, καθώς, δύναται να λαμβάνει δείγματα από συγκεκριμένο κάθε φορά σημείο σ' έναν χώρο. Επίσης, το όργανο αυτό δεν είναι πραγματικού χρόνου, διότι απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα για την μεταφορά του αέριου δείγματος στον αναλυτή και την επακόλουθη ανάλυση. Ακόμη το όργανο αυτό παρακολουθεί την εξέλιξη ενός φαινομένου σε μοριακό επίπεδο. Μία άλλη σημαντική παράμετρος είναι το γεγονός ότι το PSS-MS είναι εργαστηριακό όργανο με μικρή δυνατότητα μετακίνησης.

β. Επομένως, οι τεχνολογίες που θα συνδράμουν το PSS-MS στην παρακολούθηση σύνθετων φαινομένων στο πεδίο, κατά μία πρώτη προσέγγιση, θα πρέπει να υπερκεράσουν τους περιορισμούς του οργάνου που αναφέρθηκαν ανωτέρω. Πιο συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες αυτές θα επιτρέπουν την πραγματικού χρόνου μακροσκοπική παρακολούθηση ενός ευρέος πεδίου και όχι ενός σημείου.

γ. Η επιλογή του φαινομένου που θα τεθεί υπό παρακολούθηση από το PSS-MS και τις άλλες συνδυαστικές τεχνολογίες θα πρέπει να είναι σύνθετο και να περιλαμβάνει δυναμικές διαδικασίες και μεταβατικά φαινόμενα. Αυτό είναι απαραίτητο, γιατί η προτεινόμενη μεθοδολογία θα πρέπει να δοκιμαστεί έτσι ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα.

Συνοψίζοντας τα ανωτέρω ζητήματα, αλλά και με βάση την προσέγγιση που ακολουθήθηκε στην παρούσα διατριβή συνάγονται τα ακόλουθα:

α. Το PSS-MS είναι ένα όργανο που διαθέτει ένα δυναμικό σύστημα δειγματοληψίας αλλά δεν είναι δυνατό να μεταφερθεί στο πεδίο χωρίς να

πραγματοποιηθούν οι αναγκαίες τροποποιήσεις: για το λόγο αυτό, οι δοκιμές και τα πειράματα ελέγχου πραγματοποιήθηκαν εντός του χώρου του εργαστηρίου. Επακόλουθα, δεν τίθεται πλέον το ερώτημα για την αποτελεσματικότητα της αέριας δειγματοληψίας στο ανοιχτό πεδίο καθόσον στο εργαστήριο οι συνθήκες δειγματοληψίας είναι δυνατό να ελεγχθούν κατάλληλα.

β. Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, στο εργαστήριο δημιουργήθηκαν οι συνθήκες που θα προσομοιάζουν τις αντίστοιχες του πεδίου. Δηλαδή, κατασκευάστηκε ένα κατάλληλο ικρίωμα στο εργαστήριο, πλησίον του PSS-MS, πάνω στο οποίο ήταν εφικτό να πραγματοποιηθούν τα απαιτούμενα πειράματα προσφέροντας ποικιλία προσομοιωμένων συνθηκών πεδίου. Επιπλέον, με το ικρίωμα αυτό υπήρξε η δυνατότητα να αναπτυχθεί ένα σταθερό και ασφαλές πειραματικό πρωτόκολλο.

γ. Το φαινόμενο το οποίο προκρίθηκε για μελέτη και παρακολούθηση, από την προτεινόμενη μεθοδολογία, ήταν η φωτιά εσωτερικών χώρων με κύριο προσανατολισμό τους εσωτερικούς χώρους πλοίων. Το φαινόμενο αυτό είναι μία χημική αντίδραση μεταξύ των καύσιμων υλικών και του ατμοσφαιρικού οξυγόνου. Αναλυτικότερα, η εξέλιξη του φαινομένου εκδηλώνεται με την έκλυση αρκετών αέριων ουσιών, χαρακτηριστικών της φάσης της καύσης και του καύσιμου υλικού και με την απελευθέρωση ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας. Επομένως, η καύση είναι εξ' ορισμού ένα σύνθετο και δυναμικό φαινόμενο, που στην περίπτωση αυτής της διατριβής εκτιμάται ότι αποτελεί ιδανικό φαινόμενο για την δοκιμασία του PSS-MS για την online παρακολούθηση σύνθετων και δυναμικών φαινομένων στο πεδίο.

δ. Οι συνδυαστικές του PSS-MS τεχνολογίες προτάθηκαν να είναι η ανάλυση ήχου και εικόνας. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση ήχου περιλαμβάνει τη λήψη και επεξεργασία ακουστικών σημάτων στην ατμόσφαιρα, ενώ η ανάλυση εικόνας περιλαμβάνει τη λήψη και την επεξεργασία βίντεο στο οπτικό φάσμα. Οι τεχνολογίες αυτές είναι πλέον ώριμες για το πεδίο, καθόσον χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε μία μεγάλη ποικιλία εφαρμογών παρακολούθησης φαινομένων στο πεδίο. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτών των τεχνολογιών για εφαρμογές πεδίου είναι: (1) προσφέρουν πραγματικού χρόνου παρακολούθηση σ' ένα ευρύ πεδίο, (2) είναι εμπορικά διαθέσιμες και χαμηλού κόστους και (3) υπάρχουν εκτεταμένες εφαρμογές πεδίου για την ανίχνευση πυρκαγιάς με τη χρήση βίντεο αλλά ελάχιστες με τη χρήση ήχου.

ε. Πέρα από την επιλογή των καταλληλότερων συνδυαστικών για το PSS-MS τεχνολογιών η σημαντική πρόκληση για την παρούσα διατριβή άπτεται του ζητήματος της συλλογής επεξεργασίας και ολοκλήρωσης των δεδομένων που ελήφθησαν από τα αισθητήρια όργανα. Η απόκτηση των δεδομένων που συλλέγουν οι αισθητήρες απαιτεί κατάλληλη δειγματοληψία και ψηφιοποίηση. Επίσης η επεξεργασία των σημάτων οφείλεται να πραγματοποιηθεί με τον πλέον ενδεικνύμενο τρόπο προκειμένου ο συνδυασμός των τεχνολογιών αυτών να λειτουργήσει συνεπιδραστικά και συνεπικουρικά της μίας τεχνολογίας στις άλλες. Επιπλέον, με την επεξεργασία σημάτων γίνεται μία προσπάθεια διερεύνησης και εφαρμογής τεχνικών που θα συνδράμουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν στην χρονική εξέλιξη του φαινομένου αλλά και στον εντοπισμό των μοναδικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζει η καύση με την αλλαγή των προσομοιωμένων συνθηκών πεδίου.

1.3. Στόχος, αντικείμενο και πρωτοτυπία της διατριβής

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας η οποία θα ενσωματώνει το PSS-MS και την τεχνολογία ανάλυσης ήχου και εικόνας προκειμένου να είναι εφικτή η ολοκληρωμένη παρακολούθηση, τόσο σε μοριακό όσο και μακροσκοπικό επίπεδο του φαινομένου της καύσης στο εργαστήριο, σε ελεγχόμενες συνθήκες, όμως, που θα προσομοιάζουν με το πεδίο. Με τον όρο πεδίο εννοούνται οι εσωτερικοί χώροι στους οποίους δύναται να εκδηλωθεί πυρκαγιά. Τέτοιοι χώροι μπορεί

να είναι το εσωτερικό πλοίων και άλλων τεχνητών κατασκευών ακόμη και κοιλότητες κατεστραμμένων κτιρίων. Επίσης, η μεθοδολογία αυτή περιλαμβάνει τις τεχνικές εκείνες που θα επιτρέπουν την αποτελεσματική συλλογή δεδομένων από τα αισθητήρια όργανα και την επεξεργασία τους. Η επεξεργασία των σημάτων των αισθητήρων περιλαμβάνει τη διαδικασία εκείνη που θα επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων που αφορούν στην χρονική εξέλιξη του φαινομένου της καύσης αλλά και την απόκτηση της χρήσιμης πληροφορίας που θα εντοπίζει και θα χαρακτηρίζει τα μοναδικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων σημάτων προκειμένου να ταυτοποιηθούν ιδιαίτερα στοιχεία της καύσης.

Πιο συγκεκριμένα, για την υλοποίηση του σκοπού που αναφέρθηκε στην παραπάνω παράγραφο τέθηκαν ειδικότεροι, ενδιάμεσοι στόχοι. Δηλαδή, να διερευνηθεί η δυνατότητα:

(α) του PSS-MS για on-line παρακολούθηση των VOCs που εκλύονται κατά την διάρκεια των πειραμάτων καύσης και

(β) εάν η κάθε τεχνολογία, δηλαδή η χημική, ακουστική και οπτική ανάλυση, ξεχωριστά μπορεί να επιβεβαιώσει ή και να συμπληρώσει τις ενδείξεις καύσης που παρέχονται από τις άλλες δύο τεχνολογίες.

Επομένως, με βάση αυτούς τους στόχους υλοποιήθηκε η κατάλληλη υποδομή για την πραγματοποίηση των πειραμάτων καύσης και η ανάπτυξη του κατάλληλου πειραματικού πρωτοκόλλου. Επιπλέον αναπτύχθηκαν δύο σενάρια που προσομοίαζαν με διαφορετικές συνθήκες πεδίου. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε η απευθείας παρατήρηση της καύσης αλλά και η παρατήρηση με την παρεμβολή εμποδίων. Η παρεμβολή των εμποδίων επηρέαζε την μακροσκοπική παρατήρηση του φαινομένου. Επομένως, ο σκοπός εδώ ήταν να δοκιμαστεί η προτεινόμενη μεθοδολογία τόσο σε προσομοιωμένες ενοϊκές συνθήκες πεδίου όσο και σε αντίξοες συνθήκες παρατήρησης.

Στη συνέχεια, η προσπάθεια επικεντρώθηκε στην ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες. Η ανάλυση αυτή περιελάμβανε την αρχική επεξεργασία των δεδομένων προκειμένου τα σήματα των αισθητήρων να λάβουν την κατάλληλη μορφή. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν οι αλγόριθμοι επεξεργασίας ήχου και εικόνας στο περιβάλλον Matlab. Με βάση τους αλγόριθμους αυτούς, έγινε η ανάλυση των επεξεργασμένων σημάτων ήχου και εικόνας. Η ανάλυση των επεξεργασμένων χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων ολοκληρώθηκε με τη μελέτη και σύγκριση τους προκειμένου να εξαχθούν τα πρώτα συμπεράσματα αυτής της εργασίας.

Στην επόμενη φάση των πειραμάτων, οι στόχοι εξειδικεύτηκαν ακόμη περισσότερο. Τα νέα πειράματα περιελάμβαναν διαφορετικές συνθήκες καύσης, και χρησιμοποιήθηκαν τρεις συνδυασμοί διαφορετικών καύσιμων υλικών, για τα οποία η καύση τους πραγματοποιήθηκε υπό κλίση. Συνεπώς, οι ενδιάμεσοι στόχοι που τέθηκαν ήταν οι εξής: (1) να διερευνηθεί η αξιοπιστία της προτεινόμενης μεθόδου για την παρακολούθηση του φαινομένου καύσης διαφορετικών υλικών και τα οποία παρουσιάζουν διαφορές στην καύση τους, (2) να βελτιστοποιηθούν οι αλγόριθμοι επεξεργασίας των χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων και (3) να διερευνηθεί και να ελεγχθεί η αναλυτική ικανότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας με τη χρήση τεχνικών μοντελοποίησης.

Το κριτήριο για την επιλογή των διαφορετικών καύσιμων υλικών ήταν ότι τα υλικά αυτά θα πρέπει να είναι κοινά, να παρουσιάζουν διαφορές στην καύση τους και να βρίσκονται σε ικανές ποσότητες στους εσωτερικούς χώρους που προσπαθεί να προσομοιάσει η υπόψη εργασία. Τα υλικά, τα οποία ικανοποιούν το κριτήριο αυτό, είναι το ύφασμα, το χαρτί και το ξύλο. Πράγματι, κατά την διάρκεια των πειραμάτων

διαπιστώθηκε ότι η καύση των υλικών αυτών παρουσίασε ομοιότητες αλλά το κυριότερο παρουσίασε και σημαντικές διαφορές.

Η περαιτέρω βελτίωση των αλγορίθμων που αναπτύχθηκαν, σκοπό είχε να συνδράμει στην προσπάθεια να εξαχθούν συμπεράσματα από την ολοκλήρωση της ανάλυσης ήχου και εικόνας και της χημικής ανάλυσης του PSS-MS. Πράγματι οι αλγόριθμοι βελτιώθηκαν και ήταν δυνατή η εξαγωγή γνώσης που στα προηγούμενα πειράματα δεν ήταν εφικτή. Επιπλέον, δόθηκε η δυνατότητα στη διαδικασία μοντελοποίησης να εργαστεί πάνω σε βελτιωμένα επεξεργασμένα χημικά, οπτικά και ακουστικά σήματα.

Επιπλέον, η διαδικασία μοντελοποίησης με τα βελτιωμένα επεξεργασμένα σήματα εντόπισε μοναδικά χαρακτηριστικά από την καύση του κάθε υλικού. Ειδικότερα, ο σκοπός ήταν η διερεύνηση των παραμέτρων των χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων, προκειμένου να επιλεγθούν μοναδικά χαρακτηριστικά από την καύση του κάθε υλικού ξεχωριστά. Για τα ακουστικά και τα οπτικά σήματα η μοντελοποίηση έγινε στη χρονική ακολουθία, ενώ στα ακουστικά η χρήσιμη πληροφορία που φέρεται στα σήματα αυτά είναι κεκαλυμμένη στη χρονική ακολουθία του σήματος. Για το λόγο αυτό, η επεξεργασία των ακουστικών σημάτων έλαβε χώρα στο συχνοτικό φάσμα (frequency domain), έτσι ώστε να αναλυθούν στις αρμονικές τους και να αποκωδικοποιηθεί έτσι η χρήσιμη φέρουσα πληροφορία.

Επιπρόσθετα, η διαδικασία της μοντελοποίησης αποτέλεσε ένα σημαντικό εργαλείο ελέγχου της αναλυτικής δυνατότητας της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Τα συμπεράσματα αυτής της διαδικασίας έδειξαν ότι με βάση τα επεξεργασμένα σήματα των αισθητήρων εντοπίστηκαν και ταυτοποιήθηκαν μοναδικά χαρακτηριστικά της καύσης του κάθε υλικού.

Πέραν των ανωτέρω, πραγματοποιήθηκε και η προσπάθεια μεταφοράς της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας στο πεδίο. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε η οπτική, χημική και ακουστική παρατήρηση της καύσης δασικής ύλης μεγάλης κλίμακας στο πεδίο. Με άλλα λόγια η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο με τις ελεγχόμενες και σε μικρή κλίμακα φωτιές μεταφέρθηκε στο ανοιχτό πεδίο. Ακόμη, διερευνήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής της θερμογραφίας στους σκοπούς της παρούσας διατριβής. Τα συμπεράσματα, που εξήχθηκαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτής της παρατήρησης είναι εξόχως σημαντικά για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής. Δηλαδή, η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στο πεδίο, με πραγματικές και ακραίες συνθήκες πραγματοποιώντας την παρατήρηση της καύσης δασικής ύλης μεγάλης κλίμακας. Σημαντικό είναι και το γεγονός ότι η παρατήρηση πραγματοποιήθηκε με διαφορετικούς αισθητήρες απ' αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο. Πιο συγκεκριμένα, η οπτική παρατήρηση πραγματοποιήθηκε με θερμογραφική κάμερα στο υπέρυθρο φάσμα, αντί του οπτικού φάσματος που έγινε στο εργαστήριο με τον αισθητήρα CCD. Επίσης, η χημική ανάλυση βασίστηκε στα δεδομένα του αναλυτή καυσαερίων MRU Delta 1600V, αντί του PSS-MS που έγινε στο εργαστήριο.

Τα πιο σημαντικά στοιχεία **πρωτοτυπίας** της παρούσας διατριβής είναι τα ακόλουθα:

α. Το όργανο PSS-MS για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε για την online παρακολούθηση του φαινομένου της καύσης με προσομοιωμένες συνθήκες πεδίου.

β. Δεν υπάρχει στη διεθνή βιβλιογραφία κάποια άλλη εφαρμογή που να συνδυάζει την φασματομετρία μάζας με την ανάλυση ήχου και εικόνας για την ολοκληρωμένη παρατήρηση φωτιάς. Επίσης, οι αναφορές για διεπιστημονικές προσεγγίσεις που

προτείνουν το συνδυασμό χημικών αισθητήρων με την ανάλυση ήχου και εικόνας είναι εξαιρετικά περιορισμένες.

γ. Η ολοκληρωμένη επεξεργασία των χημικών, οπτικών και ακουστικών καθώς και η διαδικασία της μοντελοποίησης για τη μελέτη της ελεύθερης καύσης δεν έχει κάτι αντίστοιχο στη διεθνή βιβλιογραφία.

1.4. Συνοπτική παρουσίαση δομής

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή στο πρόβλημα που διαπραγματεύεται η διατριβή. Περιγράφεται το αντικείμενο, ο στόχος και η πρωτοτυπία της και παρουσιάζεται συνοπτικά η δομή της.

Στα κεφάλαια 2 έως 7 αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας.

Συγκεκριμένα, στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή και παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία που περιλαμβάνει η επιστήμη της ακουστικής. Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα βασικότερα είδη των ακουστικών αισθητήρων στο πεδίο του atmospheric acoustics και ειδικότερα αυτοί οι αισθητήρες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής. Επίσης παρουσιάζεται η οργανολογία που χρησιμοποιείται στην ακουστική ανάλυση ενδιαφέροντος της διατριβής. Το κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των βασικότερων τεχνικών που χρησιμοποιούνται στον ηχοεντοπισμό.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στη επιστήμη της οπτικής στα αντικείμενα που αφορούν στους σκοπούς της παρούσας διατριβής και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι οπτικοί αισθητήρες που λειτουργούν στο οπτικό φάσμα CCD και CMOS. Επίσης, γίνεται μία εισαγωγή στην τεχνολογία καταγραφής και απεικόνισης στο υπέρυθρο φάσμα και παρουσιάζονται οι βασικές αρχές του ενδοσκοπίου ως οπτικού αισθητήρα. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την αναφορά στην τεχνολογία καταγραφής και επεξεργασίας του βίντεο.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η χημική ανάλυση πεδίου στα αντικείμενα που ενδιαφέρουν την παρούσα διατριβή καθώς και οι χημικοί αισθητήρες που έχουν εφαρμογές πεδίου. Επίσης, στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται μία συνοπτική αναφορά στις φασματομετρικές τεχνολογίες που έχουν, εν δυνάμει, εφαρμογή στο πεδίο καθώς και στα φορητά και μεταφερόμενα όργανα πεδίου.

Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση του αντικειμένου της απόκτησης δεδομένων καθώς και οι συσκευές και το λογισμικό που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό.

Στο 6^ο κεφάλαιο αναφέρεται στην επεξεργασία σήματος με έμφαση στα αντικείμενα που άπτονται των σκοπών της παρούσας διατριβής. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται συνοπτικά η επεξεργασία αναλογικού και ψηφιακού σήματος καθώς και η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και αντίστροφα. Επίσης, μεταξύ άλλων παρουσιάζονται οι ενδιαφέροντες μετασχηματισμοί σημάτων, η δειγματοληψία σημάτων, η πολυπλεξία και τα ψηφιακά φίλτρα. Επίσης, γίνεται ιδιαίτερη μνεία στην επεξεργασία χημικών, ακουστικών και οπτικών σημάτων.

Στο 7^ο κεφάλαιο γίνεται μία ιδιαίτερη αναφορά των εφαρμογών που παρουσιάζει η παρακολούθηση πεδίου στο πλοίο. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι αισθητήρες και τα συστήματα παρακολούθησης, αναλύονται οι παράμετροι παρακολούθησης. Επίσης, παρουσιάζονται κάποιες εμπορικές εφαρμογές που αφορούν στην παρακολούθηση, ασφάλεια και συναγερμό που βρίσκονται εγκατεστημένα ήδη σε πλοία. Επίσης, γίνεται μία σύντομη ανάλυση στο πως η προτεινόμενη μεθοδολογία της παρούσας διατριβής δύναται να αναπτυχθεί για εφαρμογές σε πλοία.

Στο 8^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι συσκευές, οι κατασκευές και τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής.

Στο 9^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα τελικά πειράματα του ερευνητικού μέρους της υπόψη διατριβής. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η

πειραματική διάταξη στο εργαστήριο, η χρήση των οργάνων και των συσκευών, το πειραματικό πρωτόκολλο, η χρήση της υπηρεσίας του CloudFront του ΕΜΠ. Επίσης, γίνεται παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων.

Στο 10^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειράματα καύσης στο εργαστήριο που αφορούσαν στην απευθείας παρακολούθηση, αλλά και την παρακολούθηση με την παρεμβολή εμποδίων. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα από την ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων αυτών.

Στο 11^ο κεφάλαιο τα πειράματα καύσης στο εργαστήριο που αφορούσαν στην παρακολούθηση της καύσης τριών διαφορετικών υλικών, δηλαδή το βαμβακερό ύφασμα, το λευκό χαρτί εκτύπωσης και το αποξηραμένο ξύλο δρυς. Η εστία καύσης των υλικών αυτών βρισκόταν υπό κλίση 30°. Στην ανάλυση των δεδομένων αυτών των πειραμάτων εφαρμόστηκαν βελτιωμένες τεχνικές και αλγόριθμοι σε σχέση με την προηγούμενη σειρά πειραμάτων. Επίσης, εφαρμόστηκαν και τεχνικές μοντελοποίησης προκειμένου να εντοπιστούν μοναδικά χαρακτηριστικά από την καύση του κάθε υλικού.

Στο 12^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πείραμα καύσης που πραγματοποιήθηκε στο ανοιχτό πεδίο. Το πείραμα αυτό περιελάμβανε καύση δασικής ύλης σε μεγάλη κλίμακα και εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της υπόψη διατριβής. Επίσης στο πείραμα αυτό πραγματοποιήθηκε και ανάλυση δεδομένων θερμογραφίας.

Στο 13^ο κεφάλαιο γίνεται μία σύνοψη των συμπερασμάτων της διατριβής και πραγματοποιείται συνολική αποτίμηση. Επίσης στο ίδιο κεφάλαιο επισημαίνεται η πρωτοτυπία και η συνεισφορά της παρούσας εργασίας.

Στο 14^ο κεφάλαιο αναλύονται οι προοπτικές περαιτέρω ανάπτυξης της παρούσας διατριβής και περιγράφεται, σε γενικές γραμμές, ο επόμενος προτεινόμενος κύκλος πειραμάτων.

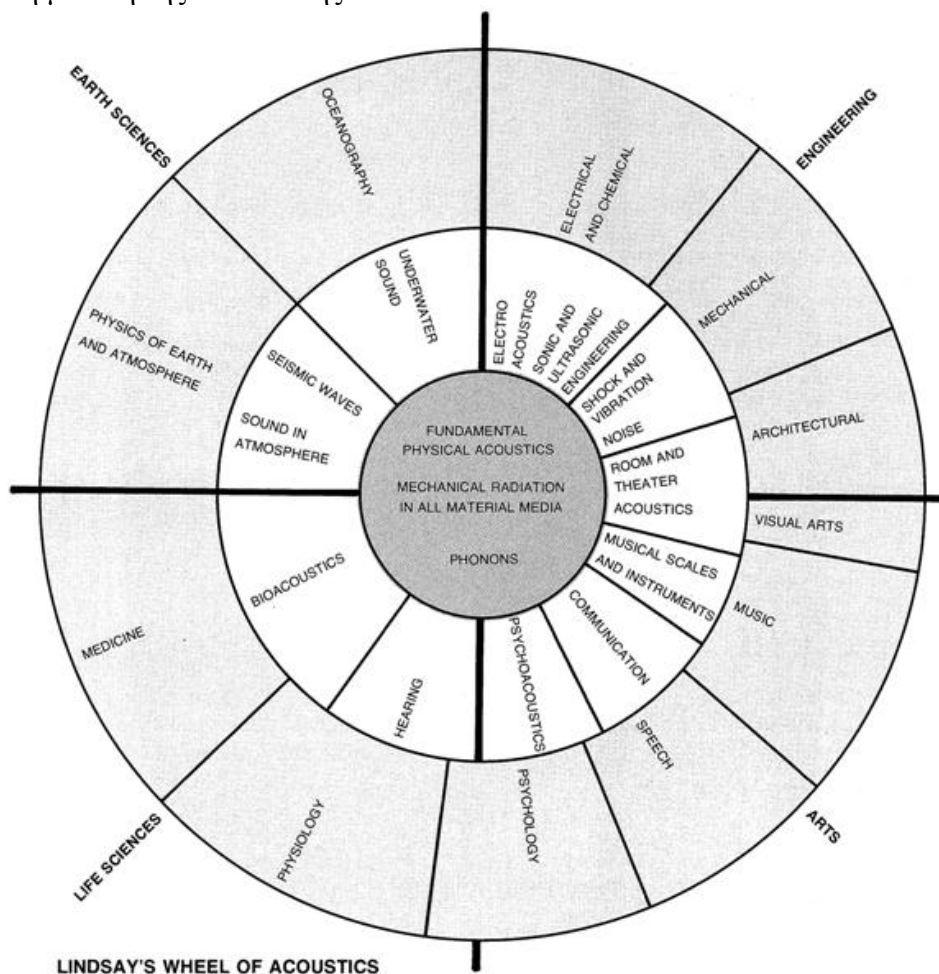
ΜΕΡΟΣ Ι
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

2.1. Γενικά

Ακουστική είναι το διεπιστημονικό εκείνο πεδίο της επιστήμης, το οποίο εξετάζει και μελετά όλα τα μηχανικά κύματα σε αέρια, υγρά και στερεά σώματα και τα οποία περιλαμβάνουν τον κραδασμό, ήχο, υπόηχο και υπέρηχο (Webster 1999). Ακόμη η ακουστική δύναται να ορισθεί ως η επιστήμη που ασχολείται με την παραγωγή, τον έλεγχο, τη μετάδοση, τη λήψη και τα αποτελέσματα του ήχου (Merriam-Webster). Ουσιαστικά τα μηχανικά αυτά κύματα παράγονται σε κάθε περίπτωση όταν λόγω κάποιου αιτίου, υφίσταται η μετατροπή μιας μορφής ενέργειας σε ακουστικό μηχανικό κύμα, το οποίο στη συνέχεια αυτό μεταδίδεται στο περιβάλλον μέσο. Μια σχηματική απεικόνιση των ανωτέρω ορισμών δύναται να δοθεί από το παρακάτω σχήμα. Στο σχήμα αυτό, δεικνύεται ο λεγόμενος “Lindsay’s Wheel of Acoustics” (Lindsay 1964) όπου οι εξωτερικοί κύκλοι παρουσιάζουν τις επιστήμες εκείνες που σχετίζονται με την ακουστική, ενώ ο εσωτερικός κύκλος αναφέρει τα πεδία εκείνα στα οποία τελικά καταλήγει η μελέτη της ακουστικής.



Εικόνα 1: Lindsay’s Wheel of Acoustics

Το φαινόμενο του ήχου σ' ένα ρευστό περιλαμβάνει χρονικά εξαρτώμενες μεταβολές της πυκνότητας του ρευστού αυτού και οι οποίες συνεπάγονται χρονικά εξαρτώμενες μεταβολές στην πίεση, θερμοκρασία και θέση των σωματιδίων του ρευστού. Το πλέον κοινό χαρακτηριστικό αυτών των διακυμάνσεων είναι ότι διαδίδονται γρήγορα μέσω του ρευστού μέσου, με μία ταχύτητα, η οποία κατά κύριο λόγο εξαρτάται από τον τύπο του υγρού αλλά επηρεάζεται επίσης και από τις επικρατούσες συνθήκες (Fahy 2003).

Σύμφωνα με το PACS (Physics and Astronomy Classification Scheme), του Αμερικανικού Ινστιτούτο Φυσικής (American Institute of Physics), η ακουστική έχει χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: φυσική ακουστική (physical acoustics), βιολογική ακουστική (biological acoustics) και μηχανική της ακουστικής (acoustical engineering). Η κάθε ομάδα χωρίζεται σε υποκατηγορίες όπως παρακάτω:

Οι Κατηγορίες της ακουστικής			
	Physical Acoustics	Biological acoustics	Acoustical engineering
Υποκατηγορίες	Aeroacoustics	Bioacoustics	Acoustic measurements and instrumentation
	General linear acoustics	Musical acoustics	Acoustic signal processing
	Structural acoustics and vibration	Physiological acoustics	Architectural acoustics
	Underwater sound	Psychoacoustics	Environmental acoustics
		Speech communication (production, perception, processing and communication systems)	Transduction
			Ultrasonics
			Room acoustics

Πίνακας 1: Οι κατηγορίες της Ακουστικής (πηγή: PACS)

Η παρούσα διατριβή πραγματεύεται θέματα που αφορούν την μετάδοση του ήχου στην ατμόσφαιρα (atmospheric acoustics), μετρήσεις και αντίστοιχα όργανα και αισθητήρες, καθώς και την επεξεργασία ακουστικών σημάτων).

2.2. Ακουστικοί Αισθητήρες

Το κύριο χαρακτηριστικό των ακουστικών αισθητήρων (Busch-Vishniac και Hixson 2003) είναι η μετατροπή της ακουστικής ενέργειας σε μία άλλη μορφή συνήθως ηλεκτρική και το αντίστροφο.

Η μελέτη των ακουστικών αισθητήρων αποτελεί αντικείμενο της επιστήμης της ηλεκτροακουστικής (electroacoustics) ο σκοπός της οποίας είναι η μελέτη της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ήχο και δόνηση και αντίστροφα και η μελέτη της μετατροπής των ακουστικών κυμάτων σε ηλεκτρικά σήματα μέσω ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (Cook και Ehrlich, 2003). Η ανάλυση των εξερχόμενων ηλεκτρικών σημάτων των ακουστικών αισθητήρων με τη χρήση σύνθετων και πολύπλοκων υπολογιστικών συστημάτων είναι επίσης αντικείμενο αυτής της επιστήμης.

Ένα ακουστικό κύμα ουσιαστικά σχετίζεται με τη διακύμανση της πίεσης στο περιβάλλον μέσο. Οι μετατροπείς πίεσης χρησιμοποιούν ένα διάφραγμα ή κάποια άλλη

επιφάνεια, η οποία μετατρέπει την πίεση σε δύναμη (αισθητήρας) ή τη δύναμη σε πίεση (actuator). Αυτό το κινούμενο στοιχείο μετατρέπει ουσιαστικά την ακουστική ενέργεια σε ηλεκτρική και το αντίστροφο. Η διαδικασία αυτή μπορεί να περιλαμβάνει ηλεκτρικά πεδία με πυκνωτικά χαρακτηριστικά, μαγνητικά πεδία με επαγωγικά χαρακτηριστικά ή ακόμη και αλλαγές στην αγωγιμότητα με ωμικά χαρακτηριστικά.

Ο αισθητήρας, ο οποίος είναι ευαίσθητος στην ακουστική πίεση σ' ένα αέριο και παρέχει μία αντίστοιχη ηλεκτρική τάση στην έξοδο του ονομάζεται μικρόφωνο (Zuckerwar 2004). Οι πιο κοινοί τύποι μικροφώνων είναι τα air condenser, electret condenser, ceramic και τα piezoresistive μικρόφωνα. Τα κύρια χαρακτηριστικά τα οποία έχει ένα μικρόφωνο είναι τα κάτωθι:

α. Το nominal size, το οποίο αναφέρεται στην εξωτερική διάμετρο του κυλίνδρου του μικροφώνου η οποία είναι λίγο μεγαλύτερη από τη διάμετρο της μεμβράνης του.

β. Το open-circuit sensitivity είναι η τάση εξόδου ανά μονάδα της ακουστικής πίεσης, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αντίσταση του προενισχυτή.

γ. Η membrane resonant frequency είναι η συχνότητα συντονισμού της μεμβράνης στο κενό.

δ. Το dynamic range είναι το εύρος της ακουστικής πίεσης εντός του οποίου το μικρόφωνο λειτουργεί γραμμικά.

ε. Η polarized capacitance είναι η πυκνωτική χωρητικότητα μεταξύ της μεμβράνης και του σταθερού διαφράγματος του μικροφώνου (backplate), όταν εφαρμόζεται η πολωτική τάση. Αυτή είναι σημαντική παράμετρος στον καθορισμό της ευαισθησίας, αλλά και στην απόκριση του μικροφώνου στις χαμηλές συχνότητες. Μία υψηλή τιμή βοηθά στη μείωση του επιπέδου θορύβου του μικροφώνου.

Specifications	Microphone type					
	Air condenser	Electret	Ceramic	Piezoresistive		
Nominal size (in.)	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	0.092
Open circuit sensitivity (mV/Pa)	50	15	2	10	10	0.025
Resonant frequency (Hz)	8000	25,000	75,000	14,000	—	70,000
Frequency range, -2 dB (Hz)	2-7000	4-20,000	8-70,000	4-20,000	2-12,000	0-20,000
Dynamic range (dB)	15-145	25-160	35-170	30-145	25-150	80-190
Polarized capacitance (pf)	60	20	6	30	400	—
Equivalent air volume (cm ³)	0.15	0.01	0.0005	0.015	0.5	—

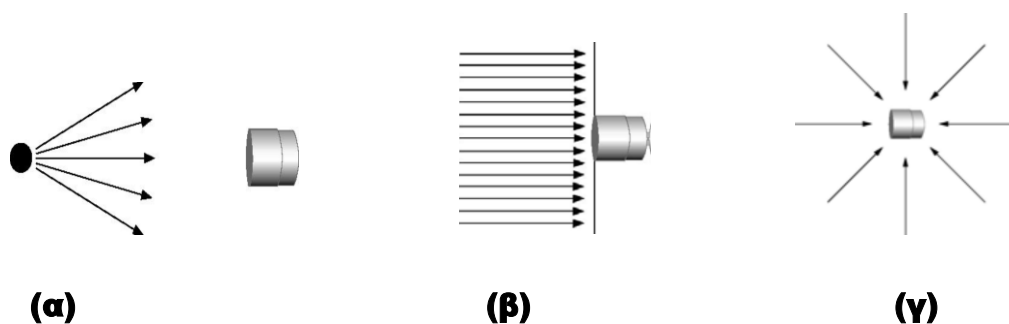
Πίνακας 2: Αντιπροσωπευτικές τιμές των χαρακτηριστικών μικροφώνου (πηγή: Zuckerwar 2004)

Ανάλογα με την εφαρμογή πεδίου τα μικρόφωνα για ακριβή μέτρηση χωρίζονται σε τρεις ομάδες. Αυτές περιλαμβάνουν τα: (α) free-field type, (β) pressure field και (γ) random incident μικρόφωνα (PCB piezotronics), όπως φαίνεται στην εικόνα 2.

Τα free-field type είναι πιο ακριβή όταν μετρούν την ακουστική πίεση που έρχεται από μόνο μία κατεύθυνση και πηγή. Τα μικρόφωνα αυτά είναι σχεδιασμένα να μετρούν το ακουστικό σήμα, έτσι ώστε να μην προκαλούν καμία διαταραχή στην πίεση στο χώρο όπου αυτά βρίσκονται. Επομένως, αυτά δύνανται να λειτουργήσουν καλύτερα σε ανοιχτά πεδία ή σε anechoic chambers.

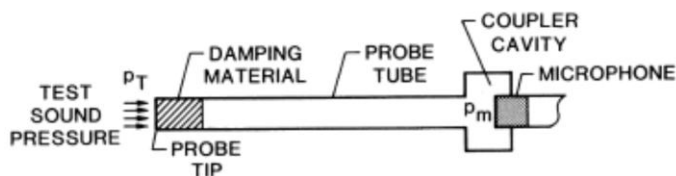
Τα pressure field μικρόφωνα είναι σχεδιασμένα να μετρούν το ακουστικό σήμα που φθάνει στο διάφραγμα συνήθως από μία πηγή και οι μετρήσεις τους περιλαμβάνουν τις οποιοσδήποτε διαταραχές προκαλεί η παρουσία του μικροφώνου. Ενδείκνυται η χρήση τους για κλειστούς και περιορισμένους χώρους, όπως κοιλότητες και εσωτερικό μηχανημάτων και συσκευών.

Τα μικρόφωνα random incident είναι σχεδιασμένα να μετρούν ακουστική πίεση που προέρχεται από διάφορες πηγές, κατευθύνσεις και ανακλάσεις, δηλαδή είναι μη κατευθυντικά (omnidirectional). Είναι κατάλληλα για κτίρια και σύνθετες συνθήκες μετρήσεων.



Εικόνα 2: Μικρόφωνο: (α) free field, (β) pressure field και (γ) random incident (πηγή: PCB piezotronics)

Οι συνθήκες πεδίου έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην απόδοση και λειτουργία του μικροφώνου. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει επιπτώσεις στην ευαισθησία του μικροφώνου στη μέση μάντα και σε συχνότητες πλησίον της συχνότητας συντονισμού της μεμβράνης. Η υγρασία είναι κρίσιμη για τη λειτουργία των μικροφώνων καθώς δύναται να προκαλέσει βραχυκυκλώματα και σπινθηρισμούς. Αντιθέτως τα electret και τα ceramic μικρόφωνα επηρεάζονται ελάχιστα από την υγρασία του περιβάλλοντος. Σε εξωτερικές μετρήσεις, ο άνεμος δύναται να προκαλέσει σημαντικό θόρυβο και να προκαλέσει διαταραχή στις μετρήσεις του μικροφώνου. Στις περιπτώσεις αυτές, συνίσταται η χρήση κατάλληλου ανεμοθωρακίου. Για την λήψη μετρήσεων σε δυσπρόσιτα σημεία ή με επικίνδυνες συνθήκες για τον χειριστή, απαιτείται η χρήση κατάλληλου ακροσωληνίου (probe) το οποίο θα λειτουργεί ως ακουστικός κυματοδηγός, όπου η ακουστική πίεση στην είσοδο του θα είναι ίδια και στο τέλος του σωλήνα όπου βρίσκεται το μικρόφωνο, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3: Ακουστικό ακροσωλήνιο (πηγή: Zuckerwar 2004)

2.2.1. Sound-Level Meter

Για τη μέτρηση του επιπέδου ήχου και θορύβου στο πεδίο έχει αναπτυχθεί το όργανο που ονομάζεται Sound-Level Meter. Τα όργανα αυτά ενσωματώνουν δυνατότητες επεξεργασίας ακουστικών σημάτων και ουσιαστικά αποτελούνται από ένα

μικρόφωνο, έναν ενισχυτή, ισοσταθμητές συχνοτήτων καθώς και έναν ενδείκτη του εξερχόμενου σήματος (Webster 1999).

2.2.2. Βαθμονόμηση

Γενικά υπάρχουν τρεις μέθοδοι για την βαθμονόμηση των μικροφώνων (Busch-Vishniac and Hixson, 2003) και αυτές είναι η: (α) η συγκριτική βαθμονόμηση (comparison calibration), (β) η απόλυτα άμεση βαθμονόμηση (absolute direct calibration) και (γ) η απόλυτα αμοιβαία βαθμονόμηση (absolute reciprocal calibration):

α. Στην πρώτη μέθοδο, το μικρόφωνο συγκρίνεται με κάποιο άλλο με γνωστά χαρακτηριστικά. Η μέθοδος αυτή, εάν και είναι σχετικά απλή και γρήγορη, δεν προσφέρει ακρίβεια στη βαθμονόμηση.

β. Στην absolute direct calibration χρησιμοποιείται ειδικός εξοπλισμός για την βαθμονόμηση, όπως τα pistonphones, για να παράγουν ένα γνωστό βαθμονομημένο σήμα. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι γρήγορη και ακριβής, όμως παραμένει μία υψηλού κόστους μεθοδολογία. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή προσφέρει βαθμονόμηση σ' ένα στενό εύρος συχνοτήτων, οπότε θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την comparison calibration για την πλήρη βαθμονόμηση ενός μικροφώνου.

γ. Η absolute reciprocal calibration (Beranek, 1986), είναι η πιο κοινή μέθοδος βαθμονόμησης μικροφώνων. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου σε σχέση με τις άλλες δύο έγκειται στο ότι είναι πολύ ακριβής σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων και απαιτεί σχετικά περιορισμένο εξοπλισμό, όμως είναι μία χρονοβόρος διαδικασία.

2.2.3. Νέες Τεχνολογίες

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει συντελεστεί σημαντική πρόοδος στην τεχνολογία των ακουστικών αισθητήρων (Busch-Vishniac και Hixson, 2003). Αυτή η πρόοδος είναι αποτέλεσμα της ανάπτυξης διαφόρων πεδίων της επιστήμης. Οι παρακάτω παράγραφοι περιγράφουν με συντομία αυτές τις εξελίξεις.

2.2.3.1. Οπτικοί Αισθητήρες

Μία νέα αναπτυσσόμενη κατηγορία είναι οι αισθητήρες με οπτικές ίνες (fiberoptic sensors) (Krohn 1988, Zuckerwar 2004). Η μετάδοση των σημάτων, που παράγονται από ήχο μέσω οπτικών ινών σε σχέση με τους χάλκινους αγωγούς έχει το πλεονέκτημα να μην επηρεάζεται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Επίσης, σημαντικό είναι και το γεγονός ότι παρέχεται η δυνατότητα της απομακρυσμένης και ασφαλούς τοποθέτησης των οπτικο-ηλεκτρονικών συστημάτων του αισθητήρα επιτρέποντας έτσι την τοποθέτηση και λειτουργία του αισθητηρίου στοιχείου (όπως η μεμβράνη) σε αντίξοο περιβάλλον και σε κλειστούς χώρους. Όταν ένα ακουστικό σήμα φτάσει στο αισθητήριο στοιχείου του αισθητήρα αυτού, τότε παράγεται ένα οπτικό σήμα ανάλογο του ακουστικού ερεθίσματος. Οι αισθητήρες του είδους αυτού, δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως μικρόφωνα ή υδρόφωνα.

2.2.3.2. Solid-State Sensors

Οι αισθητήρες αυτοί έχουν το βασικό πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά κυκλώματα γεγονός που διευκολύνει την κατασκευή τους με χαμηλό κόστος και είναι εφικτή η σμίκρυνση τους. Αντιθέτως, η δυσκολία στους αισθητήρες αυτούς παρουσιάζεται στην κατασκευή των μη ηλεκτρονικών μερών τους (Peterson et al, 1988).

2.2.3.3. Νέα Υλικά

Οι πρόοδοι που έχουν συντελεσθεί στην τεχνολογία των υλικών έφερε σημαντικές εξελίξεις στην ανάπτυξη των ακουστικών αισθητήρων. Οι κυριότερες κατηγορίες υλικών που συνέδραμαν στην εξέλιξη αυτή είναι τα πολυμερή και τα rare-earth magnetostriuctive materials.

Τα πολυμερή συνέδραμαν στην σημαντική μείωση του βάρους των ακουστικών αισθητήρων χωρίς όμως να φέρουν αρνητική επίδραση στα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Επιπλέον, νέοι αισθητήρες έχουν πολύ πιο βελτιωμένα χαρακτηριστικά.

Συνθετικά πιεζοηλεκτρικά υλικά μπορούν να παραχθούν από διάφορα πλαστικά ή πολυμερή και κεραμικά υλικά. Τα υλικά αυτά ονομάζονται ferroelectric, για παράδειγμα το polyvinylidene fluoride (PVDF) είναι ένα πολυμερές υλικό ενώ τα barium titanate lead και zirconate-titanate είναι κεραμικά υλικά (Cook και Ehrlich, 2003).

Συνθετικά πιεζομαγνητικά υλικά έχουν εφαρμογή σε ακουστικούς αισθητήρες και ονομάζονται ferromagnetic. Τα nickel και cobalt-iron alloy 2-V permendur είναι παραδείγματα υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν. Άλλα υλικά, τα rare earth iron alloys και το Terfenol D (terbium-dysprosium iron ternary alloy) έχουν πλέον εφαρμογή σε ακουστικούς αισθητήρες σήμερα (Cook και Ehrlich, 2003).

2.3. Οργανολογία Επεξεργασίας Ακουστικών Δεδομένων

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται συνοπτικά οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία ακουστικών δεδομένων (Zuckerwar 2004) και αφορούν στις εφαρμογές που αναφέρεται η παρούσα διατριβή. Τα φίλτρα ουσιαστικά επιτελούν τρεις λειτουργίες, φασματική (συχνότητας) επιλογή, ανάλυση και διαμόρφωση. Ο αναλυτής φάσματος επιτρέπει την παρατήρηση του φάσματος συχνοτήτων σε σχέση με το χρόνο ενός ακουστικού συμβάντος. Ένας τέτοιος αναλυτής πραγματικού χρόνου παράγει ένα συνεχές φάσμα συχνοτήτων χωρίς διακοπή. Συνήθως το φάσμα συχνοτήτων στο οποίο λειτουργεί μία τέτοια συσκευή είναι το ακουστικό φάσμα (20Hz – 20kHz) υπάρχουν βέβαια και συσκευές που λειτουργούν πέρα από αυτά τα όρια. Οι αρχές λειτουργίας των αναλυτών αυτών είναι το ψηφιακό φίλτρο (digital filter) ή η Fast Fourier Transform (FFT). Γενικότερα, οι λειτουργίες που επιτελεί ο αναλυτής φάσματος είναι:

- Προενισχυτής
- Αναλογικό φίλτρο
- Ανίχνευση
- Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό
- Logic control
- Computation
- Παρουσίαση του εξερχόμενου σήματος

Η ολοκλήρωση του ηλεκτρονικού υπολογιστή (H/Y) σ' ένα σύστημα ακουστικών μετρήσεων πέρα από τα πρακτικά πλεονεκτήματα που προσφέρει, παρέχει επιπλέον τη δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων, ευελιξία και όλα αυτά σε μία αποδοτική σχέση κόστους και αποτελέσματος. Πολλές ακουστικές μετρήσεις απαιτούν ασυνήθιστα περίπλοκες διαδικασίες υπολογισμού και αποτίμησης. Η δυνατότητα να πραγματοποιούνται on-line αποτιμήσεις και υπολογισμοί κατά τη διάρκεια μίας μέτρησης παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα της άμεσης ανάγνωσης των αποτελεσμάτων. Αυτό αποτελεί σημαντικό βοήθημα σε μία διαδικασία λήψης

απόφασης όπου υπάρχει πλέον και η δυνατότητα της αυτοματοποίησης όχι μόνο τοπικά αλλά και από απόσταση.

2.4. Ηχοεντοπισμός

Ο εντοπισμός της θέσης της πηγής του ήχου αποτελεί αντικείμενο της επιστημονικής έρευνας με συνεχώς αυξανόμενη σημασία. Τα συστήματα για την ανίχνευση, εντοπισμό και παρακολούθηση των ακουστικών πηγών τυγχάνουν ευρείας εφαρμογής στη βιομηχανία, στην άμυνα, στην ρομποτική και στην ασφάλεια (security). Το πλεονέκτημα που παρουσιάζεται από τον εντοπισμό ενός αντικειμένου από τα ηχητικά κύματα που εκπέμπει είναι το γεγονός ότι αυτός ο εντοπισμός αποτελεί μία παθητική μέθοδο εντοπισμού χωρίς να χρειάζεται κάποια συνέργεια από το αντικείμενο καθαυτό. Επιπλέον, το εντοπιζόμενο αντικείμενο δεν έχει ενδείξεις ότι τελεί υπό παρακολούθηση. Αυτό αποτελεί πολύ σημαντικό πλεονέκτημα για τις αμυντικές εφαρμογές. Εξάλλου, ο ηχοεντοπισμός δύναται να αποτελέσει και μία συμπληρωματική μέθοδο σε άλλες μεθόδους παρακολούθησης (Saric et al, 2010).

Γενικότερα οι υφιστάμενες τεχνικές ηχοεντοπισμού βασίζονται πάνω σε μετρήσεις τριών φυσικών μεγεθών:

α. Η διαφορά χρόνου άφιξης (time difference of arrival, TDOA), (Brandstein et al 1996 και 1997, Reed et al 1999) ή μία παραλλαγή αυτού, ο χρόνος άφιξης (time of arrival, TOA), (RMoses et al 2003, Patwari et al 2005, Yao και Lorenzelli 2007)

β. Η γωνία άφιξης (angle of arrival, AOA), ή συνηθέστερα η διεύθυνση άφιξης (direction of arrival, DOA), (Aarabi 2003, Iwakiri και Kobayashi 2008, Schmidt 1986, Trees 2002, Yao και Lorenzelli 2007)

γ. Η ενέργεια ληφθέντος σήματος (received signal energy, RSE), ή συνηθέστερα ισχύς ληφθέντος σήματος (received signal strength, RSS), (Deng και Liu 2007, Li και Hu 2003, Sheng και Hu 2003)

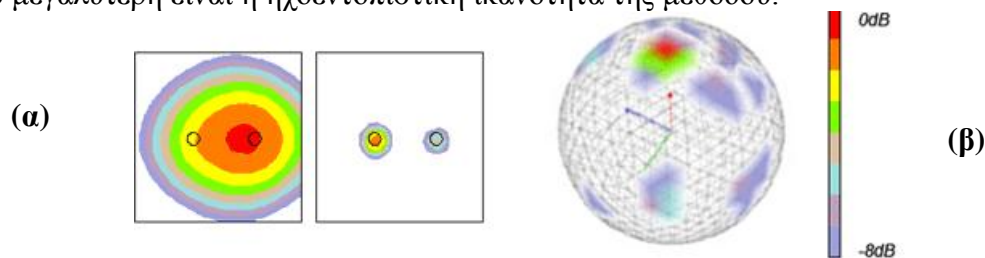
2.4.1. Acoustic Holography - Beamforming

Ο εντοπισμός της πηγής παραγωγής ενός ήχου είναι μία πραγματική πρόκληση στο πεδίο της ακουστικής. Ήδη εδώ και δύο δεκαετίες μία σειρά από μεθόδους που βασίζονται σε συστοιχίες μικροφώνων (microphone arrays) έχουν ωριμάσει και χρησιμοποιούνται σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές. Αυτές οι μέθοδοι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: (α) near-field acoustic holography (NAH), (β) beamforming, και (γ) inverse methods.

Ανάλογα με τη φύση του υπό εξέταση αντικειμένου και του παραγόμενου ήχου καθώς και το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιούνται οι μετρήσεις γίνεται η επιλογή της μεθόδου με την οποία θα πραγματοποιηθεί ο ηχοεντοπισμός. Επιπλέον, η αξιοπιστία κάθε μεθόδου δύναται να κριθεί με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

α. Χωρική διάκριση (spatial resolution): Αφορά στην ικανότητα διάκρισης δύο ξεχωριστών ηχητικών πηγών. Εκφράζεται συνήθως σε cm και αντιπροσωπεύει την ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους, η οποία μετράται από την ηχοεντοπιστική μέθοδο και δεν εμφανίζεται ως μία πηγή. Όσο μικρότερη η spatial resolution τόσο μεγαλύτερη είναι η ηχοεντοπιστική ικανότητα της μεθόδου.

β. Δυναμική διακύμανση (dynamic range): Αφορά στην ικανότητα έκφρασης σε dB του επιπέδου ήχου μεταξύ των ηχητικών πηγών. Όσο μεγαλύτερο το dynamic range τόσο μεγαλύτερη είναι η ηχοεντοπιστική ικανότητα της μεθόδου.



Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση των κριτηρίων ηχοεντοπισμού: (α) Spatial resolution, (β) Dynamic range

Η NAH πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 από τους Maynard και Williams (Maynard et al 1985, Williams 1999) και έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι παρουσιάζει πολύ καλές τιμές χωρικής διάκρισης για χαμηλές όμως συχνότητες. Απεναντίας, το beamforming, μία far-field τεχνική, έχει το πλεονέκτημα ότι με τη χρήση ενός περιορισμένου αριθμού καναλιών ένα σχετικά ευρύ φάσμα συχνοτήτων είναι δυνατό να αναλυθεί με μία σχετικά απλή διαδικασία. Όμως αυτή η τεχνική το spatial resolution είναι ανάλογο του μήκους κύματος της προς ανάλυση συχνότητας, μ' αποτέλεσμα αυτή η τεχνική να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συχνότητες κάτω από 2000 Hz.

Προκειμένου να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα αυτά έχουν παρουσιαστεί διάφορες μεθοδολογίες και τεχνικές. Η τεχνική του focalization (Deblauwe et al, 2007), είναι μία near-field τεχνική που δύναται, στην περίπτωση της NAH να διευρύνει το προς ανάλυση φάσμα συχνοτήτων και να βελτιώσει το spatial resolution για χαμηλές συχνότητες. Ενώ στην περίπτωση του beamforming, η ίδια συστοιχία δύναται να χρησιμοποιηθεί στο near field και να βελτιωθεί το spatial resolution.

Ένας συγκερασμός των 2 τεχνικών, της NAH και του beamforming, αποτελεί η near-field equivalence source imaging (NESI), (Bai και Lin 2007).

Βιβλιογραφία:

Aarabi P, The fusion of distributed microphone arrays for sound localization, EURASIP J Appl Sign Process, Spec Issue Sens Netw 4 (2003) 338–347.

Bass H E, ATMOSPHERIC ACOUSTICS, Encyclopedia of Applied Physics, Wiley (2003) 145-149.

Beranek L L, Acoustics, New York, AIP, 1986

Brandstein M S, Adcock J E, Silverman H F, A localization-error-based method for microphone array design, in Proc. IEEE Int. Conf. Acoustic., Speech, Signal Processing, Atlanta, GA (1996) 901–904.

Brandstein M S, Adcock J E, Silverman H F, A closed-form location estimation for use with roomenvironment microphone array, IEEE Trans, Speech Audio Process 5 (1997) 45–50.

Busch-Vishniac I, Hixson E, ACOUSTICAL INSTRUMENTATION, Encyclopedia of Applied Physics, Wiley (2003) 63-88.

Cook R K, Ehrlich S L, ENGINEERING ACOUSTICS, Encyclopedia of Applied Physics, Wiley, 2003

Deblauwe F, Jansen K, Robin M, Extending the Usability of Near-field Acoustic Holography and Beamforming by using Focalization, 14th International Congress on Sound & Vibration, 9-12 July, 2007, Cairns, Australia.

Deng K, Liu Z, Weighted least-squares solutions for energy-based collaborative source localization using acoustic array. IJCSNS Int J Comput Sci Netw Secur 7:1 (2007) 159–165.

Fahy F, Foundations of Engineering Acoustics, Academic Press, UK, 2003

Iwakiri N, Kobayashi T, Ultra-wideband time-of-arrival and angle-of-arrival estimation using transformation between frequency and time domain signals, J. Commun. 3:1 (2008) 12–19.

Krohn D A, Fiber Optic Sensors - Fundamentals and Applications, Instrumentation Systems, 3rd edition, 2000

Lindsay R B, J. Acoust. Soc. Am. V. 36, 1964, 2242

Li D, Hu Y H, Energy-based collaborative source localization using acoustic microsensor array, EURASIP J Appl Sign Process, Spec Issue Sens Netw 4 (2003) 321–337.

Maynard J D, Williams E G, Lee Y, Nearfield acoustic holography: Theory of generalised holography and the development of NAH, Journal of the Acoustical Society of America 78 (1985) 1395-1413.

Mingsian R Bai, Jia-Hong Lin, Source identification system based on the time-domain nearfield equivalence source imaging: Fundamental theory and implementation, *Journal of Sound and Vibration* 307 (2007) 202–225.

Moses R L, Krishnamurthy D, Patterson R M, A self-localization method for wireless sensor networks, *EURASIP J Appl Sign Process, Spec Issue Sens Netw* 4 (2003) 348–358.

Patwari N, Ash J N, Kyperountas S, Hero III A O, Moses R L, Correal N S, Locating the nodes, *IEEE Sig Process Mag* (2005) 54–69.

PCB Piezotronics, Microphone Handbook, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα www.pcb.com,

Petersen K, Barth P, Christel L, Pashby G, Silicon Sensors and Microstructures, Fremont, CA: Nova Sensor, Chap 3, (1988)

Reed C W, Hudson R E, Yao K, Direct joint source localization and propagation speed estimation, in *Proc IEEE Int Conf Acoustic, Speech, Signal Processing*, Phoenix, AZ (1999) 1169–1172.

Saric Z M, Kukulj D D, Teslic N D, Acoustic Source Localization in Wireless Sensor Network, *Circuits Syst Signal Process* 29 (2010) 837–856.

Schmidt R O, Multiple emitter location and signal parameter estimation, *IEEE Trans, Antennas Propag*, 34:3 (1986) 276–280.

Sheng X, Hu Y H, Energy based acoustic source localization, in *Information Processing in Sensor Networks*, ed. by F. Zhao, L. Guibas, Springer, Berlin (2003), 285–300

Trees H L V, *Optimum Array Processing—Part IV*, Wiley, New York, 2002

Webster J, *Acoustic Variables Measurement*, Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, Wiley, 1999

Williams E G, *Fourier Acoustics*, Academic Press, New York, 1999.

Yao K, Lorenzelli F, Localization in sensor networks, *Wireless sensor networks, ST J Res* 4:1 (2007) 80–95.

Zuckerwar A J, *Acoustical Measurement*, Encyclopedia of Physical Science and Technology (2004) 91-115.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://www.merriam-webster.com/dictionary/acoustics>

http://www.aip.org/pacs/pacs2010/individuals/pacs2010_regular_edition/reg_acoustics_appendix.htm

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

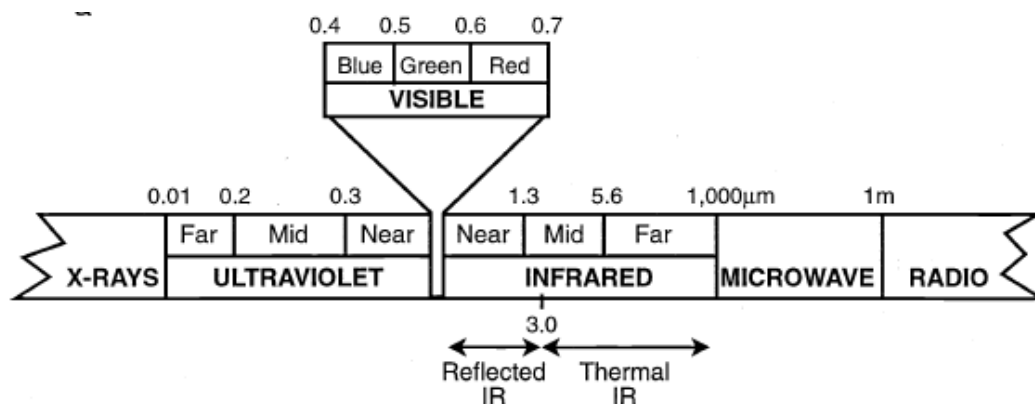
ΟΠΤΙΚΗ

3.1. Γενικά

Η όραση ή η οπτική αντίληψη είναι μια από τις πέντε ανθρώπινες αισθήσεις. Όργανο αντίληψης είναι ο οφθαλμός, ενώ το αντικείμενο της αντίληψης είναι το φως. Ο οφθαλμός αποτελεί κλειστό όργανο και μοιάζει με κοίλη σφαίρα διαμέτρου περίπου 24 mm. Απαρτίζεται από ένα οπτικό τμήμα, το οποίο εστιάζει την οπτική εικόνα στους φωτοαισθητήρες (φωτοϋποδοχείς) και ένα νευρικό τμήμα το οποίο μετατρέπει την οπτική εικόνα σε μια δεδομένη αλληλουχία νευρικών εκφορτίσεων.

Οι φωτοαισθητήρες είναι ευαίσθητοι μόνο σε εκείνο το μικρό τμήμα του ευρύτατου φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, το οποίο καλείται ορατό φως. Όλα τα σώματα εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, η οποία μεταδίδεται με μορφή παλμικών δονήσεων που ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Οι όροι που περιγράφουν την ενέργεια της ακτινοβολίας είναι τα μήκη κύματος και οι συχνότητες. Το μήκος κύματος είναι η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών κυματικών μορφών της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα μήκη κύματος ποικίλλουν και κυμαίνονται από αρκετά χιλιόμετρα στα μακρά κύματα του ραδιοφώνου μέχρι κλάσματα του χιλιοστού, όπως είναι στην ακτινοβολία γ . Η συχνότητα των κυμάτων της ακτινοβολίας μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

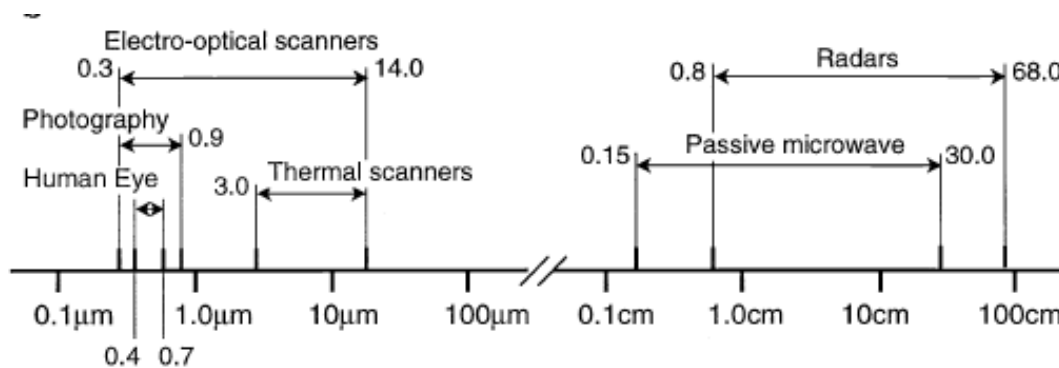
Η ακτινοβολία η οποία δύναται να διεγείρει τους φωτοαισθητήρες του ανθρώπινου οφθαλμού, το ορατό φάσμα δηλαδή, έχει μήκος κύματος που κυμαίνεται από 400 έως και 700 nm. Φωτεινή ακτινοβολία διαφορετικού μήκους κύματος, πάντα μέσα στα όρια του ορατού φάσματος, γίνεται αντιληπτή ως διαφορετικό χρώμα. Ακτινοβολίες με μήκος κύματος μικρότερο από 400 nm (υπεριώδεις) ή μεγαλύτερες από 700 nm (υπέρυθρες) δεν είναι ορατές από τον ανθρώπινο οφθαλμό (Fay 2001).



Εικόνα 5: Μήκη κύματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
(Πηγή: Ronen 2007)

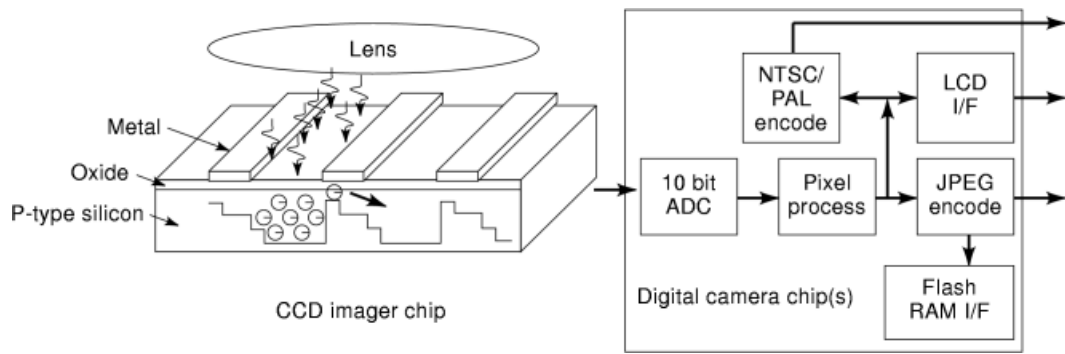
3.2. Καταγραφή και απεικόνιση

Η επιστήμη που μελετά την οπτική αντίληψη είναι η οπτική. Τα πιο κοινά οπτικά αντικείμενα που χρησιμοποιούνται για την οπτική αντίληψη είναι οι φακοί και τα ενδοσκόπια. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει καταστήσει δυνατή την καταγραφή, την απεικόνιση και την αναπαραγωγή εικόνων με την χρήση ψηφιακών μέσων, όπως οι αισθητήρες (Schueler και Woody, 1992). Ο τύπος και η τεχνολογία των φακών και των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση διαφέρουν ανάλογα με το μήκος κύματος που θα πρέπει να αποτυπωθεί. Στην εικόνα 6 αναφέρονται οι συσκευές απεικόνισης και καταγραφής ανάλογα με το φάσμα το οποίο καταγράφουν. Το πιο διαδεδομένο μέσο καταγραφής σήμερα είναι οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και οι κάμερες βιντεοσκόπησης. Στη βασική τους μορφή αποτελούνται από ένα φακό και μια φωτοευαίσθητη επιφάνεια, τον αισθητήρα.



Εικόνα 6: Φάσμα λειτουργίας των πιο διαδεδομένων συσκευών καταγραφής
(Πηγή: Kadmon 2007)

Αναλυτικότερα, ο αισθητήρας είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, το οποίο αποτελείται από πολλές σειρές φωτοευαίσθητων "κελιών", τα οποία με τη σειρά τους σχηματίζουν μια μήτρα. Κάθε κελί περιέχει μια ειδική "φωτοδίοδο", η οποία (λόγω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου) παράγει ηλεκτρικό φορτίο όταν έρθει σε επαφή με φως. Το φορτίο που παράγεται είναι ανάλογο με την ποσότητα του φωτός που πέφτει στο εικονοστοιχείο (pixel). Όσο περισσότερο είναι το φως, τόσο μεγαλύτερη τάση παράγεται και αποθηκεύεται στον μικρό πυκνωτή που περιλαμβάνει κάθε κελί. Το γινόμενο του αριθμού φωτοευαίσθητων κελιών κάθε σειράς επί τον αριθμό των σειρών δίνει το μέγεθος του αισθητήρα σε εικονοστοιχεία. Το φυσικό μέγεθος του αισθητήρα και το μέγεθος των μεμονωμένων pixel είναι παράγοντες που συνδυάζονται για να καθορίσουν πολλές πτυχές της απόδοσής του (Kingston 2003).



Εικόνα 7: Η σύνδεση του κυκλώματος του αισθητήρα και του ψηφιακού συστήματος απεικόνισης.

(Πηγή: Webster 1999)

Υπάρχουν δυο κύρια είδη αισθητήρων, τα λεγόμενα CCD (Charge Coupled Device) και CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι είναι οι αισθητήρες CCD οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στο φως, χαμηλότερα επίπεδα θορύβου (noise) και υψηλότερη δυναμική κλίμακα (dynamic range), ενώ οι CMOS χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου επιθυμείται μειωμένο κόστος κατασκευής (Litwiller D 2001, Magnan P 2003, Theuwissen A J P 2003).

Στις σύγχρονες ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές το φιλμ έχει αντικατασταθεί από μία ψηφιακή CCD συστοιχία. Ένας κοινός αισθητήρας CCD, όπως για παράδειγμα των κινητών τηλεφώνων, μπορεί να περιέχει περισσότερα από 1300 pixels, με απαίτηση περίπου 1,3 MB της ψηφιακής μνήμης. Οι κοινές βιντεοκάμερες έχουν CCD συστοιχίες με 780 X 480 pixels και πραγματοποιούν λήψη νέας εικόνα κάθε 1 / 30 s. (Young M, 2004)

3.2.1. Αισθητήρες CMOS

Η μορφή CMOS αποτελεί σήμερα την κυριότερη μορφή σχεδιασμού chip. Ο αισθητήρας CMOS έχει, συγκριτικά, μεγάλη πυκνότητα κυκλωμάτων. Αυτό επιτρέπει στον κατασκευαστή να ενσωματώσει κάποιες επιπλέον λειτουργίες στο chip, όπως για παράδειγμα την ενσωμάτωση της λειτουργίας της μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analog to digital conversion - ADC). Έτσι, το τελικό προϊόν έχει μικρό μέγεθος και μία πληθώρα λειτουργιών με αποτέλεσμα να έχει χαμηλό συνολικό κόστος κατασκευής. Επιπρόσθετα, έχει και συγκριτικά χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας (Bigasa M et al 2006, Theuwissen A 2001).

Πιο αναλυτικά, τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν αυτοί οι αισθητήρες συνοψίζονται ως εξής:

α. Χαμηλή κατανάλωση ισχύος, μέχρι και 100 φορές λιγότερο από τους αισθητήρες CCD. Επιπλέον λειτουργούν σε χαμηλή τάση.

β. Σαφώς το κόστος των αισθητήρων CMOS είναι σημαντικά χαμηλότερο απ' αυτό των αισθητήρων CCD.

γ. Η χρηστικότητα και η συμβατότητα στους αισθητήρες CMOS είναι σημαντική καθώς δύνανται να ενσωματώνουν πολλές λειτουργίες εντός του ίδιου κυκλώματος (chip), όπως είναι ενίσχυση, μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, συμπίεση, επεξεργασία εικόνας και αρκετές ακόμη λειτουργίες.

δ. Σημαντική μείωση μεγέθους (Miniaturisation).

ε. Δυνατότητα λήψης εικόνων με υψηλή ταχύτητα.

Απεναντίας, τα μειονεκτήματα αυτών των αισθητήρων, επιγραμματικά, είναι τα κάτωθι:

- α. Χαμηλή ευαισθησία
- β. Ύπαρξη θορύβου ιδιαίτερα σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού.
- γ. Χαμηλή ποιότητας εικόνας σε σχέση με τους αισθητήρες CCD

3.2.2. Αισθητήρες CCD

Η ανακάλυψή τους τοποθετείται χρονικά στα τέλη της δεκαετίας του '60, το 1969 συγκεκριμένα από ερευνητές των εργαστηρίων Bell. Τόσο στις κάμερες, όσο και στις φωτογραφικές μηχανές, οι αισθητήρες CCD είναι τοποθετημένοι ακριβώς πίσω από τον φακό. Ο τελευταίος λαμβάνει την εικόνα και την προσαρμόζει σε μέγεθος ίδιο με την επιφάνεια του αισθητήρα, του οποίου η διαγώνιος μπορεί να φθάσει έως και το $\frac{1}{2}$ της ίντσας, ενώ η αναλογία πλευρών του δύναται να είναι 4:3, ή ακόμη 16:9, αναλόγως της εφαρμογής.

Στο σημείο αυτό οφείλεται να διευκρινισθεί ότι οι ειδικές φωτοδιόδοι είναι ευαίσθητες μόνο στην ένταση του φωτός. Συνεπώς, για να καταγραφεί το χρώμα υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες αισθητήρων. Οι αισθητήρες διάταξης και οι γραμμικοί αισθητήρες.

Στους αισθητήρες διάταξης τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- α. Στα εικονοστοιχεία που αντιδρούν μόνο στο κόκκινο φως,
- β. Στα εικονοστοιχεία που αντιδρούν μόνο στο πράσινο,
- γ. Στα εικονοστοιχεία που αντιδρούν μόνο στο μπλε.

Υπενθυμίζεται ότι όλα τα χρώματα σχηματίζονται από το συνδυασμό αυτών των τριών χρωμάτων, δηλαδή του κόκκινου, πράσινου και μπλε. Επομένως, ένα εικονοστοιχείο που αντιδρά στο κόκκινο φως παράγει ηλεκτρική τάση μόνο όταν πέσει πάνω του κόκκινο φως, ενώ μένει ανεπηρέαστο από τα άλλα δύο χρώματα. Ανάλογη είναι και η αντίδραση των άλλων δύο κατηγοριών εικονοστοιχείων. Κάθε εικονοστοιχείο δίνει ένα byte ψηφιακής πληροφορίας. Κάθε byte όμως περιέχει οκτώ bits και κάθε bit έχει τιμή 1 ή 0, που αντιστοιχεί στο on και στο off. Όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των οκτώ bits μας δίνουν 256 συνδυασμούς. Τελικά, το κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να αντιδράσει στην ένταση του φωτός που πέφτει πάνω του με 256 διαφορετικές τιμές, που ποικίλουν από το μηδέν (καθόλου φως) μέχρι το 256 (μέγιστη ένταση φωτός). Με άλλα λόγια, κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να διαβάσει 256 διαφορετικά επίπεδα φωτός. Αν πολλαπλασιάσουμε 256 X 256 X 256 (τα επίπεδα του φωτός που «διαβάζει» κάθε εικονοστοιχείο) επί τα χρώματα κόκκινο, πράσινο, μπλε, βρίσκουμε τον αριθμό 16.777.216. Αυτό σημαίνει ότι ένας αισθητήρας CCD - RGB μπορεί να «διαβάσει» 16.777.216 διαφορετικά χρώματα.

Απεναντίας η λειτουργία των γραμμικών αισθητήρων παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση. Πιο συγκεκριμένα, ο αισθητήρας αυτός πραγματοποιεί τρεις λήψεις του ίδιου θέματος, όπου στην κάθε λήψη χρησιμοποιεί ένα κόκκινο, πράσινο και μπλε φίλτρο. Έτσι, η τελική εικόνα προέρχεται από τον συνδυασμό των τριών χρωμάτων RGB.

Η συμβολή των αισθητήρων στη φορητότητα των συσκευών υπήρξε καταλυτική. Πριν από αυτούς, οι φορητές, επαγγελματικές μόνο, κάμερες χρησιμοποιούσαν καθοδικούς σωλήνες, λυχνίες Emitron αρχικά και Vidicom στη συνέχεια, ενώ οι φωτογραφικές μηχανές ήταν ακόμα αναλογικές και ο αισθητήρας τους ήταν το φωτοχημικό φιλμ. Σήμερα, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας κατασκευής των αισθητήρων έκανε εφικτή τη μαζική παραγωγή συσκευών απεικόνισης και βίντεο, αλλά

και την ποιοτική βελτίωση των χαρακτηριστικών που διαθέτουν αυτές οι συσκευές απεικόνισης. Οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και βιντεοκάμερες, οι κάμερες των κινητών τηλεφώνων, οι web κάμερες και οι κάμερες των συστήματος παρακολούθησης ασφαλείας είναι μερικές από τις πιο κοινές εφαρμογές αυτών των αισθητήρων. Ο χαμηλότερος θόρυβος, το μεγαλύτερο φάσμα, η αύξηση του αριθμού των pixels, η χαμηλότερη κατανάλωση ρεύματος, οι «έξυπνοι» αισθητήρες εικόνας, είναι μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της εξέλιξης (Seitz και Knop, 1996). Πέραν αυτών των ευρέων διαδομένων εφαρμογών, έχουν αναπτυχθεί διάφορες άλλες ιδιαίτερες εφαρμογές που βασίζονται σε κάμερες, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η ασφάλεια, η έρευνα και διάσωση.

3.3. Υπέρυθρη Ακτινοβολία και Θερμική Απεικόνιση

Το φως είναι μια μορφή ενέργειας κυμάτων ακτινοβολίας και καταλαμβάνει ένα φάσμα. Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να δει, μόνο ένα μέρος του φάσματος (μεταξύ των μηκών κύματος 400 - 700 nm). Η ακτινοβολία με μήκος κύματος μικρότερο του μπλε ακριβώς έξω από το ορατό φάσμα είναι το υπεριώδες φως και η ακτινοβολία με μήκος κύματος μεγαλύτερο του κόκκινου είναι το υπέρυθρο φως. Εκτείνεται από 0,7 mm έως 100 mm. Το υπέρυθρο φάσμα, κατά κοινή παραδοχή, χωρίζεται σε πέντε διαφορετικές ζώνες. Οι ζώνες της υπέρυθρης ακτινοβολίας ορίζονται συνήθως ως εξής (Krapels και Driggers, 2001):

- α. Εγγύς υπέρυθρη (NIR – Near Infrared) 0,7 - 1,0 μm ,
- β. Υπέρυθρη χαμηλού μήκους κύματος (SWIR – Short Wavelength Infrared) από 1.0 έως 3.0 μm ,
- γ. Υπέρυθρη μέτριου μήκους κύματος (MWIR – Medium Wavelength Infrared) από 3,0 έως 5,0 μm ,
- δ. Υπέρυθρη μεγάλου μήκους κύματος (LWIR – Long Wavelength Infrared) από 8,0 έως 15,0 μm , και
- ε. Υπέρυθρη πολύ μεγάλου μήκους κύματος (FIR – Far Infrared) από 14,0 έως 1000 μm .

Μία διαφορετική ταξινόμηση, για την υπέρυθρη ακτινοβολία, προτείνεται από την International Commission on Illumination (CIE) (<http://cie.co.at/>), ως εξής:

- α. IR-A με μήκος κύματος 0,7 μm έως 1,4 μm
- β. IR-B με μήκος κύματος 1,4 μm έως 3 μm
- γ. IR-C με μήκος κύματος 3 μm έως 1000 μm

Επίσης το διεθνές πρότυπο ISO 20473:2007 (<http://www.iso.org/>) ταξινομεί την υπέρυθρη ακτινοβολία ως εξής:

- α. Near Infrared (NIR) με μήκος κύματος 0,78 μm έως 3 μm
- β. Mid Infrared (MIR) με μήκος κύματος 3 μm έως 50 μm
- γ. Far Infrared (FIR) με μήκος κύματος 50 μm έως 1000 μm

Η υπέρυθρη ακτινοβολία (φως) που εκπέμπεται από όλα τα αντικείμενα (άνθρωποι, ζώα και φυτά) ανιχνεύεται από τους NIR (Near IR) ανιχνευτές. Πολλοί αισθητήρες των κοινών συσκευών είναι ευαίσθητοι και στο φάσμα 700-1100 nm και ενσωματώνουν κάποιο φίλτρο IR για την λειτουργία ημέρας/νύχτας, το οποίο μπορεί να αφαιρεθεί αυτόματα ή χειροκίνητα για να επιτρέψει στην κάμερα να χρησιμοποιήσει το υπέρυθρο φως IR, έτσι ώστε να μπορεί να καταγράψει ακόμη και σε ένα πολύ σκοτεινό

περιβάλλον (Kadmon 2007). Ωστόσο, οι κοινές συσκευές με φίλτρο IR, μπορεί να εμφανίσουν βλάβη για ορισμένο χρονικό διάστημα, αν εντοπιστεί μια ανώμαλη θερμοκρασία (Wang et al 2007).

Η θερμογραφία είναι μία μέθοδος με την οποία ανιχνεύουμε τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στις επιφάνειες διαφόρων υλικών. Με την μέθοδο αυτή προσδιορίζουμε και ερμηνεύουμε τις θερμοκρασιακές διαφορές που εμφανίζονται στα υλικά και στην κατασκευή εν γένει.

3.3.1 Λειτουργία της κάμερας Θερμογραφικής απεικόνισης

Οι κάμερες υπέρυθρων μετρούν και απεικονίζουν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο. Το γεγονός ότι αυτή η ακτινοβολία είναι συνάρτηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του αντικειμένου, επιτρέπει στην κάμερα να υπολογίσει και να εμφανίσει την εν λόγω θερμοκρασία. Ωστόσο, η ακτινοβολία που μετράται από την κάμερα δεν είναι μόνο αποτέλεσμα της θερμοκρασίας του αντικειμένου, αλλά είναι συνάρτηση και άλλων παραγόντων όπως η εκπομπή, η ανάκλαση και η απορρόφηση ακτινοβολίας που πραγματοποιείται στο αντικείμενο και στον περιβάλλοντα χώρο. Συνεπώς, για να μετρηθεί επακριβώς η θερμοκρασία του αντικειμένου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να ρυθμίζονται μια σειρά παραμέτρων, όπως ο συντελεστής εκπομπής του αντικειμένου, η θερμοκρασία ανάκλασης, η απόσταση του αντικειμένου από την κάμερα, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας.

Η πιο σημαντική παράμετρος του αντικειμένου, η οποία και θα πρέπει να ρυθμιστεί σωστά είναι ο συντελεστής εκπομπής που αποτελεί εν ολίγοις ένα μέτρο της ποσότητας ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το αντικείμενο σε σχέση με εκείνη ενός ιδανικού μέλανος σώματος στην ίδια θερμοκρασία. Το «μέλαν σώμα» (black body) ορίζεται ως ένα αντικείμενο που απορροφά κάθε ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό με οποιοδήποτε μήκος κύματος. Τα περισσότερα υλικά κατασκευής των αντικειμένων παρουσιάζουν συντελεστή μεταξύ 0 και 0.95.

Ιδιαίτερα για την καταγραφή της υπέρυθρης ακτινοβολίας σε εφαρμογές, όπου απαιτούνται ακριβείς απεικονίσεις λεπτομερειών είναι απαραίτητο να εξετάζονται όλοι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες και η ιδιαίτερη σύσταση των αντικειμένων, έτσι ώστε τόσο ο αισθητήρας όσο και ο φακός να προσαρμόζονται στις απαιτήσεις (Bilodeau και συν. 2010). Κατά τους Schueler και Woody (1992) οι απαιτήσεις αυτές διακρίνονται σε: (α) χωρικές, (β) φασματικές και (γ) ραδιομετρικές. Πιο συγκεκριμένα:

α. Χωρικές (spatial) Απαιτήσεις: Η πιο προφανής απαίτηση του αισθητήρα και το πιο εύκολο να προσδιοριστεί είναι η χωρική ικανότητα απεικόνισης του. Με βάση την απαιτούμενη εφαρμογή πρέπει να καθοριστούν το ελάχιστο και το μέγιστο εύρος για τα αντικείμενα ενδιαφέροντος, το οπτικό πεδίο που θα καταγράψει και το ελάχιστο μέγεθος της λεπτομέρειας στα αντικείμενα ενδιαφέροντος. Όσον αφορά το εύρος της σκηνής, η περιοχή με τα αντικείμενα του ενδιαφέροντος μπορεί να ποικίλλει, αλλά σε γενικές γραμμές το μέγιστο εύρος για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ανάλυσης του αισθητήρα και η κατώτατη περιοχή περιορίζει το οπτικό πεδίο. Το εύρος μπορεί να ορίζεται σε οποιαδήποτε μονάδα, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η μονάδα μήκους (m).

β. Φασματικές (spectral) Απαιτήσεις: Η χρωματική ευαισθησία του αισθητήρα αποτελεί σημαντικό παράγοντα για το σχεδιασμό, επειδή το ποσό της οπτικής ενέργειας που διατίθεται σε μια σκηνή εξαρτάται από το πλάτος της φασματικής περιοχής που χρησιμοποιεί ο αισθητήρας για να συλλάβει τις εικόνες. Οι παράγοντες που ευθύνονται για τη διακύμανση αυτή είναι η φασματική διακύμανση της ηλιακής

ακτινοβολίας, η φασματική διαφοροποίηση στην ευαισθησία του ανιχνευτή, και η φασματική διακύμανση του φίλτρου μετάδοσης. Συνήθως, η χρωματική ευαισθησία εξαρτάται κυρίως από την εφαρμογή και έχει σημαντική επίδραση στο σχεδιασμό του αισθητήρα. Για παράδειγμα, αν απαιτούνται έγχρωμες εικόνες τότε είναι απαραίτητη μια έγχρωμη κάμερα με ανιχνευτές ευαίσθητους στο μπλε φως (περίπου 0,45 μm), στο πράσινο φως (περίπου 0,55 μm), και στο κόκκινο φως (περίπου 0,65 μm). Αν απαιτούνται εικόνες νύχτας, απαιτείται θερμική ευαισθησία στα 11 μm και ο σχεδιασμός της θα είναι σημαντικά διαφορετικός. Για τη σωστή ρύθμιση του αισθητήρα και τις φασματικές απαιτήσεις πρέπει να ορίζονται, κυρίως, δύο παράμετροι και οι οποίες είναι η φασματική ζώνη και η φασματική bandshape.

γ. Ραδιομετρικές (radiometric) Απαιτήσεις: Στην κατηγορία αυτή των απαιτήσεων, περιλαμβάνονται η τελική ευαισθησία, η φωτεινότητα, το εύρος φωτεινότητας και η ακριβής ρύθμιση (calibration) του αισθητήρα. Η ευαισθησία του αισθητήρα συνήθως περιγράφεται από το πιο αδύναμο σήμα ακτινοβολίας που ο αισθητήρας μπορεί να διακρίνει πάνω από το θόρυβο ή τις παρεμβολές που επηρεάζουν τον αισθητήρα. Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η ευαισθησία τόσο πιο δύσκολη είναι η σχεδίαση του αισθητήρα λόγω της ανάγκης να μειωθεί το επίπεδο θορύβου ή να αυξηθεί το σήμα. Ως εκ τούτου, η αύξηση της ευαισθησίας του αισθητήρα συνήθως επάγεται και αύξηση του κόστους. Για αισθητήρες που λειτουργούν σε εξωτερικούς χώρους σε ηλιόλουστο περιβάλλον, οι μεταβολές ανακλαστικότητας του αντικειμένου είναι ο βασικός παράγοντας της διακύμανσης του σήματος. Ο «θόρυβος ανάκλασης» (noise emission) χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ευαισθησία ενός αισθητήρα λειτουργίας στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα. Για αισθητήρες που λειτουργούν σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, όπως μια βιντεοκάμερα που χρησιμοποιείται σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικούς χώρους, η ανακλαστικότητα αντικειμένου μέσα σε μια σκηνή έχει μικρότερη επίδραση στη διακύμανση του σήματος από τη συνολική φωτεινότητα σκηνής.

Στο ορατό φάσμα (VIS) υπάρχει μεγάλη ποικιλία υλικών από γυαλί και πλαστικό που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φακοί σε απλές συσκευές φωτογράφισης και βιντεοσκόπησης. Αυτό διευκολύνει τη μαζική παραγωγή αυτών των συστημάτων και την διάθεση αυτών σε χαμηλή τιμή. Ωστόσο, στο Low Wavelength Infrared (LWIR) φάσμα, δηλαδή σε μήκη κύματος από 8 μm έως και 15 μm υπάρχουν μόνο λίγοι φακοί από γυαλί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (όπως Γερμανίου και ZnSe). Τα περισσότερα υλικά από γυαλί (όπως BK7) παρουσιάζουν μικρή απορρόφηση σε LWIR και ως εκ τούτου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτό το μήκος κύματος. Επιπλέον, συνήθως τα γυάλινα υλικά για το ορατό φάσμα είναι φθηνότερα σε σχέση με τα υλικά LWIR. Για τους λόγους αυτούς είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται χωριστή κάμερα για το ορατό φάσμα και το Near IR δηλαδή το φάσμα με μήκη κύματος 700 - 1100 nm και χωριστή για το LWIR φάσμα.

Επιπλέον, για την απεικόνιση υπέρυθρης ακτινοβολίας μεγαλύτερου μήκους κύματος (MWIR, LWIR) χρησιμοποιούνται διαφορετικού τύπου αισθητήρες οι οποίοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: (α) τους ανιχνευτές φωτονίων και (β) τους ανιχνευτές θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα:

α. Οι ανιχνευτές φωτονίων χρησιμοποιούν φωτοαγώγιμες και φωτοβολταϊκές διεργασίες και βασίζονται στη μετατροπή των φωτονίων σε ηλεκτρόνια και οπές. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η υψηλή ευαισθησία τους και η ταχεία αντίδραση, ενώ τα μειονεκτήματά τους είναι η ανάγκη χρήσης κάποιας μορφής ψύξης για να φτάσουν τα ανώτερα όρια της ευαισθησίας τους.

β. Οι θερμικοί ανιχνευτές γενικά δεν ψύχονται, ανταποκρίνονται εξίσου σ' όλα τα μήκη κύματος, έχουν μέτρια ευαισθησία και πιο αργό χρόνο απόκρισης και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν μέτρια επίπεδα ευαισθησίας (Accetta 1993). Στην κατηγορία των θερμικών ανιχνευτών περιλαμβάνονται τα βολόμετρα και οι πυροηλεκτρικοί ανιχνευτές. Οι κάμερες με μικροβολόμετρα κυριαρχούν σήμερα στην αγορά καμερών θερμικών ανιχνευτών. Η λειτουργία του βολόμετρου βασίζεται στο γεγονός ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα ορισμένων υλικών αλλάζει σημαντικά με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η υπέρυθη ακτινοβολία θερμαίνει το στοιχείο του ανιχνευτή και η μεταβολή της αγωγιμότητας μετριέται ηλεκτρονικά (Rogalski 2002).

Οι κάμερες που λειτουργούν με την ανίχνευση της θερμότητας ή υπέρυθρης ακτινοβολίας έχουν πολυάριθμες εφαρμογές στην ασφάλεια στον στρατιωτικό τομέα ή σε καταστάσεις νυχτερινής επιτήρησης. (Webster 1999). Την τελευταία δεκαετία έχουν αναπτυχθεί και σημαντικές εφαρμογές στο τομέα της ιατρικής οι οποίες περιλαμβάνουν τον εντοπισμό δερματικών παθήσεων, οφθαλμικών ανωμαλιών, καρκίνο του μαστού, καθώς και την αντίδραση στο στρες. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση του συνδρόμου αιφνίδιου βρεφικού θανάτου βάσει της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στο πρόσωπο (Bilodeau et al 2010). Ακόμα, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ναυσιπλοΐας, στην βιομηχανία, στην θερμογράφηση κτιρίων, σε εφαρμογές οδικής ασφάλειας σε ειδικές καταστάσεις, στην πυρόσβεση και σε εφαρμογές έρευνας και διάσωσης. Επίσης, η περαιτέρω εξέλιξη τους σε συνδυασμό με την μείωση τους κόστους κτήσης έχει ως αποτέλεσμα οι εφαρμογές χρήσης αυτών των συσκευών να διευρύνονται συνεχώς.

3.4. Ενδοσκόπιο

Το ενδοσκόπιο μπορεί να είναι άκαμπτο ή εύκαμπτο σύστημα οπτικής. Το άκαμπτο ενδοσκόπιο αποτελείται από μια σειρά από πρίσματα και φακούς μέσα σε ένα μακρύ σωλήνα. Το εύκαμπτο ενδοσκόπιο αποτελείται από μια ευέλικτη δέσμη ινών που λειτουργεί ως αγωγός της εικόνας. Αυτό επιτρέπει την καλύτερη κινητικότητα σε θέσεις που εμφανίζουν δυσκολία πρόσβασης και προσφέρει επίσης βελτιωμένη φωτεινότητα σε σχέση με τα πρίσματα και τους φακούς. Ωστόσο, η τεχνολογία της ενδοσκόπησης δεν φαίνεται να είναι κατάλληλη, επί του παρόντος, για την εφαρμογή σε κοινές συσκευές απεικόνισης και βίντεοσκόπησης.

Το άκαμπτο ενδοσκόπιο οδηγεί σε εξαιρετικά περίπλοκη και ακριβή οπτική δομή. Λόγω του μεγέθους του απαιτεί ισχυρή μηχανική κατασκευή και συνεπώς βαριά δομή. Η χρήση οπτικών ινών είναι επίσης προβληματική. Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει υψηλό κόστος, ιδιαίτερα όταν οι οπτικές ίνες εκτείνονται σε μήκος, τότε η μηχανική αντοχή μειώνεται και τα οπτικά υλικά που απαιτούνται στο μεγαλύτερο μήκος κύματος IR είναι δύσκολα καθιστώντας έτσι μη πρακτική τη θερμική απεικόνιση με ενδοσκόπιο.

Σήμερα οι κάμερες του φάσματος VIS / NIR είναι μικρού μεγέθους, εύχρηστες και μπορούν να τοποθετούνται εύκολα στην περιοχή ενδιαφέροντος. Έτσι το ενδοσκόπιο δεν είναι πραγματικά αναγκαίο σε εφαρμογές που σχετίζονται με την παρακολούθηση και την ασφάλεια και η χρήση του περιορίζεται σε ιατρικές εφαρμογές και στην βιομηχανία (Walt et al 2003).

3.5. Εκπομπή, αναπαραγωγή και αποθήκευση εικόνας και βίντεο

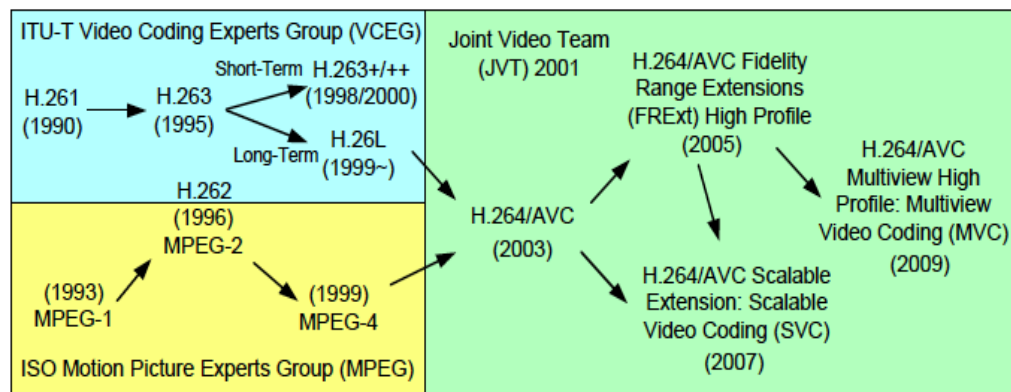
Video streaming είναι η μεταφορά δεδομένων βίντεο σε συνεχή ροή (Sun et al 2007). Οι ενέργειες που απαιτούνται για την μεταφορά δεδομένων βίντεο είναι η ψηφιοποίηση και η συμπίεση της εικόνας.

Ψηφιοποίηση είναι η διαδικασία μετατροπής μιας εικόνας σε μια διακριτή σειρά αριθμούς. Η ψηφιοποίηση περιλαμβάνει δύο διαδικασίες:

- (α) τη δειγματοληψία της εικόνας σε ένα συγκεκριμένο πλέγμα σημείων και
- (β) κβαντοποίηση (quantizing) της τιμής σε κάθε ένα από αυτά τα σημεία για να κάνουν ένα διακριτό σύνολο αποχρώσεων του γκρι χρώματος.

Ο στόχος της συμπίεσης εικόνας (ή κωδικοποίησης της εικόνας) είναι να μειωθεί η ποσότητα των πληροφοριών που απαιτούνται για να καθοριστεί μια εικόνα ή μια αποδεκτή προσέγγιση μιας εικόνας. Η συμπίεση επιτρέπει την αποθήκευση εικόνων χρησιμοποιώντας λιγότερη μνήμη ή την μετάδοση αυτών σε λιγότερο χρόνο. Η συμπίεση εικόνας λόγω της χρησιμότητάς της σ' ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών έχει πλέον τυποποιημένα πρότυπα. Για την συμπίεση ακίνητης εικόνας (φωτογραφίας), αναπτύχθηκαν πρότυπα όπως το Joint Photographic Experts Group (JPEG) και το Joint Bi-Level Photographic Experts Group (JBIG) τα οποία είναι πλέον καθημερινής χρήσης.

Για τη συμπίεση ακολουθιών εικόνων (βίντεο) υπάρχουν πολλά διαθέσιμα πρότυπα, όπως τα H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2 και MPEG-4, αλλά και νέα πρότυπα, όπως το H.264 και το MPEG-7 (Chellappa και Rosenfeld, 2004).



Εικόνα 8: Εξέλιξη των συστημάτων κωδικοποίησης βίντεο
(Πηγή: Yu-Han Chen και Liang-Gee Chen, 2010)

3.5.1. Αναπαραγωγή βίντεο

Τα κυριότερα στοιχεία της αναπαραγωγής βίντεο περιλαμβάνουν το aspect ratio, τον συγχρονισμό την οριζόντια και κάθετη ανάλυση, τον ρυθμό των καρτέ που απαιτούνται για να δοθεί η ψευδαίσθηση της ομαλής κίνησης, τα θεμελιώδη χρώματα και το RGB (κόκκινο, πράσινο, μπλε) διάστημα χρώματος και μορφές κωδικοποίησης βίντεο, όπως το NTSC, PAL και SECAM (Apostolopoulos et al 1999).

Ουσιαστικά, το βίντεο είναι μια αλληλουχία εικόνων που μεταδίδονται με σταθερή ταχύτητα συνήθως 25 με 30 καρτέ ανά δευτερόλεπτο (frame rate) με συγχρονισμένο ήχο. Για να δώσει την ψευδαίσθηση της ομαλής κίνησης της (δηλαδή με την απαλή κίνηση της κάμερας και / ή την ομαλή κίνηση των αντικειμένων στο πλαίσιο), απαιτείται ταχύτητα τουλάχιστον 25 καρτέ του βίντεο ανά δευτερόλεπτο.

Σήμερα υπάρχουν πολλές μορφές ή πρότυπα για κωδικοποίηση πληροφοριών video και οι περισσότερες από αυτές περιλαμβάνουν κάποιο είδος συμπίεσης. Για την αναπαραγωγή βίντεο, οι κυριότερες εφαρμογές είναι οι AVI της Microsoft, QuickTime της Apple και H261/p*42 για την τηλεοπτική εκπομπή (Smeaton 2004). Επειδή το βίντεο είναι μέσο που χρησιμοποιεί τη διάσταση του χρόνου, μπορούμε να

χρησιμοποιήσουμε τις γνωστές τεχνικές play, pause, fast-forward και rewind των συσκευών βίντεο (VCR) και DVD για να περιηγηθούμε στο ενιαίο αρχείο βίντεο. Έχουν επίσης αναπτυχθεί τεχνικές που επιτρέπουν τη λειτουργία fast-forward για να αφαιρεθούν παύσεις ή σιωπές στο βίντεο αυτόματα και να αφήσει τον χρήστη να ρυθμίσει την ταχύτητα αναπαραγωγής (Drucker et al, 2002). Τα παραπάνω έχουν μεγάλη σημασία σε εφαρμογές ασφαλείας, όπου συνήθως αναζητούνται συγκεκριμένα γεγονότα που έχουν βιντεοσκοπηθεί.

3.5.2. Αποθήκευση βίντεο

Τα διαθέσιμα μέσα για την αποθήκευση των αρχείων βίντεο έχουν εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, ακολουθώντας τις ανάγκες που δημιουργούνται από το συνεχώς αυξανόμενο μέγεθος των αρχείων. Κάποιες από τις διαθέσιμες επιλογές είναι τα οπτικά μέσα όπως τα CD και τα DVD και τα μαγνητικά μέσα όπως τα φιλμ, οι μαγνητικές ταινίες, τα flash disks και οι σκληροί δίσκοι των υπολογιστών. Μια εναλλακτική επιλογή αποθήκευσης είναι τα δίκτυα και οι εφαρμογές που παρέχονται μέσα από αυτά (Webster 1999).

Η αποθήκευση αρχείων βίντεο αποτελεί σημαντικό παράγοντα της αποτελεσματικότητας μιας εγκατάστασης, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για εφαρμογές ασφαλείας, γι' αυτό και απαιτείται καλή γνώση των διαθέσιμων επιλογών σήμερα σε συνδυασμό με την πλήρη καταγραφή των αναγκών της κάθε εφαρμογής.

Βιβλιογραφία:

Accetta J, Sensors, Infrared, Industrial Technology Institute, Ann Arbor, Michigan, U.S.A, 1993

Apostolopoulos J G, Wee S J, VIDEO COMPRESSION STANDARDS, Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering (1999) 151-166.

Bigasa M, Cabruja E, J. Forest, J. Salvi, Review of CMOS image sensors, Microelectronics Journal 37 (2006) 433–451.

Bilodeau G A, Torabi A, Lžvesque M, Ouellet C, Pierre Langlois P J M, Lema P, Carmant L, Body temperature estimation of a moving subject from thermographic images, Machine Vision and Applications, Springer-Verlag 2011

Chellappa R, Rosenfeld A, Image Processing Encyclopedia of Physical Science and Technology (2004) 595-630.

Chen Yu-Han and Chen Liang-Gee, Video Compression, Handbook of Signal Processing Systems Part 1 (2010) 103-121.

Drucker S M, Glatzer A, De Mar S, Wong C, Smartskip: Consumer level browsing and skipping of digital video content, Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems, 2002

Fay, Photodetectors, Encyclopedia of Materials: Science and Technology, Elsevier (2001) 6909-6923.

Kadmon R, Remote Sensing and Image Processing, Encyclopedia of Biodiversity, (2007) 121-143.

Kingston R H, Optical Detectors, Encyclopedia of Physical Science and Technology, Elsevier (2003) 237-253.

Krapels K, Driggers R G, Infrared Imaging, Encyclopedia of Modern Optics, Elsevier (2005) 152-163.

Magnan P, Detection of visible photons in CCD and CMOS: A comparative view, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 504 (2003) 199–212

Rogalski A., Infrared detectors: an overview, Infrared Physics & Technology, Vol. 43 (2002), 187-210

Schueler C, Woody L, Digital Electro-Optical Imaging Sensors, International Journal of Imaging Systems and Technology 4:3 (1992) 170–200.

Seitz P, Knop K, Image Sensors, Sensors Update 2:1 (1996) 85–103.

Smeaton A F, Indexing, Browsing, and Searching of Digital Video, Annual Review of Information Science and Technology 38:1 (2004) 371–407.

Steigerwald S, Illumination with Solid State Lighting Technology, IEEE, Journal on Selected Topics in Quantum Electronics 8:2 (2002) 310 – 320.

Sun H, Vetro A, Xin J, An overview of scalable video streaming, Wireless Communications and Mobile Computing 7 (2007) 159–172.

Theuwissen A J P, Solid-State Imaging Devices, Encyclopedia of Physical Science and Technology (2003) 317-327.

Theuwissen A, CCD or CMOS image sensors for consumer digital still photography?, International Symposium on VLSI Technology, Systems, and Applications, 2001. Proceedings of Technical Papers (2001) 168–171.

Walt D R, Israel Biran, Tarun K M, Fiber-Optic Chemical Sensors, Encyclopedia of Physical Science and Technology, Elsevier (2003) 803-829.

Webster J, Multimedia Video, Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering (1999) 602-634

Xiaoyu W., Pingjiang Wang, Jihong Chen, Infrared Image Series, Automatic Registration and a History & Tendency Analysis, Springer Science Business Media LLC, 2007

Young M, Imaging Optics, Encyclopedia of Physical Science and Technology, Elsevier (2004) 645-660.

Bigasa M, Cabruja E, J. Forest, J. Salvi, Review of CMOS image sensors, Microelectronics Journal 37 (2006) 433–451.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΔΙΟΥ

4.1. Γενική περιγραφή της χημικής ανάλυσης πεδίου.

Η χημική ανάλυση πεδίου πραγματοποιείται με τις κατάλληλες μεθόδους, όργανα και χειρισμούς, προκειμένου να δώσει πληροφορίες για τη σύσταση και τη φύση των υλικών στο χώρο και το χρόνο. Η διεργασία στην οποία βασίζεται η χημική ανάλυση πεδίου είναι η ανίχνευση αερίων δηλαδή ο προσδιορισμός των αερίων στοιχείων και ενώσεων που βρίσκονται στο υπό εξέταση περιβάλλον. Το αέριο είναι υλικό με πολύ χαμηλή πυκνότητα και χαμηλό ιξώδες διαχέεται εύκολα και ομοιόμορφα υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Η ανίχνευση αερίων είναι ένα ευρύ αντικείμενο που περιλαμβάνει διάφορες έννοιες και σκοπούς και χρησιμοποιείται σε αμέτρητες εφαρμογές.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής το ενδιαφέρον στο παρόν κεφάλαιο, εστιάζεται στις πτητικές οργανικές ουσίες (Volatile Organic Compounds, VOCs). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία EC Directive 1999/13/EC (Solvent Emissions Directive), οι VOCs ορίζονται ότι είναι οργανικές ουσίες, που έχουν στους 293.15 K (20°C) τάση ατμών ίση με 0.01 kPa ή και περισσότερο ή έχουν μία αντίστοιχη πτητικότητα κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες χρήσης. Επίσης, στο ίδιο έγγραφο ορίζεται ότι μία οργανική ουσία είναι κάθε ουσία, που περιέχει τουλάχιστον το στοιχείο του άνθρακα και ένα στοιχείο ή και περισσότερα από τα αλογόνα (όπως χλώριο, φθόριο ή βρώμιο), το οξυγόνο, το θείο, το φώσφορο, το πυρίτιο, ή το άζωτο, με την εξαίρεση όμως των οξειδίων του άνθρακα και ανόργανων όξινων ανθρακικών αλάτων (inorganic carbonates και bicarbonates). Το μεθάνιο, το αιθάνιο, τα CO, CO₂, οι οργανομεταλλικές ουσίες και τα οργανικά οξέα εξαιρούνται του παραπάνω ορισμού. Ο ορισμός αυτός των VOCs είναι ο πιο συνηθισμένος στην Ευρώπη, παρότι σε μερικές χώρες υπάρχει κάποια μικρή διαφοροποίηση στον παραπάνω ορισμό.

Στην χώρα μας, η εναρμόνιση με την οδηγία αυτή έγινε με την Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 11641/1942/2002 (ΦΕΚ 832/Β/2-7-2002) «Μέτρα και όροι για τον περιορισμό των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων που οφείλονται στη χρήση οργανικών διαλυτών σε ορισμένες δραστηριότητες και εγκαταστάσεις».

Ένας ευρύτερος ορισμός των VOCs χρησιμοποιείται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία EC Directive 2001/81/EC (EU National Emissions Ceilings Directive), όπου ορίζεται ότι, VOC είναι κάθε οργανική ουσία ανθρωπογενούς φύσεως εκτός του μεθανίου, η οποία δύναται να παράγει φωτοχημικά οξειδωτικά μέσω χημικής αντίδρασης με τα οξείδια του αζώτου στην παρουσία του ηλιακού φωτός. Για την χώρα μας η σχετική νομοθεσία, με την οποία γίνεται εναρμόνιση με την οδηγία αυτή είναι Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 29459/1510/2005 και το ΦΕΚ 1901/Β/17-9-2008.

Παρόμοια ορίζονται και οι VOCs στις ΗΠΑ από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (US EPA – Environmental Protection Agency). Πιο συγκεκριμένα, VOC θεωρείται κάθε ουσία του άνθρακα, με την εξαίρεση των CO, CO₂, του ανθρακικού οξέως, των μεταλλικών καρβιδίων ή των όξινων ανθρακικών αλάτων και

του ανθρακικού αμμωνίου, η οποία συμμετέχει σε ατμοσφαιρικές, φωτοχημικές αντιδράσεις. Επίσης, ο ίδιος ο οργανισμός έχει εκδώσει και ένα κατάλογο ουσιών, όπου συχνά διορθώνεται και αναθεωρείται στον οποίο αναγράφονται οι ουσίες που εξαιρούνται αυτού του ορισμού, καθόσον έχουν αμελητέα φωτοχημική αντιδραστικότητα.

Οι VOCs είναι χημικά συστατικά με ατμό υψηλής πίεσης που λόγω των ασταθών δεσμών των ατόμων τους υπό κανονικές συνθήκες παρουσιάζουν σημαντική εξάτμιση και απελευθερώνονται στον αέρα. Για τον εντοπισμό των VOCs στο περιβάλλον υπάρχουν διάφορες συσκευές που βασίζονται στην αλληλεπίδραση μεταξύ των οργανικών ενώσεων και των συστατικών του αισθητήρα. Κάποιες μπορούν να προβλέψουν με σχετική ακρίβεια τη μοριακή δομή των πτητικών οργανικών ενώσεων στο περιβάλλον ή σε κλειστούς χώρους και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως ακριβείς ανιχνευτές χημικών ουσιών αλλά και ως συσκευές παρακολούθησης της υγείας (McDermott 2004).

Η απόφαση για να πραγματοποιηθεί μια δειγματοληψία και ανίχνευση αερίων συνήθως βασίζεται: (α) στην ανάγκη συμμόρφωσης σε κάποιο θεσμικό πλαίσιο το οποίο θέτει συγκεκριμένα όρια περιεκτικότητας αερίων και (β) στην ανάγκη αξιολόγησης ενός κίνδυνου που συνδέεται με την περιεκτικότητα του αερίου, η οποία μπορεί να είναι σε επίπεδα τοξικότητας. Η αξιολόγηση των κινδύνων βασίζεται στην αναγνώριση χημικών, φυσικών και βιολογικών παραγόντων οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμό, ασθένεια ή θάνατο. Οι πιθανοί κίνδυνοι αξιολογούνται με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

α. Την τοξικότητα του υλικού - δηλαδή την ικανότητα του υλικού να προκαλέσει ασθένεια ή τραυματισμό.

β. Την φυσική μορφή των ουσιών - δηλαδή αν πρόκειται για αέριο μίγμα, ατμό, ή σωματίδια ύλης (PM).

γ. Τον τρόπο έκθεσης στον κίνδυνο - δηλαδή με ποιο τρόπο η ουσία εισέρχεται στον οργανισμό, μέσω της αναπνευστικής ή της στοματικής κοιλότητας, μέσω των οφθαλμών, μέσω της δερματικής επαφής ή από λύση της συνέχειας του δέρματος λόγω τραύματος.

δ. Τους φυσικούς κινδύνους που συνδέονται μ' αυτό το υλικό - δηλαδή τον κίνδυνο έκρηξης και πρόκλησης φωτιάς.

ε. Την ανεκτή για τον οργανισμό ποσότητα - δηλαδή η ποσότητα έκθεσης η οποία έχει αποδειχθεί πως είναι ακίνδυνη.

Η χημική ανάλυση πεδίου πραγματοποιείται με τη λήψη δείγματος αέρα με τη χρήση συσκευών δειγματοληψίας. Οι μέθοδοι δειγματοληψίας περιλαμβάνουν την συλλογή δείγματος αερίου, από το υπό εξέταση πεδίο με τη χρήση εξειδικευμένων συσκευών και τη μεταφορά του στο εργαστήριο για εξέταση ή την επιτόπου εξέταση με τη χρήση φορητού εξοπλισμού, που διατίθεται σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Συνήθως, τα αέρια και οι ατμοί συλλέγονται σε σωλήνες προσρόφησης που περιέχουν charcoal (ενεργοποιημένος άνθρακας), πήκτωμα πυριτίου (silica gel) ή κάποιο άλλο προσροφητικό υλικό. Ένας τυπικός σωλήνας περιέχει δύο τμήματα προσροφητικού υλικού που χωρίζονται από ένα αδρανές διάστημα. Καθώς το δείγμα αέρα αντλείται μέσα στο σωλήνα, η αερομεταφερόμενη χημική ουσία προσροφάται από τα μόρια του προσροφητικού υλικού που βρίσκονται στο μπροστινό τμήμα. Εάν το μπροστινό τμήμα διαποτιστεί από τα μόρια μολυσματικών παραγόντων, μερικά μόρια περνούν το κενό και συλλέγονται στο εφεδρικό τμήμα. Στο εργαστήριο κάθε τμήμα αναλύεται χωριστά και εάν υπάρχει σημαντική διαφορά στις τιμές των τμημάτων, τα αποτελέσματα είναι αμφισβητήσιμα (McDermott 2004).

Ένα άλλο είδος συσκευής δειγματοληψίας που χρησιμοποιείται για αέρια και ατμούς είναι μια παθητική συσκευή ανίχνευσης. Είναι συνήθως μια μικρή διακριτική συσκευή που περιέχει ένα απορροφητικό υλικό παρόμοιο με αυτό στους σωλήνες δειγματοληψίας. Η δειγματοληψία πραγματοποιείται χωρίς αντλία λόγω της διάχυσης των μορίων στο περιβάλλον που τους επιτρέπει να φτάνουν στο προσροφητικό υλικό. Ωστόσο, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ο αυξημένος χρόνος δειγματοληψίας που απαιτείται για να συλλέξει αρκετή ποσότητα χημικών στοιχείων μπορεί να αποτελέσει αρνητικό παράγοντα γι' αυτές τις συσκευές.

Ανεξάρτητα από τη συσκευή που θα επιλεγθεί, σημαντική είναι και η τοποθέτηση των αισθητήρων στο εξεταζόμενο πεδίο. Γενικά, οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανίχνευση με τρεις διαφορετικούς τρόπους, ενώ όταν οι συνθήκες το απαιτούν, μπορεί να γίνει ένας συνδυασμός για να εξυπηρετηθεί με απόλυτη ακρίβεια ο σκοπός, που δεν είναι άλλος από την προστασία στο μέγιστο δυνατό βαθμό (Pedersen H et al, 1999):

α. **Σημειακή ανίχνευση (point detection)**. Μ' αυτόν τον τρόπο παρακολουθούμε συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος όπως, βαλβίδες, ενώσεις σωληνώσεων και κλειστούς χώρους. Σ' αυτά τα σημεία οι αισθητήρες τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να διασφαλιστεί ότι η διαρροή αερίου θα ανιχνευτεί άμεσα, ώστε να υπάρχει ο κατάλληλος χρόνος αντίδρασης.

β. **Ανίχνευση περιοχής (area detection)**. Εάν οι διαρροές γίνουν σε σημείο που δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση ενός αισθητήρα, το αέριο αναμένεται να διαχυθεί και να διασκορπιστεί σε ένα μεγαλύτερο εύρος περιοχής. Για να καλύψουμε αυτή την πιθανότητα, σχεδιάζουμε ένα σύστημα για ανίχνευση περιοχής και τοποθετούμε αισθητήρες σε διαφορετικά σημεία. Σ' αυτή την περίπτωση, πρέπει να συνυπολογιστούν και άλλοι παράγοντες, όπως είναι οι περιβαλλοντολογικοί και μετεωρολογικοί παράγοντες δηλαδή θερμοκρασία, υγρασία, αέρια ρεύματα, συνήθης κατεύθυνση ανέμου, ηλιοφάνεια, βλάστηση, κτίρια, φυσικές ή τεχνητές κατασκευές και αρκετοί άλλοι ακόμη.

γ. **Περιμετρική ανίχνευση (τύπου φράχτη) (perimeter detection)**. Αυτός ο τρόπος σχεδιασμού του συστήματος ανίχνευσης μας επιτρέπει να καλύψουμε ακόμα και την πιθανότητα να διαφύγει κάποιο αέριο από έναν αισθητήρα, αλλά να ανιχνευτεί από έναν άλλο που είναι διασταυρωμένος στην πιθανή πορεία του αερίου. Οι ανιχνευτές σε αυτή την περίπτωση τοποθετούνται περιμετρικά, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένας φράχτης που μπορεί να περιβάλλει το σύνολο των εγκαταστάσεων που θέλουμε να προστατεύσουμε.

4.2. Χημικοί αισθητήρες - είδη και εφαρμογές

Οι χημικοί αισθητήρες είναι συσκευές που επιτρέπουν τον εντοπισμό και μέτρηση των επιμέρους χημικών συστατικών σ' ένα συνήθως σύνθετο μίγμα. Στην πράξη, ο αισθητήρας είναι μέρος ενός ευρύτερου συστήματος που έχει σχεδιαστεί με σκοπό την παροχή πληροφοριών αναφορικά με τις διάφορες διεργασίες τις οποίες υφίσταται το προς έλεγχο αέριο. Οι πληροφορίες αυτές δύναται να απαιτούνται για τον έλεγχο ή την διαδικασία διασφάλισης ποιότητας. Το μίγμα είναι συνήθως υγρό ή αέριο, αλλά μπορεί επίσης να είναι ένα στερεό ή ημιστερεά υποστρώματα (Pedersen et al, 1999).

Υπάρχουν ποικίλοι αισθητήρες αερίου που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα. Οι κυριότερες εφαρμογές βασίζονται σε ηλεκτροχημικούς αισθητήρες και σε αισθητήρες καταλυτικής καύσης. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει μεγάλες προσπάθειες, όχι μόνο για την βελτίωση αυτών των δύο τύπων αισθητήρων, αλλά και για την ανάπτυξη νέων τύπων για τους οποίους υπάρχει σημαντική ζήτηση προκειμένου να διασφαλίζεται

η ασφάλεια, η υγεία, η περιβαλλοντική προστασία και η εξοικονόμηση ενέργειας (Fleet B 1992, Yamazoe N 2005, Toward 2005).

Μεγάλο μέρος της έρευνας έχει εστιάσει στην βιομηχανία αυτοκινήτων, όπου οι ανάγκες διευρύνονται διαρκώς. Όπως αναφέρεται σε σχετική μελέτη, σ' ένα απλής τεχνολογίας αυτοκίνητο χρησιμοποιούνται περίπου 30-40 αισθητήρες, ενώ στα πιο πολυτελή χρησιμοποιούνται πάνω από 120 διαφορετικοί αισθητήρες. Στο μέλλον αναμένεται να παρέχονται ακόμη μεγαλύτερες εφαρμογές, όπως η ανίχνευση αερίων ρύπων κατά τη διάρκεια μποτιλιαρίσματος, προκειμένου να μπαίνει αυτόματα σε λειτουργία κάποιο σύστημα εξαέρωσης και κλιματισμού (MNT Gas Sensor Roadmap).

Η ανάπτυξη αισθητήρων προηγμένης τεχνολογίας έχει ήδη εισέλθει στη καθημερινότητα, αν και εκτιμάται ότι υπάρχουν ακόμα αρκετά περιθώρια προόδου. Σήμερα οι πιο κοινοί αισθητήρες βασίζονται στις παρακάτω τεχνολογίες:

- α. Υπέρυθρη ακτινοβολία
- β. Ηλεκτροχημικοί
- γ. Ημιαγωγοί
- δ. Κατάλυση
- ε. Φωτοϊονισμός
- στ. Ακουστική επιφανειών

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι διαφορετικές τεχνολογίες των αισθητήρων σε συνδυασμό με τις εφαρμογές τους σε διάφορα πεδία.

4.2.1. Αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας

Μια μέθοδος ανίχνευσης της συγκέντρωσης αερίου είναι η μέτρηση με βάση την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR) σε ορισμένα μήκη κύματος, καθώς η ακτινοβολία αυτή διαπερνά μέσω του όγκου του αερίου. Σχεδόν όλοι οι υδρογονάνθρακες (HC) απορροφούν την IR με μήκος κύματος 3.4 μm και σε αυτήν την περιοχή η ακτινοβολία δεν απορροφάται από το H_2O και το CO_2 . Συμπεραίνεται επομένως, ότι ένα φασματόμετρο που λειτουργεί σε εκείνο το μήκος κύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανιχνεύσει τους υδρογονάνθρακες στον αέρα. Πολλά εύφλεκτα και τοξικά αέρια έχουν περιοχές απορρόφησης στο φάσμα του υπεριώδους φωτός.

Η νέα αυτή τεχνολογία στην ανίχνευση αερίων παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως είναι η μικρότερη επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών (θερμοκρασία και υγρασία) και μεγαλύτερη επιλεκτικότητα. Σε κάποιες περιπτώσεις η επιλογή του υπέρυθρου αισθητήρα είναι στην πράξη μονόδρομος, όπως στην περίπτωση της ανίχνευσης CO_2 . Οι υπέρυθροι αισθητήρες (ανιχνευτές) μπορούν να ανιχνεύσουν με σημαντικά ποσοστά επιτυχίας τα περισσότερα εκρηκτικά αέρια σε όλη την έκταση των συγκεντρώσεων.

Η συντήρηση των ανιχνευτών IR περιορίζεται στον περιοδικό καθαρισμό των οπτικών θυρών και των ανακλαστήρων για να εξασφαλιστεί αξιόπιστη απόδοση. Η τρέχουσα διαθεσιμότητα της αξιόπιστης ηλεκτρονικής τεχνολογίας και οι ανιχνευτές στερεάς κατάστασης IR έχουν μειώσει το κόστος και έχουν καταστήσει εφικτή την χρήση της τεχνολογίας σε πολλές εμπορικές εφαρμογές (Jackson και Mantsch, 2004).

Εντούτοις, οι ανιχνευτές IR δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση του υδρογόνου και ορισμένων άλλων αερίων για τα οποία είναι πιο κατάλληλη η καταλυτική μέθοδος.

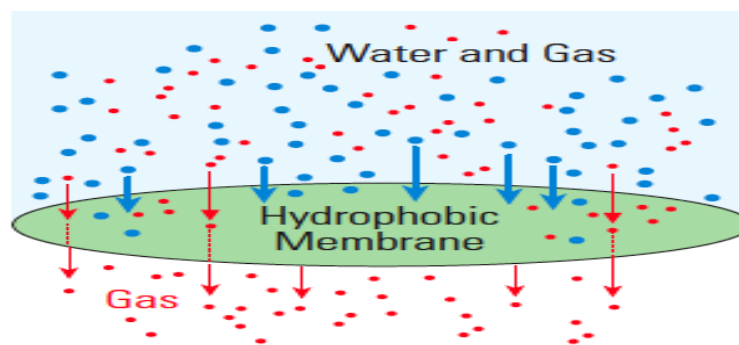
Επίσης η χρήση των IR ανιχνευτών παρουσιάζει βασικά πλεονεκτήματα όπως είναι η ανοσία τους σε όλα τα χημικά δηλητήρια, η μη απαίτηση παρουσίας οξυγόνου ή ατμοσφαιρικού αέρα για να ανιχνεύσουν το αέριο και μπορούν να λειτουργήσουν σε

περιβάλλοντα συνεχούς έκθεσης αερίου. Επιπλέον, οποιαδήποτε αποτυχία σε λειτουργία τους ανιχνεύεται ως δυσλειτουργία, αναγνωρίζοντας τον, ως μη ασφαλή τρόπο ανίχνευσης.

4.2.2. Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες (electrochemical sensors)

Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες είναι ίσως η πιο διαδεδομένη από τις τεχνολογίες που περιγράφονται λόγω της αξιοπιστίας, της ευχρηστίας και του χαμηλού κόστους που παρουσιάζουν οι συσκευές που ενσωματώνουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία (Laschi και Mascini, 2006).

Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες είναι ανιχνευτές αερίου που μετρούν τη συγκέντρωση ενός αερίου μέσω της αντίδρασης (οξειδωσης) ή της μείωσης του αερίου σ' ένα ηλεκτρόδιο και τη μέτρηση της τάσης που προκύπτει. Περιέχουν δύο ή τρία ηλεκτρόδια σε επαφή με έναν ηλεκτρολύτη. Τα ηλεκτρόδια συνδέονται σε μια μεγάλη επιφάνεια μετάλλου η οποία βρίσκεται πάνω σε μια υδρόφοβη πορώδη μεμβράνη. Το ηλεκτρόδιο εργασίας έρχεται σε επαφή τόσο με τον ηλεκτρολύτη όσο και με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Το αέριο διαχέεται στον αισθητήρα μέσα από το πίσω μέρος της πορώδους μεμβράνης του ηλεκτροδίου εργασίας, όπου πραγματοποιείται η χημική αντίδραση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος που περνά μέσω του εξωτερικού κυκλώματος.



Εικόνα 9: Η λειτουργία της υδρόφοβης μεμβράνης στους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες (Πηγή: Jack Choo 2000)

Ο ηλεκτρολύτης μπορεί να είναι σε υγρή μορφή ή σε γέλη και πρόσφατα σε στερεή μορφή, αφού η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει ακόμα περισσότερα πλεονεκτήματα (Jasinski 2006). Ο ηλεκτρολύτης είναι μονωμένος στο εξωτερικό περίβλημα από μια μεμβράνη διαπερατή από το αέριο. Το αέριο έρχεται στον αισθητήρα με διάχυση μέσω της μεμβράνης όπου και γίνεται οξειδωτική αντίδραση (η οποία δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα ανάλογο με την συγκέντρωση του αερίου), αν μια τάση πόλωσης εφαρμοστεί στα ηλεκτρόδια. Ο ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται πιο συχνά είναι ένα ανόργανο οξύ, αλλά υπάρχουν και κάποιοι οργανικοί ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούνται σε μερικούς αισθητήρες. Τα ηλεκτρόδια και ο ηλεκτρολύτης περικλείονται εντός πλαστικού περιβλήματος το οποίο διαθέτει μια οπή εισόδου για το υπό έλεγχο αέριο και τις ηλεκτρικές επαφές.

Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες θεωρούνται φθηνές και αξιόπιστες συσκευές που μπορούν να ανιχνεύσουν με επιτυχία πολλά αέρια όπως O_2 , CO_2 , H_2S , NO , NO_2 , HCN , NH_3 , Cl , και HCl (Opekar και Stulic 1999, Qureshi et al 2009).

4.2.3. Ημιαγώγιμοι αισθητήρες (semiconductor sensors)

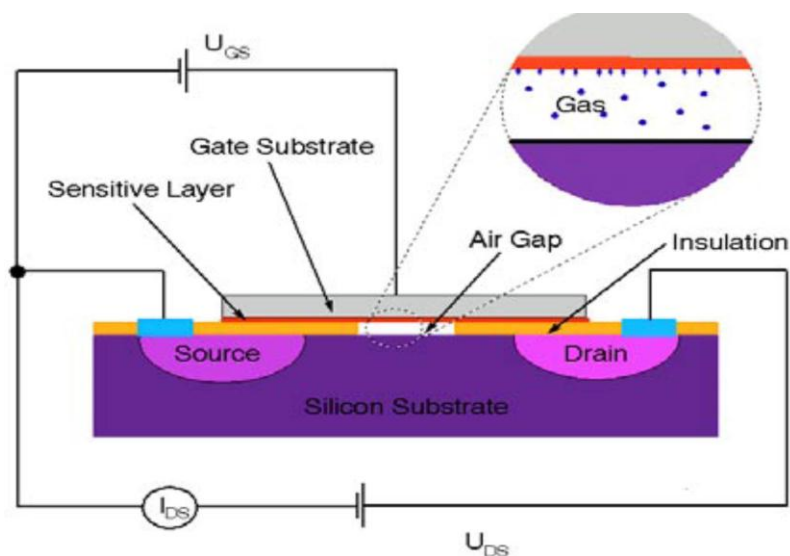
Οι αισθητήρες αυτοί βασίζονται σε μη στοιχειομετρικά οξείδια μετάλλων, όπως τα ZnO , SnO_2 , In_2O_3 , NiO κ.α. που παρουσιάζουν επιφανειακή αγωγιμότητα κυρίως λόγω

ενδοκρυσταλλικών ατελειών που συνοδεύουν την απόκλιση από τη στοιχειομετρία. Η προσρόφηση μορίων ή ατόμων του αερίου στην επιφάνεια του αισθητήρα προκαλεί μεταβολή της αγωγιμότητάς του που μπορεί εύκολα να μετρηθεί, και για το λόγο αυτό ονομάζονται και αισθητήρες τύπου αντίστασης. Παρόλο που η αρχή λειτουργίας τους είναι απλή, ο μηχανισμός του αισθητήρα είναι αρκετά πολύπλοκος.

Κύρια πλεονεκτήματά τους είναι η υψηλή ευαισθησία, το χαμηλό κόστος κατασκευής, η ταχεία απόκριση και η χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Ωστόσο, παράγοντες όπως η μεταβολή των χαρακτηριστικών τους με την πάροδο του χρόνου, η σχετικά χαμηλή επιλεκτικότητα και η επίδραση συνθηκών όπως υγρασία και η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας, αποτελούν σημαντικά προβλήματα στα οποία, ακόμη δεν έχουν δοθεί αξιόπιστες λύσεις. Μία προσέγγιση, η οποία μπορεί κατά κάποιο τρόπο να αντεπεξέλθει των προαναφερόμενων δυσκολιών, είναι η χρήση συστοιχιών πολλών διαφορετικών (ως προς την ευαισθησία και επιλεκτικότητα) ημιαγωγικών στρωμάτων στο ίδιο υπόστρωμα, το δε εξερχόμενο σήμα αίσθησης των συστοιχιών επεξεργάζεται από κάποιο νευρωνικό δίκτυο (Morrison 1987).

Στην κατηγορία των ημιαγωγικών στρωμάτων ανήκουν και ηλεκτρονικές διατάξεις που χρησιμοποιούν διόδους MIS. Σε αυτές τις διατάξεις το ηλεκτρόδιο πύλης (gate) είναι κατασκευασμένο από μέταλλο που απορροφά εύκολα άτομα υδρογόνου, όπως Pt ή Pd και εκτίθεται στα προς ανίχνευση αέρια (Patel et al 1996). Μοριακό υδρογόνο ή αέρια που περιέχουν υδρογόνο διασπώνται στην επιφάνεια της πύλης και τα ιόντα υδρογόνου H^+ διαχέονται στη διεπιφάνεια μέταλλου/μονωτή και επηρεάζουν τα φορτία του ημιαγωγού μεταβάλλοντας το ρεύμα μεταξύ πηγής (source) και υποδοχής (drain).

Παρόμοια λειτουργούν και διατάξεις μετάλλου – ημιαγωγού, όπου η προσρόφηση αερίων στο μέταλλο (συνήθως Pd) μεταβάλλει την τάση εξόδου του, άρα και τη χωρητικότητα της διόδου (Yamazoe 2005). Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν συγκεντρώσεις υδρογόνου και υδρογονανθράκων (μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο) και είναι πιο κατάλληλοι για την ανίχνευση εύφλεκτων αερίων, με χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης λόγω της καλύτερης ευαισθησίας, σταθερότητας και απόκρισης που παρουσιάζουν.



Εικόνα 10: Αισθητήρας CO_2 τύπου FET
(Πηγή: Ostrick et al 2000)

4.2.4. Καταλυτικοί Αισθητήρες (catalytic sensors)

Η αρχή λειτουργίας των καταλυτικών αισθητήρων βασίζεται στην οξειδωση που υφίστανται τα εύφλεκτα αέρια στην επιφάνεια ενός καταλυτικού στοιχείου με τη βοήθεια ηλεκτρικά παραγόμενης θερμότητας. Το ευαίσθητο αυτό στοιχείο ονομάζεται και νήμα ή “pellistor” (αναφέρεται και ως αρχή του πυρακτωμένου στοιχείου). Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες του χώρου στον οποίο βρίσκεται ο ανιχνευτής, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και οι μεταβολές της πίεσης επηρεάζουν και τους δύο ακροδέκτες του καταλυτικού αισθητηρίου, οπότε δεν συνεπάγεται κάποια επακόλουθη αλλαγή της “ισορροπίας”. Αυτό το χαρακτηριστικό δίνει τη δυνατότητα στα “pellistor” να μπορούν να κάνουν ακριβείς μετρήσεις σε πολύ δύσκολα περιβάλλοντα.

Εκτός από το παραπάνω, τα καταλυτικά αισθητήρια έχουν ακόμα δυο σημαντικά πλεονεκτήματα:

α. Την επαναληψιμότητα, που σημαίνει ότι όλες οι μετρήσεις που θα γίνουν υπό την ίδια συγκέντρωση αερίου θα έχουν πάντα την ίδια τιμή.

β. Η αποφυγή αποκλίσεων από αισθητήρα σε αισθητήρα, που σημαίνει ότι θα έχουν όλα τα ίδια χαρακτηριστικά, λόγω της παραγωγής τους από την ίδια εταιρία.

Η χρήση του καταλυτικού στοιχείου είναι ευρέως διαδεδομένη για ένα μεγάλο αριθμό εκρηκτικών αερίων. Ο χρόνος απόκρισης του αισθητήρα εξαρτάται πάντα από το προς έλεγχο αέριο, δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το μοριακό βάρος του αερίου αυτού, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο χρόνος απόκρισης.

Η καλή λειτουργία των καταλυτικών αισθητήρων μπορεί να επηρεαστεί από ορισμένες ανασταλτικές ή δηλητηριώδεις ουσίες. Αν για κάποιο λόγο ένα καταλυτικό αισθητήριο (pellistor) μείνει εκτιθέμενο σε αέριο με πολύ μεγάλη συγκέντρωση στον αέρα για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από μερικά λεπτά τότε υπάρχει περίπτωση να προκληθεί βλάβη με αποτέλεσμα να χάσει την ευαισθησία του. Για το λόγο αυτό συνιστάται να χρησιμοποιούνται πάντα ειδικές φιάλες βαθμονόμησης για τη συντήρησή του.

Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας το καταλυτικό αισθητήριο μπορεί να διαρκέσει αρκετά χρόνια (έως και 5 χρόνια). Παρόλα αυτά χάνει κάθε χρόνο λίγο από την ευαισθησία του περίπου 5-10%, γι' αυτό το λόγο πρέπει περιοδικά να συντηρούνται και να βαθμονομούνται κάθε 6-12 μήνες.

4.2.5. Αισθητήρες Φωτοϊονισμού

Οι αισθητήρες φωτοϊονισμού (PID – Photo Ionization Detector) χρησιμοποιούν μία πηγή υπεριώδους φωτός για να ιονίσουν τα μόρια του αερίου ή του μολυσματικού παράγοντα. Κάθε χημική ουσία έχει συγκεκριμένη ικανότητα ιονισμού από υπεριώδεις φώς που εκφράζεται σε electron-volts (eV). Στο εμπόριο διατίθενται λάμπες UV με διάφορες εντάσεις eV.

Η ακτινοβολία της λάμπας μπορεί να ιονίσει κάθε ουσία που έχει ικανότητα ιονισμού χαμηλότερη από αυτή στην οποία εκπέμπει η λάμπα. Αυτοί οι ανιχνευτές είναι γενικά περιορισμένης χρήσης λόγω του ότι δεν μπορούν να υποδείξουν με ακρίβεια κάποια ουσία που περιέχεται στον αέρα, καθόσον δεν διαθέτουν επιλεκτικότητα.

Επίσης η αποτελεσματικότητα αυτών των αισθητήρων περιορίζεται σημαντικά, όταν μετρούν σε περιβάλλον με μεγάλη υγρασία ή όπου υφίστανται συγκεντρώσεις αερίων με μεγάλη ικανότητα ιονισμού, όπως το μεθάνιο. Αυτό συμβαίνει, διότι τα μόρια του νερού ή του μεθανίου απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της εκπεμπόμενης

ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η ακτινοβολία που είναι διαθέσιμη να ιονίσει το προς έλεγχο αέριο.

4.2.6. Αισθητήρες Ακουστικής Επιφάνειας (Surface Acoustic Sensors)

Στους αισθητήρες αυτούς μετράται η απόσβεση που προκαλείται σ' ένα επιφανειακό ακουστικό κύμα το οποίο διαδίδεται κατά μήκος της επιφάνειας ενός στερεού, από τις μεταβολές στη μάζα της επιφάνειας του στερεού. Τέτοιες μεταβολές συνήθως δημιουργούνται από την προσρόφηση μορίων του υπό ανίχνευση αερίου στην επιφάνεια του στερεού. Η απόσβεση εξαρτάται από το πλήθος των προσροφημένων μορίων, επομένως και από τη συγκέντρωση του αερίου.

Άλλες μετρήσιμες μεταβολές στο διαδιδόμενο επιφανειακό κύμα είναι αλλαγή στη φάση ή στη συχνότητά του. Ως στερεό μέσον επιλέγεται κάποιο υλικό με πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες (Singh 2007), ώστε να είναι δυνατή η δημιουργία επιφανειακών κυμάτων με ηλεκτρική διέγερση, όπως είναι ο χαλαζίας (quartz) ή το LiNbO_3 . Κάποιες εφαρμογές με ικανοποιητικά αποτελέσματα είναι τα πολυμερή φιλμ, τα οποία μπορούν να ανιχνεύσουν εκρηκτικά αέρια ή άλλες εκρηκτικές ουσίες, όπως επίσης και τα polymethylhydrosiloxane (PMHS) polymer film τα οποία μπορούν να ανιχνεύσουν DNT (Kannan et al 2004, Houser et al 2001).

4.2.7. Εφαρμογές

Γενικά οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για ανίχνευση του CO_2 είναι κυρίως ηλεκτροχημικής και υπέρυθρης τεχνολογίας (Fergus J., 2008). Οι τεχνολογίες αυτές έχουν και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Οι αισθητήρες IR χρησιμοποιούν την αρχή Non Dispersive IR (NDIR) για να ανιχνεύσουν την παρουσία αερίου. Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες βασίζονται στην αρχή παραγωγής τάσης από την χημική αντίδραση της ανίχνευση του αερίου. Και για τους δύο τύπους υπάρχουν διάφορες συσκευές με χαρακτηριστικά που μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο σημαντικά ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται ο αισθητήρας, όπως είναι το μέγεθος, ο χρόνος απόκρισης, η επιλεκτικότητα και η ευαισθησία.

Οι αισθητήρες ανίχνευσης CO περιλαμβάνουν συνήθως αισθητήρα τύπου MOS (metal oxide semiconductors) ή κάποιο ηλεκτροχημικό αισθητήρα (Qureshi et al, 2009). Οι αισθητήρες MOS βασίζονται στη χημική αντίδραση της οξειδωσης, η οποία πραγματοποιείται στην επιφάνεια ενός φιλμ, συνήθως Si, ενώ η λειτουργία των ηλεκτροχημικών αισθητήρων είναι παρόμοια μ' αυτή που περιγράφηκε παραπάνω για το CO_2 . Γενικά οι αισθητήρες MOS είναι πιο μικροί σε μέγεθος, πιο γρήγοροι, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και δεν επηρεάζονται από την υγρασία, σε αντίθεση με τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες. Ωστόσο, η βιομηχανία ηλεκτροχημικών αισθητήρων αναπτύσσεται συνεχώς και πλέον διατίθενται στερεοί ηλεκτροχημικοί αισθητήρες (solid electrochemical sensors, SECS) οι οποίοι έχουν επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής και μικρότερη κατανάλωση ενέργειας (Riegel και Neumann, 2002).

Για την ανίχνευση της NH_3 χρησιμοποιούνται συνήθως ηλεκτροχημικοί ή καταλυτικοί αισθητήρες. Η επιλογή του καταλληλότερου αισθητήρα θα πρέπει να γίνεται με βάση τη συγκέντρωση της NH_3 η οποία θα πρέπει να μετρηθεί. Οι καταλυτικοί αισθητήρες βασίζονται στην καταλυτική καύση για την μέτρηση των αερίων σε Lower Explosive Limit (LEL). Χρησιμοποιούνται επίσης και MOS αισθητήρες, οι οποίοι ανιχνεύουν την NH_3 σε ppm, όπως και οι ηλεκτροχημικοί στερεού ηλεκτρολύτη οι οποίοι όμως δεν είναι κατάλληλοι για πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (Timmer et al 2005). Αν πρέπει να μετρηθούν με ακρίβεια συγκεντρώσεις έως 100 ppm θα πρέπει να προτιμηθεί ηλεκτροχημικός ή MOS αισθητήρας, οι οποίοι είναι πιο επιλεκτικοί και πιο ευαίσθητοι σε σχέση με τους

καταλυτικούς αισθητήρες (Schšnauer et al, 2009). Αντίθετα, οι καταλυτικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται εύρος Lower Explosive Limit (LEL).

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση του O_2 είναι σχεδόν αποκλειστικά ηλεκτροχημικοί. Η τεχνολογία αυτών των αισθητήρων αναπτύσσεται συνεχώς με αποτέλεσμα οι solid state electrolyte sensors να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και να είναι μικρότερων διαστάσεων από τους παραδοσιακούς ηλεκτροχημικούς αισθητήρες υγρού ηλεκτρολύτη. Έχουν επίσης γρήγορη απόκριση στην ανίχνευση O_2 , αν και αυτό το χαρακτηριστικό ποικίλει ανάλογα με τον κατασκευαστή. Για την ανίχνευση υδρογόνου χρησιμοποιούνται αισθητήρες στερεού ηλεκτρολύτη (Serreta et al, 2011) ή καταλυτικοί (Buttner et al, 2011)

Για τις **εκρηκτικές ουσίες** χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τεχνολογίες ανίχνευσης (Singh 2007):

α. **Καταλυτική καύση** η οποία συντελείται στην επιφάνεια ενός καταλυτικού στοιχείου. Καθώς το αέριο οξειδώνεται η θερμοκρασία του καταλύτη αυξάνεται ανάλογα με την συγκέντρωση του αερίου στην ατμόσφαιρα. Η επιλογή του καταλύτη είναι καθοριστική για την ακρίβεια και τη διάρκεια ζωής των αισθητήρων, καθώς και για το εύρος των αερίων που θα ανιχνευθούν. Η ευαισθησία μπορεί να επηρεαστεί από την υγρασία και από τ' άλλα αέρια που παράγονται από την καύση και τη φλόγα (δηλητηρίαση). Παρόλα αυτά, οι καταλυτικοί αισθητήρες έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία σε σύγκριση με τους αισθητήρες θερμικής αγωγιμότητας και παραμένουν μια από τις καλύτερες επιλογές αφού συνδυάζουν απλή εφαρμογή, ακρίβεια και σχετικά χαμηλό κόστος.

β. **Αισθητήρες θερμικής αγωγιμότητας** οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις υψηλής συγκέντρωσης αερίων. Οι αισθητήρες αυτής της τεχνολογίας παρουσιάζουν αντοχή στη δηλητηρίαση ή δεν επηρεάζονται από την παρουσία οξυγόνου αλλά δεν είναι κατάλληλοι για την ανίχνευση σε χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης του προς έλεγχο αερίου.

γ. Οι **αισθητήρες MOS** μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τον εντοπισμό εκρηκτικών ουσιών. Όπως και οι άλλες εφαρμογές MOS αισθητήρων, ο μηχανισμός λειτουργίας τους βασίζεται στην αλλαγή της συγκέντρωσης των ηλεκτρονίων τα οποία μεταβάλλουν την αγωγιμότητα του. Μετά από μεγάλη έκθεση σε ουσίες θα πρέπει να γίνεται τακτική συντήρηση και αντικατάσταση επειδή το καταλυτικό υλικό στην επιφάνεια του αισθητήρα καταναλώνεται με το πέρασμα του χρόνου.

δ. Οι **αισθητήρες φωτοιονισμού (PID)** μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση Lower Explosive Limits (LEL) σε περιορισμένους χώρους. Γενικά οι ανιχνευτές αυτής της τεχνολογίας μετατρέπουν τη συγκέντρωση των ιόντων χημικών ουσιών ενός δείγματος αέρα σε ηλεκτρικό σήμα. Η τάση που παράγεται είναι ανάλογη της μάζας και άρα της συγκέντρωσης. Οι PIDs θεωρούνται ευαίσθητοι στην ανίχνευση υδρογονανθράκων σε επίπεδο ppm.

Οι **ηλεκτροχημικοί αισθητήρες** αποτελούν μια από τις μεγαλύτερες κατηγορίες αισθητήρων με πολλές εφαρμογές στον εντοπισμό αερίων στοιχείων, τοξικών ουσιών και εύφλεκτων αερίων. Σήμερα, ιδιαίτερα διαδεδομένες είναι οι συσκευές προσωπικής προστασίας, που βασίζονται σ' αυτή τη τεχνολογία, λόγω του μικρού μεγέθους τους, ως φαίνεται και στην εικόνα 11.



Εικόνα 11: Φορητοί ηλεκτροχημικοί αισθητήρες προσωπικής προστασίας
(Πηγή: Jack Choo 2000)

Τα χαρακτηριστικά των συσκευών που ενσωματώνουν ηλεκτροχημικούς αισθητήρες εξαρτώνται από την χρήση για την οποία προορίζεται ο αισθητήρας και κυρίως, από τα αέρια τα οποία θα πρέπει να εντοπίζει.

Όπως προαναφέρθηκε η λειτουργία τους βασίζεται στην αντίδραση που συντελείται μεταξύ του αισθητήρα και του αερίου, η οποία παράγει ηλεκτρικά σήματα ανάλογα της συγκέντρωσης του αερίου. Οι βασικές τεχνολογίες που ενσωματώνουν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις ομάδες:

- α. Ποτενσιομετρική (μέτρηση της τάσης),
- β. Αμπερομετρική (μέτρηση του ρεύματος)
- γ. Conductometric (μέτρηση της αγωγιμότητας)

Οι περισσότερες εμπορικές εφαρμογές βασίζονται στην χρήση της αμπερομετρικής τεχνολογίας (Buttner et al 2011), όπου το ρεύμα ιόντων, μέσω του ηλεκτρολύτη, αποτελεί το σήμα ανίχνευσης. Αντίστοιχα, στους ποτενσιομετρικούς αισθητήρες (τύπου τάσης), η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων, λόγω των διαφορετικών μερικών πιέσεων στις δυο πλευρές αποτελεί το σήμα ανίχνευσης. Ανάλογα με το αέριο προς ανίχνευση, επιλέγεται το μέταλλο του ηλεκτροδίου αίσθησης, Pt για CO, χρυσός για NO₂, Zirconia για O₂, O₂ ή ενεργός άνθρακας για SO₂ (Zhuiykon 2008).

Όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση που προηγήθηκε, οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες θεωρούνται φθηνές και αξιόπιστες συσκευές που μπορούν να ανιχνεύσουν με επιτυχία πολλά αέρια στοιχεία, σύνθετες ενώσεις και VOCs (Opekar et al 1999, Qureshi et al 2009). Έτσι τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλές εμπορικές εφαρμογές για την ανίχνευση αερίων του θερμοκηπίου αλλά και άλλων ρύπων (Fergus 2008). Ακόμα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ασφαλείας για την ανίχνευση εύφλεκτων ή τοξικών ουσιών (Singh 2007, Schšnauera et al 2009) αλλά και σε βιοχημικές εφαρμογές (Laschi και Mascini 2006).

Οι τρέχουσες τάσεις της βιομηχανίας των ηλεκτροχημικών αισθητήρων περιλαμβάνουν εφαρμογές που βασίζονται στη χρήση μοριακά αποτυπωμένων πολυμερών, το οποίο φαίνεται να έχει μεγάλες δυνατότητες για άμεση ηλεκτροχημική ανίχνευση. Πιστεύεται ότι στο μέλλον οι αισθητήρες με βάση μοριακά αποτυπωμένα πολυμερή, θα έχουν έλεγχο της μοριακής δομής στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου για να παρουσιάζουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την προς έλεγχο ουσία (Ramanavicius et al, 2006). Γενικότερα, πιστεύεται πως όσο η μικροδομή της επιφάνειας του αισθητήρα γίνεται πιο περίπλοκη, τόσο περισσότερες χημικές μέθοδοι μοριακής δομής θα απαιτούνται και θα χρησιμοποιούν μοριακή τεχνολογία, αντί για στερεά τεχνολογία

που χρησιμοποιείται στην παρούσα χρονική στιγμή. Το ίδιο ισχύει και για την κατασκευή πιο σύνθετων νανοδομών, όπου οι αισθητήρες πολυμερών αναμένεται να έχουν νέες εφαρμογές.

4.3. Φασματομετρικές μέθοδοι για εφαρμογές πεδίου

Οι φασματομετρικές μέθοδοι είναι μια μεγάλη ομάδα αναλυτικών τεχνικών, οι οποίες βασίζονται στην αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, με τα άτομα ή τα μόρια ενός δείγματος. Οι φασματομετρικές μέθοδοι μπορούν να διακριθούν στις μεθόδους **Ατομικής φασματομετρίας** με τις οποίες επιτυγχάνεται ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των στοιχείων σε διάφορες μορφές της ύλης και στις μεθόδους **Μοριακής Φασματομετρίας** με τις οποίες προσδιορίζεται η δομή των μοριακών ειδών και επιτυγχάνεται ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των μορίων του δείγματος (Παππά 2004)

Με τις μεθόδους ατομικής φασματομετρίας προσδιορίζονται τα χημικά στοιχεία του περιοδικού πίνακα που βρίσκονται στο δείγμα αέρα, αφού πρώτα υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία. Στη συνέχεια μετριέται η απορρόφηση ορατού ή υπεριώδους φωτός, η εκπομπή ή ο φθορισμός που υφίσταται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όταν αλληλεπιδράσει με τα άτομα ή τα ιόντα των στοιχείων που σχηματίστηκαν.

4.3.1. Φασματομετρία μάζας (MS – Mass Spectrometry)

Η φασματομετρία μάζας είναι ένα αναλυτικό εργαλείο με σημαντικές εφαρμογές στη χημική ανάλυση πεδίου. Βασίζεται στην παραγωγή δέσμης ιοντικών θραυσμάτων, με βομβαρδισμό των εξεταζόμενων μορίων, συνήθως με ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας. Αυτή η θραυσματοποίηση δημιουργείται μέσω θραύσης ή αντιδράσεων ανασύνταξης, παρέχοντας πληροφορίες για τη δομή του αρχικού μορίου. Τα παραγόμενα θραύσματα στη συνέχεια διαχωρίζονται με εφαρμογή ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου ή με συνδυασμό και των δύο. Ο διαχωρισμός βασίζεται στον διαφορετικό λόγο μάζας – προς φορτίο (m/z) κάθε ιοντικού θραύσματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα θραύσματα έχουν μόνο ένα φορτίο ($z=1$) και για τον λόγο αυτό ο όρος "λόγος μάζας-προς-φορτίο" αντικαθίσταται από τον πλέον εύχρηστο όρο μάζα (Παππά 2004).

Τα βασικά βήματα κατά την ανάλυση αέριου δείγματος της φασματογραφίας μάζας, (Λιοδάκης 2001), είναι ως κάτωθι:

1. Εισαγωγή του δείγματος
2. Παραγωγή ιόντων (σύστημα ιονισμού)
3. Επιτάχυνση ιόντων από ηλεκτρικό πεδίο
4. Διαχωρισμός ιόντων ανάλογα με τη μάζα τους (αναλυτής μαζών)
5. Ανίχνευση ιόντων
6. Επεξεργασία δεδομένων με ηλεκτρονικό υπολογιστή

Το σύστημα διατηρείται σε υψηλό κενό για την αποφυγή διαμοριακών συγκρούσεων.

Στην εισαγωγή του δείγματος πραγματοποιείται προετοιμασία του δείγματος, έτσι ώστε, αυτό να εισαχθεί στο χώρο ιονισμού σε αέρια κατάσταση και υπό συνθήκες σταθερής ροής. Η εξαέρωση αέριων ή υγρών δειγμάτων πραγματοποιείται υπό κενό. Στη συνέχεια, το αέριο εισάγεται στο σύστημα ιονισμού. Οι πηγές ιονισμού στη φασματομετρία μάζας διακρίνονται σε **πηγές ιονισμού για πτητικές ενώσεις**, όπου το δείγμα πρώτα εξαερώνεται και μετά ιονίζεται σε συνθήκες κενού και σε **πηγές ιονισμού για μη πτητικές ενώσεις**, όπου το δείγμα σε υγρή ή στερεή κατάσταση

μετατρέπεται κατευθείαν σε αεριώδη ιόντα κατά τον ιονισμό του σε συνθήκες πίεσης. Πιο συγκεκριμένα:

α. Πηγές ιονισμού για πτητικές ενώσεις (σε συνθήκες κενού)

1. Ιονισμός με ηλεκτρόνια (EI, Electron Ionisation)
2. Χημικός ιονισμός (CI, Chemical Ionisation)

β. Πηγές ιονισμού για μη πτητικές ενώσεις (Ιονισμός σε ατμοσφαιρική πίεση, API, Atmospheric Pressure Ionisation)

3. Ιονισμός με ηλεκτροψεκασμό (ESI, Electrospray Ionisation)
4. Χημικός ιονισμός σε ατμοσφαιρική πίεση (APCI, Atmospheric Pressure Chemical Ionisation)

Υπάρχουν βέβαια και άλλες πηγές ιονισμού στη φασματομετρία μαζών, όπως ο **Ιονισμός εκρόφησης με λέιζερ υποβοηθούμενος από υλικό μήτρας** (MALDI, Matrix Assisted Laser Desorption Ionization) και ο **βομβαρδισμός με ταχεία άτομα** (FAB, Fast Atom Bombardment), οι οποίοι έχουν λιγότερες εφαρμογές (Οξενκιούν - Πετροπούλου 2006).

Ακολουθεί η **ανάλυση μαζών** όπου διαχωρίζονται τα κατιόντα που παράγονται στο σύστημα ιονισμού ανάλογα με το λόγο μάζας / φορτίου (Ekman et al, 2006). Οι κυριότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι:

1. Αναλυτές μαγνητικού τομέα ή απλής εστίασης (Single Magnetic Analyser)
2. Αναλυτές διπλής εστίασης (Double Magnetic Analyser)
3. Αναλυτές χρόνου πτήσεως (Time of Flight Analyser)
4. Τετραπολικό φίλτρο μάζας (Quadrupole Mass Filter)

Μετά το διαχωρισμό των ιόντων ακολουθεί η **καταγραφή** αυτών. Για την καταγραφή των ιόντων σε φάσματα μάζας και την απεικόνιση τους στον ηλεκτρονικό υπολογιστή χρησιμοποιούνται οι παρακάτω ανιχνευτές:

1. Το φαρανταϊκό κύπελλο (Faraday Cup)
2. Ο ηλεκτρονιο - πολλαπλασιαστής (electron multiplier)
3. Η φωτογραφική πλάκα (photo film)
4. Ο ανιχνευτής σπινθηρισμού (scintillation detector)

Το φάσμα μάζας εκφράζει τη στατιστική αφθονία ή ένταση κάθε είδους ιόντων που σχηματίζεται ως συνάρτηση της αναλογίας μάζας / φορτίου. Η θέση τους εκφράζει το λόγο της μάζας προς το φορτίο ενός ιόντος, ενώ το ύψος τους (ένταση) το σχετικό ποσοστό του ιόντος στο σύνολο των ιόντων που παράγονται κατά τον ιονισμό (Dass 2007).

Η ερμηνεία του φάσματος μάζας, βασίζεται στο γεγονός ότι, αποτελεί το δακτυλικό αποτύπωμα (fingerprint) μιας ένωσης, αφού δυο διαφορετικά μόρια δεν είναι δυνατό να διασπαστούν και να ιονιστούν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο (Οξενκιούν Πετροπούλου M., 2006). Στον ηλεκτρονικό υπολογιστή το φάσμα μάζας παρουσιάζεται συνήθως σε κανονικοποιημένη μορφή, δηλαδή με αναγωγή της έντασης του βασικού ιόντος (δηλαδή του ιόντος με το μεγαλύτερο ποσοστό) στο 100 ή το 1000. Με την κανονικοποίηση επιτυγχάνεται η σύγκριση του φάσματος μάζας με άλλα που είναι αποθηκευμένα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή (βιβλιοθήκη φασμάτων). Υπάρχουν βιβλιοθήκες που καλύπτουν μέχρι και 150.000 φάσματα μάζας.

Η φασματομετρία μάζας χρησιμοποιείται συνδυαστικά και με αέριο ή υγρό χρωματογράφο (GC-MS, LC-MS) σε μια ενιαία διάταξη για τον προσδιορισμό οργανικών ουσιών. Το φασματόμετρο μάζας έχει τη θέση του εκλεκτικού ανιχνευτή και ανιχνεύει συνεχώς την έξοδο της χρωματογραφικής στήλης. Οι τύποι ανιχνευτών που

χρησιμοποιούνται σ' αυτά τα όργανα είναι είτε τα τετραπολικά φίλτρα μαζών, είτε οι παγίδες ιόντων (March και Todd 2005, Kitson et al 1996).

Οι συσκευές αυτές έχουν μικρό κόστος, εύκολη χρήση και συντήρηση και αποτελούν καλύτερη λύση για πολλά πολύπλοκα προβλήματα ανάλυσης. Κάποια παραδείγματα εφαρμογών της GC-MS είναι στην ανάλυση (ρουτίνας πλέον) φαρμάκων, φυτοφαρμάκων, στεροειδών και μεταβολιτών στο αίμα και τα ούρα, τοξικών ουσιών στα τρόφιμα, τοξικών ουσιών στο πόσιμο νερό και σε πολλές άλλες εφαρμογές (Trander et al 2000). Παρά τους περιορισμούς και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει ο συνδυασμός GC-MS (απαιτείται ταχύτατη καταγραφή του φάσματος γιατί ορισμένες αντιδράσεις ισομερισμού μέσα στη στήλη διαχωρισμού του αερίου χρωματογράφου περνούν απαρατήρητες και μικρές ποσότητες του φέροντος αερίου διαφεύγουν στο θάλαμο ιονισμού) η μέθοδος έχει γνωρίσει πάρα πολλές εφαρμογές (McMaster 2008).

Οι εφαρμογές LC-MS χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό μορίων μεγάλου εύρους μαζών σε τομείς που σχετίζονται με τον έλεγχο της ασφάλειας των τροφίμων, την περιβαλλοντική ανάλυση, τον μεταβολισμό των φαρμάκων και ταυτοποίηση πρωτεϊνών.

4.3.1.1. Total Ion Current

Το χρωματογράφημα του total ion current (TIC) ουσιαστικά αναπαριστά το άθροισμα όλων των μαζών (m/z) που έχουν ανιχνευθεί σε κάθε σημείο της ανάλυσης της φασματομετρίας μάζας (IUPAC 2006). Ειδικότερα στην φασματομετρία μάζας το TIC δύναται να ορισθεί ως εξής:

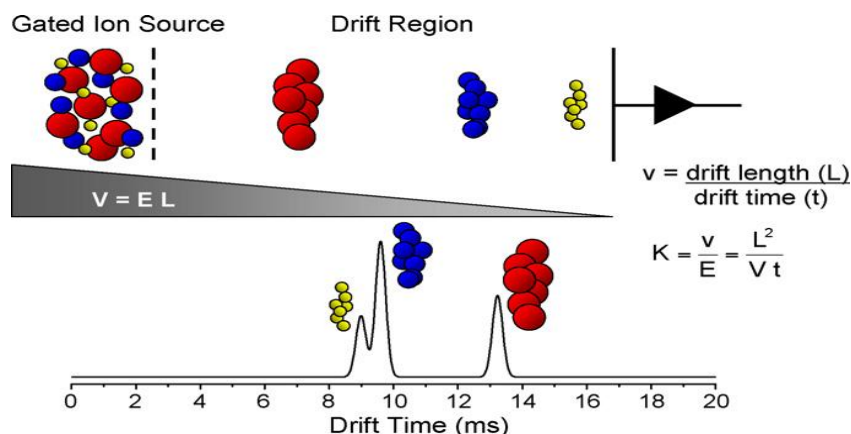
α. Μετά από την ανάλυση μαζών: Το άθροισμα του φορτίου του κάθε ιόντος που φέρεται από διαφορετικά ιόντα τα οποία συνεισφέρουν στην δημιουργία του φάσματος (που συχνά καλείται ως το αναδομημένο ιοντικό φορτίο).

β. Πριν από την ανάλυση μαζών: Το άθροισμα του φορτίου του κάθε ιόντος για τα ιόντα που φέρουν το ίδιο πρόσημο πριν από την ανάλυση μαζών

Το χρωματογράφημα του TIC χρησιμοποιείται σε ειδικές περιπτώσεις, καθώς σε σύνθετα δείγματα η πληροφορία που παρέχεται είναι περιορισμένη διότι πολλαπλές αναλύσεις λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα.

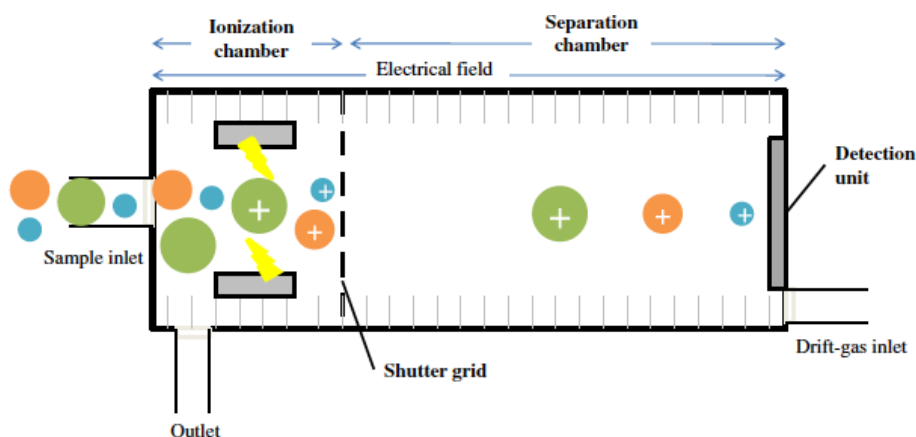
4.3.2. Φασματομετρία Κινητικότητας Ιόντων (IMS – Ion Mobility Spectrometry)

Μια από τις μεθόδους φασματογραφίας που έχει πολλές εφαρμογές σε φορητά φασματόμετρα είναι η φασματομετρία κινητικότητας ιόντων. Η οργανολογία που χρησιμοποιείται αποτελείται από ένα σωλήνα, ο οποίος βρίσκεται υπό ατμοσφαιρική πίεση, εντός του οποίου πραγματοποιείται χημικός ιονισμός, όπου στην συνέχεια σχηματίζεται ένα αεροζόλ που κινείται υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου σε δέκατα του δευτερολέπτου. Οι ουσίες χαρακτηρίζονται **με βάση την ταχύτητα μετακίνησης ή την κινητικότητα (drift) των ιόντων** του αεροζόλ σ' ένα ασθενές ηλεκτρικό πεδίο (συνήθως λιγότερο από 200Vcm^{-1} υπό ατμοσφαιρική πίεση) σε συνθήκες πίεσης περιβάλλοντος. Τα ιόντα, αναπτύσσουν ταχύτητα μετακίνησης, v (cm/s^{-1}), σ' ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο είναι ευθέως ανάλογο προς το ηλεκτρικό πεδίο.



Εικόνα 12: Φασματομετρία Κινητικότητας Ιόντων - χαρακτηρισμός ιόντων μιας ουσίας με βάση την κινητικότητα τους.
(Πηγή: Johnson et al 2007)

Η κινητικότητα των ιόντων εξαρτάται από τη μάζα, το φορτίο, το μέγεθος του ιόντος αλλά και από την πίεση και τη θερμοκρασία. Το πιο σημαντικό απ' όλα τα στοιχεία της εφαρμογής IMS, είναι η πηγή ιόντων, η οποία ορίζει την απόκριση, τη χρήση και τις πιθανές εφαρμογές της τεχνολογίας. Η απόδοση της πηγής μπορεί να επηρεαστεί από σημαντικές φυσικές παραμέτρους (Johnson et al, 2007) όπως η θερμοκρασία και η πίεση επηρεάζοντας την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια της συσκευής.



Εικόνα 13: Η δομή μιας τυπικής εφαρμογής IMS
(Πηγή: Marquez-Sillero et al 2011)

Η συνηθέστερη πηγή ιονισμού είναι η χρήση του ραδιοϊσοτόπου ^{63}Ni , η οποία παρέχει αξιοπιστία, σταθερότητα, απλότητα και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας χωρίς εξωτερική τροφοδοσία ρεύματος. Άλλες πηγές ιονισμού είναι συνήθως λάμπες φωτοιονισμού, Corona Discharges, matrix assisted laser desorption ionization (MALDI) και ηλεκτροσπασμός. Η μέθοδος IMS έχει πολλές εφαρμογές σε περιβαλλοντικές μετρήσεις, στη φαρμακευτική βιομηχανία, στο στρατιωτικό τομέα, στην ασφάλεια (όπως είναι ο εντοπισμός εκρηκτικών υλών), αλλά και σε διαστημικές αποστολές (Johnson et al 2007, Marquez-Sillero et al 2011, O Donnell et al 2008, Ewing et al 2001).

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά με την αέρια χρωματογραφία επιτυγχάνοντας διαχωρισμό των σύνθετων ουσιών και μέτρηση των αέριων στοιχείων με μεγάλη επιλεκτικότητα.

Στη μέθοδο αυτή, η διαδικασία ανάλυσης περιλαμβάνει κατά σειρά, τα εξής βήματα:

1. Εισαγωγή δείγματος,
2. Διαχωρισμός σύνθετων ουσιών,
3. Ιονισμός στοιχείων με πηγή ιονισμού,
4. Διαχωρισμός ιόντων και
5. Ανίχνευση ιόντων.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των εφαρμογών GC-IMS είναι ότι η επιφάνεια των αποτελεσμάτων μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να ανιχνεύει την κινητικότητα των αερίων ενδιαφέροντος, πετυχαίνοντας μ' αυτό το τρόπο την ανίχνευση των επιθυμητών στοιχείων. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι επειδή μετρά την κινητικότητα των ιόντων και όχι τη μάζα, μπορεί να υπάρχουν προβλήματα επιλεκτικότητας με ουσίες που έχουν την ίδια μάζα αλλά διαφορετική δομή (Kanua και Hill 2008).

4.4. Φορητά ή μεταφερόμενα αναλυτικά όργανα πεδίου

Τα τελευταία χρόνια η βιομηχανία των φορητών οργάνων για την χημική ανάλυση πεδίου έχει γνωρίσει ραγδαία ανάπτυξη. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επέδρασαν προς αυτή την κατεύθυνση είναι οι ανάγκες ασφάλειας και προφύλαξης από πράξεις τρομοκρατίας που σχετίζονται με τη χρήση τοξικών ή εύφλεκτων ουσιών (Docquer και Lander, 2002) καθώς και η ανάγκη ανίχνευσης αερίων ρύπων για τον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι περισσότερες εφαρμογές φορητών οργάνων λοιπόν χρησιμοποιούνται στον τομέα της επαγγελματικής ασφάλειας, της ατομικής προστασίας, της προστασίας από επιθέσεις τρομοκρατικές και σε μέτρηση αερίων ρύπων.

Οι σύγχρονες συσκευές είναι κατάλληλες τόσο για την «ανίχνευση πεδίου» όσο και για την «προσωπική ανίχνευση».

Στην «προσωπική ανίχνευση» ο ενδιαφερόμενος έχει την δυνατότητα να παρακολουθεί τις συγκεντρώσεις των αερίων που τον περιβάλλουν ακριβώς στο σημείο που βρίσκεται κάθε στιγμή. Αυτή η μέθοδος είναι ιδανική για τις περιπτώσεις εργαζόμενων που εισέρχονται ή κινούνται σε μια ευρεία περιοχή που είναι χαρακτηρισμένη ως «επικίνδυνη», σε δεξαμενές καυσίμων και άλλους κλειστούς χώρους. Πολλά αέρια που είναι τοξικά και παρουσιάζουν επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία είναι άχρωμα και άοσμα, με συνέπεια να μην μπορούν να γίνουν αντιληπτά από τις ανθρώπινες αισθήσεις. Παραδείγματα τέτοιων βιομηχανιών είναι η ναυτιλία και τα ναυπηγεία, οι χαλυβουργικές βιομηχανίες, οι βιομηχανίες τροφίμων με συστήματα ψύξης που βασίζονται στην αμμωνία και οι πετροχημικές και χημικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Επιπλέον υπάρχουν φορητές συσκευές χημικής ανάλυσης πεδίου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έρευνα και διάσωση ατόμων σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση τέτοιων οργάνων για την διάσωση εγκλωβισμένων από σεισμούς. Σε αυτή την περίπτωση από το εγκλωβισμένο θύμα μπορούν να ανιχνευθούν αέρια στοιχεία και άλλες VOCs που μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό του. Ακόμη η ανίχνευση και η μέτρηση άλλων στοιχείων του πεδίου που μπορεί να έχουν άμεση επίδραση στο θύμα είναι πολύ σημαντική και η γνώση αυτών μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη πυρκαγιάς ή άλλων επικίνδυνων καταστάσεων.

Σε ότι αφορά την ανίχνευση αερίων για την προστασία του περιβάλλοντος οι περισσότερες εφαρμογές φορητών αισθητήρων συναντώνται στην αυτοκινητοβιομηχανία και άλλες βιομηχανίες μεταφοράς, όπου μετρώνται οι εκπομπές CO, CO₂, SO_x και NO_x. Στους αισθητήρες αυτούς υπάρχει ραγδαία ανάπτυξη και πολλές τεχνολογικές εξελίξεις στο μέγεθος, την επιλεκτικότητα, την ευαισθησία και την απόκριση.

Τέλος κάποια άλλα παραδείγματα φορητών εμπορικών οργάνων που χρησιμοποιούνται για την χημική ανάλυση πεδίου είναι η τεχνολογία GC-IMS που έχει εφαρμογές σε διαστημικούς σταθμούς και η τεχνολογία GC-MS που έχει πολλές εφαρμογές στην φαρμακευτική και στην προστασία του περιβάλλοντος

Ολοκληρώνοντας την ανασκόπηση της χημικής ανάλυσης πεδίου οι τάσεις που διακρίνονται είναι οι εξής:

α. Ευρεία χρήση αισθητήρων που παρουσιάζουν είτε ευαισθησία σε ευρύτερες ενώσεις αερίων είτε αυξημένη επιλεκτικότητα.

β. Νέες εφαρμογές παραδοσιακών αισθητήρων με μικρότερο μέγεθος και μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και μεγαλύτερη ευαισθησία στα αέρια ενδιαφέροντος

γ. Χρήση αισθητήρων προσωπικής προστασίας, ιδιαίτερα για εργαζόμενους σε βιομηχανίες που απαιτείται παραμονή σε κλειστούς χώρους (δεξαμενές, στεγανά, διαχωριστικά, σιλό, και πολλούς άλλους χώρους)

δ. Σταδιακή αντικατάσταση των παραδοσιακών ηλεκτροχημικών αισθητήρων με αισθητήρες οπτικής τεχνολογίας σε εφαρμογές όπου απαιτείται αυξημένη επιλεκτικότητα και λιγότερο συχνή βαθμονόμηση.

ε. Τεχνολογίες που μπορούν να διακρίνουν συγκεκριμένα αέρια σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες.

στ. Ανάπτυξη αισθητήρων χαμηλού κόστους τόσο για εφαρμογές προσωπικής προστασίας, όσο και σε άλλες βιομηχανικές εφαρμογές.

Βιβλιογραφία:**ΕΛΛΗΝΙΚΗ**

Οξενκιουν Πετροπούλου Μαρία, Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης-Φασματομετρικές Μέθοδοι, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2006

Λιοδάκης Στυλιανός, Αναλυτική Χημεία, Θέματα και Προβλήματα, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2001

Παππά Αθηνά, Φυσικές μέθοδοι ανάλυσης: Χρωματογραφικές, Θερμικές, Ηλεκτρομετρικές, Φασματομετρία μάζας, Αθήνα 2004

ΔΙΕΘΝΗΣ

Buttner W J, Post M B, Burgess R, Rivkin C, An overview of hydrogen safety sensors and requirements, International Journal of Hydrogen Energy 36:3 (2011) 2462-2470.

Choo J, Hazardous Gas Monitors, A practical guide to selection, operation and application, McGraw Hill, New York (2000).

Dass C, Fundamentals of Contemporary Mass Spectrometry, Wiley, 2007

Docquer L, Lander S, Combustion and Sensors: a review, Progress in energy and Combustion Science 28:2 (2002) 107-150.

EC Directive 1999/13/EC (Solvent Emissions Directive)

EC Directive 2001/81/EC (EU National Emissions Ceilings Directive)

Ekman R, Silberring J, Westman-Brinkmalm A, Kraj A, Mass Spectrometry-Instrumentation, Interpretation and Applications, Wiley- Interscience Series in Mass Spectrometry 2006.

Ewing R G, Atkinson D A, Eiceman G A, Ewing G J, A critical review of ion mobility spectrometry for the detection of explosives and explosive related compounds, Talanta 54 (2001) 515–529.

Fergus J W, A review of electrolyte and electrode materials for high temperature electrochemical CO₂ and SO₂ gas sensors, Sensors and Actuators B 134 (2008) 1034–1041.

Fleet B, Gunasingham H, Electrochemical sensors for monitoring environmental pollutants, Talanta 39:11 (1992) 1449-1457.

Frantisek Opekar, Karel Stulic, Electrochemical sensors with solid polymer electrolytes, Analytica Chimica Acta 385 (1999) 151-162.

Houser E J, Mlsna T E, Nguyen V K, Chung R, Mowery R L, McGill R A, Rational materials design of sorbent coatings for explosives: applications with chemical sensors, *Talanta* 54 (2001) 469-485.

IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). XML on-line corrected version: <http://goldbook.iupac.org> (2006-) created by M. Nic, J. Jirat, B. Kosata; updates compiled by A. Jenkins. ISBN 0-9678550-9-8.

Jackson M, Mantsch H, Medical Science Applications of IR, *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* (2004) 1271-1281.

Jasinski P, Solid-state electrochemical gas sensors, *Materials Science-Poland* 24:1 (2006) 269-278.

Johnson P V, Beegle L W, Kim H I, Eiceman G A, Kanik I, Ion mobility spectrometry in space exploration, *International Journal of Mass Spectrometry* 262 (2007) 1-15.

Kannan G K, Nimal A T, Mittal U, Yadava R D S, Kapoor J C, Adsorption studies of carbowax coated surface acoustic wave (SAW) sensor for 2,4-dinitrotoluene (DNT) vapour detection, *Sens. Actuators B* 101 (2004) 328-334.

Kanua A B, Hill H H Jr, Ion mobility spectrometry detection for gas chromatography, *Journal of Chromatography A* 1177 (2008) 12-27

Kitson F, Larsen B S, McEwen C N, *Gas Chromatography and Mass Spectrometry*, Academic Press, 1996.

Laschi S, Mascini M, Planar electrochemical sensors for biomedical applications *Medical Engineering & Physics* 28 (2006) 934-943.

March R E, Todd J F J, *Quadripole Ion Trap Mass Spectrometry*, Second Edition, Wiley, 2005.

Marquez-Sillero I, Aguilera-Herrador E, Cardenas S, Valcarcel M, Ion-mobility spectrometry for environmental analysis, *Trends in Analytical Chemistry* 30:5 (2011) 677-690.

Mc Dermoth H J, *Air Monitoring For Toxic Exposure*, Second Edition, Wiley, 2004.

O Donnell R M, Sun X, Harrington P, Pharmaceutical applications of ion mobility spectrometry, *Trends in Analytical Chemistry* 27:1 (2008) 44-53.

Opekar F, Stulic K, Electrochemical sensors with solid polymer electrolytes, *Analytica Chimica Acta* 385 (1999) 151-162.

Ostrick B, Fleischer M, Meixner H and Kohl D *Sensors Actuators B* 68 (2000) 197-202.

Patel S V, Di Battista M, Gland J L, Schwank J W, Survivability of a silicon-based microelectronic gas-detector structure for hightemperature flow applications, *Sens Actuators B* 37 (1996) 27–35.

Pedersen H, Muguruma H, Dela Cruz E, Chemical Sensors, *Wiley Encyclopedia of Electrical & Electronics Engineering* (1999) 284-299.

Qureshi A, Kang W P, Davidson J L, Gurbuz Y, Review on carbon-derived, solid-state, micro and nano sensors for electrochemical sensing applications, *Diamond & Related Materials* 18 (2009) 1401–1420.

Ramanavicius A, Ramanaviciene A, Malinauskas A, Electrochemical sensors based on conducting polymer—polypyrrole, *Electrochimica Acta* 51 (2006) 6025–6037.

Morrison R, Selectivity in Semiconductor Gas Sensors, *Sensors and Actuators* 12:4 (1987) 425 – 440.

Riegel J, Neumann H, Wiedenmann H M, Exhaust gas sensors for automotive emission control, *Solid State Ionics* 152– 153 (2002) 783– 800.

Serret P, Colominas S, Reyes G, Abellà J, Characterization of ceramic materials for electrochemical hydrogen sensors, *Fusion Engineering and Design* 86:9-11 (2011) 2446-2449.

Schšnauera D, Wiesnerb K, Fleischer M, Moos R, Selective mixed potential ammonia exhaust gas sensor, *Sensors and Actuators B* 140:2 (2009) 585-590.

Singh S, Sensors-An effective approach for the detection of explosives, *Journal of Hazardous Materials* 144 (2007) 15–28.

Timmer B, Olthuis W, Van den Berg A, Ammonia sensors and their applications: a review, *Sensors and Actuators B* 107 (2005) 666–677.

Trander G, Holmes J, Lindon J, *Encyclopedia of Spectroscopy & Spectrometry*, Academic Press, Vol 1-3 (2000).

U.S. EPA Definition of VOC (effective as of December 29, 2004), 40 CFR Part 51 Section 51.100 Definitions

Yamazoe N, Toward innovations of gas sensor technology, *Sensors and Actuators B* 108 (2005) 2–14.

Zhuyikov S, Gas sensor applications of oxygen-ionic electrolytes: Development of their electron model, *Sensors and Actuators B* 130 (2008) 488–496.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1. Ορισμός, παραδείγματα και εφαρμογές απόκτησης δεδομένων

Με τον όρο Απόκτηση Δεδομένων (Data Acquisition, DAQ) εννοείται η διαδικασία συλλογής σημάτων από πηγές μετρήσεων σ' ένα πεδίο, την ψηφιοποίηση των σημάτων για την αποθήκευση, την ανάλυση και την παρουσίαση σ' έναν υπολογιστή. Περιλαμβάνει, συνήθως, τη μέτρηση ηλεκτρικών και φυσικών φαινομένων, όπως τάση, ρεύμα, θερμοκρασία, πίεση, ήχος ή άλλα στοιχεία ενδιαφέροντος που υφίστανται σ' ένα πεδίο. Η απόκτηση δεδομένων πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, με τη χρήση κατάλληλου υλικού και λογισμικού.

Η απόκτηση δεδομένων ξεκινά με την μέτρηση του φαινομένου ή του αντικειμένου ενδιαφέροντος. Η μέτρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με κάποιες από τις εφαρμογές αισθητήρων (ή μετατροπέων) που αναλύθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, δηλαδή με συσκευές μετατροπής των φυσικών τιμών των φαινομένων του πεδίου σε ψηφιακή μορφή. Τα σήματα που παράγουν με δειγματοληψία από την πηγή του φαινομένου οι αισθητήρες ή οι μετατροπείς μπορεί να είναι αναλογικά ή ψηφιακά. Τα συστήματα απόκτησης δεδομένων περιλαμβάνουν και διάφορες τεχνικές επεξεργασίας σήματος, έτσι ώστε να είναι δυνατή η τροποποίηση του σήματος και η μετατροπή του από αναλογικό σε ψηφιακό με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και πιστότητα.

5.2. Υλικό και λογισμικό

Σήμερα υπάρχουν διάφορες εφαρμογές υλικού και λογισμικού που χρησιμοποιούνται ευρέως για την απόκτηση δεδομένων. Το υλικό που χρησιμοποιείται στην απόκτηση δεδομένων είναι στην ουσία οι συσκευές που χρησιμεύουν ως μέσο επεξεργασίας, αποθήκευσης και απεικόνισης στον υπολογιστή, των δεδομένων που μετρήθηκαν στο πεδίο ενδιαφέροντος. Η πιο βασική λειτουργία είναι η ψηφιοποίηση του αναλογικού σήματος, έτσι ώστε να είναι αναγνώσιμο από τον υπολογιστή (Cardoso et al, 2004).

Τα κυριότερα πρότυπα που χρησιμοποιούνται σε ότι αφορά στις θύρες επικοινωνίας είναι η USB για συνδέσεις εξωτερικών συσκευών και η σύνδεση τύπου SATA για σκληρούς δίσκους. Άλλα πρότυπα που χρησιμοποιούνται ευρέως σε ερευνητικές και εργαστηριακές εφαρμογές μετρήσεων είναι τα PCI, ISA, (Taylor 2008) παράλληλες ή σειριακές θύρες και άλλα που χρησιμοποιούνταν κυρίως σε προηγούμενες δεκαετίες. Πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούν πρόσθετο υλικό επέκτασης για την απόκτηση δεδομένων τα οποία μπορούν να μεταφέρονται απευθείας στη μνήμη του υπολογιστή ή συνδέσεις ethernet για την μεταφορά των δεδομένων στο εργαστήριο. Υπάρχει ακόμη και η δυνατότητα σύνδεσης με φορητές συσκευές ανάγνωσης δεδομένων μέσω παράλληλης ή σειριακής θύρας για την άμεση απόκτηση των δεδομένων στο πεδίο.

Τα προγράμματα λογισμικού είναι το μέσο με το οποίο καθοδηγείται ο υπολογιστής για να εκτελέσει τις διάφορες λειτουργίες απόκτησης δεδομένων. Το

λογισμικό πρόγραμμα που θα χρησιμοποιηθεί στην απόκτηση δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού αποτελεί την επιφάνεια αλληλεπίδρασης μεταξύ του υπολογιστή και του χρήστη. Με τη βοήθεια αυτών των προγραμμάτων πραγματοποιείται η ανάλυση και η παρουσίαση των δεδομένων.

Η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος απόκτησης δεδομένων εξαρτάται από καθένα από τα ακόλουθα στοιχεία του συστήματος:

- α. Προσωπικός υπολογιστής
- β. Μετατροπείς / αισθητήρες
- γ. Συστήματα επεξεργασίας σήματος
- δ. Συσκευές αποθήκευσης δεδομένων
- ε. Λογισμικά προγράμματα

Η δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων του υπολογιστή που χρησιμοποιείται μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την απόδοση του συστήματος. Όλοι οι υπολογιστές είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν προγραμματισμένες μεταφορές I / O και να σβήσουν αυτούς τους τύπους μεταφορών. Ο περιοριστικός παράγοντας για την απόκτηση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων είναι συχνά ο σκληρός δίσκος (Cardoso et al, 2004). Ο χρόνος απόκρισης του σκληρού δίσκου και ο τυχόν κατακερματισμός που μπορεί να εμφανίζει, μπορεί να μειώσει σημαντικά το ρυθμό με τον οποίο μπορούν να αποκτηθούν τα δεδομένα. Σημαντικός περιορισμός για την ομαλή λειτουργία του συστήματος είναι και οι ασυμβατότητες που μπορεί παρουσιαστούν μεταξύ των λειτουργικών προγραμμάτων καθώς επίσης και η μορφή του σήματος (Haasz και Schumny, 2008)

5.3. Οι μετατροπείς

Ένας αισθητήρας (ή μετατροπέας) είναι μια συσκευή που μετατρέπει ένα φυσικό φαινόμενο σ' ένα μετρήσιμο ηλεκτρικό σήμα, όπως τάση ή ρεύμα. Οι μετατροπείς δηλαδή κωδικοποιούν τα φυσικά φαινόμενα με την παραγωγή ηλεκτρικών σημάτων που μπορεί να μετρήσει το σύστημα (Comer & Comer, 2004). Για παράδειγμα οι IC αισθητήρες θερμοκρασίας μετατρέπουν μέσω ADC (Analog to Digital Conversion) ένα αναλογικό σήμα σε ψηφιακό με τρόπο που να μπορεί να μετρήσει ο υπολογιστής. Σε κάθε περίπτωση, τα ηλεκτρικά σήματα που παράγονται είναι ανάλογα προς τις φυσικές παραμέτρους που ελέγχουν.

5.4. Οι συσκευές επεξεργασίας σήματος

Τα σήματα που παράγονται από τους μετατροπείς βασίζονται σε δειγματοληψία που πραγματοποιείται στο πεδίο του φαινομένου με αποτέλεσμα να παράγονται κάποιες τιμές μέτρησης. Ωστόσο, στη δειγματοληψία μπορεί να επιδράσουν διάφοροι παράγοντες και τα ηλεκτρικά σήματα που παράγονται με τους αισθητήρες να μην είναι ακριβή ή κατάλληλα. Στην περίπτωση αυτή, οφείλεται να πραγματοποιηθεί περαιτέρω επεξεργασία και βελτιστοποίηση σε ότι αφορά στο εύρος δειγματοληψίας, για να είναι δυνατή η συστηματική παρακολούθηση των σημάτων αυτών (Fan et al, 2010). Οι συσκευές επεξεργασίας σήματος μπορούν να ενισχύσουν σήματα χαμηλού επιπέδου, να απομονώσουν κάποιες τιμές, να τα φιλτράρουν σε περίπτωση θορύβου ή να τα ευθυγραμμίσουν.

5.4.1. Μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D converters)

Οι συσκευές μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό σήμα μετατρέπουν μια συνεχή ποσότητα τιμών σε μια διακριτού διαστήματος ψηφιακή αναπαράσταση. Ουσιαστικά πρόκειται για ηλεκτρονικές συσκευές που λαμβάνουν ως είσοδο μια αναλογική τάση ή ρεύμα και παράγουν μια ψηφιακή τιμή ανάλογη του μεγέθους της τάσης ή του ρεύματος. Το ψηφιακό αποτέλεσμα εκφράζεται συνήθως με βάση το δυαδικό σύστημα, αλλά είναι δυνατό να παραχθούν και άλλες κωδικοποιήσεις. Σήμερα οι ανάγκες μετατροπής σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό και η ταχύτητα εκτέλεσης αυτής της διεργασίας είναι διαρκώς αυξανόμενες και για το λόγο αυτό αναπτύσσονται νέες εφαρμογές με τη χρήση τεχνολογίας αιχμής (Sisterna et al., 2011). Ένα παράδειγμα αυτής της τάσης αποτελούν οι Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) οι οποίες ενσωματώνουν τεχνολογία που τους επιτρέπει την ταχύτερη μετατροπή σήματος.

Βιβλιογραφία:

Cardoso J M, Simões J B, Correia C M B A, Combo A, Pereira R, Sousa J, Cruz N, Carvalho P, Varandas C A F, A high performance reconfigurable hardware platform for digital pulse processing, IEEE Transactions on Nuclear Science 51:3 (2004) 921-925.

Cogo J, García J G, Roncagliolo P A, Muravchik C H, High speed acquisition and storage platform for SDR applications development, Proceedings of the 2011 7th Southern Conference on Programmable Logic, SPL, 2011, 19-24

Comer D T, Comer D J, Analog-Signal Electronic Circuits, Encyclopedia of Physical Science and Technology, Elsevier (2004) 531-541.

Fan J, Ye X, Kim J, Archambeault B, Orlandi A, Signal integrity design for high-speed digital circuits: Progress and directions IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility 52:2 (2010) 392-400.

Haasz V, Schumny H, Standardisation of DAQ systems with regard to EMC Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 31:4 (2002) 223-230.

Randall R B, Tordon M J, Data Acquisition Encyclopedia of Vibration, Academic Press (2001) 364-376.

Sisterna C, Segura M, Guzzo M, Ensinck G, Gil C, 2011, FPGA implementation of an ultra-high speed ADC interface, 7th Southern Conference on Programmable Logic, SPL 2011, Cordoba, 13 - 15 April 2011

Taylor J K, Data acquisition products: Global market demand analysis, Sensors 25:9 (2008).

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/en/pg/1/sn/n17:daq/fmid/652>

<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3536>

http://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition

<http://www.measurementsystems.co.uk/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ

6.1. Γενικά

Στην ανάλυση πεδίου είναι απαραίτητο να υπάρχει εποπτεία των σημάτων που δίνουν τις αντίστοιχες πληροφορίες για τις καταστάσεις ενδιαφέροντος. Ως σήμα γενικά, εννοείται η καταγραφή ενός φαινομένου στο χώρο ή στο χρόνο. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα σήματα που θα πρέπει να ελεγχθούν, όπως για παράδειγμα οι ενδείξεις θερμοκρασίας, πίεσης, έντασης του ήχου, έχουν αναλογική μορφή (Mallat 1999). Τα σύγχρονα λειτουργικά προγράμματα ωστόσο απαιτούν την επεξεργασία αυτών των σημάτων με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, που σημαίνει πως θα πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακά (Ukil 2007). Έτσι, αφού τα διάφορα σήματα καταγραφούν με τη βοήθεια αισθητήρων σε αναλογική μορφή, θα πρέπει να γίνει και μετατροπή αυτών σε ψηφιακή μορφή έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η επεξεργασία τους. Αν και η σύγχρονη τεχνολογία επιτρέπει πλέον την καταγραφή αρκετών τύπων σημάτων σε ψηφιακή μορφή, πολλά από τα σήματα ενδιαφέροντος έχουν αναλογική μορφή και απαιτείται η μετατροπή τους σε ψηφιακή για την επεξεργασία τους.

Η επεξεργασία σήματος περιλαμβάνει την ανάλυση και τον χειρισμό των σημάτων. Αναλυτικότερα, ως σήμα ορίζεται οποιαδήποτε συνάρτηση μεταβλητών που περιλαμβάνει μία ποσότητα y (εξαρτημένη μεταβλητή) η οποία μεταβάλλεται συναρτήσει μίας άλλης ποσότητας x (ανεξάρτητη μεταβλητή). Η διάκριση των σημάτων σε αναλογικά και ψηφιακά γίνεται με βάση τις τιμές της εξαρτημένης και της ανεξάρτητης μεταβλητής.

Στα σήματα συνεχούς χρόνου (continuous time) η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι συνεχής, δηλαδή τα σήματα αυτά ορίζονται για οποιαδήποτε τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής. Η εξαρτημένη μεταβλητή, δηλαδή το πλάτος ή εύρος (amplitude) του σήματος, είναι και αυτή συνεχής. Γι' αυτό τα σήματα αυτά αναφέρονται και ως σήματα συνεχούς χρόνου, συνεχούς πλάτους ή αναλογικά σήματα. Παραδείγματα τέτοιων σημάτων είναι η ομιλία ως συνάρτηση του χρόνου ή η ατμοσφαιρική πίεση ως συνάρτηση του ύψους. Ένα αναλογικό σήμα περιγράφεται ως μια συνάρτηση $x(t)$, όπου t πραγματικός αριθμός.

Στα σήματα διακριτού χρόνου (discrete time) η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι διακριτή, δηλαδή τα σήματα αυτά ορίζονται μόνο για συγκεκριμένες τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής. Μ' άλλα λόγια, η ανεξάρτητη μεταβλητή παίρνει τιμές από ένα διακριτό σύνολο τιμών. Η εξαρτημένη μεταβλητή, δηλαδή το πλάτος του σήματος, είναι συνεχής. Γι' αυτό και τα σήματα αυτά αναφέρονται και ως σήματα διακριτού χρόνου συνεχούς πλάτους. Στη περίπτωση που και η εξαρτημένη μεταβλητή παίρνει διακριτές τιμές, τότε μιλάμε για σήματα διακριτού χρόνου διακριτού πλάτους, ή ψηφιακά σήματα. Τα περισσότερα σήματα που παρουσιάζουν πρακτικό ενδιαφέρον, όπως για παράδειγμα η ομιλία, τα βιολογικά σήματα, τα σεισμικά σήματα, είναι, συνήθως αναλογικά.

6.2. Επεξεργασία αναλογικού σήματος (Analog Signal Processing)

Το αναλογικό σήμα είναι κάθε συνεχές σήμα το οποίο μεταβάλλεται και λαμβάνει συνεχείς τιμές κατά την διάρκεια εξέλιξης του χρόνου. Το αναλογικό αναφέρεται συνήθως σ' ένα ηλεκτρικό σήμα, αλλά και άλλα συστήματα μπορεί να μεταφέρουν αναλογικά σήματα όπως δύναται να είναι μηχανικά, αέρια ή υδραυλικά συστήματα. Το αναλογικό σήμα χρησιμοποιεί ορισμένες ιδιότητες του μέσου μετάδοσης για να μεταφέρει τις πληροφορίες του σήματος.

Στον ηλεκτρισμό, το μέγεθος που χρησιμοποιείται συνήθως είναι η διαφορά δυναμικού, συνδυαζόμενη με άλλα μεγέθη όπως είναι η συχνότητα ή η ένταση ρεύματος. Κάθε πληροφορία που μπορεί να μεταφερθεί μ' ένα αναλογικό σήμα είναι μια καταγραφή μεταβολών που συμβαίνουν, όταν παράγονται φυσικά φαινόμενα, όπως ο ήχος, το φως, η θερμοκρασία, η θέση ή η πίεση και επιτυγχάνεται με τη χρήση αισθητήριων οργάνων.

Το αναλογικό σήμα μπορεί να επεξεργαστεί από ειδικές συσκευές, κυκλώματα, ή συστήματα που είναι κατάλληλα σχεδιασμένα, έτσι ώστε να μπορούν να αποσπών κάποιες παραμετρικές πληροφορίες από τα χαρακτηριστικά και τη μορφή του σήματος (Braun 2004). Η φασματική διαμόρφωση είναι ίσως η πιο κοινή μορφή επεξεργασίας αναλογικού σήματος και μπορεί να γίνει είτε με παθητικά φίλτρα (που περιλαμβάνουν αντιστάσεις, πυκνωτές και πηνία), είτε με ενεργητικά φίλτρα (που περιλαμβάνουν αντιστάσεις, πυκνωτές, και λειτουργικούς ενισχυτές), τα οποία και χρησιμοποιούνται περισσότερο (Jenkins 2003).

Όσον αφορά στις συσκευές που μπορούν να επεξεργαστούν αναλογικά σήματα, θα πρέπει να αναφερθεί πως παρά την ανάπτυξη των ψηφιακών συσκευών, υπάρχουν και πολλές εφαρμογές που βασίζονται στο αναλογικό σήμα. Κάποιες από αυτές είναι οι συσκευές κυμάτων ακουστικής επιφάνειας SAW (Surface Acoustic Wave), οι αισθητήρες CCD (Coupled Charged Device) και συσκευές καταγραφής σημάτων υψηλών συχνοτήτων ή οπτικών σημάτων.

6.3. Ψηφιακή επεξεργασία σήματος (Digital Signal Processing – DSP)

Η **ψηφιακή επεξεργασία σήματος** ασχολείται με την ψηφιακή αναπαράσταση των σημάτων και την ανάλυση, τροποποίηση και εξαγωγή πληροφοριών από αυτά, με την βοήθεια ψηφιακών επεξεργαστών. Πρόκειται για ένα σχετικά νέο επιστημονικό πεδίο, που προέκυψε από την αυξανόμενη χρήση των ψηφιακών μέσων. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι εντελώς διαφορετική από την αντίστοιχη της επεξεργασίας αναλογικών ή διακριτών σημάτων. Στην ουσία, ένα σύστημα ψηφιακής επεξεργασίας σήματος θα λάβει ως δεδομένα ένα ψηφιακό σήμα, δηλαδή μια σειρά κωδικοποιημένων ψηφιακών δεδομένων τα οποία μπορεί να χειριστεί, να τα τροποποιήσει, να τα ταξινομήσει και να τα ποσοτικοποιήσει με κατάλληλους αλγόριθμους. Αυτά τα δεδομένα μπορούν, στη συνέχεια, να υποστούν ψηφιακή επεξεργασία και να αναλυθούν από κατάλληλες για το σκοπό αυτό μεθοδολογίες και συσκευές.

Περιπτώσεις κατά τις οποίες υπάρχει η ανάγκη για την αφαίρεση του θορύβου από ένα σήμα ή η μετατροπή ενός σήματος σε μια μορφή πιο κατάλληλη για επεξεργασία και ανάλυση της πληροφορίας που εμπεριέχει αποτελούν παραδείγματα της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος (Vaseghi 2009). Αυτή χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σε πολλές περιοχές εφαρμογών όπου παραδοσιακά χρησιμοποιούνταν αναλογικές μορφές επεξεργασίας, αλλά και σε νέες εφαρμογές στις οποίες οι αναλογικές μέθοδοι είναι δύσκολο ή και αδύνατο να χρησιμοποιηθούν. Το γεγονός αυτό οφείλεται στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η ψηφιακή επεξεργασία σήματος.

Ένα βασικό πλεονέκτημα της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος είναι πως ένα ψηφιακό προγραμματιζόμενο σύστημα παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία στην τροποποίηση

των πράξεων ψηφιακής επεξεργασίας, με μια απλή μετατροπή του προγράμματος (Ambardar 1995). Αυτό συνεπάγεται την δυνατότητα επανασχεδίασης του κυκλώματος και τον συνεπακόλουθο έλεγχο και επιβεβαίωση (testing and verification) της ορθής λειτουργίας του. Η ακρίβεια (accuracy) παίζει επίσης πολύ σπουδαίο ρόλο. Οι ανοχές των στοιχείων των αναλογικών κυκλωμάτων καθιστούν δύσκολο τον προσδιορισμό της ακρίβειας ενός αναλογικού συστήματος επεξεργασίας. Απεναντίας, στην περίπτωση ενός ψηφιακού συστήματος ο έλεγχος των προδιαγραφών από άποψη ακρίβειας είναι πολύ πιο εύκολος.

Επιπλέον, τα ψηφιακά σήματα μπορούν να αποθηκευτούν σε μαγνητικά ή οπτικά μέσα (όπως μαγνητικούς ή οπτικούς δίσκους, ταινίες) χωρίς υποβάθμιση της πιστότητάς τους. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα μεταφοράς και επεξεργασίας τέτοιων σημάτων σε μη πραγματικό χρόνο και η δυνατότητα εφαρμογής πιο περίπλοκων αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος. Σε πολλές περιπτώσεις, η ψηφιακή επεξεργασία ενός σήματος είναι χαμηλότερου κόστους από την αντίστοιχη αναλογική. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στο ότι το υλικό (hardware) σήμερα είναι φθηνότερο, είτε στην ευελιξία που παρέχεται λόγω της ψηφιακής υλοποίησης.

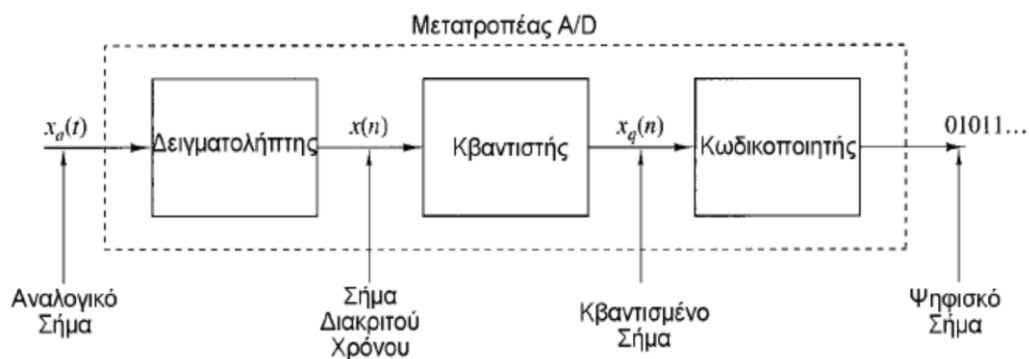
Αποτέλεσμα των πλεονεκτημάτων της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος είναι η διαρκώς αυξανόμενη χρήση της σε όλο και περισσότερους τομείς εφαρμογών, όπως στην επεξεργασία ομιλίας, στη μετάδοση σήματος σε τηλεφωνικά δίκτυα, στη σεισμολογία, στη γεωφυσική, στην ιατρική, στην εξερεύνηση του διαστήματος, στη μετεωρολογία και σε άλλο πλήθος εφαρμογών.

Επόμενο είναι η ψηφιακή επεξεργασία σήματος να παρουσιάζει όρια, τα οποία οφείλονται στους περιορισμούς που τίθενται στην ταχύτητα λειτουργίας των μετατροπέων αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, καθώς και στους ίδιους τους ψηφιακούς επεξεργαστές σήματος. Έτσι, σήματα με εξαιρετικά μεγάλο εύρος συχνοτήτων, για παράδειγμα σήματα με εύρος συχνοτήτων της τάξεως των 100 MHz, υφίστανται επεξεργασία ακόμη και σήμερα με αναλογικές μεθόδους.

6.4. Μετατροπείς Σήματος (Signal Converters)

Όπως προαναφέρθηκε, για την πραγματοποίηση επεξεργασίας αναλογικών σημάτων με ψηφιακά μέσα, απαιτείται η μετατροπή αυτών σε ψηφιακή μορφή. Η βασικότερη διαφορά μεταξύ αναλογικού και ψηφιακού σήματος είναι ότι το αναλογικό σήμα περιέχει άπειρο αριθμό στοιχείων, ενώ το ψηφιακό σήμα έχει συγκεκριμένο (πεπερασμένο) αριθμό τιμών. Μετατροπή σήματος ωστόσο, μπορεί να γίνει και σε περίπτωση που ένα ψηφιακό σήμα θα πρέπει να λάβει αναλογική μορφή.

Πιο συγκεκριμένα, ένα ψηφιακό σήμα μπορεί να προκύψει από ένα αναλογικό σήμα, μέσω μίας διεργασίας η οποία περιγράφεται στην παρακάτω εικόνα 14.



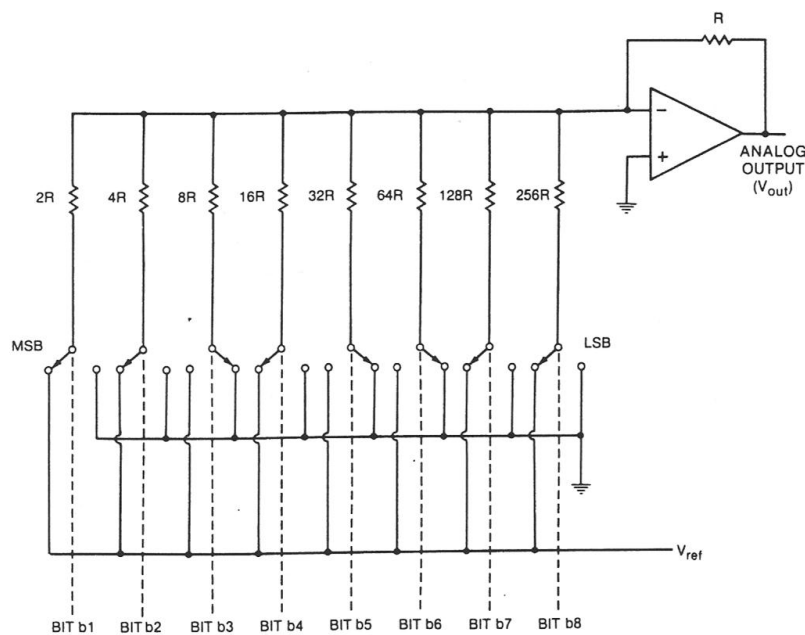
Εικόνα 14: Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Πηγή: Ισμίρογλου 2007)

Με τη δειγματοληψία επιτυγχάνεται η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε μία ακολουθία αριθμών πεπερασμένης ακρίβειας. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται μετατροπή αναλογικού-σε-ψηφιακό (analog-to digital conversion, A/D) και τα αντίστοιχα κυκλώματα ονομάζονται μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό (analog-to-digital converters, ADCs).

Η αντίστροφη διαδικασία της μετατροπής ενός ψηφιακού σήματος σε αναλογικό είναι γνωστή ως μετατροπή ψηφιακού σε αναλογικό (digital-to-analog conversion, D/A) και γίνεται με την βοήθεια κυκλωμάτων τα οποία ονομάζονται μετατροπείς ψηφιακού σε αναλογικό (digital-to-analog converters, DACs).

6.4.1. Μετατροπείς Ψηφιακού σήματος σε Αναλογικό (DAC)

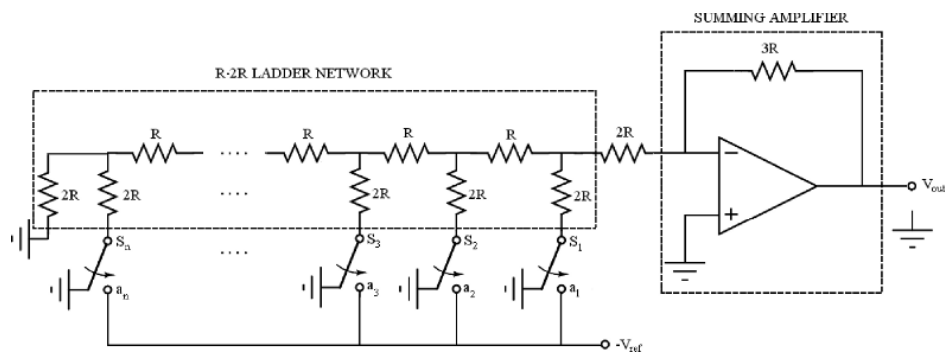
Η μετατροπή ψηφιακών σημάτων σε αναλογικά είναι μια διαδικασία, κατά την οποία, σήματα που έχουν δυο καθορισμένα επίπεδα ή καταστάσεις μετατρέπονται σε σήματα τα οποία περιέχουν απεριόριστο αριθμό καταστάσεων. Πιο συγκεκριμένα, μέσω ενός μετατροπέα η ψηφιακή τιμή (τάση) ενός σήματος αντιστοιχείται σε μια αναλογική τιμή. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει ένας DAC μετατροπέας είναι η ακρίβεια, η ανάλυση και η μονοτονικότητα. Στην παρακάτω εικόνα 15 παρουσιάζεται η λειτουργία ενός απλού κυκλώματος δυαδικού μετατροπέα.



Εικόνα 15: Μετατροπέας DAC
(Πηγή: Ισμίρογλου 2007)

Τα προς μετατροπή δεδομένα είναι τα BIT 1 - BIT 8 τα οποία μέσα από Flip- Flop δυαδικούς διακόπτες δημιουργούν τάσεις ρεύματος οι οποίες αθροίζονται από τον τελεστικό ενισχυτή με αποτέλεσμα την ανάδειξη ενός αναλογικού σήματος στην έξοδο του. Αν και το παραπάνω σύστημα που βασίζεται σε σταθμισμένες αντιστάσεις είναι σχετικά απλό, η ενσωμάτωση του σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρουσιάζει αρκετή δυσκολία.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται δύο τύποι DAC μετατροπέων, οι δυαδικές σταθμισμένες αντιστάσεις, ως φαίνεται στην εικόνα 15 και οι R-2R Ladder Network, οι οποίοι θεωρούνται και πιο ακριβείς, ως φαίνεται στην εικόνα 16.



Εικόνα 16: DAC μετατροπέας τύπου R-2R Ladder Network.
(Πηγή: Ukil 2007)

Ένα από τα προβλήματα που παρουσιάζεται κατά τη μετατροπή, είναι ο θόρυβος που δημιουργείται, όταν ένας μετατροπέας DAC μεταβαίνει από μια λογική κατάσταση σε μια άλλη. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται διάφορα φίλτρα που βελτιώνουν την ποιότητα του σήματος, τα οποία θα παρουσιαστούν παρακάτω.

6.4.2. Μετατροπέας Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό (ADC)

Η μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό είναι μια σύνθετη διαδικασία που περιλαμβάνει και σημαντικούς περιορισμούς. Η δειγματοληψία είναι το πρώτο βήμα για την μετατροπή και ακολουθούν η κβάντιση και η κωδικοποίηση (Walden 1999).

6.4.2.1. Δειγματοληψία Αναλογικών Σημάτων

Η δειγματοληψία ενός αναλογικού σήματος $x_a(t)$ επιτυγχάνεται παίρνοντας δείγματα αυτού ανά T δευτερόλεπτα. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται από την σχέση:

$$x(n) = x_a(nT), \quad -\infty < n < \infty$$

όπου $x(n)$ είναι το σήμα διακριτού χρόνου που προκύπτει.

Το χρονικό διάστημα T μεταξύ των διαδοχικών δειγμάτων ονομάζεται **περίοδος δειγματοληψίας** και το αντίστροφο του $1/T = F_s$ αποτελεί τον **ρυθμό δειγματοληψίας** (sampling rate) σε δείγματα ανά δευτερόλεπτο ή αλλιώς την **συχνότητα δειγματοληψίας** (sampling frequency) σε Hz.

Η βασική διαφορά μεταξύ των σημάτων συνεχούς χρόνου και διακριτού χρόνου βρίσκεται στην περιοχή τιμών των μεταβλητών συχνότητας F και f . Με την περιοδική δειγματοληψία ενός σήματος συνεχούς χρόνου περνάμε από την απεικόνιση της απείρου εύρους περιοχής συχνοτήτων F στην πεπερασμένου εύρους περιοχή συχνοτήτων f .

Συνεπώς δύναται να ειπωθεί ότι η δειγματοληψία εισάγει μια ασάφεια, αφού η μέγιστη συχνότητα ενός σήματος συνεχούς χρόνου, η οποία μπορεί να αναπαρασταθεί σωστά, είναι $F_{\max} = F_s/2$, όταν λαμβάνονται δείγματα του σήματος αυτού με ρυθμό $F_s = 1/T$.

Δηλαδή: $F_{\max} = F_s/2 = 1/2T$

Τι συμβαίνει όμως όταν οι συχνότητες του αναλογικού σήματος είναι μεγαλύτερες από $F_s/2$; Πόσο γρήγορα πρέπει να λαμβάνονται δείγματα και ποίος είναι ο ελάχιστος ρυθμός δειγματοληψίας F_s για την σωστή αναπαράσταση ενός αναλογικού σήματος το οποίο δίνεται; Δηλαδή, πόσο συχνά πρέπει να λαμβάνονται δείγματα, ώστε να

αναπαρίσταται ένα πιστό αντίγραφο του αναλογικού σήματος; Η απάντηση σ' αυτό το ερώτημα δόθηκε αρχικά από τον Nyquist (1928) και στη συνέχεια από τον Shannon (1949) και αποτελεί το λεγόμενο **θεώρημα δειγματοληψίας** ή **θεώρημα του Shannon**, το οποίο απλά διατυπώνεται ως εξής :

Η συχνότητα F_s , με την οποία λαμβάνονται τα δείγματα ενός σήματος, πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από την υψηλότερη συχνότητα F_{max} που περιέχεται στο σήμα:

$$\text{δηλαδή } F_s \geq 2F_{max}$$

Επαναδιατυπώνοντας το θεώρημα δειγματοληψίας διαπιστώνεται ότι, για να μην υπάρξει απώλεια χρήσιμης πληροφορίας απαιτείται η λήψη τουλάχιστον δύο δειγμάτων ανά περίοδο (της υψηλότερης συχνότητας του σήματος) (Σκόρδας & Αναστασόπουλος). Για παράδειγμα, η ψηφιοποίηση ενός σήματος ομιλίας, το οποίο είναι αναλογικό όταν λαμβάνεται με μικρόφωνο το οποίο έχει εύρος συχνοτήτων μεταξύ 300 Hz και 3 KHz, τότε η μικρότερη συχνότητα δειγματοληψίας που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε είναι 6 KHz. Η μη συμμόρφωση με τον κανόνα επιφέρει σημαντική αλλοίωση στο σήμα που προκύπτει (Yarlagadda 2004).

6.4.2.2. Κβάντιση ή Τμηματοποίηση

Η διαδικασία της δειγματοληψίας χρησιμοποιεί το χρόνο και εισάγει μια αλλοίωση που σχετίζεται με το χρόνο μέτρησης. Η επόμενη διαδικασία είναι η τμηματοποίηση η οποία αντιπροσωπεύει την τιμή της μέτρησης στο χρόνο της δειγματοληψίας. Με την διαδικασία της **Κβάντισης** ή **Τμηματοποίησης** (quantization) πραγματοποιείται η μετατροπή ενός αναλογικού σήματος, διακριτού χρόνου συνεχούς-πλάτους, σ' ένα ψηφιακό σήμα εκφράζοντας την τιμή κάθε δείγματος ως ένα αριθμό με πεπερασμένο πλήθος ψηφίων (αντί για άπειρο πλήθος ψηφίων που απαιτείται για κάθε, συνεχούς-πλάτους, τιμή).

Κατά την αναπαράσταση του σήματος συνεχών-τιμών μ' ένα πεπερασμένο πλήθος διακριτών-τιμών υπάρχει κάποια αλλοίωση που ονομάζεται σφάλμα κβάντισης (quantization error) ή θόρυβος κβάντισης (quantization noise). Αν $x(n)$ είναι τα δείγματα εισόδου στον κβαντιστή και $x_q(n)$ η ακολουθία των κβαντισμένων δειγμάτων της εξόδου του κβαντιστή, τότε το σφάλμα κβάντισης είναι η ακολουθία $e_q(n)$, η οποία ορίζεται ως η διαφορά της πραγματικής τιμής από την κβαντισμένη τιμή.

$$\text{Δηλαδή: } e_q(n) = x(n) - x_q(n).$$

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι, η κβάντιση αναλογικών σημάτων οδηγεί πάντοτε σε απώλεια πληροφορίας, εξαιτίας της ασάφειας που αυτή εισάγει. Πράγματι, η κβάντιση είναι μία μη-αντιστρεπτή διαδικασία, αφού όλα τα δείγματα σε απόσταση $\Delta/2$ γύρω από ένα επίπεδο κβάντισης αντιπροσωπεύονται από την ίδια τιμή. Συνεπώς, δεν μπορούμε ποτέ να εξαλείψουμε τον θόρυβο κβάντισης, παρά μόνον να τον μειώσουμε αυξάνοντας το επίπεδο κβάντισης L .

6.4.2.3. Κωδικοποίηση των Κβαντισμένων Δειγμάτων

Κατά την διαδικασία της κωδικοποίησης σ' ένα μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ένας μοναδικός δυαδικός αριθμός εκχωρείται σε κάθε επίπεδο κβάντισης. Αν έχουμε L επίπεδα κβάντισης, χρειαζόμαστε τουλάχιστον L διαφορετικούς δυαδικούς αριθμούς. Μ' ένα μήκος λέξης b bits μπορούμε να έχουμε 2^b διαφορετικούς δυαδικούς αριθμούς. Άρα, πρέπει $2^b \geq L$ ή ισοδύναμα $b \geq \log_2 L$. Στο εμπόριο υπάρχουν διαθέσιμοι

μετατροπείς ADC με ακρίβεια μέχρι και $b=16$ bits. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση των μουσικών Cds, όπου χρησιμοποιούνται μετατροπείς ADC ακρίβειας 16 bits.

Υπάρχουν δύο βασικές σχεδιάσεις ADC. Στην πρώτη, η τάση του αναλογικού σήματος συγκρίνεται με μια μεταβλητή τάση αναφοράς και με ένα βρόχο ανάδρασης καθορίζεται η έξοδος του συστήματος.

Στην δεύτερη, το πλάτος του σήματος εισόδου αποθηκεύεται σε έναν πυκνωτή. Ο χρόνος που χρειάζεται μέχρις ότου εκφορτιστεί ο πυκνωτής, μετريέται από έναν απεριθμητή, τα δεδομένα του οποίου είναι η έξοδος του συστήματος.

6.5. Σήματα και συστήματα

Γενικότερα δύναται να ειπωθεί ότι, σύστημα είναι οτιδήποτε δέχεται ως είσοδο ένα σήμα και παράγει ως έξοδο ένα άλλο σήμα. Μαθηματικά είναι ένας μετασχηματισμός που αντιστοιχίζει σε μία συνάρτηση $y(x)$, ή σε μία ακολουθία $y[n]$, κάποια άλλη συνάρτηση $y'(x)$, ή ακολουθία $y'[n]$. Τα συστήματα διακρίνονται επίσης σε αναλογικά, διακριτού χρόνου και ψηφιακά, ανάλογα με τους τύπους σημάτων που δέχονται ως είσοδο και παράγουν ως έξοδο (Taylor 2004).

Ένα τυπικό παράδειγμα συστήματος, αποτελεί το ηλεκτρικό κύκλωμα που δέχεται μία τάση στα άκρα του και παράγει τάση σ' έναν πυκνωτή. Τα σήματα και τα συστήματα είναι οι δύο όψεις του ίδιου νομίσματος καθώς μπορούμε να φερθούμε σ' ένα σήμα ως έξοδο κάποιου γνωστού συστήματος ή να χαρακτηρίσουμε πλήρως ένα σύστημα μελετώντας την έξοδό του για δεδομένη είσοδο.

Τα συστήματα χωρίζονται σε κατηγορίες με βάση διάφορα κριτήρια:

α. **Γραμμικά** συστήματα και **μη γραμμικά** συστήματα, όπου στα γραμμικά η έξοδος ενός γραμμικού συνδυασμού επιμέρους εισόδων ισούται με τον γραμμικό συνδυασμό των αντίστοιχων επιμέρους εξόδων {για σύστημα F ισχύει $F[k_1x_1(t)+k_2x_2(t)] = k_1F[x_1(t)]+k_2F[x_2(t)]$ }

β. **Χρονικά αμετάβλητα** και **χρονικά μεταβλητά**, όπου στα χρονικά αμετάβλητα η μόνη επίπτωση μίας ολίσθησης προς τα δεξιά της εισόδου είναι μία ίδια ολίσθηση της εξόδου {αν $F[x(t)] = y(t)$, τότε $F[x(t+s)] = y(t+s)$ }

γ. **Στατικά** και **δυναμικά** (ή με μνήμη) συστήματα, όπου στα στατικά η έξοδος σε κάθε σημείο του πεδίου ορισμού της εξαρτάται μόνο από την τιμή της εισόδου στο ίδιο σημείο, ενώ στα δυναμικά εξαρτάται και από άλλες τιμές της εισόδου.

Η γραμμικότητα ενός συστήματος συνεπάγεται ότι δύο διαφορετικά σήματα μπορούν να διέλθουν μέσα από το σύστημα ταυτοχρόνως χωρίς να επηρεάζουν το ένα το άλλο, επομένως στην ολική έξοδο συμμετέχουν αθροιζόμενες οι εξοδοί των επιμέρους σημάτων, υπολογισμένες σαν τα τελευταία να διήλθαν μόνα τους απ' το σύστημα. Η χρονική ανεξαρτησία σημαίνει ότι τα χαρακτηριστικά του συστήματος δεν μεταβάλλονται καθώς αλλάζει τιμή η ανεξάρτητη μεταβλητή (συνήθως ο χρόνος). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των γραμμικών συστημάτων είναι ότι, αν η είσοδος είναι ένα απλό ημιτονοειδές σήμα, τότε η έξοδος είναι ένα ημίτονο ίδιας συχνότητας αλλά με τροποποιημένο πλάτος και φάση.

Τα πιο ενδιαφέροντα συστήματα είναι τα γραμμικά και χρονικά αμετάβλητα (ΓΧΑ), τα οποία μοντελοποιούν ένα ευρύ πλήθος πραγματικών συστημάτων.

Μια από τις βασικότερες έννοιες της επεξεργασίας σήματος είναι η υπέρθεση που ισχύει στα γραμμικά και χρονικά αμετάβλητα συστήματα, η οποία βασίζεται στην ένωση των σημάτων. Ο μόνος τρόπος να συνδυαστούν διαφορετικά σήματα σ' ένα κοινό, σύνθετο σήμα είναι (λόγω της γραμμικότητας) με πρόσθεση των επιμέρους

σημάτων, όπου το κάθε σήμα όμως μπορεί να είναι πολλαπλασιασμένο επί μία σταθερά. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **σύνθεση** και το τελικό σήμα λέγεται **υπέρθηση** των αρχικών. Η αντίστροφη διαδικασία ονομάζεται **ανάλυση**, όπου ξεκινώντας από μία υπέρθεση καταλήγουμε σε επιμέρους σήματα.

6.6. Μετασχηματισμοί Σημάτων (Signal transformations)

Για να επιτευχθεί η επεξεργασία σήματος με τις διάφορες εμπορικές εφαρμογές απαιτούνται η υλοποίηση μετασχηματισμών προκειμένου το σήμα να πάρει την επιθυμητή μορφή. Όταν το σήμα πάρει την επιθυμητή μορφή μπορεί ανάλογα με τις ιδιότητες του να συνδυαστεί μ' άλλα (υπέρθηση) ή να αναλυθεί σε επιμέρους σήματα. Δύο ευρέως διαδεδομένοι τρόποι ανάλυσης είναι η **κρουστική ανάλυση (impulse analysis)** και η **ανάλυση Fourier**.

Στην **κρουστική** ανάλυση το σήμα διασπάται σε ελάχιστης διάρκειας (απειροελάχιστες και άπειρες σε πλήθος για αναλογικά σήματα) «ωθήσεις», δηλαδή στιγμιαία σήματα που το καθένα βρίσκεται σε διαφορετικό σημείο του πεδίου ορισμού και έχει το πλάτος του ολικού σήματος στο σημείο εκείνο.

Στην ανάλυση **Fourier**, ένα οποιοδήποτε περιοδικό σήμα αναλύεται σε άθροισμα απείρων ημιτόνων, όλων των δυνατών συχνοτήτων, τα οποία σχηματίζουν αθροιζόμενα το ολικό αρχικό σήμα. Κάθε ένα από αυτά τα ημίτονα συμμετέχει με διαφορετικό πλάτος στο ολικό σήμα και ο μαθηματικός Μετασχηματισμός Fourier ορίζει κατά πόσο συμμετέχει κάθε πιθανή συχνότητα στον σχηματισμό του.

Η σημασία της ανάλυσης Fourier έγκειται στο ότι, σ' ένα γραμμικό και χρονικά αμετάβλητο σύστημα η έξοδος για ημιτονοειδή είσοδο είναι πάλι ένα ημίτονο, ίδιας συχνότητας αλλά διαφορετικού πλάτους και φάσης. Έτσι είναι δυνατόν να εκφραστεί η έξοδος ενός συστήματος, για δεδομένη είσοδο, ως άθροισμα άπειρων ημιτόνων, ίδιων συχνοτήτων με τα ημίτονα, που αθροιζόμενα παράγουν την είσοδο, αλλά, με κατάλληλα τροποποιημένη (λόγω της επίδρασης του συστήματος) φάση και πλάτος. Ας σημειωθεί ότι ο μετασχηματισμός Fourier αperiοδικών σημάτων είναι συνεχής, δηλαδή το συχνοτικό φάσμα των σημάτων περιέχει άπειρες διαφορετικές συχνότητες. Αντιθέτως ο μετασχηματισμός Fourier περιοδικών σημάτων (γνωστός και ως **σειρά Fourier**) είναι διακριτός, δηλαδή το φάσμα των σημάτων περιέχει μετρήσιμα άπειρες διαφορετικές συνιστώσες: ένα ημίτονο της θεμελιώδους συχνότητας (η οποία είναι η συχνότητα του αρχικού, ολικού περιοδικού σήματος) και άπειρα ημίτονα που οι συχνότητες τους είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους (**αρμονικές συνιστώσες**).

6.7. Ο μετασχηματισμός Laplace (Laplace transform)

Ο μετασχηματισμός Fourier είναι χρήσιμο εργαλείο για την ανάλυση σημάτων και συστημάτων. Ωστόσο, μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε συστήματα που είναι απόλυτα ολοκληρώσιμα, δηλαδή σε σήματα ενέργειας. Υπάρχουν όμως και σήματα με μη ολοκληρώσιμη μορφή, τα οποία δεν μπορούν να μετασχηματιστούν με τη μέθοδο Fourier. Σ' αυτά τα σήματα μπορεί να εφαρμοστεί ο **μετασχηματισμός Laplace**.

Ο μετασχηματισμός Laplace διακρίνεται σε μονόπλευρο και δίπλευρο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του σήματος. Σε πρακτικές εφαρμογές που περιλαμβάνουν σήματα με θετικούς χρόνους χρησιμοποιείται ο μονόπλευρος μετασχηματισμός Laplace. Ο μονόπλευρος μετασχηματισμός έχει ιδιαίτερη αξία για την ανάλυση αιτιατών συστημάτων και ιδιαίτερα, συστημάτων που προσδιορίζονται από γραμμικές διαφορικές εξισώσεις με σταθερούς συντελεστές και μη -μηδενικές αρχικές συνθήκες. Ωστόσο, σε πολλές εφαρμογές χρησιμοποιείται και ο δίπλευρος μετασχηματισμός Laplace, ο οποίος προκύπτει από τον αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier.

Σημειώνεται ότι, σπανίως χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις ορισμού για τον μετασχηματισμό Laplace, αφού ο υπολογισμός του γίνεται εύκολα με την χρήση πινάκων και την αξιοποίηση των ιδιοτήτων του μετασχηματισμού.

Συμπερασματικά λοιπόν, η συγκεκριμένη μέθοδος πλεονεκτεί έναντι του μετασχηματισμού Fourier αφού είναι πιο εύκολη στον υπολογισμό, παρέχει πληροφορίες για τις ιδιότητες ενός συστήματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για μη απόλυτα ολοκληρώσιμα σήματα (Κοτρόπουλος).

6.8. Ο μετασχηματισμός Z

Μια άλλη μέθοδος μετασχηματισμού σημάτων είναι ο μετασχηματισμός Z. Ο μετασχηματισμός Z συνδράμει στην επίλυση γραμμικών εξισώσεων διαφορών με σταθερούς συντελεστές. Πολύ συχνά, τα σήματα ενδιαφέροντος είναι υπό αναλογική μορφή. Τα σήματα αυτά δύναται να μετατραπούν σε μια ακολουθία αριθμών. Κάθε αριθμός παριστάνει την ανάγνωση ή το πλάτος του σήματος σε ορισμένη χρονική στιγμή.

Ο μετασχηματισμός Z παίζει σπουδαίο ρόλο στην ανάλυση σημάτων διακριτού χρόνου και γραμμικών και χρονικά αμετάβλητων συστημάτων, αντίστοιχο με εκείνο του μετασχηματισμού Laplace για την ανάλυση σημάτων και συστημάτων συνεχούς χρόνου.

Ο Μετασχηματισμός Z έχει ορισμένες ιδιότητες οι οποίες τον καθιστούν ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο στη μελέτη των σημάτων και συστημάτων διακριτού χρόνου. Κάποια από τα χαρακτηριστικά των σημάτων που μπορούν να μελετηθούν είναι η γραμμικότητα, η ολίσθηση στο χρόνο, η συνέλιξη στο πεδίο του χρόνου και άλλες. (Σκόρδας και Αθανασόπουλος 2007)

6.9. Ο μετασχηματισμός Hilbert

Ο Μετασχηματισμός Hilbert έχει ευρεία εφαρμογή στις τηλεπικοινωνίες και τα ακουστικά σήματα, και αποτελεί σημαντικό μέσο με το οποίο περιορίζεται η ανάγκη σε συχνοτικό φάσμα, όταν εκπέμπεται πραγματικό σήμα μέσω ενός καναλιού. Στο πεδίο της συχνότητας ο Μετασχηματισμός Hilbert έχει Μετασχηματισμό Fourier που δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$H(e^{j\omega}) = j \operatorname{sign}(\omega)$$

Όπως είναι φανερό από την παραπάνω σχέση ο Μετασχηματισμός Hilbert προσθέτει φάση $\pi/2$ στις θετικές συχνότητες, ενώ αφαιρεί τη φάση αυτή από τις αρνητικές.

Εάν h_n πραγματικοί αριθμοί και εφαρμόσουμε το μετασχηματισμό Hilbert σε αθροίσματα της μορφής $\sum_{n=0}^{\infty} h_n \cos n!$ τότε το αποτέλεσμα είναι $\sum_{n=0}^{\infty} h_n \sin n!$. Λόγω αυτής της ιδιότητας συμπεραίνουμε ότι το πραγματικό και το φανταστικό μέρος του Μετασχηματισμού Fourier μιας πραγματικής ακολουθίας συνδέονται μέσω του Μετασχηματισμού Hilbert. Αντίστοιχη ιδιότητα ισχύει μεταξύ του λογαρίθμου, του μέτρου και της φάσης του Μετασχηματισμού Fourier. Αρκεί, επομένως, να είναι γνωστή η μια συνάρτηση προκειμένου να υπολογιστεί η άλλη (Μουστακίδης 2004).

6.10. Ο μετασχηματισμός Fourier

Ο όρος **μετασχηματισμός Fourier** αναφέρεται σε μία αυστηρώς ορισμένη μαθηματική διεργασία η οποία αποσυνθέτει μία συνάρτηση σε άθροισμα απείρων περιοδικών ημιτονοειδών και συνημιτονοειδών συναρτήσεων. Το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού είναι μία νέα συνάρτηση με διαφορετικό πεδίο ορισμού, επίσης γνωστή ως μετασχηματισμός Fourier ή ως φάσμα, η οποία περιγράφει το κατά πόσον

συμμετέχει κάθε στοιχειώδες ημίτονο στον σχηματισμό της αρχικής συνάρτησης (έστω f). Ο μετασχηματισμός Fourier αποτελεί οριακή περίπτωση (για συνάρτηση f με άπειρη περίοδο, δηλαδή ουσιαστικά απεριοδική) της σειράς Fourier.

Στην ουσία, η σειρά Fourier βασίζεται σε μία περιοδική συνάρτηση f και δίνει ως αποτέλεσμα μία νέα συνάρτηση με διακριτό πεδίο τιμών αντί για συνεχές (Curbelo 2004). Έτσι, το πεδίο τιμών σε μία σειρά Fourier είναι οι φυσικοί αριθμοί αντί οι πραγματικοί.

Για συναρτήσεις διακριτής ανεξάρτητης μεταβλητής, όπου οι φυσικοί αριθμοί είναι το πεδίο ορισμού της f , υπάρχουν οι διακριτές παραλλαγές του μετασχηματισμού Fourier: ο **μετασχηματισμός Fourier Διακριτού Χρόνου**, με συνεχές πεδίο τιμών και κατάλληλος για απεριοδικές συναρτήσεις, και ο **Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier** (Discrete Fourier Transform - DFT), με διακριτό πεδίο τιμών και κατάλληλος για περιοδικές συναρτήσεις.

Για καθεμία, από αυτές τις διεργασίες, υπάρχει και ο αντίστροφος μετασχηματισμός, ο οποίος δέχεται ως είσοδο το φάσμα και δίνει ως έξοδο την αρχική συνάρτηση f . Όλοι οι τύποι μετασχηματισμών της ανάλυσης Fourier ανάγονται στον, παρόμοιου σκοπού, Μετασχηματισμό Laplace και αποτελούν περιπτώσεις ολοκληρωτικού μετασχηματισμού.

Αυτές οι μετατροπές (για διακριτά πειραματικά σημεία που συνιστούν ένα σήμα) κανονικά πραγματοποιούνται με τη βοήθεια υπολογιστή και απαιτούν πλήθος πολλαπλασιασμών μιγαδικών αριθμών (N^2 πολλαπλασιασμοί για N πειραματικά σημεία). Έχουν αναπτυχθεί ταχύτατοι αλγόριθμοι για επιτάχυνση της όλης διαδικασίας, από τους οποίους ο πλέον γνωστός είναι ο αλγόριθμος των Cooley-Tukey γνωστός και ως Ταχύς Μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform ή FFT). Με τον FFT ο αριθμός των απαιτούμενων πολλαπλασιασμών μειώνεται σημαντικά σε $N \log_2 N$.

6.11. Πολυπλεξία (Multiplexing)

Στην περίπτωση που υπάρχει απαίτηση για να μεταδίδονται και να λαμβάνονται ταυτόχρονα πολλές πηγές σημάτων και σε περιπτώσεις διαφορετικών μορφών σημάτων χρησιμοποιείται η μέθοδος της πολυπλεξίας, η οποία επιτρέπει σε ψηφιακά δεδομένα ή, αναλογικά σήματα από διαφορετικές πηγές, να διέλθουν μέσα από το ίδιο φυσικό μέσο (ένα καλώδιο, στην ενσύρματη επικοινωνία, ή ο ελεύθερος χώρος, στην ασύρματη επικοινωνία). Μ' αυτόν τον τρόπο, ένας πόρος, διαμοιράζεται σε πολλαπλούς χρήστες. Η πολυπλεξία διαιρεί τη χωρητικότητα του τηλεπικοινωνιακού καναλιού σε λογικά κανάλια, ένα για κάθε μεταδιδόμενο πακέτο δεδομένων ή για κάθε σήμα αντίστοιχα, τα οποία διέρχονται συνδυασμένα από το κανάλι. Η αντίστροφη διαδικασία εκτελείται από τον κάθε παραλήπτη, για να απομονωθεί το ζητούμενο πακέτο ή σήμα, και ονομάζεται **αποπολυπλεξία (demultiplexing)**.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι πολυπλεξίας με πιο σημαντικούς την πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας και την πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου. Η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Frequency Domain Multiplexing - FDM) είναι τεχνολογία για την μετάδοση αναλογικών σημάτων (Lee και Lee 2011). Το εύρος ζώνης του επικοινωνιακού καναλιού διαιρείται σε ζώνες συχνοτήτων που ονομάζονται κανάλια. Η μετάδοση των σημάτων γίνεται ταυτόχρονα στα κανάλια που έχουν καθοριστεί. Παράδειγμα πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας είναι η μετάδοση τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών σημάτων. Ο κάθε ραδιοφωνικός/τηλεοπτικός σταθμός έχει καθορισμένο εύρος ζώνης (το αποκαλούμε συχνότητα σταθμού) όπου μπορεί να εκπέμψει. Όλοι οι σταθμοί εκπέμπουν παράλληλα αλλά περιορίζουν τις εκπομπές τους στις ζώνες συχνοτήτων που έχουν καθοριστεί (συχνότητες σταθμών). Το μέσο μετάδοσης είναι η ατμόσφαιρα και η εκπομπή γίνεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα (White 2004). Η τηλεόραση ή το ραδιόφωνο, είναι ένας αποπολυπλέκτης (demultiplexer), στον οποίο

επιλέγοντας τη συχνότητα του σταθμού επιλέγουμε την αποπολύπλεξη της ζώνης συχνότητας στην οποία εκπέμπει ο σταθμός.

Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (Time Domain Multiplexing - TDM) είναι τεχνολογία ψηφιακής μετάδοσης σημάτων και χρησιμοποιείται κυρίως στην επικοινωνία ηλεκτρολογικών υπολογιστών. Ο χρόνος διαιρείται σε χρονοθυρίδες (timeslots) και η μεταφορά των σημάτων γίνεται κυκλικά. Αν θέλουμε να στείλουμε αναλογικά σήματα με την πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου, κάνουμε δειγματοληψία των σημάτων και αποστέλλουμε κυκλικά τα δείγματα. Μ' αυτόν τον τρόπο, δεδομένα διαφορετικών πηγών πολυπλέκονται χρονικά και μεταδίδονται στην ίδια γραμμή (μέσο μετάδοσης).

6.12. Δειγματοληψία (Sampling)

Η **δειγματοληψία** (sampling) είναι μια απαραίτητη διαδικασία για τη μετατροπή ενός συνεχούς σήματος σε διακριτό σήμα. Ένα συχνό παράδειγμα δειγματοληψίας είναι η μετατροπή ενός ηχητικού σήματος (συνεχές σήμα) σε μια σειρά από δείγματα (ονομάζεται σήμα διακριτού χρόνου).

Το **δείγμα** συνήθως αναφέρεται σε μια τιμή του συνεχούς σήματος σ' ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο.

Ο **δειγματολήπτης** είναι ένα σύστημα το οποίο εξάγει δείγματα (σε ίσα χρονικά διαστήματα) από ένα συνεχές σήμα. Ένας θεωρητικός ιδανικός δειγματολήπτης δημιουργεί δείγματα τα οποία αντιστοιχούν στην στιγμιαία τιμή του συνεχές σήματος στα επιθυμητά χρονικά σημεία.

Η δειγματοληψία αναφέρεται σε σήματα τα οποία μεταβάλλονται σε σχέση με τον χρόνο. Εδώ θα αναφερθούμε στην δειγματοληψία σημάτων που μεταβάλλονται σε μια διάσταση (όπως ο ήχος), αλλά η δειγματοληψία μπορεί να γίνει και σε σήματα πολλών διαστάσεων (όπως οι εικόνες).

Έστω $x_c(t)$ ένα συνεχές, μονοδιάστατο σήμα στο οποίο θα γίνει δειγματοληψία. Η δειγματοληψία θα γίνει παίρνοντας δείγματα του σήματος (τιμή της συνάρτησης) ανά σταθερά χρονικά σημεία, δηλαδή κάθε T δευτερόλεπτα. T ονομάζεται η περίοδος δειγματοληψίας του σήματος. Η **συχνότητα δειγματοληψίας** ή **ρυθμός δειγματοληψίας** μετριέται στην μονάδα μέτρησης Hertz (Hz) και δείχνει πόσα δείγματα έχουν ληφθεί από τον δειγματολήπτη στην διάρκεια ενός δευτερολέπτου. Εάν η συχνότητα δειγματοληψίας f_s 1000 Hz, σημαίνει ο δειγματολήπτης λαμβάνει 1000 δείγματα για την διάρκεια 1 δευτερόλεπτο σήματος.

Ένα μεγάλο πρόβλημα που σχετίζεται με την δειγματοληψία είναι το φαινόμενο του aliasing, το οποίο προκαλεί διαφορετικά σήματα να μην διαφέρουν όταν δειγματοληπτούνται και κατά συνέπεια τα σήματα τα οποία αναδομούνται από την δειγματοληψία να διαφέρουν σημαντικά από τα αρχικά σήματα. Καθώς οι κλασικές τεχνικές επεξεργασίας ψηφιακού σήματος (DSP), που δεν προστατεύονται από το aliasing, γίνονται όλο και λιγότερο αποτελεσματικές. Η ψηφιακή επεξεργασία σήματος χωρίς aliasing (DASP) είναι μια τεχνική για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων σε εκτεταμένη περιοχή συχνοτήτων. Βασίζεται σε μη ομοιόμορφες ή τυχαιοποιημένες τεχνικές δειγματοληψίας και την ανάπτυξη νέων αλγορίθμων, που έχουν τη δυνατότητα να καταστείλουν σημαντικά την αλλοίωση. Οι τεχνικές αυτές είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές υψηλής συχνότητας για να μειωθεί η πολυπλοκότητα στο σχεδιασμό αλγορίθμων δειγματοληψίας (Bilinskis 2007).

6.13. Ψηφιακά Φίλτρα (Digital filters)

Στην επεξεργασία σήματος, η λειτουργία ενός φίλτρου είναι να απομακρύνει τα ανεπιθύμητα μέρη ενός σήματος, όπως ένα τυχαίο θόρυβο, ή να εξάγει χρήσιμα

κομμάτια ενός σήματος, όπως οι συνιστώσες που βρίσκονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων. Πρόκειται για συστήματα, τα οποία στην έξοδό τους διατηρούν απaráλλακτες, ως προς το πλάτος και τη φάση, τις συχνοτικές συνιστώσες της εισόδου, οι οποίες εμπίπτουν, σ' ένα διάστημα, αλλά μηδενίζουν κάθε άλλη συνιστώσα.

Το ψηφιακό φίλτρο χρησιμοποιεί ένα ψηφιακό επεξεργαστή για να εκτελέσει αριθμητικούς υπολογισμούς σε δειγματοληπτικές τιμές του σήματος. Ο επεξεργαστής μπορεί να είναι ένας γενικού σκοπού υπολογιστής όπως ένα PC, ή ένας ειδικού σκοπού DSP (Digital Signal Processor). Συνεπώς, ο σκοπός του ψηφιακού φίλτρου είναι ο ίδιος με του αναλογικού, δηλαδή η μορφοποίηση του φάσματος εισόδου. Η φυσική, όμως, πραγματοποίηση του ψηφιακού φίλτρου είναι διαφορετική από εκείνη του αναλογικού.

Η θεωρία των γραμμικών συνεχών φίλτρων (αναλογικά) βασίζεται στις γραμμικές διαφορικές εξισώσεις, ενώ η θεωρία των ψηφιακών φίλτρων βασίζεται στη θεωρία των γραμμικών εξισώσεων διαφορών. Η θεωρία των γραμμικών ψηφιακών φίλτρων βασίζεται στις γραμμικές εξισώσεις διαφορών, με σταθερούς συντελεστές. Οι εξισώσεις αυτές λύνονται με τη βοήθεια του μετασχηματισμού Z, ενώ οι γραμμικές διαφορικές εξισώσεις με σταθερούς συντελεστές, λύνονται με το μετασχηματισμό Laplace.

Τα ψηφιακά φίλτρα εφαρμόζονται σ' ένα μεγάλο και αυξανόμενο αριθμό εφαρμογών σε σχέση με τα αναλογικά φίλτρα, όπως είναι τα θέματα ανάλυσης και επεξεργασίας σημάτων (Constantinides 2004).

Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των ψηφιακών φίλτρων πραγματικού χρόνου, είναι η μεγαλύτερη ακρίβεια, το μικρότερο μέγεθος, σταθερή λειτουργία, ευελιξία και η δυνατότητα επιμερισμού χρόνου (time sharing) με μεγαλύτερα τμήματα του συστήματος. Επιπλέον, έχουν μικρό κόστος, ειδικά στην περίπτωση φίλτρων πολύ χαμηλής συχνότητας διέλευσης (0.01-1Hz).

Τα πλεονεκτήματα αυτά μαζί με την τεχνολογία της ολοκλήρωσης ευρείας κλίμακας (Large Scale Integration-LSI) κάνουν τη χρήση των ψηφιακών φίλτρων τελείως καθημερινή, μέχρι σημείου να εκτοπίσουν τελείως τα αναλογικά φίλτρα, όπως έγινε με την εκτόπιση των λυχνιών από τα τρανζίστορ.

Κάποια παραδείγματα απλών ψηφιακών φίλτρων είναι το φίλτρο μοναδιαίου κέρδους, το φίλτρο απλού κέρδους, το φίλτρο καθαρής καθυστέρησης, το φίλτρο μέσου δύο όρων και το φίλτρο διαφοράς δύο όρων.

Τα ψηφιακά φίλτρα διαιρούνται σε δύο κατηγορίες, ως εξής: (α) τα επαναληπτικά και (β) τα μη επαναληπτικά φίλτρα. Επαναληπτικό λέγεται το ψηφιακό φίλτρο του οποίου το δομικό διάγραμμα περιέχει μια ή περισσότερες αναζεύξεις. Στα επαναληπτικά φίλτρα η ακολουθία τους μπορεί να είναι άπειρη αν η σταθερά $b < 1$ (η ακολουθία είναι φθίνουσα, αλλά ποτέ δεν πλησιάζει το μηδέν). Μια δεύτερη ιδιότητα των επαναληπτικών φίλτρων είναι ότι μπορεί να είναι ασταθή. Αν $b > 1$ η ακολουθία δε φθίνει ασυμπτωτικά προς το μηδέν και το φίλτρο είναι ασταθές. Ένα ψηφιακό φίλτρο είναι σταθερό αν η ψηφιακή ακολουθία του φθίνει προς το μηδέν.

6.14. Ανάλυση Ακουστικού Σήματος (Analysis of Acoustic Signal)

Δύο από τις σημαντικότερες πτυχές της επεξεργασίας ακουστικού σήματος που συνεχίζουν να αποτελούν πρόκληση είναι: (α) ο εντοπισμός και παρακολούθηση πηγής και (β) ο διαχωρισμός πηγής από θόρυβο και αντήχηση.

Οι νέες προσεγγίσεις στην ενίσχυση των ακουστικών σημάτων, χρησιμοποιούν σειρές μικροφώνων και άλλων αισθητήρων για να συμπεράνουν τη φυσική γεωμετρία του περιβάλλοντος και για να υπολογίσουν, παραδείγματος χάριν, τις πληροφορίες για τη θέση των αντανακλαστικών επιφανειών σ' ένα δωμάτιο. Η έρευνα στον συγκεκριμένο τομέα αυτό έχει σημαντικές εφαρμογές σ' ότι αφορά στη διανεμημένη ακουστική αντίληψη καθώς επίσης και στην κατευθυντικότητα των σταθερών σειρών.

Ωστόσο ο διαχωρισμός και η αύξηση πολλαπλών πηγών σε αντηχητικά και θορυβώδη σενάρια και η ακύρωση της αντήχησης συνεχίζει να αποτελεί ένα σημαντικό ερευνητικό πρόβλημα. Χωρικές και στατιστικές μέθοδοι διαχωρισμού πηγής (BSS), σε συνδυασμό με προσεγγίσεις clustering, έχουν οδηγήσει σε εντυπωσιακά αποτελέσματα ακόμη και σε περιπτώσεις με σημαντική αντήχηση. Οι βασικές εφαρμογές στον τομέα της επεξεργασίας ακουστικού σήματος περιλαμβάνουν μεθόδους για την επίλυση προβλημάτων μετατροπής σήματος, τη βελτιωμένη αποδοτικότητα των επαναληπτικών σχεδίων βελτιστοποίησης, και ολοκληρωμένες τεχνικές διαχωρισμού σήματος με δίκτυα αισθητήρων (Slaney και Naylor 2011).

Αναλυτικότερα, η επεξεργασία ακουστικού σήματος αναφέρεται, τόσο σε χωρικά, όσο και σε χρονικά χαρακτηριστικά του σήματος. Η χρονική διάσταση του προβλήματος ασχολείται με τη συμπεριφορά του σήματος στο χρόνο ή τα φασματικά χαρακτηριστικά. Η χωρική ανάλυση αφορά κυρίως τις κατευθυντικές ιδιότητες του σήματος. Το βασικό εργαλείο εδώ είναι ο μετατροπέας, δηλαδή μια συσκευή που πολλές φορές λειτουργεί σαν αποστολέας ή/και σαν δέκτης σημάτων. Αν υπάρχουν, περισσότεροι από ένας μετατροπείς, συνδεδεμένοι σε σειρά, τότε το σύστημα καλείται σειριακό. Οι περισσότεροι μετατροπείς λήψης σημάτων διαμορφώνονται συνήθως έτσι ώστε η έξοδος τους να είναι μια τάση που είναι ανάλογη προς την πίεση του ακουστικού σήματος στο μετατροπέα. Για αυτόν τον λόγο, η πίεση είναι συνήθως η μεταβλητή ενδιαφέροντος. Κατά τη ροή του ακουστικού σήματος, είναι απαραίτητο να καθοριστεί και η ακουστική ένταση.

Η χωρική δειγματοληψία ήχου σ' ένα πεδίο γίνεται συνήθως από μια σειρά μετατροπέων. Με το συνδυασμό ακουστικών μετατροπέων σε μια σειρά, μπορεί να ελεγχτούν οι κατευθυντικές ιδιότητες των ακουστικών σημάτων, τόσο κατά την μετάδοση, όσο και κατά την υποδοχή. Σε πολλές περιπτώσεις είναι επιθυμητό να διαβιβαστεί ο ήχος, μόνο σε μια ιδιαίτερη κατεύθυνση. Ομοίως, μπορεί να είναι σημαντικό να παραληφθεί ο ήχος μόνο από μια ιδιαίτερη κατεύθυνση, να χωριστεί ένα ακουστικό σήμα από το θόρυβο, ή να αναλυθεί ο λαμβανόμενος ήχος στις διάφορες πηγές του. Στην περίπτωση της υποδοχής, αυτές οι διαδικασίες στα λαμβανόμενα κύματα αναφέρονται ως χωρική επεξεργασία και ολοκληρώνονται από έναν συνδυασμό μιας σειράς μετατροπέων. Η χωρική δειγματοληψία είναι ανάλογη με τη χρονική δειγματοληψία και το διάστημα δειγματοληψίας προκύπτει από τα διανύσματα διαστήματος των αισθητήρων.

6.14.1 Φίλτρα

Στην επεξεργασία ακουστικού σήματος βρίσκουν ιδιαίτερη εφαρμογή φίλτρα που βασίζονται στο μετασχηματισμό Fourier. Ένα από τα πλεονεκτήματα του μετασχηματισμού Fourier είναι ότι επιτρέπει την ερμηνεία του συνελκτικού φιλτραρίσματος των ακουστικών σημάτων. Για παράδειγμα, ένα φίλτρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περιοχή Fourier, έτσι ώστε, να έχει μια ενιαία απόκριση για ένα δεδομένο φάσμα των συχνοτήτων (pass-band) και υψηλή εξασθένηση για τις υπόλοιπες συχνότητες. Στο ψηφιακό ακουστικό σήμα, η έννοια του φιλτραρίσματος είναι γενικότερη, δεδομένου ότι ο στόχος είναι να φιλτραριστούν τα επίπεδα κύματα, παρά οι συχνότητες (Algeelani και Piah 2011). Δεδομένου ότι, τα επίπεδα κύματα είναι τα βασικά στοιχεία των ακουστικών κυμάτων, τα φίλτρα χώρου-χρόνου μπορούν, σε γενικές γραμμές, να σχεδιαστούν για να ενισχύσουν ή να καταστείλουν ολόκληρες τις πηγές στο διάστημα και όχι μόνο συγκεκριμένες συχνότητες. Χρησιμοποιώντας έναν παρόμοιο συλλογισμό, ένα φίλτρο χώρου-χρόνου μπορεί να σκιαγραφήσει την περιοχή Fourier έτσι ώστε να έχει μια ενιαία απόκριση για κάθε επίπεδη κυματομορφή μέσα σε μια δεδομένη σειρά κατευθύνσεων (pass-band) και υψηλή εξασθένηση για τα υπόλοιπα επίπεδα κύματα (stop-band), καθώς και οποιοσδήποτε πρόσθετους περιορισμούς

μεγέθους και φάσης. Εάν ο στόχος είναι να φιλτραριστεί μια ολόκληρη πηγή, το ιδανικό φίλτρο είναι αυτό που συντηρεί τη φασματική περιοχή όπου περιλαμβάνεται το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας.

Σε πεδίο με δύο (ή περισσότερες) πηγές, ο σχεδιασμός των φίλτρων στη δισδιάστατη περιοχή Fourier ρυθμίζεται από μια θεμελιώδη αρχή. Βάσει της οποίας, εάν υφίσταται επικάλυψη μεταξύ των δύο φασματικών μορφών και ο στόχος είναι να κατασταλεί η παρεμβατική πηγή, η επικαλυπτόμενη περιοχή δεν μπορεί να φιλτραριστεί χωρίς να υπάρχουν επιπτώσεις στην πηγή (ειδικά, χωρίς επιπτώσεις στην κυρτότητα της κυματομορφής). Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να χωριστεί ο άξονας σειράς σε μικρότερα τμήματα. Αυτό μειώνει αποτελεσματικά το εύρος της επικαλυπτόμενης φασματικής περιοχής, εις βάρος της ανάλυσης της χωρικής συχνότητας. Δεδομένου ότι, η ποιότητα φιλτραρίσματος της χωρικής λειτουργίας εξαρτάται από αυτούς τους δύο παράγοντες, υπάρχει ένα βέλτιστο μέγεθος χωρικού φάσματος που ισορροπεί κατάλληλα μεταξύ φασματικής επικάλυψης και χωρικής ανάλυσης συχνότητας (Pinto και Vetterli 2011).

Το πρόβλημα μπορεί να περιπλεχτεί περαιτέρω από την παρουσία ωστικών πηγών θορύβου (παραδείγματος χάριν, από βιολογικές πηγές όπως τα έντομα ή τα θαλάσσια θηλαστικά). Ένας θόρυβος που παρουσιάζει την ίδια στατιστική διανομή σ' ένα διάστημα λέγεται ομοιογενής. Όταν οι στατιστικές διανομές του θορύβου είναι ανεξάρτητες από τον προσανατολισμό του πλαισίου αναφοράς, ο θόρυβος λέγεται ισοτροπικός. Πρακτικά, ο θόρυβος μπορεί συχνά να υποτίθεται ότι είναι τοπικά ομοιογενής αλλά όχι απαραίτητως ισοτροπικός. Η γνώση της ανισοτροπίας θορύβου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει τη διάκριση μεταξύ των σημάτων και τον θόρυβο, κατά τη χρησιμοποίηση των σειρών αισθητήρων (Davis R, 1986).

Ο θόρυβος θεωρείται συνήθως πρόσθετος, δεδομένου ότι το λαμβανόμενο σήμα περιλαμβάνει συνδυασμό ενός επιθυμητού σήματος και ενός σήματος θορύβου. Ωστόσο, υπάρχουν διάφορες μορφές διαστρέβλωσης σημάτων που δεν είναι πρόσθετες. Ένα παράδειγμα της διαστρέβλωσης σημάτων είναι η φάση ή η διαμόρφωση εύρους που μπορεί να προκληθεί από την κίνηση ή τις παραλλαγές αισθητήρων στην ευαισθησία.

Ο θόρυβος που είναι τονικής φύσης μπορεί να θεωρηθεί σαν εμπλοκή, ή παρεμβολικό σήμα. Αντιμετωπίζεται συχνά στη φασματική περιοχή, όπου μπορεί να εντοπιστεί στη μικρή ζώνη συχνοτήτων. Αντίστοιχα, οι παρεμβολές που είναι ωστικές μπορούν να αντιμετωπιστούν καλύτερα στη χρονική περιοχή. Οι επαναλαμβανόμενοι ωστικοί θόρυβοι μπορούν να αντιμετωπιστούν μ' έναν συνδυασμό φασματικής και χρονικής επεξεργασίας (Kuperman και Baggeroer 2006). Η χωρική επεξεργασία με beamforming που βασίζεται στο προσεκτικό συγχρονισμό των φάσεων πολλών πομπών, επιτυγχάνει ενίσχυση του επιθυμητού σήματος και μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική στις παρεμβολές (Johnson et al 2008)

Ένα άλλο σημαντικό σήμα θορύβου είναι η αντήχηση ή διαστρέβλωση (reverb ή distortion) το οποίο είναι περιοδικό στη φασματική περιοχή. Παράγεται με τη διασπορά ενός σήματος ελέγχου λόγω των υφιστάμενων ανομοιογενειών στο μέσο μετάδοσης και είναι μια σημαντική αιτία παρεμβολής. Η ακύρωση της αντήχησης αποτελεί μια σημαντική πρόκληση για πολλές εφαρμογές που σχετίζονται με την επεξεργασία ακουστικού σήματος. Οι διάφορες λύσεις που έχουν προταθεί για να λύσουν το πρόβλημα της ακύρωσης αντήχησης και της μείωσης θορύβου περιλαμβάνουν τόσο τη χρήση ενιαίου μικρόφωνου όσο και λύσεις πολλαπλών αισθητήρων. Γεγονός πάντως είναι ότι, οι πολυδιαυλικές λύσεις τείνουν να οδηγήσουν στην αποδοτικότερη καταστολή των τοπικών παρεμβολών. Μια σύγχρονη πολυδιαυλική λύση συνδυάζει την ακουστική ακύρωση αντήχησης (AEC) και τη χρήση beamformer. Το beamforming είναι μια γνωστή τεχνική για την καταστολή των τοπικών παρεμβολών, συμπεριλαμβανομένης της ακουστικής αντήχησης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο

στην εκπομπή όσο και στη λήψη σημάτων, προκειμένου να επιτευχθεί χωρική επιλεκτικότητα (Maruo et al, 2011). Αυτές οι τεχνικές μπορούν να συνδυαστούν για να επιτύχουν από κοινού σημαντική αύξηση απόδοσης στην ακύρωση αντήχησης. Έχουν προταθεί διάφορες μορφές εφαρμογής, κάποιες όμως είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο, κάτι το οποίο περιορίζει τη γενίκευση των αποτελεσμάτων.

6.15. Ανάλυση Εικόνας και Video (Image and Video Analysis)

Η ψηφιακή επεξεργασία σημάτων, εικόνων ή video ασχολείται με την ψηφιακή αναπαράσταση των σημάτων και την ανάλυση, τροποποίηση και εξαγωγή πληροφοριών απ' αυτά, με την βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών. Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος ικανού να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί μια ψηφιακή εικόνα είναι τα εξής: (α) Απόκτηση (Acquisition), (β) αποθήκευση (storage), (γ) επεξεργασία (processing), (δ) επικοινωνία (communication) και (ε) οθόνη ή display. Σκοπός της ψηφιακής επεξεργασίας του σήματος εικόνας είναι η μετατροπή από την αρχική μορφή σε μία νέα μορφή, που για τον τελικό χρήστη θα είναι πιο εύχρηστη.

Η δημιουργία και εμφάνιση εικόνων στο παρελθόν περιοριζόταν στην αναλογική επεξεργασία μόνο, που απαιτεί πολλά, εν μέρει δαπανηρά βήματα επεξεργασίας. Η ψηφιακή απεικόνιση, πραγματοποιούνταν μόνο σε τομείς όπου το μέγεθος, η κατανάλωση ενέργειας και το κόστος έπαιζαν μόνο δευτερεύοντα ρόλο, όπως στην ιατρική ή στην εξερεύνηση του διαστήματος.

Η αύξηση της ολοκλήρωσης, σε συνδυασμό με την μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και την μείωση κόστους, επιτρέπει την υλοποίηση των εφαρμογών απεικόνισης, ακόμη και σε μικρές φορητές συσκευές. Οι σύγχρονες ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές για παράδειγμα, δεν ανταγωνίζονται μόνο με τις βιντεοκάμερες, αλλά, διαθέτουν νέες πρόσθετες λειτουργίες επεξεργασίας εικόνας (Vasoghi 2007).

Σημαντικό ρόλο έχει παίζει και η αύξηση του μεγέθους της βίντεο επιτήρησης, από όπου προκύπτει η ανάγκη για πληροφορίες βίντεο από μεγάλο αριθμό αισθητήρων. Πλέον στα νέα ολοκληρωμένα συστήματα παρακολούθησης βίντεο σχεδιάζονται και εφαρμόζονται, διευρυμένες εφαρμογές, όπως είναι το πανοραμικό βίντεο, η πλοήγηση μέσω οπτικών χαρτών, το machine vision, η αναγνώριση και η παρακολούθηση κινητών αντικειμένων και πολλές άλλες αναρίθμητες εφαρμογές (Zhang και Li 2011).

Ο απώτερος σκοπός σ' αυτές τις προσεγγίσεις περιλαμβάνουν την ανίχνευση, την παρακολούθηση, και την ταξινόμηση των ανωμαλιών που εμφανίζονται στο διάστημα και το χρόνο. Για να πραγματοποιηθούν αυτοί οι στόχοι, είναι απαραίτητη η ανάλυση των συγκεκριμένων φασματικών ζωνών για να προσδιοριστούν οι ανωμαλίες (Wong et al 2011). Οι βέλτιστες φασματικές ζώνες επιτήρησης, ωστόσο, εξαρτώνται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, την ώρα της ημέρας, τους στόχους ενδιαφέροντος, και το υπόβαθρο στο οποίο εντοπίζονται οι στόχοι. Η απομόνωση ανώμαλου φάσματος είναι σημαντικού ενδιαφέροντος, ιδιαίτερα για τις εφαρμογές άμυνας (Ramirez et al 2011). Μία ενδεικτική επιτομή από το τεράστιο πλήθος τύπων και τεχνικών επεξεργασίας βίντεο συνοπτικά είναι η κάτωθι παράθεση:

α. Γεωμετρικές μετατροπές: Αλλαγή στο μέγεθος ολόκληρης ή τμήματος της εικόνας, περιστροφή, παραμόρφωση, αλλαγή προοπτικής, αλλαγή ανάλυσης (προκειμένου για εικόνες bitmap).

β. Χρωματικές μετατροπές και διορθώσεις: Αλλαγή των χρωματικών τόνων μιας εικόνας, ρύθμιση φωτεινότητας, αντίθεση, αλλαγή του χρωματικού χώρου (μοντέλου), όπως η αλλαγή από RGB μοντέλο σε CMYK.

γ. Μετατροπή της μορφής αποθήκευσης μιας εικόνας στον υπολογιστή (file conversion), όπως για παράδειγμα η μετατροπή εικόνας από μορφή .jpg σε μορφή .tif.

δ. Εφαρμογή φίλτρων με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας της εικόνας.

ε. Σύνθεση δύο ή περισσότερων εικόνων ώστε να αποτελούν μία.

στ. Διαχωρισμός της εικόνας σε τομείς (regions), με στόχο τον καθορισμό των τομέων ενδιαφέροντος στην εικόνα (Shoop 2005).

ζ. Κατάτμηση με βάση τις πληροφορίες που παρέχονται από το χρώμα πληροφοριών. Η χρήση του χρώματος για την παρακολούθηση αντικειμένων σε ακολουθίες εικόνων παρέχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα γεωμετρικά στοιχεία, αλλά μπορεί να είναι ανεπαρκής σε αντίξοες συνθήκες, όπως η μερική σύγκλιση ή αλλαγές στην κλίμακα ή την ανάλυση. Μια καλή κατάτμηση της εικόνας είναι πολύ σημαντική για την επίτευξη ορθής συλλογής των οντοτήτων που παρουσιάζουν ενδιαφέρον και είναι αναγκαία για την επιτυχία των εργασιών που αφορούν στον χαρακτηρισμό, την ανάλυση και την παρακολούθηση της κυκλοφορίας στο πεδίο. Η συγκεκριμένη τεχνική βασίζεται σε αλγόριθμους νευρωνικών δικτύων (Garcia και Garcia-Chamizo 2011).

Η μείωση του θορύβου αποτελεί ουσιαστικό μέρος πολλών συστημάτων επεξεργασίας εικόνας. Οι κύριες πηγές θορύβου προέρχονται συνήθως από το hardware (ριπές θορύβου) και από τα κανάλια κατά τη διάρκεια της μετάδοσης (θερμικός θόρυβος). Μία ενδεικτική τεχνική απομάκρυνσης του θορύβου, είναι μια απλή μη γραμμική τεχνική, η οποία συνήθως λειτουργεί μ' ένα συντελεστή του σήματος σ' έναν χρόνο. Στην πιο βασική της μορφή, κάθε συντελεστής συγκρίνεται μ' ένα κατώτατο όριο: αν ο συντελεστής είναι μικρότερος από το όριο, παίρνει την τιμή μηδέν, αλλιώς διατηρείται ή τροποποιείται. Η αντικατάσταση των μικρών συντελεστών θορύβου από το μηδέν και η εφαρμογή του αντιστρόφου μετασχηματισμού μπορεί να οδηγήσει σε ανασυγκρότηση του σήματος, διατηρώντας τα ουσιώδη χαρακτηριστικά του σήματος και με λιγότερο θόρυβο (Rabbani και Vafadoost 2008, Jacobson και Nguyen 2011).

Βέβαια για πιο σύνθετη επεξεργασία εικόνας πιο εξελιγμένοι αλγόριθμοι μπορεί να είναι απαραίτητοι, οι οποίοι συχνά περιλαμβάνουν στοιχεία που εξαρτώνται από την επιλογή παραμέτρων, μη γραμμικές απεικονίσεις (μη-γραμμικά στοιχεία πράξεων ή μη γραμμικό φιλτράρισμα), και άλλα τμήματα (Wong et al 2011). Ωστόσο, επειδή δεν υποστηρίζονται σ' όλες τις αρχιτεκτονικές, αυτά τα είδη απαιτούν μια προσεκτική εξέταση πριν από την επιλογή της εφαρμογής. Σε γενικές γραμμές θα πρέπει να προτιμώνται κανονικοί και απλοί αλγόριθμοι, αφού οι ειδικές εφαρμογές είναι κοστοβόρες (Illgner 2010).

Για να γίνει πιο κατανοητή η πρακτική εφαρμογή των τεχνικών επεξεργασίας οπτικού σήματος ακολουθεί ανάλυση ενός συστήματος ανίχνευσης πυρκαγιάς βασισμένο σε FPGA (Field Programmable Gate Array), η οποία είναι μία από τις πολλές που έχουν ήδη παρουσιαστεί και αρκετές είναι ήδη σε εμπορική χρήση. Τα μέρη του συστήματος χωρίζονται σε τέσσερα μέρη: τη συλλογή εικόνων, την αποθήκευση στην προσωρινή μνήμη, την εμφάνιση εικόνας και την ανίχνευση πυρκαγιάς. Η πιο κρίσιμη ενότητα μεταξύ αυτών είναι η ανίχνευση πυρκαγιάς. Ένας αλγόριθμος ανίχνευσης χρησιμοποιείται για προκαταρκτική πυρανίχνευση στο περιβάλλον ελέγχου με βάση ένα μοντέλο κρίσης των χρωμάτων RGB. Οι τιμές στην περιοχή κρίνουν την ύπαρξη πυρκαγιάς, με βάση τη σύγκριση με τις μέσες τιμές του γκρι που έχουν συγκεντρωθεί στην περιοχή ανίχνευσης πυρκαγιάς ως προς το χρόνο. Εν τω μεταξύ ένας χειριστής Sobel χρησιμοποιείται για να παρακολουθεί το περιβάλλον για την ανίχνευση ακραίων περιοχών οι οποίες αυξάνουν τη δυναμική της εφαρμογής. Με βάση τα RGB γραφικά γίνεται ανίχνευση ορίων, και ακολουθεί σύγκριση με το κατώτατο όριο κατάτμησης. Τότε οι ακραίες περιοχές που ανιχνεύτηκαν στην εικόνα εισάγονται σε αλγόριθμο δυαδικής μορφής. Εν τω μεταξύ οι ακραίες τιμές σε κάθε καρέ καταγράφονται. Η απόλυτη απόκλιση και η ακραία τιμή περιοχής προκύπτουν από το μέσο όρο του γκρι μεταξύ γειτονικών πλαισίων στην περιοχή της πυρκαγιάς. Έπειτα, παραδίδονται στο SOPC σύστημα (System on a Programmable Chip Builder), το οποίο αυτοματοποιημένα συνδέει software και hardware σε FPGA κυκλώματα. Τα σήματα στο πεδίο της συχνότητας προέρχονται από μετασχηματισμό Fourier. Εάν

υπάρχουν φλόγες που τρεμοπαίζουν, κρίνεται σαν πληροφορία του σήματος στο πεδίο της συχνότητας. Τελικά η ύπαρξη πυρκαγιάς επιβεβαιώνεται μέσω πληροφοριών από το οπτικό φάσμα της φλόγας και από την αλλαγή της καμπύλη όσον αφορά τις περιφερικές τιμές στην περιοχή (Jinghong et al 2011).

6.16. Ανάλυση Χημικού Σήματος (Analysis of Chemical Signals)

Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο στη φασματομετρία οι πληροφορίες λαμβάνονται με τη βοήθεια αισθητήρων, συνήθως σε ηλεκτρονική μορφή. Η επεξεργασία σήματος είναι απαραίτητη για τη μετατροπή αυτής της ψηφιακής πληροφορίας σε γραφικές παραστάσεις και αριθμούς που θα μπορούν να ερμηνευθούν λογικά. Η πλειοψηφία των αναλυτικών σημάτων είναι μονομεταβλητές, όπου η μεταβλητή ενδιαφέροντος μετριέται συνήθως, ως συνάρτηση του χρόνου, αν και άλλες μεταβλητές, όπως η φασματική συχνότητα ή η τάση μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν.

Επίσης, στα σήματα αυτά πραγματοποιείται δειγματοληψία σε τακτά διαστήματα, όπως για παράδειγμα, σ' ένα υπεριώδες ή ορατό (UV ή VIS) φάσμα δύναται να γίνει δειγματοληψία κάθε nm (Brereton 2005).

Ένα τυπικό φάσμα αποτελείται από μια σειρά σημάτων, συνήθως χημικής προέλευσης, στα οποία ωστόσο συνυπάρχει θόρυβος. Σ' αντίθεση μ' άλλα συστήματα ανίχνευσης, τα χημικά συστήματα ανίχνευσης παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στοιχείων θορύβου στο σήμα εξόδου τους. Ο θόρυβος αυτός περιορίζει σημαντικά την ανάλυση του συστήματος και τη δυνατότητα ανίχνευσης (Wilson και Roppel 2005).

Ο κύριος στόχος της επεξεργασίας σήματος είναι η απόκτηση της κρίσιμης πληροφορίας που φέρεται στα σήματα αυτά και η αφαίρεση του θορύβου. Τα σήματα έχουν συχνά τη μορφή μιας σειράς κορυφών, οι οποίες θα πρέπει να ερμηνευτούν, τόσο ποιοτικά, για τον προσδιορισμό ενώσεων, όσο και ποσοτικά, για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των χημικών ειδών. Υπάρχουν διάφοροι συνηθισμένοι τύποι θορύβου. Αν ο θόρυβος σε κάθε διαδοχικό σημείο (συνήθως στο χρόνο), δεν εξαρτάται από το επίπεδο του θορύβου στο προηγούμενο σημείο λέγεται στατικός θόρυβος. Ο στατικός θόρυβος χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ως εξής:

α. Ομοσκεδαστικός θόρυβος (homoscedastic noise): Πρόκειται για τον πιο απλό να προβλεφθεί. Τα χαρακτηριστικά του θορύβου, κατά κανόνα, ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση, παραμένουν σταθερά καθόλη τη σειρά δεδομένων. Ο πιο κοινός τύπος αυτού του θορύβου δίνεται από μια κανονική κατανομή. Στις περισσότερες πραγματικές καταστάσεις, υπάρχουν πολλές πηγές θορύβου, αλλά το σύνολο των διαφορετικών πηγών θορύβου που συμβάλουν έχουν συμμετρική κατανομή που τείνει προς την κανονική κατανομή.

β. Ετεροσκεδαστικός θόρυβος (heteroscedastic noise): Αυτός ο τύπος θορύβου εξαρτάται από την ένταση του σήματος. Ο θόρυβος μπορεί ακόμη να εκπροσωπείται από κανονική κατανομή, αλλά η τυπική απόκλιση αυτής της κατανομής είναι ανάλογη προς την ένταση. Μερικές φορές τα ακατέργαστα σήματα μπορούν να μετατραπούν με μαθηματικούς μετασχηματισμούς. Για παράδειγμα, στην οπτική φασματομετρία είναι συνηθισμένο να μετατρέπονται τα δεδομένα διαπερατότητας σε δεδομένα απορρόφησης χρησιμοποιώντας λογαριθμικό μετασχηματισμό. Αυτό αλλάζει τα χαρακτηριστικά του θορύβου, δίνοντας μια λογαριθμική-κανονική κατανομή, που μπορεί να επεξεργαστεί και να αφαιρεθεί πιο εύκολα (Brereton 2005).

Ένας χώρος στον οποίο η επιστημονική έρευνα αξίζει ιδιαίτερης προσοχή για τη χρήση των μη-εκλεκτικών συστοιχιών χημικών αισθητήρων είναι τα φορητά συστήματα. Όμως, κάποιες φορές η φορητότητα καθιστά αναγκαία τη μείωση της

υπολογιστικής ισχύος σε επίπεδο λογισμικού και την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος σε επίπεδο hardware.

Αναλυτικότερα, στόχος των εφαρμογών πεδίου, σε ότι αφορά την ανάλυση και επεξεργασία σήματος είναι:

α. **Η ανίχνευση σήματος:** Η ανίχνευση των ασθενών σημάτων είναι μεγάλης σημασίας. Υπάρχουν δύο λόγοι για τους οποίους ένα σήμα μπορεί να είναι δύσκολο να ανιχνευθεί. Ο πρώτος είναι γιατί το επίπεδο θορύβου είναι υψηλό ή επειδή το ποσό της ουσίας είναι μικρό, με αποτέλεσμα να προκύπτει ένας χαμηλός λόγος σήματος προς θόρυβο. Μια απλή προσέγγιση για την υπέρβαση αυτού του περιορισμού, που είναι εφικτή στα περισσότερα είδη της φασματομετρίας, είναι η χρήση του μέσου όρου χρόνου. Εναλλακτικές λύσεις περιλαμβάνουν τη χρήση εξομάλυνσης ή τη χρήση μιας πιο γρήγορης τεχνικής για την απόκτηση δεδομένων όπως ο μετασχηματισμός Fourier.

β. **Ανάλυση:** Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του αριθμού και των χαρακτηριστικών παραμέτρων των κορυφών σ' ένα σύμπλεγμα. Εδώ οι υπολογιστικές προσεγγίσεις είναι συμπληρωματικές των φυσικών όπως shimming φασματομέτρα ή αλλαγή στηλών.

γ. **Ολοκλήρωση:** Πρόκειται για ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα στην επεξεργασία σήματος. Αφορά στις επιφάνειες των κορυφών, οι οποίες, με τη σειρά τους, μπορούν να βαθμονομηθούν με τις συγκεντρώσεις για κάθε συστατικό. Η πιο συνηθισμένη προσέγγιση είναι το άθροισμα των εντάσεων σε κάθε σημείο δειγματοληψίας (Brereton 2005)

Τέλος να αναφερθεί ότι και στην επεξεργασία χημικού σήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί το φίλτρο Fourier. Πρόκειται για μια λειτουργία φιλτραρίσματος που βασίζεται στον χειρισμό συγκεκριμένων στοιχείων συχνότητας ενός σήματος. Λειτουργεί με τη λήψη του μετασχηματισμού Fourier του σήματος και την μείωση ή ενίσχυση συγκεκριμένων συχνοτήτων και τέλος, την αντίστροφη μετατροπή που θα δώσει το αποτέλεσμα (O' Haver 2011).

Βιβλιογραφία:**ΕΛΛΗΝΙΚΗ**

Σκόρδας Α και Αθανασόπουλος Β, Ψηφιακή επεξεργασία σήματος και εικόνας, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα:

[www.upatras.gr/ieee/skodras/courses/dsp/DSP-Chapter1\(29xii00\).pdf](http://www.upatras.gr/ieee/skodras/courses/dsp/DSP-Chapter1(29xii00).pdf)

Μουστακίδης Γ Β, Βασικές Τεχνικές Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων, Εκδόσεις Τζιόλα, 2004

Ισμίρογλου Ρ, Αρχές ψηφιοποίησης ADC- DAC Conversion, 2010, Σημειώσεις για το εργαστήριο

Κοτρόπουλος Κ, Σήματα - Συστήματα, Σημειώσεις μαθήματος

Ευσταθίου Κ, Σημειώσεις μαθήματος διαθέσιμο στην ιστοσελίδα:
http://www.chem.uoa.gr/applets/appletfouranal/Text_FourAnal1.htm

ΔΙΕΘΝΗΣ

Algeelani N A, Piah M A M, Identification of acoustic signals of surface discharges on glass insulator under different contamination levels, ECCE 2011 - International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering (2011) 511-514.

Ambardar A, Analog and Digital Signal Processing, Second Edition Brooks/Cole Publishing Company, 1995.

Biłinskis I, Digital alias-free signal processing, Wiley, 2007.

Braun, S, Signal Processing, Model Based Method, Encyclopedia of Vibration, 2004

Brereton R G, Chemometrics: Signal Processing in Encyclopedia of Analytical Science second edition, Elsevier, 2005.

Constantinides A G, Digital Filters, Encyclopedia of Vibration, 2004.

Curbelo R, Fourier Transformation and Sampling Theory, Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry, 2004.

Davis R O, Digital signal processing in studies of animal acoustical communication, including human speech, Computer Methods and Programs in Biomedicine 23:3 (1986) 171-196.

Garcia Rodriguez J, Garcia-Chamizo J M, Surveillance and human-computer interaction applications of self-growing models, Applied Soft Computing Journal, 11:7 (2011) 4413-4431.

Havelock D, Kuperman W A, Baggeroer A, Underwater and Atmospheric Acoustic Signal Processing, Encyclopedia of Applied Physics, Wiley, 2003

Illgner K, DSPs for image and video processing, Signal Processing 80:11 (2000) 2323-2336.

Jacobson N, Nguyen T Q, Video processing with scale aware saliency- Application to frame rate up-conversion ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings (2011) 1313-1316.

Jinghong L, Riqing L, Xiaohui Z, Design and research of video fire detection system based on FPGA, Proceedings of the 2011 Chinese Control and Decision Conference, CCDC (2011) 1677-1679.

Jenkins W K, Signal Processing, Analog, Encyclopedia of Physical Science and Technology third edition, Academic Press, 711(26), 2001

Johnson M, Mitzenmacher M, Ramchandran K, Distributed beamforming with binary signaling, in Proc. 2008 IEEE Intl. Symp. on Information Theory (ISIT 2008), Piscataway, NJ: IEEE Press (2008) 890-894.

Lee J D, Lee M J, 2011, Channel division based on foreground segmentation in multi-view distributed video coding, IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, BMSB 2011,

Lee K A, Gan W S, Kuo S M, Subband Adaptive Filtering: Theory and Implementation, Wiley, 2009

Mallat S G, A wavelet tour of signal processing, Academic Press, 1999

Maruo M H, Bermude J C M, Resende L S, On the optimal solutions of beamformer assisted acoustic echo cancelers, IEEE Workshop on Statistical Signal Processing Proceedings (2011) 641-644.

O' Haver T, An Introduction to Signal Processing with applications in Chemical Analysis, September, 2011, available at:
<http://terpconnect.umd.edu/~toh/spectrum/IntroToSignalProcessing.pdf> ,

Pinto F, Vetterli M, Applications of short space-time Fourier analysis in digital acoustics, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings (2011) 2460-2463.

Rabbani H, Vafadoost M, Image/video denoising based on a mixture of Laplace distributions with local parameters in multidimensional complex wavelet domain, Signal Processing 88:1 (2008) 158-173.

Ramirez A B, Arguello H, Arce G, Video anomaly recovery from compressed spectral imaging, ICASSP, 2011, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings (2011) 1321-1324.

Seitz P, Detection, Smart Pixel Arrays Encyclopedia of Modern Optics, Elsevier Academic Press (2005) 219-228.

Slaney M, Naylor P A, Audio and acoustic signal processing, IEEE Signal Processing Magazine 28:5 (2011) 150-160.

Shoop B L, INFORMATION PROCESSING, Optical Digital Image Processing, Encyclopedia of Modern Optics (2005) 266-274.

Taylor F J, Signal and System, Signal Processing, Digital, Encyclopedia of Physical Science and Technology, Elsevier (2004) 737-760.

Ukil Ab, Signal Processing, Intelligent Systems and Signal Processing in Power Engineering, Springer (2007) 227-367.

Vaseghi S V, Advanced digital signal processing and noise reduction, Wiley, 2009

Vaseghi, S V, Multimedia signal processing: theory and applications in speech, music and communications, Wiley, 2007

Walden R H, Analog-to-digital converter survey and analysis, IEEE Journal on Selected Areas in Communications 17:4 (1999) 539 – 550.

White P, Time Frequency Methods, Encyclopedia of Vibration, Academic Press, 2004

Wilson D M, Roppel T, Signal Processing Architectures for Chemical Sensing Microsystems, Sensors Update 11:1 (2002) 65–100.

Wong K M, Po L M, Cheung K W, Ng K H, Xu X, Stretching compression and shearing disparity compensated prediction techniques for stereo and multiview video coding, IEEE International Conference on Acoustics (2011) 841-844.

Yarlagadda R, Hershey J E, Signal Processing, General, Encyclopedia of Physical Science and Technology, Elsevier (2004) 761-779.

Zhang W, Li S, A video integration surveillance system based on image stitching, 2011 International Conference on Computer Science and Service System (CSSS) (2011) 2955-2958.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://sfhmy3.sfhmy.gr/cd/data/p11.pdf>

<http://www2.ucy.ac.cy/~georgios/bookfiles/MATLABbook.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ

7.1. Γενικά

Η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι μια από τις πλέον ρυθμισμένες βιομηχανίες παγκοσμίως. Το θεσμικό πλαίσιο που ρυθμίζει την εν λόγω βιομηχανία αναφέρεται, όχι μόνο σε επίλυση προβλημάτων αλλά πολύ περισσότερο, στην πρόληψη επικίνδυνων καταστάσεων που μπορούν να λάβουν χώρα στο πλοίο. Αυτό συμβαίνει γιατί το πλοίο είναι μια αυτόνομη και αυτόαρκτης βιομηχανική μονάδα που απαιτεί επένδυση εξαιρετικά υψηλού κεφαλαίου, έχει υψηλό λειτουργικό κόστος και θα πρέπει να λειτουργεί με υψηλή αποδοτικότητα (Hassler B, 2011). Επιπλέον, το πλοίο λειτουργεί σε αντίξοες συνθήκες, χωρίς τη δυνατότητα άμεσης εξωτερικής παρέμβασης σε περίπτωση κινδύνου. Είναι άλλωστε γνωστό πως τα ναυτικά ατυχήματα συνδέονται, τις περισσότερες φορές, με μια σειρά δυσάρεστων καταστάσεων, όπως απώλεια ανθρώπινων ζωών, ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος και ολική απώλεια του πλοίου.

Οι κυριότερες αιτίες των ναυτικών ατυχημάτων κατά τους Fowler και Sorgard (2000) συνοπτικά είναι: (α) Προσάραξη λόγω ανθρώπινου λάθους ή λόγω μηχανικής βλάβης, (β) Σύγκρουση, (γ) Σοβαρές εσωτερικές ζημιές/βλάβες και (δ) Έκρηξη/ Πυρκαγιά.

Για την πρόληψη αυτών των επικίνδυνων καταστάσεων απαιτείται υψηλό επίπεδο προετοιμασίας και προεργασίας, το οποίο επιτυγχάνεται με τη διενέργεια εκτεταμένων ελέγχων και επιθεωρήσεων πάνω στο πλοίο (Knudsen and Hassler, 2011). Με τον όρο Επιθεώρηση (survey) στη ναυτιλιακή ορολογία νοείται ο πάσης φύσεως έλεγχος που γίνεται σε πλοίο ή και ακόμη στο φορτίο που φέρει για τη διαπίστωση της κατάστασής του, προκειμένου να του χορηγηθούν πιστοποιητικά αξιοπλοΐας.

Οι επιθεωρήσεις μπορεί να είναι τακτικές ή έκτακτες και περιλαμβάνουν τον έλεγχο του φορτίου, την ασφάλεια εργασίας, έλεγχο της γέφυρας, του μηχανοστασίου, του αντλιοστασίου, του συστήματος πηδαλιουχίας και των σωληνώσεων του σκάφους (Kim και Frangopol 2011, Heij et al 2011). Εκτενής είναι ο έλεγχος των συστημάτων ασφαλείας του πλοίου, τόσο των μηχανικών όσο και των άλλων σωστικών και πυροσβεστικών συστημάτων, καθώς και των διαδικασιών έκτακτης ανάγκης.

Οι παραπάνω χώροι έχουν επιλεχθεί είτε γιατί είναι επιρρεπείς σε βλάβες, που δύναται να έχουν ολέθρια αποτελέσματα για την ασφάλεια του πλοίου, είτε επειδή είναι ζωτικής σημασίας για το πλήρωμα (Rizzo και Lo Nigra, 2008). Τα συστήματα διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, με τις περισσότερες απαιτήσεις να παρουσιάζουν τα πλοία μεταφοράς αέριων και υγρών καυσίμων καθώς και επικίνδυνων φορτίων. Ωστόσο, επειδή οι επιθεωρήσεις είναι συνήθως περιοδικές και δεν μπορούν να αποκλείσουν την εκδήλωση κάποιας επικίνδυνης κατάστασης, οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια του ταξιδιού (Li και Wonham. 1999), η ναυτιλιακή βιομηχανία επενδύει όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια σε τεχνολογίες που της επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον συνεχή έλεγχο (monitoring) όλων των επικίνδυνων χώρων

στο πλοίο (κύρια μηχανή, βοηθητικές μηχανές, δεξαμενές καυσίμων, χώροι φορτίου, ναυσιπλοΐα).

Ιστορικά, το πρώτο φορτηγό πλοίο, το Kinkasan Maru που διέθετε αυτόματο σύστημα εντοπισμού ανωμαλιών και σήμανσης συναγερμού κατασκευάστηκε στην Μ. Βρετανία το 1961 και το 1968 ναυπηγήθηκε το φορτηγό πλοίο λυμάτων Glen Avon επίσης στην Μ. Βρετανία που διέθετε πλήρως τηλεμετρούμενο σύστημα πρόωσης προκειμένου να επιτευχθεί η μη επάνδρωση των μηχανοστασίων και η καταγραφή όλων των λειτουργικών στοιχείων για την υποβοήθηση του έργου των συνεργείων συντήρησης. Ο έλεγχος και χειρισμός γινόταν από ξεχωριστό διαμέρισμα εκτός των μηχανοστασίων, το Κέντρο Ελέγχου (control room). Στην σύγχρονη εποχή με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών συστημάτων και την ψηφιακή μετάδοση πληροφοριών η τηλεμετρία επεκτείνεται συνεχώς συμπεριλαμβάνοντας σε υψηλότερα επίπεδα ολοκλήρωσης τα υφιστάμενα συστήματα των πλοίων. Ανεξάρτητα λοιπόν από τις θεσμικές απαιτήσεις, οι εφαρμογές που βασίζονται σε αισθητήρες για την παρακολούθηση των χώρων και των συστημάτων του πλοίου είναι πλέον ευρέως διαδεδομένες προκειμένου να εντοπίζονται έγκαιρα επικίνδυνες καταστάσεις αλλά και να εξασφαλίζεται η υψηλή αποδοτικότητα του πλοίου.

7.2. Ανάλυση των αιτιών που σχετίζονται με την πρόκληση ναυτικών ατυχημάτων

Στη ναυτιλιακή βιομηχανία, η ασφάλεια του πλοίου είναι πρωταρχικής σημασίας. Για το λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί ένα ιδιαίτερα εκτεταμένο θεσμικό πλαίσιο, η εφαρμογή του οποίου πολλές φορές συνδυάζεται με τεχνολογίες αιχμής στο πλοίο. Τα παραπάνω είχαν σαν αποτέλεσμα να μειωθούν σημαντικά τα ναυτικά ατυχήματα την τελευταία δεκαετία, ιδιαίτερα μετά την ευρεία εφαρμογή του International Safety Management Code (ISM Code) (Tzannatos και Kokotos 2009). Ο ISM Code εστιάζει κυρίως στην ανάπτυξη μιας κουλτούρας ασφαλείας, που μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση των παραγόντων που οδηγούν σε ατυχήματα και ιδιαίτερα αυτών που σχετίζονται με τον ανθρώπινο παράγοντα και τις δύσκολες συνθήκες εργασίας στο πλοίο (Lundh 2011).

Σ' αυτή την κατηγορία μπορούν να καταταχθούν τα ατυχήματα που σχετίζονται με την προσάραξη και την σύγκρουση, καθώς εδώ φαίνεται να κατέχει σημαντικότερο ρόλο το ανθρώπινο λάθος κατά το χειρισμό του πλοίου (Martins και Maturana 2010). Βεβαίως υπάρχουν και άλλοι σημαντικοί παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες (Toffoli A, 2005) και ιδιαίτερα ο έντονος κυματισμός, αφού ο συνδυασμός της εισροής κυμάτων με μεγάλο φορτίο προκαλεί έντονες πιέσεις στη δομή του πλοίου με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών, την εισροή υδάτων και την γρήγορη βύθιση του. Γενικά οι συνέπειες ενός ατυχήματος που οφείλεται σε σύγκρουση ή προσάραξη μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο σοβαρές, ανάλογα με τη δομή του πλοίου (Hong και Amdahl 2005), και τον τύπο του ατυχήματος (Wang et al 2005). Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την έκταση των συνεπειών είναι ο συντελεστής τριβής της επιφάνειας στην οποία θα γίνει η προσάραξη ή η σύγκρουση, η γωνία πρόσκρουσης, η δομή του πλοίου (Paik και Frieze 2001), η ταχύτητα του πλοίου εκείνη τη στιγμή και η δυνατότητα ελιγμών (Wang et al 2002).

Σε ότι αφορά στα ατυχήματα που σχετίζονται με εκρήξεις και πυρκαγιές, η κατάσταση διαφοροποιείται ως προς την υπαιτιότητα και την δυνατότητα ελέγχου. Οι πυρκαγιές και οι εκρήξεις είναι μια κατηγορία ατυχημάτων στην οποία παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο τα εύφλεκτα υγρά και αέρια, που μπορεί να είναι μέρος του φορτίου ή άλλων υλικών. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία τα ατυχήματα που οφείλονται σε εκρήξεις τείνουν να είναι συχνότερα σε πλοία LPG (Liquefied Petroleum Gas) (Ronza et al 2005) και LNG (Liquefied Natural Gas) (Pitblado 2007) και συνήθως οφείλονται σε διαρροή του φορτίου. Μια άλλη συχνή αιτία πρόκλησης εκρήξεων είναι τα

υδραυλικά και λιπαντικά υγρά που μεταφέρονται για λειτουργικούς λόγους στο πλοίο (Hoover et al 2008) και μερικές φορές τα καύσιμα του πλοίου (Shaluf et al 2003). Επίσης, μια έκρηξη μπορεί να ενεργοποιηθεί από την ταχεία καύση των εύφλεκτων σωματιδίων που αιωρούνται στον αέρα (Abbasi και Abbasi 2007). Εάν η ανάφλεξη των σωματιδίων σκόνης είναι ανεμπόδιστη, θα προκαλέσει μόνο μια πυρκαγιά. Εάν όμως η ανάφλεξη των σωματιδίων σκόνης περιορίζεται, έστω και μερικώς, η θερμότητα της καύσης μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία ανάπτυξη της πίεσης, με την διάδοση της φλόγας σ' όλο το σύννεφο σκόνης και την ανάπτυξη μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας που θα οδηγήσουν σε έκρηξη. Είναι αδύνατο να υπολογιστεί με ακρίβεια εάν η διαρροή ενός εύφλεκτου αερίου θα συναντήσει κάποιο αναφλεκτικό παράγοντα και τι αποτελέσματα θα έχει αυτό για το πλοίο. Έτσι η ναυτιλιακή βιομηχανία προσανατολίζεται όλο και περισσότερο προς την εγκατάσταση έξυπνων συστημάτων παρακολούθησης και αξιολόγησης αυτών των παραγόντων (Lee 2006).

Οι βλάβες και οι αστοχίες μηχανημάτων ή υλικών θεωρούνται επίσης σημαντικός αιτιολογικός παράγοντας όσον αφορά στην πρόκληση ατυχημάτων (Lee 2005). Σ' ότι αφορά στις μηχανικές βλάβες, τα περισσότερα συστήματα του πλοίου είναι κατασκευασμένα με τρόπο που να παρέχουν τη δυνατότητα αντικατάστασης των βασικών συστημάτων από εναλλακτική ή εφεδρική πηγή. Ωστόσο, το κρίσιμο σ' αυτή την περίπτωση είναι, οι βλάβες να εντοπιστούν και να αποκατασταθούν έγκαιρα, πριν επεκταθούν.

Σ' ότι αφορά στα μη μηχανικά μέρη του πλοίου, η κόπωση των τοιχωμάτων είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που συνδέονται με την πρόκληση ρωγμών και μπορεί να οδηγήσει σε βύθιση των πλοίων (Okasha et al 2011). Η εμφάνιση βλάβης στην εξωτερική δομή του πλοίου και η διάδοση λόγω κόπωσης των υλικών, επηρεάζονται από τη δράση των κυμάτων της θάλασσας και από το θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς και τη λειτουργία, τη κατασκευή, και την μοντελοποίηση των δομών του πλοίου (Lee et al, 2006). Η επέκταση των ρωγμών μπορεί να επηρεαστεί από τη θέση και το μήκος της αρχικής ρωγμής, την πίεση κοντά στην αρχική ρωγμή, την πυκνότητα του υλικού και άλλους παράγοντες που σχετίζονται με την ένταση της πίεσης, το υλικό και τις ιδιότητές του. Όλοι αυτοί οι παράγοντες έχουν πολύπλοκη σχέση μεταξύ τους που δύσκολα μπορεί να μοντελοποιηθεί, οπότε η έγκαιρη αξιολόγηση της ζημιάς είναι και σ' αυτή την περίπτωση απαραίτητη για να αποτρέψει τη διεύρυνσή της (Kim et al 2011).

Σε θεωρητικό επίπεδο, σημαντικό ρόλο έχει παίξει και η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας αξιολόγησης κινδύνου που είναι γνωστή ως Formal Safety Assessment (FSA). Η συγκεκριμένη μεθοδολογία είχε αναπτυχθεί από τον International Maritime Organisation (IMO) με σκοπό την ενίσχυση της ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας της ανθρώπινης ζωής, της υγείας, του θαλάσσιου περιβάλλοντος και της περιουσίας. Τα βασικά της στοιχεία είναι η ανάλυση κινδύνου και η ανάλυση κόστους ωφελειών, η οποία επιτυγχάνεται με τα εξής βήματα: 1) εντοπισμός πιθανών κινδύνων, 2) ανάλυση των κινδύνων, 3) ορισμός των πιθανών επιλογών περιορισμού του κινδύνου, 4) εκτίμηση κόστους - ωφελειών, 5) προτάσεις για τη λήψη αποφάσεων (IMO, 2007).

Σαν εργαλείο το FSA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σε ότι αφορά την ασφάλεια και την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος με σκοπό την ισορροπία μεταξύ των επενδύσεων που θα πρέπει να γίνουν για τεχνικά και λειτουργικά θέματα (Vanem et al, 2006).

Το πιο σημαντικό από τα χαρακτηριστικά του FSA είναι η προληπτική φύση του, δηλαδή η αναζήτηση του τι θα μπορούσε να μην πάει καλά, πριν την εκδήλωση κάποιου ατυχήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση διάφορων μοντέλων πρόβλεψης καθώς και με την ανάπτυξη σεναρίων ατυχημάτων (Vassalos, 2009).

Σημαντικό ρόλο σ' αυτή την προσπάθεια παίζουν τα ιστορικά στοιχεία, που διατίθενται από βάσεις δεδομένων για ναυτικά ατυχήματα (Pedersen 2010).

Σ' αυτή την περίπτωση αναδύεται το σημαντικό ζήτημα της συστηματικής απόκρυψης αυτού του είδους των ατυχημάτων, κυρίως για λόγους διατήρησης των μειωμένων ασφαλιστικών εισφορών καθώς και για λόγους φήμης. Σύμφωνα με έρευνα του Psarros G. και των συνεργατών του, υπάρχει σημαντική μη καταγραφή ατυχημάτων και αυτό μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες για το σύνολο της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η καταγραφή των ατυχημάτων μικρής και πολύ μικρής έκτασης, των παρά ολίγον ατυχημάτων (near miss) και των λειτουργικών ή μηχανικών αστοχιών έχει ιδιαίτερη σημασία για την παραγωγή του κατάλληλου θεσμικού, πλαισίου που θα λαμβάνει υπόψη όλους τους σχετικούς παράγοντες. Στο βαθμό που αυτό δεν πραγματοποιείται οι δυνατότητες του FSA περιορίζονται, αφού βασίζονται σε ελλιπή στοιχεία.

7.3. Παρακολούθηση πεδίου στο πλοίο

Όπως και με την παρακολούθηση άλλων πεδίων, έτσι και στο πλοίο υπάρχει η ανάγκη να παρακολουθούνται πολλοί από τους χώρους του για προληπτικούς λόγους, που σχετίζονται με την αποφυγή κάποιου ατυχήματος. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού το πλοίο έχει διάφορες λειτουργικές απαιτήσεις ανάλογα με τον τύπο και τον σκοπό του. Τα εμπορικά πλοία μεταφέρουν διάφορα είδη φορτίων, όπως χύμα ξηρά αγαθά, πετρέλαιο, εμπορευματοκιβώτια, ξυλεία και υγροποιημένα αέρια. Τα πλοία μεταφοράς επιβατών και τα κρουαζιερόπλοια έχουν πολύ διαφορετική δομή και λειτουργία, δίνοντας προτεραιότητα στην άνεση και την ασφάλεια των επιβατών. Τα πολεμικά πλοία, είναι συνήθως μικρότερου μεγέθους και απαιτείται να έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες ελιγμών και άλλα εξειδικευμένα χαρακτηριστικά για να φέρουν εις πέρας την αποστολή τους (Paik et al 2009). Σε κάθε περίπτωση ωστόσο, η άνεση και η ασφάλεια του πληρώματος και των επιβατών είναι πρωταρχικής σημασίας. Για την επίτευξη των παραπάνω και δεδομένου πως το πλοίο αποτελεί εξαιρετικά υψηλή επένδυση, έχουν υιοθετηθεί συστήματα παρακολούθησης βασισμένα σε αισθητήρες, παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στις χερσαίες βιομηχανίες.

Τα συστήματα λειτουργίας του πλοίου είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα, τόσο όσον αφορά στις μηχανές πρόωσης και παραγωγής ενέργειας όσο και στα συστήματα πλοήγησης (McKay et al 2011). Στο μηχανοστάσιο ειδικότερα, αλλά και σ' όλο το πλοίο γενικότερα, υφίσταται ένα πυκνό και περίπλοκο σύστημα αντλιών και σωληνώσεων που συνδέει δεξαμενές, συστήματα και αναρροφήσεις θαλάσσης για την εξυπηρέτηση βασικών λειτουργιών του πλοίου, που σχετίζονται με την υψηλή απόδοση αλλά και την ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος. Οποιοδήποτε πρόβλημα σ' αυτές τις αντλίες και τις μηχανές ή η κακή συντήρηση και αντικατάσταση τους μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία του πλοίου. Επιπλέον, πολλά πλοία ελέγχουν και τα συστήματα που σχετίζονται με τις λειτουργίες παραγωγής πρόωσης και πλοήγησης, αφού τα παραπάνω είναι ιδιαίτερα κρίσιμα για την πρόκληση ατυχημάτων που συνδέονται με σύγκρουση ή προσάραξη. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση πολλών αισθητήρων, οι οποίοι συνδέονται σ' ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου, το οποίο περιλαμβάνει και το αντίστοιχο διαγνωστικό σύστημα βλαβών, αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία και μειώνοντας το κόστος συντηρήσεως.

Μετά από μελέτη της βιβλιογραφίας (Nguyen et al 2010, Roberts 2008, Tiano et al 2007, Hebner 2005, Walker 2005), τα συστήματα του πλοίου τα οποία χρήζουν παρακολούθησης, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. Συστήματα παραγωγής μηχανικής ισχύος και μεταφοράς / μετατροπής αυτής για την κίνηση του πλοίου (συστήματα πρόωσης)
2. Συστήματα παραγωγής / διανομής ηλεκτρικής ισχύος

3. Συστήματα εξυπηρέτησης των κύριων συστημάτων λειτουργίας στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα συστήματα καθαρισμού, τα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας και τα πηδάλια (βοηθητικά συστήματα).

4. Συστήματα ασφαλείας για την ανίχνευση / αντιμετώπιση επικίνδυνων καταστάσεων (πυρκαγιάς, διαρροής) τα οποία συμπεριλαμβάνονται στην ομάδα Ελέγχου Βλαβών (Damage Control).

Ο προσδιορισμός των πιθανών κινδύνων σε καθένα από αυτά τα συστήματα, είναι το πρώτο και πιο σημαντικό βήμα. Πρέπει να είναι πλήρης και ακριβής και θα πρέπει να βασίζεται, στο μέτρο του δυνατού, στην παρατήρηση της δραστηριότητας. Όμως, ο προσδιορισμός των κινδύνων δεν είναι τόσο εύκολος όσο μπορεί να φαίνεται αρχικά. Χρειάζονται πολλοί διαφορετικοί αισθητήρες, σε διάφορους χώρους του πλοίου. Ενδεικτικά αναφέρεται πως για το χώρο του μηχανοστασίου και μόνο, απαιτούνται κάποιες εκατοντάδες αισθητήρων για την παρακολούθηση της πίεσης, της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης αερίων, της ηλεκτρικής τάσης και πολλών άλλων μεγεθών. Την απάντηση σ' αυτό έρχονται να δώσουν κάποια ολοκληρωμένα συστήματα που παρέχουν σύνδεση των διάφορων αισθητήρων σε δίκτυο και παρακολούθηση των πεδίων από απομακρυσμένο σημείο ελέγχου. Τα συστήματα που υπάρχουν διαθέσιμα σήμερα, σε γενικές γραμμές και συνοπτικά, παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους:

7.3.1 Συστήματα πηδαλίου και εντοπισμού ανωμαλιών στην κίνηση του πλοίου

Το πηδάλιο είναι το κινητό όργανο που βρίσκεται στο πίσω μέρος του πλοίου, κάτω από το νερό με σκοπό να ελέγχει και να τηρεί τη διεύθυνση του πλοίου και την πραγματοποίηση ελιγμών (Ευαγγέλου και Κονίδης, 2011). Η διατήρηση της πορείας του πλοίου σε μια καθορισμένη κατεύθυνση είναι μια από τις βασικότερες προϋποθέσεις για την ασφάλεια και την ορθή εκμετάλλευση του πλοίου. Κατά την πλευση του το πλοίο σε κανονική πορεία δέχεται ασύμμετρες πλευρικές δυνάμεις, από τον άνεμο, τα κύματα, τα επιφανειακά θαλάσσια ρεύματα ή τις ασυμμετρίες στη γεωμετρία του σκάφους και της υπερκατασκευής (Ayaz et al 2006). Αυτές οι δυνάμεις τείνουν να στρέψουν την κατεύθυνση της κινήσεως δημιουργώντας έτσι απόκλιση της πορείας. Η απόκλιση αντιμετωπίζεται συνεχώς μέσω της κατάλληλης τοποθετήσεως του πηδαλίου (tudder). Η κατάσταση της πορείας του πλοίου αποτυπώνεται με δύο κύριες παραμέτρους: τη γωνία πορείας η απλώς “πορεία” που εκφράζει τη γωνία μεταξύ του άξονα του πλοίου και μιας σταθερής διευθύνσεως (τυπικά της διευθύνσεως του μαγνητικού Βορρά) και τη γωνιακή απόκλιση του πηδαλίου από τη μέση θέση που αντιστοιχεί στην “ευθεία” πορεία.

Στα συμβατικά πλοία για την πηδαλιουχία χρησιμοποιούνται κινούμενα κάθετα πτερύγια εγκατεστημένα στο πρυμναίο τμήμα του σκάφους. Η κίνηση των πτερυγίων επιτυγχάνεται με χρήση υδραυλικών συστημάτων τα οποία ελέγχονται από αισθητήρες και ηλεκτρονικές βαλβίδες. Πιο συγκεκριμένα, για τον έλεγχο των πηδαλίων απαιτείται ένα σήμα εντολής προς την ηλεκτρική βαλβίδα κίνησης και σήματα τηλεμετρίας της θέσης των πτερυγίων. Για την μέτρηση των γωνιών χρησιμοποιούνται συνήθως αισθητήρες, οι οποίοι αποτελούνται από ένα ποτενσιόμετρο που στρέφεται από διάταξη γραναζιών για την υποτύπωση της γωνίας και όριο-διακόπτες για τον έλεγχο των μέγιστων ορίων επιτρεπόμενης λειτουργίας των πτερυγίων (Λύκος 2007).

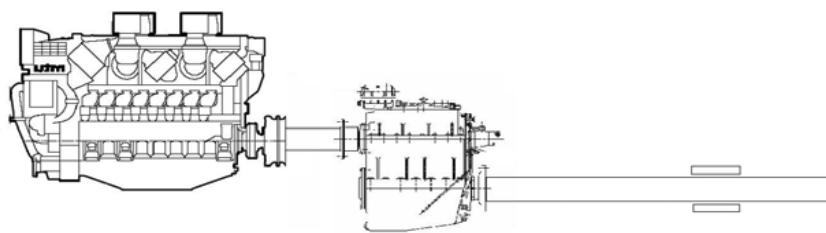
Οι ασφαλιστικές διατάξεις υλοποιούνται από ηλεκτρονόμους εντός των εκκινήτων των ηλεκτροκίνητων αντλιών οι οποίες εκτός από χαρακτηριστικά για την προστασία του κινητήρα (απώλεια φάσης, υπερένταση, θερμοκρασία κινητήρα) ελέγχουν και τη θερμοκρασία και τη στάθμη υδραυλικού ελαίου και προστατεύουν το σύστημα από υψηλές πιέσεις με τη χρήση μηχανικών ανακουφιστικών βαλβίδων.

7.3.2. Σταθμιστήρες

Οι σταθμιστήρες (stabilizers), δηλαδή τα πτερύγια στις πλευρές του σκάφους βοηθούν στο να μειωθεί το φαινόμενο του διατοιχισμού. Τα πτερύγια ελέγχονται από αυτόνομο σύστημα ελέγχου προκειμένου να επαναφέρουν το πλοίο σε μηδενική κλίση ως προς τον εγκάρσιο άξονα. Συνεπώς για τον έλεγχο και την τηλεμετρία απαιτούνται αισθητήρες για την μηχανική θέση των πτερυγίων και της εγκάρσιας κατάστασης του πλοίου (γωνία, γωνιακή ταχύτητα και γωνιακή επιτάχυνση). Το κεντρικό σύστημα ελέγχου διαθέτει έναν μικροεπεξεργαστή που εκτελεί τον αλγόριθμο σταθεροποίησης του πλοίου. Σ' αυτόν γίνεται η συλλογή των πληροφοριών από το κιβώτιο αισθητήρων κατάστασης πλοίου (κλίση, ταχύτητα, επιτάχυνση) και από τα ποτενσιόμετρα μέτρησης της γωνίας των πτερυγίων προκειμένου να έχει ως εξόδους τα σήματα ενεργοποίησης των ηλεκτρικά ελεγχόμενων υδραυλικών βαλβίδων. Τέλος, από το πίνακα ενδείξεων και χειρισμού στην γέφυρα του πλοίου μπορούμε να επιλέξουμε τις παραμέτρους λειτουργίας (απόσβεση μόνιμης κλίσης, προσανατολισμός των κυμάτων και ένταση κυματισμού) ώστε ο αλγόριθμος να αρχικοποιηθεί και να βελτιώσει την απόκριση του συστήματος.

7.3.3. Συστήματα εντοπισμού ανώμαλων λειτουργιών μηχανής

Στα μηχανοκίνητα πλοία η πρόωση πραγματοποιείται με χρήση κατάλληλων διατάξεων ώθησης του νερού. Η αρχή λειτουργίας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης στηρίζεται στην συνεχή πραγματοποίηση κάποιου είδους θερμοδυναμικού κύκλου. Κατά τη διάρκεια αυτής της φυσικής μεταβολής το καύσιμο αναμιγνύεται με αέρα και καίγεται παράγοντας θερμική ενέργεια, όπου μέρος της, μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Για να λειτουργήσει η μηχανή απαιτείται, η απεικόνιση, η ρύθμιση και ο έλεγχος των λειτουργικών παραμέτρων όπως η πίεση, η θερμοκρασία, οι στροφές μηχανής, η παροχή καυσίμου, η στάθμη της δεξαμενής καυσίμου και νερού και η θέση των επιστομίων των βαλβίδων σε δίκτυα αέρος, νερού, ελαίου, πετρελαίου και οχητών αέρος καύσεως, καυσαερίων .



Εικόνα 17: Διάταξη μηχανής, μειωτήρα και ελικοφόρου άξονα πλοίου
(Πηγή: Λύκος 2007)

Αναλυτικότερα, για τον έλεγχο των παραπάνω χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι αισθητήρων άλλοτε τοπικοί και άλλοτε με τη δυνατότητα τηλεμετρίας. Για την ύπαρξη καυσίμου στον τελικό συλλέκτη (δεξαμενή) και την τυχόν διαρροή από τα δίκτυα υψηλής πίεσης πετρελαίου χρησιμοποιούνται μαγνητικοί αισθητήρες στάθμης. Για τη μέτρηση του νερού ψύξης χρησιμοποιείται απλός αισθητήρας στάθμης τύπου φλοτέρ στο οποίο, ο πλωτήρας είναι μηχανικά συνδεδεμένος με το διακόπτη. Οι θέσεις των βαλβίδων εισαγωγής αέρος της μηχανής ελέγχονται με τη χρήση μαγνητικών οριοδιακοπτών (Proximity), ενώ οι στροφές της μηχανής μετρούνται με αισθητήρες

μαγνητικών παλμών. Για την μέτρηση θερμοκρασιών έως 150 °C χρησιμοποιούνται αισθητήρες που αποτελούνται από ένα στοιχείο κράματος πλατίνας με την ιδιότητα να μεταβάλλεται η αντίσταση του γραμμικώς ανάλογα με την θερμοκρασία. Τα καυσαέρια της μηχανής των οποίων η θερμοκρασία κυμαίνεται σε εύρος 200 – 660 °C παρακολουθούνται με αισθητήρες θερμοζεύγους. Τα αισθητήρια θερμοζεύγους αποτελούνται από δυο αγωγούς που έχουν διαφορετική σύσταση μετάλλων και είναι ενωμένοι στη μια άκρη. Σ' αυτήν την διάταξη μεταξύ των αγωγών αναπτύσσεται δυναμικό, γραμμικά ανάλογο της διαφοράς θερμοκρασιών που επικρατούν στα άκρα τους.

Τέλος η καλή λειτουργία των κινητήρων στηρίζεται στην αποτελεσματική λίπανση, που με τη σειρά της εξαρτάται από τη σωστή και συστηματική απομάκρυνση θερμότητας (ψύξη) του λιπαντικού. Ο σχεδιασμός των MEK (Μηχανών Εσωτερικής Καύσης) προβλέπει συγκεκριμένες προδιαγραφές για τη θερμοκρασία του λιπαντικού ελαίου. Εάν η θερμοκρασία του λαδιού είναι υψηλή, υπάρχει ο κίνδυνος υπέρμετρης αυξήσεως της τριβής στα έδρανα και τις άλλες επιφάνειες ολισθήσεως στον κινητήρα, μ' αποτέλεσμα, την ταχύτερη φθορά όλων των στρεφομένων μερών και εν τέλει την καταστροφή της μηχανής. Ταυτόχρονα, η αυξημένη θερμοκρασία σημαίνει μειωμένη απαγωγή θερμότητας από τα σημεία έντονης θερμικής καταπονήσεως, όπως οι βαλβίδες ή οι θυρίδες εξαγωγής, τα οποία σύντομα καταρρέουν (καίγονται). Σε κάθε περίπτωση και τα δύο παραπάνω φαινόμενα οδηγούν τον κινητήρα σε μη κανονικές συνθήκες λειτουργίας με χαμηλή ενεργειακή απόδοση και ατελή καύση, που παράγει ρύπους. Ανάλογα, αν και λιγότερο έντονα, φαινόμενα συμβαίνουν και στη περίπτωση που η θερμοκρασία του λαδιού είναι χαμηλή. Το "ψυχρό" λάδι έχει αυξημένο ιξώδες, κάτι που δεν συμφωνεί με την προδιαγραφή σχεδιασμού των δράσεων του κινητήρα. Επομένως, οι τριβές καταναλώνουν υπέρμετρα μεγάλο ποσοστό της παρεχόμενης στον κινητήρα ισχύος, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να λειτουργεί με μικρή απόδοση μηχανικής ισχύος και ατελή καύση που επιβαρύνει το περιβάλλον.

Απαιτείται λοιπόν ένα σύστημα ελέγχου το οποίο περιλαμβάνει:

α. **Αισθητήριο της θερμοκρασίας του λαδιού**, συνήθως αναλογικό στοιχείο ηλεκτρικής τάσεως αέρα που συνδέεται στη γραμμή προσαγωγής του λαδιού στη μηχανή.

β. **Ηλεκτρονικό αναλογικό ρυθμιστή με διπλή ένδειξη**, που παρέχει τις ενδείξεις της μετρούμενης και της επιθυμητής θερμοκρασίας του λαδιού. Ο χειριστής καταχωρεί τη θερμοκρασία αναφοράς τοποθετώντας το δείκτη της επιθυμητής θερμοκρασίας στην αντίστοιχη θέση.

γ. **Ενισχυτή ρεύματος** που μετατρέπει το χαμηλής ισχύος σήμα του ρυθμιστή σε συνεχές ρεύμα σταθερής τιμής, ανάλογης με το επίπεδο του σήματος.

δ. **Οπτικούς αισθητήρες εντοπισμού Oil Mist**. Για την ομαλή καύση, το καύσιμο εισέρχεται στη μηχανή σε μορφή spray. Εάν τα σταγονίδια δεν έχουν το επιθυμητό μέγεθος ή συγκέντρωση, είναι πιθανό να προκληθεί έκρηξη κατά την καύση. Οι αισθητήρες μετρούν την απορρόφηση του φωτός από τα σταγονίδια του καυσίμου και μπορούν να σημάνουν συναγερμό σε περίπτωση προβλήματος.

Το ηλεκτρονικό σύστημα ρυθμίσεως της θερμοκρασίας λαδιού στον κινητήρα εξασφαλίζει ομαλή λίπανση και απαγωγή της θερμότητας από τη μηχανή, αντισταθμίζοντας τις μεταβολές της ισχύος και τις αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού ψύξεως.

Για τον αποτελεσματικό έλεγχο των παραπάνω, το αυτόματο σύστημα ελέγχου της μηχανής συλλέγει τα σήματα από τους αισθητήρες για να εκτελέσει τις λειτουργίες οπτικοποίησης, ελέγχου και ρύθμισης που του έχουν ανατεθεί. Συνήθως το σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει κιβώτια που εξυπηρετούν εξειδικευμένους σκοπούς προκειμένου

να είναι διακριτοί οι ρόλοι κάθε μονάδας και να είναι ευκολότερη η τοποθέτηση του συστήματος πάνω στη μηχανή. Τα σήματα των αισθητήρων της μηχανής συλλέγονται σε δυο κιβώτια διασύνδεσης, όπου στο ένα γίνεται επεξεργασία σήματος ενώ, στο δεύτερο γίνεται απλώς η ομαδοποίηση της διασύνδεσης .

Το σύστημα αποτελείται συνήθως από δυο μονάδες υπολογιστών (main, backup). Στις μονάδες αυτές καταλήγουν τα σήματα των αισθητήρων, όπου επεξεργάζονται και ψηφιοποιούνται προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα στους αλγόριθμους του προγράμματος (Λύκος 2007). Η προσαρμογή των ηλεκτρικών σημάτων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες γίνεται σε κάρτες I/O από τις οποίες εξέρχονται και τα σήματα εξόδου προς τις βαλβίδες ελέγχου και τον εκκινητή της αντλίας προλίπανσης. Οι δυο μονάδες είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους και είναι σε συνεχή επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων ώστε σε περίπτωση βλάβης της κύριας να μπορεί να αναλάβει άμεσα η εφεδρική και ταυτόχρονα συγκρίνουν τις τιμές των αισθητήρων για να αναγνωρίσουν τα σφάλματα. Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί, πως κάποια έξυπνα συστήματα έχουν τη δυνατότητα να προχωρούν σε διάγνωση του προβλήματος με τη χρήση πιο εξειδικευμένων αλγόριθμων που επεξεργάζονται τα δεδομένα των αισθητήρων (Chang και Hu 2010).

Στον παρακάτω πίνακα 3 συνοπτικά παρουσιάζονται οι συνηθέστεροι τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται από την ναυτιλιακή βιομηχανία.

Τύπος Αισθητήρα	Μετρήσεις
<p>Αισθητήρες θερμοκρασίας</p> <p>TI: Τοπικό θερμόμετρο.</p> <p>TE: Αισθητήρας θερμοκρασίας με τηλεμετάδοση</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Θερμοκρασία καυσίμου στην είσοδο της μηχανής (TI, TE). • Θερμοκρασίες εισόδου του λιπαντικού στα κύρια έδρανα, στο ωστικό έδρανο, στον αποσβεστήρα αξονικών ταλαντώσεων, στο λιπαντικό ψύξεως εμβόλων, στον εκκεντροφόρο, στους υδραυλικούς επενεργητές των βαλβίδων εξαγωγής και στους στροβιλοϋπερπληρωτές (TI, TE). • Θερμοκρασία εξόδου του λιπαντικού ψύξεως εμβόλων σε κάθε κύλινδρο(TI, TE). • Θερμοκρασία ωστικού εδράνου (TI, TE). • Θερμοκρασία λιπαντικού στην έξοδο κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (TI, TE). • Θερμοκρασία νερού ψύξεως στην είσοδο του κάθε εναλλάκτη αέρα υπερπληρώσεως (TI, TE). • Θερμοκρασία νερού ψύξεως στην έξοδο του κάθε εναλλάκτη αέρα υπερπληρώσεως (TI, TE). • Θερμοκρασία εισόδου νερού ψύξεως κάθε χιτωνίου (TI, TE). • Θερμοκρασία εξόδου νερού ψύξεως κάθε χιτωνίου (TI, TE). • Θερμοκρασία εξόδου νερού ψύξεως στροβιλοϋπερπληρωτών (TI). • Θερμοκρασία αέρα υπερπληρώσεως πριν τον εκάστοτε εναλλάκτη αέρα (TI, TE). • Θερμοκρασία αέρα υπερπληρώσεως μετά τον εκάστοτε εναλλάκτη αέρα (TI, TE). • Θερμοκρασία αέρα στον οχετό σαρώσεως (TI, TE). • Θερμοκρασία εισόδου καυσαερίων στο στρόβιλο κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (TI, TE). • Θερμοκρασία καυσαερίων μετά από κάθε βαλβίδα εξαγωγής (TI, TE).
<p>Αισθητήρες πιέσεως</p> <p>PI: Τοπικό μανόμετρο.</p> <p>PE: Αισθητήρας πιέσεως με τηλεμετάδοση.</p> <p>PDI: Τοπικός μετρητής διαφοράς πιέσεως (διαφορικό μανόμετρο).</p> <p>PDE: Μετρητής διαφοράς</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Πίεση καυσίμου στην είσοδο της μηχανής, πριν τις αντλίες υψηλής πιέσεως (PI, PE). • Πίεση λιπαντικού ψύξεως εμβόλων, ανά κάθε έμβολο (PI, PE). • Πίεση λιπαντικού στην είσοδο κάθε κύριου εδράνου και στον αποσβεστήρα αξονικών ταλαντώσεων (PI, PE). • Πίεση λιπαντικού στην είσοδο του εκκεντροφόρου και στους υδραυλικούς επενεργητές των βαλβίδων εξαγωγής (PI, PE). • Πίεση λιπαντικού στην είσοδο κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή με έδρανα ολισθήσεως (PI, PE). • Πίεση νερού ψύξεως στην είσοδο του εναλλάκτη αέρα υπερπληρώσεως (PI, PE). • Πίεση νερού ψύξεως στην είσοδο κάθε χιτωνίου (PI, PE). • Πίεση νερού καθαρισμού στροβιλοϋπερπληρωτών (PI). • Πίεση αέρα εκκινήσεως (PI, PE). • Πίεση αέρα στην είσοδο του πνευματικού συστήματος ελέγχου (PI,PE).

<p>πίεσεως (διαφορικό μανόμετρο) με τηλεμετάδοση.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Πίεση αέρα εφεδρικού συστήματος αέρα εκκινήσεως (PI). • Πίεση αέρα στον οχετό σαρώσεως (PI, PE). • Πίεση στο συλλέκτη καυσαερίων (PI). • Πίεση αέρα για ξηρό καθαρισμό των στροβιλοϋπερπληρωτών (PI). • Πίεση νερού για τον καθαρισμό των στροβιλοϋπερπληρωτών (PI). • Πίεση ελέγχου για το σύστημα ελιγμών (PI). • Πτώση πίεσεως μέσα από κάθε εναλλάκτη αέρα υπερπληρώσεως (PDI). • Πτώση πίεσεως στα φίλτρα κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (PDI).
<p>Μετρητές στροφών περιστροφής και ταλαντώσεων</p> <p>SI: Τοπικό στροφόμετρο</p> <p>SE: Στροφόμετρο με τηλεμετάδοση</p> <p>WI: Αισθητήρας ταλαντώσεων</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ταχύτητα περιστροφής μηχανής (SI, SE). • Ταχύτητα περιστροφής κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (SI, SE). • Μηχανική μέτρηση αξονικών ταλαντώσεων (WI).
<p>Αισθητήρες τηλεμεταδόσεως στο δίκτυο καυσίμου</p> <p>VE: Ιξωδόμετρο με τηλεμετάδοση.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Μέτρηση ιξώδους του καυσίμου στην είσοδο της μηχανής, πριν τις αντλίες υψηλής πίεσεως (VE). • Πίεση καυσίμου στην είσοδο της μηχανής (PE). • Πτώση πίεσεως μέσα από τα φίλτρα καυσίμου (PDE). • Θερμοκρασία καυσίμου στην είσοδο των αντλιών υψηλής πίεσεως (TE).
<p>Αισθητήρες τηλεμεταδόσεως στο δίκτυο λιπάνσεως</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Θερμοκρασίες εισόδου του λιπαντικού στα κύρια έδρανα, στο ωστικό έδρανο, στον αποσβεστήρα αξονικών ταλαντώσεων, στο λιπαντικό ψύξεως εμβόλων, στον εκκεντροφόρο, στους υδραυλικούς επενεργητές των βαλβίδων εξαγωγής και στους στροβιλοϋπερπληρωτές (TE).

	<ul style="list-style-type: none"> • Θερμοκρασία εξόδου του λιπαντικού ψύξεως εμβόλων σε κάθε κύλινδρο (TE). • Πίεση λιπαντικού ψύξεως εμβόλων, ανά κάθε έμβολο (PE) • Πίεση λιπαντικού στην είσοδο κάθε κύριου εδράνου και στον αποσβεστήρα αξονικών ταλαντώσεων (PE). • Θερμοκρασία ωστικού εδράνου (TE). • Θερμοκρασία εισόδου του λιπαντικού στον εκκεντροφόρο και στους υδραυλικούς επενεργητές των βαλβίδων εξαγωγής (TE). • Πίεση εισόδου του λιπαντικού στον εκκεντροφόρο και στους υδραυλικούς επενεργητές των βαλβίδων εξαγωγής (PE). • Θερμοκρασία εξόδου του λιπαντικού από κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (TE). • Πίεση εισόδου λιπαντικού σε κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή με έδρανα ολισθήσεως (PE).
<p>Αισθητήρες τηλεμεταδόσεως στο δίκτυο νερού ψύξεως</p> <p>PDSA: Αισθητήρας συναγερμού από υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης διαφοράς πίεσεως.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Θερμοκρασία νερού ψύξεως στην είσοδο του εναλλάκτη αέρα υπερπληρώσεως (TE). • Πίεση νερού ψύξεως στην είσοδο του εναλλάκτη αέρα υπερπληρώσεως (PE). • Θερμοκρασία νερού ψύξεως στην έξοδο του εναλλάκτη αέρα υπερπληρώσεως (TE). • Θερμοκρασία νερού ψύξεως στην είσοδο κάθε χιτωνίου (TE). • Πίεση νερού ψύξεως στην είσοδο κάθε χιτωνίου (PE). • Θερμοκρασία νερού ψύξεως στην έξοδο κάθε χιτωνίου (TE). • Αισθητήρας συναγερμού από υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης διαφοράς πίεσεως στο νερό ψύξεως διά μέσου της μηχανής (PDSA). • Θερμοκρασία νερού ψύξεως στην έξοδο κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (TE). • Πτώση πίεσεως στο νερό ψύξεως διά μέσου κάθε εναλλάκτη αέρα υπερπληρώσεως (PDE)
<p>Αισθητήρες τηλεμεταδόσεως στο δίκτυο αέρα σαρώσεως</p> <p>ZS: Ενδείκτης θέσεως λειτουργίας.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Θερμοκρασία περιβάλλοντος στην είσοδο των στροβιλοϋπερπληρωτών (TE). • Πίεση στην έξοδο του σπειροειδούς κελύφους κάθε συμπιεστή (PE). • Διαφορά πίεσεως μεταξύ εισόδου και εξόδου κάθε συμπιεστή (PDE). • Θερμοκρασία αέρα σαρώσεως πριν τον κάθε εναλλάκτη θερμότητας (TE). • Θερμοκρασία αέρα σαρώσεως μετά τον κάθε εναλλάκτη θερμότητας (TE). • Θερμοκρασία αέρα σαρώσεως στην είσοδο κάθε κυλίνδρου (TE). • Θερμοκρασία αέρα σαρώσεως στο κιβώτιο σαρώσεως (TE).

	<ul style="list-style-type: none"> • Πίεση αέρα σαρώσεως στο κιβώτιο σαρώσεως (PE). • Πτώση πίεσεως δια μέσου του κάθε εναλλάκτη αέρα σαρώσεως (PDE). • Πτώση πίεσεως δια μέσου των φίλτρων κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (PDE). • Ενδείκτης θέσεως λειτουργίας (On-Off) του βοηθητικού ηλεκτροκίνητου υπερπληρωτή (ZS).
<p>Αισθητήρες τηλεμεταδόσεως στο δίκτυο καυσαερίων</p> <p>Θερμοκρασία στο συλλέκτη καυσαερίων (TE).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ενδείκτης θέσεως λειτουργίας (On-Off) βαλβίδας παρακάμψεως στο στρόβιλο κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (ZE). • Ενδείκτης γωνίας των οδηγών πτερυγίων του στρόβιλου κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή, εφόσον υπάρχουν ρυθμιζόμενα οδηγία πτερύγια (ZE). • Πίεση στο συλλέκτη καυσαερίων (PE). • Θερμοκρασία καυσαερίων στην είσοδο κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (TE). • Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο κάθε κυλίνδρου (TE) • Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (TE). • Πίεση καυσαερίων στην έξοδο κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (PE). • Ταχύτητα περιστροφής κάθε στροβιλοϋπερπληρωτή (SE). • Πτώση πίεσεως δια μέσου του λέβητα καυσαερίων (PDE)

Πίνακας 3: Τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στο πλοίο
(Πηγή : Ευαγγέλου και Κονίδης 2011)

7.3.4. Συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς στους επικίνδυνους χώρους του πλοίου

Η φωτιά αποτελεί τον σοβαρότερο κίνδυνο σ' ένα πλοίο που συχνά οδηγεί σε μοιραία αποτελέσματα, γι' αυτό και ο έγκαιρος προσδιορισμός της θέσης της εστίας φωτιάς από το προσωπικό είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την επιτυχή αντιμετώπιση της. Η τρέχουσα πρακτική περιλαμβάνει την άμεση ενημέρωση του πληρώματος (Guarin et al 2011) και των επιβατών μέσω ενός συστήματος συναγερμού, όταν μια πυρκαγιά ανιχνεύεται μέσω της θερμοκρασίας ή της παρουσίας του καπνού και στη συνέχεια την ενεργοποίηση των συστημάτων καταστολής πυρκαγιάς που λειτουργούν είτε αυτόματα (Paik et al 2011) είτε χειροκίνητα (Nguyen et al 2008).

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές πως όλα αυτά μπορούν να γίνουν πιο αποτελεσματικά με την εγκατάσταση ενός ολοκληρωμένου συστήματος πυρανίχνευσης. Αυτό συνήθως αποτελείται από την μονάδα ελέγχου και διάφορους αισθητήρες σ' όλους τους χώρους του πλοίου. Οι αποθήκες ανάλογα του είδους του πλοίου μπορεί να χρησιμοποιούνται για εύφλεκτα ή και εκρηκτικά υλικά. Επιπλέον στο φορτίο μπορεί πάντα να εμπεριέχονται εύφλεκτα υλικά χωρίς να το γνωρίζει το πλήρωμα ή ο πλοιοκτήτης. Έτσι, θα πρέπει να υπάρχει συνεχής και ακριβής έλεγχος ανάλογα με τις ανάγκες κάθε χώρου (Nigro et al 2011).

Οι αισθητήρες ποικίλλουν ανάλογα τον χώρο που βρίσκονται και είναι ομαδοποιημένοι σε ζώνες ανάλογα την θέση των διαμερισμάτων. Οι αισθητήρες που διασυνδέονται με το σύστημα πυρανίχνευσης διακρίνονται σε:

α. Οπτικούς ανιχνευτές καπνού για γενική χρήση σ' όλους τους χώρους. Σ' αυτούς εσωτερικά υπάρχει προσανατολισμένη πηγή προς το δέκτη φωτός (υπέρυθρου), όπου σε περίπτωση απουσίας του καπνού, η ισχύς μεταφέρεται από την πηγή στον δεκτή. Στην περίπτωση ύπαρξης καπνού, τότε σκεδάζεται το φως από τα σωματίδια του καπνού, μ' αποτέλεσμα να μεταφέρεται τελικά μικρότερη ισχύς στον δέκτη και να οδηγεί σε διακοπή του κυκλώματος (Λύκος, 2007).

β. Ανιχνευτές ιονισμένων αερίων για χρήση σε χώρους όπου μπορεί να αναπτυχθεί φωτιά χωρίς την εκπομπή ορατού καπνού. Σ' αυτούς εσωτερικά υπάρχουν δυο αντίθετα φορτισμένες πλάκες που περιέχουν Αμερίκιο που εκπέμπει σωματίδια α. Όταν δεν υπάρχει καπνός μεταξύ των πλακών τα σωματίδια α ιονίζουν τα άτομα οξυγόνου και αζώτου που οδηγούνται προς τις πλάκες προκαλώντας έτσι μια συνεχή ροή ρεύματος μεταξύ των πλακών. Ενώ, σε αντίθετη περίπτωση τα σωματίδια του καπνού προσκολλούνται στα ιόντα με αποτέλεσμα να διακόπτεται η ροή ρεύματος. Γενικά οι αισθητήρες αυτοί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στον καπνό ακόμα και όταν αυτός δεν είναι ορατός (Λύκος 2007).

γ. Ανιχνευτές ρυθμού αύξησης θερμοκρασίας και καθορισμένου ορίου θερμοκρασίας. Σε αυτούς υπάρχουν στοιχεία τύπου θερμιστορ σε διάταξη γέφυρας (Salem 2010).

δ. Ανιχνευτές φλόγας για χώρους μηχανοστασίων. Αυτοί αποτελούνται από δέκτη υπεριώδους (380 μm – 480 μm) ή υπέρυθρου (800μm) και ενεργοποιούνται από την ακτινοβολία που προκαλείται από την φλόγα των πετρελαιοειδών καυσίμων.

ε. Διακόπτες θραύσης κρυστάλλου ή άλλοι μηχανισμοί για την ενεργοποίηση του συστήματος χειροκίνητα από το προσωπικό οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι σε όλους τους χώρους (Vanem 2004).

στ. Συστήματα ανίχνευσης καπνού η φωτιάς με ανάλυση θερμογραφικής εικόνας και βίντεο (Privalon και Lynch 2009).

Σε κάθε περίπτωση ενεργοποίησης ενός αισθητήρα το σύστημα εκδίδει ηχητικό και οπτικό σήμα στο τοπικό πίνακα ελέγχου και μέσω της διασύνδεσης του με I/O BOX ενημερώνονται και με τις αντίστοιχες ενδείξεις και οι σελίδες των χειριστών του κεντρικού συστήματος ελέγχου του πλοίου. Επιπλέον υπάρχει η διασύνδεση με το σύστημα εσωτερικών ανακοινώσεων, προκειμένου να σημανθεί ο γενικός συναγερμός εφόσον δεν αναγνωριστεί το σφάλμα έγκαιρα από το προσωπικό ασφαλείας (Salem 2007). Με την ενεργοποίηση της πυρανίχνευσης το κεντρικό σύστημα εκδίδει αυτόματα τις εντολές για την διακοπή λειτουργίας στους κινητήρες των ανεμιστήρων και εξαεριστήρων που υποστηρίζουν τη ζώνη του ενεργοποιημένου αισθητήρα καθώς και αυτών που εξυπηρετούν και τις παρακείμενες ζώνες.

7.3.5. Συστήματα ανίχνευσης στοιχείων σε συστήματα κλιματισμού/ εξαερισμού και στους χώρους του πλοίου

Στα πλοία γίνεται ολοκληρωμένη μελέτη για την κλιματιστική εγκατάσταση και τον αερισμό/εξαερισμό προκειμένου να επιτρέπεται στο προσωπικό και στο υλικό να λειτουργεί αποτελεσματικά ανεξάρτητα των εξωτερικών συνθηκών, όπως άλλωστε επιβάλλουν και οι σχετικοί με το θέμα κανονισμοί (Guarin et al, 2011). Λόγω της ιδιαιτερότητας του πλοίου στην μελέτη έχουν ληφθεί υπόψη και οι ειδικές καταστάσεις (όπως η απώλεια διαμερίσματος από φωτιά ή εισροή ύδατος, στεγανότητα εισαγωγής / εξαγωγής αέρος σε περίπτωση άσχημων συνθηκών θαλάσσης) προκειμένου το σύστημα να διατηρεί την απόδοση και αξιοπιστία του (Λύκος, 2007). Σε κάθε πλοίο υπάρχουν 2 μονάδες κλιματισμού η κάθε μια από τις οποίες είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί στο 50% του φορτίου. Η εγκατάσταση 2 μονάδων γίνεται για λόγους ασφαλείας, ώστε αν προκύψει βλάβη εν πλω να υπάρχει πάντοτε εναλλακτική λύση. Οι μονάδες που αναφέρονται παραπάνω πρέπει να καλύπτουν τις ανάγκες κλιματισμού όλων των χώρων. Υπάρχουν όμως κάποιοι χώροι που συνήθως υπάρχει εγκατεστημένο ξεχωριστό και αυτόνομο σύστημα κλιματισμού. Τέτοιοι χώροι σε ένα πλοίο είναι το μαγειρείο, το ιατρείο και το κέντρο ελέγχου του μηχανοστασίου.

Σε γενικές γραμμές, οι χώροι του πλοίου μπορούν να εξυπηρετηθούν είτε από τοπικά στοιχεία ψύξης του ανακυκλούμενου αέρα ή να τροφοδοτηθούν με χρήση ορετών από κεντρική μονάδα επεξεργασίας αέρα. Η παροχή αέρα σε χώρους όπου απαιτείται τακτικός αερισμός θα πρέπει να γίνεται είτε απευθείας από την ατμόσφαιρα ή με μεταφορά λιγότερο ακάθαρτου αέρα από διπλανούς χώρους, ο οποίος σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να εξετάζεται ως προς την ποιότητα του (υγρασία, καυσαέρια, χημικές ουσίες κλπ.). Σ' ότι αφορά στον κλιματισμό, στο παρελθόν τα R12 και R22 (HCFCs) ήταν τα πιο διαδεδομένα ψυκτικά μέσα, αλλά οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον έφεραν στο προσκήνιο την ανάγκη αντικατάστασής τους. Σε κάθε περίπτωση, η ψύξη του αέρα μπορεί να επιτευχθεί με ψυχρό νερό, ενώ η θέρμανση με ηλεκτρικές αντιστάσεις ή με εναλλάκτες νερού με χρήση ζεστού νερού ή αμού από τους βοηθητικούς λέβητες. Οι αισθητήρες που απαιτούνται για την λειτουργία του συστήματος διακρίνονται σε δύο ομάδες: (α) αυτούς που

εξυπηρετούν την λειτουργία της εγκατάστασης παραγωγής ψυχρού νερού και (β) αυτούς που ρυθμίζουν την θερμοκρασία αέρος.

Επιπλέον, σ' όλους τους χώρους του κατώτερου καταστρώματος υπάρχουν αισθητήρες ένδειξης στάθμης υγρού για την ανίχνευση ύπαρξης διαρροής. Οι αισθητήρες είναι διασυνδεδεμένοι απευθείας με το κεντρικό σύστημα και γίνεται αποτύπωση σε πραγματικό χρόνο της κατάστασης όλων των στεγανών του πλοίου. Η αρχή λειτουργίας ποικίλει ανάλογα με τις ανάγκες του χώρου που καλύπτουν, αλλά συνήθως είναι οπτικοί ή χημικοί αισθητήρες.

Τα σήματα των αισθητήρων γίνονται αντικείμενα επεξεργασίας από την κεντρική μονάδα ελέγχου, η οποία επιβλέπει τους συμπιεστές και τις αντλίες του συστήματος προκειμένου να παράγεται ψυχρό νερό συγκεκριμένης θερμοκρασίας (Liu et al, 2011). Παράλληλα μπορεί να εκδώσει οπτικά σήματα σφαλμάτων ή και να θέσει εκτός λειτουργίας την μονάδα σε περίπτωση βλάβης. Η μονάδα είναι διασυνδεδεμένη με το κεντρικό σύστημα ελέγχου για τον τηλεχειρισμό του και την τηλεμετρία των ενδείξεων λειτουργίας.

7.4. Συστήματα ελέγχου

Ένα συμβατικό κεντρικό σύστημα ελέγχου (Machinery Centralized Control & Monitoring System) παρέχει την δυνατότητα ελέγχου και παρακολούθησης των συστημάτων του πλοίου που είναι με αυτό διασυνδεδεμένα. Στις περισσότερες τρέχουσες εφαρμογές διακρίνουμε τα παρακάτω επίπεδα (Nguyen et al 2010):

- α. Διασύνδεσης και ομαδοποίησης των σημάτων από το σύνολο των κιβωτίων εισόδου/εξόδου (I/O BOX).
- β. Μεταφοράς και διαχείρισης των σημάτων μέσω ενός βρόχου οπτικών ινών ή, σε πιο σύγχρονες εφαρμογές, ασύρματα.
- γ. Επεξεργασία και οπτικοποίησης των σημάτων, με έκδοση των κατάλληλων μηνυμάτων, σημάτων ή συναγερμών.

Οι σταθμοί εργασίας βρίσκονται στην Γέφυρα, ενώ η οπτικοποίηση όλων των ενδείξεων γίνεται στο Κέντρο Ελέγχου (control room) απ' όπου και μπορεί να εκτελεστεί ο τηλεχειρισμός των μηχανημάτων. Στους σταθμούς αυτούς παρέχεται η δυνατότητα καταγραφής των σφαλμάτων, που έχουν εμφανιστεί, είτε, να τηρηθεί ιστορικό γραφήματος για την μεταβολή στο χρόνο αναλογικών σημάτων εισόδου.

Οι τοπικές μονάδες σημάτων είναι διάσπαρτες σ' όλο το πλοίο, προκειμένου να μεταφέρονται τα απαραίτητα σήματα προς τα τηλεχειριζόμενα συστήματα και να συλλέγουν τις πληροφορίες από τους αισθητήρες. Από την παράθεση των συστημάτων στις προηγούμενες παραγράφους, του παρόντος κεφαλαίου, συνάγεται ότι τα παρακάτω σήματα χρήζουν διαχειρίσεως και επεξεργασίας:

- α. Ψηφιακά σήματα / εισόδου (όπως είναι η κατάσταση ηλεκτρονόμων σε εκκινητές ηλεκτρικών κινητήρων, ενεργοποίηση αισθητήρα κυτών)
- β. Αναλογικά σήματα εισόδου (όπως είναι ο αισθητήρας μέτρησης πίεσης στο δίκτυο πυρκαγιάς, θερμοκρασία θαλασσινού νερού, θέση χειριστηρίου ελέγχου στροφών μηχανής)
- γ. Ψηφιακά σήματα εξόδου (όπως είναι η ενεργοποίηση ηλεκτρονόμων σε εκκινητές ηλεκτρικών κινητήρων, ενεργοποίηση ηχητικού σήματος)
- δ. Αναλογικά σήματα εξόδου (όπως είναι η ηλεκτρική ένδειξη στροφών μηχανής)

Στις τοπικές μονάδες υπάρχουν οι κάρτες διασύνδεσης (Input/Output Bus Terminal) των σημάτων εισόδου εξόδου και ο τελικός προσαρμογέας δικτύου (Λύκος 2007).

7.5. Συναγερμοί

Στη ναυτιλία γίνεται εκτεταμένη χρήση μιας μεγάλης ποικιλίας αισθητήρων, οι οποίοι συνδέονται με προηγμένα και περίπλοκα συστήματα των σύγχρονων πλοίων και ένα μεγάλο αριθμό συναγερμών. Οι αισθητήρες αυτοί είναι σχετικά φθινοί, αφού το κόστος είναι πάντα μια σημαντική παράμετρος, αλλά αποδεδειγμένης αξιοπιστίας. Τα συστήματα αυτά βασίζονται κυρίως στο να παρέχουν έγκαιρη προειδοποίηση με την μορφή alarm. Δηλαδή παρακολουθούν μία παράμετρο, για παράδειγμα πίεση, θερμοκρασία, στάθμη, ιξώδες, συγκέντρωση και όταν αυτή η παράμετρος ξεπεράσει μία τιμή τότε ενεργοποιείται ένα σήμα συναγερμού. Αυτό μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση των ατυχημάτων τα οποία μπορούν να προληφθούν με την έγκαιρη αντιμετώπιση των βλαβών.

Βεβαίως, η πληθώρα των συναγερμών μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα στη λειτουργία του πλοίου, εάν, δεν συνοδεύεται από εύχρηστα συστήματα διαχείρισης και την κατάλληλη εκπαίδευση. Μια μελέτη που έγινε σε εμπορικά πλοία και κρουαζιερόπλοια έδειξε πως μπορούν να προκύψουν έως και 9 συναγερμοί ανά ώρα από τα συστήματα αυτοματισμού, ακόμη και υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας (Rødseth et al 2006a). Ακόμη και αν αυτός ο αριθμός θεωρηθεί ακραίος, η συχνή ενασχόληση με το σύστημα συναγερμού μπορεί να προκαλέσει προβλήματα. Το πρόβλημα εντείνεται από το γεγονός ότι πολλοί από αυτούς του συναγερμούς είναι λανθασμένοι και προκαλούνται από κάποιο θόρυβο ή από κακής ποιότητας αισθητήρα (Cox και Fallon 2010). Η απόκριση σε ψευδείς συναγερμούς έχει ως αποτέλεσμα τη σπατάλη πόρων, αφού το πλήρωμα συχνά διακόπτεται από άλλα καθήκοντα για να αντιμετωπίσει ένα πρόβλημα που δεν υπάρχει.

Επιπλέον πολλοί από αυτούς τους συναγερμούς είναι τεχνικοί, δηλαδή, δείχνουν μια ανεπάρκεια στο σύστημα ή σε κάποιο συστατικό στοιχείο που μπορεί να έχει επίδραση στη λειτουργία του πλοίου. Αυτοί οι συναγερμοί, που δεν έχουν κάποια λειτουργική συνέπεια προκαλούν ενόχληση στην ομάδα της γέφυρας, επειδή δεν μπορούν να κάνουν κάτι γι' αυτό. Οφείλουν να ενημερώσουν το προσωπικό μηχανής για τα προβλήματα, οι οποίοι θα αναλάβουν την επίλυση τους το συντομότερο δυνατό. Συναγερμοί αυτού του τύπου θα πρέπει εξ' αρχής να κατευθύνονται μακριά από τη γέφυρα και να αποστέλλονται απευθείας στο control room της μηχανής για να μειώσουν τις διαταραχές της γέφυρας. Ωστόσο, η διαδικασία της τεχνικής της αποκατάστασης θα πρέπει να ακολουθεί την διαδικασία μέσα από την ιεραρχία του πλοίου, για να αποφευχθεί δυσλειτουργία ή να αντιμετωπισθεί έγκαιρα και αποτελεσματικά άλλο πρόβλημα που θα προκύψει, κατά την διάρκεια της αποκατάστασης της ανωμαλίας (Rødseth et al 2006a). Σ' αυτή την περίπτωση, απαιτείται καλύτερη οργάνωση, διαχείριση και προγραμματισμός αυτών των συστημάτων, έτσι ώστε το κάθε σήμα να καταλήγει στην ομάδα που μπορεί να το αντιμετωπίσει.

Η έρευνα έχει δείξει ότι η έκθεση σε υψηλά ποσοστά ψευδών συναγερμών μπορεί να υποβαθμίσει τις επιδόσεις απόκρισης συναγερμού έχοντας ως αποτέλεσμα την: (α) Βραδύτερη αντίδραση, (β) Μειωμένη συχνότητα απόκρισης και (γ) Μειωμένη ακρίβεια.

Κάποιες ανεπίσημες αναφορές, αλλά και η εμπειρία, δείχνουν ότι το προσωπικό, εσκεμμένα ή όχι, τείνει να προσφεύγει σε απενεργοποίηση συστημάτων που προκαλούν υπερβολικά ποσοστά συναγερμού ή να προβαίνει σε επαναφορά (reset), χωρίς να προβαίνει σε έλεγχο ή αποκατάσταση της ανωμαλίας. Αυτό βεβαίως, μπορεί να έχει ολέθριες συνέπειες για την ασφάλεια του πλοίου και του πληρώματος, αφού τα συστήματα αυτά τοποθετήθηκαν με σκοπό να καλύψουν κάποιες ανάγκες για ασφάλεια. Για το λόγο αυτό, προτείνονται κάποιες λύσεις που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην καλύτερη διαχείριση των συναγερμών, ως κάτωθι:

- α. Βελτίωση του συστήματος κοινοποίησης με φιλτράρισμα ή προσαρμογή των σημάτων
- β. Προσθήκη αισθητήρων με υψηλότερες επιδόσεις
- γ. Βελτίωση των αλγορίθμων για να ληφθούν υπόψη περισσότερα δεδομένα και να παρέχεται ένα πιο εξελιγμένο μοντέλο του φαινομένου
- δ. Προσθήκη ενός επιπλέον επιπέδου διαχείρισης συναγερμών
- ε. Εκπαίδευση που θα επιτρέψει την βαθύτερη κατανόηση του συστήματος
- στ. Εκπαίδευση των χειριστών ώστε να αναγνωρίζουν τα μοτίβα συναγερμού, τα προβλήματα που αντιπροσωπεύουν και την αντιμετώπιση των λανθασμένων συναγερμών.

Από τα παραπάνω, προκύπτει η ανάγκη σχεδίασης και υλοποίησης πιο αποτελεσματικών έξυπνων συστημάτων (Ambient Intelligence Systems), τα οποία να αξιοποιούν αποτελεσματικά τις νέες τεχνολογίες στους αισθητήρες, στα δίκτυα των αισθητήρων, αλλά και στην ολοκληρωμένη επεξεργασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τα διάφορα συστήματα του πλοίου θα πρέπει να λειτουργούν όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένα και αρμονικά, για να υποστηρίξουν το πλήρωμα στην εκτέλεση των καθηκόντων τους και των καθημερινών δραστηριοτήτων τους.

Σημαντική επίσης είναι και η εισαγωγή έξυπνων συστημάτων, που βασίζονται σε γνωστικά μοντέλα και μπορούν με τη χρήση εξειδικευμένων αλγορίθμων, να προβλέψουν τα λάθη στους συναγερμούς. Κάποιες τεχνικές που μπορούν με επιτυχία να εφαρμοστούν σε δυναμικά και πολύπλοκα περιβάλλοντα είναι τα νευρωνικά δίκτυα και η ασαφή λογική.

7.6. Ολοκληρωμένα συστήματα ασφαλείας

Όπως προκύπτει από την μέχρι τώρα ανάλυση, ο έλεγχος των ζημιών είναι πολύ σημαντικός για την ασφάλεια των πλοίων. Ως εκ τούτου, η ναυτιλιακή βιομηχανία κατανοεί όλο και περισσότερο πως αντί να επενδύει σε θεωρητικά μοντέλα κινδύνου, είναι προτιμότερο να επενδύει σε τεχνολογίες πραγματικής μέτρησης και αξιολόγησης των επικίνδυνων συνθηκών. Αν και οι πιθανοί κίνδυνοι στο πλοίο είναι πολλοί και ποικίλουν ανάλογα με τον σκοπό και τον τύπο του πλοίου, η σημερινή τεχνολογία αιχμής είναι σε θέση να υποστηρίξει πολλές και διαφορετικές λειτουργίες, με την εγκατάσταση ενός ολοκληρωμένου ευφυούς συστήματος αποτελούμενο από πολλούς αισθητήρες, που συνδέονται μεταξύ τους. Αυτού του είδους το σύστημα επιδιώκει την συγκέντρωση των λειτουργιών alarm, control και monitoring, σ' ένα κεντρικό σημείο ελέγχου, με σκοπό την πρόληψη ατυχημάτων και καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

Στα πλοία απαιτείται η χρήση μιας μεγάλης ποικιλίας αισθητήρων οι οποίοι συνήθως είναι χαμηλού κόστους, αλλά αποδεδειγμένης αξιοπιστίας. Οι αισθητήρες αυτοί αποτελούν λειτουργικό κομμάτι (hardware) συστημάτων που αφορούν «alarm,

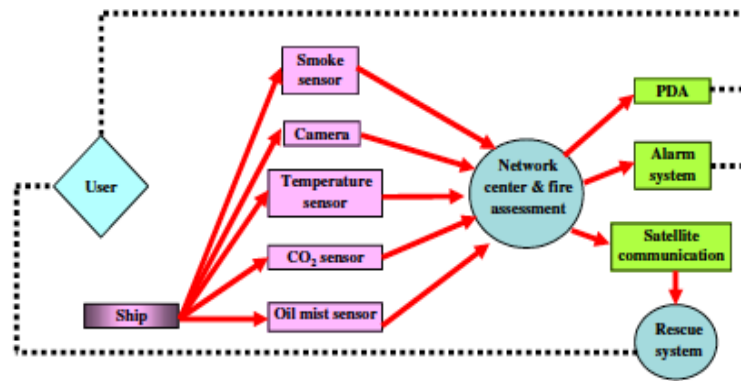
control and monitoring system» και το ζητούμενο πλέον είναι να συνδυάζονται αποτελεσματικά σ' ένα ευφυές σύστημα. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, οι όροι «Σύστημα Ελέγχου Μηχανημάτων» (Machinery Control System - MCS), «Πλατφόρμα Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης» (Integrated Platform Management System - IPMS)", και «Ολοκληρωμένο Σύστημα Αυτοματισμού» (Integrated Automation System - IAS) χρησιμοποιούνται σχεδόν εναλλακτικά για την περιγραφή αυτών των συστημάτων.

Σε ερευνητικό επίπεδο έχουν αναπτυχθεί και προτείνονται αρκετές τεχνολογίες διαχείρισης πλοίων, που αποσκοπούν στην αύξηση της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας του πλοίου.

Αναλυτικότερα, οι Nguyen και Nelson, εισήγαγαν μια προσέγγιση για την ολοκληρωμένη συλλογή και ανάλυση δεδομένων των μηχανημάτων του πλοίου για την αξιολόγηση των συνθηκών και των λειτουργικών επιδόσεων του εξοπλισμού του πλοίου. Ο Nielsen και οι συνεργάτες του, παρουσίασαν την έννοια της εν πλω διαχείρισης των δονήσεων που προκαλούνται από τις κινήσεις των φορτίων και των πλοίων μέσα από τη μέτρηση της σχετικής κίνησης των κυμάτων, της ροπής, και ούτω καθεξής.

Πρόσφατα, ο Cho και οι συνεργάτες του περιέγραψαν ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) για την εφαρμογή σε πλοία. Η τρέχουσα μέθοδος για τη μετάδοση των στοιχείων είναι ως επί το πλείστον μέσω ενσύρματου δικτύου επικοινωνίας. Έτσι δημιουργείται υψηλότερο κόστος για την καλωδίωση, για την υλοποίηση ενός περίπλοκου δικτύου παρακολούθησης και πρόσθετος εξοπλισμός και βάρος καθώς και ζητήματα στεγανότητας από την διέλευση καλωδίων σε στεγανές φρακτές. Αυτό εξηγεί γιατί πολλά πλοία επιλέγουν συστήματα παρακολούθησης μόνο για το βασικό εξοπλισμό τους. Η έρευνα διεξήγαγε δοκιμές σε ασύρματο περιβάλλον (συγκεκριμένα με Zigbee) και σε περιβάλλον με ενσύρματη καλωδίωση και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ασύρματη τεχνολογία μπορεί να είναι εξίσου αποτελεσματική, με χαμηλότερο κόστος.

Η εφαρμογή ασύρματου δικτύου αισθητήρων σ' ένα πραγματικό πλοίο, και το περιβάλλον του πλοίου με τη χρήση της πλατφόρμας Zigbee, διερευνήθηκε περαιτέρω από τον Paik (Paik et al 2009). Το Zigbee, είναι ένα πρωτόκολλο για την ασύρματη επικοινωνία με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που αναπτύχθηκε την τελευταία δεκαετία. Μπορεί να έχει πολλούς κόμβους αισθητήρων, οι οποίοι μεταδίδουν τα δεδομένα του αισθητήρα στο router, το οποίο τα μεταφέρει προς τον κόμβο ελέγχου (gateway). Ο κόμβος ελέγχου συνδέεται με το Internet ή σε intranet για να επιτευχθεί η πρόσβαση και σε άλλες βάσεις δεδομένων. Το σύστημα Zigbee μπορεί να συνδεθεί με πολλούς αισθητήρες, όπως για τη θερμοκρασία, την υγρασία, το φως, τις δονήσεις, σχηματίζοντας έτσι ένα μικρό δίκτυο, με μέγιστο τους 255 κόμβους ανά συντονιστή. Λόγω αυτού του πλεονεκτήματος, μπορεί να επικοινωνεί καλύτερα με άλλες συσκευές από ότι μπορεί η τεχνολογία Bluetooth ή το RF, και αποτελεί ένα χαμηλού κόστους αλλά αποτελεσματικό δίκτυο. Επίσης, είναι μικρό, επειδή έχει αναπτυχθεί μ' ένα μόνο chip, και ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τον κύκλο επικοινωνίας όπως επιθυμεί και κατά συνέπεια, το σύστημα απαιτεί λίγη ενέργεια και η αυτόνομη πηγή ενέργειας του μπορεί να διαρκέσει για 6 μήνες, ή ακόμα και ένα χρόνο.



Εικόνα 18: Σύνδεση αισθητήρων σε δίκτυο για την ανίχνευση πυρκαγιάς
(Πηγή: Paik et al 2009)

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα 18, για την ανίχνευση ενός κινδύνου, όπως για παράδειγμα της πυρκαγιάς, τα στοιχεία που λαμβάνονται από κάθε αισθητήρα υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, αποθηκεύονται στο μέσο διακομιστή και στη συνέχεια τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο συγκρίνονται με τα δεδομένα αναφοράς με σκοπό τον εντοπισμό βλάβης ή μη φυσιολογικής λειτουργίας. Από εκεί μεταφέρονται στο PDA και στο σύστημα συναγερμού τα οποία μπορεί να διαχειριστεί ο χρήστης. Μια σχετική μελέτη της εφαρμογής ενός τέτοιου συστήματος έγινε και από τον Shim και τους συνεργάτες του το 2009. Πρόκειται για το σύστημα Wi-Measys που μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στην ανίχνευση δονήσεων σε πλοία εμπορευματοκιβωτίων.

Ένα άλλο σημαντικό πεδίο έρευνας στα ολοκληρωμένα συστήματα ασφαλείας επί του πλοίου, ασχολείται με τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας και συγκεκριμένα με τη διατήρηση αυτών σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα. Τα υπάρχοντα συστήματα ελέγχου επί του πλοίου δεν είναι αποτελεσματικά για την απομόνωση βλαβών και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό στην ανθρώπινη παρέμβαση. Κατά τον Logan, μεγάλη εξοικονόμηση χρόνου, μηχανικών εργασιών, ηλεκτρικής ισχύος και κόστους μπορεί να επιτευχθεί με τον ορισμό ενός σημείου καθολικού ελέγχου για την αξιολόγηση ισχύος των ηλεκτρονικών συσκευών. Το σημείο καθολικού ελέγχου υλοποιείται συνήθως με μια πλακέτα ελέγχου πολλαπλών λειτουργιών σχεδιασμένη για να ελέγχει και να αναμορφώνει τα σήματα των συσκευών.

Το Ολοκληρωμένο Σύστημα Ισχύος (IPS) στο μελλοντικό πλοίο θα αποτελείται από προηγμένα ηλεκτρονικά συστήματα ισχύος και θα επικρατήσει ένα υπολογιστικό περιβάλλον ελέγχου, με την ανταλλαγή πρωτοκόλλων που θα επιτρέπουν την κατανομή εργασιών σε πολλούς επεξεργαστές στο δίκτυο ελέγχου (Logan 2008). Αυτή η δυνατότητα μπορεί να επιτρέψει σε μελλοντικά συστήματα ελέγχου να αυτορυθμίζονται ανεξαρτήτως επεξεργαστών, με την κατανομή των αντικειμένων σε διαφορετικά σημεία έλεγχου, εφόσον αυτό κριθεί αναγκαίο. Αυτό θα είναι μια εξαιρετικά χρήσιμη δυνατότητα που θα συμβάλλει στη δημιουργία ενός περιβάλλοντος ανοχής σε σφάλματα, στο οποίο οι λειτουργίες ελέγχου ενός αποτυχημένου κόμβου είναι δυνατόν να ανακατανομηθούν σε επεξεργαστές ελέγχου που είναι σε λειτουργία. Ο φυσικός διαχωρισμός, στα εν λόγω σημεία ελέγχου, θα χρησιμεύσει επίσης για την ενίσχυση της επιβίωσης των συστημάτων των πολεμικών πλοίων.

Τέλος, μεγάλο μέρος της τρέχουσας έρευνας ασχολείται με την ανάπτυξη αισθητήρων για την οπτική απεικόνιση κινδύνων, όπως αυτό που αφορά στην ανίχνευση πυρκαγιάς. Ο στόχος είναι η δημιουργία ενός συστήματος εξ' αποστάσεως

ανίχνευσης με μικρότερους χρόνους απόκρισης για υποβόσκουσες πυρκαγιές σε σχέση με τους υπάρχοντες ανιχνευτές καπνού. Πολλές τεχνολογίες έχουν αξιολογηθεί για την ανάπτυξη του πολύ-αισθητήρα, αλλά η κύρια μέθοδος ανίχνευσης βασίστηκε στην τεχνολογία VID (Video Identification) και οι άλλες τεχνολογίες ανίχνευσης χρησιμοποιούνται για να ενισχύσουν και να επεκτείνουν τις δυνατότητες ανίχνευσης βίντεο. Τα συστήματα VID λειτουργούν με την ανάλυση των εικόνων βίντεο, που παράγονται από τυπικές κάμερες παρακολούθησης (έως οκτώ ανά μονάδα) για να ανιχνεύσουν καπνό ή φωτιά σε μεγάλους χώρους όπως αποθήκες και σήραγγες μεταφοράς. Σε έρευνα του US Navy (Rose-Pehrsson et al, 2006) βρέθηκε πως ο χρόνος ανίχνευσης για τα συστήματα VID ήταν συγκρίσιμος με αυτόν από τα συστήματα ιονισμού, αλλά το VID ήταν πολύ πιο γρήγορο σε σχέση με τα συστήματα ιονισμού ή φωτο- ηλεκτρικής στην ανίχνευση καπνού από υποβόσκουσα φωτιά.

Τα συγκεκριμένα συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς έχουν ιδιαίτερη αξία για τα πολεμικά πλοία, γι' αυτό και πολλές έρευνες εστιάζουν στην εφαρμογή τους σ' αυτόν τον τομέα. Συγκεκριμένα οι JiJi και συν. (2006), ερεύνησαν την αποτελεσματικότητα μιας συστοιχίας τεσσάρων τύπων αισθητήρων σ' ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για την ανίχνευση πυρκαγιάς (Early Warning Fire Detection-EWFD). Το σύστημα περιλάμβανε φωτο- ηλεκτρικούς αισθητήρες, ανιχνευτές ιόντων καπνού (ionization smoke detectors) και αισθητήρες CO και CO₂. Σ' άλλη μελέτη της ίδιας ομάδας (Hammond et al 2008) ερευνήθηκε η χρήση τεσσάρων κεραμο - μεταλλουργικών αισθητήρων με λογισμικό αναγνώρισης που έχει αναπτυχθεί για την ανίχνευση πυρκαγιών. Σε εργαστηριακές δοκιμές η απόδοση του συστήματος ανίχνευσης και ο αλγόριθμος συναγερμού συνέβαλε στην ταχύτερη απόκριση σε σχέση με τους εμπορικούς ανιχνευτές καπνού. Συγκεκριμένα, η ανίχνευση των ελεγχόμενων πηγών πυρκαγιάς ήταν εξαιρετική αλλά η διάκριση των πηγών όχλησης χρειάζεται βελτίωση και αποτελεί το αντικείμενο ερευνών.

7.7. Εμπορικές εφαρμογές

Καθώς η τεχνολογία βελτιώνεται, τα πλοία υιοθετούν όλο και πιο σύγχρονα συστήματα ελέγχου κατανοώντας την αναγκαιότητα της αποτελεσματικής ανίχνευσης των κινδύνων. Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητας αυτών των συστημάτων οι εξουσιοδοτημένοι κατασκευαστές που πληρούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές είναι ελάχιστοι. Οι κυριότερες εμπορικές εφαρμογές στο χώρο αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά, ως κάτωθι:

7.7.1. Martek Marine

Η Martek Marine, η οποία έχει δημιουργήσει ένα νέο σύστημα γέφυρας που περιλαμβάνει λειτουργίες παρακολούθησης και συναγερμού. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να παρακολουθεί την δραστηριότητα του αξιωματικού βάρδιας στη γέφυρα και αυτόματα να σημαίνει συναγερμό όταν εντοπίζει κάποια ανώμαλη δραστηριότητα. Αυτό περιλαμβάνει διαδικασίες προειδοποίησης του αξιωματικού βάρδιας και αν δεν υπάρχει ανταπόκριση, του κυβερνήτη ή κάποιου άλλου αξιωματικού (πηγή: Martek-Marine).

7.7.2. Wärtsilä

Η Wärtsilä, μια εταιρεία με μεγάλη εξειδίκευση στην κατασκευή μηχανών και άλλων ναυτικών συστημάτων, έχει επίσης δημιουργήσει σύστημα παρακολούθησης και συναγερμού το οποίο επιτρέπει την απομακρυσμένη ανάλυση και την αποστολή δεδομένων σε οποιοδήποτε σημείο στην ξηρά, με τη χρήση δορυφορικής σύνδεσης. Οι σταθμοί εργασίας έχουν σχεδιαστεί για τη βέλτιστη και φιλική προς το χρήστη λειτουργία. Το σύστημα είναι πλήρως συμβατό με τους κινητήρες πρόωσης και τα άλλα συστήματα της Wärtsilä για να επιτευχθεί η καλύτερη απόδοση, η μέγιστη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία (πηγή: Wärtsilä).

7.7.3. CMR

Η εταιρεία CMR έχει πλήθος εφαρμογών παρακολούθησης και αυτοματισμού με συστήματα όπως:

- Control Panels and Interface/Junction Boxes - CP Type Control Panels
- Custom Control Panels - Control Panels
- Junction Box/Interface Panel - JB Type Electrical - Electronic Junction Box
- Standardize Control Panels / Interface / Junction Box - SP Type Control Panels
- Alarm Monitoring System - Clarinux/Clarine Rack 65
- Alarm Monitoring System - Clarinux/Clarine Rack 121
- Smart Connecting Module - SCM

Μια από τις πιο πρόσφατες εφαρμογές της είναι το σύστημα De-centralized Marine Alarm Monitoring - CMR900. Πρόκειται για ένα πλήρως ολοκληρωμένο και αποκεντρωμένο σύστημα για πλοία στα οποία απαιτείται η παρακολούθηση σε πάνω από 3000 κανάλια αισθητήρων. Το σύστημα βασίζεται στη λειτουργία δικτύων και συνδέεται με την ελάχιστη δυνατή επικοινωνία μεταξύ των υποσυστημάτων (πηγή: CMR).

7.7.4. Bjørge Marine Automation

Η Bjørge Marine Automation είναι μια Νορβηγική εταιρεία που πρόσφατα δημιούργησε ένα σύστημα ελέγχου και συναγερμού με τον τίτλο SMART Chief II. Το σύστημα παρέχει στους μηχανικούς ή στο φορέα εκμετάλλευσης του πλοίου την δυνατότητα σύνδεσης εξ' αποστάσεως με το σύστημα έλεγχου και συναγερμού του πλοίου. Για να καταστεί δυνατή η απομακρυσμένη σύνδεση προστίθεται το πρόγραμμα SmartLink το οποίο είναι συμβατό με το SMART Chief II και έτσι το σύστημα στο γραφείο, επιτρέπει την πρόσβαση στις ίδιες οθόνες και τις πληροφορίες που έχει το πλήρωμα στο πλοίο (πηγή: Bjørge Marine Automation).

7.7.5. KONGSBERG

Η εταιρεία KONGSBERG έχει επίσης παρουσιάσει δυο μοντέλα συστημάτων αυτοματισμού, το K-Chief 600 και το K-Chief 700 τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλα πλοία ή σε μικρότερα πλοία και γιου αντίστοιχα (πηγή: KONGSBERG).

Το K-Chief 600 έχει σχεδιαστεί για να ανταποκριθεί στις δύσκολες απαιτήσεις των ναυπηγείων και πλοιοκτητών και μπορεί να ρυθμιστεί σε μέχρι 20.000 κανάλια. Ο σχεδιασμός του βασίζεται σε τυποποιημένες ενότητες και επιτρέπει την ρύθμιση του συστήματος με βάση εξατομικευμένες απαιτήσεις. Το σύστημα καλύπτει όλο το

φάσμα συναγερμών και παρακολούθησης χρησιμοποιώντας μια προηγμένη διαδικασία ελέγχου και διαχείρισης ενέργειας. Το K-Chief 600 είναι αποκεντρωμένο όσον αφορά την ασφάλεια και την ευκολία εγκατάστασης, αλλά η λειτουργία του είναι συγκεντρωμένη σε συγκεκριμένους σταθμούς διαχειριστή. Οι λειτουργίες του περιλαμβάνουν :

- συστήματα παρακολούθησης και συναγερμού
- έλεγχο μηχανής
- συστήματα αυτοματισμού μηχανής
- συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου φορτίου
- συστήματα πυρκαγιάς
- συστήματα εξαερισμού και κλιματισμού
- υποστήριξη διοίκησης
- διαχείριση ενέργειας
- έλεγχος του συστήματος πρόωσης

Το K-Chief 700 είναι ένα σύστημα με ευέλικτη αρχιτεκτονική, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο διαφόρων διαδικασιών στην ξηρά ή στο πλοίο. Είναι ένα αυτόνομο σύστημα που καλύπτει όλες τις σημαντικές λειτουργίες επί του σκάφους, όπως:

- διαχείριση ενέργειας
- βοηθητικά μηχανήματα ελέγχου
- παρακολούθηση και έλεγχο έρματος / καυσίμων
- παρακολούθηση και έλεγχο φορτίου

7.7.6. Sperry Marine

Η Sperry Marine είναι μια από τις μεγαλύτερες εταιρίες στο χώρο και πρόσφατα έχει ξεκινήσει μια νέα γενιά συστημάτων, ελέγχου, παρακολούθησης και συναγερμού με το εμπορικό σήμα VisionMaster. Τα συστήματα κυκλοφορούν σε δύο σχήματα τα – VisionMaster Alarm Management System (AMS) και VisionMaster Machinery Control System (MCS) – που βασίζονται σε τυποποιημένα εμπορικά στοιχεία έτοιμα προς χρήση. Επιπλέον διαθέτει δίκτυο Ethernet, που χρησιμοποιείται για να παρέχει πλήρη σύνδεση πεδίου με τον server και μεταφορά δεδομένων. Η ανοιχτή αρχιτεκτονική του επιτρέπει τη σύνδεση των σταθμών παρακολούθησης σε οποιοδήποτε σημείο του πλοίου και χρησιμοποιεί thin-client τεχνολογία για να καταστεί δυνατή η επέκταση με νέα σταθερών και κινητών σταθμών εργασίας στο δίκτυο. Οι εφαρμογές VisionMaster AMS και MCS έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν εύκολη «αλλαγή» των ανταλλακτικών για τα παλαιά συστήματα αυτοματισμού, καθώς και για τα νέα μηχανήματα, με σειριακές διεπαφές με τους αισθητήρες. Μπορούν να τοποθετηθούν ως αυτόνομες λύσεις ελέγχου, παρακολούθησης και συναγερμού, ή να ενσωματωθούν στα ολοκληρωμένα συστήματα γέφυρας Sperry Marine VisionMaster FT (πηγή: Sperry Marine).

7.7.7. EMI

Μια άλλη εταιρία που κατασκευάζει συστήματα συναγερμών είναι η EMI. Οι εφαρμογές της καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων όπως:

- Συστήματα συναγερμού για τις μηχανικές βλάβες
- Συστήματα μέτρησης περιεκτικότητας και επιπέδων υγρών

- Συστήματα ελέγχουν μηχανών και βαλβίδων
- Ηλεκτρονικά συστήματα γέφυρας
- Συστήματα διαχείρισης ισχύος, κλπ. (Πηγή: EMI).

7.7.8. Lyngsø MARINE

Η Lyngsø MARINE είναι μια εταιρία με αρκετές εφαρμογές συστημάτων ελέγχου και συναγερμού. Τα δύο πιο γνωστά μοντέλα της είναι τα:

α. Universal Monitoring System - UMS 2100, το οποίο χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της μηχανής και του συστήματος ναυσιπλοΐας. Το UMS σε συνδυασμό με την εφαρμογή Watch One χρησιμοποιεί έξυπνους πίνακες σήμανσης και συναγερμού στη γέφυρα και σε άλλους χώρους του πλοίου για να προειδοποιεί σε περίπτωση ανάγκης.

β. Universal Monitoring and Control System - UCS 2100 συνδυάζει συστήματα ελέγχου και συναγερμού, που χρησιμοποιούν τα διάφορα υποσυστήματα που υπάρχουν στο πλοίο. Έτσι επιτυγχάνεται η κάλυψη των απαιτήσεων του σκάφους με οικονομικά αποδοτικό τρόπο (πηγή: Lyngsø MARINE).

7.7.9. Converteam

Η Converteam μπορεί επίσης να παρέχει καινοτόμα και τεχνολογικά προηγμένα συστήματα με την εφαρμογή Vessel Control System. Πρόκειται για ένα προϊόν εκτεταμένης έρευνας που δημιουργήθηκε για να καλύψει τις ανάγκες του χώρου για ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού, πρόωσης και δυναμικού εντοπισμού θέσης. Το σύστημα ελέγχου του σκάφους έχει σχεδιαστεί για να έχει υψηλή ανοχή σε σφάλματα και ενσωματώνει αυτο-διαγνωστικές διαδικασίες για την ταχεία εύρεση σφαλμάτων. Με την διαδικτυακή σύνδεση η διάγνωση των εγκαταστάσεων γίνεται ευκολότερη, αφού επιτρέπει στο χειριστή να έχει πρόσβαση σε διαδικτυακές πληροφορίες του συστήματος καθώς και τη δυνατότητα να επέμβει στις μονάδες I / O σε επίπεδο εγκαταστάσεων.

Όλες οι ενότητες έχουν σύντομα κυκλώματα και παρακολούθηση βρόγχων για να επιτυγχάνεται η ταχεία ανίχνευση σφαλμάτων στον τομέα. Το σύστημα παρέχει επίσης λειτουργίες για να βοηθήσει στη διάγνωση και αποκατάσταση των μικρότερων βλαβών, μέσω ολοκληρωμένων online τεχνικών παροχής συμβουλών. Τέλος παρέχει τη δυνατότητα βιντεοσκόπησης των συστημάτων, είτε σε συνεχή βάση, είτε κατόπιν επιλογής του χρήστη. Τα αρχεία αυτά μπορούν, είτε να αποθηκεύονται και να αναλύονται στο πλοίο, είτε να στέλνονται στο γραφείο στη ξηρά (πηγή: Converteam).

7.7.10. TeCoMan

Μια άλλη εφαρμογή που βασίστηκε σε εκτεταμένη έρευνα όσον αφορά στις ανάγκες δημιουργίας ενός ολοκληρωμένου συστήματος είναι το σύστημα TeCoMan της Νορβηγικής εταιρίας MARINTEK (Rødseth και συν. 2007). Το εργαλείο αυτό βασίζεται σε μια ιεραρχική ομαδοποίηση των «Δεικτών Τεχνικής Κατάστασης» (TCI) και επιτρέπει ένα υψηλό επίπεδο παρακολούθησης για τη γενική κατάσταση του συστήματος καθώς και την ικανότητα να εντοπίσει οποιοδήποτε πρόβλημα με βάση την πρωταρχική αιτία. Το TeCoMan έχει χρησιμοποιηθεί επίσης ως πληροφοριακό σύστημα σε online σύστημα παρακολούθησης της ασφάλειας, για να συνδυάσει πληροφορίες για τη συντήρηση του πλοίου με online ενδείξεις από τις επιδόσεις

άλλων πλοίων και τη δημιουργία δεικτών με βάση τις ικανότητες του πλοίου σε σχέση με τις απαιτήσεις του ταξιδιού. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται βασίζονται στη παρακολούθηση καταστάσεων και γενικά, μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής:

- **Επεξεργασία σήματος.** Πολλά συστήματα ελέγχουν την κατάσταση του εξοπλισμού από τη μέτρηση ορισμένων φυσικών παραμέτρων όπως οι αυξημένες δονήσεις, η μόλυνση του λαδιού λίπανσης ή αυξημένη θερμοκρασία.
- **Fussy logic** (Zadeh 1968) που έχει χρησιμοποιηθεί για επεξεργασία σημάτων με ασαφή αιτιολογία.
- **Έμπειρα συστήματα** και σχετικές τεχνολογίες.
- Νευρωνικά δίκτυα που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αυτόματη «εκμάθηση» των σχέσεων μεταξύ των χαρακτηριστικών δεδομένων ή των μοτίβων τεχνικής κατάστασης και εκδήλωσης βλάβης.
- **Computerized Maintenance Management System** (CMMS) ως εργαλείο για τη διαχείριση μεγαλύτερων συστημάτων. Η παρακολούθηση της κατάστασης είναι μέρος αυτού, αλλά πιο σημαντική είναι η γενική διαχείριση περιουσιακών στοιχείων, ο έλεγχος αποθεμάτων, η διαχείριση των εντολών εργασίας και άλλες λειτουργίες.
- **Key Performance Indicator** (KPI) δηλαδή ποσοτικές μετρήσεις που αντικατοπτρίζουν την στρατηγική απόδοση σε έναν οργανισμό, η οποία με τη σειρά της μπορεί να περιλαμβάνει τη συντήρηση και την τεχνική κατάσταση που σχετίζεται με τις μετρήσεις.

Το TeCoMan μπορεί να θεωρηθεί συνδυασμός των παραπάνω εργαλείων, αν και περιλαμβάνει πολύ μικρό μέρος των λειτουργιών του CMMS. Επιτρέπει την ενσωμάτωση της επεξεργασίας σήματος και την ανθρώπινη γνώση μ' ένα αλγόριθμο τεχνικών μετρήσεων και εκτίμησης κατάστασεως. Επιπλέον, ορίζει την έννοια του δείκτη τεχνικής κατάστασης που μπορεί σε μια δομή δέντρου να δώσει πιθανές λύσεις για ολόκληρο το σύστημα ή οποιοδήποτε συστατικό του.

7.7.11. Kingcat MCAS

Αξίζει επίσης να αναφερθεί, πως το ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου, παρακολούθησης και συναγερμού μπορεί να αντικαταστήσει τα συμβατικά συστήματα ελέγχου με μια σειρά από οθόνες αφής και σε πλοία τύπου καταμαράν υψηλής τεχνολογίας που έχουν σχεδιαστεί για κρουαζιέρες (Weiss 2000). Το συγκεκριμένο σύστημα με την ονομασία Kingcat MCAS, ενσωματώνει σήματα από πηγές που κατανέμονται σε όλο το σκάφος και παρέχει:

- Συνεχή ενημέρωση και εμφάνιση των δεδομένων πλοήγησης καθώς και παρακολούθηση των κινητήρων, των ηλεκτρικών συστημάτων, καθώς και άλλων συστημάτων.
- Online, ενοποιημένη παρακολούθηση συναγερμού για ειδοποιήσεις σε περίπτωση ανάγκης.
- Καταγραφή των τεχνικών δεδομένων, όπως τα γεγονότα του συστήματος και δειγματοληψία τιμών από τον εξοπλισμό, για την ανάλυση και παρουσίαση των ιστορικών στοιχείων.

Η καρδιά του συστήματος του υπολογιστή στη γέφυρα είναι ένα τοπικό δίκτυο που αποτελείται από πέντε σταθμούς εργασίας.

7.8. Ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας ασφαλείας και αποδοτικότητας στο πλοίο

Από την μέχρι τώρα ανάλυση είναι σαφές ότι, η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει επιτρέψει την ανάπτυξη πολλών εφαρμογών για τις ανάγκες ελέγχου, παρακολούθησης και συναγερμού στο πλοίο. Είναι φανερό μάλιστα, πως η ναυτιλιακή βιομηχανία κατανοεί όλο και περισσότερο την αναγκαιότητα ύπαρξης αυτών των συστημάτων και επενδύει σε όλο και πιο προηγμένες εφαρμογές ολοκληρωμένων συστημάτων.

Ωστόσο οι δυνατότητες εφαρμογής των νέων τεχνολογιών στα πλοία δεν έχουν εξαντληθεί. Επίσης, υπάρχουν σημαντικές προοπτικές για την αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών στα πλοία, τόσο σε νέες κατασκευές όσο και σε υπάρχουσες. Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές στις οποίες υπάρχουν δυνατότητες αξιοποίησης και βελτίωσης είναι οι κάτωθι:

α. Η αξιοποίηση της πληθώρας των δεδομένων που συλλέγονται για περαιτέρω επεξεργασία. Η καταγραφή των δεδομένων ενός αισθητήρα, η ανάλυση τους, η σύγκριση με κάποια άλλα δεδομένα και εν τέλει η ολοκληρωμένη επεξεργασία τους σαν σήματα, θα μπορούσε να δώσει την δυνατότητα μιας αποτελεσματικότερης καταγραφής της απόδοσης και της λειτουργικής κατάστασης των συστημάτων του πλοίου.

β. Η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών στους αισθητήρες, στα δίκτυα των αισθητήρων, αλλά και στην ολοκληρωμένη επεξεργασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ένα παράδειγμα είναι η ανάπτυξη ασύρματων δικτύων στα πλοία, το οποίο παρά τα πλεονεκτήματά του, έχει ακόμα περιορισμένη εφαρμογή (Shim 2009).

γ. Τα πλοία και οι πλωτές κατασκευές, γενικότερα, αποτελούν εξαιρετικά πεδία για την μετεξέλιξη τους σε πλατφόρμες τεχνολογίας με χαρακτηριστικά περιβάλλοντος νοημοσύνης και έξυπνου περιβάλλοντος (ambient intelligence and smart environments). Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα περιβάλλον στο οποίο γίνεται εκτεταμένη χρήση της τεχνολογίας συλλογής δεδομένων και προβολής της πληροφορίας (αισθητήρες, επεξεργαστές, ενεργοποιητές, κινητήρες, τερματικά πληροφοριών καθώς και άλλες συσκευές, που όλα μαζί είναι διασυνδεδεμένα σ' ένα δίκτυο) προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι υπηρεσίες που παρέχονται στους χρήστες και στην κοινωνία. Μία τέτοια προσέγγιση, εκτιμάται, ότι θα συνδράμει σημαντικά στην μείωση εμφάνισης επικίνδυνων και ακραίων καταστάσεων, στην δραστηκή μείωση των βλαβών και του κόστους συντήρησης και στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, ενώ, θα παρείχε στο χρήστη την δυνατότητα της κρίσιμης αλλά και ελεγχόμενης παρέμβασης, τόσο τοπικά όσο και από απόσταση.

Με την ανάπτυξη των επικοινωνιών στην ναυτιλία, όπου είναι πλέον εφικτή, η διαρκής και η αμφίδρομη επικοινωνία πλοίου – γραφείου, έχει αναπτυχθεί η ανάγκη για την διαρκή ροή αξιόπιστων πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Η ανάγκη αυτή βασίζεται στην συλλογή και διαρκή παρακολούθηση πληροφοριών που αφορούν στην λειτουργία του πλοίου προκειμένου να ελέγχονται διαδικασίες που αφορούν στην διαχείριση κινδύνου ή ακόμη έκτακτες διαδικασίες ανάγκης. Επίσης νέες περιοχές

ενδιαφέροντος που αφορούν στην διαρκή παρακολούθηση δεδομένων αποτελούν η ενεργειακή απόδοση του πλοίου αλλά και η εκπομπή αέριων ρύπων.

Επομένως η λειτουργικότητα, απόδοση και αξιοπιστία των συστημάτων παρακολούθησης, ανάλυσης και μετάδοσης πληροφοριών από το πλοίο είναι θέματα που χρήζουν διαρκώς αυξανόμενης προσοχής από την ναυτιλιακή βιομηχανία, καθώς είναι βαθιά η πεποίθηση ότι η χρήση των συστημάτων αυτών θα επιτρέψει την εξοικονόμηση πόρων. Επομένως είναι άρρητη η ανάγκη για την ανάπτυξη συστημάτων που θα είναι ικανά να συλλέγουν τα δεδομένα από τους αισθητήρες, θα αναλύουν κατάλληλα και να προβαίνουν σε συστάσεις και να υποστηρίζουν την διαδικασία λήψης απόφασης σε πραγματικό χρόνο για την βελτίωση του επιπέδου ασφαλείας και αποδοτικότητας του πλοίου. Πρώιμα παραδείγματα τέτοιων εμπορικών διαθέσιμων εφαρμογών αποτελούν τα συστήματα βελτιστοποίησης πλου και κατανάλωσης καυσίμου (optimized route and fuel consumption), καθώς και τα συστήματα βελτιστοποίησης διαγωγής και πλου (trim and voyage optimization), (Digital Ship 2012).

Στόχος λοιπόν της παρούσας ανάλυσης είναι να εξετάσει εάν οι σκοποί της υπόψη διατριβής δύνανται να ενσωματωθούν στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης και υποστήριξης λήψης απόφασης. Το σύστημα αυτό θα δύναται να ενσωματώνει την προτεινόμενη τεχνολογία και μεθοδολογία και θα δύναται να αποτελέσει λειτουργικό και κρίσιμο κομμάτι μίας τέτοιας ναυτικής τεχνολογίας που θα έχει τα χαρακτηριστικά της περιβάλλουσας νοημοσύνης και του έξυπνου περιβάλλοντος που αναπτύχθηκαν παραπάνω. Τα υποσυστήματα που μπορεί, ενδεικτικά, να εξετάσει μια τέτοια εφαρμογή είναι τα παρακάτω:

- Συστήματα παραγωγής, διαχείρισης και ποιοτικού ελέγχου αφαιρωμένου νερού
- Συστήματα παραγωγής, διαχείρισης, επεξεργασίας και ποιοτικού ελέγχου καυσίμων και λιπαντικών
- Συστήματα παραγωγής, διαχείρισης, επεξεργασίας και ποιοτικού ελέγχου έρματος
- Συστήματα ανίχνευσης και διαχείρισης διαρροών χημικών ουσιών, VOCs, αέριων εκπομπών και καυσαερίων
- Συστήματα ασφαλείας για την πρόληψη πυρκαγιάς, εισροής υδάτων και δημιουργίας τοξικής ή/και εκρηκτικής ατμόσφαιρας
- Συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης κυρίων μηχανών και ηλεκτρομηχανών
- Συστήματα χειρισμού φορτίου

Η επίτευξη των παραπάνω θα επιχειρηθεί με μια ολοκληρωμένη οπτική, ακουστική και χημική ανάλυση, με την χρήση των κατάλληλων αισθητήρων αλλά και άλλων τεχνολογιών που θα επιτρέψουν την ανάπτυξη ενός ευφυούς, αποδοτικού και ασφαλούς περιβάλλοντος στο πλοίο.

Βιβλιογραφία:**ΕΛΛΗΝΙΚΗ**

Ευαγγέλου Β, Κονίδης Ν, , Τεχνολογίες Αυτοματισμών Μηχανοστασίων Πλοίων, Εργασία Ν.Α.ΜΕ, υπό την επίβλεψη των Ν. Νικητάκος - Θ. Λίλας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2011

Λύκος Χ. Σ., Συστήματα τηλεμετρίας πλοίων, Διπλωματική εργασία υπό την επίβλεψη του καθ. Ιωάννη Αβαριτσιώτη, ΕΜΠ, 2007

ΔΙΕΘΝΗΣ

Abbasi T, Abbasi S A, Dust explosions, cases, causes, consequences, and control, Journal of Hazardous Materials 140 (2007) 7–44.

Andrews D, Recent Developments in the Safety Regime for Naval Ship Design, Qual Reliab Eng Int 22 (2006) 21–30.

Ayaz Z, Vassalos D, Spyrou K J, Manoeuvring behaviour of ships in extreme astern seas, Ocean Engineering 33:17-18 (2006) 2381-2434.

Barsan E, Hanzu-Pazara R, Human response in navigation emergency situation, International Journal of Vehicle Safety 5:1 (2010) 75-85.

Chang και Hu, Vibration diagnosis study about the marine diesel engine based on BSS, Proceedings of the 2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems 3 (2010) 3196-3200.

Cho S R, Lee D K, Paik B G, Yoo J H, Park Y H, Park B J, A study on USN technologies for ships, 4th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing: Building Smart Worlds in Real and Cyber Spaces, UIC 2007

Cox D A, Fallon C, Designing Notification Systems for Total System Performance, Presented at Undersea Human Systems Integration, 29 July 2010

Digital Ship, Vessel Data Monitoring, March 2012 14-16

Fowler T G, Sørgård E, Modeling ship transportation risk, Risk Analysis 20:2 (2000) 225-244.

Guarin L, Douglas A, Cichowicz J, Assessment of capabilities of ship systems in accordance with new SOLAS requirements for safe return to port, International Conference on Design and Operation of Passenger Ships, London, February 2011

Hassler B, Accidental versus operational oil spills from shipping in the Baltic Sea: Risk governance and management strategies, Ambio 40:2 (2011) 170-178.

Hassler B, Knudsen O F, IMO legislation and its implementation: Accident risk, vessel deficiencies and national administrative practices, *Marine Policy* 35:2 (2011) 201-207.

Hammond M H, Rose-Pehrsson S L, Gottuk D T, Lynch J A, Tillett D, Streckert H, Cermet microsensors for fire detection, *Sensors and Actuators B* 130 (2008) 240–248.

Heij C, Bijwaard G E, Knapp S, Ship inspection strategies: Effects on maritime safety and environmental protection, *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 16:1 (2011) 42-48.

Hebner R E, Electric ship power system - Research at the University of Texas at Austin, 2005 IEEE Electric Ship Technologies Symposium 2005, 34-38

Hong L, Amdahl J, Crushing resistance of web girders in ship collision and grounding, *Marine Structures* 21 (2008) 374–401.

Hoover J B, Bailey J L, Willauer H D, Williams F W, Preliminary investigations into methods of mitigating hydraulic fluid mist explosions, *Fire Safety Journal* 43 (2008) 237–240.

Ji Ji R D, Hammond M H, Williams F W, Rose-Pehrsson S L, Multivariate statistical process control for continuous monitoring of networked early warning fire detection (EWFD) systems, *Sensors and Actuators B* 93 (2003) 107–116.

Kim S, Frangopol D M, Optimum inspection planning for minimizing fatigue damage detection delay of ship hull structures, *International Journal of Fatigue* 33 (2011) 448–459.

Lee D, Lee S, Parka B J, Kim S Y, A study on the framework for survivability assessment system of damaged ships, *Ocean Engineering* 32 (2005) 1122–1132.

Lee D., Knowledge-based system for safety control of damaged ship, *Knowledge-Based Systems* 19 (2006) 187–191.

Li K X, Wonham J, Who is safe and who is at risk: a study of 20-year record on accident total loss in different flags, *Marit Pol Mgmt* 26:2 (1999) 137-144.

Liu H, Tu S, Energy-saving analysis of neural network control based on PMV in a ship air conditioning system, *Proceedings 2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer, MEC 2011*, 1331-1334

Logan K P, MACSEA Ltd., Component Level Health Monitoring In Future Shipboard Distributed Control Systems

Lois P, Wang J, Wall A, Ruxton T, Formal safety assessment of cruise ships, *Tourism Management* 25 (2004) 93–109.

Lundh M, Lutzhot M, Rydstedt L, Dahlman J, Working conditions in the engine department: A qualitative study among engine room personnel on board Swedish merchant ships, *Applied Ergonomics* 42 (2011) 384-390.

Martins M R, Maturana M C, Human Error Contribution in Collision and Grounding of Oil Tankers, *Risk Analysis* 30:4 (2010) 674-698.

McKay S, Mahulkar V, Adams D, A process to comprehend critical system-of-systems factors: Applied to wireless technology design on a navy ship, *International Journal of System of Systems Engineering* 24 (2011) 257-278.

Nguyen T V, Epperly W, Budinger B, A Survey of Existing Ship Machinery Control Systems and Suggested Improvement for Future Ship Platforms, *ASNE DAY 2010 Proceedings*, Crystal City, Arlington, VA.

Nguyen T V, Nelson H W, A Systematic Approach to Machinery Condition Monitoring and Diagnosis *Proceedings of the 4th Annual Systems Engineering Conference*, 2001.

Nielsen J K, Pedersen N H, Michelsen J, Nielsen U D, Baatrup J, Jensen J J, Petersen E S, Sea sense: real-time onboard decision support. *Annual Report, Force Technology*, 2006.

Nigro E, Cefarelli G, Bilotta A, Fire resistance of concrete slabs reinforced with FRP bars. Part II: Experimental results and numerical simulations on the thermal field, *Composites Part B: Engineering* 42:6 (2011) 1739-1750.

Okasha N M, Frangopol D M, Decò A, Integration of structural health monitoring in life-cycle performance assessment of ship structures under uncertainty, *Marine Structures* 23 (2010) 303–321.

Paik B G, Cho S R, Park B J, Lee D, Bae B D, Yun J H, Characteristics of wireless sensor network for full-scale ship application, *J Mar Sci Technol* 14 (2009) 115–126.

Paik J K, Frieze P A, Ship structural safety and reliability, *Prog Struct Engng Mater* 3 (2001) 198-210.

Pedersen P T, Review and application of ship collision and grounding analysis procedures, *Marine Structures* 23 (2010) 241–262.

Pitblado R, Potential for BLEVE associated with marine LNG vessel fires, *Journal of Hazardous Materials* 14 (2007) 527–534.

Privalov G, Lynch J A, Video Image Detection Systems for Fire and Smoke (Implementation and Testing), 2009

Psarros G, Skjong R, Eide M S, Under-reporting of maritime accidents, *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010) 619-625.

Rizzo C M, Lo Nigra, A review of ship surveys practices and of marine casualties partly due to aging effects, Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE 2 (2008) 807-818.

Roberts G N, Trends in marine control systems, Annual Reviews in Control, 32:2 (2008) 263-269.

Rødseth Ø J, Steinebach C, Mo B, The use of technical condition indices in ship maintenance planning and the monitoring of the ship's safety condition, International Symposium on maritime Safety, security and environmental protection, Athens, Greece, 2007

Ronza A, Vilchez J A, Casal J, Using transportation accident databases to investigate ignition and explosion probabilities of flammable spills, Journal of Hazardous Materials 146 (2007) 106–123.

Rose-Pehrsson S L, Minor C P, Steinhurst D A, Owrutsky J C, Lynch J A, Gottuk D T, Wales S C, Farley J P, Williams F W, Volume sensor for damage assessment and situational awareness, Fire Safety Journal 41 (2006) 301–310.

Salem A, Fire engineering tools used in consequence analysis, Ships and Offshore Structures 5:2 2010 155-187.

Salem A, Risk-based design for fire safety of ro-ro / passenger ships, PhD Thesis, Glasgow and Strathclyde Universities Glasgow, UK, 2007.

Shaluf I M, Ahmadun F, Shariff R, Mustafa S, Said A M, Fire and explosion at mutual major hazard installations: review of a case history, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 16 (2003) 149–155.

Shim M C, Yang B S, Kong Y M, Kim W C, Wireless Condition monitoring system for large vessels: Development and application, Proceedings of the 4th World Congress on Engineering Asset Management, Athens, Greece, 28 - 30 September 2009.

Tiano A, Lajic Z, Zirilli A, Ship monitoring and control, CAMS 2007 IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems, Bol (Croatia) 19-21 September, 2007.

Toffoli A, Lefevre J M, Bitner-Gregersen E, Monbaliu J, Towards the identification of warning criteria: Analysis of a ship accident database, Applied Ocean Research 27 (2005) 281–291.

Tzannatos E, Kokotos D, Analysis of accidents in Greek shipping during the pre- and post- ISM period, Marine Policy 33 (2009) 679–684.

Vanem E, Skjong R, Designing for safety in passenger ships utilizing advanced evacuation analyses — A risk based approach, Safety Science 44 (2006) 111–135.

Vanem E, Skjong R, Fire and evacuation risk assessment for passenger ships, Proceedings of the 10th international fire science and engineering conference, Edinburgh, Scotland, 5-7 July 2004, 365-374.

Vassalos D, Papanikolaou A (ed.), Risk-Based Ship Design, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2009) 17-58.

Walker J, Ship's alarm, monitoring and control system, Diesel and Gas Turbine Worldwide 37:2 (2005).

Wang J, Maritime Risk Assessment and its Current Status, Quality and Reliability Engineering International 22:1 2006 3-19.

Wang J, The current status and future aspects in formal safety assessment, Safety Science 38:1 (2001) 19-30.

Wang G, Spencer J, Chen Y, Assessment of a ship's performance in accidents, Marine Structures 15 (2002) 313–333.

Weiss R, Kingcat MCAS - Monitoring, Control and Alarm System for a Luxury Motor Yacht, Reliable Software Technologies Ada-Europe 2000, 5th Ada-Europe International Conference Potsdam, Germany, June 26-30, Springer, 2000.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://www.cmr-group.com/power-management-for-offshore-platforms-and-vessels/>

http://www.goltens.com/products_systems_marine_automation.asp

<http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/E1C7040DC299F88CC12570A400338307?OpenDocument>

<http://www.emi-marine.com/alarm-monitoring.html#top>

http://www.naval-technology.com/contractors/soles/lyngso_marine/

<http://www.sperrymarine.northropgrumman.com/Downloads>

<http://www.indiamart.com/cmrcontrol-systems/products.html>

<http://www.martek-marine.com/ProductsSystems.aspx>

ΜΕΡΟΣ ΙΙ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

8.1. Γενικά

Στα πλαίσια της υλοποίησης του ερευνητικού μέρους της παρούσας διατριβής, χρησιμοποιήθηκαν ποικίλοι αισθητήρες, και εφαρμογές με δυνατότητες ολοκληρωμένου ελέγχου και παρακολούθησης. Στόχος ήταν η διερεύνηση της δυνατότητα ολοκληρωμένης παρακολούθησης πεδίου με τη χρήση ακουστικών, οπτικών και χημικών αισθητήρων. Αναλυτικότερα για την παρακολούθηση πεδίου χρησιμοποιήθηκαν κάμερες με αισθητήρες CCD και με υπέρυθρη τεχνολογία, συσκευές με χημικούς αισθητήρες και μικρόφωνα. Για την απόκτηση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, συσκευή απεικόνισης και απομακρυσμένου ελέγχου της “HP”, καθώς και συσκευές αποθήκευσης των δεδομένων.

8.2. Χημική ανάλυση

Για τη χημική ανάλυση πεδίου χρησιμοποιήθηκαν διάφορα φορητά όργανα πεδίου με ηλεκτροχημικούς, καταλυτικούς και ημιαγωγικούς αισθητήρες. Χρησιμοποιήθηκε επίσης όργανο φασματομετρικής ανάλυσης εργαστηρίου με αισθητήρες φωτοιονισμού.

8.2.1. QRAE PLUS, PGM-2000

Το **QRAE PLUS, PGM-2000** είναι μια φορητή συσκευή ανίχνευσης αερίων που ενσωματώνει έξυπνους αισθητήρες ανίχνευσης CO, H₂S, O₂, LEL, καθώς και άλλων εύφλεκτων αερίων. Η δειγματοληψία γίνεται με ενσωματωμένη ρυθμιζόμενη αντλία η οποία έχει δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας λήψης δείγματος. Αναλυτικότερα το QRAE Plus παρακολουθεί τις συγκεντρώσεις ανόργανων τοξικών αερίων και οξυγόνου με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες. Για την παρακολούθηση εύφλεκτων αερίων χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός καταλυτικού αισθητήρα και αισθητήρα θερμικής αγωγιμότητας.

Το εύρος ανάλυσης του CO είναι 0-500 ppm, με χρόνο απόκρισης τα 40 sec, το εύρος ανάλυσης του H₂S είναι 0-100 ppm, με χρόνο απόκρισης τα 35 sec, το εύρος ανάλυσης του O₂ είναι 0-30%, με χρόνο απόκρισης τα 15 sec και το εύρος ανάλυσης του LEL είναι 0-100% με χρόνο απόκρισης τα 15 sec.



Εικόνα 19: Αναλυτικό όργανο πεδίου QRAE PLUS, PGM-2000

Τα όρια θερμοκρασίας ασφαλούς λειτουργίας της συσκευής είναι από -20°C έως 45°C (-4°F έως 113°F). Η συσκευή λειτουργεί με μπαταρία λιθίου, διαθέτει οθόνη με δυνατότητα εμφάνισης έως τεσσάρων ενδείξεων και είναι ανθεκτική στις παρεμβολές RF ή άλλα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Στις λειτουργίες της περιλαμβάνεται σύστημα σήμανσης ηχητικού και φωτεινού συναγερμού σε περίπτωση ανάγκης. Σ' ότι αφορά την καταγραφή δεδομένων, έχει τη δυνατότητα εισαγωγής έως και 16.000 τιμών μέτρησης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποθηκεύονται και μπορούν να ανακτηθούν σε υπολογιστή. Είναι σχετικά εύκολη στη ρύθμιση της και συνοδεύεται από το λειτουργικό ProRae το οποίο είναι συμβατό με Windows. Όπως όλα τα RAE συστήματα, κατασκευάζεται στη Silicon Valley των ΗΠΑ και έχει πιστοποίηση ISO 9001.

8.2.2. MRU Delta 1600 V

Για την παρακολούθηση και ανάλυση των εκπομπών καυσαερίων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή **MRU Delta 1600 V**. Πρόκειται για μια συσκευή που πραγματοποιεί χημική ανάλυση πεδίου με τη δυνατότητα συνεχούς μέτρησης της συγκέντρωσης στο χώρο ενδιαφέροντος. Η ανάλυση και η καταγραφή του περιβάλλοντος ενδιαφέροντος ρυθμίζεται από το ενσωματωμένο ρολόι της συσκευής, το οποίο μπορεί να ρυθμιστεί, έτσι ώστε, να καταγράφει συγκεκριμένες ώρες. Στις βασικές της λειτουργίες περιλαμβάνεται η δυνατότητα ανίχνευση O_2 , και προαιρετικά CO , NO , NO_2 με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες και η δυνατότητα ανίχνευσης CO , CO_2 και n- Hexane με υπέρυθη τεχνολογία (NDIR Multi-Gas bench). Το εύρος ανάλυσης για το O_2 είναι 0 – 22,0 %, με ακρίβεια ανάλυσης 0,1%. Στον αισθητήρα NDIR το εύρος ανάλυσης του CO είναι 0 – 10 %, με ακρίβεια ανάλυσης 0,01 %, το εύρος ανάλυσης του CO_2 είναι 0 – 20 %, με ακρίβεια ανάλυσης 0,1 % και το εύρος ανάλυσης για το HC (n-hexane) είναι 0 – 2.000 ppm, με ακρίβεια ανάλυσης 1 ppm.

Επιπλέον μπορεί να μετρά τη θερμοκρασία των καυσαερίων, τη πυκνότητα τους, τη θερμοκρασία των λαδιών της μηχανής καθώς και τις στροφές της μηχανής. Η συσκευή έχει τη δυνατότητα να εκτυπώνει τα δεδομένα σε ειδικό χαρτί, να αποθηκεύει τα δεδομένα σε φορητό μέσο (κάρτα MMC) ή να τα αποστέλλει στη διεύθυνση ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή που θα έχει οριστεί.



Εικόνα 20: Χημικός αναλυτής καυσαερίων MRU Delta 1600 V

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει στην εσωτερική μνήμη του οργάνου έως περίπου 7.500 μετρήσεις. Κάθε σετ συνοδεύεται από ημερομηνία, ώρα και στοιχεία της θέσης μέτρησης (5 ελεύθερα πεδία για την εισαγωγή α/α, ονόματος, διεύθυνσης κ.λπ.). Οι αποθηκευμένες μετρήσεις ανακαλούνται στην οθόνη ή/και μεταφέρονται σε Η/Υ για περαιτέρω αρχειοθέτηση και επεξεργασία, με το προσφερόμενο λογισμικό. Το προσφερόμενο λογισμικό έχει επίσης την δυνατότητα να παρακολουθεί on-line τις μετρούμενες τιμές και ο χρήστης μπορεί να βλέπει στην οθόνη του Η/Υ τις στιγμιαίες μετρήσεις σε μορφή αριθμών και γραφημάτων. Η συσκευή κατασκευάζεται στη Γερμανία και έχει Πιστοποίηση CE και ISO 9001

8.2.3. Anagas CD98 Carbon Dioxide (CO₂)

Επίσης χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής αερίου **Anagas CD98 Carbon Dioxide (CO₂)**. Πρόκειται για έναν φορητό αναλυτή χειρός που βασίζεται σε αισθητήρα IR για την παρακολούθηση των συγκεντρώσεων CO₂. Η μονάδα τροφοδοτείται με ενσωματωμένη αντλία για την δειγματοληψία αερίου μέσω ενός σωλήνα. Κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης, ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει "στιγμιαίες" αναγνώσεις, εάν απαιτείται. Η συσκευή μπορεί να μετρήσει θερμοκρασία και πίεση και να ανιχνεύσει συγκεντρώσεις 0-10,000 ppm (0-60%). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το λειτουργικό πρόγραμμα PM-COM.



Εικόνα 21: Φορητό όργανο πεδίου Anagas CD98 Carbon Dioxide (CO₂)

8.2.4. Φασματογράφος μάζας HP 5972A MSD

Ο φασματογράφος μάζας **HP 5972A MSD** χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με το παλμικό δειγματοληπτικό σύστημα PSS (Pulsed Sampling Switch) στα πειράματα καύσης στο εργαστήριο. Το όργανο αυτό διαθέτει το λειτουργικό πρόγραμμα chemstation για το χειρισμό των διαφόρων λειτουργιών του όπως το pumpdown, τον έλεγχο της πίεσης, τη ρύθμιση θερμοκρασίας και τον έλεγχο του συστήματος εξαερισμού.

Η συσκευή πραγματοποιεί φασματοσκοπική ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε οθόνη του συστήματος. Περιλαμβάνει μια υψηλής απόδοσης πηγή ιόντων, τετραπολικό φίλτρο μάζας, ηλεκτρονιο-πολλαπλασιαστή, προηγμένα ηλεκτρονικά συστήματα με MS control card (Smart Card II) και ένα υψηλής αξιοπιστίας σύστημα δημιουργίας και διατήρησης κενού. Η θερμοκρασία της πηγής ιόντων και του αναλυτή μάζας ελέγχεται από θερμοστάτη και διατηρείται μεταξύ 180-250°C περίπου. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα απόκτησης και ανάλυσης των δεδομένων, καθώς και η δυνατότητα online υποστήριξης.



Εικόνα 22: Ο φασματογράφος μάζας HP 5972A MSD σε συνδυασμό με το δειγματοληπτικό σύστημα PSS, σε διάταξη για την παρακολούθηση των πειραμάτων καύσης εργαστηριακής κλίμακας

Για τη λήψη δείγματος αέρα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος πνευματικής δειγματοληψίας με διακόπτη επαναλαμβανόμενης παλμικής εισαγωγής PSS. Αυτός ο διακόπτης επιτρέπει την επαναλαμβανόμενη εισαγωγή δείγματος των υπό ανάλυση αερίων στον θερμογραφικό αναλυτή του συστήματος QMS με σταθερό ρυθμό. Η παλμική δειγματοληψία αερίων σε συστήματα TG / MS, έχει αποδειχτεί ότι λειτουργεί αποτελεσματικά, δίνοντας επαναληπτικά και ακριβή αποτελέσματα τόσο σε αδρανές όσο και σε οξειδωτικό περιβάλλον (Statheropoulos et al. 1999).

Η συσκευή συνδυάζεται με το μοντέλο 14516 της HP Agilent Technology. Πρόκειται για μια εξειδικευμένη συσκευή απεικόνισης που είναι συμβατή με τα μοντέλα ανιχνευτών 5971 και 5972 και ενσωματώνει προηγμένης τεχνολογίας οπτικές τεχνικές, με τη χρήση ιόντων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγάλη ευαισθησία και μεγάλη διάρκεια ζωής.

8.3. Οπτική ανάλυση

8.3.1. Κάμερα οπτικού φάσματος GANZ ZC-Y12

Η CCD κάμερα **GANZ ZC-Y12PH5** βασίζεται στη νέα τεχνολογία HQ1 της εταιρίας CBC. Ενώ οι κοινές κάμερες έχουν ανάλυση PAL max. 470 TVL, η συγκεκριμένη έχει αισθητήρα CCD υψηλής απόδοσης και σε συνδυασμό με το νέο τσιπ Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος προσφέρει υψηλή ανάλυση 540 TVL. Ένα, επιπλέον, χαρακτηριστικό της κάμερας είναι η ηλεκτρονική λειτουργία ημέρας / νύχτας που συμβάλει σημαντικά στην αύξηση της ευαισθησίας. Ωστόσο η ικανότητα IR που διαθέτει, μπορεί να παραμένει ανεπηρέαστη από αυτό. Άλλα εξελιγμένα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται στη ZC-Y12PH5 είναι η προηγμένη ψηφιακή επεξεργασία σήματος, ο auto iris ενισχυτής, ο αυτόματος έλεγχος, το αυτόματο ηλεκτρονικό κλείστρο, η αυτόματη διόρθωση ισορροπίας λευκού και η αντιστάθμιση με το φωτισμό υποβάθρου.



Εικόνα 23: (α) Κάμερα βίντεο CCD, GANZ ZC-Y12PH5 και (β) ο φακός computar TG4Z2813FCS

Ο φακός που χρησιμοποιήθηκε με την κάμερα ήταν της εταιρείας computar και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο TG4Z2813FCS. Πρόκειται για ένα auto-iris DC drive πολυεστιακό φακό (2,8 mm – 12 mm) με μεγέθυνση (zoom) 4X. Η λειτουργία της εστίασης και του zoom γίνονται χειροκίνητα. Ο φακός αυτός είναι κατάλληλος για χρήση ημέρας και νύχτας και προσαρμόζεται σε κάμερες με CS mount με ανάλυση 1,3 megapixels. Η συσκευή κατασκευάζεται στην Ιαπωνία και έχει πιστοποίηση CE.

8.3.2. Θερμογραφική κάμερα FLIR T360

Για τη θερμική απεικόνιση χρησιμοποιήθηκε η κάμερα υπέρυθρης **τεχνολογίας, T360 της εταιρίας FLIR**. Αυτή η συσκευή μπορεί να αποδώσει με ικανοποιητική ακρίβεια τις θερμοκρασίες στις περιοχές ενδιαφέροντος και ενσωματώνει πολλές χρήσιμες λειτουργίες όπως προεπισκόπηση και αποθήκευση εικόνας, λειτουργία ένδειξης θερμοκρασίας, λειτουργία ορισμού ισόθερμης, λειτουργίας βίντεο (χωρίς τη δυνατότητα ραδιομετρικών ενδείξεων).



Εικόνα 24: Κάμερα θερμογραφικής απεικόνισης FLIR T360

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της T360 περιλαμβάνουν εστίαση 25°x19° / 0.4 m (1.31 ft.), φασματικό εύρος 7.5 έως 13 μm , ανάλυση 640 x 480 pixels και δυνατότητα έως και τετραπλής μεγέθυνσης (zoom) αυτόματα ή χειροκίνητα. Οι θερμοκρασίες που μπορεί να απεικονίσει κυμαίνονται σε -20°C έως $+120^{\circ}\text{C}$ (-4°F έως $+248^{\circ}\text{F}$), 0°C έως 350°C (32°F έως 662°F) ανάλογα με τη ρύθμιση της και η ακρίβειά της είναι $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3.6^{\circ}\text{F}$). Η κάμερα πλέον του θερμογραφικού αισθητήρα περιλαμβάνει και κάμερα βίντεο CCD, όπου υπάρχει η δυνατότητα να λαμβάνονται ψηφιακές εικόνες σε συνδυασμό με θερμικές φωτογραφίες ή ακόμη και βίντεο. Η αποθήκευση των εικόνων μπορεί να γίνει σε κάρτα SD ή σε υπολογιστή μέσω USB σύνδεσης. Η συσκευή κατασκευάζεται στο Hong Kong και έχει πιστοποίηση ISO 9001:2000.

8.3.3. Θερμική κάμερα FLIR VRS-6

Επίσης χρησιμοποιήθηκε η βιντεοκάμερα θερμογραφικής απεικόνισης **VRS-6** της εταιρίας FLIR. Η συγκεκριμένη συσκευή έχει σταθερό εστιακό μήκος 6.3mm (52° Horizontal Field of View/ HFOV) και έχει ανάλυση 160(H) x 120(V) pixels. Η κάμερα έχει δυνατότητα θερμικής απεικόνισης σε θερμοκρασίες -32°C έως 55°C (-25°F έως 131°F) και έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές ασφαλείας.



Εικόνα 25: Θερμική κάμερα FLIR VRS-6

8.4. Ακουστική ανάλυση

Για την ακουστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το μικρόφωνο **AKG C 391 B**, ο προενισχυτής του μικροφώνου **AKG SE 300 B** και η εξωτερική κάρτα ήχου **M-AUDIO, Fast Track Pro**.

8.4.1. Το μικρόφωνο AKG C 391 B

Το AKG C 391 B είναι ένα shotgun καρδιοειδές πυκνωτικό μικρόφωνο που έχει υψηλή κατευθυντικότητα αλλά και τη δυνατότητα να συλλαμβάνει ήχους από πολλαπλές κατευθύνσεις, επίσης παρουσιάζει υψηλή ανθεκτικότητα στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Το εύρος συχνοτήτων του είναι από 20 έως 20,000 Hz \pm 2 dB και η ευαισθησία του στα 100Hz είναι 10MV/PA. Στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του περιλαμβάνεται η στιβαρή σχεδίαση, ελάχιστο self noise, χαμηλή κατανάλωση ρεύματος και η σύνδεση κάψουλας χαμηλής αντίστασης. Το μικρόφωνο μπορεί να λειτουργήσει χωρίς προβλήματα σε θερμοκρασία μέχρι 60 °C και 95% σχετική υγρασία. Η κάψουλα μικροφώνου του μπορεί να τοποθετηθεί απευθείας πάνω στον ενισχυτή SE 300 B με ενιαία τροφοδοσία μονάδας.

8.4.2. Προενισχυτής AKG SE 300 B

Ο συγκεκριμένος ενισχυτής λειτουργεί με οποιαδήποτε παροχή 9 έως 52 V. Ενσωματώνει ένα εναλλασσόμενο 12 dB /octave bass cut filter στα 75 Hz για την εξάλειψη του θορύβου βηματισμού και ένα εναλλασσόμενο 10 dB pad preattenuation για πηγές ήχου με υψηλό SPL. Η AKG είναι εταιρεία με έδρα την Αυστρία και τα μοντέλα AKG C 391 B και ενισχυτής AKG SE 300 B διαθέτουν πιστοποίηση CE.



Εικόνα 26: Μικρόφωνο AKG C 391 B και προενισχυτής AKG SE 300 B

8.4.3. Εξωτερική κάρτα ήχου M- AUDIO, Fast Track Pro.

Η **Fast Track Pro** της **M-Audio**, είναι μία 24-bit/96kHz, φορητή εξωτερική κάρτα ήχου, με ενισχυτές διπλής εισόδου (μικροφώνου / οργάνου). Περιλαμβάνει 2 μπροστινές εισόδους Mic / Line, phantom power για πυκνωτικά μικρόφωνα, θύρες για balanced και non balanced αναλογικό σήμα, S / PDIF, ψηφιακή I / O και MIDI / O, καθώς και θύρα για ακουστικά. Η συσκευή απαιτεί το λειτουργικό Ableton Live 5 το οποίο είναι συμβατό με λειτουργικό Windows ή Mac. Έχει εξωτερική θύρα USB και δύναται να χρησιμοποιηθεί επίσης και μετατροπέας του αναλογικού σήματος του μικροφώνου σε ψηφιακό για χρήση από ΗΥ



Εικόνα 27: Εξωτερική USB κάρτα ήχου M- Audio, Fast Track Pro

8.5. Λοιπός εξοπλισμός

8.5.1. Εξαεριστήρας

Στην ιδιοκατασκευή του ικριώματος, που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα καύσης εργαστηριακής κλίμακας, τοποθετήθηκε ο εξαεριστήρας FKSB/4-120/033 με μονοφασικό μοτέρ 220 VAC 4 πόλων και 1400 RPM, της σειράς FKS, της ελληνικής εταιρείας KAFFE. Ο συγκεκριμένος εξαεριστήρας έχει στόμιο αναρρόφησης $\Phi 120$ mm, φτερωτή 160x62 mm και παροχή 900 m³/h. Ο συγκεκριμένος εξαεριστήρας σκοπό είχε να συλλέγει και να αποβάλλει, εκτός του εργαστηρίου, τα εκλυόμενα από την καύση καυσαέρια.



Εικόνα 28: Εξαεριστήρας FKSB/4-120/033

Επίσης χρησιμοποιήθηκε ο διακόπτης, REB-5000W, κατάλληλος για μονοφασικά μοτέρ 1400 στροφών έως 1 HP. Ο διακόπτης διαθέτει ρεοστατική λειτουργία και μπορεί να πραγματοποιήσει όχι μόνο εκκίνηση του κινητήρα αλλά και ρύθμιση στροφών.



Εικόνα 29: Διακόπτης και ρυθμιστής στροφών εξαεριστήρα REB-5000W

8.5.2. Pinneacle video transfer δεδομένων

Για την καταγραφή και απόκτηση αναλογικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Pinneacle video transfer. Πρόκειται για μια συσκευή που έχει τη δυνατότητα καταγραφής σε φορητό αποθηκευτικό μέσο, με σύνδεση USB αναλογικών σημάτων από διάφορες πηγές όπως DVD player, Video recorder, και Video camera. Η καταγραφή γίνεται με τη χρήση video compression format υψηλής ανάλυσης H.264, δηλαδή το MPEG-4 format. Το συγκεκριμένο format συνδυάζεται και με το λειτουργικό πρόγραμμα VideoSpine που διατίθεται από την ίδια εταιρία.



Εικόνα 30: Συσκευή Pinneacle video transfer

8.5.3. Εξωτερική κάρτα Crypto TV4ALL

Επίσης χρησιμοποιήθηκε η συσκευή TV4ALL της εταιρίας Crypto, μια εξωτερική κάρτα βίντεο που μπορεί να συνδεθεί με τηλεόραση ή βιντεοκάμερα και υπολογιστή για αναπαραγωγή και εγγραφή αρχείων βίντεο.



Εικόνα 31: Συσκευή Crypto TV4ALL

Το TV4ALL επιτρέπει την εγγραφή βίντεο αναλογικής εικόνας και ήχου από την βιντεοκάμερα ή άλλες εξωτερικές συσκευές και την μετατροπή του σε ψηφιακή μορφή με το πρόγραμμα HonestechTVR2.5, για χρήση στον υπολογιστή.

8.5.4. Φορητός Μετεωρολογικός Σταθμός

Ένα φορητός μετεωρολογικός σταθμός (Kestrel-4500 thermometer, Nielsen-Kellerman Co, Philadelphia, USA) χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της ταχύτητας των εξερχόμενων καυσαερίων στην εξαγωγή του εξαεριστήρα. Οι δυνατότητες του οργάνου μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν, πυξίδα, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου, βαρομετρική πίεση, υψόμετρο, υγρασία, θερμοκρασία και αρκετές ακόμη μετρήσεις.

8.6. Λειτουργικά προγράμματα

Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, μετά την συλλογή σημάτων και την τοπική αποθήκευση τους στα όργανα πεδίου, είναι απαραίτητη η απεικόνιση των

δεδομένων σε υπολογιστή. Τα περισσότερα από τα όργανα πεδίου συνοδεύονται από δικό τους εξειδικευμένο λειτουργικό, ενώ μερικά είναι συμβατά και με άλλες κοινές εφαρμογές λειτουργικού. Γενικά οι λειτουργίες που καλύπτουν τα λειτουργικά προγράμματα σχετίζονται με την μετατροπή, την επεξεργασία ή την ενίσχυση σήματος. Κάποιες από τις λειτουργίες εκτελούνται πάνω στο όργανο πεδίου (εφόσον υπάρχει η κατάλληλη υπολογιστική ισχύ), ενώ για άλλες απαιτείται η μεταφορά των δεδομένων σε υπολογιστή. Αναλυτικότερα, για την απεικόνιση σε υπολογιστή και την ανάλυση και επεξεργασία των σημάτων, που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω λειτουργικά προγράμματα:

8.6.1. Audacity 1.2.6

Πρόκειται για ένα πρόγραμμα καταγραφής και επεξεργασίας ηχητικών σημάτων με πολλά εργαλεία και δυνατότητες και διατίθεται ελεύθερα στο διαδίκτυο. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι φορητό, επιτρέποντας έτσι την μεταφορά των αρχείων ήχου, μαζί με όλα όσα απαιτούνται για την επεξεργασία και καταγραφή των σημάτων εν κινήσει. Το πρόγραμμα μπορεί να εγκατασταθεί σε USB flash drive, σε iPod, σε φορητό σκληρό δίσκο ή σε ένα CD και να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε υπολογιστή, χωρίς να αφήνει πίσω του προσωπικές πληροφορίες. Κάποιες από τις λειτουργίες του είναι η επεξεργασία ήχων μέσω λειτουργιών Αποκοπής, Αντιγραφής και Επικόλλησης (Cut, Copy, Paste) με απεριόριστη δυνατότητα Αναίρεσης (Undo) και επανάληψης, η ενίσχυση σημάτων, η δυνατότητα μίξης πολλών διαφορετικών καναλιών ήχου και η αφαίρεση θορύβου. Επιπλέον εμπεριέχει λειτουργία μετατροπής αναλογικών δεδομένων από κασέτες και δίσκους σε ψηφιακή μορφή. Τέλος μπορεί να αλλάζει την ταχύτητα ή τον τόνο μιας ηχογράφησης. Το πρόγραμμα διαθέτει σχετικά απλές γραμμές εργαλείων και δυνατότητα preview πριν την εφαρμογή των αλλαγών.

Επίσης μπορεί να ανοίξει και να επεξεργαστεί ηχητικά σήματα σε διάφορα formats, επίσης να εξάγει τις καταγραφές σε αρχεία συμπιεσμένου format ή ασυμπίεστα σε wav format. Επίσης δύναται να εξάγει και να επεξεργαστεί τις ηχητικές καταγραφές από βίντεο αρχεία.

8.6.2. MRU 32 Bit Data Logger

Το λογισμικό MRU-32-bit data logger χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των τιμών μέτρησης του αναλυτή καυσαερίων MRU 1600 V Delta, σε έναν υπολογιστή. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να εισάγονται στο λειτουργικό Office π.χ. MS EXCEL. Επίσης το λειτουργικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση των διαστημάτων δειγματοληψίας του αναλυτή.

8.6.3. Matlab -image processing toolbox

Το Matlab είναι ένα πρόγραμμα με πολλές εφαρμογές στην επεξεργασία σημάτων. Το Image Processing Toolbox του προγράμματος Matlab παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων που περιλαμβάνει αλγορίθμους και εργαλεία γραφικών για την επεξεργασία εικόνας, την ανάλυση, την απεικόνιση, και την ανάπτυξη αλγορίθμων. Υποστηρίζει αρκετούς διαφορετικούς τύπους εικόνας, συμπεριλαμβανομένων των εικόνων υψηλού δυναμικού εύρους, των εικόνων με ανάλυση gigapixel και των τομογραφικών εικόνων. Κάποιες από τις λειτουργίες του είναι η βελτίωση εικόνας, το deblurring εικόνας, η ανίχνευση χαρακτηριστικών, η μείωση του θορύβου, η κατάτμηση εικόνας, οι χωρικές μεταβολές, και η καταγραφή

της εικόνας. Τα εργαλεία του επιτρέπουν την λεπτομερή εξερεύνηση μιας εικόνας, την εξέταση των pixel μιας περιοχής, την ρύθμιση της αντίθεσης, τη δημιουργία καμπύλης ή ιστογράμματος, και τον χειρισμό των περιοχών ενδιαφέροντος (ROIs). Με τους αλγόριθμους της εργαλειοθήκης είναι εφικτή η επαναφορά υποβαθμισμένων εικόνων, ο εντοπισμός και η μέτρηση των χαρακτηριστικών, και η ρύθμιση ισορροπίας χρωμάτων των εικόνων. Πολλές λειτουργίες στην εργαλειοθήκη είναι multithreaded για να επωφεληθούν από τις λειτουργίες των multicore και multiprocessor ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Για τους σκοπούς της υπόψη διατριβής, το Matlab χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των ηχητικών καταγραφών από τα πειράματα καύσης αλλά και την επεξεργασία ψηφιακών εικόνων που εξήχθησαν από τις καταγραφές βίντεο των εν λόγω πειραμάτων. Πιο αναλυτική αναφορά πραγματοποιείται στα παρακάτω κεφάλαια της παρούσας διατριβής.

8.6.4. HonestechTVR2.5

Πρόγραμμα επεξεργασίας βίντεο, με το οποίο δύναται να μεταφερθεί και να επεξεργαστεί βίντεο αναλογικής μορφής από βιντεοκασέτα και βιντεοκάμερα ή να πραγματοποιηθεί εγγραφή από την τηλεόραση και να μετατρέψει το σήμα τους σε ψηφιακό. Το πρόγραμμα μπορεί να υποστηρίζει σήματα με κωδικοποίηση NTSC/PAL, αναπαραγωγή από πολλαπλά κανάλια ήχου (MTS).

8.6.5. VLC media player

Το VLC είναι ένα πρόγραμμα αναπαραγωγής αρχείων πολυμέσων, κωδικοποιητής, και streamer υποστηρίζοντας πολλά codec ήχου και βίντεο. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα υποστηρίζει ακόμα την αναπαραγωγή DVDs, VCDs, και διάφορα πρωτόκολλα streaming. Είναι ικανό να κάνει stream πάνω από δίκτυα, να επανακωδικοποιεί αρχεία πολυμέσων και να τα αποθηκεύει σε διάφορες μορφές. Ένα εργαλείο ενδιαφέροντος του υπόψη λογισμικού χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για τους σκοπούς της υπόψη διατριβής. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η δυνατότητα δειγματοληψίας ψηφιακών εικόνων των βίντεο αρχείων από τις καταγραφές των πειραμάτων καύσης.

8.6.6. MS chemstation

Το MS chemstation είναι το λειτουργικό που υποστηρίζει την απόκτηση και επεξεργασία δεδομένων καθώς και την δημιουργία εκθέσεων του Mass Spectrometer Detector (MSD) της HP. Το ChemStation απλοποιεί την αναλυτική διαδικασία από την εισαγωγή του δείγματος έως την τελική έκθεση και παρέχει τα εργαλεία που χρειάζονται για να βελτιωθεί η παραγωγικότητα του εργαστηρίου.

Βιβλιογραφία:**Εγχειρίδια Κατασκευαστών**

AKG C391B & CK91 Cardioid capsule manual
AKG SE 300 B pre-amplifier manual
Anagas CD 98 plus manual
FLIR T360 Getting Started Guide
FLIR vsr-6 Getting Started Guide
GANZ ZC-Y12 manual
MRU Delta 1600 exhaust gas analyzer manual
HP 5972 MSD manual
Pinnacle Video Transfer manual
ProRae datalogging manual
QRAE PLUS manual
TV 4ALL manual
Kestrel 4500 manual

Βιβλιογραφικές Αναφορές για το όργανο PSS-MS:

Statheropoulos M., Kyriakou S., Pappa A., Repetitive pulsed sampling interface for combined thermogravimetry/mass spectrometry, *Thermochimica Acta* 329 (1999) 83-88

Statheropoulos M., Kyriakou S., Tzamtzis N., Performance evaluation of a TG/MS system, *Thermochimica Acta* 322 (1998), 167-173

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://www.akg.com/site/products/powerslave.id,231,tmpnodeid,2, language,EN, pid,231.html>

<http://www.akg.com/site/products/powerslave.id,230,pid,230,nodeid,2, language, EN.html>

<http://audacity.sourceforge.net/manual-1.2/>

http://wiki.audacityteam.org/wiki/Audacity_Wiki_Home_Page

<http://en.wikipedia.org/wiki/Audacity>

<http://el.wikipedia.org/wiki/Audacity>

<http://honestechtvr2-5.software.informer.com/>

http://en.wikipedia.org/wiki/VLC_media_player

<http://www.chem.agilent.com/en-US/Support/FAQs/MS/Software/MS-ChemStation/Pages/default.aspx>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

9.1. Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η διάταξη και η μεθοδολογία πραγματοποίησης των πειραμάτων που εκτελέστηκαν στο εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ καθώς και η μεθοδολογία και οι αρχές της ανάλυσης, των δεδομένων που ανακτήθηκαν κατά την διάρκεια αυτών των πειραμάτων. Να σημειωθεί επίσης, ότι οι όλες οι ιδιοκατασκευές που περιγράφονται παρακάτω σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν από τον υπογράφο, με βάση τις πειραματικές ανάγκες που προέκυπταν στην πορεία υλοποίησης του πειραματικού μέρους της παρούσας διατριβής.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα από τρεις σειρές πειραμάτων και τα οποία αποτελούν τα τελικά πειράματα της υπόψη εργασίας. Πιο συγκεκριμένα:

α. Στο 10^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειράματα καύσης στο εργαστήριο που αφορούσαν στην απευθείας παρακολούθηση, αλλά και την παρακολούθηση με την παρεμβολή εμποδίων. Στα πειράματα αυτά μελετήθηκε, στο οριζόντιο επίπεδο, η καύση ενός υλικού, του βαμβακερού υφάσματος, σε διαφορετικές συνθήκες μακροσκοπικής παρατήρησης. Πιο συγκεκριμένα στην παρακολούθηση με την παρεμβολή εμποδίων τοποθετήθηκαν κάθετα ελάσματα, έτσι ώστε τα ακουστικά και τα οπτικά σήματα να λαμβάνονται από τους αντίστοιχους αισθητήρες από ανάκλαση και όχι με απευθείας παρατήρηση της πηγής εκπομπής αυτών σημάτων.

β. Στο 11^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειράματα καύσης στο εργαστήριο που αφορούσαν στην παρακολούθηση της καύσης τριών διαφορετικών κοινών υλικών. Τα υλικά αυτά ήταν το βαμβακερό ύφασμα, το λευκό χαρτί εκτύπωσης και αποξηραμένο ξύλο δρυς. Η εστία καύσης των υλικών αυτών βρισκόταν υπό κλίση 30°. Η καύση των διαφορετικών αυτών υλικών πραγματοποιήθηκε με τις ίδιες συνθήκες για όλα τα υλικά. Στην ανάλυση των δεδομένων αυτών των πειραμάτων εφαρμόστηκαν βελτιωμένες τεχνικές και αλγόριθμοι σε σχέση με την προηγούμενη σειρά πειραμάτων. Επίσης, εφαρμόστηκαν και τεχνικές μοντελοποίησης προκειμένου να εντοπιστούν μοναδικά χαρακτηριστικά από την καύση του κάθε υλικού.

γ. Στο 12^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πείραμα καύσης που πραγματοποιήθηκε στο ανοιχτό πεδίο. Το πείραμα αυτό περιελάμβανε καύση δασικής ύλης σε μεγάλη κλίμακα και εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο, με τις ελεγχόμενες και σε μικρή κλίμακα φωτιές στα πλαίσια της υπόψη διατριβής. Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στο πεδίο, με πραγματικές και ακραίες

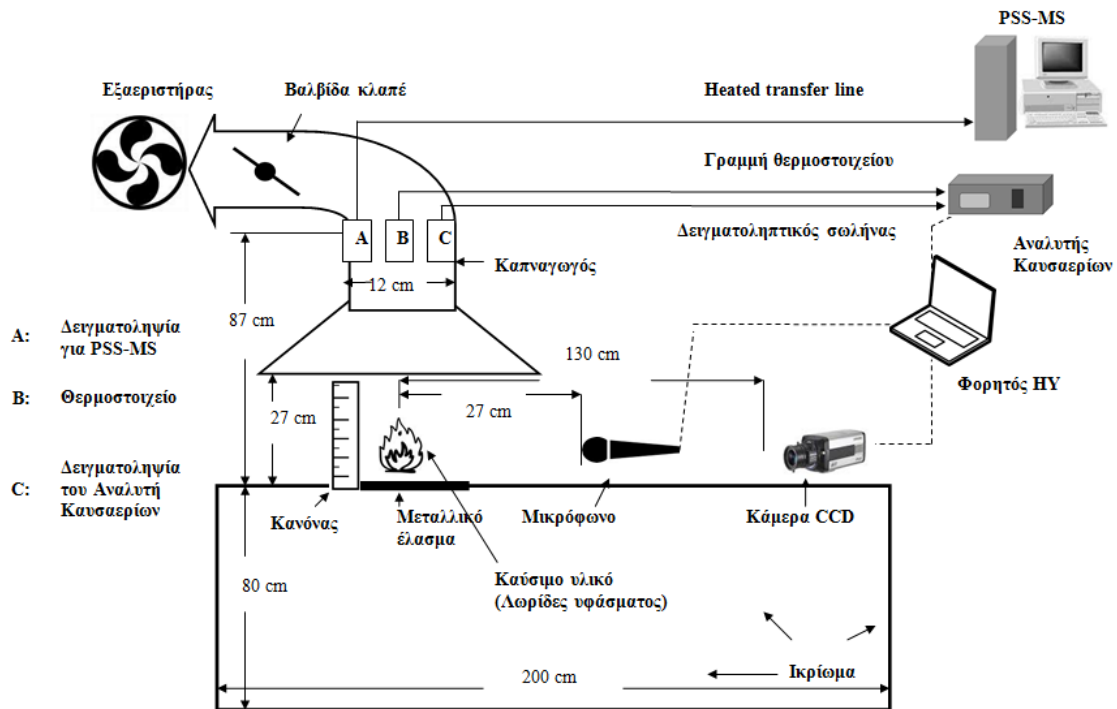
συνθήκες πραγματοποιώντας την παρατήρηση της καύσης δασικής ύλης μεγάλης κλίμακας. Επίσης, η παρατήρηση πραγματοποιήθηκε με διαφορετικούς αισθητήρες απ' αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο. Δηλαδή η οπτική ανάλυση βασίστηκε στα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την θερμογραφική κάμερα, στο υπέρυθρο φάσμα, αντί του οπτικού φάσματος που έγινε στο εργαστήριο με τον αισθητήρα CCD. Επίσης, η χημική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τον αναλυτή καυσαερίων MRU Delta 1600V, αντί του PSS-MS που έγινε στο εργαστήριο.

9.2. Πειραματική Διάταξη

Χρησιμοποιήθηκε η πειραματική διάταξη για την συνδυασμένη καταγραφή χημικών, ακουστικών και οπτικών σημάτων σε ελεγχόμενη, εργαστηριακής κλίμακας φωτιά που φαίνεται στο διάγραμμα 9.1 και στις εικόνες 32 και 36. Η βάση της πειραματικής διάταξης ουσιαστικά αποτελεί, μία ιδιοκατασκευή ενός ικριώματος. Ο λόγος που επέβαλε αυτή την κατασκευή, ήταν το γεγονός ότι όλα τα πειράματα θα έπρεπε να πραγματοποιηθούν με την χρήση του PSS-MS αφενός και αφετέρου, η δημιουργία πειραματικών εργαστηριακών συνθηκών που να προσομοιάζουν με τις συνθήκες πεδίου, κατά το δυνατόν. Το όργανο PSS-MS είναι εργαστηριακό, συνεπώς οποιαδήποτε μετακίνηση δεν θα ήταν εφικτή. Επομένως, όλη η πειραματική διάταξη κατασκευάστηκε γύρω από το PSS-MS, εντός του χώρου του εργαστηρίου.

Το εν λόγω ικριώμα κατασκευάστηκε από κυλινδρική επιχρωμιωμένη σιδεροσωλήνα. Όλα τα υλικά του ικριώματος (σωλήνες, σύνδεσμοι, διάτρητα ελάσματα, βάσεις και βραχίονες στήριξης) αγοράστηκαν από το κατάστημα Organizer Stores. Οι σωλήνες έχουν τυποποιημένη εξωτερική διατομή 25 mm και μήκος 3 m. Τα κοψίματα του σωλήνα αυτού πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια ενός κόφτη σωλήνων, που προσέφερε μεγάλη ευκολία και ακρίβεια στα κοψίματα. Το ικριώμα αποτελείται από τμήματα σωλήνων μήκους 80 cm και 100 cm. Τα τμήματα μήκους 80 cm χρησιμοποιήθηκαν στο πλάτος και το ύψος της κατασκευής ενώ τα τμήματα μήκους 100 cm είναι όλα τα υπόλοιπα τμήματα.

Ο συλλέκτης και απαγωγός των καυσαερίων αποτελεί μία ειδική κατασκευή από γαλβανισμένη λαμαρίνα που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο λευκοσιδηρουργίας των Ανδρέα & Φραγκίσκου Μπάλλα στο Πειραιά, όπως φαίνεται στην εικόνα 32. Σε δοκιμές και προπαρασκευαστικά πειράματα χρησιμοποιήθηκαν άλλοι συλλέκτες καυσαερίων, με μη ικανοποιητικά, όμως, αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, προέκυπταν σοβαρά θέματα που άπτονταν της ασφάλειας των ερευνητών αλλά και λειτουργικά ζητήματα στην εκτέλεση των πειραμάτων. Οπότε αναζητήθηκε μία ειδικότερη κατασκευή για την αποτελεσματική συλλογή και την απαγωγή των καυσαερίων. Πραγματοποιήθηκαν αρκετές επισκέψεις σε διάφορα εργαστήρια λευκοσιδηρουργίας σε Αθήνα και Πειραιά. Τελικά, σε συνεργασία με τον κ. Α. Μπάλλα υλοποιήθηκε η ανωτέρω κατασκευή, που στην πράξη αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική και χρηστική στην συλλογή και απαγωγή των καυσαερίων που παράγονταν στην διάρκεια των πειραμάτων καύσης.



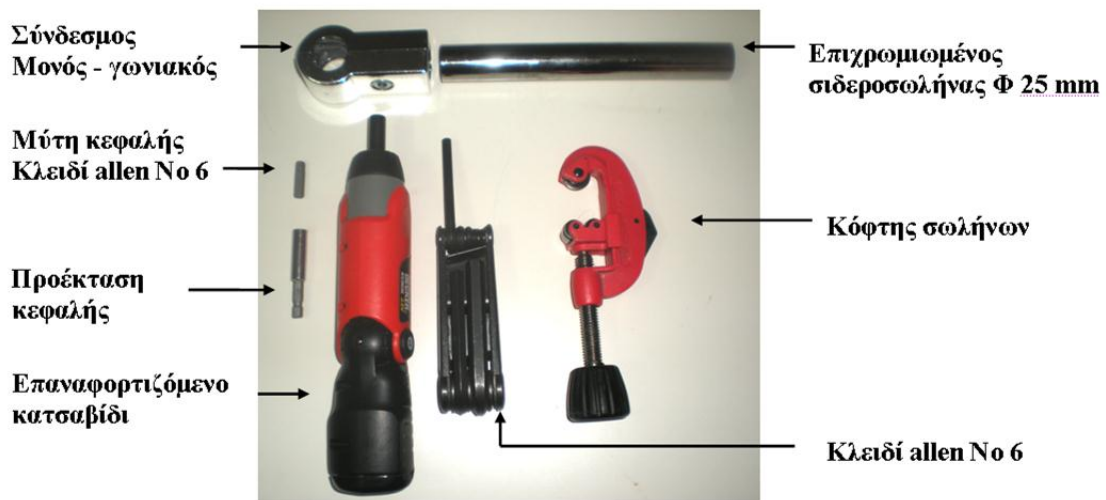
Διάγραμμα 9.1: Πειραματική Διάταξη

Τα διάφορα μεταλλικά ελάσματα, οι εύκαμπτοι αλουμινένιοι σωλήνες (Φ 120 mm) και σύνδεσμοι, που χρησιμοποιήθηκαν για την απαγωγή των καυσαερίων αγοράστηκαν από διάφορα εξειδικευμένα καταστήματα. Η όλη κατασκευή δύναται να συναρμολογηθεί και να αποσυναρμολογηθεί, με σχετική ευκολία, σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα, με ελάχιστα εργαλεία, από ένα μόνο άτομο και χωρίς να υπάρχει απαίτηση τεχνικών δεξιοτήτων. Ο λόγος που σχεδιάστηκε έτσι το ικρίωμα είναι για να υπάρχει η δυνατότητα της εύκολης μεταφοράς, συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης, σε οποιοδήποτε χώρο από οποιοδήποτε μέλος της ερευνητικής ομάδας FIACTU (Field Analytical Chemical & Technical Unit) του ΕΜΠ. Επίσης, το ικρίωμα δύναται να λάβει διάφορες μορφές καθώς η προσθαφαίρεση τμημάτων, σωλήνων και εξαρτημάτων γίνεται με μεγάλη ευκολία. Επίσης, σημαντικό ρόλο στην ευκολία διαμόρφωσης της μορφής του ικρίωματος έπαιξε το γεγονός ότι οι σωλήνες κόβονται με μεγάλη ακρίβεια και ευκολία μ' ένα κόφτη σωλήνων (εικόνα 33).



Εικόνα 32: Μερική όψη της πειραματικής διάταξης, όπου εμφανίζεται ο απαγωγός καυσαερίων, το καύσιμο υλικό και μέρος του PSS-MS καθώς και ο τριχοειδής δειγματοληπτικός σωλήνας του οργάνου

Επίσης οι σύνδεσμοι και τα εξαρτήματα στήριξης που συνοδεύουν την όλη κατασκευή είναι σχετικά καλής ποιότητας και αντοχής μ' αποτέλεσμα η τελική κατασκευή να είναι σταθερή και χρηστική.

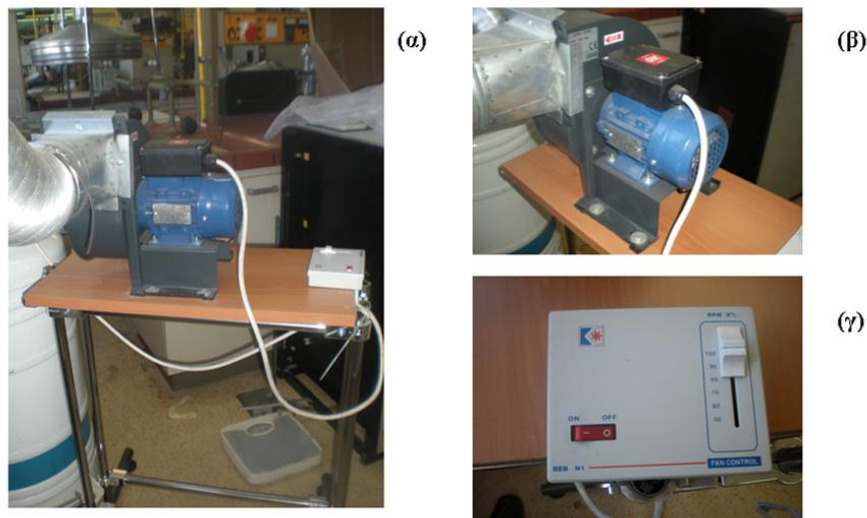


Εικόνα 33: Τα εργαλεία και τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στο κριώμα

9.3. Όργανα και Συσκευές

Η καύση των υλικών έλαβε χώρα πάνω σ' ένα μεταλλικό έλασμα, το οποίο ήταν τοποθετημένο στην άνω πλευρά ενός μεταλλικού κριώματος. Ακριβώς πάνω από την περιοχή καύσης βρισκόταν ένας μεταλλικός καπναγωγός. Για την συλλογή και απαγωγή των αερίων της καύσης χρησιμοποιήθηκε ένας ηλεκτρικός εξαεριστήρας (ελληνικής κατασκευής, KAFFE FKSB/4-120/025, μέγιστη ροή απαγωγής $450 \text{ m}^3/\text{h}$, max 1400 rpm, ελεγχόμενος από τον διακόπτη λειτουργίας και ρύθμισης αριθμού στροφών REB 5000W) συνδεδεμένος σε σειρά με τον καπναγωγό, διαμέτρου $\Phi 120$, όπως φαίνεται στην εικόνα 34. Επιπλέον, η ταχύτητα ροής των καυσαερίων ρυθμιζόταν με μία βαλβίδα (τύπου κλαπέ) στην εισαγωγή του εξαεριστήρα, η οποία

είναι μία ιδιοκατασκευή. Επίσης, η βάση έδρασης του εξαεριστήρα (ιδιοκατασκευή) κατασκευάστηκε από υλικά που αγοράστηκαν από το Organizer Stores (σωλήνες, σύνδεσμοι και ξύλινη πλάκα έδρασης – μελαμίνη πάχους 16 mm). Επιπλέον να σημειωθεί ότι, δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στην αποφυγή κραδασμών και της δημιουργίας θορύβου από τον εξαεριστήρα. Πιο συγκεκριμένα πέρα από την ξύλινη πλάκα έδρασης, χρησιμοποιήθηκε ελαστικό παρέμβλημα στην έδραση του εξαεριστήρα για την απορρόφηση των κραδασμών αλλά και ρυθμιστικά ύψους στα πόδια της βάσης του εξαεριστήρα. Μετά από αρκετές δοκιμές και ρυθμίσεις (ύψος, αριθμός στροφών και θέση της ρυθμιστικής βαλβίδας) οι κραδασμοί σχεδόν εκμηδενίστηκαν και το επίπεδο θορύβου από την λειτουργία του εξαεριστήρα ρυθμίστηκε σ' ένα ικανοποιητικό και σταθερό επίπεδο.



Εικόνα 34: Ο ηλεκτρικός εξαεριστήρας, ο διακόπτης ελέγχου, η βάση στήριξης καθώς και οι εύκαμπτοι καπναγωγοί

Εντός του καπναγωγού είχε εισαχθεί (στο σημείο C) δειγματοληπτικός σωλήνας του αναλυτή καυσαερίων (MRU Delta 1600) που είχε χημικούς αισθητήρες για CO_2 , CO , O_2 , NO και C_3H_8 και χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση των συγκεντρώσεων αυτών των αερίων που παράγονταν κατά την διαδικασία της καύσης. Ο δειγματοληπτικός σωλήνας του οργάνου αυτού ήταν συνδεδεμένος μ' ένα φίλτρο που παρεμπόδιζε την μόλυνση του οργάνου από τα σωματίδια και την πίσσα του καπνού. Επίσης, το όργανο διέθετε και ένα θερμοστοιχείο (στο σημείο B), το οποίο εισέρχονταν στον καπναγωγό στο ίδιο περίπου σημείο με τον δειγματοληπτικό σωλήνα και χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας των παραγόμενων από την καύση αερίων. Η καταγραφή των μέσων τιμών, σ' ένα φορητό Η/Υ, γίνονταν ανά 7 s για όλη την διάρκεια του πειράματος.

Στα τελικά πειράματα της παρούσης διατριβής χρησιμοποιήθηκε το φασματόμετρο μάζας (Mass Spectrometer - MS) του εργαστηρίου Αναλυτικής Χημείας του ΕΜΠ. Το φασματόμετρο αυτό είναι ένα εμπορικό Hewlett Packard quadrupole Mass Spectrometric Detector (MSD), τεχνικές λεπτομέρειες και χαρακτηριστικά αναφέρονται διεξοδικά στο αντίστοιχο κεφάλαιο της παρούσης διατριβής. Επίσης, το συγκεκριμένο όργανο είναι εξοπλισμένο μ' ένα σύστημα δειγματοληψίας που αναπτύχθηκε από το προσωπικό του εν λόγω εργαστηρίου.

Σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές για το συγκεκριμένο σύστημα δειγματοληψίας δίνονται στην βιβλιογραφία αυτού του κεφαλαίου.

Πιο συγκεκριμένα, το εν λόγω σύστημα είναι ένα παλμικό δειγματοληπτικό σύστημα (Pulsed Sampling System - PSS) το οποίο επιτρέπει την αέρια δειγματοληψία από ένα οξειδωτικό ή βαριά μολυσμένο περιβάλλον, έτσι ώστε, το ατμοσφαιρικό O_2 ή ο (οι) μολυσματικός (-οι) παράγοντας (-ες) να έχει (-ουν) την ελάχιστη επίδραση στην πηγή ιονισμού και στον αναλυτή του οργάνου MS. Αυτό επιτυγχάνεται, με την λειτουργία μίας πνευματικής βαλβίδας που επιτρέπει την περιοδική λήψη αέριων δειγμάτων ενώ στον ενδιάμεσο χρόνο μεταξύ των δειγματοληψιών διοχετεύεται αδρανές αέριο (άζωτο). Η καινοτόμος χρήση του PSS, μεταξύ άλλων πλεονεκτημάτων, επιτρέπει την δειγματοληψία μίας ευρείας ποικιλίας πτητικών οργανικών ενώσεων (Volatile Organic Compounds – VOCs) με σημεία βρασμού μέχρι τους $214^\circ C$, σ' αντίθεση με την καθιερωμένη δειγματοληψία μέσω μεμβράνης που χαρακτηρίζεται από πιο αργή και επιλεκτική δειγματοληψία. Αυτή η ιδιότητα του PSS-MS δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την, σχετικά, πραγματικού χρόνου παρακολούθηση ταχέως μεταβαλλόμενων συγκεντρώσεων VOCs. Οι αναλυτικές δυνατότητες του PSS έχουν παρουσιασθεί στην προαναφερόμενη βιβλιογραφική αναφορά. Επίσης να αναφερθεί ότι ο τριχοειδής σωλήνας (heated transfer line) που χρησιμοποιήθηκε για την μεταφορά των αέριων δειγμάτων ήταν μήκους 2.15 m (uncoated fused silica) εσωτερικής διαμέτρου 0.15 mm (Varian, USA). Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάκτηση δεδομένων (data acquisition) ήταν το HP Chemstation.

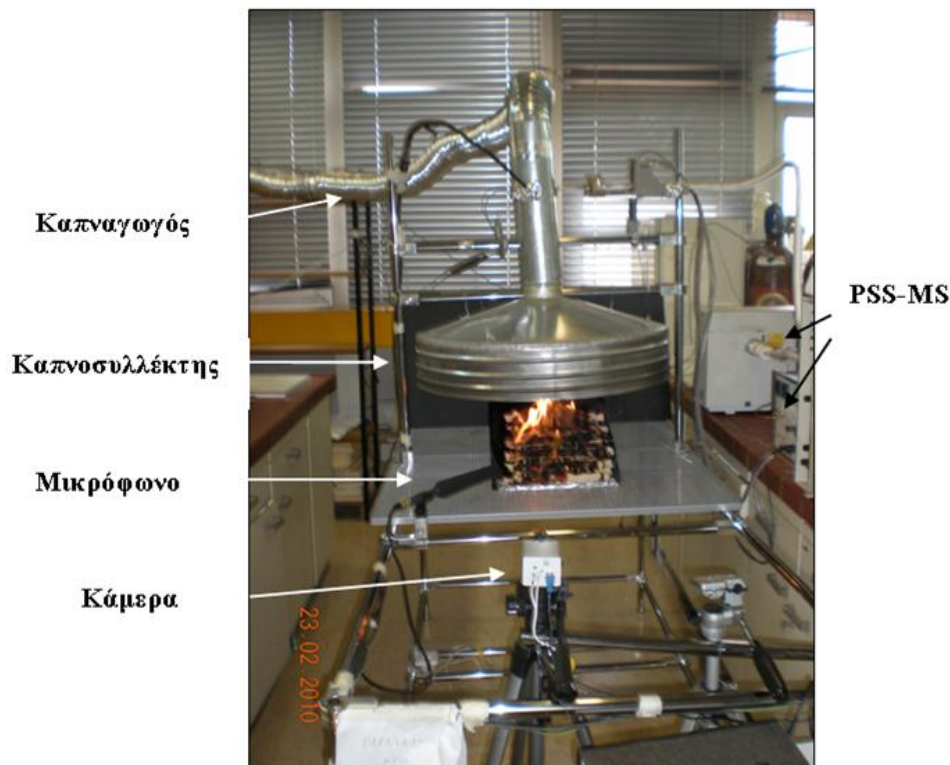
Το σημείο δειγματοληψίας του PSS-MS στον καπναγωγό εμφανίζεται ως το σημείο A στο διάγραμμα 1. Ένας γυάλινος σωληνίσκος εσωτερικής διαμέτρου 8 mm και μήκους 15 cm εισχώρησε εντός του καπναγωγού και προσαρμόστηκε στο PSS μέσω ενός άλλου σωληνίσκου κατασκευασμένου από τεφλόν. Ένα μικροφίλτρο με γυάλινες ίνες, διαμέτρου 47 mm (Whatman Glass Microfibre Filters) τοποθετήθηκε στο άκρο δειγματοληψίας του PSS-MS για την συγκράτηση των σωματιδίων που παράγονται από την καύση για την αποφυγή της μόλυνσης του αναλυτικού συστήματος.



Εικόνα 35: Λεπτομέρειες επί της πειραματικής διάταξης (τα σημεία A, B και C είναι τα αυτά, ως εμφανίζονται στο διάγραμμα 1)

Μία κάμερα επιτήρησης εσωτερικών χώρων GANZ ZC-Y12PH5 χρησιμοποιήθηκε για την οπτική παρακολούθηση της φωτιάς και η οποία ήταν συνδεδεμένη με μία external TV USB card (crypto TV4all) για την πραγματοποίηση της μετατροπής των αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά. Το Honestech TVR2.5 software χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή του video σ' ένα φορητό Η/Υ. Το video καταγράφονταν σε MPEG-1 format. Η κάμερα ήταν τοποθετημένη σε σταθερή απόσταση, από το κέντρο του μεταλλικού ελάσματος της καύσης.

Ένα AKG C391B condenser/shot gun Microphone - SE300 pre-amp και CK91 Cardioid capsule combination χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση των ακουστικών σημάτων και ήταν συνδεδεμένο με μία fast track pro external USB sound card, για την μετατροπή των αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά. Το μικρόφωνο ήταν τοποθετημένο σε μία κοντινή, αλλά ασφαλή απόσταση, από το κέντρο της περιοχής καύσης, έτσι ώστε να είναι εστιασμένο στην περιοχή καύσης αλλά και στο καύσιμο υλικό. Το Audacity 1.2.6 software χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των ακουστικών σημάτων σ' ένα φορητό Η/Υ. Ο ήχος καταγράφονταν σε 16 bit format με sampling rate 22500 Hz. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε ανοιχτό χώρο του εργαστηρίου, λόγω μη ύπαρξης κατάλληλου θαλάμου χωρίς ηχώ (anechoic chamber). Στο χώρο αυτό ο υφιστάμενος θόρυβος (ακουστικό background) προέρχονταν από τη λειτουργία ανεμιστήρων, εξαεριστήρων και πνευματικών βαλβίδων αναλυτικών οργάνων.



Εικόνα 36: Γενική όψη του ικριώματος, όπου φαίνεται η θέση δειγματοληψιών και αισθητήρων



Εικόνα 37: Ο υπόλοιπος πειραματικός εξοπλισμός (φορητός ΗΥ, εξωτερικές κάρτες ήχου και εικόνας και ο αναλυτής καυσαερίων)

9.4. Πειραματικό Πρωτόκολλο

Σ' όλη την διάρκεια του πειραματικού σχεδιασμού αλλά, ακόμη περισσότερο στην διεξαγωγή των πειραμάτων καύσης είχε ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα, για την αποφυγή οποιουδήποτε ατυχήματος και είχαν παρθεί όλα τα μέτρα προστασίας των ερευνητών. Επίσης, παρά το γεγονός ότι η φωτιά αποτελεί μία διαδικασία στην οποία υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες, κατεβλήθη σημαντική προσπάθεια για την τυποποίηση των ανωτέρω πειραμάτων. Η καύση των υλικών έλαβε χώρα κάτω από ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες, με σκοπό, να καταστεί όσο τον δυνατόν, εφικτή η επαναληψιμότητα των πειραμάτων. Επίσης, κατεβλήθη σημαντική προσπάθεια ώστε οι πειραματικές συνθήκες καύσης να προσομοιάζουν αυτές του πεδίου εσωτερικών χώρων. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε μία σταθερή ποσότητα και διάταξη των καύσιμων υλικών, τα όργανα είχαν τοποθετηθεί σε σταθερές θέσεις (βλέπε διάγραμμα 1 και εικόνα 36), ήταν συγχρονισμένα, καθώς επίσης σταθερές ήταν η ταχύτητα ροής των αερίων εντός του καπναγωγού και η χρονική διάρκεια των πειραμάτων.

Πιο συγκεκριμένα η ταχύτητα ροής των καυσαερίων εντός του καπναγωγού ρυθμίστηκε και έμεινε σταθερή, σ' όλη την διάρκεια του πειραματικού χρόνου, στα 1,4 m/sec. Η τιμή αυτή καθορίστηκε μετά από μία σειρά πειραματικών δοκιμών που διεξήχθησαν στο εργαστήριο. Ο σκοπός των δοκιμών ήταν να εντοπιστεί η βέλτιστη εκείνη ταχύτητα των καυσαερίων, εντός του καπναγωγού, που να εξασφαλίζει την ικανοποιητική απαγωγή των καυσαερίων που παράγονται από την διεξαγωγή των πειραμάτων καύσης αλλά και να ελαχιστοποιηθεί ο αναρροφούμενος ατμοσφαιρικός αέρας από το περιβάλλον του εργαστηρίου.

Επίσης, υπολογίστηκε και ο αριθμός Reynolds της ροής, εντός του καπναγωγού σ' όλο το θερμοκρασιακό εύρος που είχαν τα καυσαέρια εντός του αγωγού και διαπιστώθηκε ότι, σε κάθε περίπτωση η ροή εντός των καυσαερίων εντός του καπναγωγού ήταν τυρβώδης ($R > 4000$).

Ο πειραματικός χρόνος διεξαγωγής των πειραμάτων καθορίστηκε να είναι συνολικά 14 πρώτα λεπτά (min). Ειδικότερα, κατά την έναρξη του πειραματικού

χρόνου (χρόνος 0 min) όλοι οι αισθητήρες ξεκινούσαν τις καταγραφές. Η αφή της φλόγας γινόταν στον χρόνο 2 min. Το κάθε πείραμα ολοκληρωνόταν στο χρόνο 14 min. Οι καταγραφές των αισθητήρων για το χρονικό διάστημα από 0 έως 2 min χρησίμευσαν για την καταγραφή του υπόβαθρου (background) του κάθε πειράματος.

9.5. Επεξεργασία Δεδομένων – Μεθοδολογία

9.5.1. Υπηρεσία Central Cloud του ΕΜΠ

Κατά την επεξεργασία των ακουστικών και ηχητικών σημάτων χρησιμοποιήθηκε η Υπηρεσία Central Cloud του ΕΜΠ. Πιο συγκεκριμένα, το Κέντρο Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (ΚΗΥ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου προσφέρει την υπηρεσία Central Cloud. Η υπηρεσία αυτή αφορά στη διάθεση υπολογιστικών και αποθηκευτικών πόρων, εφαρμογών και δεδομένων μέσω του διαδικτύου. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της παροχής προσωποποιημένης και ασφαλούς πρόσβασης των χρηστών στο ενοποιημένο περιβάλλον (Central [CloudFront](#)).

Στο περιβάλλον του Central CloudFront γίνονταν η πρόσβαση στο λογισμικό Matlab του ΕΜΠ για την επεξεργασία των ακουστικών και ηχητικών σημάτων που καταγράφηκαν στην διάρκεια των ανωτέρω πειραμάτων.

9.5.1.1. Υπηρεσία Cloud Storage του ΕΜΠ

Ο όρος Cloud Storage αναφέρεται στον αποθηκευτικό χώρο, που αναλογεί στον χρήστη του Central [CloudFront](#) στις υποδομές υψηλής διαθεσιμότητας του Κέντρου Ηλεκτρονικών Υπολογιστών. Τα δεδομένα που ο χρήστης θέλει να επεξεργαστεί στο Central Cloud πρέπει πρώτα να μεταφερθούν από τον προσωπικό υπολογιστή του χρήστη στο Cloud Storage. Επίσης, ισχύει και το αντίστροφο, δεδομένα που προέκυψαν από τις επεξεργασίες του χρήστη στο Central Cloud μπορούν να μεταφερθούν από το Cloud Storage στον προσωπικό υπολογιστή του χρήστη. Η μετακίνηση δεδομένων από και προς το Cloud Storage είναι δυνατή μόνο μέσα στο δίκτυο του ΕΜΠ. Στην περίπτωση που ο υπολογιστής του χρήστη δεν βρίσκεται μέσα στο δίκτυο του ΕΜΠ είναι απαραίτητο να γίνει χρήση της υπηρεσίας VPN (Virtual Private Networks) που προσφέρεται από το Κέντρο Δικτύων του ΕΜΠ. Η υπηρεσία αυτή αφορά στην δυνατότητα πρόσβασης μέσω εικονικού ιδιωτικού δικτύου VPN, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (OpenVPN), στους χρήστες του ΕΜΠ που συνδέονται στο διαδίκτυο μέσω τρίτων δικτύων προκειμένου να αποκτήσουν πρόσβαση με ασφαλή τρόπο στο δίκτυο του ιδρύματος και στις υπηρεσίες του. Επίσης απαραίτητη προϋπόθεση για την χρήση της υπηρεσίας Cloud Storage είναι η αποθήκευση στον υπολογιστή του χρήστη το εκτελέσιμο αρχείο `pscp.exe`.

9.5.2. Επεξεργασία Εικόνας

Για την επεξεργασία εικόνας στα ανωτέρω πειράματα ακολουθήθηκε μία μεθοδολογία, η οποία βασίστηκε στην αρχή ότι η ληφθείσα πληροφορία από το video θα πρέπει να μετατραπεί σ' ένα μετρήσιμο μέγεθος, που θα διευκόλυne τις συσχετίσεις με τις χημικές και τις ακουστικές καταγραφές και αναλύσεις. Μία σειρά από στιγμιότυπα (120 ψηφιακές φωτογραφίες – bitmaps με ανάλυση 320 X 240 pixels, .jpg format) συλλέχτηκαν από την δειγματοληψία του video και οι οποίες καλύπτουν όλη την χρονική διάρκεια του κάθε πειράματος. Τα στιγμιότυπα αυτά αντιστοιχούν στις χρονικές στιγμές καταγραφής των μέσων τιμών του χημικού

αναλυτή αερίων και στις χρονικές εκείνες στιγμές που το PSS-MS έκανε δειγματοληψία. Το διάστημα αυτό ήταν κάθε 7 δευτερόλεπτα (sec). Η λήψη των στιγμιότυπων αρχικά έγινε με την χρήση του λογισμικού VLC media player. Στη συνέχεια έγινε μία προσπάθεια η λήψη των στιγμιότυπων να γίνεται αυτοματοποιημένα με την ανάπτυξη ενός αλγορίθμου στο Matlab του ΕΜΠ χωρίς επιτυχία. Ο λόγος ήταν ότι δεν υπήρχε η δυνατότητα του video streaming στο Matlab του ΕΜΠ, παρά τις προσπάθειες που καταβλήθηκαν από το αρμόδιο τμήμα του ΕΜΠ και της εταιρείας Mentor Hellas. Οπότε, σ' όλα τα πειράματα η δειγματοληψία των 120 στιγμιότυπων του κάθε πειράματος έγινε με τον προαναφερόμενο τρόπο. Στη συνέχεια για τα στιγμιότυπα από κάθε πείραμα πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή τους στο Matlab ως αρχεία jpg.

Παρακάτω δίδεται η διαδικασία βήμα - βήμα που ακολουθήθηκε για την εισαγωγή αρχείων εικόνας και η αρχική τους επεξεργασία στο Matlab στο Central ClouFront του ΕΜΠ.

Μετατροπή αρχείου εικόνας σε τρία αρχεία ascii (txt) που αντιστοιχούν στις τιμές RGB

1. Έστω ότι η εικόνα που θέλουμε να επεξεργαστούμε είναι η "image1.jpg" (χωρίς κενά)
2. Αποθηκεύουμε την εικόνα image1.jpg στο C:\
3. Εισαγωγή στο <https://cloudfront.central.ntua.gr/>
4. Click "wiki"
5. Επιλογή "RecentChanges"
6. Επιλογή "CloudStorage"
7. Click "pscp" για να κατεβάσουμε το πρόγραμμα pscp.exe
8. Το αποθηκεύουμε στο φάκελο: C:\Windows\
9. Click windows toolbar "Start" και μετά "Run"
10. Γράφουμε "cmd" και πατάμε enter [ανοίγει παράθυρο DOS]
11. Γράφουμε "cd\" και πατάμε enter
12. Γράφουμε "pscp image1.jpg USERNAME@cloudstorage.central.ntua.gr:" και πατάμε enter
13. Γράφουμε το password & enter, έτσι αποθηκεύεται η εικόνα μας στο server
14. Γράφουμε exit & enter για να κλείσει το παράθυρο του DOS
15. Επιστρέφουμε στο παράθυρο του cloudfront
16. Επιλέγουμε στο αριστερό μενού «Μαθηματικά πακέτα» (βέλος)
17. Επιλέγουμε Matlab
18. Ανοίγει το παράθυρο του Matlab και αριστερά φαίνεται το αρχείο της εικόνας image1.bmp που ανεβάσαμε
19. Κάνουμε drag το αρχείο στο Command Window (κεντρικό παράθυρο)
20. Πατάμε finish
21. Γράφουμε στο Command Window την εντολή:
 - a. image1R = image1(1:240, 1:320, 1)
 - b. image1G = image1(1:240, 1:320, 2)
 - c. image1B = image1(1:240, 1:320, 3)
22. Γράφουμε στο Command Window την εντολή
 - a. dlmwrite('image1R.txt', image1R)
 - b. dlmwrite('image1G.txt', image1G)
 - c. dlmwrite('image1B.txt', image1B)
23. Click windows toolbar "Start" και μετά "Run"
24. Γράφουμε "cmd" και πατάμε enter [ανοίγει παράθυρο DOS]
25. Γράφουμε "cd\" και πατάμε enter

26. Γράφουμε

“pscp USERNAME@cloudstorage.central.ntua.gr:image1R.txt image1R.txt” και πατάμε enter

27. Γράφουμε το password & enter, έτσι αποθηκεύεται το αρχείο image1R.txt στον τοπικό δίσκο

Στην περίπτωση των εφαρμογών που εξετάζει η παρούσα διατριβή η εισαγωγή εικόνων γινόταν σε φάκελο αρχείων φωτογραφίας, προκειμένου να συντομευθεί και να απλοποιηθεί η διαδικασία. Ειδικότερα, όλα τα στιγμιότυπα (120) του κάθε πειράματος αποθηκεύονταν σ’ ένα φάκελο και στη συνέχεια γινόταν εισαγωγή στο Cloud Storage. Τα βήματα ήταν ακριβώς τα ίδια με μόνη διαφορά την παρακάτω διαφοροποίηση για την εισαγωγή στο Cloud Storage του βήματος Νο 12, δηλαδή:

12. Γράφουμε “pscp -r myfile USERNAME@cloudstorage.central.ntua.gr:” και πατάμε enter

Ενώ για την εξαγωγή από το Cloud Storage γινόταν μια μικρή διαφοροποίηση στο βήμα Νο26, δηλαδή:

1. Γράφουμε

“pscp -r USERNAME@cloudstorage.central.ntua.gr:myfile myfile” και πατάμε enter

Επίσης στην παρακάτω Εικόνα 38 εμφανίζεται και ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των προαναφερόμενων φωτογραφιών στο μοντέλο RGB. Ουσιαστικά, ο αλγόριθμος αυτός καταγράφει τις τιμές R, G και B για κάθε pixel της εικόνας σε 8-bit μορφή (τιμές από 000 έως 256). Ουσιαστικά με τον αλγόριθμό αυτό παράγονταν για κάθε στιγμιότυπο από ένας πίνακας διαστάσεων 240 X 360 για το R, G και B αντίστοιχα. Οπότε, συνολικά για κάθε πείραμα καύσης μετά από την επεξεργασία αυτή παράγονταν από 120 πίνακες για το R, G και B αντίστοιχα.

```

1 - imageR = image(1:240, 1:320, 1);
2 - imageG = image(1:240, 1:320, 2);
3 - imageB = image(1:240, 1:320, 3);
4
5 - dlmwrite('R.txt', imageR)
6 - dlmwrite('G.txt', imageG)
7 - dlmwrite('B.txt', imageB)
8

```

Εικόνα 38: Αλγόριθμος Matlab για την καταγραφή τιμών R, G και B για κάθε pixel της εικόνας

Επίσης για την απόρριψη των άχρηστων με την καύση πληροφοριών, ένα συγκεκριμένο frame από κάθε φωτογραφία χρησιμοποιήθηκε. Ειδικότερα επιλέχθηκε ένα frame το οποίο περιέκλειε μόνο την οπτική περιοχή της φωτιάς. Τα pixels τα οποία είχαν τιμές R, G και B κοντά σ’ αυτές που αντιστοιχούν στη φωτιά αποκτούσαν ενδιαφέρον στην ανάλυση μας. Ο αριθμός αυτών των pixels όλων των στιγμιότυπων απεικονίστηκε για το R, G και B, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο. Περισσότερες λεπτομέρειες θα αναφερθούν στα παρακάτω κεφάλαια του πειραματικού μέρους της παρούσας διατριβής.

9.5.3. Επεξεργασία Ήχου

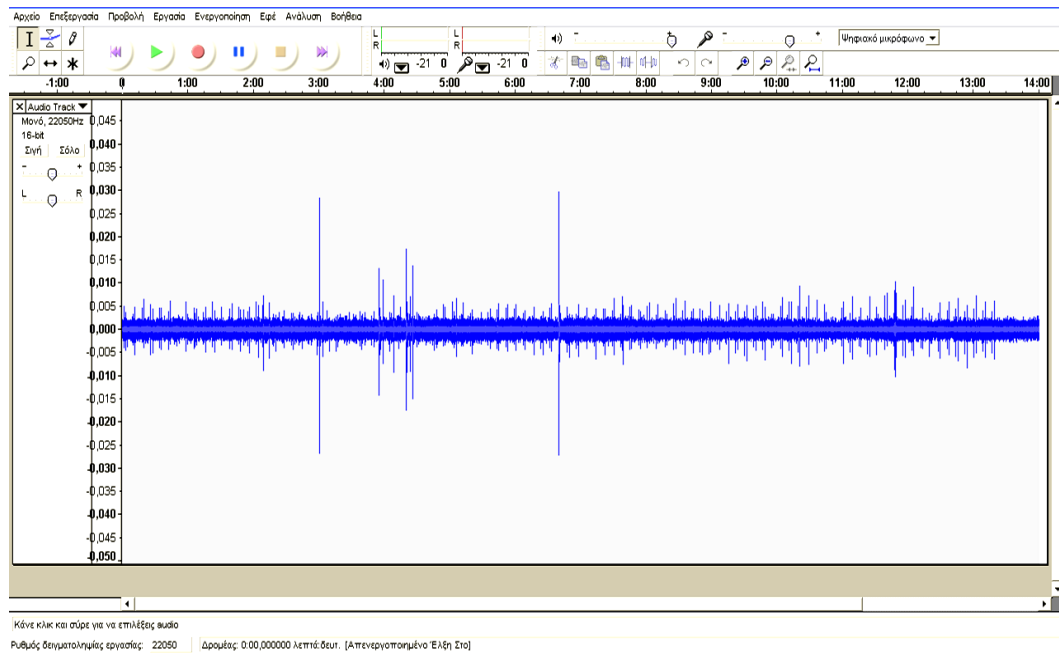
Όπως προαναφέρθηκε η καταγραφή των ακουστικών σημάτων των πειραμάτων καύσης πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού Audacity, όπως φαίνεται στην εικόνα 39. Στην επεξεργασία ήχου δεν πραγματοποιήθηκε αφαίρεση θορύβου, όμως ο ήχος του background είχε καταγραφεί για 2 min πριν από την αφή της φλόγας. Η καταγραφή του κάθε πειράματος στο audacity, χωρίς καμιά περαιτέρω επεξεργασία, γινόταν ένα αρχείο σε wav format μέσω της εξαγωγής του από το audacity.

Αξίζει να σημειωθεί, στο σημείο αυτό ότι, για τις καταγραφές στο audacity το λογισμικό αυτό δίνει την δυνατότητα να εξάγει τις καταγραφές του σε τρεις τύπους format, ο ένας τύπος είναι το wav και οι άλλοι δύο τύποι format (mp3 και OGG Vorbis) είναι για συμπιεσμένα αρχεία. Ο λόγος που επιλέχθηκε, οι καταγραφές στο audacity να εξάγονται σε wav format είναι το γεγονός ότι σ' αυτό το format τα αρχεία ήχου δεν είναι συμπιεσμένα. Όμως, παρά το γεγονός ότι μία καταγραφή σε wav format έχει σημαντικά μεγαλύτερο όγκο δεδομένων απ' ότι ένα συμπιεσμένο format, στην επεξεργασία που γίνεται περαιτέρω παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Ο λόγος γι' αυτό είναι απλός και πιο συγκεκριμένα το wav format προσφέρει την υψηλότερη πιστότητα στις καταγραφές ήχου, μ' αποτέλεσμα, να περιέχει πολύ περισσότερες πληροφορίες απ' ότι τα' άλλα formats. Σ' αντίθεση με το wav, οι συμπιεσμένοι τύποι format στον ήχο ουσιαστικά αποκόπτουν σημαντικά τμήματα από την ηχητική καταγραφή ή ακόμη, υποβιβάζουν σε κάποια άλλα την πιστότητα και τα οποία δεν εμπίπτουν στο ακουστικό φάσμα της ανθρώπινης ακοής. Επομένως, στην επεξεργασία ήχου που πραγματοποιήθηκε, το ζητούμενο ήταν η αξιοποίηση όλης της πληροφορίας που περιέχει η καταγραφή και όχι το μέγεθος του όγκου των δεδομένων.

Επίσης το λογισμικό audacity προσφέρει την δυνατότητα ρυθμίσεως του ρυθμού δειγματοληψίας της καταγραφής (sampling rate). Για τις καταγραφές των πειραμάτων καύσης επιλέχθηκε η δειγματοληψία να ρυθμιστεί στα 22050 Hz. Μετά από αρκετές δοκιμές και πειράματα διαπιστώθηκε, αρχικά, ότι για τις εφαρμογές μας το φάσμα συχνοτήτων 0 – 2000 Hz ήταν αυτό που κυριαρχούσε αλλά και μας ενδιέφερε στις ηχητικές καταγραφές. Οπότε, εφαρμόζοντας τον απλό και εμπειρικό κανόνα ότι, το sampling rate μίας ηχητικής καταγραφής θα πρέπει να είναι 8 με 10 φορές της μέγιστης συχνότητας που θα καταγραφεί προέκυψε η προαναφερθείσα τιμή της δειγματοληψίας. Ο λόγος είναι ότι έτσι πετυχαίνεται πιστότερη ψηφιακή καταγραφή του αναλογικού ηχητικού σήματος.

Ακόμη η καταγραφή ρυθμίστηκε στο audacity στα 16-bit και στο μονό κανάλι. Μετά από αρκετές δοκιμές τελικά επιλέχθηκαν τα 16-bit στην καταγραφή καθόσον τα 24-bit δεν προσέφεραν κάποιο ιδιαίτερο πλεονέκτημα στις εφαρμογές τις οποίες εξετάζει η παρούσα διατριβή. Απεναντίας τα 8-bit απερρίφθησαν εξαρχής καθόσον θα στερούσαν στις καταγραφές σημαντικές πληροφορίες από τα παραγόμενα στα πειράματα ηχητικά σήματα.

Στην συνέχεια για το κάθε αρχείο wav γινόταν αποθήκευση στο Cloud Storage του ΕΜΠ και εισαγωγή του στο Matlab για την περαιτέρω επεξεργασία. Για όλο τον πειραματικό χρόνο, προσδιορίστηκε το φασματογράφημα συχνοτήτων, για τις συχνοτήτες 0 – 2000 Hz. Πιο συγκεκριμένα για κάθε wav αρχείο (που αντιστοιχεί σ' ένα πείραμα καύσης) αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος επεξεργασίας ήχου. Επίσης, εδώ να σημειωθεί ότι η επεξεργασία γινόταν μόνο στα 12 πρώτα min του κάθε wav αρχείου λόγω αδυναμίας του συστήματος να επεξεργαστεί τον συνολικό όγκο του αρχείου, δηλαδή τα 14 min.



Εικόνα 39: Απεικόνιση της ακουστικής καταγραφής ενός πειράματος καύσης με την χρήση του λογισμικού Audacity

Η τεχνική που εφαρμόστηκε στην επεξεργασία αυτή είναι ότι το κάθε wav αρχείο χωρίστηκε σε ίσα διαστήματα που αντιστοιχούν το καθένα σε χρονική διάρκεια 7 s. Κατόπιν για το κάθε αυτό τμήμα εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος που ονομάζεται Welch's periodogram με 2048 σημεία προκειμένου να γίνει εφαρμογή της FFT (Fast Fourier Transform). Η αντίστοιχη εντολή στο Matlab είναι η pwelch. Ουσιαστικά, με τον αλγόριθμο αυτό γίνεται μεταφορά από το πεδίο (domain) του χρόνου σ' αυτό της συχνότητας. Κάνοντας αυτή την εφαρμογή για κάθε διάστημα των 7 s των 12 πρώτων λεπτών του πειραματικό χρόνο παράγεται το φασματογράφημα (power spectrum) στον πειραματικό αυτό χρόνο.

Βιβλιογραφία:

Statheropoulos M, Kyriakou S, Pappa A, Repetitive pulsed sampling interface for combined thermogravimetry / mass spectrometry, *Thermochimica Acta* 329 (1999) 83-88.

Tzamtzis N, Karma S, Pappa A, Statheropoulos M, On-line monitoring of pine needles combustion emissions in the presence of fire retardant a “thermogravity (TG)-bridge/mass spectrometry method”, *Analytica Chimica Acta* 573 (2006) 439-444.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://wiki.central.ntua.gr/CloudFront%20::%20Ομαδοποίηση%20Εφαρμογών>

<http://wiki.central.ntua.gr/Cloud%20Storage>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΕΜΠΟΔΙΩΝ

10.1. Εισαγωγή

Στον παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά δύο σειρές πειραμάτων καύσης που αφορούν στην μακροσκοπική και μοριακή παρατήρηση της καύσης του καύσιμου υλικού τόσο απευθείας, χωρίς την παρεμβολή εμποδίων, όσο και με την τοποθέτηση εμποδίων. Τα εμπόδια αυτά, ουσιαστικά, παρεμβλήθηκαν μεταξύ της εστίας της καύσης και των αισθητήρων ήχου και εικόνας (μικρόφωνο και κάμερα), όπως φαίνεται στην εικόνα 40. Στα πειράματα αυτά η καύση των υλικών πραγματοποιήθηκε κάτω από ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες.

Επίσης να σημειωθεί ότι χρειάστηκαν να προηγηθούν αρκετά πειράματα και δοκιμές μέχρι να οριστικοποιηθούν η διάταξη και η ποσότητα του καύσιμου υλικού, η ταχύτητα απαγωγής των καυσαερίων, η θέση της εστίας καύσης αλλά και ο αερισμός του καύσιμου υλικού. Όλα αυτά αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο εκτός από τον αερισμό του καύσιμου υλικού.

Για την εξέταση αυτής της παραμέτρου είχε τοποθετηθεί κάτω από την εστία καύσης ένας μικρός ηλεκτρικός ανεμιστήρας (οικιακού τύπου) του οποίου η ταχύτητα περιστροφής, με μεγάλη ακρίβεια, ρυθμιζόταν μέσω ρεοστατικού διακόπτη (ιδιοκατασκευή). Τελικά μετά από αρκετές δοκιμές προκρίθηκε η άποψη ότι είναι απαραίτητος αερισμός του καύσιμου υλικού να γίνεται με ανεμπόδιστη φυσική ροή και χωρίς την χρήση του ανεμιστήρα αυτού.



(α)

(β)

Εικόνα 40: Πειραματική διάταξη: (α) Απευθείας παρατήρηση χωρίς εμπόδια και
(β) Παρατήρηση καύσης με την παρεμβολή εμποδίων

Ακόμη είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αυτές οι δύο σειρές πειραμάτων περιελάμβαναν από ένα πείραμα κάθε σειράς αλλά και δύο επαναλήψεις για κάθε πείραμα.

10.2. Στόχοι

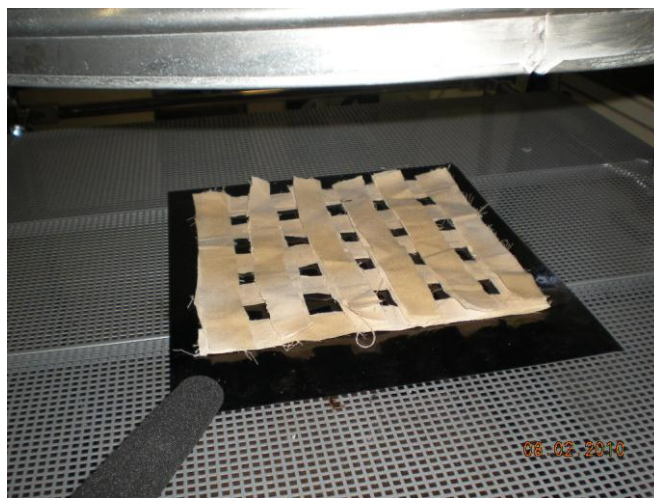
Οι στόχοι των πειραμάτων αυτών ήταν:

α. Να διερευνηθεί η δυνατότητα του PSS-MS για on-line παρακολούθηση των VOCs, που εκλύονται κατά την διάρκεια των πειραμάτων καύσης.

β. Να διερευνηθεί η δυνατότητα, εάν η κάθε τεχνολογία, δηλαδή η χημική, ακουστική και οπτική ανάλυση, ξεχωριστά δύναται να επιβεβαιώσει ή και να συμπληρώσει τις ενδείξεις καύσης που παρέχονται από τις άλλες δύο τεχνολογίες.

10.3. Υλικά

Ως καύσιμο υλικό των πειραμάτων καύσης χρησιμοποιήθηκε 100% βαμβακερό ύφασμα, βάρους 75 gr. Το ύφασμα αυτό κόπηκε σε λωρίδες σταθερών διαστάσεων (30 X 3 cm) και τοποθετήθηκε πάνω στο μεταλλικό έλασμα για την καύση, σχηματίζοντας έτσι ένα πλαίσιο 6 X 6, όπως φαίνονται στην εικόνα 41. Οι λωρίδες όλες ψεκάστηκαν με μικρή αλλά σταθερή ποσότητα (20 ml), αποθειωμένου, Diesel fuel πετρελαιοκίνησης.

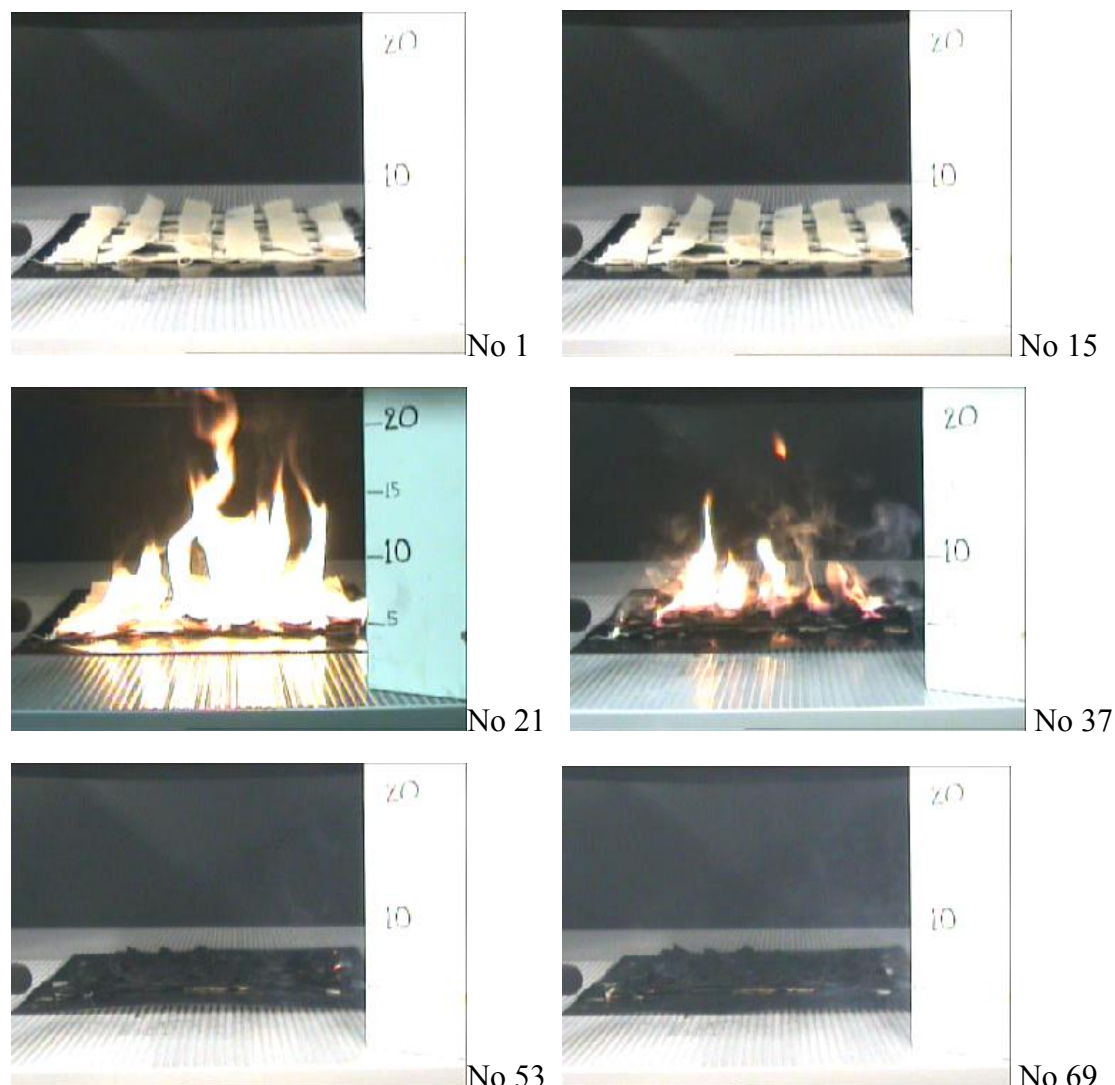


Εικόνα 41: Τοποθέτηση καύσιμου υλικού πάνω στην εστία καύσης.

10.4. Απευθείας Παρατήρηση Χωρίς την Ύπαρξη των Εμποδίων

Στην σειρά των πειραμάτων αυτών, ο πειραματικός χρόνος είχε διάρκεια συνολικά 14 min. Στον χρόνο 0 min γινόταν έναρξη καταγραφής των δεδομένων των αισθητήρων, δηλαδή στο χρονικό διάστημα 0 έως 2 min γινόταν απλώς καταγραφή του background του πειράματος, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στα στιγμιότυπα No1 και No15 της Εικόνας 42. Στο χρόνο 2 min έγινε η αφή της φλόγας με την χρήση ενός απλού αναπτήρα. Η φλόγα ήταν εμφανής από τη στιγμή της αφής (χρόνος 2 min), μέχρι περίπου το χρόνο 5 min, δηλαδή, η συνολική διάρκεια της καύσης με φλόγα ήταν περίπου τα 3 min. Στη φάση αυτή το μέγιστο ύψος της φλόγας που σημειώθηκε

ήταν 20 cm περίπου και παρατηρήθηκε στο χρονικό διάστημα από 3 μέχρι τα 3.5 min, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο στιγμιότυπο Νο21 της εικόνας 3. Μετά τον χρόνο 3.5 min η φλόγα σταδιακά άρχισε να μειώνεται σε ένταση και μέγεθος (βλέπε στιγμιότυπο Νο37 της εικόνας 42). Μετά το χρόνο 5 min η καύση συνεχίστηκε χωρίς τη παρουσία φλόγας, όπως φαίνεται στα στιγμιότυπα Νο53 και Νο69 της εικόνας 42.



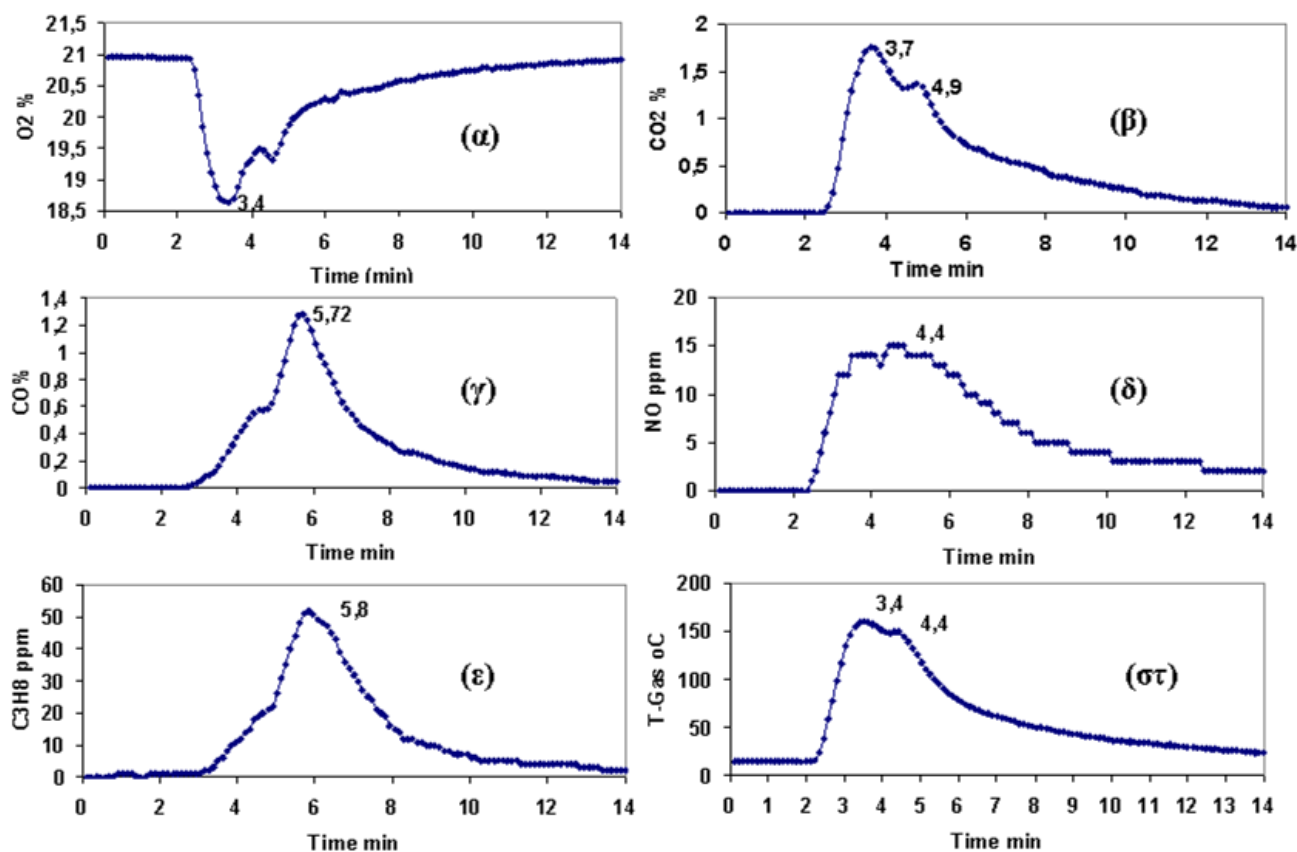
Εικόνα 42: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από τις διάφορες φάσεις του πειράματος απευθείας παρατήρησης. Οι αριθμοί των στιγμιότυπων αντιστοιχούν στον αύξοντα αριθμό από την διαδικασία δειγματοληψίας και υποδηλώνει και την χρονική στιγμή του πειραματικού χρόνου (για παράδειγμα το στιγμιότυπο Νο 69 αντιστοιχεί στον πειραματικό χρόνο $69 \times 7 = 483$ s ή περίπου 8 min).

10.4.1. Χημική Ανάλυση

10.4.1.1. Αναλυτής Καυσαερίων MRU Delta 1600

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση του Αναλυτή Καυσαερίων MRU Delta 1600V παρουσιάζονται διάγραμμα 10. Παρατηρώντας το διάγραμμα αυτό διαπιστώνεται ότι, χρόνος που απαιτήθηκε για να αποκριθούν οι διάφοροι αισθητήρες (θερμοκρασίας, O_2 , CO , CO_2 , NO , και C_3H_8), στην παρουσία της φλόγας κυμάνθηκε από τα 20 s για την θερμοκρασία μέχρι τα 83 s για το C_3H_8 . Από αυτές τις καταγραφές συμπεραίνεται

ότι η θερμοκρασία, O_2 , NO και το CO_2 παρουσιάζουν μέγιστα 1.5 min περίπου μετά την αφή της φλόγας και είναι αυτός ο χρόνος στον οποίο η φλόγα αποκτά το μέγιστο ύψος, δηλαδή στον πειραματικό χρόνο 3.5 min. Επίσης διαπιστώθηκε ότι τα CO και C_3H_8 εκλύθηκαν με μία χρονική καθυστέρηση και παρουσίασαν μέγιστες τιμές σε χρόνο 3.8 min μετά την αφή, δηλαδή στον πειραματικό χρόνο 5.8 min και αυτός ο χρόνος αντιστοιχεί στη φάση περίπου που η φλόγα έχει ήδη σβήσει και η καύση συνεχίζεται χωρίς την παρουσία της και είναι ορατός πλέον μόνο λευκός καπνός.



Διάγραμμα 10.1: Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής (α) συγκέντρωσης του O_2 , (β) συγκέντρωσης CO , (γ) συγκέντρωσης CO_2 , (δ) συγκέντρωσης NO , (ε) συγκέντρωσης C_3H_8 και (στ) της θερμοκρασίας των παραγόμενων καυσαερίων, σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης.

Γενικότερα διαπιστώνεται μία χρονική υστέρηση στην απόκριση των αισθητήρων του Αναλυτή Καυσαερίων MRU Delta 1600, στην παρουσία της καύσης. Αυτό εξάλλου ήταν αναμενόμενο, καθόσον, μεσολαβεί ο χρόνος μεταφοράς του αέριου δείγματος από την εστία καύσης στο σημείο δειγματοληψίας και στη συνέχεια στους χημικούς αισθητήρες. Στον χρόνο αυτό, της μεταφοράς του αέριου δείγματος θα πρέπει να προστεθεί και ο χρόνος απόκρισης (response time) του κάθε αισθητήρα της συσκευής.

Επίσης, παρατηρώντας το διάγραμμα 10.1 και το βίντεο του πειράματος, διαπιστώνεται ότι οι χημικοί αισθητήρες του Αναλυτή Καυσαερίων MRU Delta 1600V αποκρίνονται και είναι ευαίσθητοι σ' όλη την χρονική διάρκεια του φαινομένου της καύσης. Δηλαδή, οι αισθητήρες αυτοί αποκρίνονται τόσο στην φάση με την παρουσία φλόγας αλλά και αργότερα μετά την σβέση αυτής, σ' όλη την χρονική διάρκεια κατά την οποία παράγεται ο λευκός καπνός.

10.4.1.2. PSS-MS

10.4.1.2.1. Χαρακτηριστικά Λειτουργικότητας (Figures of Merits)

Ο καθορισμός των ορίων της γραμμικής απόκρισης του οργάνου, καθώς και η ακρίβεια στην ανάλυση βαθμονομήθηκαν με την χρήση αέριων προτύπων βενζολίου σε συνθετικό αέρα. Αέρια πρότυπα του 1 ppmv, 5 ppmv και 10 ppmv καθώς και κενά δοχεία συνθετικού αέρα προετοιμάστηκαν με την εξάτμιση των κατάλληλων ποσοτήτων διαλύματος βενζολίου σε μεθανόλη, εντός δοχείων χωρητικότητας 2.8 λίτρων, καθαρισμένα με συνθετικό αέρα (Statheropoulos et al, 2011).

Η γραμμή μεταφοράς και δειγματοληψίας καθώς και ο παλμικός δειγματολήπτης του οργάνου θερμάνθηκαν στους 210°C και στους 200°C, αντίστοιχα.

Το όργανο λειτουργούσε με διαδοχικούς κύκλους, δηλαδή ο ένας είχε διάρκεια 1 s, κατά το οποίο πραγματοποιούνταν δειγματοληψία και ακολουθούσαν από τον επόμενο. Αυτός ο κύκλος είχε διάρκεια 6 s και αποτελούσε την αδρανή περίοδο. Τα ιόντα με m/z 40 και 78, και στα οποία αντιστοιχούν στο Ar και το βενζολίου παρακολουθούνταν με το όργανο να λειτουργεί στην SIM (Single Ion Monitoring) λειτουργία. Για τη μάζα 40 η παρακολούθηση της σκοπό είχε να αποτελεί ένα δείκτη σταθερών συνθηκών δειγματοληψίας.

Τα αέρια πρότυπα του βενζολίου αναλύθηκαν δειγματολογώντας απευθείας από τα δοχεία μέσω ενός σωληνίσκου, κατασκευασμένου από Teflon, με την ακόλουθη σειρά: (α) στον αέρα (ambient air), (β) δοχεία συνθετικού αέρα (blank), (γ) 1 ppmv benzene πρότυπο, (δ) 5 ppmv benzene πρότυπο και (ε) 10 ppmv benzene πρότυπο.

10.4.1.2.2. Μέθοδος Ανίχνευσης και Παρακολούθησης

Το σημείο δειγματοληψίας του PSS-MS στον καπναγωγό, φαίνεται ως το σημείο A στο διάγραμμα 9.1, του προηγούμενου κεφαλαίου. Ένας γυάλινος δειγματοληπτικός σωληνίσκος 8mm id, μήκους 15 cm είχε τοποθετηθεί, έτσι ώστε, περί τα 6 cm του μήκους του να βρίσκονται εντός του καπναγωγού στο σημείο A. Ο σωληνίσκος αυτός είχε συνδεθεί και σταθεροποιηθεί με το σύστημα δειγματοληψίας του PSS μέσω ενός άλλου σωληνίσκου από Teflon. Ένα glass microfibre φίλτρο (Whatman Glass Microfibre Filters) διαμέτρου 47 mm είχε τοποθετηθεί μπροστά από το σύστημα δειγματοληψίας του PSS για την αποφυγή της μόλυνσης του συστήματος δειγματοληψίας από σωματίδια τα οποία παράγονταν κατά την διαδικασία της καύσης, όπως φαίνεται στη εικόνα 43.



Εικόνα 43: Διάταξη δειγματοληψίας του PSS-MS επί του ικριώματος

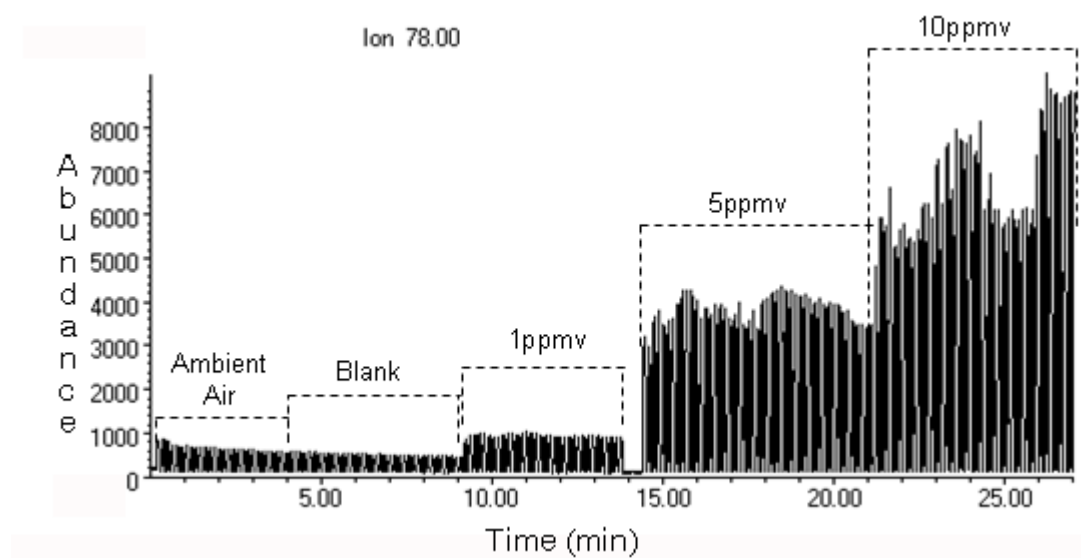
Το MS-PSS λειτουργούσε, όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε διαδοχικούς κύκλους δειγματοληψίας διάρκειας 1 s, ακολουθούμενοι από κύκλους αδρανείας διάρκειας 6 s. Τα ιόντα με m/z 40 (Ar), 78 (benzene), 91 (toluene), 106 (xylene) and 57 (aliphatic hydrocarbons) ανιχνεύονταν και παρακολουθούνταν σε SIM mode με dwell time τα 60 msec. Αυτά τα ιόντα είχαν επιλεγεί για την παρακολούθηση συγκεκριμένων VOCs τα οποία εκλύονταν κατά την διάρκεια των πειραμάτων καύσης. Τα VOCs αυτά είχαν ανιχνευθεί και ταυτοποιηθεί κατά την διάρκεια προκαταρκτικών πειραμάτων με την χρήση μίας μονάδας θερμικής εκρόφησης (Thermal Desorption Unit, Series 2 Unity, Markes International) σε συνδυασμό μ' ένα αέριο χρωματογράφο (GC, 2010 Shimadzu) και ένα ανάλυσης χρόνου πτήσης φασματομέτρο μάζας (Time of Flight-MS, Bench TOF-dx, ALMSCO International).

10.4.1.2.3. Αποτελέσματα

Η απόκριση του MS για το ιόν με m/z 78 (benzene) στην διάρκεια του πειράματος εύρεσης της γραμμικής περιοχής παρουσιάζεται στο διάγραμμα 10.2, με την μορφή παλμών. Μία αύξηση στο ύψος των παλμών αποδίδεται στις αλλαγές στην συγκέντρωση του benzene στα δοχεία που περιέχουν τα πρότυπα του benzene. Οι μέσες τιμές, στην περιοχή των παλμών, των διαφόρων προτύπων χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό μία γραμμικής καμπύλης βαθμονόμησης μέχρι τα 10 ppbv. Η καμπύλη αυτή περιγράφεται από τη μαθηματική σχέση $y=25287x+13040$ με $R^2=0.9976$. Τα όρια ανίχνευσης (c_m) του MS για την on-line παρακολούθηση αέριων δειγμάτων υπολογίστηκε ότι είναι 150 ppbv benzene χρησιμοποιώντας την καμπύλη βαθμονόμησης και την εξίσωση (1):

$$c_m = \frac{3SD_{BLANK}}{a} \quad (1)$$

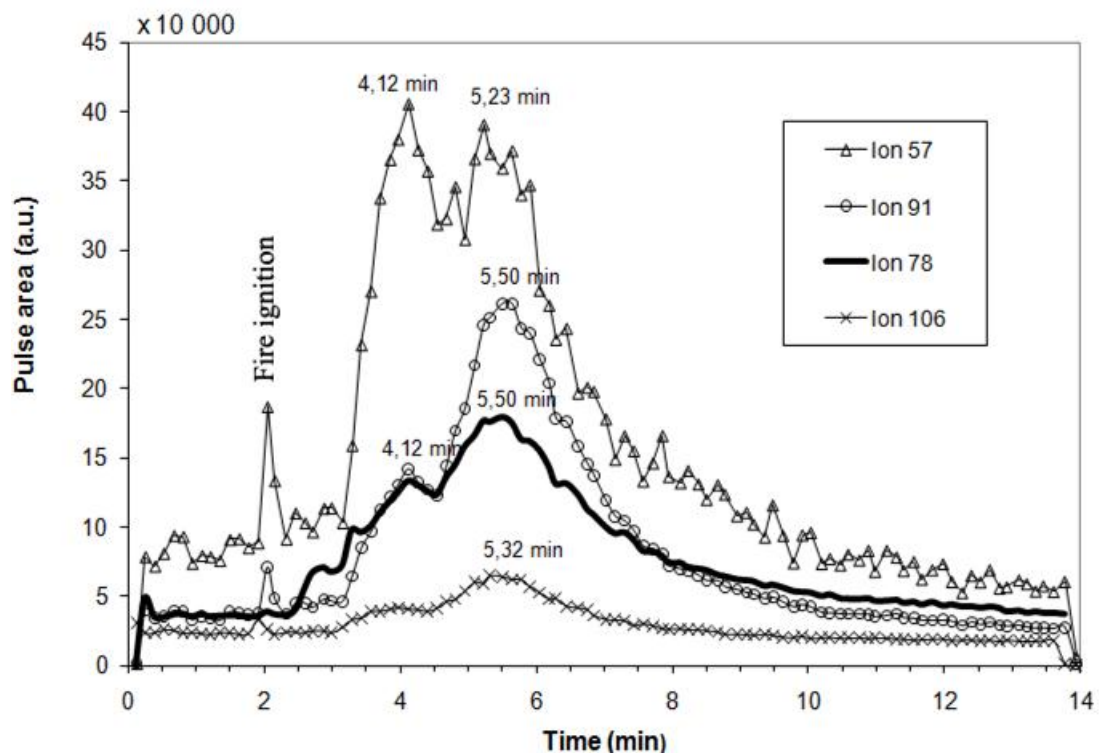
Σημείωση: Ως SD_{BLANK} είναι η τυπική απόκλιση (standard deviation) του σήματος του MS για το πρότυπο με τον συνθετικό αέρα (blank) και a είναι η κλίση της καμπύλης βαθμονόμησης (Statheropoulos et al, 2011).



Διάγραμμα 10.2: Απόκριση του MS, κατά την διάρκεια του πειράματος βαθμονόμησης του οργάνου, στα διάφορα αέρια πρότυπα του benzene.

Η περιοχή των παλμών PSS-MS, για τα ιόντα με μάζες 57, 78, 91 και 106, υπολογίστηκε για τα πειράματα για την απευθείας παρακολούθηση της φλόγας, χωρίς την ύπαρξη των εμποδίων και παραστάθηκε γραφικά σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 10.3. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι το MS είναι ευαίσθητο σε μία ποικιλία χημικών ουσιών, οι οποίες εκλύονται κατά την διάρκεια της καύσης, όπως είναι το benzene (μάζα 78), το toluene (μάζα 91), το xylene (μάζα 106) και οι aliphatic hydrocarbons γενικότερα (μάζα 57).

Παρατηρώντας το διάγραμμα 10.3, φαίνεται ότι το MS αποκρίνεται στο φαινόμενο της φωτιάς μετά από χρόνο 30 s από τη αφή της φλόγας, όπου τότε διαπιστώνεται μία σημαντική αύξηση στη συγκέντρωση της μάζας 78. Αυτή η χρονική υστέρηση αποδίδεται στον χρόνο που απαιτείται στο να σχηματισθεί το βενζόλιο, να μεταφερθεί από την εστία καύσης στο σημείο δειγματοληψίας A και από εκεί στην πηγή ιονισμού του MS. Για τις υπόλοιπες ουσίες, η απόκριση του MS γίνεται σημαντική μετά από την παρέλευση 70 s, από την αφή της φλόγας. Οι συγκεντρώσεις των πτητικών ουσιών παρουσιάζουν 2 μέγιστα, το ένα εμφανίζεται περί τον χρόνο 4 min, όταν ακόμη υφίσταται η φλόγα, ενώ το άλλο μέγιστο εμφανίζεται περί τον χρόνο 5.3 min, όταν πλέον η φλόγα έχει σβήσει και η καύση συνεχίζεται χωρίς την παρουσία φλόγας. Κάνοντας χρήση της καμπύλης βαθμονόμησης του benzene διαπιστώνεται ότι η μέγιστη συγκέντρωση του benzene είναι περίπου 5 ppmv.



Διάγραμμα 10.3: Απόκριση του MS κατά την διάρκεια των πειραμάτων καύσης χωρίς την ύπαρξη εμποδίων.

10.4.2. Οπτική Ανάλυση

Όσον αφορά στην οπτική ανάλυση και όπως ήδη έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο 9 και πιο συγκεκριμένα στην παράγραφο 9.5.2., στο κάθε πείραμα έγινε δειγματοληψία 120 στιγμιότυπων, με χρονικό διάστημα δειγματοληψίας τα 7 s. Κατόπιν, τα στιγμιότυπα αυτά φορτώθηκαν στο Matlab του Cloud Front του ΕΜΠ προκειμένου να αναλυθούν στο μοντέλο RGB, όπως εκτενέστερα αναφέρεται ήδη στην προαναφερόμενη παράγραφο.

10.4.2.1. Εξέταση της Μεταβολής του R

Στην παρακάτω Εικόνα 44 παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που συντάχθηκε προκειμένου να παρουσιαστεί η μεταβολή του αριθμού των pixels που είχαν τιμές R, που ενδιέφεραν στην ανάλυση μας, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, ενώ στο παρακάτω διάγραμμα 10.4 εμφανίζεται και το γράφημα που παράγεται από αυτόν τον αλγόριθμο. Οι τιμές R που ενδιέφεραν την ανάλυση μας ήταν αυτές που ανήκαν στο διάστημα από 230 μέχρι 255. Το διάστημα αυτό καθορίστηκε μετά από δοκιμές αλλά και συστηματική παρατήρηση των πειραμάτων καύσης, όπου, διαπιστώθηκε ότι οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε φλόγα, που παράγεται από την καύση του καύσιμου υλικού.

```

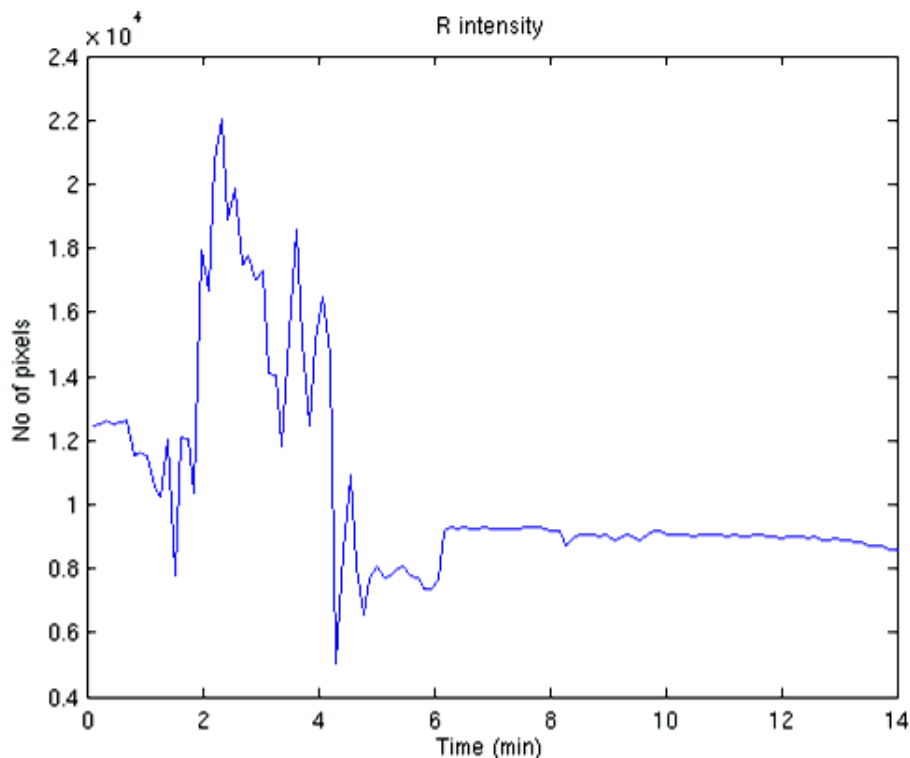
1 - | j=0
2
3 - for i=1:120;
4 -     j=j+1;
5 -     t(j)=i*7/60;
6 -     l=0
7
8 -     for k=1:240;
9 -         for m=1:240;
10
11 -             l=l+1;
12 -             R(l ,j)= eval(['R' num2str(i) '(m,k)']);
13 -         end
14 -     end
15 - end
16
17
18
19 - n=hist(R)
20 - plot(t, n(10,:))
21 - dlmwrite('R.txt', R)
22 - dlmwrite('Time.txt', t')
23 - dlmwrite('katanomi.txt', n')
24

```

Εικόνα 44: Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση εικόνας για να δείχθει η μεταβολή του αριθμού των pixels με τιμές $R > 230$ σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης.

Επίσης, στην ανάλυση αυτή, ένα τμήμα του frame των στιγμιότυπων δεν ελήφθει υπόψη στην επεξεργασία εικόνας. Πιο συγκεκριμένα, τα στιγμιότυπα που ελήφθησαν είχαν ανάλυση 320 X 240 και η τιμή αυτή καθορίστηκε από την ευαισθησία του οπτικού αισθητήρα, δηλαδή την κάμερα βίντεο που χρησιμοποιήθηκε στις καταγραφές των πειραμάτων μας. Δηλαδή, το κάθε στιγμιότυπο αποτελείται από 320 στήλες X 240 γραμμές pixels. Επανερχόμενοι στα στιγμιότυπα που εμφανίζονται

στην παραπάνω εικόνα 42, είναι φανερό ότι το δεξιό τμήμα σ' όλα τα στιγμιότυπα είναι ίδιο και αμετάβλητο σ' όλη την διάρκεια του πειραματικού χρόνου. Άρα, στην ανάλυση μας αυτό το τμήμα δεν θα έπαιζε κανένα ρόλο και γι' αυτό αφαιρέθηκε από την εν λόγω ανάλυση. Αλλά ακόμη και να λαμβάνονταν υπόψη στην ανάλυση, τα αποτελέσματα δεν θα μεταβάλλονταν. Το κέρδος που αποκομίστηκε από αυτή την αφαίρεση έγκειται στ' ότι, η οπτικοποίηση των μεταβολών του αριθμού των pixels που είχαν τιμές R , που ενδιέφεραν στην ανάλυση μας, είναι σημαντικά βελτιωμένη και είναι ευκολότερο να γίνουν συγκρίσεις και να εξαχθούν συμπεράσματα. Στα συγκεκριμένα πειράματα το frame που χρησιμοποιήθηκε ήταν το 240 X 240 αποκλείοντας έτσι το δεξιό τμήμα και το οποίο δεικνύει τον κανόνα (ιδιοκατασκευή), που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του ύψους της φλόγας και που φαίνεται χαρακτηριστικά στα στιγμιότυπα της παραπάνω εικόνας 42.



Διάγραμμα 10.4: Η καμπύλη μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές $R > 230$ σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης.

Στην καμπύλη, του ανωτέρω διαγράμματος 10.4, είναι φανερό ότι η καμπύλη αυτή ακολουθεί τις μεταβολές της φλόγας όπως αυτές έχουν περιγραφεί στην αρχή της παραγράφου 10.5.1. του παρόντος κεφαλαίου. Πιο συγκεκριμένα, είναι σαφές ότι διαπιστώνεται μία σημαντική αύξηση του αριθμού των pixels στον χρόνο 2 min και μετά, δηλαδή στην χρονική στιγμή της αφής της φλόγας και μετά. Όντως, παρατηρώντας την καταγραφή του βίντεο, από το εν λόγω πείραμα, διαπιστώνεται ότι, με την αφή της φλόγας από τον αναπτήρα, η φλόγα σ' ελάχιστα δευτερόλεπτα, εξαπλώνεται σ' όλη την επιφάνεια του καύσιμου υλικού και αυξάνεται σε ύψος και ένταση. Στη συνέχεια, η φλόγα διατηρείται σε ύψος και ένταση μέχρι τον χρόνο 3.5 min. Μετά τον χρόνο αυτό και μέχρι τα 5 min η φλόγα φθίνει σταδιακά όπου και τελικά αυτή σβήνει.

Άρα λοιπόν, η προαναφερθείσα μεθοδολογία ανάλυσης εικόνας, με βάση το μοντέλο RGB και πιο συγκεκριμένα η παρακολούθηση του αριθμού των pixels με

τιμές $R > 230$, εμφανίζει ευαισθησία και έχει μεγάλη πιστότητα στην φλόγα που παράγεται από την καύση του καύσιμου υλικού των πειραμάτων μας. Αυτό το συμπέρασμα ενισχύεται επίσης, από την σύγκριση της μακροσκοπικής παρατήρησης με την καμπύλη του ανωτέρω διαγράμματος 10.4. Επίσης, διαπιστώνεται ότι, η μέθοδος αυτή δεν δίνει καμία πληροφορία που αφορά στην ύπαρξη καπνού τόσο κατά την διάρκεια της φλόγας αλλά και μετά την σβέση αυτής, όπου, μακροσκοπικά παρατηρείται και σημαντική παρουσία λευκού καπνού.

10.4.2.2. Εξέταση της Μεταβολής του G

Ανάλογη ήταν και η προσέγγιση που ακολουθήθηκε και στην παρακολούθηση του αριθμού των pixels με τιμές $G > 230$. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος για την περίπτωση αυτή εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα 45.

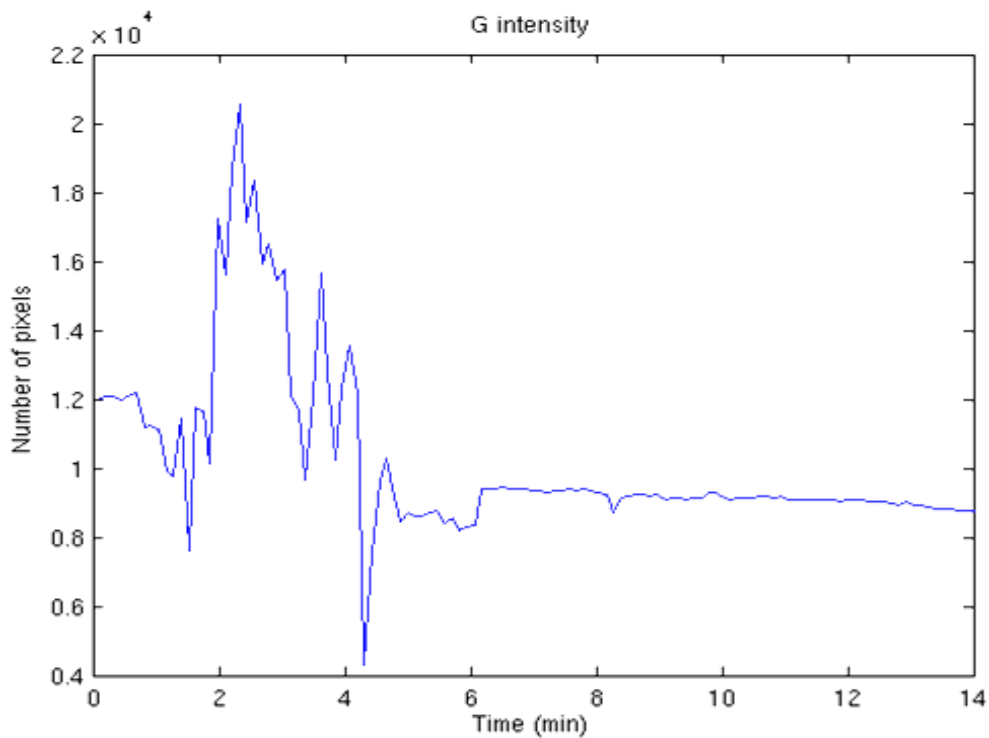
```

1 -     j=0
2
3 -     for i=1:120;
4 -         j=j+1;
5 -         t(j)=i*7/60;
6 -         l=0
7
8 -         for k=1:240;
9 -             for m=1:240;
10
11 -                 l=l+1;
12 -                 G(l ,j)= eval(['G' num2str(i) '(m,k)']);
13 -             end
14 -         end
15 -     end
16
17
18
19 -     n=hist(G)
20 -     plot(t, n(10,:))
21 -     dlmwrite('G.txt', G)
22 -     dlmwrite('Time.txt', t)
23 -     dlmwrite('katanomi.txt', n)
24

```

Εικόνα 45: Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση εικόνας για να δειχθεί η μεταβολή του αριθμού των pixels με τιμές $G > 230$, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης.

Η ανάλυση των δεδομένων των πειραμάτων καύσης με βάση τον ανωτέρω αλγόριθμο έδωσε την καμπύλη που εμφανίζεται στο διάγραμμα 10.5. Παρατηρώντας την καμπύλη αυτή διαπιστώνεται ότι, η αύξηση στον αριθμό των pixels με G τιμές κοντά στις αντίστοιχες τιμές της φωτιάς, δηλαδή τιμές $G > 230$, παρατηρείται ήδη, με την αφή της φλόγας και κορυφώνεται περίπου σε χρόνο 3 min. Μετά από το χρόνο 5 min, σημειώνεται μείωση στον αριθμό αυτό κάτι που πρακτικά αντιστοιχεί στο χρόνο σβέσης της φλόγας. Ο αριθμός αυτός σταθεροποιείται, μετά από τον χρόνο αυτό και εμφανίζεται να είναι χαμηλότερος από εκείνον πριν από την αφή της φλόγας. Πιθανόν, αυτό να οφείλεται στο γεγονός ότι μετά την σβέση της φλόγας και την καύση του υλικού το επιλεγθέν frame έχει πλέον αποκτήσει πιο σκούρα χρώματα από τα υπολείμματα της καύσης.



Διάγραμμα 10.5: Η καμπύλη μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές $G > 230$, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης.

Παρατηρώντας τις καμπύλες που παρουσιάζονται στα διαγράμματα 10.4 και 10.5 διαπιστώνεται μία αναλογία στα γραφήματα αυτά. Παρόλα αυτά όμως, οι κάποιες μικροδιαφορές, που εμφανώς παρουσιάζονται στις καμπύλες, δεικνύουν ότι η ανάλυση με βάση την παρακολούθηση του αριθμού των pixels με τιμές $R > 230$ είναι πιο ευαίσθητη στην παρουσία της φλόγας.

10.4.2.3. Εξέταση της Μεταβολής του B

Ανάλογη ήταν και η προσέγγιση που ακολουθήθηκε και στην παρακολούθηση του αριθμού των pixels με τιμές $B > 230$. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος για την περίπτωση αυτή εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα 46.

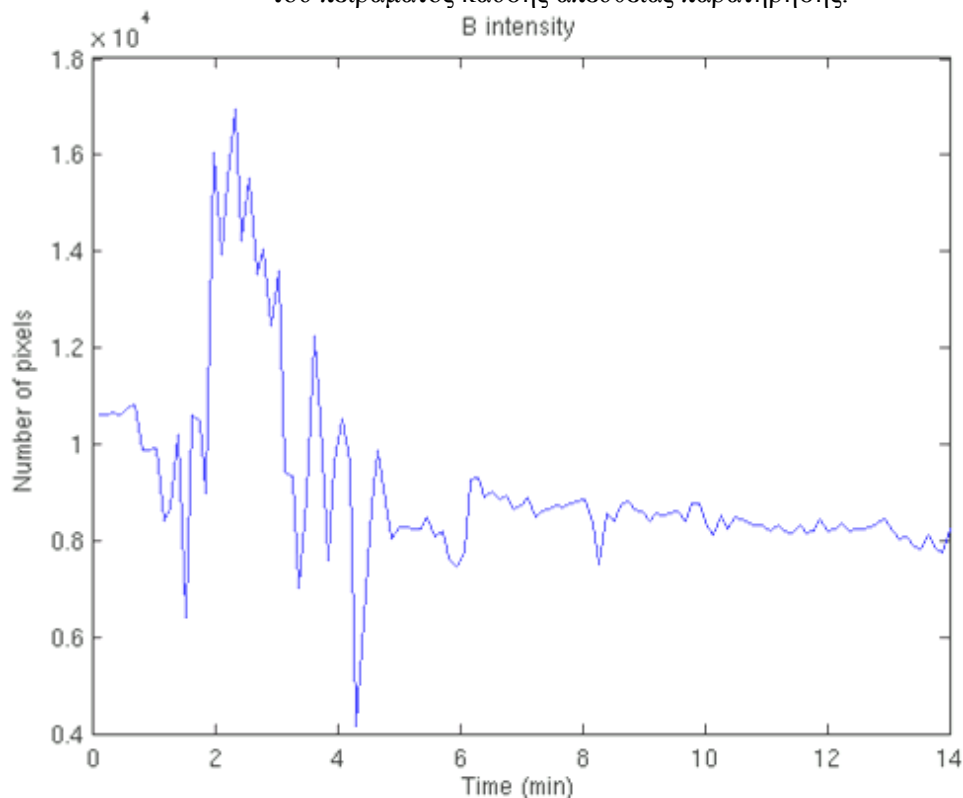
Η ανάλυση των δεδομένων των πειραμάτων καύσης, με βάση τον ανωτέρω αλγόριθμο, έδωσε την καμπύλη που εμφανίζεται στο διάγραμμα 10.6. Παρατηρώντας την καμπύλη αυτή, διαπιστώνεται ότι, η αύξηση στον αριθμό των pixels με B τιμές κοντά στις αντίστοιχες τιμές της φωτιάς, δηλαδή τιμές $B > 230$, παρατηρείται ήδη με την αφή της φλόγας και κορυφώνεται περίπου σε χρόνο 3 min. Μετά από το χρόνο 5 min, σημειώνεται μείωση στον αριθμό αυτό, όπου σημειωτέον, ο χρόνος αυτός αντιστοιχεί στις χρονικές στιγμές σβέσης της φλόγας. Επίσης, μετά από τον χρόνο αυτό, ο αριθμός των pixels με $B > 230$ δείχνει να σταθεροποιείται σχετικά και είναι χαμηλότερος από εκείνον πριν από την αφή της φλόγας.

```

1 -   j=0
2
3 -   for i=1:120;
4 -       j=j+1;
5 -       t(j)=i*7/60;
6 -       l=0
7
8 -       for k=1:240;
9 -           for m=1:240;
10
11 -               l=l+1;
12 -               B(l ,j)= eval(['B' num2str(i) '(m,k)']);
13 -           end
14 -       end
15 -   end
16
17
18
19 -   n=hist(B)
20 -   plot(t, n(10,:))
21 -   dlmwrite('B.txt', B)
22 -   dlmwrite('Time.txt', t)
23 -   dlmwrite('katanomi.txt', n)
24

```

Εικόνα 46: Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση εικόνας για να δείχθει η μεταβολή του αριθμού των pixels με τιμές $B > 230$ σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης.



Διάγραμμα 10.6: Η καμπύλη μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές $B > 230$ σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης.

10.4.2.4. Σύγκριση των Μεταβολών του R, G και του B

Παρατηρώντας τις καμπύλες που παρουσιάζονται στα διαγράμματα 10.4, 10.5 και 10.6, διαπιστώνεται, μία αναλογία στα γραφήματα αυτά. Παρόλα αυτά όμως, οι κάποιες μικροδιαφορές που εμφανώς παρουσιάζονται στις καμπύλες δεικνύουν ότι η ανάλυση με βάση την παρακολούθηση του αριθμού των pixels με τιμές $R > 230$ είναι πιο ευαίσθητη στην παρουσία της φλόγας.

Σημαντικές πληροφορίες που στηρίζουν το ανωτέρω συμπέρασμα δύναται να δώσει το εργαλείο Image Tool του Image Processing Toolbox του Matlab. Μία από τις δυνατότητες που παρέχει το εργαλείο αυτό, είναι ότι, μπορεί να δώσει τις τιμές του R, G και του B για κάθε pixel της εικόνας πάνω στην οποία τοποθετείται ο κέρσορας. Αυτή η δυνατότητα, βοηθά να γίνει κατανοητό, πως μεταβάλλονται οι τιμές του R, G και του B πάνω στην εικόνα. Για παράδειγμα αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί φορτώνοντας μία εικόνα στο Workspace του Matlab και επιλέγοντας από τα plots το Image Tool (imtool). Τότε ανοίγει το παράθυρο του Image Tool με την επιλεγθείσα εικόνα, όπως φαίνεται στην εικόνα 47 (α) και η οποία είναι το στιγμιότυπο Νο 22, που εμφανίστηκε στην παραπάνω εικόνα 42. Εκεί κινώντας τον κέρσορα πάνω στην εικόνα δίδεται η πληροφορία σε ποιο pixel βρίσκεται κάθε στιγμή ο κέρσορας με τη μορφή συντεταγμένων (X, Y) και ποιές είναι οι τιμές της τριπλέτας (R, G, B).



(α)



(β)

Pixel (200, 145)
RGB (255, 255, 255)

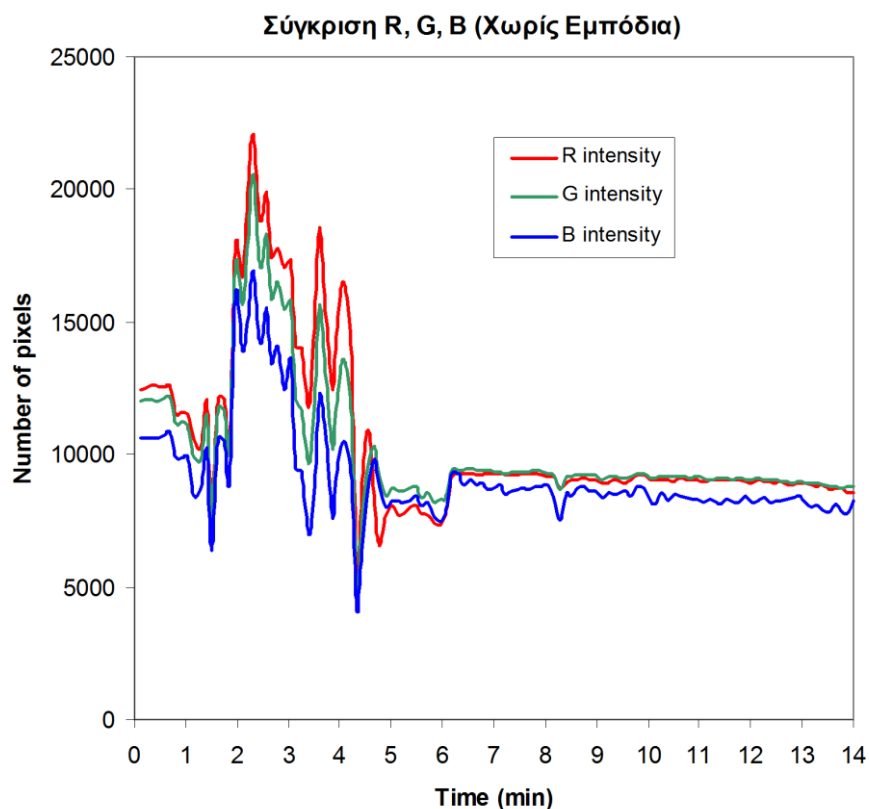


(γ)

Pixel (200, 58)
RGB (255, 219, 142)

Εικόνα 47: Χρήση του εργαλείου Image Tool του Image Processing Toolbox του Matlab: (α) Στιγμιότυπο Νο 22, (β) Στιγμιότυπο Νο 22 με τον κέρσορα πάνω στο pixel (200, 145) με τιμές RGB (255, 255, 255) και (γ) Στιγμιότυπο Νο 22 με τον κέρσορα πάνω στο pixel (200, 58) με τιμές RGB (255, 219, 142).

Παρατηρώντας την εικόνα 47 και ιδιαίτερα το στιγμιότυπο Νο 22, με τον κέρσορα πάνω στο pixel (200, 145) [εικόνα 47(β)] διαπιστώνεται ότι, αυτό το pixel έχει τιμές RGB (255, 255, 255). Ουσιαστικά, ο κέρσορας βρίσκεται πάνω στο pixel που βρίσκεται στην τομή της στήλης $X=200$ και της γραμμής $Y=145$. Το σημείο αυτό αντιστοιχεί σε περιοχή της φλόγας. Παρατηρώντας τώρα το στιγμιότυπο Νο 22, με τον κέρσορα πάνω στο pixel (200, 58) [εικόνα 8(γ)] διαπιστώνεται ότι, αυτό το pixel έχει τιμές RGB (255, 219, 142). Το pixel αυτό, αντιστοιχεί τώρα, σε περιοχή των ορίων της φλόγας και διαπιστώνεται ότι το R διατηρεί τιμές μεγαλύτερες από το 230 ενώ οι τιμές του G και του B έχουν σημαντικά μειωθεί κάτω από το 230. Άρα λοιπόν, η διαπίστωση αυτή ότι δηλαδή, η μείωση των τιμών του G και του B στα όρια της φλόγας κάτω από το 230 βρίσκεται σε αντίθεση με το R έρχεται να εξηγήσει τις διαφοροποιήσεις στις καμπύλες των διαγραμμάτων 10.4, 10.5 και 10.6. Αυτές οι διαφοροποιήσεις εμφανίζονται πλέον πιο ευδιάκριτα όταν οι καμπύλες αυτές παρίστανται στο ίδιο γράφημα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 10.7.



Διάγραμμα 10.7: Οι καμπύλες μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές R, G και B μεγαλύτερες από το 230 σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης.

Διαπιστώνεται και πάλι, με βάση πλέον το διάγραμμα 10.7, ότι η καμπύλη μεταβολής του R για τιμές μεγαλύτερες του 230 δείχνει να παρακολουθεί καλύτερα την εξέλιξη της φλόγας, σε σχέση με τις μεταβολές του G και του B, όπως αυτή έχει μακροσκοπικά περιγραφεί στην αρχή της ανωτέρω παράγραφο 10.4.

10.4.3. Ακουστική Ανάλυση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο πειραματικός χρόνος του κάθε πειράματος είχε διάρκεια 14 min (πρώτα λεπτά) και που ουσιαστικά είναι η χρονική διάρκεια των

καταγραφών του κάθε πειράματος. Στο χρόνο 0 min πραγματοποιήθηκε η έναρξη των καταγραφών των δεδομένων όλων των αισθητήρων. Η αφή της φλόγας έγινε στο χρόνο 2 min. Οι καταγραφές στο χρονικό αυτό διάστημα, δηλαδή από το χρόνο 0 min έως και το χρόνο 2 min θεωρούνται το background του κάθε πειράματος. Επίσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ακουστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε για το πειραματικό χρονικό διάστημα 0 – 12 min και όχι σ' ολόκληρο τον πειραματικό χρόνο των 14 min λόγω τεχνικής αδυναμίας του Matlab του Cloud Front του ΕΜΠ.

Η θέση του ακουστικού αισθητήρα (μικρόφωνο) στην πειραματική διάταξη εμφανίζεται χαρακτηριστικά στην εικόνα 40(α) του παρόντος κεφαλαίου αλλά και στο διάγραμμα 9.1. του προηγούμενου κεφαλαίου.

```

1 - [xtotal,fs,bit]=wavread('expl.wav');
2   %s1=size(xtotal)
3   %k=input('what is the number of points to be plot?');
4   %figure;
5   %plot(xtotal(1:k));
6
7   % Total time to be processed
8 - dtime=input('How many minutes of the recording will be processed?');
9   % Total number of points to be processed
10 - dpoints=dtime*60*fs;
11
12  % Total time for applying FFT
13 - ttime=input('How many seconds of the recording will FFT be applied to?')
14  % Total number of points for applying FFT
15 - tpoints=ttime*fs;
16
17
18 - i=0
19 - for j=1:tpoints:dpoints
20     i=i+1
21     time=i*ttime/60;
22     x=xtotal(j:j+tpoints);
23
24     %stime=input('How many minutes is the length of the sections that the original waveform is divided into?')
25     %stime=0.1
26     %s=stime*fs
27 - sampling=fs
28     %n=input('How many points will be used in FFT (NFFT)?')
29     n=2048
30     [pyy,fr]=pwelch(x,[],[],n,sampling);
31     dbpyy=pow2db(pyy);
32     s2=size(pyy);
33     s1=size(fr);
34     % figure
35     % plot(fr, pyy)
36     % f=input('what is the number of frequencies to be plot in the power spectra?')
37 - f=2000;

```

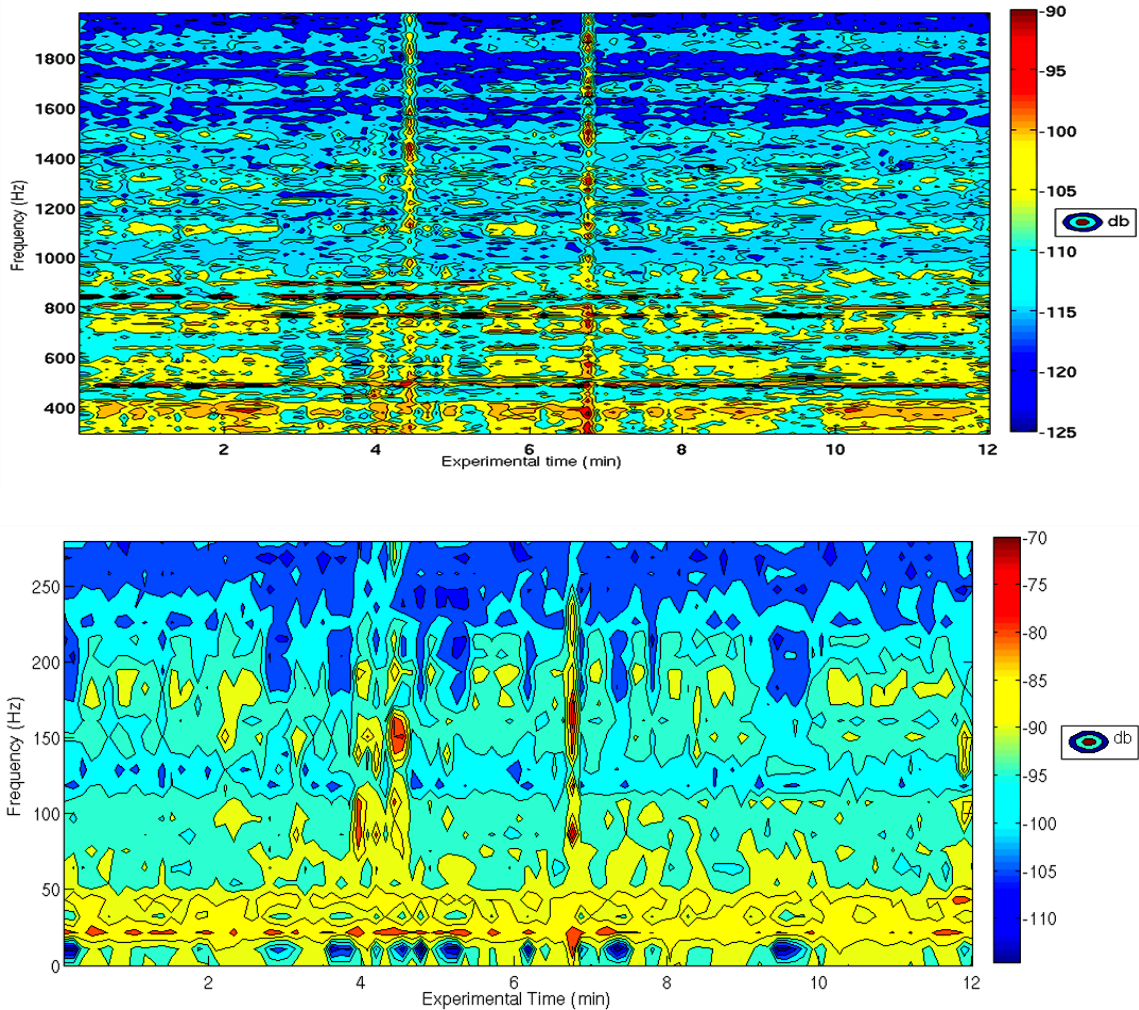
```

38 %figure;
39 %plot(fr(1:f*n/sampling), ppy(1:f*n/sampling));
40 - a1=[fr(1:f*n/sampling)'];
41 - b1=[ppy(1:f*n/sampling)];
42 - b2=[dbppy(1:f*n/sampling)];
43 - m=size(b1);
44 - b(1:f*n/sampling, i)=b1';
45 - bb(1:f*n/sampling, i)=b2';
46 - c1(1, i)=time;
47
48 - save fr a1 -ascii
49 - save power b -ascii
50 - save db bb -ascii
51 - save time c1 -ascii
52 - end
53 - figure
54 - contourf(time, fr(1:29),db(1:29,:), 'DisplayName', 'db');figure(gcf)
55 - figure
56 - contourf(time, fr(30:185),db(30:185,:), 'DisplayName', 'db');figure(gcf)
57

```

Εικόνα 48: Ο αλγόριθμος επεξεργασίας των ακουστικών καταγραφών σε .wav format στο Matlab του CloudFront του ΕΜΠ.

Με βάση τις ακουστικές καταγραφές, σε wav format και την εν συνεχεία επεξεργασία τους στο Matlab του CloudFront του ΕΜΠ, με τον αλγόριθμο της παραπάνω εικόνας 48, παράχθηκε το ακουστικό φασματογράφημα σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 10.8. Στο φασματογράφημα αυτό και πριν από την αφή της φλόγας, παρατηρούνται μεγάλες τιμές dB για συχνότητες περί τα 20Hz, 170Hz, 400Hz, 480Hz και 840Hz. Επίσης, διαπιστώνεται ότι, αυτές οι συχνότητες διατηρούν το ίδιο επίπεδο dB τιμών για όλον τον πειραματικό χρόνο. Προφανώς, αυτό να οφείλεται στον θόρυβο του background του εργαστηρίου (κυρίως αντλίες, ανεμιστήρες και βαλβίδες). Μετά την αφή της φλόγας, στο χρόνο 2 min, υψηλές dB τιμές παρατηρούνται για συχνότητες 100 - 200 Hz σε χρόνους περίπου 3 min, 4 min, 4.4 min και 6.8 min. Επίσης, στο ίδιο φασματογράφημα παρατηρούνται και υψηλότερες συχνότητες για τους ίδιους, όπως προηγουμένως, πειραματικούς χρόνους. Το πιθανότερο, αυτές οι συχνότητες να οφείλονται στην διαστολή και συστολή των μεταλλικών ελασμάτων από την θέρμανση και την εν συνεχεία ψύξη τους.



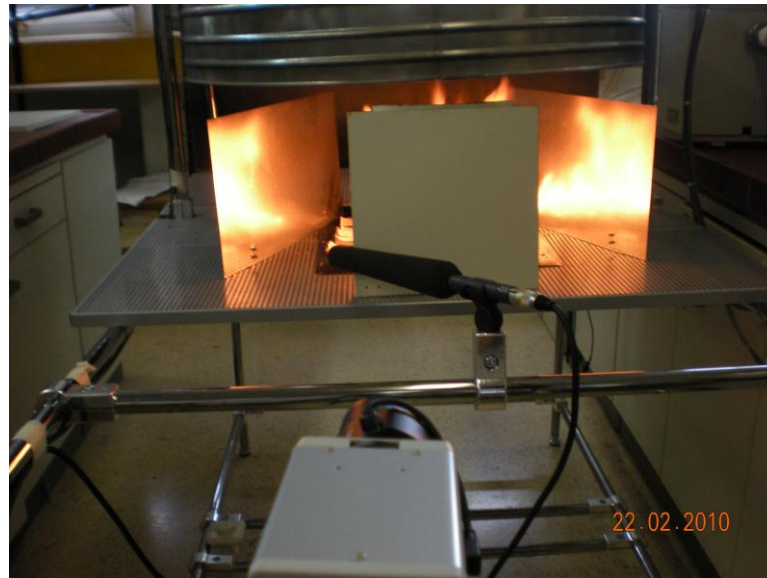
Διάγραμμα 10.8: Φασματογράφημα της ακουστικής καταγραφής σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης.

Παρατηρώντας το ανωτέρω φασματογράφημα δύναται να εξαχθεί, ένα γενικό συμπέρασμα, σχετικά με την περιοχή συχνοτήτων, που έχουν ενδιαφέρον για τις υπόψη εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, η συχνοτική περιοχή 0 – 200 Hz φαίνεται να παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθόσον στη διάρκεια του πειραματικού χρόνου, παρουσιάζονται οι περισσότερες μεταβολές. Για το λόγο αυτό, το ακουστικό φασματογράφημα των πειραμάτων αυτών παρουσιάζεται σε δύο περιοχές συχνοτήτων, δηλαδή 0 – 300 Hz και 300 – 2000 Hz, προκειμένου να είναι πιο ευδιάκριτο το ανωτέρω συμπέρασμα.

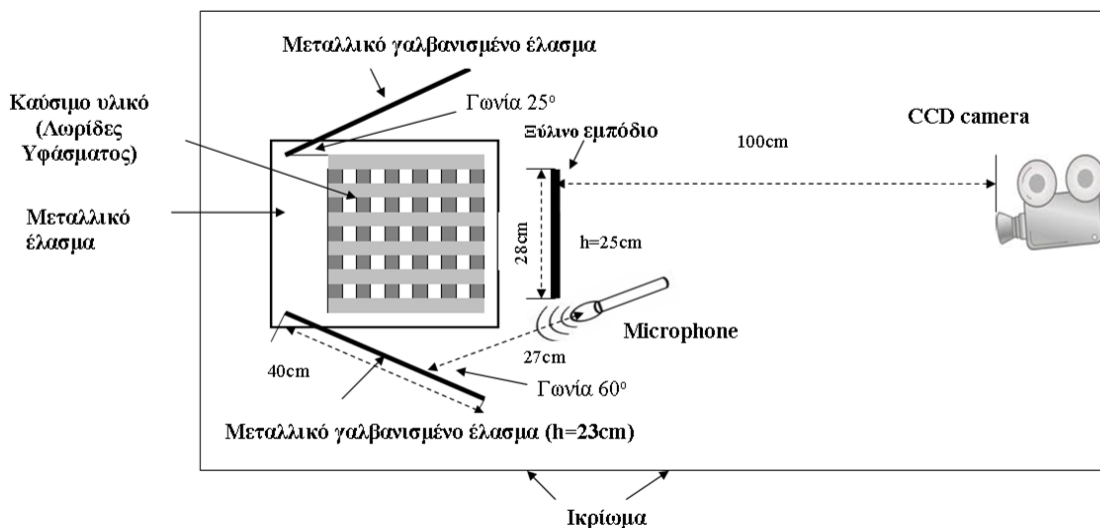
10.5. Παρακολούθηση Με Εμπόδια

Στα πειράματα αυτά χρησιμοποιήθηκε η διάταξη που φαίνεται στην εικόνα 49. Πιο συγκεκριμένα, είχαν τοποθετηθεί δύο πλαϊνά κάθετα μεταλλικά ελάσματα, από γαλβανισμένη λαμαρίνα, στην εστία καύσης καθώς και ένα άλλο κάθετο εμπόδιο, από λευκή μελαμίνη, εμπρός από την εστία καύσης. Ουσιαστικά έγινε μία προσπάθεια να προσομοιαστούν οι συνθήκες πεδίου σε εσωτερικό περιβάλλον, όπου εκεί, ο απευθείας εντοπισμός και η παρακολούθηση καύσης από αισθητήρες, ιδιαίτερα στα αρχικά στάδια, δεν είναι πάντα εφικτό. Το μπροστινό εμπόδιο παρακώλυε την

ευθύγραμμη μετάδοση προς τους αισθητήρες (κάμερα και μικρόφωνο) των οπτικών και ακουστικών σημάτων που παράγονταν κατά την διάρκεια της καύσης. Τα πλαϊνά εμπόδια προσομοίαζαν με επιφάνειες που πάνω τους ανακλώνται τα ακουστικά και οπτικά σήματα της καύσης.



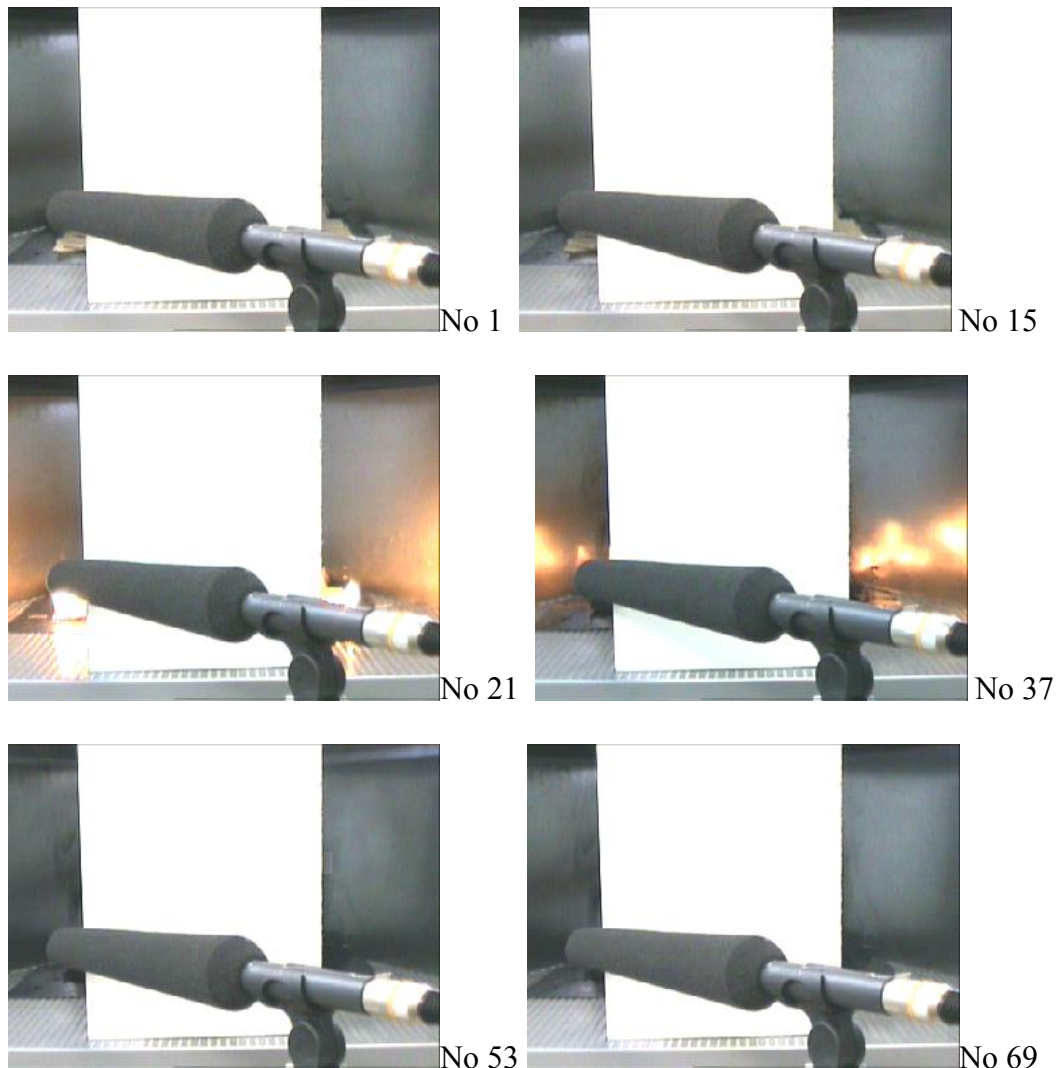
(α)



Εικόνα 49: Παρακολούθηση του φαινομένου της καύσης με την παρεμβολή εμποδίων: (α) χαρακτηριστική φωτογραφία του φαινομένου και της διάταξης, (β) σκαριφηματική διάταξη

Ο πειραματικός χρόνος είχε διάρκεια συνολικά 14 min. Στον χρόνο 0 min γινόταν έναρξη καταγραφής των δεδομένων των αισθητήρων, δηλαδή στο χρονικό διάστημα 0 έως 2 min γινόταν απλώς καταγραφή του background του πειράματος, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στα στιγμιότυπα Νο1 και Νο15 της εικόνας 50. Στο χρόνο 2 min έγινε η αφή της φλόγας με την χρήση ενός απλού αναπτήρα. Η φλόγα ήταν εμφανής από τη στιγμή της αφής (χρόνος 2 min), μέχρι περίπου το χρόνο 5.6 min, δηλαδή, η συνολική διάρκεια της καύσης με φλόγα ήταν περίπου τα 3.6 min. Η φλόγα εμφανίζεται να παρουσιάζει μέγιστο ύψος και ένταση περί τον χρόνο 3.5 min. Μετά

το χρόνο 5.6 min η καύση συνεχίστηκε χωρίς τη παρουσία φλόγας όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στα στιγμιότυπα Νο53 και Νο69 της εικόνας 50.



Εικόνα 50: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από τις διάφορες φάσεις του πειράματος. Οι αριθμοί των στιγμιότυπων αντιστοιχούν στον αύξοντα αριθμό από την διαδικασία δειγματοληψίας και υποδηλώνει και την χρονική στιγμή του πειραματικού χρόνου (για παράδειγμα το στιγμιότυπο Νο 69 αντιστοιχεί στον πειραματικό χρόνο $69 \times 7 = 483 \text{ sec}$ ή περίπου 8 min) του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων.

Στην παρακάτω ανάλυση παρουσιάζονται μόνο η οπτική ανάλυση και η αντίστοιχη ακουστική. Ο λόγος είναι ότι, η προαναφερθείσα πειραματική διάταξη επηρέασε μόνο την καταγραφή βίντεο και ήχου. Η χημική ανάλυση παρέμεινε αμετάβλητη καθόσον οι συνθήκες γι' αυτήν ήταν ίδιες και δεν επηρεάστηκε από την ύπαρξη των εμποδίων.

10.5.1. Οπτική Ανάλυση

Όσον αφορά στην οπτική ανάλυση και όπως ήδη έχει αναφερθεί στο παρόν κεφάλαιο στην αντίστοιχη παράγραφο 10.4.2., στο κάθε πείραμα έγινε δειγματοληψία 120 στιγμιότυπων, με χρονικό διάστημα δειγματοληψίας τα 7 s. Κατόπιν, τα

στιγμιότυπα αυτά φορτώθηκαν στο Matlab του Cloud Front του ΕΜΠ προκειμένου να αναλυθούν στο μοντέλο RGB.

10.5.1.1. Εξέταση της Μεταβολής των R, G και B

Στην παρακάτω εικόνα 51 παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που συντάχθηκε προκειμένου να παρουσιαστεί η μεταβολή του αριθμού των pixels που είχαν τιμές R που ενδιέφεραν την ανάλυση μας σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, ενώ στο παρακάτω διάγραμμα 6 εμφανίζεται και το γράφημα που παράγεται από αυτόν τον αλγόριθμο. Οι τιμές R που ενδιέφεραν την ανάλυση μας ήταν αυτές που ανήκαν στο διάστημα από 230 μέχρι 255. Κατά αναλογία έγινε το ίδιο ακριβώς και για την εξέταση της μεταβολής του G και του B.

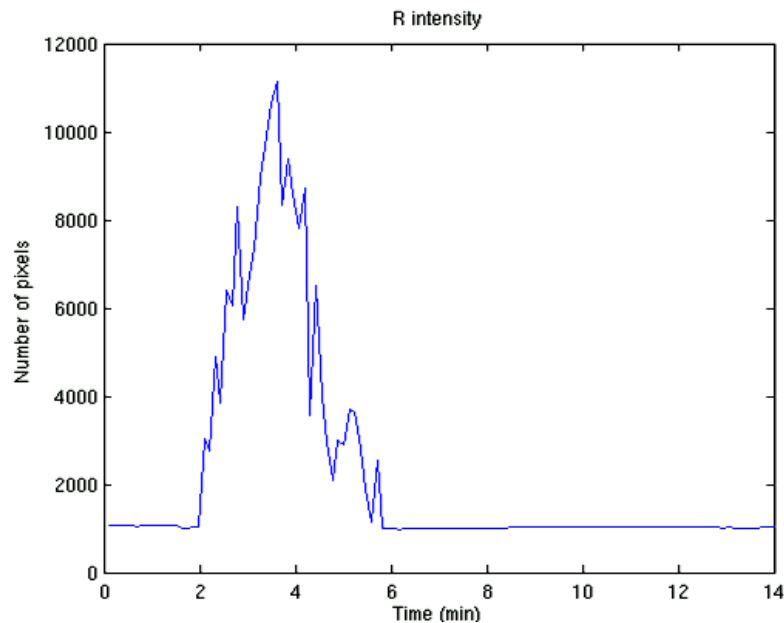
```

1 -     j=0
2
3 -     for i=1:120;
4 -         j=j+1;
5 -         t(j)=i*7/60;
6 -         l=0
7
8 -         for k=240:320;
9 -             for m=1:240;
10
11 -                 l=l+1;
12 -                 R(l ,j)= eval(['R' num2str(i) '(m,k)']);
13 -             end
14 -         end
15 -     end
16
17
18
19 -     n=hist(R)
20 -     plot(t, n(10,:))
21 -     dlmwrite('R.txt', R)
22 -     dlmwrite('Time.txt', t)
23 -     dlmwrite('katanomi.txt', n)
24

```

Εικόνα 51: Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση εικόνας για να δειχθεί η μεταβολή του αριθμού των pixels με τιμές $R > 230$ σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων.

Όπως και στην επεξεργασία, των οπτικών δεδομένων χωρίς την παρουσία των εμποδίων, έτσι και στην περίπτωση αυτή επιλέχθηκε ένα τμήμα του frame που θα έδειχνε ευδιάκριτα τα αποτελέσματα της επεξεργασίας αυτής. Το τμήμα αυτό, αντιστοιχεί στο δεξιό τμήμα της εικόνας και πιο συγκεκριμένα περικλείει το τμήμα που αποτελείται από τις στήλες 240 έως 320 και από τις γραμμές 1 έως 240. Να σημειωθεί και πάλι ότι η ανάλυση του βίντεο είναι 320 X 240.

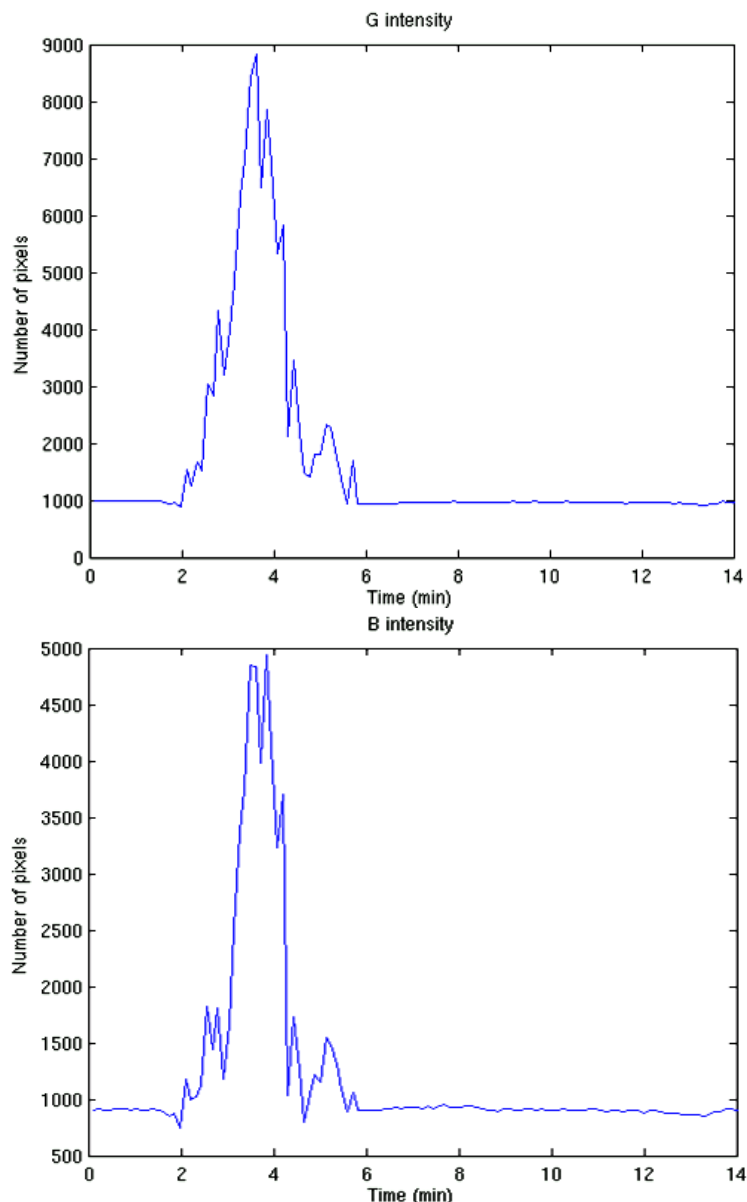


Διάγραμμα 10.9: Η καμπύλη μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές $R > 230$ σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων.

Παρατηρώντας την καμπύλη του ανωτέρω διαγράμματος 10.9, είναι φανερό ότι η καμπύλη αυτή ακολουθεί τις μεταβολές της φλόγας όπως αυτές έχουν περιγραφεί στην αρχή της παραγράφου 10.5. του παρόντος κεφαλαίου. Πιο συγκεκριμένα, είναι σαφές ότι διαπιστώνεται μία σημαντική αύξηση του αριθμού των pixels στον χρόνο 2 min και μετά, δηλαδή στην χρονική στιγμή της αφής της φλόγας και μετά. Βεβαίως, παρατηρώντας την καταγραφή του βίντεο, από το εν λόγω πείραμα, διαπιστώνεται ότι, με την αφή της φλόγας από τον αναπτήρα, η φλόγα σ' ελάχιστα δευτερόλεπτα εξαπλώνεται σ' όλη την επιφάνεια του καύσιμου υλικού και αυξάνεται σε ύψος και ένταση. Στη συνέχεια, η φλόγα διατηρείται σε ύψος και ένταση μέχρι τον χρόνο 3.5 min. Μετά τον χρόνο αυτό και μέχρι τα 5.6 min η φλόγα φθίνει σταδιακά όπου και τελικά αυτή σβήνει.

Άρα λοιπόν, η προαναφερθείσα μεθοδολογία ανάλυσης εικόνας, με βάση το μοντέλο RGB και πιο συγκεκριμένα η παρακολούθηση του αριθμού των pixels με τιμές $R > 230$ εμφανίζει ευαισθησία και έχει μεγάλη πιστότητα στην φλόγα που παράγεται από την καύση του καύσιμου υλικού των πειραμάτων μας. Αυτό το συμπέρασμα ενισχύεται επίσης από την σύγκριση της μακροσκοπικής παρατήρησης με την καμπύλη του ανωτέρω διαγράμματος 10.9. Επίσης διαπιστώνεται ότι, η μέθοδος αυτή δεν δίνει καμία πληροφορία που αφορά στην ύπαρξη καπνού, τόσο κατά την διάρκεια της φλόγας αλλά και μετά την σβέση αυτής, όπου μακροσκοπικά παρατηρείται και σημαντική παρουσία λευκού καπνού.

Στο παρακάτω διάγραμμα 10.10 παρουσιάζονται τα γραφήματα που δεικνύουν την μεταβολή του αριθμού των pixels που είχαν τιμές G και B που ανήκαν στο διάστημα από 230 μέχρι 255, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο.

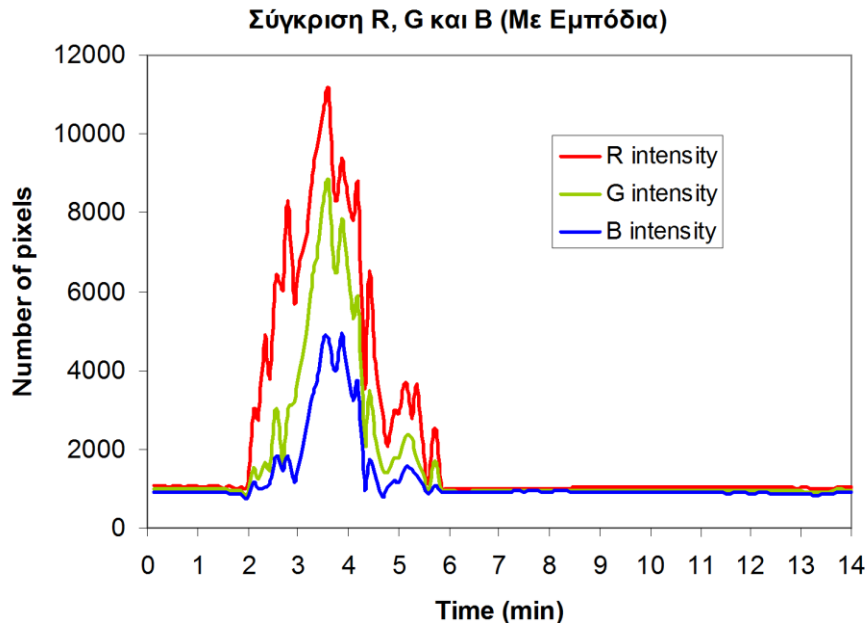


Διάγραμμα 10.10: Η καμπύλη μεταβολής του αριθμού των pixels, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, με τιμές: (α) $G > 230$ και (β) $B > 230$ του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων.

Παρατηρώντας τις καμπύλες του διαγράμματος 10.10 διαπιστώνεται ότι, τόσο η ανάλυση του G όσο και η ανάλυση του B, για τιμές μεγαλύτερες του 230, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, ακολουθούν την μεταβολή του φαινομένου της καύσης όπως αυτή περιγράφεται στην αρχή της παραγράφου 10.5. του παρόντος κεφαλαίου. Επίσης διαπιστώνεται ότι, η καμπύλη του G παρουσιάζει μεγαλύτερη σχετικά πιστότητα στο φαινόμενο, σε σχέση με την καμπύλη του B.

Συμπεράσματα δύναται να εξαχθούν και από το διάγραμμα 10.11 στο οποίο παρουσιάζονται οι μεταβολές του R, G και B για τιμές μεγαλύτερες του 230 σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο. Διαπιστώνεται ότι και στις τρεις καμπύλες υπάρχει μια αναλογία, αλλά φαίνεται ότι η καμπύλη μεταβολής του R να παρακολουθεί το φαινόμενο πιο ευδιάκριτα. Σχεδόν και οι τρεις αυτές καμπύλες παρουσιάζουν μέγιστα και ελάχιστα, τις ίδιες χρονικές στιγμές και παρακολουθούν την εξέλιξη την φλόγας, όσον αφορά στην ένταση και στο ύψος, με πιστότητα. Μετά την σβέση της φλόγας οι καμπύλες σταθεροποιούνται στις ίδιες σχεδόν τιμές και οι

οποίες είναι όμοιες, σχεδόν, μ' αυτές πριν από την αφή της φλόγας. Μετά την σβέση της φλόγας και παρόλο που η καύση συνεχίζεται χωρίς την παρουσία φλόγας, η εξέταση και των τριών αυτών μεταβλητών δεν δίνει κάποια πληροφορία σχετικά με την εξέλιξη και την παρουσία του φαινομένου της καύσης.



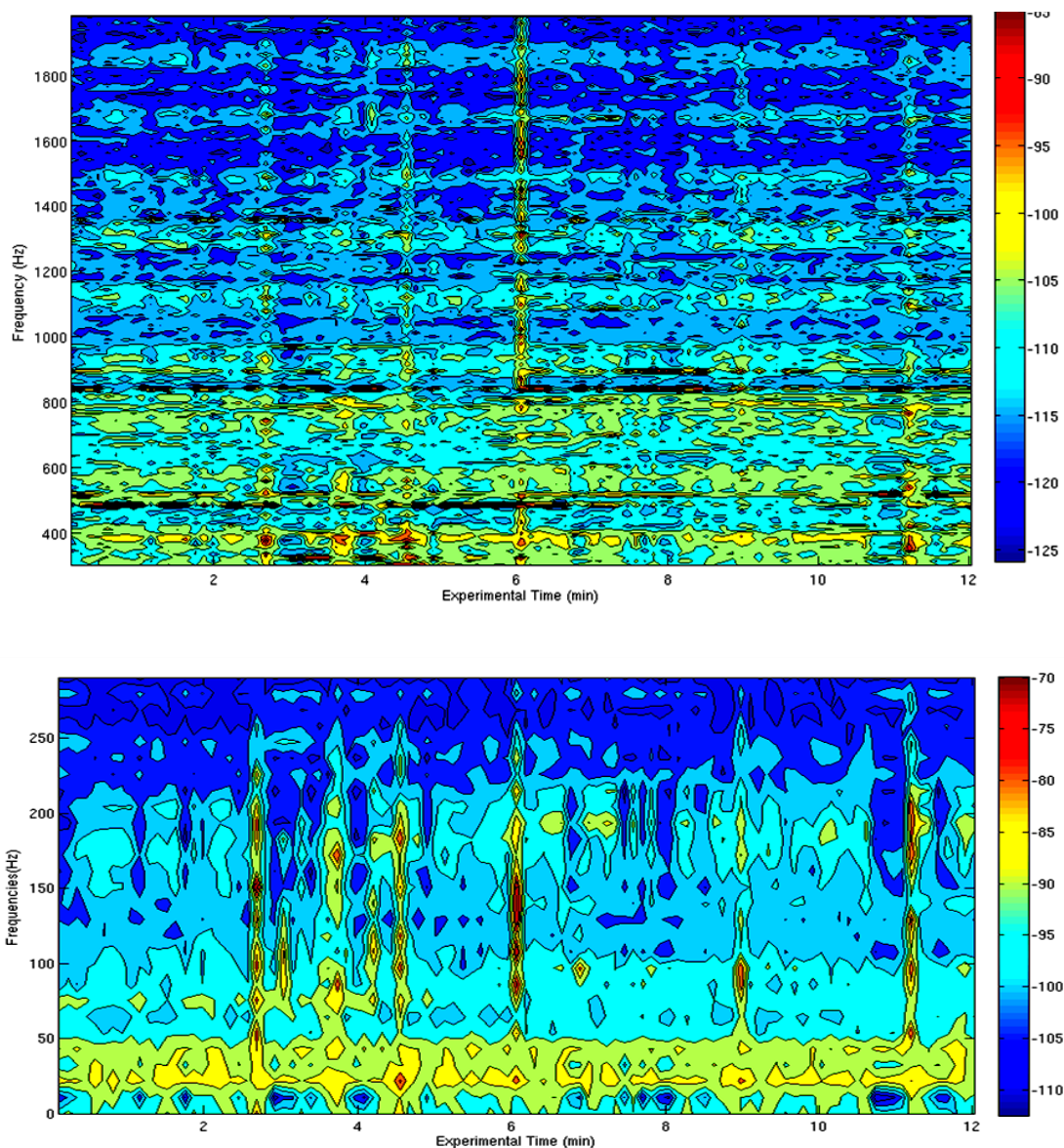
Διάγραμμα 10.11: Οι καμπύλες μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές R, G και B μεγαλύτερες από το 230 σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων..

10.5.2 Ακουστική Ανάλυση

Και στα πειράματα αυτά, ο πειραματικός χρόνος είχε διάρκεια 14 min. Στο χρόνο 0 min πραγματοποιήθηκε έναρξη των καταγραφών των δεδομένων όλων των αισθητήρων. Η αφή της φλόγας έγινε στο χρόνο 2 min. Οι καταγραφές στο χρονικό αυτό διάστημα, δηλαδή από το χρόνο 0 min έως και το χρόνο 2 min θεωρούνται το background του κάθε πειράματος. Επίσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ακουστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε για το πειραματικό χρονικό διάστημα 0 – 12 min. Η θέση του ακουστικού αισθητήρα (μικρόφωνο) στην πειραματική διάταξη εμφανίζεται χαρακτηριστικά στην εικόνα 49, του παρόντος κεφαλαίου.

Για την ακουστική επεξεργασία έγινε χρήση του ίδιου αλγόριθμου που φαίνεται στην εικόνα 48. Με βάση τις ακουστικές καταγραφές, παράχθηκε το ακουστικό φασματογράφημα σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 10.12. Στο φασματογράφημα αυτό, όπως και στα πειράματα της απευθείας παρατήρησης χωρίς την ύπαρξη των εμποδίων, πριν από την αφή της φλόγας, διαπιστώνεται η σημαντική επίδραση του background και η οποία διατηρείται για όλο τον πειραματικό χρόνο. Μετά την αφή της φλόγας, στο χρόνο 2 min, υψηλές dB τιμές παρατηρούνται για συχνότητες 70 - 200 Hz, αλλά και σε υψηλότερες συχνότητες μέχρι τα 2000 Hz σε χρόνους περίπου 2.68 min, 3.03 min, 3.73 min, 4.55 min, 6.07 min και 11.2 min. Το πιθανότερο, αυτές οι συχνότητες να οφείλονται στη διαστολή και συστολή των μεταλλικών ελασμάτων της εστίας καύσης, αλλά και των κάθετων ανακλαστικών επιφανειών από τη θέρμανση και την εν συνεχεία ψύξη τους, καθώς επίσης και στην ανάκλαση των ηχητικών σημάτων επί των κάθετων ανακλαστικών επιφανειών.

Παρατηρώντας τα ακουστικά φασματογράμματα των διαγραμμάτων 10.8 και 10.12 (χωρίς εμπόδια και με εμπόδια παρακολούθηση αντίστοιχα), διαπιστώνεται ότι, στην περίπτωση της παρακολούθησης με εμπόδια παράγονται περισσότερα ακουστικά σήματα. Άρα συνάγεται το συμπέρασμα ότι, στην περίπτωση των εμποδίων είναι δυνατόν να συλλέγονται ηχητικές ενδείξεις της καύσης λόγω ηχητικής ανάκλασης αλλά και λόγω του ήχου που παράγεται από τα αντικείμενα που επηρεάζονται από την καύση.



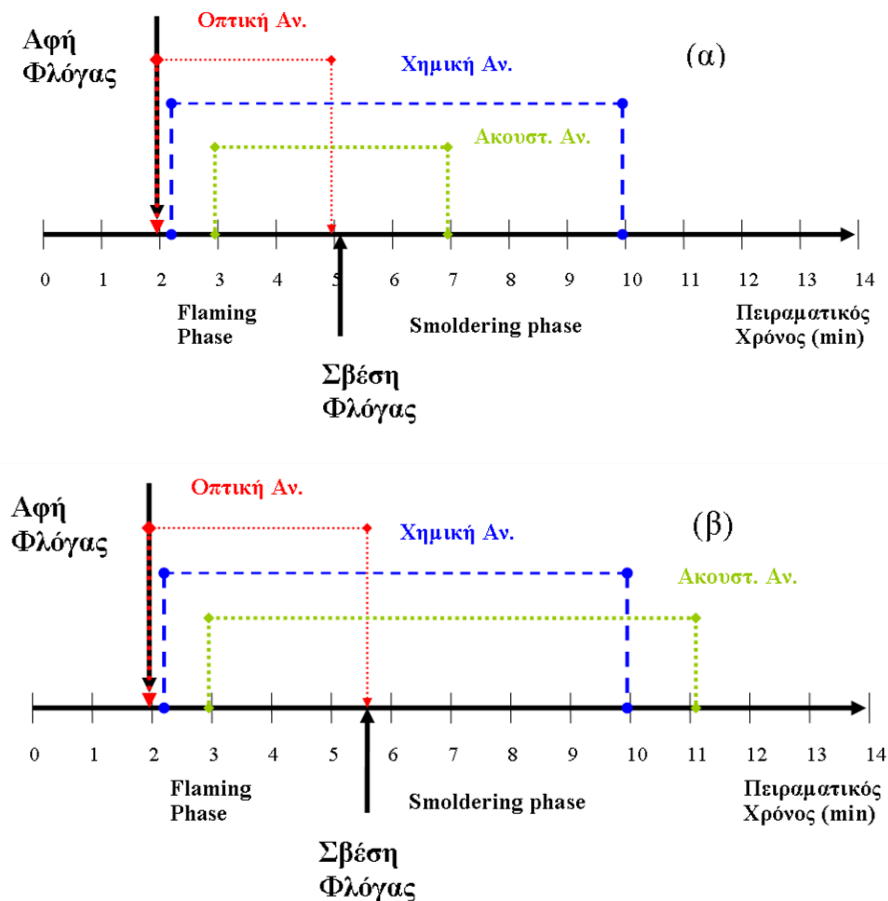
Διάγραμμα 10.12: Φασματογράφημα της ακουστικής καταγραφής σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων.

10.6. Συγκρίσεις Αποτελεσμάτων

Συγκρίνοντας τις χημικές καταγραφές με τις αντίστοιχες οπτικές γίνεται φανερό ότι, το βίντεο σήμα παρείχε ενδείξεις της φωτιάς νωρίτερα από το χημικό σήμα, τόσο για την απευθείας παρακολούθηση όσο και στην παρεμβολή εμποδίων. Κατά την διάρκεια της φάσης της καύσης με την παρουσία φλόγας, τόσο τα βίντεο σήματα, όσο

και τα αντίστοιχα χημικά παρέχουν σημαντικές ενδείξεις της φωτιάς. Όμως, στη φάση της καύσης χωρίς τη παρουσία φλόγας, μετά το χρόνο 5-6 min, οι ενδείξεις της φωτιάς που παρέχονται από την επεξεργασία εικόνας, που περιγράφηκε παραπάνω, είναι ανίσχυρες, ενώ τα χημικά σήματα παρείχαν ισχυρές ενδείξεις της καύσης για μεγαλύτερο χρόνο.

Στην παρακάτω εικόνα 52 παρουσιάζεται σχηματικά μία σύγκριση του χρονικού διαστήματος, στο οποίο, η κάθε ανάλυση, δηλαδή η χημική, οπτική και ακουστική, παρουσίασε ενδείξεις της καύσης.



Εικόνα 52: Χρονικό διάστημα στο οποίο η κάθε μέθοδος δίνει ενδείξεις της καύσης, στα πειράματα καύσης: (α) χωρίς την παρεμβολή εμποδίων, (β) με εμπόδια

Κάνοντας σύγκριση της ακουστικής και της αντίστοιχης χημικής ανάλυσης διαπιστώνεται ότι, τόσο τα χημικά όσο και τα ακουστικά σήματα εμφανίζουν υψηλές τιμές στο χρονικό διάστημα 3.5 μέχρι 4.5 min. Αυτό δεικνύει την δυνατότητα των ακουστικών σημάτων να επιβεβαιώνουν την πληροφορία, που παρέχεται από την χημική ανάλυση. Μετά από τον χρόνο 6.5 min υφίστανται ακόμη, ηχητικές ενδείξεις της καύσης όπως φαίνεται και στα ακουστικά φασματογραφήματα, ενώ οι περισσότερες χημικές παράμετροι αρχίζουν να παρουσιάζουν μία σημαντική μείωση. Αυτό επισημαίνει την δυνατότητα της ακουστικής ανάλυσης να δρα συμπληρωματικά με την χημική ανάλυση.

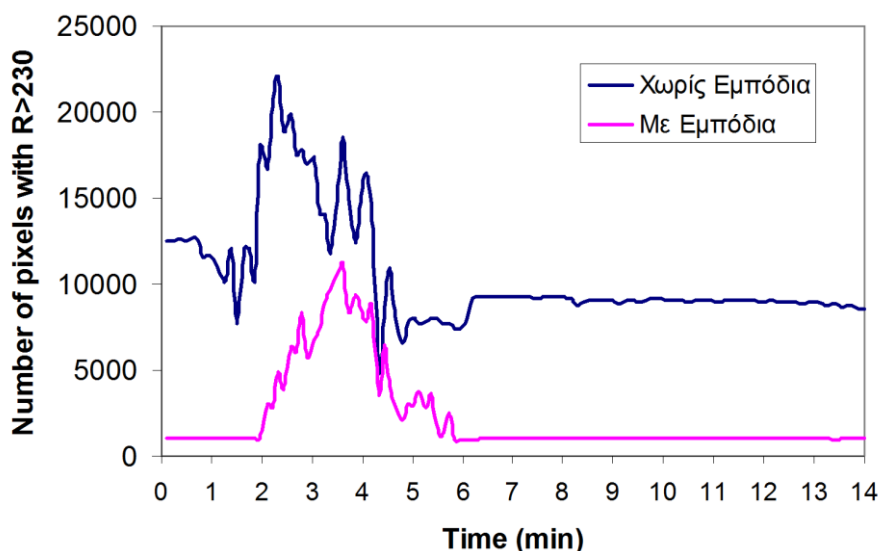
Κάνοντας σύγκριση της ακουστικής και της αντίστοιχης οπτικής ανάλυσης διαπιστώνεται ότι τόσο τα ακουστικά όσο και τα οπτικά σήματα δίνουν ενδείξεις της φλόγας αμέσως σχεδόν με την αφή. Βέβαια οι οπτικές ενδείξεις φαίνεται να είναι εντονότερες από τις ηχητικές για το χρόνο από 2 min έως και τα 2.5 min. Μετά από το χρόνο αυτό, που έχει μεγαλώσει η ένταση της φωτιάς και οι δύο αναλύσεις

παρέχουν ισχυρές πλέον ενδείξεις της φωτιάς. Τόσο η ακουστική ανάλυση, όσο και η οπτική, παρέχουν ισχυρές ενδείξεις της φωτιάς μέχρι το χρόνο 5 min. Μετά από τον χρόνο αυτό, η ακουστική ανάλυση συνεχίζει να δίνει ενδείξεις της καύσης που συνεχίζεται πλέον χωρίς την παρουσία φλόγας.

Επίσης, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης που ελήφθησαν από το PSS-MS σε σχέση, με τα αντίστοιχα που ελήφθησαν από τον αναλυτή καυσαερίων συνάγεται ότι: (α) ο χρόνος απόκρισης του MS στο φαινόμενο της καύσης είναι ανάλογος στο χρόνο απόκρισης των διαφόρων αισθητήρων του αναλυτή καυσαερίων, (β) το MS παρέχει την δυνατότητα της παρακολούθησης μίας ποικιλίας πτητικών οργανικών ενώσεων (Volatile Organic Compounds – VOCs) που σχετίζονται και είναι χαρακτηριστικές των διαφόρων φάσεων της καύσης και (γ) σ' αντίθεση με τους αισθητήρες του αναλυτή καυσαερίων που είναι ευαίσθητοι σε συγκεκριμένα VOCs, το MS εμφανίζεται να είναι ευαίσθητο σε μία ευρεία ποικιλία ουσιών.

Τέλος, αξίζει να επισημανθεί ότι, τόσο η οπτική ανάλυση όσο και η αντίστοιχη ακουστική δύνανται να δώσουν ενδείξεις της καύσης ανεξάρτητα με την τοποθέτηση ή όχι εμποδίων, όπως φαίνεται από την εικόνα 52 και το διάγραμμα 10.13.

Σύγκριση οπτικής παρακολούθησης Με & Χωρίς εμπόδια



Διάγραμμα 10.13: Οι καμπύλες μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές $R > 230$, σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο, τόσο για την παρακολούθηση με εμπόδια όσο και χωρίς την παρεμβολή εμποδίων

10.7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, ο συνδυασμός της χημικής ανάλυσης πεδίου με την ανάλυση των ακουστικών και οπτικών σημάτων επιτρέπει την ολοκληρωμένη παρακολούθηση φαινομένων τόσο σε μοριακό αλλά και μακροσκοπικό επίπεδο. Τα ακουστικά και τα οπτικά σήματα παρέχουν νωρίτερα τις ενδείξεις της φωτιάς και επιπλέον δύνανται να επιβεβαιώσουν τις πληροφορίες της χημικής ανάλυσης ή να δράσουν συνεπικουρικά στην χημική ανάλυση όταν υφίστανται περιορισμοί σ' αυτήν. Παρομοίως, η χημική ανάλυση δύναται να συνδράμει την ακουστική και οπτική

παρακολούθηση όταν δεν υφίστανται δυνατότητες μακροσκοπικής παρακολούθησης. Ο εντοπισμός και ο αποκλεισμός των οπτικών, ακουστικών και χημικών ψευδοσυναγεργμών είναι ένα από τα μεγάλα οφέλη που θα προκύψουν με την ανάπτυξη της συνδυαστικής δράσης των τριών διαφορετικών αναλύσεων, έτσι ώστε, η κάθε μία να επιβεβαιώνει ή να αποκλείει τους συναγεργμούς της άλλης.

Στην παρούσα φάση η οπτική ανάλυση επικεντρώνεται στην ανίχνευση της φλόγας που παράγεται κατά την καύση των υλικών. Βεβαίως, από την καύση παράγονται και άλλα δυναμικά φαινόμενα όπως αυτό του καπνού. Η ανίχνευση του καπνού δεν είναι προς το παρόν αντικείμενο της υφιστάμενης έρευνας. Δύναται όμως να εξεταστεί η διερεύνηση αυτού του φαινομένου σε μελλοντικό στάδιο.

Εκτιμάται ότι η συνδυαστική δράση των τριών τεχνολογιών αυτών (χημικής ανάλυσης, εικόνας, ήχου) παρέχει δυνατότητες ανάπτυξης πιο αξιόπιστων μη επιτηρούμενων συστημάτων επίβλεψης χώρων πλοίων και άλλων πλωτών κατασκευών με ταχύτερη απόκριση και λιγότερους ψευδοσυναγεργμούς. Τα συστήματα αυτά θα μπορούν να συνδυάζουν διάφορες υφιστάμενες και εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες πεδίου, προκειμένου, να βελτιστοποιηθεί η ικανότητα έγκαιρης ανίχνευσης πυρκαγιάς καθώς και άλλων επικίνδυνων φαινομένων.

Βιβλιογραφία:

M. Statheropoulos, K. Mikedi, P. Stavrakakis, A. Agapiou, S. Karma, G. Pallis, A. Pappa, “A preliminary study of combining mass spectrometric data with audio and video signals for real-time monitoring of controlled lab-scale fires”, *Sensors and Actuators B* 159 (2011) 193– 200.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ, ΥΠΟ ΚΛΙΣΗ, ΤΡΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

11.1. Εισαγωγή

Στον παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τρεις σειρές πειραμάτων καύσης, που αφορούν στην μακροσκοπική και μοριακή παρατήρηση της καύσης τριών διαφορετικών υλικών. Τα πειράματα αυτά πραγματοποιήθηκαν χωρίς την παρεμβολή εμποδίων και η εστία καύσης είχε τοποθετηθεί υπό κλίση 30° σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, όπως φαίνεται στην εικόνα 53. Στα πειράματα αυτά η καύση των υλικών πραγματοποιήθηκε κάτω από ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Η επιλογή να πραγματοποιηθεί η καύση σε κεκλιμένο επίπεδο έγινε, προκειμένου να προσομοιωθούν οι συνθήκες πεδίου. Στην προηγούμενη σειρά πειραμάτων η καύση πραγματοποιήθηκε σε οριζόντιο επίπεδο, όμως στην πραγματικότητα η φωτιά εξαπλώνεται σε κάθε επίπεδο, γι' αυτό επιλέχθηκε η συγκεκριμένη κλίση που προσομοιάζει με την εξάπλωση της φωτιάς σε κεκλιμένο επίπεδο.

Ακόμη, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αυτές οι σειρές πειραμάτων περιελάμβαναν από ένα πείραμα κάθε σειράς αλλά και μία επανάληψη για κάθε πείραμα.



Εικόνα 53: Πειραματική διάταξη πειραμάτων καύσης τριών διαφορετικών υλικών, υπό κλίση και χωρίς την παρεμβολή εμποδίων.

11.2. Στόχοι

Οι στόχοι των πειραμάτων αυτών ήταν:

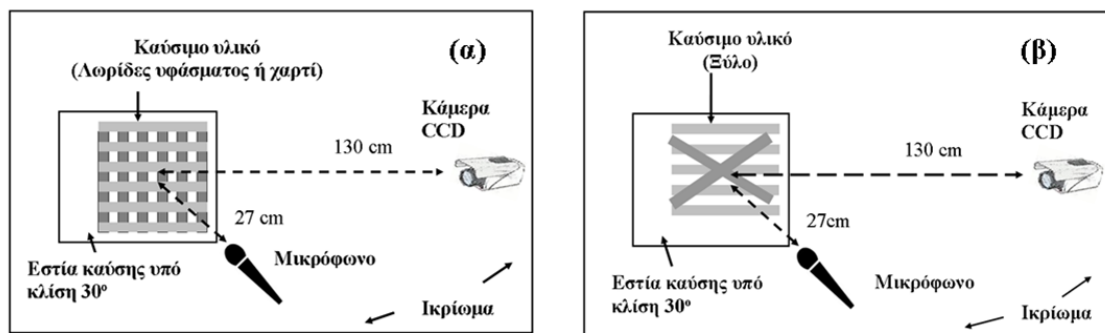
α. Να διερευνηθεί η αξιοπιστία της προτεινόμενης μεθόδου για την παρακολούθηση του φαινομένου καύσης διαφορετικών υλικών και τα οποία παρουσιάζουν διαφορές στην καύση τους.

β. Να βελτιστοποιηθούν οι αλγόριθμοι επεξεργασίας των χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων που συλλέχθηκαν από τα πειράματα καύσης των τριών αυτών διαφορετικών υλικών.

γ. Να διερευνηθούν περαιτέρω οι πιθανές αναλυτικές προοπτικές της προτεινόμενης μεθόδου με την χρήση μεθόδων μοντελοποίησης.

11.3. Υλικά

Ως καύσιμο υλικό των πειραμάτων καύσης χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά υλικά, δηλαδή, βαμβακερό ύφασμα, λευκό χαρτί εκτύπωσης και αποξηραμένο ξύλο δρυς. Το κάθε υλικό είχε βάρος 75 gr., σταθερές διαστάσεις και διάταξη. Το ύφασμα και το χαρτί κόπηκαν σε λωρίδες σταθερών διαστάσεων (30 X 3 cm) και τοποθετήθηκαν πάνω στο μεταλλικό έλασμα για την καύση, σχηματίζοντας έτσι ένα πλαίσιο 6 X 6, όπως φαίνεται στην εικόνα 54.(α). Οι λωρίδες του ξύλου δρυός ήταν σε λωρίδες σταθερών διαστάσεων (20 X 2 cm) και τοποθετήθηκαν πάνω στο μεταλλικό έλασμα για την καύση, όπως φαίνεται στην εικόνα 54.(β). Οι λωρίδες αυτές ψεκάστηκαν με μικρή, αλλά σταθερή ποσότητα (20 ml) αποθειωμένου Diesel fuel πετρελαιοκίνησης.



Εικόνα 54: Σκαριφηματική διάταξη τοποθέτησης καύσιμου υλικού: (α) ύφασμα ή χαρτί και (β) ξύλο

11.3.1. Επιλογή των υλικών

Στη σειρά αυτή των πειραμάτων τα υλικά τα οποία επιλέχθηκαν, για να μελετηθεί η καύση τους, δηλαδή το βαμβακερό ύφασμα, το λευκό χαρτί εκτύπωσης και το ξύλο δρυς είναι από τα πλέον κοινά υλικά και απαντώνται σχεδόν σε κάθε κτίριο και τεχνητή κατασκευή. Τα υλικά αυτά απαντώνται σε μεγάλη ποικιλία αλλά και σημαντικές ποσότητες.

Τα κοινά αυτά υλικά σχετίζονται άμεσα με τις πυρκαγιές κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, το ύφασμα, το χαρτί και το ξύλο αποτελούσαν σημαντικό μέρος του εμπορεύματος που ήταν αποθηκευμένο σε βιομηχανικούς αποθηκευτικούς χώρους που είχε πληγεί από πυρκαγιά (Bidgood και Nolan, 1995). Επίσης, τα ίδια αυτά υλικά αποτελούν την πλειοψηφία των υλικών που αναφλέγονται πρώτα σε πυρκαγιές κατοικιών (Holborn et al, 2003 και 2004). Επιπλέον, το ξύλο αποτελεί το κυριότερο καύσιμο για θέρμανση και μαγείρεμα στον αναπτυσσόμενο κόσμο, κυρίως, με την χρήση ακατάλληλων συσκευών και κατασκευών, που συμβάλουν αρνητικά στην μόλυνση του εσωτερικού περιβάλλοντος των κατοικιών και κτιρίων (WHO 2011, Kim et al 2011).

Επομένως, τα υλικά αυτά δεν είναι μόνο κοινά και σε ευρεία χρήση, αλλά συνδέονται άμεσα με πυρκαγιές εσωτερικών χώρων και επιβαρύνουν τη υγεία, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Διαπιστώνεται, λοιπόν, ότι η ευρεία κοινή και καθημερινή χρήση αυτών των κοινών υλικών στην κανονική μορφή τους είναι ακίνδυνη και εξαιρετικά χρήσιμη. Όμως, η καύση των υλικών αυτών μπορεί να είναι επιβαρυντική της υγείας και να οδηγήσει σε πυρκαγιά εσωτερικού χώρου.

Συνεπώς, η καύση αυτών των υλικών παρουσιάζει ιδιαίτερη σημασία και γι' αυτό προκρίθηκε η επιλογή τους. Επίσης, ένα άλλο στοιχείο που συνέτεινε στην επιλογή των συγκεκριμένων υλικών αποτελεί το γεγονός ότι τα υπόψη υλικά, παρότι αποτελούνται κυρίως από κυτταρίνη (cellulose), παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις ιδιότητες ως υλικά (material properties), αλλά έχουν και σημαντικές διαφορές στις θερμικές τους ιδιότητες (thermal properties) (Stankovic 2008, Ullmann 2005a, Ullmann 2005b). Συνεπώς, αναμένεται η καύση αυτών των υλικών να παρουσιάσει σημαντική ποικιλομορφία (Ryu et al 2007, White και Dietenberger 2008, Krasny et al 2001). Το στοιχείο αυτό, επίσης, είναι σημαντικό για την προτεινόμενη διεπιστημονική προσέγγιση στο θέμα της μελέτης της καύσης διαφορετικών υλικών. Η σημαντικότητα αυτή άπτεται των σκοπών της παρούσας διατριβής και ειδικότερα της σειράς αυτής των πειραμάτων. Με την ποικιλομορφία στην καύση των υλικών η προτεινόμενη μεθοδολογία καλείται να εντοπίσει και να ταξινομήσει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά, που παρουσιάζει η καύση του κάθε υλικού ξεχωριστά.

11.3.2. Καύση των στερεών υλικών

Η καύση των στερεών υλικών περιλαμβάνει τη φάση της καύσης με φλόγα (flaming) και τη φάση της υποβόσκουσας καύσης (smoldering) χωρίς την παρουσία εμφανούς φλόγας. Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι η φλόγα είναι μία αυτοσυντηρούμενη χημική αντίδραση στην αέρια φάση μεταξύ των ατμών του καύσιμου υλικού και του ατμοσφαιρικού οξυγόνου. Επίσης, η καύση μερικών στερεών καυσίμων υλικών περιλαμβάνει και τη φάση της υποβόσκουσας καύσης, η οποία είναι μία αυτοσυντηρούμενη διαδικασία και η οποία περιλαμβάνει τον σχηματισμό και την οξείδωση των εξανθρακωμάτων. Κατά την διάρκεια αυτής της φάσης, η ένταση της καύσης είναι εξαιρετικά χαμηλή σε σύγκριση με την καύση με φλόγα, ενώ τα υλικά που παράγονται από την αποδόμηση του υλικού, λόγω της καύσης, διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα, λίγο ή πολύ, άκαυστα, σχηματίζοντας έτσι ένα αεροζόλ καπνού (Drysdale 2004). Στην καύση των στερεών καυσίμων υλικών, η υποβόσκουσα καύση δύναται να εμφανιστεί σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές. Δηλαδή, η υποβόσκουσα καύση είναι δυνατό να προϋπάρχει και μπορεί να εξελιχθεί σε καύση με φλόγα και μετά την παύση της φλόγας να υφίσταται και πάλι υποβόσκουσα καύση (reverse smoldering) (Aldushin et al, 2009).

Επίσης, είναι ενδιαφέρον για την παρούσα εφαρμογή, το γεγονός ότι γενικά το ξύλο παρουσιάζει μακρύτερη χρονικά καύση, σε σύγκριση με το ύφασμα και το χαρτί. Πέρα από αυτό, το ύφασμα και το ξύλο, γενικά, εμφανίζουν σημαντική υποβόσκουσα καύση (Babrauskas).

Γενικότερα όμως, ο τρόπος που καίγεται ένα στερεό καύσιμο υλικό, δηλαδή, η εμφάνιση ή όχι και η διάρκεια της καύσης με φλόγα, ή της υποβόσκουσας καύσης, εξαρτάται περισσότερο από τη φυσική κατάσταση και την κατανομή του καύσιμου υλικού και το άμεσο περιβάλλον που επηρεάζει το υλικό, παρά από την χημική σύσταση και περιεχόμενο του υλικού. Αυτό και μόνο, αντικατοπτρίζει την πολύπλοκη και περίπλοκη φύση της συμπεριφοράς της καύσης ενός υλικού, που η κατανόηση της, απαιτεί γνώση όχι μόνο της χημείας της καύσης, αλλά άλλων πεδίων εφαρμοσμένης μηχανικής (Drysdale 1999).

11.4. Επεξεργασία Δεδομένων

Στις σειρές αυτές, των πειραμάτων, πραγματοποιούνται βελτιωμένες τεχνικές, στην επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις καταγραφές των αισθητήρων. Οι τεχνικές αυτές σκοπό έχουν, πέραν των άλλων που θα αναλυθούν εκτενέστερα στις επόμενες παραγράφους, να συνδράμουν επιπλέον στην κατανόηση, που αφορά στο φαινόμενο της καύσης των τριών αυτών υλικών.

11.4.1. Οπτική Ανάλυση

Ο αρχικός σκοπός της οπτικής ανάλυσης ήταν να διερευνηθεί μία τεχνική, που θα επέτρεπε την παρακολούθηση του φαινομένου της καύσης, καθόλη την διάρκεια του πειραματικού χρόνου, ενώ ταυτόχρονα θα διευκόλυνε τη διερεύνηση πιθανών συνεργιών με την ακουστική και τη χημική ανάλυση του ίδιου φαινομένου.

Στα πειράματα αυτά ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, που αφορά στην οπτική ανάλυση που χρησιμοποιήθηκαν στην προηγούμενη σειρά πειραμάτων, δηλαδή την δειγματοληψία 120 στιγμιότυπων από κάθε πείραμα, επιλογή του κατάλληλου frame και η ανάλυση με βάση το μοντέλο RGB. Επιπλέον αυτών, κάθε frame μετατράπηκε σε gray image και υπολογίστηκε ο μέσος όρος της έντασης του γκρι (average gray intensity) και παραστάθηκε γραφικά, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο. Οι αναλύσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Matlab του ClouFront του ΕΜΠ.

Στην παρακάτω εικόνα 55 παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή των στιγμιότυπων σε gray image και τον υπολογισμό του μέσου όρου της έντασης του γκρι (average gray intensity).

```

j=0
for i=1:120;
    eval(['gray' num2str(i) ' =rgb2gray(ca' num2str(i) ')']);
    j=j+1;
    t(j)=i*7/60;
    l=0;

    %columns
    for k=70:224;
        %lines
        for m=1:177;

            l=l+1;
            grayint(j)= mean(eval(['gray' num2str(i) '(:)']));
        end
    end
end

%n=hist(R)
plot(t, grayint)
dlmwrite('grayint.txt', grayint)
dlmwrite('Time.txt', t')
%dlmwrite('katanomi.txt', n')

```

Εικόνα 55: Αλγόριθμος μετατροπής frame σε gray image και υπολογισμού του μέσου όρου της έντασης του γκρι (average gray intensity) και παράστασης αυτού σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο των πειραμάτων καύσης των τριών διαφορετικών υλικών.

11.4.2. Ακουστική Ανάλυση

Ο σκοπός της ακουστικής ανάλυσης ήταν η μελέτη των ακουστικών σημάτων που παράγονται κατά τη διάρκεια του φαινομένου της καύσης. Και στην περίπτωση αυτή, ακολουθήθηκε η διαδικασία της ακουστικής ανάλυσης που ακολουθήθηκε και στα προηγούμενα πειράματα. Πιο συγκεκριμένα, δεν έγινε κάποια αρχική μαθηματική αφαίρεση του θορύβου, στην κυματομορφή των ακουστικών σημάτων. Η κυματομορφή και πάλι χωρίστηκε σε διαστήματα των 7 s και για κάθε τέτοιο διάστημα εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος Welch με 2048 σημεία με FFT, προκειμένου να παραχθεί το φασματογράφημα (Power Spectrum) για τις συχνότητες 0 – 2000 Hz. Όμως, μια προσεκτικότερη παρατήρηση επί του φασματογραφήματος αυτού, επέτρεψε να διαπιστωθεί ότι η επίδραση του θορύβου από το background είναι πολύ σημαντική στις συχνότητες από 160 Hz έως 200 Hz. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι η καύση των παραπάνω υλικών δεν παράγει σημαντικά σήματα πάνω από τα 200 Hz. Οπότε, το ενδιαφέρον εστιάστηκε στην συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, όπου το φαινόμενο της καύσης φαινόταν να έχει σημαντική επίδραση. Επομένως, προκειμένου να μειωθεί στο ελάχιστο η επίδραση του θορύβου από το background, αλλά και να μελετηθούν ενδελεχώς τα ακουστικά σήματα της καύσης, υπολογίστηκε το ολοκλήρωμα της ακουστικής ισχύος (integrated Total Power) για τη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz. Επίσης, προκειμένου να αναδειχθούν τα μέγιστα και τα ελάχιστα στα επεξεργασμένα πλέον σήματα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αλλά και να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση του θορύβου στο ακουστικό σήμα, εφαρμόστηκε smoothing 5^{ης} τάξεως. Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Matlab του CloudFront του ΕΜΠ. Στην παρακάτω εικόνα 56, παρουσιάζεται ο αλγόριθμος αυτός.

```

[xtotal,fs,bit]=wavread('exp1.wav');
%sl=size(xtotal)
%k=input('what is the number of points to be plot?');
%figure;
%plot(xtotal(1:k));

% Total time to be processed
dtime=input('How many minutes of the recording will be processed?');
% Total number of points to be processed
dpoints=dtime*60*fs;

% Total time for applying FFT
ttime=input('How many seconds of the recording will FFT be applied to?')
% Total number of points for applying FFT
tpoints=ttime*fs;

i=0
for j=1:tpoints:dpoints
    i=i+1
    time=i*ttime/60;
    x=xtotal(j:j+tpoints);

%stime=input('How many minutes is the length of the sections that the original waveform is divided into?')
%stime=0.1
%s=stime*fs
sampling=fs
%n=input('How many points will be used in FFT (NFFT)?')
n=2048
[pyy,fr]=pwelch(x,[],[],n,sampling);
dbpyy=pow2db(pyy);
s2=size(pyy);
s1=size(fr);
% figure
% plot(fr, pyy)
% f=input('what is the number of frequencies to be plot in the power spectra?')
f=2000;
%figure;
%plot(fr(1:f*n/sampling), pyy(1:f*n/sampling));
a1=[fr(1:f*n/sampling)'];
b1=[pyy(1:f*n/sampling)];
b2=[dbpyy(1:f*n/sampling)];
m=size(b1);
b(1:f*n/sampling, i)=b1';
bb(1:f*n/sampling, i)=b2';
c1(1, i)=time;

save fr a1 -ascii
save power b -ascii
save db bb -ascii
save time c1 -ascii
end
figure
contourf(c1, a1(1:29),bb(1:29,:),'DisplayName','db');figure(gcf)
figure
contourf(c1, a1(30:185),bb(30:185,:),'DisplayName','db');figure(gcf)
%0-160Hz without 25 Hz filter and smoothing 5-size
B=sum(b(1:15,:))
A=B'
AA=smooth(A,5)
save totalpower AA -ascii
plot(c1,AA)

```

Εικόνα 56: Αλγόριθμος υπολογισμού ολοκληρώματος της ακουστικής ισχύος (integrated Total Power) για την συχνοτική περιοχή 0 – 160, με smoothing 5^{ης} τάξεως και παράσταση αυτού σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο των πειραμάτων καύσης των τριών διαφορετικών υλικών.

11.4.3. Κανονικοποίηση των Επεξεργασμένων Σημάτων

Μία τεχνική κανονικοποίησης αναπτύχθηκε, προκειμένου, τα επεξεργασμένα σήματα που παράχθηκαν από τη χημική, οπτική και ακουστική ανάλυση να ενσωματωθούν σε ένα ενιαίο γράφημα για να είναι συγκρίσιμα. Ειδικότερα, για κάθε πείραμα το frame average gray intensity, smoothed total acoustical power για τη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz και η ανάλυση TIC (Total Ion Current) από το PSS-MS, κανονικοποιήθηκαν και παραστάθηκαν γραφικά σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο. Το αρχικό κίνητρο για τη διαδικασία αυτή ήταν, η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας σημάτων σ' ένα μόνο γράφημα, το οποίο και θα αναπαριστά την απόκριση των αισθητήρων στη διάρκεια του πειραματικού χρόνου.

Η διαδικασία κανονικοποίησης του κάθε σήματος, ουσιαστικά, αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

- α. Μεταφορά για κάθε πείραμα και επανάληψης, όλων τιμών των σημάτων και για κάθε χρονική στιγμή στο excel.
- β. Για κάθε σήμα εντοπίστηκε η ελάχιστη τιμή $[x(\min)]$.
- γ. Για κάθε τιμή x του κάθε σήματος υπολογίστηκε η τιμή $x - x(\min)$.
- δ. Για κάθε σήμα υπολογίστηκε η μέγιστη τιμή του $x - x(\min)$, δηλαδή η $[x - x(\min)](\max)$.
- ε. Για κάθε χρονική στιγμή υπολογίστηκε το $\{x - x(\min) / [x - x(\min)](\max)\} * 100$,
Δηλαδή, η κάθε τιμή $x - x(\min)$, εκφράστηκε ως ποσοστό της μέγιστης τιμής $[x - x(\min)](\max)$, με γραμμή βάσης τη μικρότερη τιμή $x(\min)$.
- στ. Γραφική παράσταση της $\{x - x(\min) / [x - x(\min)](\max)\} * 100$, του κάθε σήματος σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο.

11.4.4. Μοντελοποίηση και Προσαρμογή Καμπύλης

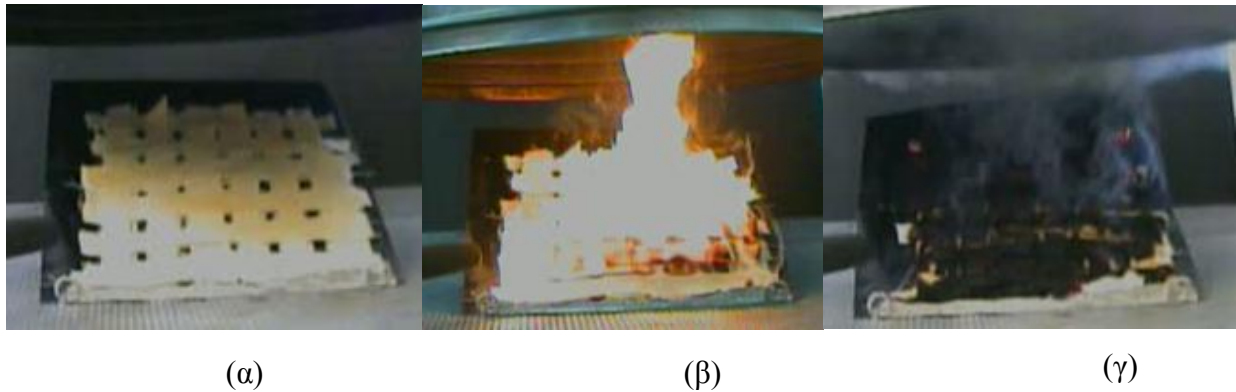
Στη διαδικασία μοντελοποίησης, η προσπάθεια εστιάστηκε κυρίως, στη διερεύνηση των παραμέτρων των χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων, προκειμένου να επιλεγθούν μοναδικά χαρακτηριστικά από την καύση του κάθε υλικού ξεχωριστά. Για τα σήματα που παράχθηκαν από την ανάλυση του PSS-MS και την αντίστοιχη οπτική, η μοντελοποίηση έγινε στη χρονική ακολουθία και η οποία εκφράζει το πλάτος ή αλλιώς, το εύρος (amplitude) της καταγραφής του κάθε αισθητήρα.

Στην περίπτωση, όμως, των ακουστικών σημάτων, παρουσιάστηκαν σημαντικές διακυμάνσεις, με αποτέλεσμα η χρήσιμη πληροφορία που φέρεται στα σήματα αυτά να είναι κεκαλυμμένη στη χρονική ακολουθία του σήματος. Για το λόγο αυτό, η επεξεργασία των ακουστικών σημάτων έλαβε χώρα στο συχνοτικό φάσμα (frequency domain), έτσι ώστε να αναλυθούν στις αρμονικές τους και να αποκωδικοποιηθεί έτσι η χρήσιμη φέρουσα πληροφορία. Επίσης, η διαδικασία αυτή σκοπό έχει να υπολογίσει τις κορυφές των αντίστοιχων αρμονικών του φάσματος κάθε σήματος, έτσι ώστε να εντοπιστεί η τάση που παρουσιάζει η κάθε αρμονική και όχι το καθεαυτό σήμα.

11.5. Καύση Βαμβακερού Υφάσματος

Στα πειράματα αυτά ή φλόγα ήταν ορατή από τη χρονική στιγμή της αφής (piloted ignition), δηλαδή από τον χρόνο 2 min, μέχρι τον χρόνο 6.15 min και 3,6 min για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα. Η μέγιστη θερμοκρασία και ύψος της

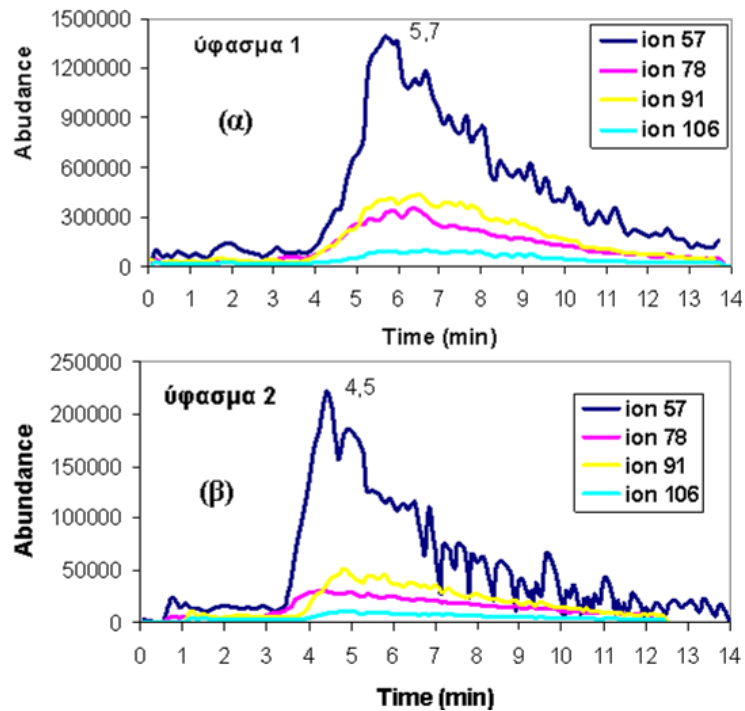
φλόγας παρατηρήθηκε περί τον χρόνο 4.2 min και 2,8 min για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα. Η καύση χωρίς την παρουσία φλόγας αλλά με σημαντική έκλυση καπνού συνεχίστηκε μετά το χρόνο 6.15 min για το πείραμα. Όσον αφορά στην επανάληψη του πειράματος παρατηρήθηκε ότι η φλόγα έπαυσε σχετικά πρόωρα, στο χρόνο 3,6 min με αποτέλεσμα σημαντική ποσότητα του καύσιμου υλικού να παραμένει άκαυστο και ως εκ τούτου, η υποβόσκουσα καύση να συνεχιστεί έντονη με συνεπακόλουθη έκλυση λευκού καπνού.



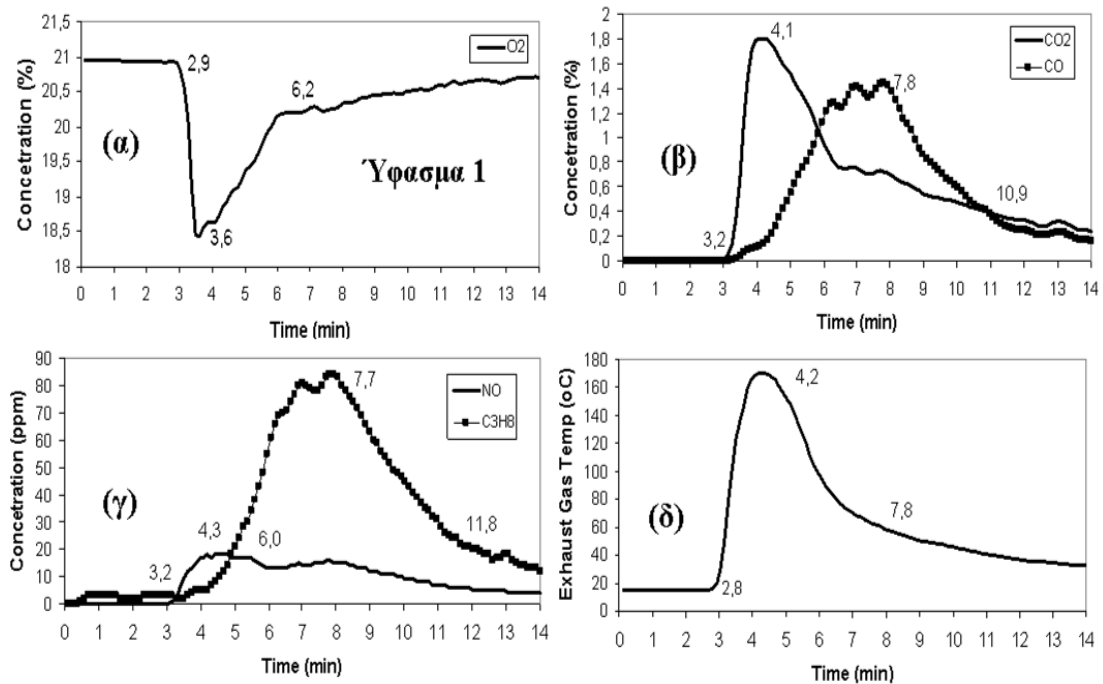
Εικόνα 57: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από την καύση των πειραμάτων καύσης του βαμβακερού υφάσματος: (α) πριν από την αφή της φλόγας (χρόνος 0-2 min), (β) καύση με την παρουσία φλόγας (χρόνος 2 - 6.15 min), (γ) υποβόσκουσα καύση (smoldering) (χρόνος 6.15 - 14 min).

11.5.1. Χημική Ανάλυση Καύσης του Βαμβακερού Υφάσματος

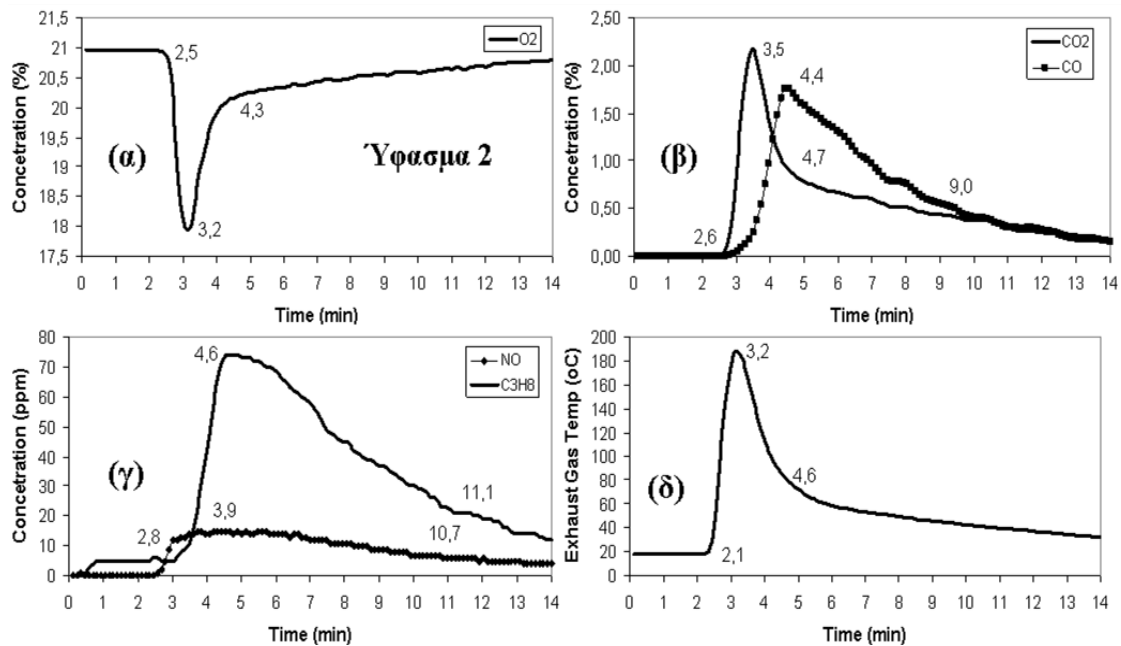
Στο παρακάτω Διάγραμμα 11.1 παρουσιάζονται τα σήματα από την ανάλυση του PSS-MS για τα ιόντα με m/z 57, 78, 91, and 106, που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων καύσης του βαμβακερού υφάσματος. Όπως ήταν αναμενόμενο, το MS είναι ευαίσθητο σε μία ποικιλία χημικών ενώσεων, οι οποίες εκλύονται κατά τη διάρκεια της καύσης και είναι τα benzene (m/z 78), toluene (m/z 91), xylene (m/z 106) και οι aliphatic hydrocarbons γενικά (m/z 57). Παρατηρώντας το παρακάτω διάγραμμα 11.1 διαπιστώνεται ότι το PSS-MS φαίνεται να αποκρίνεται στο φαινόμενο της καύσης λίγο πριν από το χρόνο 4 min δίνοντας μία σημαντική αύξηση στη m/z 78 και η οποία αποδίδεται στο benzene. Δηλαδή, το PSS-MS αποκρίθηκε σε λιγότερο από 2 min. Για τις υπόλοιπες ουσίες, η απόκριση του PSS-MS ήταν παρόμοια με την απόκριση στο benzene. Η καμπύλη των συγκεντρώσεων των VOCs παρουσίασε μέγιστο περί το χρόνο 5 min (m/z 57), δηλαδή σε χρόνο κατά τον οποίο η φλόγα ήταν ακόμη ορατή. Άλλα δύο μέγιστα παρουσιάστηκαν σε χρόνο 6,5 min (m/z 78 και m/z 106), δηλαδή, όταν η φλόγα έχει πλέον σβήσει και η καύση συνεχίστηκε χωρίς την παρουσία της.



Διάγραμμα 11.1: PSS-MS ανάλυση για την καύση υφάσματος: (α) το πείραμα και (β) η επανάληψη του



Διάγραμμα 11.2: Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για το πείραμα καύσης του βαμβακερού υφάσματος: (α) συγκέντρωση O₂ (%), (β) συγκέντρωση CO και CO₂ (%), (γ) συγκέντρωση NO και C₃H₈ (ppm) και (δ) θερμοκρασία καυσαερίων σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο



Διάγραμμα 11.3: Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για την επανάληψη του πειράματος καύσης του βαμβακερού υφάσματος: (α) συγκέντρωση O₂ (%), (β) συγκέντρωση CO και CO₂ (%), (γ) συγκέντρωση NO και C₃H₈ (ppm) και (δ) θερμοκρασία καυσαερίων σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο

Στο παραπάνω διάγραμμα 11.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων MRU Delta 1600V, που ελήφθησαν κατά την διάρκεια του πειράματος της καύσης του βαμβακερού υφάσματος και στο διάγραμμα 11.3, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα της επανάληψης του πειράματος. Παρατηρώντας τα διαγράμματα αυτά διαπιστώνεται ότι, γενικά, η απόκριση των αισθητήρων στο φαινόμενο της καύσης είναι περί το 1 min.

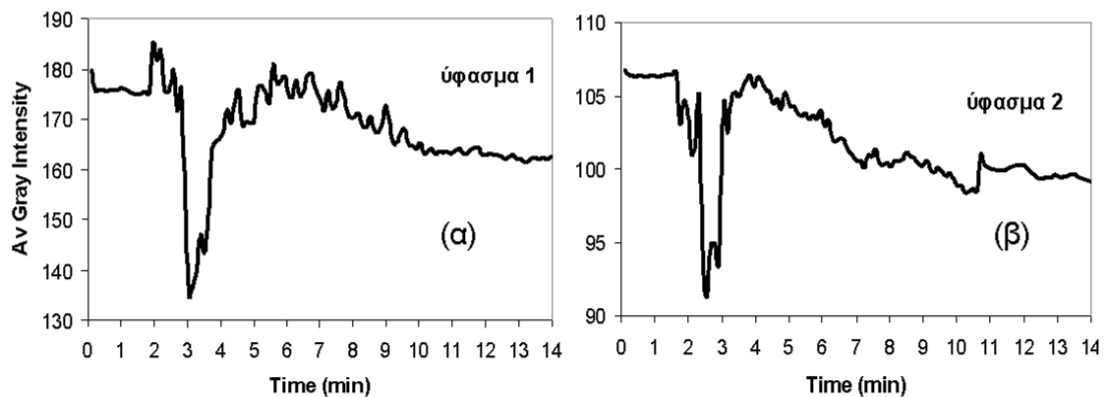
Η χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων, τόσο για το πείραμα όσο και την επανάληψη του, έδωσε σημαντικές πληροφορίες, όσον αφορά στην εξέλιξη της διαδικασίας καύσης. Πιο συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του O₂ παρουσίασε ελάχιστο, όταν η συγκέντρωση του CO₂ και του NO καθώς και η θερμοκρασία καυσαερίων παρουσίασαν μέγιστο, σε χρόνο περί τα 3,2 – 4,3 min και η φλόγα έλαβε το μέγιστο ύψος. Σε αντίθεση, η συγκέντρωση του CO και του C₃H₈ παρουσίασαν μέγιστο στο χρόνο κατά τον οποίο η φλόγα είχε ήδη σβήσει, δηλαδή, περί τα 7,8 min για το πείραμα και περί τα 4,5 min για την επανάληψη του πειράματος.

11.5.2. Οπτική Ανάλυση Καύσης του Βαμβακερού Υφάσματος

Στο παρακάτω Διάγραμμα 11.4, εμφανίζονται τα αποτελέσματα από την οπτική ανάλυση των πειραμάτων καύσης του βαμβακερού υφάσματος και πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η μεταβολή του μέσου όρου του γκρι σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο. Να σημειωθεί επίσης, ότι οι αυξημένες τιμές και η απότομη μείωση που εμφανίζονται στα παρακάτω διαγράμματα για το χρονικό διάστημα 2-3 min του πειραματικού χρόνου και για όλα τα πειράματα καύσης που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο, αποδίδονται κατά κύριο λόγο στο αντικείμενο το οποίο προκάλεσε την αφή της φλόγας στο καύσιμο υλικό.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 11.4 διαπιστώνεται ότι παρέχονται σημαντικές ενδείξεις της παρουσίας φλόγας και καπνού. Οι μέγιστες τιμές του μέσου όρου του

γκρι παρατηρούνται περί το χρόνο 5 min. Ο μέσος όρος της έντασης του γκρι μειώνεται σταδιακά μετά το χρόνο 6 min, όπου πλέον η καύση συνεχίστηκε χωρίς την παρουσία φλόγας αλλά και η έκλυση καπνού έχει μειωθεί σημαντικά. Ακόμη, παρατηρείται ότι και μετά την παύση της φλόγας, υφίσταται μικρές διακυμάνσεις στην τιμή του μέσου όρου της έντασης του γκρι. Αυτές οι διακυμάνσεις αντιστοιχούν, στις σποραδικές εκλύσεις καπνού από την εστία καύσης.

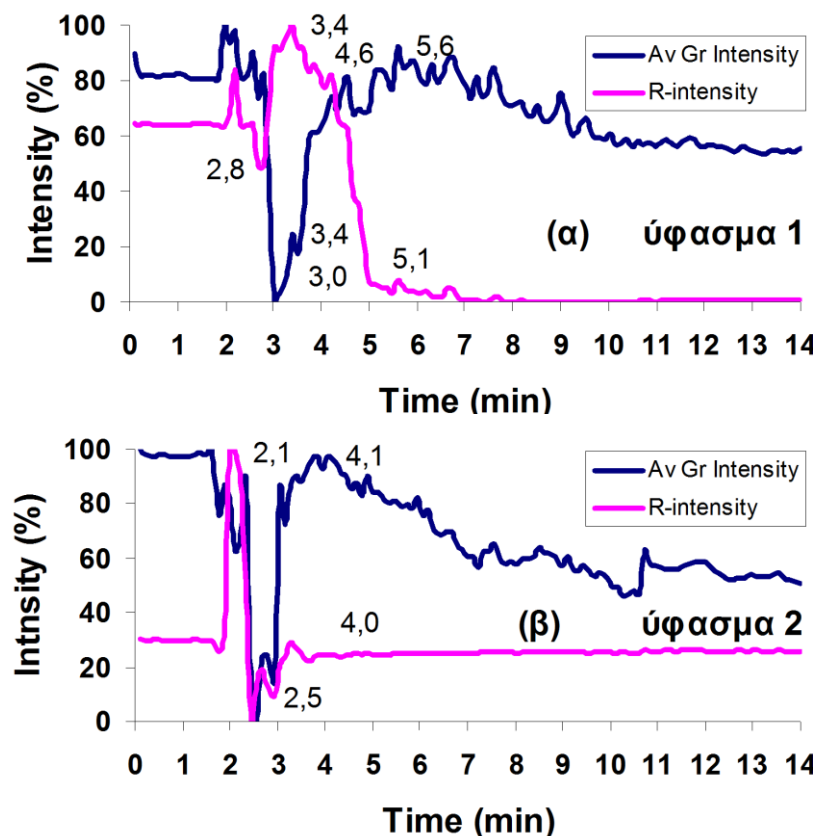


Διάγραμμα 11.4: Γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο από το: (α) πείραμα καύσης του βαμβακερού υφάσματος, για το frame που περικλείεται από τις στήλες 70 – 224 και τις γραμμές 1 – 177 και (β) επανάληψη του πειράματος καύσης του βαμβακερού υφάσματος, για το frame που περικλείεται από τις στήλες 130 – 290 και τις γραμμές 48 – 211.

Άλλες σημαντικές παρατηρήσεις μπορούν να εξαχθούν, παρατηρώντας το διάγραμμα 11.5, στο οποίο, παρουσιάζεται γραφικά μία σύγκριση της μεταβολής τόσο της έντασης του R όσο και η αντίστοιχη μεταβολή του μέσου όρου της έντασης του γκρι, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο. Η ένταση του R, ουσιαστικά αποτελείται από τον αριθμό των pixels κάθε frame που έχουν τιμές μεταξύ 190 – 255. Στο διάγραμμα αυτό, παρατηρείται ότι στο χρόνο 2,8 min και 2,5 min, για το πείραμα και την επανάληψη, αντίστοιχα, η ένταση του R έλαβε την πρώτη ελάχιστη τιμή και ήταν ο χρόνος αυτός κατά τον οποίο απομακρύνθηκε το αντικείμενο που προκάλεσε την αφή της φλόγας στο καύσιμο υλικό. Μετά τον χρόνο αυτό, παρατηρείται ραγδαία αύξηση της έντασης του R πράγμα που οφειλόταν στην αντίστοιχη αύξηση της έντασης της φλόγας μέχρι το χρόνο 3,4 min, όπου σημειώθηκε και η μέγιστη τιμή της. Ανατρέχοντας στο βίντεο του πειράματος, διαπιστώνεται ότι στο χρόνο αυτό στο επιλεγθέν frame η φλόγα είχε καλύψει σχεδόν όλη την επιφάνεια του, ενώ μετά το χρόνο αυτό, παρουσιάστηκαν κενά στη φλόγα, με αποτέλεσμα να μειωθεί αντίστοιχα και η ένταση του R.

Σε αντίθεση με την ένταση του R, ο μέσος όρος της έντασης του γκρι έλαβε την ελάχιστη τιμή του στο χρόνο 3 min, παρουσιάζοντας έτσι, μία χρονική υστέρηση σε σχέση με την ένταση του R. Μετά το χρόνο αυτό, ο μέσος όρος της έντασης του γκρι άρχισε να αυξάνει και στο χρόνο 3,4 min, που η ένταση του R λαμβάνει τη μέγιστη τιμή, ο μέσος όρος της έντασης του γκρι βρισκόταν ακόμη, σε χαμηλές τιμές. Όμως μετά το χρόνο 4 min, που η ένταση του R έφθινε ραγδαία, ο μέσος όρος της έντασης του γκρι άρχισε να λαμβάνει τις μέγιστες τιμές του. Περί το χρόνο αυτό, στο επιλεγθέν frame, παρατηρήθηκε μεγάλη έκλυση λευκού καπνού. Στο χρόνο 5,6 min, ο μέσος όρος της έντασης του γκρι έλαβε τη μέγιστη τιμή και παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη έκλυση λευκού καπνού, ενώ η φλόγα ήταν πολύ μικρή σε ύψος και ένταση και περιορισμένη σε ένα μικρό τμήμα του καύσιμου υλικού.

Η επανάληψη του πειράματος παρουσίασε μία διαφοροποίηση σε σχέση με το πείραμα, γεγονός που δύναται να εξηγηθεί, μέσα από την παρατήρηση του βίντεο των πειραμάτων. Πράγματι, στην επανάληψη η σβέση της φλόγας συνέβη σε χρόνο 3,6 min αρκετά νωρίτερα από το χρόνο σβέσης των 6,15 min της φλόγας του πειράματος. Επειδή στην επανάληψη, η ποσότητα του άκαυστου υλικού ήταν μεγαλύτερη, σε σχέση με το πείραμα, η υποβόσκουσα καύση διήρκησε περισσότερο και συνοδεύτηκε από έντονη έκλυση λευκού καπνού. Μ' αποτέλεσμα, να προκύψει σημαντική διαφοροποίηση στην καμπύλη μεταβολής της έντασης R και μία μικρότερη διαφοροποίηση στην καμπύλη μεταβολής της έντασης του μέσου όρου του γκρι. Λόγω του ότι, η ένταση του R παρουσίασε ευαισθησία μόνο στην παρουσία της φλόγας, γι' αυτό λοιπόν, μετά τον χρόνο 4 min που έχει σβήσει η φλόγα, η ένταση του R παρέμεινε σταθερή και δε μεταβλήθηκε. Σε αντίθεση, η ένταση του μέσου όρου του γκρι παρουσίασε ευαισθησία στην παρουσία της φλόγας και του καπνού γι' αυτό λοιπόν, στην επανάληψη του πειράματος, μεταβλήθηκε εντονότερα και εμφάνισε σημαντικές διακυμάνσεις. Το γεγονός αυτό εξηγείται, από την παρουσία της εντονότερης υποβόσκουσας καύσης και την κατά συνέπεια, μεγαλύτερη έκλυση λευκού καπνού, κατά τη διάρκεια της επανάληψης του πειράματος καύσης του βαμβακερού υφάσματος.



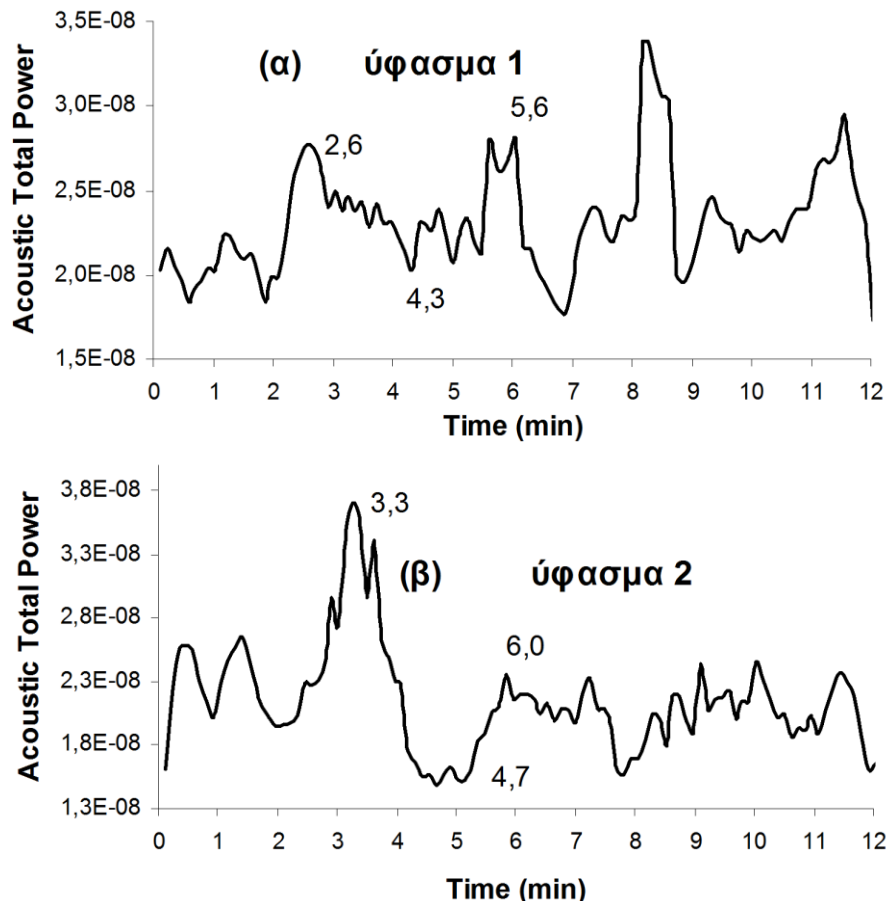
Διάγραμμα 11.5: Συγκριτική γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι και της αντίστοιχης έντασης του R σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο: (α) του πειράματος καύσης του βαμβακερού υφάσματος και (β) της επανάληψης αυτού.

Συμπερασματικά μπορεί να εξαχθεί ότι η παρακολούθηση της μεταβολής έντασης του R παρουσίασε μεγάλη ευαισθησία στη παρουσία της φλόγας και καμιά ευαισθησία στην έκλυση λευκού καπνού. Εν αντιθέσει, η παρακολούθηση της

μεταβολής του μέσου όρου του γκρι είχε μικρή ευαισθησία στην παρουσία της φλόγας και μεγάλη ευαισθησία στην έκλυση του λευκού καπνού.

11.5.3. Ακουστική Ανάλυση Καύσης του Βαμβακερού Υφάσματος

Με βάση τις ακουστικές καταγραφές και την χρήση του αλγόριθμου που παρουσιάζεται στην εικόνα 56, υπολογίστηκε η συνολική ακουστική ισχύ, για την συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz και παραστάθηκε γραφικά σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 11.6.



Διάγραμμα 11.6: Γραφική παράσταση της μεταβολής της συνολικής ακουστικής ισχύος σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, για την φασματική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως του ακουστικού σήματος: (α) του πειράματος καύσης του βαμβακερού υφάσματος (ύφασμα 1) και (β) της επανάληψης αυτού (ύφασμα 2).

Στο διάγραμμα 11.6 διαπιστώνεται ότι, υπήρξε σημαντική ακουστική δραστηριότητα μετά από τον χρόνο 2 min, που ήταν ο χρόνος αφής της φλόγας, μέχρι του τέλους του πειραματικού χρόνου. Η επίδραση του θορύβου στα σήματα αυτά διαπιστώνεται ότι ήταν μικρή και όχι σημαντική. Επίσης, φαίνεται ότι τα ακουστικά σήματα, τόσο του πειράματος, όσο και της επανάληψης, ακολούθησαν παραπλήσια μορφή μεταβολής στον χρόνο. Όμως, η μορφή αυτή των σημάτων υποδηλώνει ότι, η ανάδειξη της χρήσιμης πληροφορίας που αυτά φέρουν, παρακωλύεται από άλλες ακουστικές μεταβολές. Για το λόγο αυτό, οι αρμονικές των σημάτων αυτών αναλύθηκαν στο πεδίο της συχνότητας και όχι στο αντίστοιχο χρονικό με την χρήση της Fourier transform.

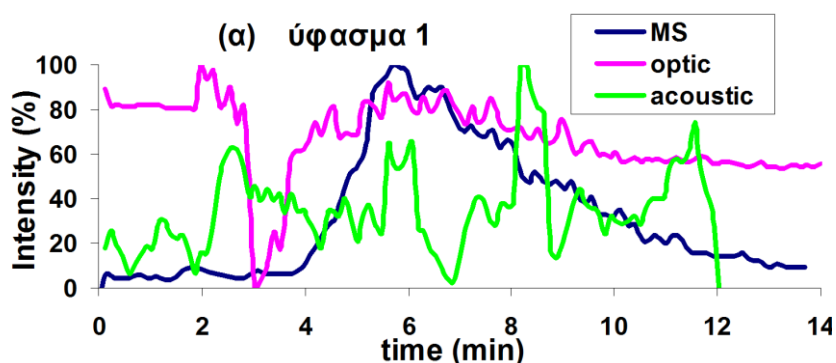
Ειδικότερα, διαπιστώνεται ότι για το πείραμα, υπήρξε μία συνέχεια στην ακουστική δραστηριότητα για το χρονικό διάστημα 2 – 7 min, το οποίο διάστημα αυτό αντιστοιχούσε, στο χρονικό διάστημα από την αφή της φλόγας, μέχρι και λίγο μετά από την σβέση της φλόγας. Παρόμοια παρατήρηση δύναται να πραγματοποιηθεί και για την επανάληψη του πειράματος. Δηλαδή, η ακουστική δραστηριότητα παρουσίασε συνέχεια για το χρονικό διάστημα 2 – 4,5 min, το οποίο διάστημα αυτό αντιστοιχούσε, στο χρονικό διάστημα από την αφή της φλόγας, μέχρι και λίγο μετά από την σβέση της φλόγας.

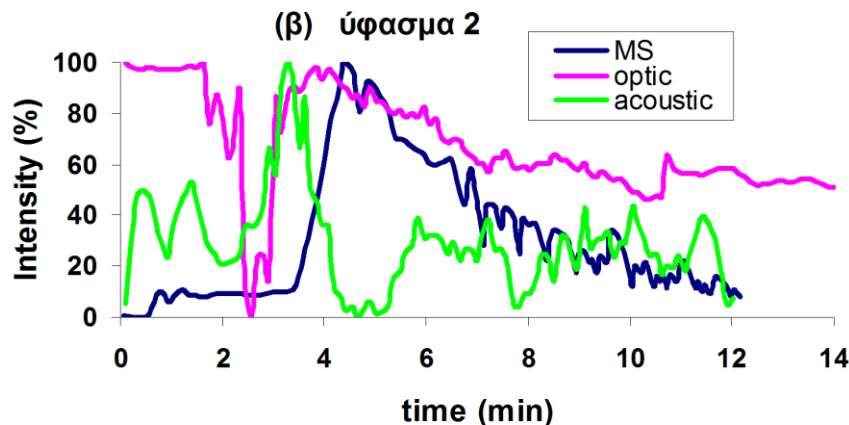
Μία άλλη παρατήρηση είναι ότι και τα δύο ακουστικά σήματα (ύφασμα 1 & 2) παρουσίασαν μέγιστα, σε χρόνο 5,6 min και 3,3 min αντίστοιχα, λίγο πριν τη σβέση της φλόγας.

Επομένως δύναται να ειπωθεί, ότι η ακουστική δραστηριότητα για το διάστημα από 2 min μέχρι το χρόνο 7 min, για το πείραμα και μέχρι το χρόνο 4,5 min για την επανάληψη, αποτελούνταν από τον ήχο της καύσης και από την διαστολή του μεταλλικού ελάσματος. Μετά από αυτούς τους χρόνους, η ακουστική δραστηριότητα αποτελούνταν από τον ήχο που παράχθηκε από την συστολή του μεταλλικού ελάσματος. Πέρα απ' αυτό, η περαιτέρω διερεύνηση αυτών των ακουστικών σημάτων παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον καθόσον είναι εμφανές ότι τα σήματα αυτά φέρουν σημαντική πληροφορία που σχετίζεται με την εξέλιξη του φαινομένου.

11.5.4. Κανονικοποίηση των Επεξεργασμένων Σημάτων Καύσης του βαμβακερού Υφάσματος

Στα παρακάτω διάγραμμα 11.7, παρουσιάζονται τα κανονικοποιημένα σήματα του frame μέσου όρου της έντασης του γκρι, της ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως και το TIC (Total Ion Current) από την ανάλυση PSS-MS, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο από τα πειράματα καύσης του βαμβακερού υφάσματος.





Διάγραμμα 11.7: Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων του frame μέσου όρου της έντασης του γκρι, της ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως και το TIC (Total Ion Current) από την ανάλυση PSS-MS σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο από τα πειράματα καύσης του βαμβακερού υφάσματος: (α) του πειράματος (ύφασμα 1) και (β) επανάληψης (ύφασμα 2).

Παρατηρώντας το συγκεντρωτικό διάγραμμα 11.7, δύνανται να εξαχθούν σημαντικές παρατηρήσεις σχετικά με την εξέλιξη του φαινομένου και πως αυτό επηρέασε, τα επακόλουθα οπτικά, χημικά και ακουστικά σήματα. Για όλα τα σήματα λοιπόν, υπήρξε έντονη δραστηριότητα στο χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από την αφή της φλόγας μέχρι της σβέση αυτής. Επίσης, όλα τα σήματα φαίνεται ότι ακολούθησαν το φαινόμενο της καύσης καθόλη την διάρκεια του, δηλαδή την καύση με φλόγα και την επακόλουθη υποβόσκουσα καύση, μετά από την σβέση της φλόγας.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η επισήμανση ότι, τα χημικά και τα οπτικά σήματα επέδειξαν μία ομοιότητα στην εξέλιξη τους στο χρόνο μετά από την παύση της φλόγας. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο, στην ύπαρξη της έντονης υποβόσκουσας καύσης και την σημαντική έκλυση λευκού καπνού που επακολούθησε την παύση της φλόγας.

Ακόμη δύνανται να ειπωθεί ότι, το χημικό σήμα παρουσίασε μία χρονική υστέρηση, σε σχέση με το οπτικό και το ακουστικό σήμα στην παρουσία του φαινομένου της καύσης. Αυτή η υστέρηση είναι επόμενο να υφίσταται, καθόσον απαιτείται κάποιο μικρό χρονικό διάστημα, για την μεταφορά του αέριου δείγματος, στον αναλυτή του οργάνου και την επακόλουθη χημική ανάλυση.

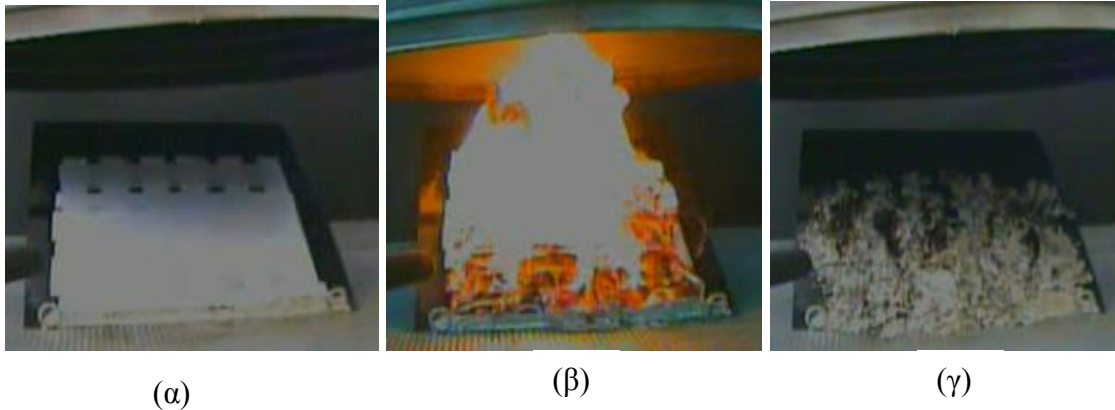
Επιπλέον, το ακουστικό σήμα στο χρόνο φαίνεται να παρουσίασε μία διαφοροποίηση σε σχέση με τ' άλλα σήματα, καθόσον και μετά την ολοκλήρωση της καύσης εξακολούθησε να παράγεται ακουστική δραστηριότητα που ήταν αποτέλεσμα της επίδρασης της καύσης στον περιβάλλοντα χώρο (μεταλλικό έλασμα).

Γενικότερα, μπορεί να αναφερθεί ότι, το οπτικό σήμα αποκρίθηκε ταχύτερα από το σήμα TIC του MS, στην παρουσία του φαινομένου της καύσης και το ακουστικό σήμα, επίσης, παρουσίασε μία ταχύτητα απόκρισης, ανάλογη μ' αυτήν του οπτικού σήματος.

11.6. Καύση Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης

Στα πειράματα αυτά η φλόγα ήταν ορατή από τη χρονική στιγμή της αφής (piloted ignition), δηλαδή από τον χρόνο 2 min, μέχρι τον χρόνο 5.3 min και 6 min για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα. Η μέγιστη θερμοκρασία και ύψος της φλόγας παρατηρήθηκε περί το χρονικό διάστημα 2,5 – 3 min. Η καύση χωρίς την

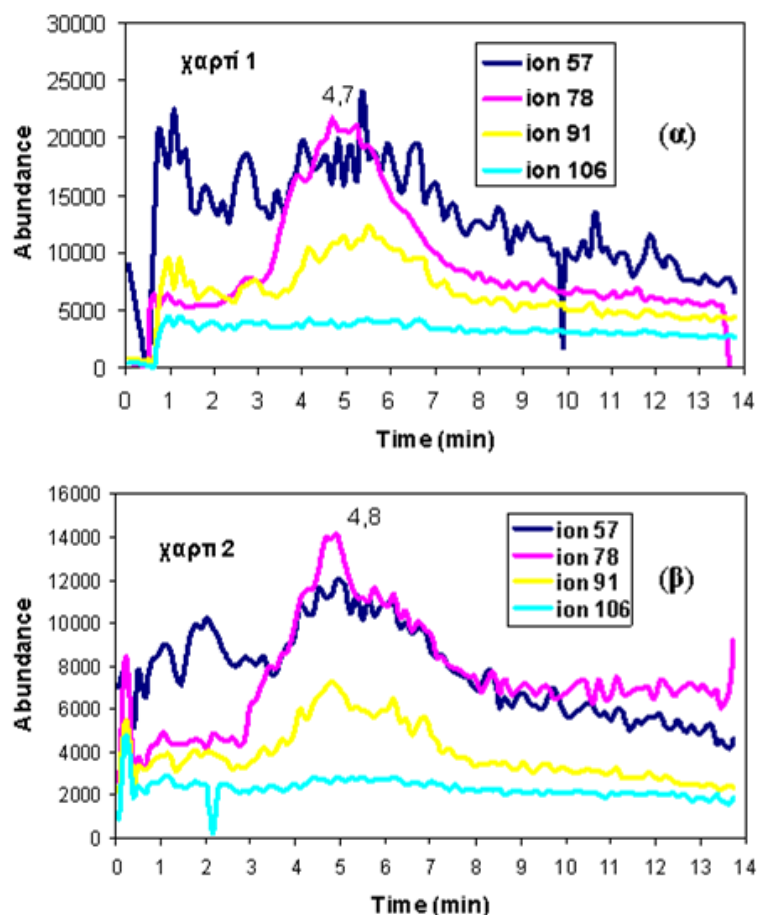
παρουσία φλόγας, συνοδευόμενη από την έκλυση λευκού καπνού, συνεχίστηκε για μικρό χρονικό διάστημα μετά από τον χρόνο σβέσης της φλόγας.



Εικόνα 58: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από την καύση από τα πειράματα καύσης του βαμβακερού υφάσματος: (α) πριν από την αφή της φλόγας (χρόνος 0-2 min), (β) καύση με την παρουσία φλόγας (χρόνος 2 – 5.3 min), (γ) υποβόσκουσα καύση (smoldering) (χρόνος 5.3 - 14 min).

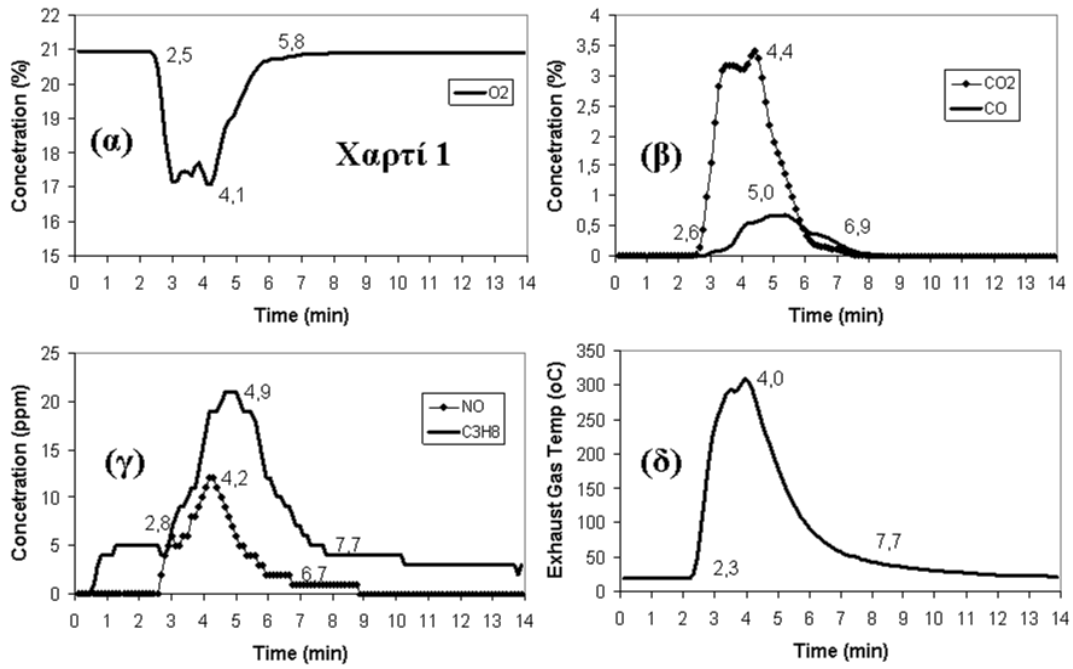
11.6.1. Χημική Ανάλυση Καύσης του Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης

Στο παρακάτω διάγραμμα 11.8 παρουσιάζονται τα σήματα από την ανάλυση του PSS-MS για τα ιόντα με m/z 57, 78, 91, και 106 που ελήφθησαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης. Το PSS-MS φαίνεται ότι αποκρίθηκε στο φαινόμενο της καύσης, λίγο πριν από το χρόνο 3 min, δίνοντας μία σημαντική αύξηση στη m/z 78 και η οποία αποδίδεται στο benzene. Δηλαδή το PSS-MS αποκρίθηκε σε λιγότερο από 1 min. Για τις υπόλοιπες ουσίες η απόκριση του PSS-MS ήταν σημαντική περί τον χρόνο 4 min, δηλαδή, 2 min μετά από την αφή της φλόγας. Η καμπύλη των συγκεντρώσεων των VOCs παρουσίασε δύο μέγιστα, περί τον χρόνο 4.6 min (m/z 78), δηλαδή, σε χρόνο κατά τον οποίο η φλόγα ήταν ακόμη ορατή και το άλλο μέγιστο, σε χρόνο 5.5 min (m/z 57, and m/z 91), όταν η φλόγα έχει πλέον σβήσει και η καύση συνεχίζεται χωρίς την παρουσία της. Με βάση το διάγραμμα 11.7 διαπιστώνεται ότι η ουσία με το εντονότερο προφίλ εμφανίζεται να είναι το m/z 78, ενώ τα m/z 57 και m/z 91 ακολούθησαν.

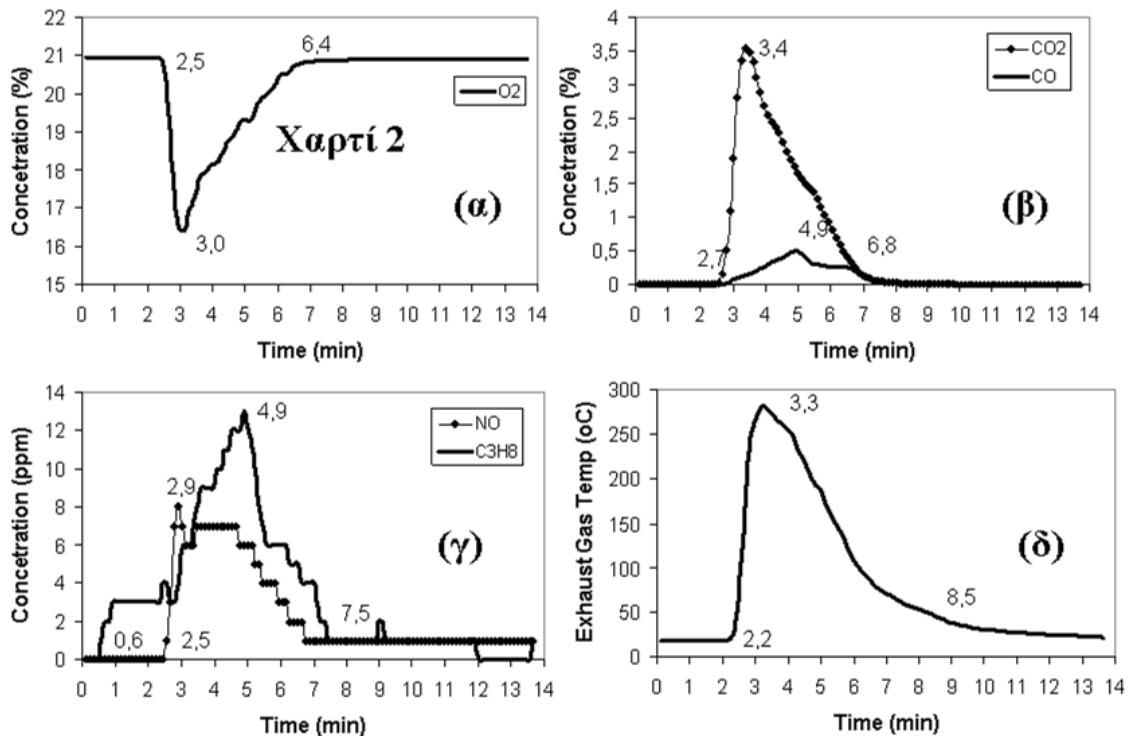


Διάγραμμα 11.8: PSS-MS ανάλυση για την καύση λευκού χαρτιού εκτύπωσης: (α) το πείραμα και (β) η επανάληψη του

Στο παρακάτω διάγραμμα 11.8, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων MRU Delta 1600V που ελήφθησαν κατά την διάρκεια του πειράματος της καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης. Ενώ, στο διάγραμμα 11.9 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα της επανάληψης του πειράματος. Παρατηρώντας τα διαγράμματα αυτά, διαπιστώνεται ότι, γενικά, η απόκριση των αισθητήρων στο φαινόμενο της καύσης είναι λιγότερο από το 1 min.



Διάγραμμα 11.9: Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για το πείραμα καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης: (α) συγκέντρωση O₂ (%), (β) συγκέντρωση CO και CO₂ (%), (γ) συγκέντρωση NO και C₃H₈ (ppm) και (δ) θερμοκρασία καυσαερίων σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο



Διάγραμμα 11.10: Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για την επανάληψη του πειράματος καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης: (α) συγκέντρωση O₂ (%), (β) συγκέντρωση CO και CO₂ (%), (γ) συγκέντρωση NO και C₃H₈ (ppm) και (δ) θερμοκρασία καυσαερίων σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο

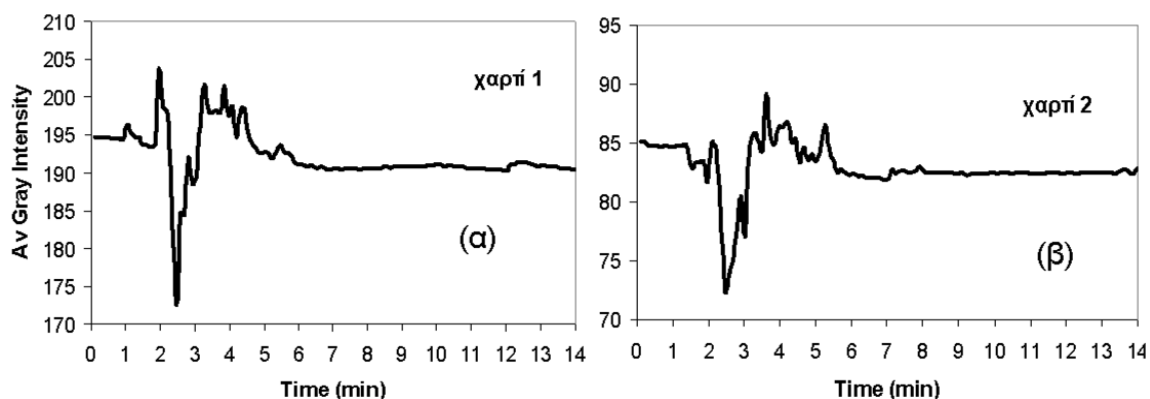
Η χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων, τόσο για το πείραμα όσο και την επανάληψη του, έδωσε σημαντικές πληροφορίες, όσον αφορά στην εξέλιξη της

διαδικασίας καύσης. Πιο συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του O_2 παρουσίασε ελάχιστο όταν η συγκέντρωση του CO_2 και του NO καθώς και η θερμοκρασία καυσαερίων παρουσίασαν μέγιστο, σε χρόνο, περί τα 4,1 – 4,4 min και 3 – 3,4 min για το πείραμα και την επανάληψη αντίστοιχα. Σ' αντίθεση, η συγκέντρωση του CO και του C_3H_8 παρουσίασαν μέγιστο στον χρόνο περί τα 5 min, δηλαδή λίγο πριν από τη σβέση της φλόγας.

11.6.2. Οπτική Ανάλυση Καύσης του Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης

Στο παρακάτω διάγραμμα 11.10, εμφανίζονται τα αποτελέσματα από την οπτική ανάλυση των πειραμάτων καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η μεταβολή του μέσου όρου του γκρι σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο. Να σημειωθεί επίσης ότι, οι αυξημένες τιμές που εμφανίζονται στα παρακάτω διαγράμματα για το χρονικό διάστημα 2 – 2,5 min του πειραματικού χρόνου και για όλα τα πειράματα καύσης που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο αποδίδονται κατά κύριο λόγο στο αντικείμενο το οποίο προκάλεσε την αφή της φλόγας στο καύσιμο υλικό.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 11.10, διαπιστώνεται ότι, παρέχονται σημαντικές ενδείξεις της παρουσίας φλόγας και καπνού. Οι μέγιστες τιμές του μέσου όρου του γκρι παρατηρήθηκαν περί τον χρόνο 3 - 4 min, δηλαδή, λίγο μετά από τον χρόνο κατά τον οποίο, η φλόγα είχε αποκτήσει τη μέγιστη ένταση και ύψος. Ο μέσος όρος της έντασης του γκρι μειώθηκε σταδιακά μετά τον χρόνο 4 min, όπου πλέον η καύση συνεχίστηκε, με συνεχώς μειούμενη ένταση και ύψος φλόγας, αλλά και η έκλυση καπνού μειώνονταν σταδιακά. Ακόμη παρατηρείται ότι και μετά την παύση της φλόγας, οι τιμές του μέσου όρου της έντασης του γκρι παρουσίασαν ελάχιστη διακύμανση. Αυτό δύναται να εξηγηθεί από το γεγονός ότι, μετά την σβέση της φλόγας, το φαινόμενο της καύσης είχε σχεδόν ολοκληρωθεί και η υποβόσκουσα καύση ήταν περιορισμένη, καθόσον, σχεδόν όλο το καύσιμο υλικό είχε καεί.



Διάγραμμα 11.11: Γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι, σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο, από το: (α) πείραμα καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης, για το frame που περιλαμβάνεται από τις στήλες 112 – 250 και τις γραμμές 38 – 185 και (β) επανάληψη του πειράματος καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης, για το frame που περιλαμβάνεται από τις στήλες 122 – 273 και τις γραμμές 49 – 208.

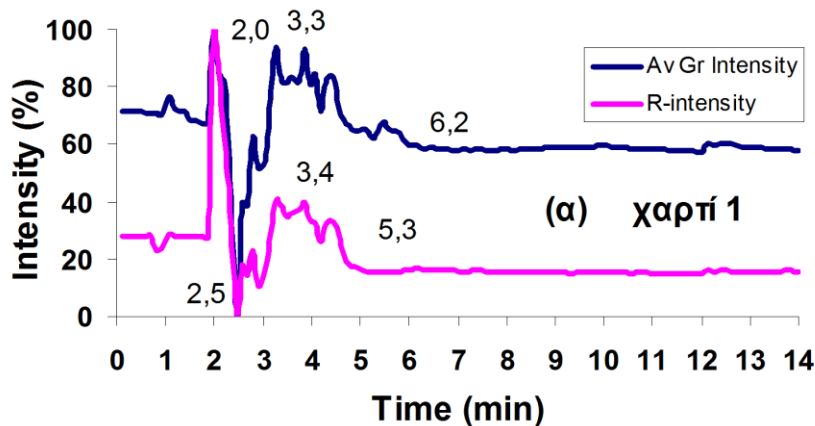
Άλλες σημαντικές παρατηρήσεις, μπορούν να εξαχθούν παρατηρώντας το διάγραμμα 11.11, στο οποίο παρουσιάζεται γραφικά, μία σύγκριση της μεταβολής τόσο της έντασης του R, όσο και της αντίστοιχης μεταβολής του μέσου όρου της έντασης του γκρι, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο. Να σημειωθεί ότι, η

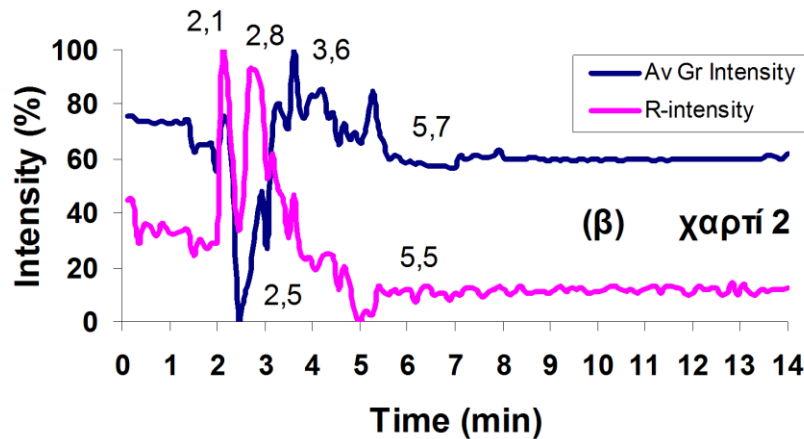
ένταση του R, ανταποκρίνεται στον αριθμό των pixels που παρουσίασαν τιμές R μεταξύ του διαστήματος 190 – 255.

Στο διάγραμμα 11.11 παρατηρείται ότι, στο χρόνο 2,5 min, η ένταση του R έλαβε την πρώτη ελάχιστη τιμή της και αντιστοιχεί στον χρόνο κατά τον οποίο απομακρύνθηκε το αντικείμενο που προκάλεσε την αφή της φλόγας στο καύσιμο υλικό. Μετά τον χρόνο αυτό, παρατηρήθηκε ραγδαία αύξηση της έντασης του R, γεγονός που οφείλεται στην αντίστοιχη αύξηση της έντασης της φλόγας μέχρι τον χρόνο, 3,4 min και 2,8 min, για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα. Στους χρόνους αυτούς σημειώθηκε και η μέγιστη τιμή της έντασης του R. Ανατρέχοντας στο βίντεο του πειράματος και της επανάληψής του, διαπιστώνεται ότι, στους χρόνους αυτούς, στο επιλεγθέν frame η φλόγα είχε καλύψει σχεδόν όλη την επιφάνεια του, ενώ μετά τους χρόνους αυτούς παρουσιάστηκαν κενά στην φλόγα μ' αποτέλεσμα να μειώνεται και αντίστοιχα και η ένταση του R.

Ο μέσος όρος της έντασης του γκρι έλαβε την ελάχιστη τιμή του στο χρόνο 2,5 min ταυτόχρονα με την ένταση του R. Μετά τον χρόνο αυτό αυξήθηκε, με ρυθμό ανάλογο της έντασης του R και έλαβε την μέγιστη τιμή περί τον χρόνο 3,3 min σχεδόν και πάλι ταυτόχρονα με την ένταση του R. Διαπιστώνεται δηλαδή, ότι ο μέσος όρος της έντασης του γκρι και η ένταση του R εξελίχθηκαν ταυτόχρονα και με παρόμοιο τρόπο.

Η διαπίστωση αυτή είναι σημαντική και δύναται να εξηγηθεί με την μακροσκοπική παρατήρηση του φαινομένου της καύσης του πειράματος και της επανάληψής του. Δηλαδή, παρατηρήθηκε ότι, η έκλυση του λευκού καπνού ήταν ελάχιστη σε σχέση μ' αυτή που παρατηρήθηκε στην καύση του βαμβακερού υφάσματος και το κυρίαρχο φαινόμενο στα πειράματα αυτά είναι, η παρουσία της φλόγας. Η έκλυση του λευκού καπνού, ουσιαστικά, σταμάτησε λίγο μετά από την παύση της φλόγας, υποδηλώνοντας έτσι, την σημαντικά μικρή διάρκεια της υποβόσκουσας καύσης. Άρα λοιπόν, η μικρότερη έκλυση λευκού καπνού κατά την διάρκεια της φλόγας αλλά και η μικρή, σχετικά, διάρκεια της υποβόσκουσας καύσης που ακολούθησε την σβέση της φλόγας δύνανται να εξηγήσουν την παρόμοια εξέλιξη στο χρόνο του μέσου όρου της έντασης του γκρι και της έντασης του R.

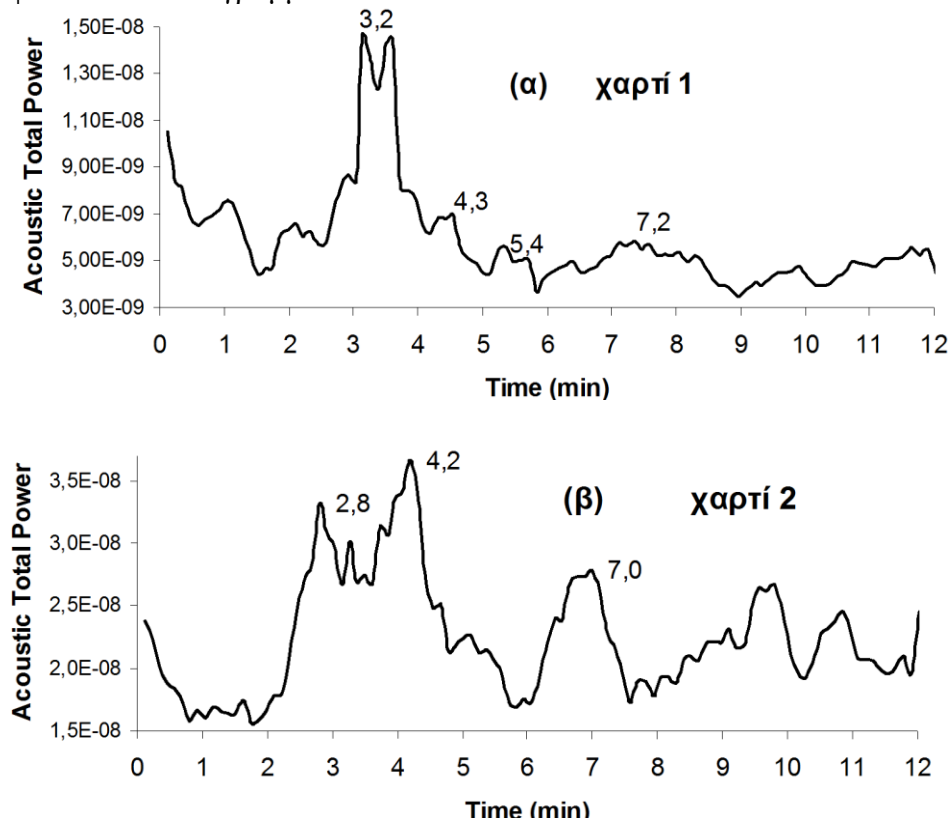




Διάγραμμα 11.12: Συγκριτική γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι και της αντίστοιχης έντασης του R σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο: (α) του πειράματος καύσης του βαμβακερού υφάσματος και (β) της επανάληψης αυτού.

11.6.3 Ακουστική Ανάλυση Καύσης του Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης

Με βάση τις ακουστικές καταγραφές και την χρήση του αλγόριθμου που παρουσιάζεται στην εικόνα 56, υπολογίστηκε η συνολική ακουστική ισχύ, για την συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, των πειραμάτων καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και παραστάθηκε γραφικά σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, ως φαίνεται στο διάγραμμα 11.12.



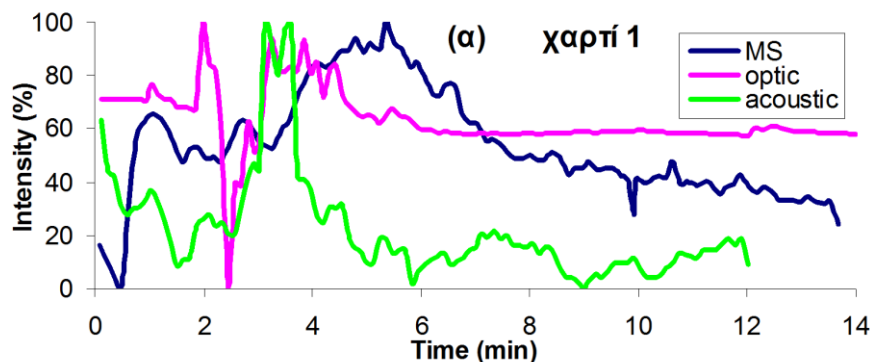
Διάγραμμα 11.13: Γραφική παράσταση της μεταβολής της συνολικής ακουστικής ισχύος σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, για την φασματική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως του ακουστικού σήματος: (α) του πειράματος (χαρτί 1) καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και (β) της επανάληψης αυτού (χαρτί 2).

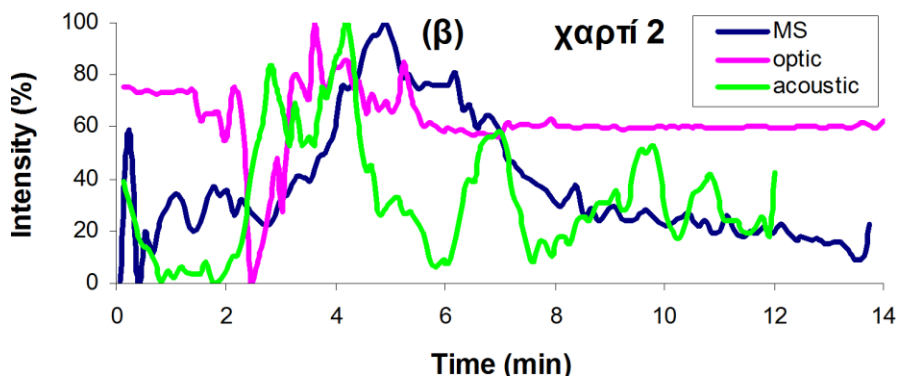
Παρατηρώντας το διάγραμμα 11.12 διαπιστώνεται ότι, τα ακουστικά σήματα, του πειράματος και της επανάληψής του, ακολούθησαν μία παρόμοια εξέλιξη στο χρόνο. Επίσης, είναι φανερό ότι, υπήρχε σημαντική ακουστική δραστηριότητα στο χρονικό εκείνο διάστημα στο οποίο η καύση πραγματοποιήθηκε με την παρουσία της φλόγας, δηλαδή από το χρόνο 2 min, που έγινε η αφή της φλόγας, μέχρι το χρόνο 5 – 6 min, που έγινε η σβέση της φλόγας. Η συνολική ακουστική ισχύ διαπιστώνεται ότι αποκτά τις μέγιστες τιμές στο χρονικό διάστημα περί τα 3 – 4 min και το οποίο αντιστοιχεί στο διάστημα, όπου η φλόγα αποκτά το μέγιστο ύψος και ένταση.

Η ακουστική, αυτή, δραστηριότητα που εμφανίζεται στο διάστημα παρουσίας της φλόγας, σχετίζεται με τα ηχητικά φαινόμενα που παράγονται, τόσο από την καύση του καύσιμου υλικού αλλά και από την επίδραση που έχει το φαινόμενο της καύσης, στον περιβάλλοντα χώρο και που στην συγκεκριμένη εφαρμογή, ουσιαστικά, αυτό αποτελεί το κεκλιμένο έλασμα πάνω στο οποίο έλαβε χώρα η καύση. Άρα, η ακουστική δραστηριότητα για το διάστημα από 2 min μέχρι το χρόνο 5 – 6 min αποτελούνταν, από τους ήχους που παράγονταν από το φαινόμενο της καύσης και από την διαστολή του μεταλλικού ελάσματος. Μετά την παύση της φλόγας, η ακουστική δραστηριότητα αποτελούνταν, από τον ήχο που παράχθηκε από την συστολή του μεταλλικού ελάσματος. Πέρα απ' αυτό, η περαιτέρω διερεύνηση αυτών των ακουστικών σημάτων παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον, καθόσον είναι εμφανές ότι, τα σήματα αυτά φέρουν σημαντική πληροφορία που σχετίζεται με την εξέλιξη του φαινομένου.

11.6.4. Κανονικοποίηση των Επεξεργασμένων Σημάτων Καύσης του Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης

Στα παρακάτω διάγραμμα 11.13 παρουσιάζονται τα κανονικοποιημένα σήματα του μέσου όρου της έντασης του γκρι, στο frame επιλογής, της ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως και το TIC (Total Ion Current) από την ανάλυση PSS-MS, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο των πειραμάτων καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης.





Διάγραμμα 11.14: Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων του frame μέσου όρου της έντασης του γκρι, της ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως και το TIC (Total Ion Current) από την ανάλυση PSS-MS, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, από τα πειράματα καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης: (α) του πειράματος (χαρτί 1) και (β) επανάληψης (χαρτί 2).

Στο συγκεντρωτικό διάγραμμα 11.13 διαπιστώνεται ότι, τόσο για το πείραμα όσο και την επανάληψη, φαίνεται ότι όλα τα σήματα παρουσίασαν μία, σχετικά, παρόμοια εξέλιξη στο χρόνο. Δηλαδή, στο διάστημα στο οποίο υπήρχε η φλόγα, παρατηρήθηκε η ύπαρξη σημαντικής δραστηριότητας. Αυτή η σχετική ομοιομορφία δύναται, εν μέρει, να εξηγηθεί από την μικρή διάρκεια της υποβόσκουσας καύσης, μετά από την παύση της φλόγας και επομένως, δύναται να ειπωθεί ότι, το φαινόμενο αυτής της καύσης χαρακτηρίζεται, κυρίως, από την παρουσία της φλόγας. Στην παρουσία της φλόγας, όλα τα σήματα ανταποκρίθηκαν παρουσιάζοντας την προαναφερόμενη σημαντική δραστηριότητα.

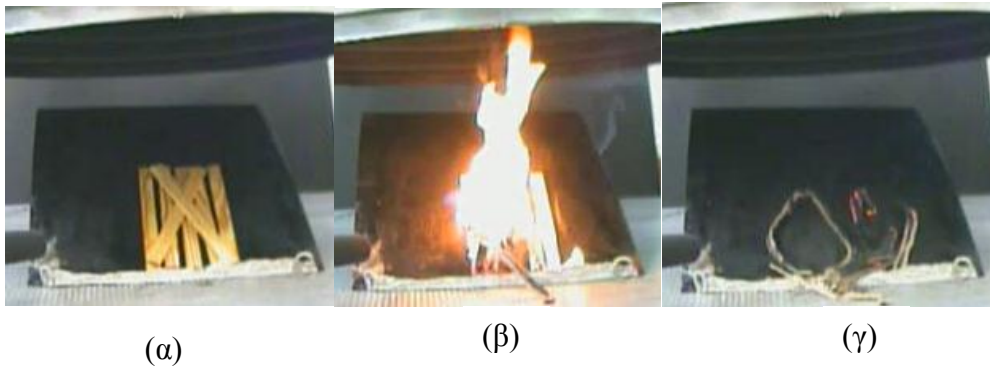
Το χημικό σήμα φαίνεται ότι παρουσίασε μία χρονική υστέρηση, στην απόκριση του στο φαινόμενο της καύσης και της παρουσίας της φλόγας.

Επιπλέον, το ακουστικό σήμα στο χρόνο φαίνεται ότι παρουσίασε μία διαφοροποίηση με τ' άλλα σήματα, καθώς και μετά την ολοκλήρωση της καύσης, εξακολούθησε να παράγεται ακουστική δραστηριότητα, που ήταν αποτέλεσμα της επίδρασης της καύσης στον περιβάλλοντα χώρο (μεταλλικό έλασμα).

Γενικότερα μπορεί να αναφερθεί ότι το οπτικό σήμα αποκρίθηκε ταχύτερα από το σήμα TIC του MS, στην παρουσία του φαινομένου της καύσης, καθώς επίσης και το ακουστικό σήμα παρουσίασε μία ταχύτητα απόκρισης ανάλογη μ' αυτήν του οπτικού σήματος.

11.7. Καύση Ξύλου Δρυός

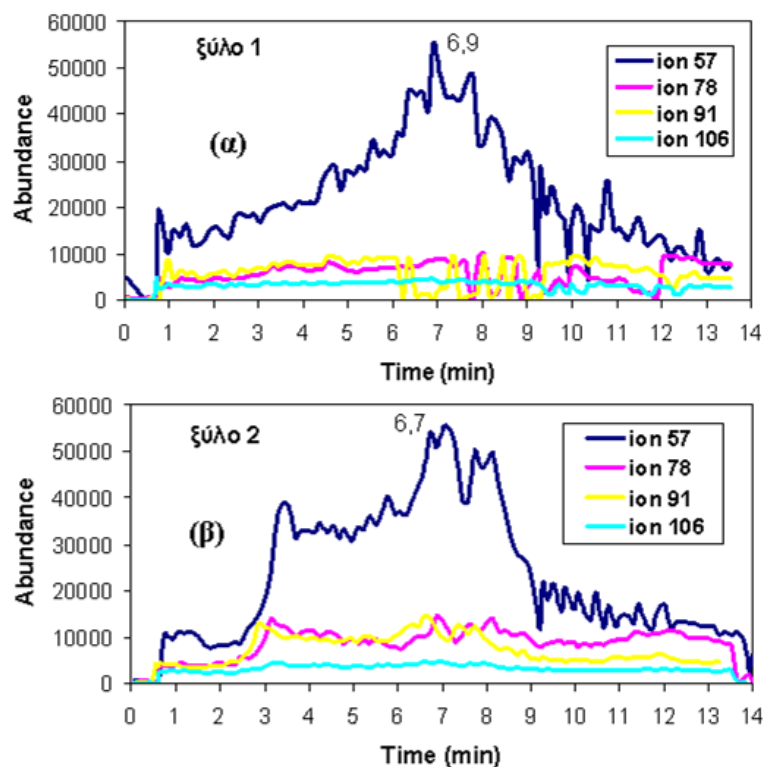
Στα πειράματα αυτά η φλόγα ήταν ορατή από τη χρονική στιγμή της αφής (piloted ignition), δηλαδή από τον χρόνο 2 min, μέχρι τον χρόνο 11,5 min και 12,6 min, για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα. Η μέγιστη θερμοκρασία και ύψος της φλόγας παρατηρήθηκε περί το χρονικό διάστημα 9 - 9.5 min και 8.1 – 9.6 min, για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα. Η καύση χωρίς την παρουσία φλόγας, συνοδευόμενη από την έκλυση λευκού καπνού συνεχίστηκε για μικρό χρονικό διάστημα, μετά από τον χρόνο σβέσης της φλόγας, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 59.



Εικόνα 59: Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από τα πειράματα καύσης του ξύλου δρυός: (α) πριν από την αφή της φλόγας (χρόνος 0-2 min), (β) καύση με την παρουσία φλόγας (χρόνος 2 - 11,5 min), (γ) υποβόσκουσα καύση (smoldering) (χρόνος 11,5 - 14 min).

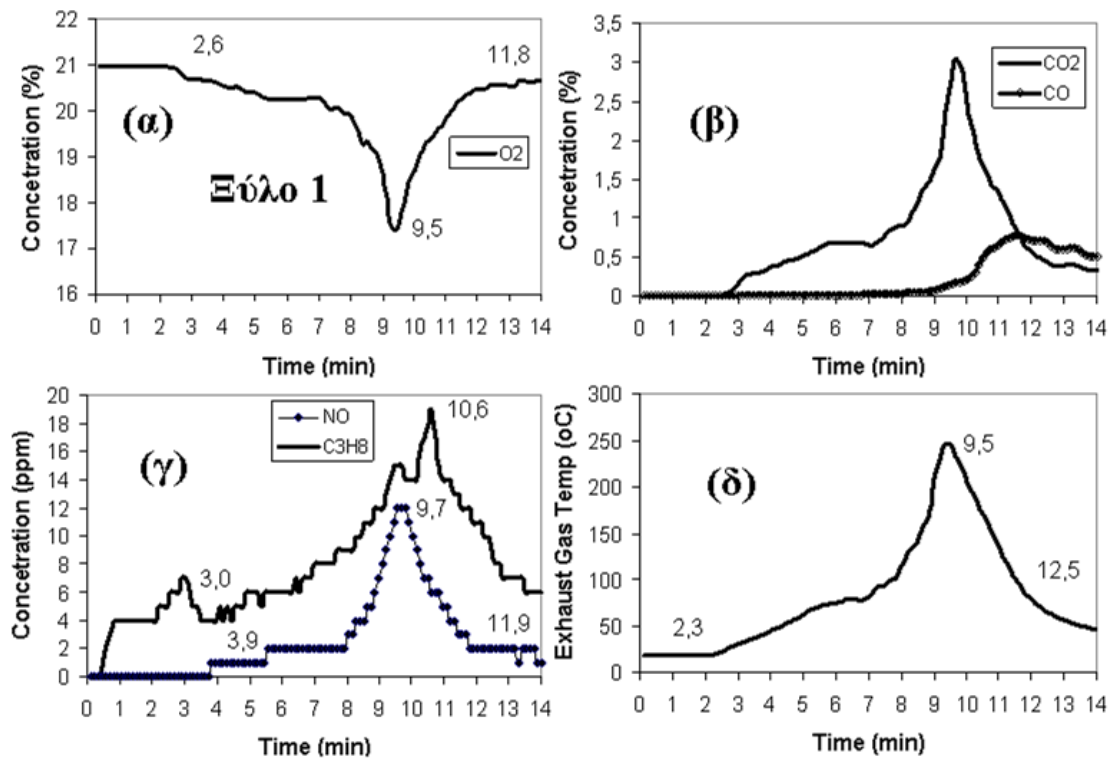
11.7.1. Χημική Ανάλυση Καύσης του Ξύλου Δρυός

Στο παρακάτω διάγραμμα 11.14 παρουσιάζονται τα σήματα από την ανάλυση του PSS-MS για τα ιόντα με m/z 57, 78, 91 και 106 που ελήφθησαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων καύσης του ξύλου δρυός. Το PSS-MS φαίνεται ότι αποκρίθηκε στο φαινόμενο της καύσης σε χρόνο 0,5 min δίνοντας μία σημαντική αύξηση στη m/z 57 και η οποία αποδίδεται στους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες (aliphatic hydrocarbons). Για τις υπόλοιπες ουσίες, η απόκριση του PSS-MS ήταν σημαντική περί τον χρόνο 3 min, δηλαδή 1 min μετά από την αφή της φλόγας. Η καμπύλη των συγκεντρώσεων των VOCs παρουσίασε ένα μέγιστο, τον χρόνο 6,9 min και 6,7 min (m/z 57), για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα, δηλαδή σε χρόνο κατά τον οποίο η φλόγα ήταν ακόμη ορατή. Με βάση το διάγραμμα 11.14, διαπιστώνεται ότι, η ουσία με το εντονότερο προφίλ εμφανίζεται να είναι το ιόν με m/z 57, που αντιστοιχεί στους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες.

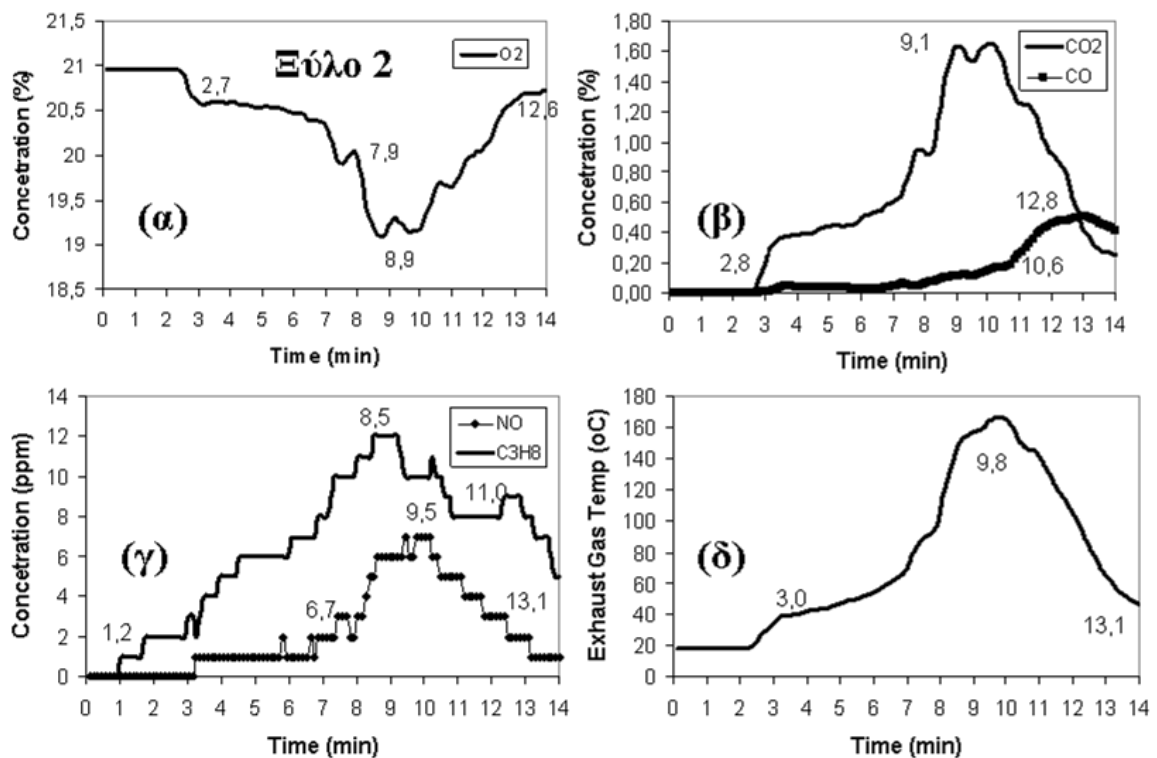


Διάγραμμα 11.15: PSS-MS ανάλυση για την καύση του ξύλου δρυς: (α) το πείραμα (ξύλο 1) και (β) η επανάληψη του (ξύλο 2)

Στο παρακάτω διάγραμμα 11.15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων MRU Delta 1600V που ελήφθησαν κατά την διάρκεια του πειράματος της καύσης του ξύλου δρυς και στο διάγραμμα 11.16 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα της επανάληψης του πειράματος. Παρατηρώντας τα διαγράμματα αυτά, διαπιστώνεται ότι, γενικά, η απόκριση των αισθητήρων στο φαινόμενο της καύσης είναι λιγότερο από το 1 min.



Διάγραμμα 11.16: Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για το πείραμα καύσης του ξύλου δρυς: (α) συγκέντρωση O_2 (%), (β) συγκέντρωση CO και CO_2 (%), (γ) συγκέντρωση NO και C_3H_8 (ppm) και (δ) θερμοκρασία καυσαερίων σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο



Διάγραμμα 11.17: Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για την επανάληψη του πειράματος καύσης του ξύλου δρυς: (α) συγκέντρωση O_2 (%), (β) συγκέντρωση CO και CO_2 (%), (γ) συγκέντρωση NO και C_3H_8 (ppm) και (δ) θερμοκρασία καυσαερίων σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο

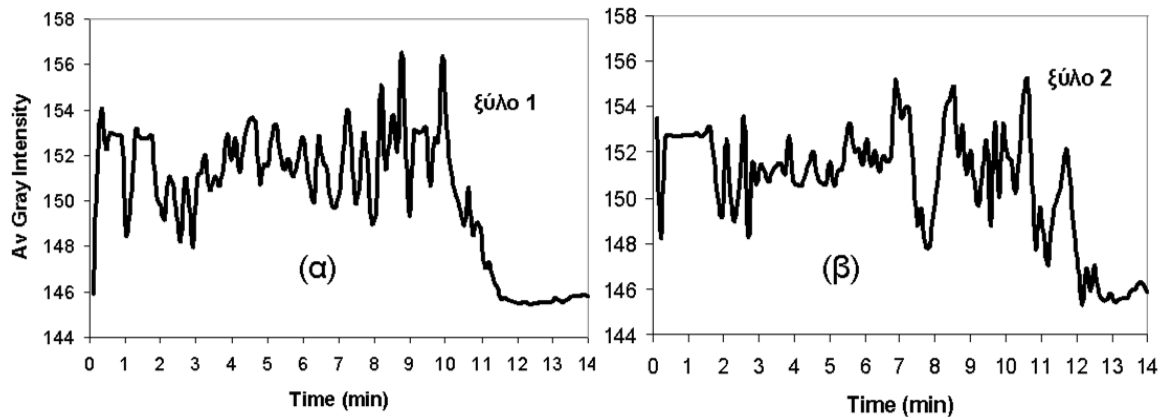
Η χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων, τόσο για το πείραμα όσο και την επανάληψη του, έδωσε σημαντικές πληροφορίες, όσον αφορά στην εξέλιξη της διαδικασίας καύσης. Πιο συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του O_2 παρουσίασε ελάχιστο όταν η συγκέντρωση του CO_2 και του NO , καθώς και η θερμοκρασία καυσαερίων παρουσίασαν μέγιστο, περί το χρόνο 9,5 min και 8,9 – 9,8 min, για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα. Τα χρονικά αυτά διαστήματα, ουσιαστικά, αντιστοιχούν στους χρόνους που η φλόγα παρουσίασε το μεγαλύτερο ύψος και ένταση. Ενώ, η συγκέντρωση του CO παρουσίασε μέγιστο τον χρόνο 11,5 min και 12,8 min, για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα, δηλαδή το χρόνο σβέσης της φλόγας.

Η συγκέντρωση του C_3H_8 παρουσίασε μέγιστο στον χρόνο 10,6 min και 8,5 min, για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα, δηλαδή πριν από τη σβέση της φλόγας και μάλιστα όταν η φλόγα αυτή είχε σημαντικό ύψος και ένταση.

11.7.2. Οπτική Ανάλυση Καύσης του Ξύλου Δρυς

Στο παρακάτω διάγραμμα 11.17 εμφανίζονται τα αποτελέσματα από την οπτική ανάλυση των πειραμάτων καύσης του ξύλου δρυς και πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η μεταβολή του μέσου όρου του γκρι, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο

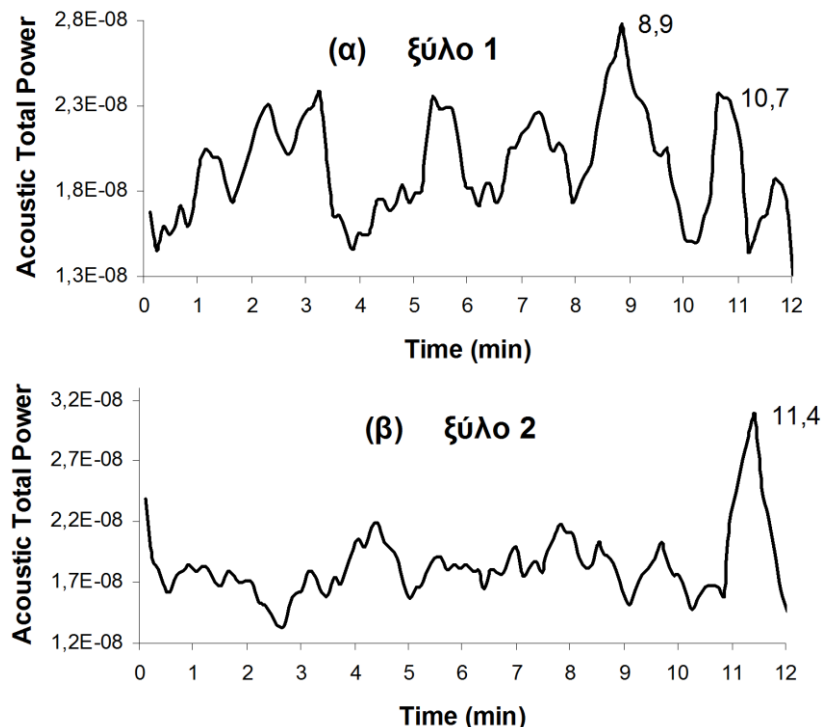
Παρατηρώντας το διάγραμμα 11.17 διαπιστώνεται ότι, παρέχονται σημαντικές ενδείξεις της παρουσίας φλόγας και καπνού. Οι μέγιστες τιμές του μέσου όρου του γκρι παρατηρήθηκαν, περί το χρονικό διάστημα 8 - 10 min και 8 - 11 min, για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα. Το διάστημα αυτό, αντιστοιχεί στην περίοδο όπου η φλόγα αποκτά το μέγιστο ύψος και ένταση. Ο μέσος όρος της έντασης του γκρι μειώθηκε ραγδαία μετά τον χρόνο 11 min και 12 min, για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα, όπου πλέον η καύση συνεχίζεται, κυρίως, με υποβόσκουσα καύση. Μετά από το διάστημα αυτό υπήρξε, για μικρό διάστημα, μία αδύναμη φλόγα μέχρι που αυτή έσβησε τελείως. Η έκλυση καπνού, γενικά, στα πειράματα αυτά ήταν περιορισμένη και μετά την παύση της φλόγας η έκλυση αυτή συνεχίστηκε για ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι και μετά την παύση της φλόγας, οι τιμές του μέσου όρου της έντασης του γκρι παρουσίασαν ελάχιστη διακύμανση. Αυτό δύναται να εξηγηθεί από το γεγονός, ότι, μετά την σβέση της φλόγας το φαινόμενο της καύσης είχε σχεδόν ολοκληρωθεί και η υποβόσκουσα καύση ήταν περιορισμένη καθώς το καύσιμο υλικό είχε, σχεδόν, όλο καεί.



Διάγραμμα 11.18: Γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο από το: (α) πείραμα καύσης του ξύλου δρυς, για το frame που περιλαμβάνεται από τις στήλες 130 – 260 και τις γραμμές 48 – 210 και (β) επανάληψη του πειράματος καύσης του ξύλου δρυς, για το frame που περιλαμβάνεται από τις στήλες 170 – 268 και τις γραμμές 51 – 211.

11.7.3. Ακουστική Ανάλυση Καύσης του Ξύλου Δρυς

Με βάση τις ακουστικές καταγραφές και την χρήση του αλγόριθμου που παρουσιάζεται στην εικόνα 56 υπολογίστηκε η συνολική ακουστική ισχύ, για την συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, των πειραμάτων καύσης του ξύλου δρυς και παραστάθηκε γραφικά, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 11.18.



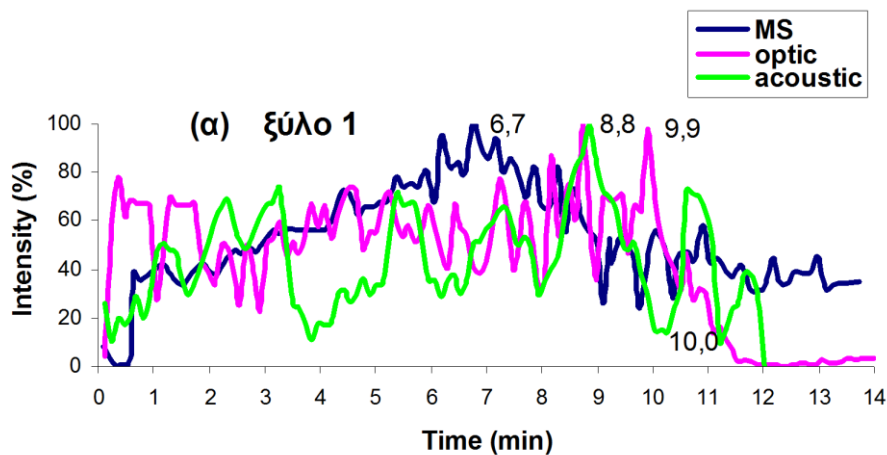
Διάγραμμα 11.19: Γραφική παράσταση της μεταβολής της συνολικής ακουστικής ισχύος σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, για την φασματική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως του ακουστικού σήματος: (α) του πειράματος (ξύλο 1) καύσης του ξύλου και (β) της επανάληψης αυτού (ξύλο 2).

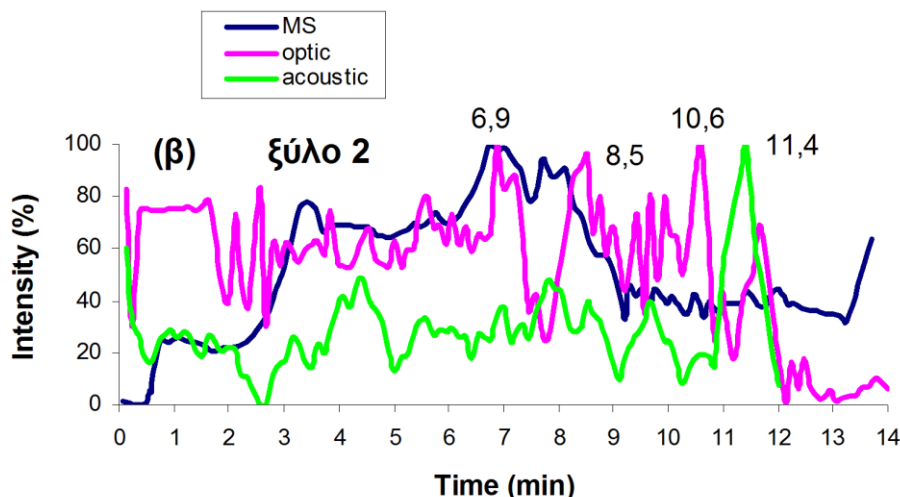
Παρατηρώντας το διάγραμμα 11.18 διαπιστώνεται ότι, τα ακουστικά σήματα, του πειράματος και της επανάληψης του, ακολούθησαν μία, σχεδόν, παρόμοια εξέλιξη στο χρόνο. Επίσης, είναι φανερό ότι, η επίδραση του θορύβου δεν ήταν σημαντική και ότι υπήρξε σημαντική ακουστική δραστηριότητα καθόλη την διάρκεια του πειραματικού χρόνου. Η συνέχεια αυτή, στην ακουστική δραστηριότητα, οφείλεται στο γεγονός ότι η καύση με φλόγα είχε μεγάλη διάρκεια και κάλυψε όλο τον χρόνο στον οποίο έγινε η επεξεργασία του ήχου. Πιο συγκεκριμένα, η καύση με φλόγα πραγματοποιήθηκε από το χρόνο 2 min, που έγινε η αφή της φλόγας, μέχρι το χρόνο 11,5 min και 12,6 min, για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα. Η συνολική ακουστική ισχύ απέκτησε τις μέγιστες τιμές στους χρόνους 8,9 min και 10,7 min, στο πείραμα, και 11,4 min στην επανάληψη του πειράματος. Είναι αξιοσημείωτο ότι, οι τιμές αυτές, δεν αντιστοιχούν στο διάστημα όπου η φλόγα απέκτησε το μέγιστο ύψος και ένταση, κάτι που συνέβη με τ' άλλα υλικά. Αντίθετα, στα πειράματα καύσης του ξύλου διαπιστώνεται, με βάση το διάγραμμα 11.18, ότι στο χρονικό διάστημα όπου η φλόγα απέκτησε το μέγιστο ύψος και ένταση, δηλαδή το διάστημα 9 – 9,5 min για το πείραμα και το 8,1 – 9,6 min για την επανάληψη του, η ακουστική ισχύ απέκτησε φθίνουσες τιμές.

Επίσης, μία άλλη γενική παρατήρηση είναι ότι, ουσιαστικά, η ηχητική καταγραφή των πειραμάτων καύσης του ξύλου δρυς, αντιστοιχεί στο χρονικό εκείνο διάστημα όπου η καύση πραγματοποιήθηκε με την παρουσία της φλόγας. Δηλαδή, η ακουστική καταγραφή της υποβόσκουσας καύσης που ακολούθησε την παύση της φλόγας στο Διάγραμμα 11.18 δεν υφίσταται. Ο λόγος είναι ότι λόγω τεχνικών δυσκολιών η ακουστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε στο χρονικό διάστημα 0 – 12 min του πειραματικού χρόνου που είχε διάρκεια 14 min.

11.7.4. Κανονικοποίηση των Επεξεργασμένων Σημάτων Καύσης του Λευκού Χαρτιού Εκτύπωσης

Στα παρακάτω διάγραμμα 11.19, παρουσιάζονται τα κανονικοποιημένα σήματα του μέσου όρου της έντασης του γκρι στο επιλεγθέν frame, της ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως και το TIC (Total Ion Current) από την ανάλυση PSS-MS, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, των πειραμάτων καύσης του ξύλου δρυς.





Διάγραμμα 11.20: Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων του frame μέσου όρου της έντασης του γκρι, της ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως και το TIC (Total Ion Current) από την ανάλυση PSS-MS σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο από τα πειράματα καύσης του ξύλου δρυς: (α) του πειράματος (ξύλο 1) και (β) επανάληψης (ξύλο 2).

Παρατηρώντας το συγκεντρωτικό διάγραμμα 11.19 διαπιστώνεται ότι, τόσο για το πείραμα όσο και την επανάληψη, φαίνεται ότι, όλα τα οπτικά και τα ακουστικά σήματα παρουσιάζουν μία σχετικά παρόμοια εξέλιξη στο χρόνο. Αυτή η σχετική ομοιομορφία δύναται, εν μέρει, να εξηγηθεί από την απουσία της υποβόσκουσας καύσης, μετά από την παύση της φλόγας. Στο χρονικό διάστημα στο οποίο υπήρχε η φλόγα, παρατηρείται ότι, υπήρχε σημαντική δραστηριότητα και η οποία έγινε εντονότερη στο διάστημα στο οποίο η φλόγα απόκτησε το μέγιστο ύψος και ένταση. Υπενθυμίζεται ότι, η φλόγα ήταν ορατή από τον χρόνο 2 min, μέχρι τον χρόνο 11,5 min και 12,6 min για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα και η μέγιστη θερμοκρασία και ύψος της φλόγας παρατηρήθηκε περί το χρονικό διάστημα 9 - 9.5 min και 8.1 – 9.6 min, για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα. Επομένως, η απουσία της υποβόσκουσας καύσης οφείλεται στο γεγονός ότι αυτή δεν έχει καταγραφεί στην ακουστική καταγραφή των πειραμάτων αυτών.

Σ' αντίθεση με τα ανωτέρω, το χημικό σήμα παρουσίασε μία διαφορετική εξέλιξη στο χρόνο. Ειδικότερα, το χημικό σήμα παρουσίασε μέγιστο τον χρόνο 6,7 min και 6,9 min για το πείραμα και την επανάληψη του αντίστοιχα. Δηλαδή η έκλυση των χημικών ουσιών, που παρακολουθεί το PSS-MS, παρουσίασε μέγιστο σε χρόνο νωρίτερα από εκείνον που αντιστοιχεί στο μέγιστο ύψος και ένταση της φλόγας.

Στα πειράματα αυτά είναι δυνατόν να ειπωθεί ότι, όλα τα σήματα αποκρίνονται σχεδόν άμεσα στην αφή και την παρουσία της φλόγας.

11.8. Μοντελοποίηση της καύσης του βαμβακερού υφάσματος, του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και του ξύλου δρυς

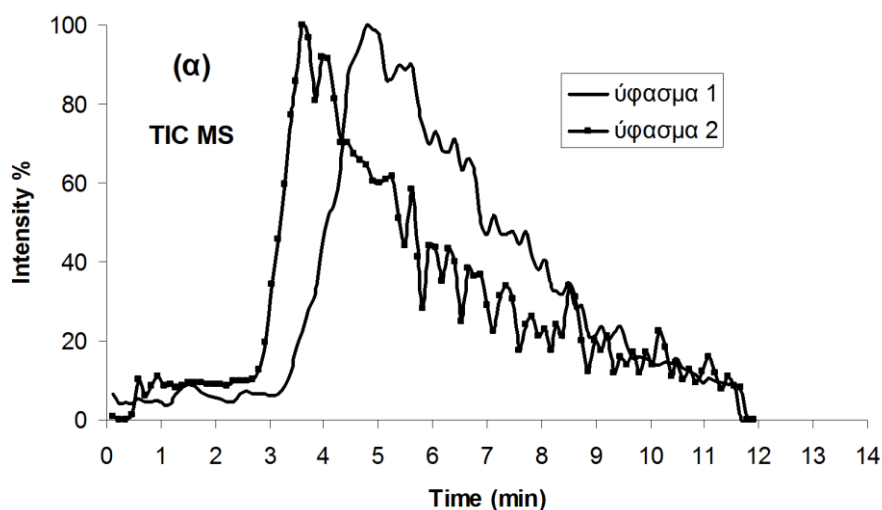
Η διαδικασία μοντελοποίησης της καύσης των προαναφερόμενων υλικών βασίστηκε στην διερεύνηση μοναδικών χαρακτηριστικών των χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων της καύσης των υλικών αυτών. Αυτό πραγματοποιήθηκε μέσω της επεξεργασίας και μοντελοποίησης, με την χρήση των παραμετρικών καμπυλών, των κανονικοποιημένων σημάτων, στο χρόνο, του μέσου όρου της έντασης του γκρι

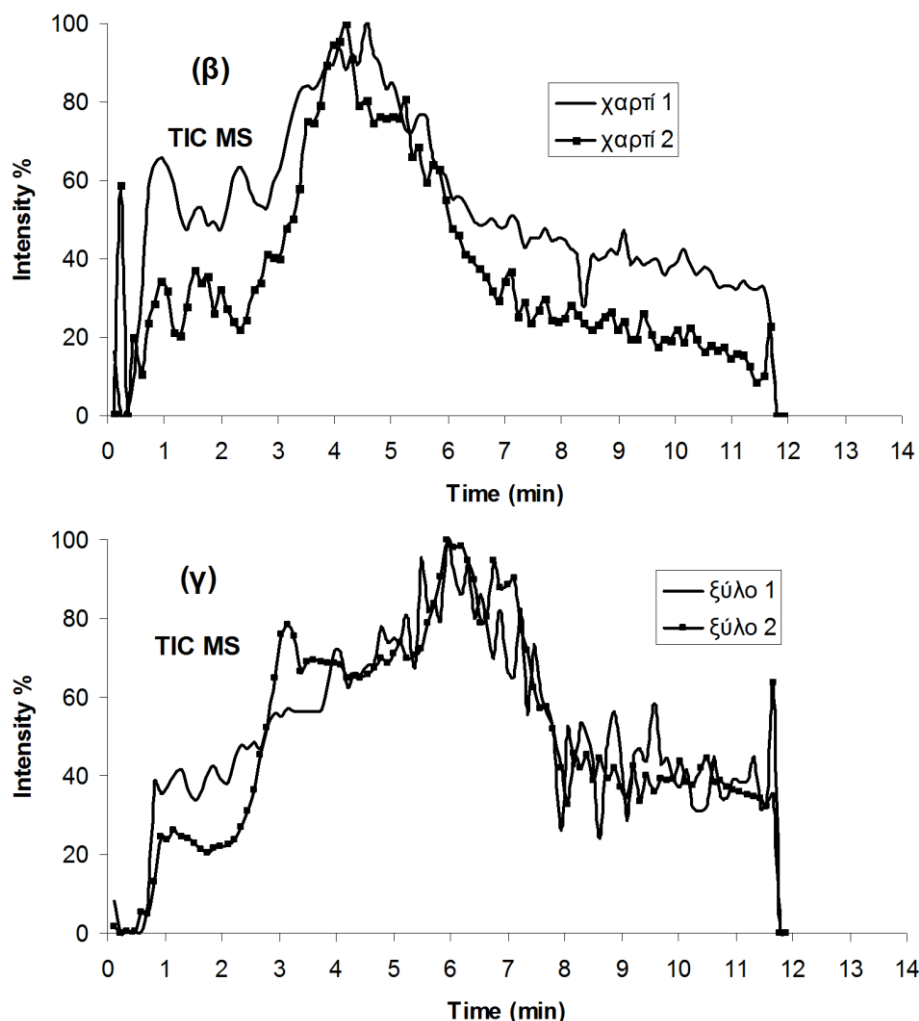
στο frame επιλογής, της ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{th} τάξεως και το TIC (Total Ion Current) από την ανάλυση PSS-MS. Η διαδικασία αυτή αποσκοπούσε στο να εντοπιστούν μοναδικά χαρακτηριστικά από την καύση του κάθε υλικού.

Η συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με τον κ. Καθηγητή Μ. Ζερβάκη και την υποψήφια διδάκτορα κ. Κ. Μοιρογιώργου, του Εργαστηρίου Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων & Εικόνας, του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, από το Πολυτεχνείο Κρήτης.

11.8.1. Χημικές Υπογραφές

Γενικά, παρατηρώντας το παρακάτω διάγραμμα 11.20 διαπιστώνεται ότι, το χημικό σήμα (TIC του PSS-MS) από την καύση του βαμβακερού υφάσματος και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης παρουσίασαν κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, η πιο σημαντική δραστηριότητα στα σήματα αυτά εμφανίστηκε στο χρονικό διάστημα 4 – 8 min. Ενώ, στην καύση του ξύλου δρυς, στο χημικό σήμα, η πιο σημαντική δραστηριότητα εμφανίστηκε στο χρονικό διάστημα 2,5 – 9 min. Διαπιστώνεται ακόμη ότι, η σημαντική δραστηριότητα στο χημικό σήμα της καύσης του ξύλου δρυς παρουσίασε μεγαλύτερη διάρκεια σε σχέση με τα άλλα δύο υλικά. Επίσης, στην καύση του ξύλου δρυς διαπιστώνεται ότι, η απόκριση του PSS-MS στην παρουσία της φλόγας είναι σημαντικά μικρότερη απ' ό,τι στα άλλα δύο υλικά. Υπενθυμίζεται ότι για όλα τα υλικά η αφή της φλόγας πραγματοποιήθηκε τον χρόνο 2 min.

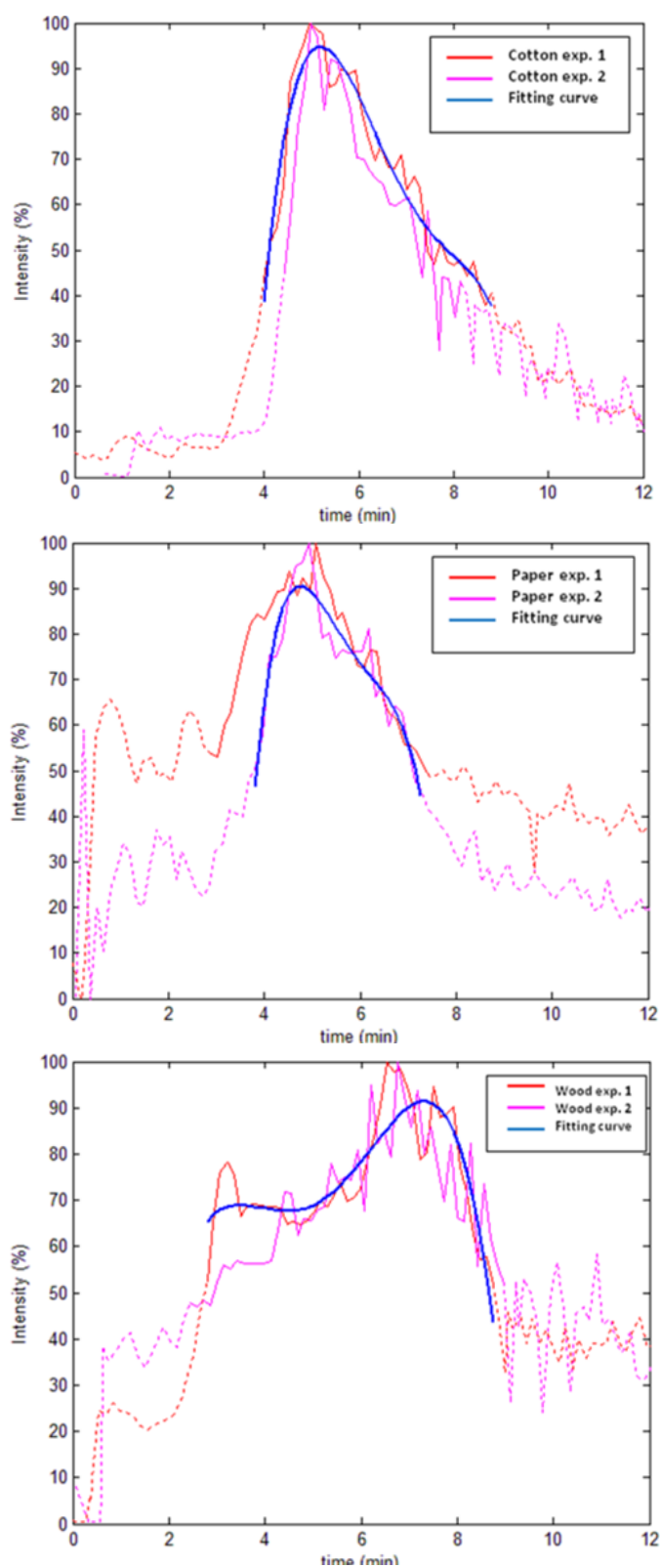




Διάγραμμα 11.21: Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων του TIC (Total Ion Current) από την ανάλυση PSS-MS σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο από: (α) του πειράματος καύσης του βαμβακερού υφάσματος (ύφασμα 1) και της επανάληψης του (ύφασμα 2), (β) του πειράματος καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης (χαρτί 1) και της επανάληψης του (χαρτί 2) και (γ) του πειράματος καύσης του ξύλου δρυς (ξύλο 1) και της επανάληψης του (ξύλο 2).

Ο σκοπός στην ανάλυση αυτή ήταν να μοντελοποιηθούν όλες οι καμπύλες του διαγράμματος 11.20 και να εξαχθούν παραμετρικά μοντέλα, βασιζόμενα στην χημική ανάλυση του PSS-MS, από τα πειράματα καύσης των προαναφερόμενων υλικών. Τα μοντέλα αυτά, ουσιαστικά, θα ταυτοποιούν την καύση του κάθε υλικού. Παρότι η ανάλυση αυτή βασίστηκε, σ' ένα περιορισμένο αριθμό πειραμάτων για κάθε υλικό (ένα πείραμα και η επανάληψη του), τελικά, κατέληξε στα παρακάτω μοντέλα, τα οποία είναι κανονικοποιημένα πολυώνυμα 4^{ης} τάξεως. Τα μοντέλα αυτά εξήχθησαν μέσα από την διαδικασία της προσαρμογής της καμπύλης (curve fitting).

Στο παρακάτω διάγραμμα 11.21 εμφανίζεται το μοντελοποιημένο χημικό σήμα TIC από την ανάλυση του PSS-MS, για το χρονικό διάστημα 4 – 8 min από την καύση του βαμβακερού υφάσματος και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και για το διάστημα 2,5 – 9 min από την καύση του ξύλου δρυς.



Διάγραμμα 11.22: Γραφική παράσταση των μοντελοποιημένων κανονικοποιημένων σημάτων του TIC (Total Ion Current) από την ανάλυση PSS-MS στο χρόνο, από την καύση: (α) του βαμβακερού υφάσματος (β) του λευκού χαρτιού εκτόπωσης και (γ) του ξύλου δρυς

Τα πολυώνυμα 4^{ης} τάξεως τα οποία αντιστοιχούν στις καμπύλες των μοντελοποιημένων σημάτων του διαγράμματος 21 είναι ως κάτωθι:

$$\text{MS} - \text{ύφασμα: } y = -1.4*x^4 + 39*x^3 - 410*x^2 + 1900*x - 3100$$

$$\text{MS} - \text{χαρτί: } y = -1.7*x^4 + 40*x^3 - 370*x^2 + 1500*x - 2200$$

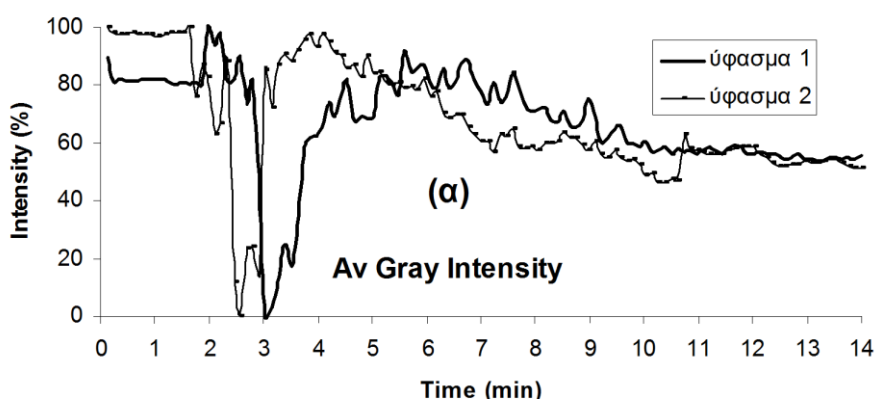
$$\text{MS} - \text{ξύλο: } y = -0.63*x^4 + 13*x^3 - 92*x^2 + 280*x - 250$$

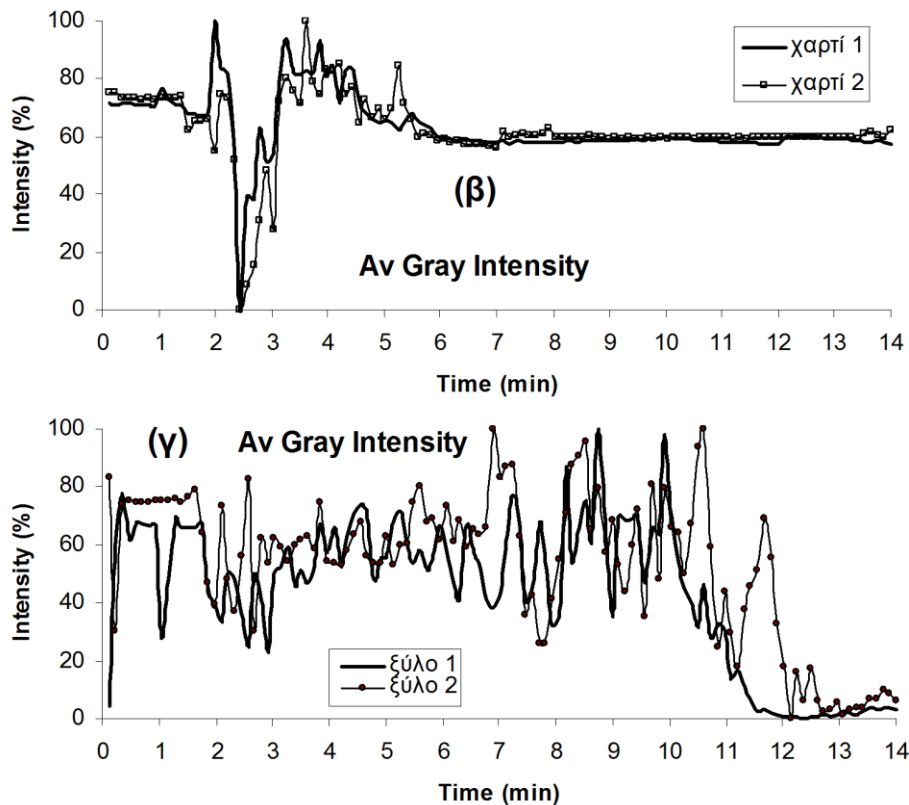
Επίσης, πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι, το ακριβές μοντέλο της καύσης των ανωτέρω υλικών δύναται να προσδιοριστεί με βάση ένα μεγαλύτερο αριθμό επαναλήψεων του πειράματος καύσης του κάθε υλικού.

Παρατηρώντας τα ανωτέρω μοντέλα διαπιστώνεται ότι, η καύση του βαμβακερού υφάσματος και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά καθώς οι συντελεστές των αντίστοιχων μοντέλων δεν έχουν σημαντική διαφορά. Στα εν λόγω μοντέλα, του βαμβακερού υφάσματος και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης, παρατηρείται ότι αυτά επηρεάζονται κυρίως από τους συντελεστές χαμηλής τάξης των πολωνύμων και ιδιαίτερα, από τον συντελεστή της 2^{ης} τάξης. Ενώ, το μοντέλο της καύσης του ξύλου δρυς παρουσιάζει μία, πιο σύνθετη δομή.

11.8.2. Οπτικές Υπογραφές

Γενικά δύναται να ειπωθεί ότι, το οπτικό σήμα που καταγράφηκε στην διάρκεια των πειραμάτων καύσης, κατά κάποιο τρόπο, κωδικοποιεί την φωτεινή ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται κατά την διάρκεια της διαδικασίας της καύσης. Παρατηρώντας το παρακάτω διάγραμμα 11.22, διαπιστώνεται ότι, το λευκό χαρτί εκτύπωσης κήκε ταχύτερα και διατήρησε την φωτεινή ακτινοβολία για πιο μικρό χρονικό διάστημα σε σχέση με τ' άλλα υλικά, δηλαδή από το χρόνο 2 min, που πραγματοποιήθηκε η αφή της φλόγας, μέχρι τον χρόνο 6 min. Σ' αντίθεση, η καύση του βαμβακερού υφάσματος διήρκεσε περισσότερο, διατηρώντας έτσι την φωτεινή ακτινοβολία για περισσότερο διάστημα, δηλαδή από την αφή της φλόγας, τον χρόνο 2 min, μέχρι τον χρόνο 10 min. Επίσης, η καύση του ξύλου δρυς διήρκεσε ακόμη περισσότερο, εκπέμποντας φωτεινή ακτινοβολία για ακόμη περισσότερο χρόνο, σχεδόν μέχρι το τέλος της καταγραφής. Όμως, αυτή η εκπομπή της φωτεινής ακτινοβολίας, στην καύση του ξύλου δρυς, σημείωσε πολλές διακυμάνσεις.





Διάγραμμα 11.23: Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων του μέσου όρου της έντασης του γκρι σε συνάρτηση, με τον πειραματικό χρόνο, από το: (α) πείραμα καύσης του βαμβακερού υφάσματος (ύφασμα 1) και της επανάληψης του (ύφασμα 2), (β) πείραμα καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης (χαρτί 1) και της επανάληψης του (χαρτί 2) και (γ) πείραμα καύσης του ξύλου δρυς (ξύλο 1) και της επανάληψης του (ξύλο 2).

Όπως και με τα χημικά σήματα, η μοντελοποίηση των οπτικών σημάτων πραγματοποιήθηκε με σκοπό τον εντοπισμό μοναδικών χαρακτηριστικών από την καύση των προαναφερόμενων υλικών. Έτσι λοιπόν, ως μία πρώτη προσέγγιση στο θέμα, όπου και πάλι υπενθυμίζεται αυτό πραγματοποιήθηκε με βάση ένα περιορισμένο αριθμό επαναλήψεων (το πείραμα και την επανάληψη του), εξήχθησαν τα παρακάτω μοντέλα. Στην περίπτωση των οπτικών σημάτων, χρησιμοποιήθηκε το χρονικό τμήμα μετά από την αφή της φλόγας, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα 11.23.

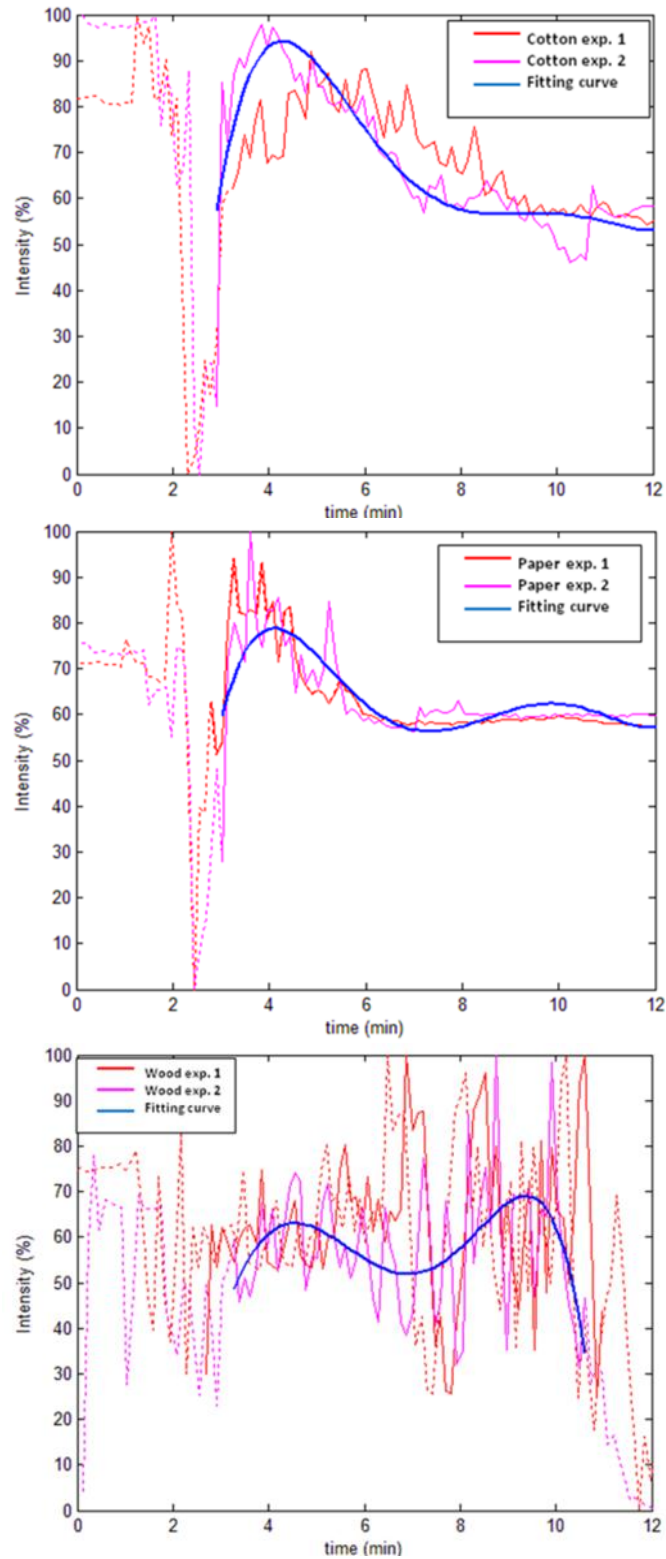
Η διαδικασία μοντελοποίησης των οπτικών σημάτων για το διάστημα αυτό εξήγαγε τα παρακάτω μοντέλα, τα οποία, είναι πολυώνυμα 5^{ης} τάξεως:

$$\text{Optical -ύφασμα: } y = 0.026 \cdot x^5 - 1.1 \cdot x^4 + 19 \cdot x^3 - 150 \cdot x^2 + 580 \cdot x - 720$$

$$\text{Optical -χαρτί: } y = 0.031 \cdot x^5 - 1.3 \cdot x^4 + 20 \cdot x^3 - 150 \cdot x^2 + 540 \cdot x - 640$$

$$\text{Optical -ξύλο: } y = -0.043 \cdot x^5 + 1.1 \cdot x^4 - 9 \cdot x^3 + 21 \cdot x^2 + 45 \cdot x - 120$$

Παρατηρώντας τα μοντέλα αυτά, διαπιστώνεται ότι, η καύση του βαμβακερού υφάσματος και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά. Δηλαδή, οι συντελεστές των πολυωνύμων αυτών, δεν έχουν σημαντικές διαφορές. Επίσης τα μοντέλα αυτά, επηρεάζονται, κυρίως, από τους συντελεστές των χαμηλότερων τάξεων και πιο συγκεκριμένα απ' αυτούς μέχρι την 2^η τάξη. Επίσης, παρατηρώντας το διάγραμμα 11.23, διαπιστώνεται ότι, οι αντίστοιχες καμπύλες του βαμβακερού υφάσματος και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης παρουσίασαν μέγιστα,



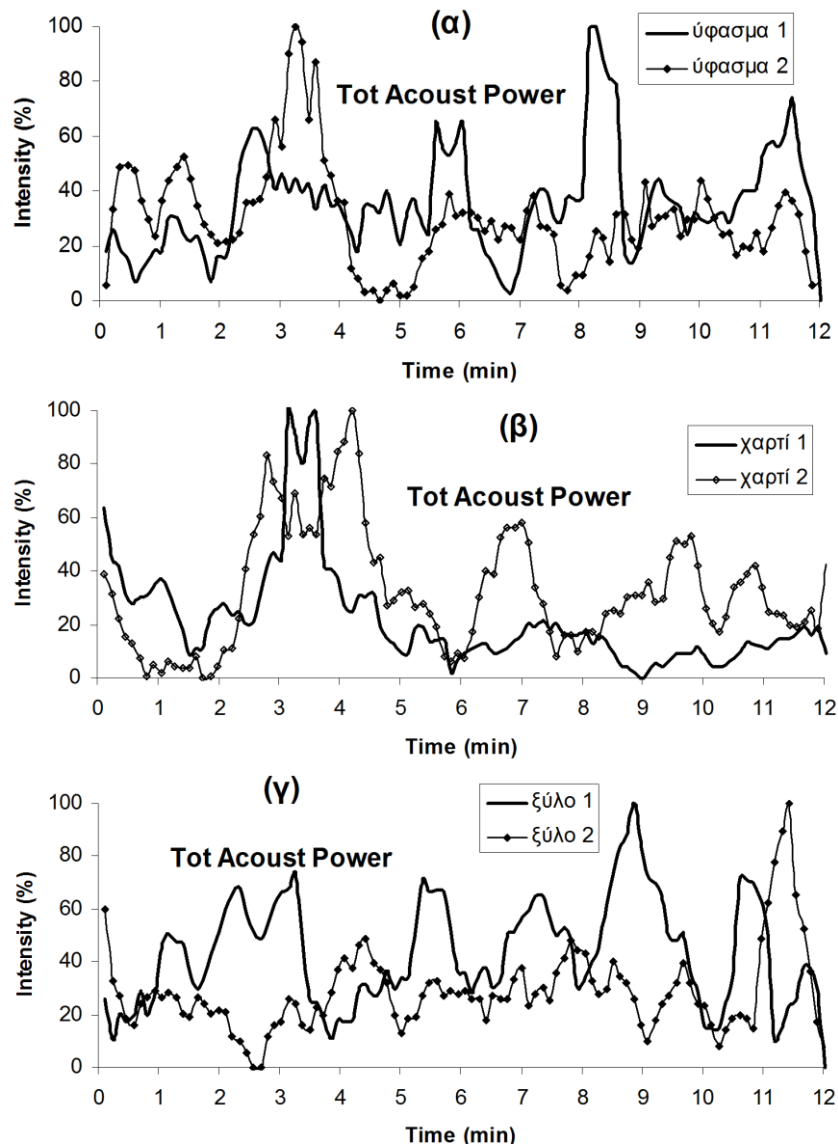
Διάγραμμα 11.24: Γραφική παράσταση των μοντελοποιημένων κανονικοποιημένων σημάτων του μέσου όρου του γκρι στο χρόνο, από την καύση: (α) του βαμβακερού υφάσματος (β) του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και (γ) του ξύλου δρυς

σχεδόν με συμμετρία, στην αρχή της διαδικασίας καύσης, οι οποίες, όμως, σταδιακά μειώθηκαν. Απεναντίας, η καμπύλη μοντελοποίησης της καύσης του ξύλου δρυς του

διαγράμματος 11.23, παρουσίασε μία διαφορετική μορφή, με μέγιστα στην αρχή και στο τέλος της διαδικασίας καύσης.

11.8.3. Ακουστικές Υπογραφές

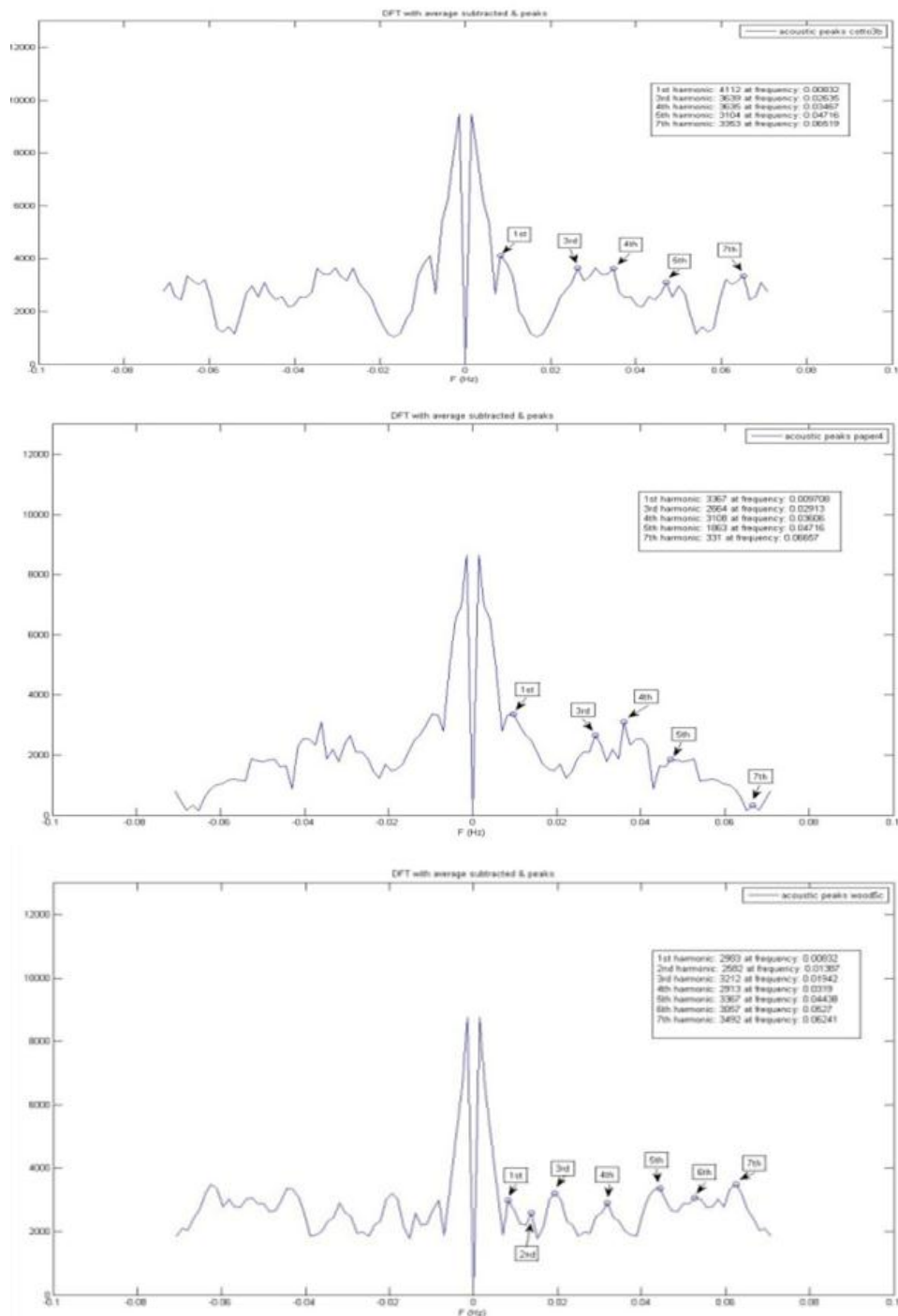
Τα κανονικοποιημένα ακουστικά σήματα, που παρουσιάζονται στο διάγραμμα 11.24, για την διαδικασία μοντελοποίησης αναλύθηκαν κάνοντας χρήση της DFT (Discrete Fourier Transform) ανάλυσης.



Διάγραμμα 11.25: Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων της ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, από το: (α) πείραμα καύσης του βαμβακερού υφάσματος (ύφασμα 1) και της επανάληψης του (ύφασμα 2), (β) πείραμα καύσης του λευκού χαρτιού εκτόπωσης (χαρτί 1) και της επανάληψης του (χαρτί 2) και (γ) πείραμα καύσης του ξύλου δρυς (ξύλο 1) και της επανάληψης του (ξύλο 2).

Για να αποφευχθούν ανεπιθύμητες διακυμάνσεις εύρους, όλα τα ακουστικά σήματα μετασχηματίστηκαν στο μέσο μηδέν, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 11.25. Η

συχνότητα δειγματοληψίας και το μέγεθος της ακουστικής καταγραφής επέτρεψαν την ανάλυση μέχρι την 7^η αρμονική των ακουστικών σημάτων.



Διάγραμμα 11.26: Γραφική παράσταση των μοντελοποιημένων κανονικοποιημένων σημάτων της ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως, από την καύση: (α) του βαμβακερού υφάσματος (β) του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και (γ) του ξύλου δρυς

Δεδομένου ότι, η διάρκεια του κάθε ακουστικού σήματος ήταν $T_{max}=12$ min, η συχνότητα ανάλυσης (frequency resolution) ΔF υπολογίστηκε ως:

$$\Delta F = 1/T_{max} = 0.001388 \text{ Hz,}$$

Το συχνοτικό εύρος (frequency range) το οποίο δύναται να αναπαρασταθεί, με κατανομή σε αρνητικές και θετικές τιμές, αντιστοιχεί σε συχνότητα δειγματοληψίας:

$$F=0.1428 \text{ Hz,}$$

Επομένως η μέγιστη συχνότητα που δύναται να αναπαρασταθεί είναι:

$$F_{\max} = F/2 = 0.0714 \text{ Hz,}$$

Η βασική συχνότητα (fundamental frequency) παρουσίασε ασήμαντες διακυμάνσεις, μεταξύ των διαφόρων επαναλήψεων, αλλά και των υλικών, μ' αποτέλεσμα, το φάσμα των αρμονικών παρουσιάστηκε, σχεδόν, σταθερό. Επίσης, παρατηρώντας το διάγραμμα 11.25 διαπιστώνεται ότι η βασική συχνότητα ήταν περίπου 0,0092 Hz, υποδεικνύοντας έτσι μία βασική περιοδική συνιστώσα με κύκλο διάρκειας 1,8 min. Ένα τέτοιο μεγάλο περιοδικό στοιχείο στο χρόνο μπορεί επίσης να παρατηρηθεί στο διάγραμμα 11.24, σ' όλα τα υλικά.

Παρά την ομοιότητα, στην ύπαρξη αυτού του περιοδικού στοιχείου σ' όλα τα υλικά, το ακουστικό φάσμα για όλα τα υλικά παρουσίασε μεγάλη ποικιλία, δεικνύοντας έτσι, την διαφορετικότητα, στην καύση του κάθε υλικού, όπως ευδιάκριτα διαπιστώνεται και στο διάγραμμα 11.25. Ειδικότερα, η καύση του βαμβακερού υφάσματος και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης παρουσίασαν κυρίως περιττές αρμονικές, ενώ η αντίστοιχη καύση του ξύλου δρυς παρουσίασε όλες τις αρμονικές μέχρι και το 7^ο βαθμό, με το ίδιο σχεδόν εύρος. Επομένως δύναται να ειπωθεί ότι, η καύση του ξύλου δρυς παρουσίασε μία μη-συμμετρική δομή στο ακουστικό της σήμα, που έτσι υποδεικνύει, ένα ακανόνιστο μοτίβο της εξέλιξης στο χρόνο, της διαδικασίας καύσης, όπως φαίνεται στο γράφημα του διαγράμματος 11.24(γ).

Απεναντίας, η καύση τόσο του βαμβακερού υφάσματος όσο και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης παρουσίασαν και οι δύο, μία συμμετρικότητα, στην οποία κυριαρχούσαν οι μονές αρμονικές, αποκαλύπτοντας έτσι, ένα πιο κανονικό και περιοδικό μοτίβο της διαδικασίας καύσης αυτών των υλικών, όπως φαίνεται στα γραφήματα 11.24 (α) & (β). Επιπρόσθετα, με τις περιττές αρμονικές, το ακουστικό φάσμα της καύσης, τόσο του βαμβακερού υφάσματος όσο και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης, διατήρησε την 4^η αρμονική, υποδεικνύοντας έτσι, κατά κάποιο τρόπο, μία μη-συμμετρική συμπεριφορά του ακουστικού μοτίβου. Η διαφορά τώρα, ανάμεσα στα δύο αυτά υλικά, εντοπίστηκε στο εύρος των περιττών αρμονικών. Ενώ το ακουστικό φάσμα της καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης παρουσίασε μία φθίνουσα εξέλιξη, μεταξύ των διαδοχικών αρμονικών, ενδεικτικό μίας ομαλής διαδικασίας καύσης. Απεναντίας, το αντίστοιχο ακουστικό φάσμα της καύσης του βαμβακερού υφάσματος παρουσίασε μία σημαντική αύξηση στην 7^η αρμονική, γεγονός που αντιστοιχεί σε υψηλότερες συχνότητες, προκαλούμενες από ταχύτερες ακουστικές διακυμάνσεις της ακουστικής καταγραφής.

Συνοπτικά λοιπόν, δύναται να ειπωθεί ότι, το ακουστικό σήμα της καύσης του ξύλου δρυς διατήρησε όλες τις αρμονικές με το ίδιο σχεδόν εύρος. Το αντίστοιχο ακουστικό σήμα της καύσης του βαμβακερού υφάσματος παρουσίασε μόνο τις περιττές αρμονικές και από τις άρτιες, μόνο την 4^η. Καθώς, το σήμα αυτό, επέδειξε μία τάση των αρμονικών με φθίνον εύρος μέχρι την 5^η αρμονική, ενώ σημαντική αύξηση παρουσίασε στην 7^η αρμονική, σε επίπεδο μάλιστα ανάλογο της 1^{ης}

αρμονικής. Τελικά, το ακουστικό σήμα της καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης παρουσίασε τις περιττές αρμονικές, με φθίνουσα τάση του εύρους.

Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μοναδικά χαρακτηριστικά ταυτοποίησης της ακουστικής υπογραφής της καύσης των εν λόγω υλικών. Επιπλέον, όπως έχει ήδη αναφερθεί και προηγουμένως, η ακριβής σχέση των αρμονικών στο συχνοτικό περιεχόμενο του ακουστικού σήματος από την καύση αυτών των υλικών μπορεί να υπολογιστεί αλλά και να επιβεβαιωθεί αξιόπιστα με βάση ένα ικανοποιητικό αριθμό από επαναλήψεις του ίδιου πειράματος.

11.9. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Συνοπτικά λοιπόν, μπορεί να ειπωθεί ότι, τα υλικά που μελετήθηκαν, στην σειρά αυτή των πειραμάτων, παρουσίασαν διαφορετική συμπεριφορά κατά την καύση τους. Επιπλέον, εάν τα υλικά αυτά κατανεμηθούν με βάση την χρονική διάρκεια της καύσης με φλόγα, τότε συνάγεται ότι, η καύση του ξύλου παρουσίασε την μεγαλύτερη, χρονικά, καύση με φλόγα, με την καύση του βαμβακερού υφάσματος να έπεται, σε χρονική διάρκεια της καύσης, με την παρουσία της φλόγας. Ενώ, η μικρότερη χρονικά καύση με φλόγα ήταν αυτή του λευκού χαρτιού εκτύπωσης.

Μία αντίστοιχη κατάταξη των υλικών αυτών, με βάση την χρονική διάρκεια της υποβόσκουσας καύσης, δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί. Ο λόγος είναι απλός, καθότι κάτι τέτοιο δεν δύναται να αξιολογηθεί στα πλαίσια του πειραματικού χρόνου.

Ως αφορά στην απόδοση του αναλυτικού οργάνου PSS-MS, διαπιστώθηκε και σ' αυτήν την σειρά των πειραμάτων, όπως και στην προηγούμενη, ότι ο χρόνος απόκρισης του οργάνου, στο φαινόμενο της καύσης δύναται να συγκριθεί με τους αντίστοιχους χρόνους απόκρισης των χημικών αισθητήρων του αναλυτή καυσαερίων.

Επίσης, η ανάλυση του PSS-MS ανέδειξε σημαντικές διαφορές στο χημικό προφίλ της καύσης των υπόψη υλικών. Πιο συγκεκριμένα, η m/z 57 (που αποδίδεται στους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες) ήταν η ουσία με την μεγαλύτερη έκλυση στην διάρκεια της καύσης του βαμβακερού υφάσματος. Οι m/z 78 (που αποδίδεται στο βενζόλιο) και m/z 91 (που αποδίδεται στο τολουόλιο), κατά σειρά, ακολούθησαν την έκλυση της m/z 57 στη καύση του βαμβακερού υφάσματος. Απεναντίας στην καύση του λευκού χαρτιού εκτύπωσης η m/z 78 ήταν η ουσία με την μεγαλύτερη έκλυση, ενώ η m/z 57 και η m/z 91 ακολούθησαν. Επίσης στην καύση του ξύλου δρυς η m/z 57 ήταν η ουσία με την μεγαλύτερη έκλυση.

Επιπρόσθετα δύναται να αναφερθεί ότι το χημικό προφίλ που παρέχει το TIC, προερχόμενο από την ανάλυση το PSS-MS, υποδηλώνει κατά κάποιο τρόπο την ένταση της διαδικασίας καύσης. Το μέγιστο στην καμπύλη του TIC στον χρόνο της καύσης του βαμβακερού υφάσματος και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης, υποδηλώνει κατά κάποιο τρόπο, την μετάβαση από το στάδιο της καύσης με φλόγα στην υποβόσκουσα καύση. Το συμπέρασμα αυτό δεν έχει εφαρμογή στην περίπτωση της καύσης του ξύλου δρυς. Πιο συγκεκριμένα, η καύση του βαμβακερού υφάσματος και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης παρουσίασαν ομοιότητες στο χημικό προφίλ τους, ενώ το χημικό προφίλ του ξύλου δρυς είναι διαφορετικό.

Η χημική ανάλυση από τους αισθητήρες του αναλυτή καυσαερίων MRU Delta 1600V παρείχε σημαντικές πληροφορίες που αφορούν στην εξέλιξη της διαδικασίας καύσης για τα υπόψη υλικά. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του O_2 παρουσίασε ελάχιστο ενώ οι συγκεντρώσεις του CO_2 και του NO καθώς και η θερμοκρασία των καυσαερίων παρουσίασαν μέγιστο την χρονική στιγμή που η φλόγα είχε το μέγιστο ύψος και ένταση. Απεναντίας, οι συγκεντρώσεις του CO και του C_3H_8 παρουσίασαν μέγιστο την χρονική στιγμή που η φλόγα έπαυε να υπάρχει. Υπό το πρίσμα αυτής της

χημικής ανάλυσης, του αναλυτή καυσαερίων, οι καύσεις και των τριών αυτών υλικών παρουσίασαν την ίδια εξέλιξη και συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρώντας τα αποτελέσματα από την χημική ανάλυση, του αναλυτή καυσαερίων, γίνεται αντιληπτό ότι η συγκέντρωση του O_2 , CO_2 και του NO , καθώς και της θερμοκρασίας των καυσαερίων ουσιαστικά ακολούθησαν μία χρονική εξέλιξη που αντιστοιχεί στην ένταση της καύσης. Δηλαδή, οι μεταβολές ήταν μεγάλες και έντονες κατά την διάρκεια της καύσης της φλόγας, ανταποκρινόμενα τα μεγέθη αυτά με παρόμοιο τρόπο στην μεταβολή της φλόγας. Ενώ, στην υποβόσκουσα καύση τα μεγέθη αυτά μεταβλήθηκαν με αργό ρυθμό, όπως και η ένταση της καύσης, μέχρι την σταθεροποίηση τους, που συνέβη με την παύση και της υποβόσκουσας καύσης.

Η παρακολούθηση του μέσου όρου του γκρι στο frame επιλογής, επίσης, έδωσε σημαντικές πληροφορίες που αφορούν στην χρονική εξέλιξη της διαδικασίας καύσης των υπόψη υλικών. Ειδικότερα, ο μέσος όρος του γκρι, στο frame επιλογής, παρουσίασε ευαισθησία, στην παρουσία και την ένταση της φλόγας, στην έκλυση του λευκού καπνού και στην ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας που εκπέμπονταν από τα εξανθρακώματα του κάθε υλικού. Τα χαρακτηριστικά αυτά, μπορούν να αποτελέσουν ενδείξεις του σταδίου που βρίσκεται, η καύση σε σχέση με την χρονική εξέλιξη της. Περαιτέρω διερεύνηση πιθανότατα να προσδώσει σημαντικές προοπτικές για την ανίχνευση πυρκαγιάς μέσω της βίντεο παρακολούθησης.

Με την παρακολούθηση της έντασης του R , στην χρονική εξέλιξη της διαδικασίας καύσης των υπόψη υλικών, διαπιστώθηκε ότι, αυτή παρουσιάζει ευαισθησία μόνο στην παρουσία της φλόγας. Επομένως, συνδυάζοντας την παρακολούθηση του μέσου όρου του γκρι και της έντασης του R , δύναται να εντοπιστεί η χρονική διάρκεια της φάσης της καύσης με φλόγα, καθώς και το χρονικό σημείο μετάβασης της καύσης με φλόγα στη υποβόσκουσα καύση.

Περαιτέρω διερεύνηση αυτών των συμπερασμάτων για την οπτική παρακολούθηση της καύσης, πιθανότατα να προσδώσει σημαντικές προοπτικές για την ανίχνευση πυρκαγιάς μέσω της βίντεο παρακολούθησης.

Όσον αφορά στην ακουστική επεξεργασία, διαπιστώθηκε από τα αρχικά ακουστικά φασματογραφήματα, ότι, σημαντική ακουστική δραστηριότητα παρουσιάστηκε στη συχνοτική περιοχή $0 - 160$ Hz, κατά την διάρκεια των πειραμάτων καύσης όλων των υλικών. Επίσης, στα ίδια τα φασματογραφήματα παρατηρήθηκε ότι, η επίδραση του θορύβου, από το background, ήταν πολύ σημαντική στις συχνότητες από 160 Hz έως 200 Hz. Από την ακουστική επεξεργασία των καταγραφών των πειραμάτων καύσης, όλων των υλικών και πιο συγκεκριμένα, η παρακολούθηση στο χρόνο της συνολικής ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή $0 - 160$ Hz, με smoothing 5^{15} τάξεως διαπιστώθηκε ότι, κάθε υλικό παρουσίασε το δικό του ακουστικό προφίλ. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι, στα ακουστικά αυτά σήματα, η αποκάλυψη της κρίσιμης πληροφορίας, που σχετίζεται με την εξέλιξη της διαδικασίας καύσης, σ' όλα τα υλικά, παρεμποδίζεται από άλλες ακουστικές περιοδικές μεταβολές. Για το λόγο αυτό, τα ακουστικά αυτά σήματα, αναλύθηκαν στις αρμονικές τους στο συχνοτικό πεδίο και όχι στο αντίστοιχο χρονικό, κάνοντας χρήση της Fourier transform.

Κάνοντας μία σύγκριση των κανονικοποιημένων σημάτων, όπως φαίνονται στα διαγράμματα 11.7, 11.13 και 11.19 και πιο συγκεκριμένα του μέσου όρου της έντασης του γκρι στο frame επιλογής, της ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή $0 - 160$ Hz, με smoothing 5^{15} τάξεως και το TIC από την ανάλυση PSS-MS σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, από τα πειράματα καύσης όλων των υλικών, διαπιστώνεται ότι, τα προφίλ του TIC και του μέσου όρου της έντασης του γκρι ακολουθούν, σχεδόν, το ίδιο εξελικτικό μοτίβο στο χρόνο. Σ' αντίθεση μ' αυτά, τα

ακουστικά σήματα, απ' όλα τα υλικά δεν δύνανται να χαρακτηριστούν σε σχέση με την εξέλιξη τους στο χρόνο.

Για το λόγο αυτό, ο σκοπός της διαδικασίας μοντελοποίησης ήταν να εντοπίσει και να χαρακτηρίσει κύριες ιδιότητες της καύσης του κάθε υλικού, έτσι ώστε, να ταξινομηθούν με βάση το καύσιμο υλικό. Η διαδικασία της εύρεσης και του χαρακτηρισμού των ιδιοτήτων της καύσης απαιτείται να πραγματοποιείται από έναν έμπειρο αναλυτή, ο οποίος, θα δύναται να διερευνήσει τις στατιστικές ιδιότητες της καύσης, των υπό εξέταση υλικών και την κατανομή των χαρακτηριστικών τους. Κατόπιν, ο αναλυτής αυτός θα δύναται να ταυτοποιήσει τα χαρακτηριστικά μοτίβα της καύσης του κάθε υλικού. Τα χαρακτηριστικά, τα οποία δύνανται να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό, είναι οι παράμετροι μοντελοποίησης από τα μοντέλα των χημικών και οπτικών υπογραφών, όπως αυτά έχουν περιγραφεί στις παρούσες παραγράφους 11.7.1. και 11.7.2., καθώς επίσης και το εύρος των αρμονικών από τα αντίστοιχα ακουστικά σήματα, όπως έχει αναφερθεί στην παρούσα παράγραφο 11.7.3. Επομένως, το σύνολο των χαρακτηριστικών αυτών περιλαμβάνει, 6 παραμέτρους από το χημικό μοντέλο, 6 παραμέτρους από το οπτικό μοντέλο και άλλες 7 παραμέτρους από το ακουστικό μοντέλο (εύρος αρμονικών). Η αποτελεσματικότητα, μίας τέτοιας προσέγγισης, για την μοντελοποίηση της καύσης των υπόψη υλικών, χρήζει περαιτέρω αξιόπιστης επιβεβαίωσης μέσα από την επεξεργασία ενός αξιόπιστου πλήθους των επαναλήψεων των πειραμάτων καύσης, των υπόψη υλικών. Αυτό βέβαια, αποτελεί μία πρόταση για περαιτέρω ερευνητική δραστηριότητα σ' αυτό το πεδίο. Όμως, τα μέχρι τώρα αποτελέσματα, που ουσιαστικά αποτελούν μία πρώτη διερεύνηση είναι θετικά και ενθαρρυντικά, καθώς η κατανομή αυτών των χαρακτηριστικών είναι διαφορετική για κάθε υλικό, παρέχοντας έτσι την δυνατότητα να ταξινομηθούν αλλά και να ταυτοποιηθούν οι καύσεις διάφορων υλικών.

11.10. Συμπεράσματα

Στη σειρά αυτή των πειραμάτων η καύση τριών κοινών υλικών (βαμβακερό ύφασμα, λευκό χαρτί εκτύπωσης και αποξηραμένο ξύλο δρυς) μελετήθηκε κάτω από ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Η καύση των υλικών αυτών ήταν ελεύθερη, χωρίς την ύπαρξη τεχνητού αερισμού και έλαβε χώρα, πάνω σε κεκλιμένο έλασμα, με κλίση 30° ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Επίσης, η αφή της φλόγας πραγματοποιήθηκε από εξωτερική πηγή και η φλόγα είχε κατεύθυνση από την βάση του κεκλιμένου ελάσματος προς την ανυψωμένη πλευρά του.

Στην εργασία αυτή, έγινε προσπάθεια ώστε, η φασματομετρία μάζας, ως χημική αναλυτική μέθοδος, να συνδυαστεί με την ακουστική και την οπτική ανάλυση στην παρακολούθηση και ανάλυση του φαινομένου της καύσης, των υπόψη υλικών, τόσο σε μοριακή όσο και σε μακροσκοπική κλίμακα. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε βελτιωμένη επεξεργασία των χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων που κατεγράφησαν στην διάρκεια των πειραμάτων καύσης αυτής της σειράς. Επιπρόσθετα, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην διερεύνηση μοναδικών χαρακτηριστικών της καύσης του κάθε υλικού μέσω της διαδικασίας μοντελοποίησης και την προσαρμογή καμπύλης. Η διαδικασία αυτή, δύναται να επιτρέψει την ταυτοποίηση της καύσης του κάθε υλικού, με την χρήση των χρονικών μοντέλων και την προσαρμογή καμπύλης για τα οπτικά και τα χημικά σήματα. Ενώ για τον ίδιο σκοπό, στα ακουστικά σήματα χρησιμοποιήθηκε η φασματική ανάλυση συχνοτήτων προκειμένου να εντοπιστούν και να ποσοτικοποιηθούν οι αρμονικές που συνδέονται με την καύση του κάθε υλικού. Επίσης, η διαδικασία της μοντελοποίησης δύναται να

συνδράμει στην δημιουργία κατάλληλης βιβλιοθήκης σημάτων, μέσω της οποίας θα παρέχεται η δυνατότητα ταξινόμησης και ταυτοποίησης διαφόρων φαινομένων.

Η συνεργατική δράση των τριών αναλυτικών τεχνολογιών, συνεπικουρούμενη από τις βελτιωμένες τεχνικές της ανάλυσης σημάτων και μοντελοποίησης, αποδείχτηκε ότι, είναι αποτελεσματική στην μελέτη της συμπεριφοράς της καύσης διαφορετικών υλικών.

Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα της διερευνητικής αυτής εργασίας, αλλά και η περαιτέρω ανάπτυξη των θετικών προοπτικών που αναδείχθηκαν για την προτεινόμενη μέθοδο, που αφορούν στην έγκαιρη ανίχνευση και στην παρακολούθηση πυρκαγιών εσωτερικών χώρων, χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση προκειμένου να εξαχθούν ακόμη πιο ασφαλή συμπεράσματα.

Η περαιτέρω αυτή διερεύνηση ενδεχομένως να περιλαμβάνει, για τα ίδια υλικά περισσότερα πειράματα, καθώς επίσης και την μελέτη της καύσης και άλλων υλικών.

Βιβλιογραφία:

Aldushin A P, Bayliss A, Matkowsky B J, Is there a transition to flaming in reverse smolder waves?, *Combustion and Flame* 156 (2009) 2231–2251.

Babrauskas V, *Ignition Handbook*, Fire Science Publishers/Society of Fire Protection Engineers, Issaquah WA (2003).

Bidgood C M, Nolan P F, Warehouse fires in the UK involving solid Materials, *J. Loss Prev. Process Ind.* 8(1) (1995) 11-16.

Drysdale D, Fire Dynamics, *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, Wiley (2004) 869-892.

Drysdale D, *An Introduction to Fire Dynamics*, 2nd ed., John Wiley and Sons, New York (1999) 1.

Holborn P G, Nolan P F, Golt J, An analysis of fatal unintentional dwelling fires investigated by London Fire Brigade between 1996 and 2000, *Fire Saf. J.* 38 (2003) 1–42.

Holborn P G, Nolan P F, Golt J, An analysis of fire sizes, fire growth rates and times between events using data from fire investigations, *Fire Saf. J.* 39 (2004) 481–524.

Kim K-H, Pandey S K, Kabir E, Susaya J, Brown R J C, The modern paradox of unregulated cooking activities and indoor air quality, *J Hazard Mater* 195 (2011) 1–10.

Krasny J F, Parker W J, Babrauskas V, *Fire Behavior of Upholstered Furniture and Mattresses*, Noyes Publications (2001) 21-26.

Ryu C, Phan A N, Sharifi V N, Swithenbank J, Combustion of textile residues in a packed bed, *Experimental Thermal and Fluid Science* 31 (2007) 887–895.

Stankovic S B, Popovic D, Poparic G B, Thermal properties of textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibers, *Polymer Testing* 27 (2008) 41–48.

Ullmann's *Encyclopedia of industrial Chemistry, Paper and Pulp*, Wiley (2005) 137-144.

Ullmann's *Encyclopedia of industrial Chemistry, Wood*, Wiley (2005) 1-54.

White R H, Diitenberger M A, *Wood Products: Thermal Degradation and Fire* *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* (2008) 9712-9716.

World Health Organization, *Indoor air pollution and health*, Fact Sheet No 292, September 2011.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

ΠΕΙΡΑΜΑ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΟ ΑΝΟΙΧΤΟ ΠΕΔΙΟ

12.1. Εισαγωγή

Στον παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται το πείραμα ανοιχτού πεδίου, το οποίο αποτελεί τη συνέχεια εργαστηριακών δοκιμών που αφορούσαν στην μελέτη απόδοσης ενός τύπου εύκαμπτου σωλήνα πυρόσβεσης. Το πείραμα αυτό, στην ουσία αποτέλεσε την συνέχεια των εργαστηριακών δοκιμών, που πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το πρότυπο ISO 4642-1:2009 στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος FP7 “Fire Retardant Hoses Lines for Forestry Fire-Fighting Applications- FIRELI (No 222152)”.

Στην εν λόγω δοκιμή, ο εύκαμπτος αυτός πυροσβεστικός σωλήνας (μάνικα) ελέγχθηκε ως προς την αντοχή του στην θερμική καταπόνηση σε συνθήκες πεδίου που προσομοίαζαν με δασική πυρκαγιά, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.



Εικόνα 60: Δοκιμή εύκαμπτου πυροσβεστικού σωλήνα, σε συνθήκες πεδίου

12.2. Στόχος

Ο στόχος στο ανωτέρω πείραμα, μεταξύ άλλων, ήταν να συνδέσει τους σκοπούς της παρούσας διατριβής με το πείραμα αυτό.

Πιο συγκεκριμένα, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο, με τις ελεγχόμενες και σε μικρή κλίμακα φωτιές, μεταφέρθηκε στο ανοιχτό πεδίο. Επιπλέον, έγινε προσπάθεια να μελετηθεί η εν λόγω πυρκαγιά με βάση τη μεθοδολογία που αναφέρθηκε. Ακόμη, διερευνήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής της θερμογραφίας στους σκοπούς της παρούσας διατριβής.

Άρα λοιπόν, δύναται να ειπωθεί ότι ο σκοπός του παραπάνω πειράματος ήταν να αποτελέσει την αύξηση της κλίμακας των πειραμάτων καύσης, που είχαν διεξαχθεί

υπό εργαστηριακή κλίμακα, με την καταγραφή ήχου, χημικής ανάλυσης, βίντεο και θερμογραφικών φωτογραφιών.

12.3. Υλικά

Ως καύσιμο υλικό των πειραμάτων καύσης, χρησιμοποιήθηκε αποξηραμένη δασική ύλη, αντιπροσωπευτική της μεσογειακής χλωρίδας, βάρους περίπου 1000 kgf, προερχόμενη από κλαδέματα από το χώρο του ΕΜΠ. Η δασική αυτή ύλη είχε ξεραθεί σε κατάλληλο για το σκοπό αυτό θερμοκήπιο του ΕΜΠ, όπου η θερμοκρασία υπερέβαινε για αρκετές ώρες της ημέρας τους 40 °C και η σχετική υγρασία του χώρου ήταν λιγότερο από 15%.

Η διάταξη κλίνης αυτής της δασικής ύλης είχε μήκος 10 m, πλάτος 1 m, κλίση περίπου 10% για τα πρώτα 5 m της κλίνης και στη συνέχεια μείωση της κλίσης μέχρι μηδενισμού της, ως φαίνεται στην Εικόνα 60.

Ο προσανατολισμός της κλίνης αυτής ήταν ΝΔ (νότιο-δυτικός) και επιλέχθηκε έτσι με βάση την μετεωρολογική πρόβλεψη της ημέρας διεξαγωγής του πειράματος.

12.4. Εξοπλισμός και χρήση του στο πεδίο

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα πλήθος συσκευών και οργάνων, ως παρακάτω:

α. Ένα θερμοστοιχείο, τύπου K με ειδικό μεταλλικό αισθητήρα θερμοκρασιακού εύρους 0 - 1000° C, χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας της φλόγας, ο αισθητήρας του οποίου τοποθετήθηκε στο κέντρο της κλίνης.

β. Εύκαμπτος, υπό δοκιμή, πυροσβεστικός σωλήνας FIRELI:

1) Τοποθετήθηκε πάνω στην κλίση (στο κέντρο μαζί με το θερμοστοιχείο), συνδεδεμένος με ένα πυροσβεστικό όχημα και υπό πίεση και με το ακροσωλήνιο στη θέση κλειστό.

2) Το ανέπαφο μέρος του σωλήνα από το προηγούμενο πείραμα τοποθετήθηκε εκ νέου πάνω στην καίόμενη κλίση, χωρίς να είναι υπό πίεση και ήταν κενός από το νερό.

γ. Ένα ψηφιακό χρονόμετρο χρησιμοποιήθηκε για την καταμέτρηση του χρόνου που απαιτήθηκε, από τη χρονική στιγμή που το μέτωπο της φωτιάς έφτασε τον πυροσβεστικό σωλήνα, μέχρι την χρονική στιγμή που χρειάστηκε για να υποστεί θερμοκή αλλοίωση ο υπόψη σωλήνας και να διαρραγεί.

δ. Μία φορητή θερμογραφική κάμερα, τύπου FLIR T360 χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή του θερμοκρασιακού προφίλ του μετώπου της φλόγας κατά τη διάρκεια της καύσης.

ε. Για την καταγραφή και απόκτηση αναλογικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Pinneacle video transfer. Πρόκειται για μια συσκευή που έχει τη δυνατότητα καταγραφής σε φορητό αποθηκευτικό μέσο με σύνδεση USB αναλογικών σημάτων από διάφορες πηγές όπως DVD player, Video recorder, Video camera κλπ. Η καταγραφή γίνεται με τη χρήση video compression format υψηλής ανάλυσης H.264, δηλαδή το MPEG-4 format. Στην περίπτωση αυτή συνδέθηκε με την φορητή

θερμογραφική κάμερα, τύπου FLIR T360, για την ανάκτηση του θερμογραφικού βίντεο της εν λόγω κάμερας

στ. Μία κάμερα βίντεο, τύπου GANZ ZC-Y12 χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή όλου του πειράματος για την παρακολούθηση των διαφόρων σταδίων των οποίων διήλθε η καύση καθώς και για την εκτίμηση του μέγιστου και μέσου ύψους της φλόγας καθώς και την ταχύτητα με την οποία μετακινήθηκε το μέτωπο της φλόγας. Η κάμερα ήταν συνδεδεμένη με μία εξωτερική κάρτα TV USB card (crypto TV4all) που χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή του αναλογικού σήματος της κάμερας σε ψηφιακό. Το λογισμικό Honestech TVR2.5 χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή του βίντεο σε MPEG-1 format με ανάλυση 320x240 (8-bit) και frame rate 25 frames s⁻¹.

ζ. Ο αναλυτής καυσαερίων MRU Delta 1600V τοποθετήθηκε στο τέλος της κλίνης κατά τη φορά του καπνού.

η. Ο φορητός μετρητής QRAE PLUS, PGM-2000 χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση των συγκεντρώσεων H₂S, NH₃, O₂, LEL% και τοποθετήθηκε στο τέλος της κλίνης κατά τη φορά του καπνού.

θ. Για την ακουστική καταγραφή των ηχητικών σημάτων, προερχόμενων από την καύση της δασικής ύλης, χρησιμοποιήθηκε το πυκνωτικό μικρόφωνο AKG C 391 B και ο προενισχυτής του μικροφώνου AKG SE 300 B. Το μικρόφωνο ήταν συνδεδεμένο με την εξωτερική κάρτα ήχου M- AUDIO Fast Track Pro για την μετατροπή του αναλογικού σήματος του μικροφώνου σε ψηφιακό. Για την καταγραφή στο φορητό HY, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Audacity 1.2.6. Η καταγραφή του ήχου πραγματοποιήθηκε με 16 bit format και η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 22500 Hz. Το μικρόφωνο τοποθετήθηκε στο τέλος της κλίνης κατά τη φορά του καπνού.

ι. Ένα φορητός μετεωρολογικός σταθμός (Kestrel-4500 thermometer (Nielsen-Kellerman Co, Philadelphia, USA) χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης του πειράματος. Το όργανο αυτό είχε τοποθετηθεί στο τέλος της κλίνης κατά τη φορά του καπνού.

ια. Ένας φορητός ανιχνευτής CO/CO₂ (Anagas CD 98 Plus, Environmental Instruments) χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των συγκεντρώσεων περιμετρικά της κλίνης και σε αποστάσεις 10, 20, 30, 40 και 50 μ από το κέντρο της κλίνης.

ιβ. Ένας φορητός αναλυτής σωματιδίων PM_{2,5} (TSI DustTrak™ 8520 Aerosol Particulate Monitor, St Paul, MN, USA, linearity area: 0–100 mg/m³) χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των συγκεντρώσεων περιμετρικά της κλίνης και σε αποστάσεις 10, 20, 30, 40 και 50 μ από το κέντρο της κλίνης.

12.5. Πειραματικό Πρωτόκολλο

Σ' όλη την διάρκεια του πειραματικού σχεδιασμού, αλλά ακόμη περισσότερο στην διεξαγωγή του πειράματος αυτού είχε ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή οποιουδήποτε ατυχήματος και είχαν ληφθεί όλα τα μέτρα προστασίας των ερευνητών.

Όσον αφορά στην ατομική προστασία όλων των εμπλεκόμενων, είχε ληφθεί κάθε δυνατό προστατευτικό μέτρο για την προστασία της ασφάλειας και της υγείας τους. Πιο συγκεκριμένα, είχαν διανεμηθεί και χρησιμοποιηθεί απ' όλους τους εμπλεκόμενους, φιλτράσκειες και προστατευτικά γυαλιά. Επιπλέον, σαφείς οδηγίες εδόθησαν και έγιναν κατανοητές απ' όλους τους εμπλεκόμενους, για την σωματική τους προστασία αλλά και για την αποφυγή επέκτασης της φωτιάς στην παρακείμενη βλάστηση. Επιπλέον, δοκιμές και πειράματα (mock up experiments) είχαν προηγηθεί της εκτέλεσης του πειράματος, για την εξοικείωση όλων των εμπλεκόμενων με τους ρόλους και τις αρμοδιότητες τους και την πλήρη εφαρμογή των οδηγιών ασφαλείας, που είχαν εκδοθεί για την περίπτωση αυτή.

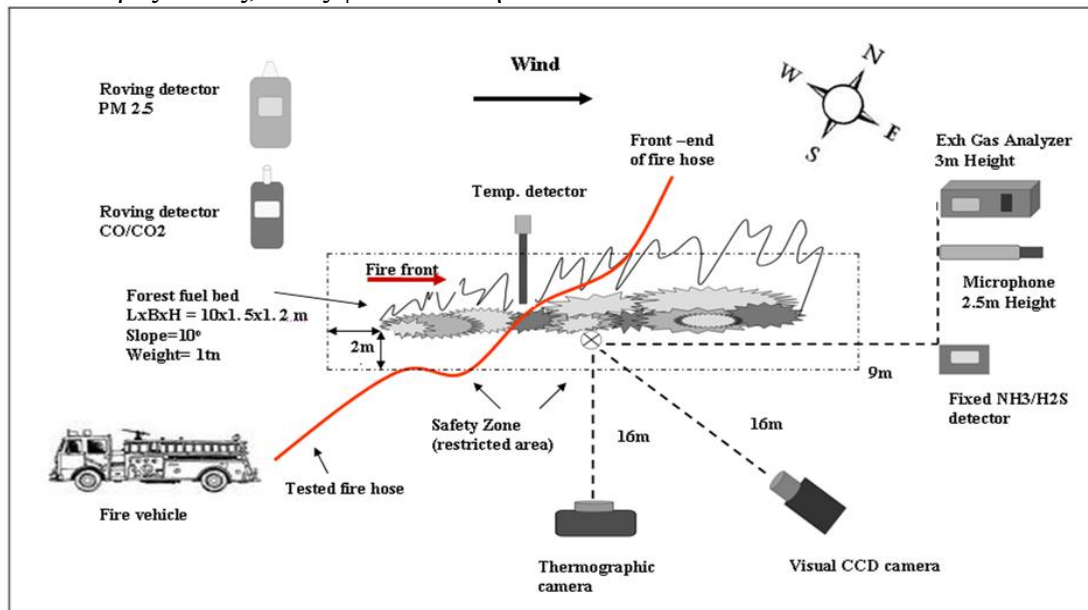
Επιπρόσθετα, καθόσον το CO θεωρείται ασφυξιογόνο και τα μικροσωματίδια ($PM_{2.5}$) θεωρούνται ερεθιστικά για τα μάτια και τον λαιμό (Statheropoulos και Karma 2007, Fowler 2003, Reinhardt και Ottmar 2004) πριν από την έναρξη του πειράματος και καθόλη την διάρκεια του πειράματος, πραγματοποιούνταν παρακολούθηση των συγκεντρώσεων τους προς έγκαιρο εντοπισμό τυχόν μεγάλων τιμών αυτών.

Ακόμη, δύο πυροσβεστικά οχήματα του ΕΜΠ, καθώς και ένα επιπλέον όχημα από τον 1^ο Πυροσβεστικό Σταθμό Αθηνών κατάλληλα στελεχωμένα βρίσκονταν στο χώρο διεξαγωγής του εν λόγω πειράματος.

Να σημειωθεί επίσης ότι, όταν απαιτήθηκε να ληφθούν κάποιες μετρήσεις, σχετικά κοντά στην κλίση, κατά τη διάρκεια του πειράματος καύσης, αυτό πραγματοποιήθηκε από το προσωπικό του πυροσβεστικού σώματος φέροντας τον κατάλληλο, για το σκοπό αυτό, προστατευτικό εξοπλισμό.

Το υπόψη πείραμα έλαβε χώρα στο ανοιχτό γήπεδο ποδοσφαίρου του ΕΜΠ την 23^η Απριλίου 2010. Κατά την διάρκεια διεξαγωγής του εν λόγω πειράματος, η μέση θερμοκρασία, υπό σκιά, ήταν 28^ο C και η σχετική υγρασία ήταν 19,5%. Η μέση ταχύτητα ανέμου ήταν 0,8 m/s, με διεύθυνση ανέμου ΝΔ.

Επίσης κατεβλήθη σημαντική προσπάθεια ώστε οι πειραματικές συνθήκες καύσης να προσομοιάζουν αυτές του πεδίου της δασικής φωτιάς. Έτσι, μία σταθερή ποσότητα και διάταξη των καύσιμων υλικών χρησιμοποιήθηκε και τα όργανα είχαν τοποθετηθεί σε σταθερές θέσεις, όπως φαίνεται στην εικόνα 61.



Εικόνα 61: Σκαριφηματική διάταξη από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο, της θέσης των αισθητήρων, της διεύθυνσης ανέμου, της διάταξη και των διαστάσεων της κλίσης του καύσιμου υλικού, καθώς και της θέσης του υπό δοκιμή πυροσβεστικού σωλήνα.

Η αφή της φλόγας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μίας χαλύβδινης κατασκευής. Ουσιαστικά, αυτή η κατασκευή ήταν μία σιδερογωνιά 3Χ3 cm με μήκος 80 cm με οριζόντια κατεύθυνση και το ανοιχτό μέρος στην άνω πλευρά. Η σιδερογωνιά αυτή είχε στηρίγματα ύψους 15 cm και είχε τοποθετηθεί, κατά μήκος, μία μικρή ποσότητα φαρμακευτικού βάμβακος εμποτισμένου με 1 L καθαρής αιθανόλης. Η αφή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός αναπτήρα.

Επισημαίνεται επίσης, ότι το πείραμα αυτό πραγματοποιήθηκε άπαξ καθόσον δεν υπήρχε η δυνατότητα επανάληψης. Ο μεγάλος προγραμματισμός και η εκτέλεση ενός τέτοιου πειράματος μεγάλης κλίμακας ήταν ιδιαίτερα κοστοβόρος από απόψεως απαιτήσεων σε ανθρώπινη προσπάθεια οικονομικών πόρων και εργαστηριακού εξοπλισμού. Επίσης, η εμπλοκή και ο συντονισμός τόσων φορέων στη διοργάνωση αυτού του πειράματος αλλά και οι υψηλές απαιτήσεις ασφάλειας που διέπουν μία τέτοια πειραματική δραστηριότητα συνετέλεσαν στην αποφυγή της επαναλήψεως του πειράματος.

12.6. Αποτελέσματα

Από τη χρονική στιγμή της αφής και μετά η φάση της καύσης με φλόγα διήρκησε περί τα 8,5 min. Ακολούθησε η φάση της υποβόσκουσας καύσης με διάρκεια περί τα 30 min. Το μέγιστο ύψος της φλόγας που σημειώθηκε ήταν περί τα 5 m και παρατηρήθηκε το χρονικό διάστημα 2,5 – 3 min, ως φαίνεται στην εικόνα 62.

Λόγω των ευνοϊκών συνθηκών που επικρατούσαν κατά την διάρκεια του πειράματος (ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία και υγρασία ατμόσφαιρας, αποξηραμένη καύσιμη δασική ύλη, διάταξη και αερισμός καύσιμου υλικού) η ανάφλεξη πραγματοποιήθηκε άμεσα και η φλόγα αναπτύχθηκε με μεγάλη ταχύτητα. Πιο συγκεκριμένα, μέχρι το χρόνο 2 min η φλόγα είχε επεκταθεί σ' όλο το μήκος της κλίνης. Μετά από τον χρόνο αυτό η ένταση της καύσης ήταν εξαιρετικά μεγάλη, ιδιαίτερα το χρονικό διάστημα 2,5 – 3 min. Στο χρόνο 3 min, το προσωπικό του πυροσβεστικού σώματος, για καθαρά λόγους πρόληψης ψέκασε με μία σύντομη ριπή νερού την κλίνη. Το ίδιο επαναλήφθηκε τον χρόνο 3,5 min. Ως αποτέλεσμα, η ένταση και το ύψος της φλόγας μειώθηκαν σημαντικά και μετά τον χρόνο αυτό η ένταση της καύσης είχε φθίνουσα πορεία. Στον χρόνο 8,5 min, το προσωπικό του πυροσβεστικού σώματος, με μία σύντομη ριπή νερού έσβησε την φλόγα. Μετά, η καύση συνεχίστηκε ως υποβόσκουσα.



(α)



(β)



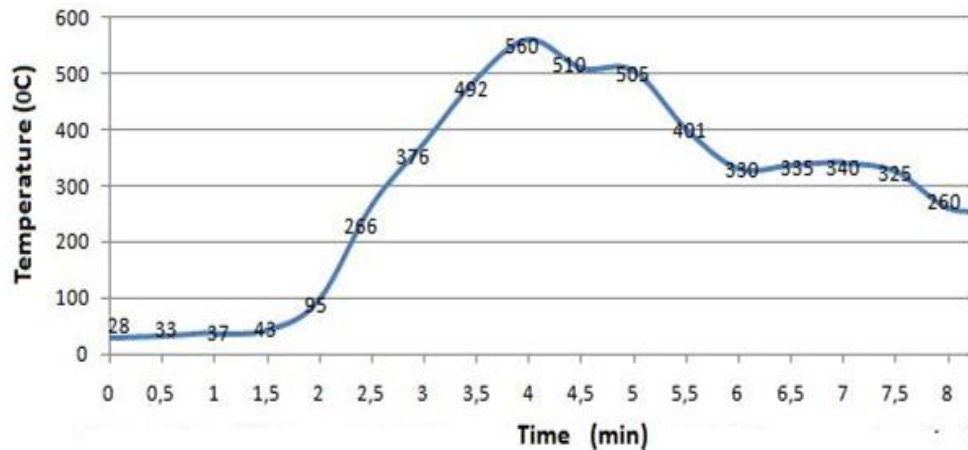
(γ)

Εικόνα 62: Χαρακτηριστικές φάσεις του πειράματος καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο: (α) προετοιμασία πριν από την αφή της φλόγας, (β) η καύση με φλόγα σε πλήρη εξέλιξη και (γ) η φάση της υποβόσκουσας καύσης.

Στη διάρκεια της φάσης της καύσης με φλόγα, σημαντική ήταν και η ύπαρξη μαύρου πυκνού καπνού, όπως φαίνεται στην εικόνα 62(β). Η ένταση έκλυσης του καπνού αυτού ήταν ανάλογη της έντασης και του ύψους της φλόγας.

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι μετά το χρόνο 4 min η διεύθυνση του ανέμου δεν ήταν σταθερή και παρουσίαζε συχνή διακύμανση.

Το παρακάτω διάγραμμα 12.1 παρουσιάζει την σημειακή μεταβολή της θερμοκρασίας στο μέσο της κλίνης κατά το διάμηκες σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο. Ο χρόνος 0 min αντιστοιχεί στην χρονική στιγμή αφής της φλόγας.



Διάγραμμα 12.1: Γραφική παράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας, σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο, μετρούμενη από το θερμοστοιχείο σε σημείο, που αντιστοιχεί στο μέσο της κλίνης κατά το διάμηκες από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.

12.6.1 Χημική Ανάλυση

Στο παρακάτω διάγραμμα 12.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης του πειράματος που ελήφθη από τον αναλυτή καυσαερίων. Ο εν λόγω αναλυτής είχε τοποθετηθεί στο πεδίο πλησίον της κλίνης, αλλά σε μία ασφαλή απόσταση. Το άκρο του σωλήνα αέριας δειγματοληψίας και το αισθητήριο του θερμοστοιχείου του αναλυτή καυσαερίων ήταν τοποθετημένα και στερεωμένα σε ύψος 3 m από το έδαφος. Επίσης, η θέση των αισθητηρίων αυτών επιλέχθηκε με βάση τη μέχρι τότε επικρατούσα διεύθυνση ανέμου. Η θέση και το ύψος των αισθητηρίων του αναλυτή καυσαερίων, επιλέχθηκε, έτσι ώστε οι μετρήσεις που ελήφθησαν να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικές των εκλύομενων καυσαερίων. Επίσης, να αναφερθεί ότι ο αναλυτής καυσαερίων είχε ρυθμιστεί, ώστε να αποθηκεύει κάθε 10 s, στην εσωτερική μνήμη του μία τιμή για κάθε παρακολουθούμενη συγκέντρωση. Η τιμή αυτή ήταν ο μέσος όρος των αναλύσεων που πραγματοποιούνταν κάθε 1 s.



(α)

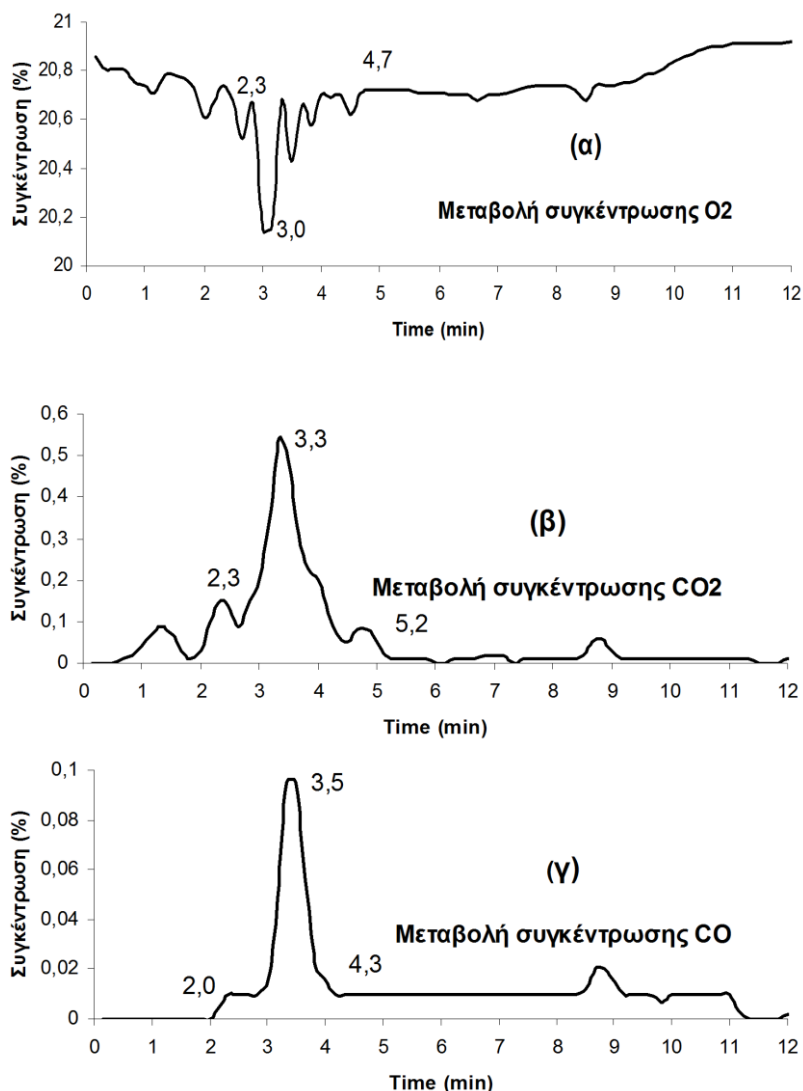


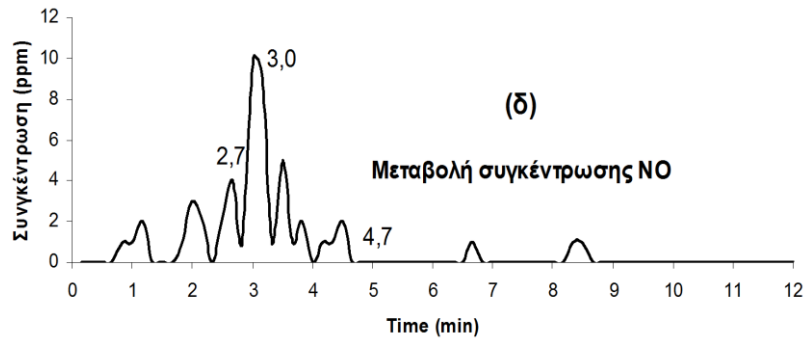
(β)

Εικόνα 63: (α) Ο αναλυτής καυσαερίων MRU Delta 1600V στο πεδίο και (β) το άκρο του σωλήνα αέριας δειγματοληψίας και το αισθητήριο του θερμοστοιχείου του αναλυτή καυσαερίων τοποθετημένα σε ύψος περίπου 3 m. Στην ίδια φωτογραφία εικονίζεται και το μικρόφωνο τοποθετημένο σε ύψος περίπου 2,5 m.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 12.2 διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση του O_2 , παρουσίασε ελάχιστο και του CO_2 , του CO και του NO παρουσίασαν μέγιστα περί τον χρόνο 3 min. Πιο συγκεκριμένα, αυτό δύναται να εξηγηθεί από την εξέλιξη της καύσης, που ήδη έχει αναφερθεί πιο πάνω, δηλαδή το χρονικό διάστημα 2,5 – 3 min η φλόγα παρουσίασε τη μέγιστη ένταση και ύψος. Οπότε συνεπακόλουθα, οι συγκεντρώσεις των παραπάνω αερίων παρουσίασαν μία ανάλογη εξέλιξη, λαμβανομένου υπόψη και την χρονική υστέρηση των αισθητήρων του αναλυτή καυσαερίων.

Επίσης, στο διάγραμμα 12.2 παρατηρείται ότι όλες οι συγκεντρώσεις των παραπάνω αερίων παρουσίασαν σταθεροποίηση σε χαμηλότερες τιμές. Αυτό δύναται να οφείλεται στο ότι η καύση μετά από το χρόνο 3,5 min είχε μειωθεί σημαντικά από τη ρίψη νερού που πραγματοποιήθηκε από το προσωπικό του πυροσβεστικού σώματος. Επίσης, η συνεχόμενη μεταβολή στη διεύθυνση του ανέμου, που παρατηρήθηκε μετά από τον χρόνο 4 min, πιθανόν να συνέτεινε στην αραίωση των συγκεντρώσεων από όπου ελάμβανε δείγματα ο αναλυτής καυσαερίων.





Διάγραμμα 12.2: Γραφική παράσταση μεταβολής της συγκέντρωσης από το πείραμα ανοιχτού πεδίου: (α) O₂, (β) CO₂, (γ) CO και (δ) NO

12.6.2. Ακουστική Ανάλυση

Στο παρακάτω διάγραμμα 12.3, παρουσιάζεται η ηχητική καταγραφή του πειράματος καύσης της δασικής ύλης στο πεδίο για όλη την διάρκεια του πειραματικού χρόνου. Στην καταγραφή αυτή δεν έχει γίνει κάποιου είδους επεξεργασία ή αφαίρεσης του θορύβου.

Το μικρόφωνο είχε τοποθετηθεί σε ύψος 2,5 m από το έδαφος, ήταν εστιασμένο προς το κέντρο της κλίνης και ήταν σε κοντινή αλλά ασφαλή απόσταση από την κλίνη, όπως φαίνεται στην εικόνα 64.

Παρατηρώντας αυτή την ηχητική καταγραφή, διαπιστώνεται ότι σημαντική ακουστική δραστηριότητα σημειώθηκε για αρκετά μεγάλα χρονικά διαστήματα στην διάρκεια του πειράματος. Πιο συγκεκριμένα, η πιο σημαντική ακουστική δραστηριότητα φαίνεται να σημειώθηκε το διάστημα 0 – 12 min, που ουσιαστικά αποτελεί και το πιο ενδιαφέρον διάστημα μελέτης για την παρούσα διατριβή. Στο διάστημα αυτό, υπήρξε η φάση της καύσης με φλόγα και σημαντική υποβόσκουσα καύση. Η παρέμβαση όμως, του προσωπικού του πυροσβεστικού σώματος με τις ρίψεις νερού, περιόρισε σημαντικά την υποβόσκουσα καύση μετά από το υπόψη χρονικό διάστημα. Επιπλέον, η σημαντική ακουστική δραστηριότητα, που σημειώθηκε το διάστημα 19 – 28 min οφείλεται κατά κύριο λόγο στην διαρροή νερού της διαρραγείσας υπό δοκιμή μάνικας. Επομένως, η μελέτη θα εστιαστεί στο διάστημα 0 – 12 min.



(α)

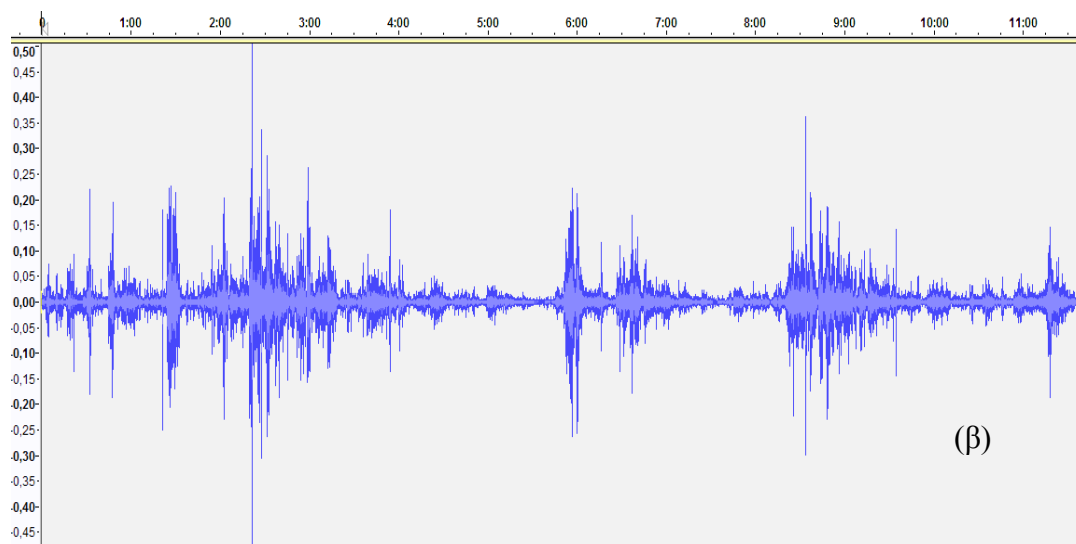
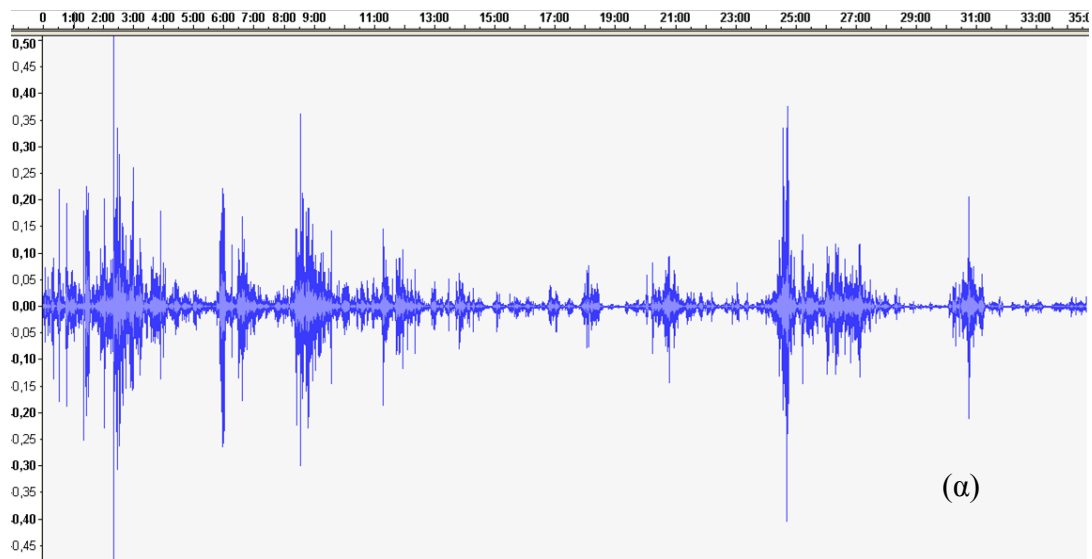


(β)

Εικόνα 64: (α) Ο φορητός ΗΥ συνδεδεμένος με την εξωτερική κάρτα ήχου στο πεδίο και (β) το μικρόφωνο τοποθετημένο σε ύψος περίπου 2,5 m συνδεδεμένο μέσω καλωδίου, μήκους 15

m, με την εξωτερική κάρτα ήχου. από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.

Επίσης, να αναφερθεί ότι στο ανωτέρω διάστημα η ηχητική αυτή καταγραφή ενσωματώνει ποικίλα ηχητικά σήματα προερχόμενα από μία ποικιλία πηγών. Παρά το γεγονός ότι το μικρόφωνο που χρησιμοποιήθηκε έχει μεγάλη κατευθυντικότητα και ήταν εστιασμένο στο κέντρο της κλίνης, η επίδραση και των άλλων ηχητικών πηγών πέραν της καύσης στην ηχητική καταγραφή χρήζει διερευνήσεως. Οι πηγές αυτές ήχου περιελάμβαναν πλήθος ομιλιών, σύντομες ρίψεις νερού υπό πίεση στην κλίνη, λειτουργία μηχανημάτων και βηματισμό.



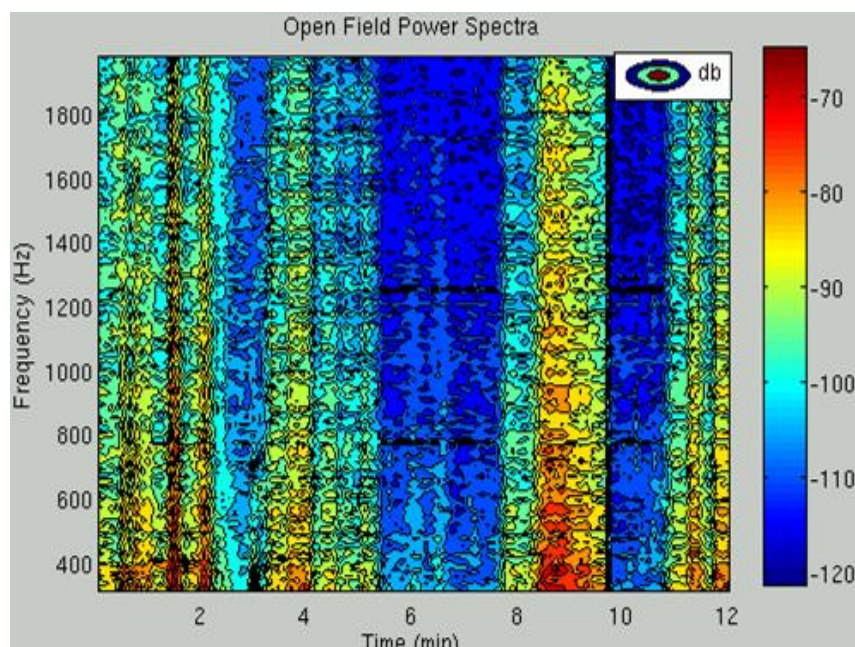
Διάγραμμα 12.3: Κυματομορφή της ηχητικής καταγραφής του πειράματος καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο για το χρονικό διάστημα: α) 0 – 35 min και β) 0 – 12 min

Εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο, που έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια της παρούσας διατριβής και έχει γίνει εκτενής αναφορά στα προηγούμενα κεφάλαια, προκύπτουν τα

φασματογραφήματα του Διαγράμματος 12.4 & 12.5. Τα τρισδιάστατα αυτά γραφήματα παρέχουν την κατανομή της ακουστικής ισχύος για το χρονικό διάστημα 0 – 12 min στο συχνοτικό φάσμα 300 – 2000 Hz και 0 – 300 Hz αντίστοιχα.

Συγκρίνοντας τα δύο γραφήματα στα διαγράμματα 12.3 και 12.4 & 12.5 διαπιστώνεται ότι, υπάρχει μία σαφής αντιστοιχία. Όντως, η συγκέντρωση ισχύος παρατηρείται στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα όπου υφίσταται σημαντική ακουστική δραστηριότητα. Δηλαδή, στο χρονικό διάστημα 0 – 3 min, υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση ακουστικής ισχύος και είναι το διάστημα στο οποίο η φλόγα αναπτύχθηκε ραγδαία σε ένταση, έκταση και ύψος. Το φαινόμενο αυτό είναι ακόμη πιο έντονο στο χρονικό διάστημα 2,5 – 3 min όπου εκεί, η φλόγα έλαβε τις μέγιστες διαστάσεις. Στο διάστημα 3 – 3,5 min παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της ακουστικής ισχύος, γεγονός που οφείλεται στην ρίψη νερού στην κλίνη. Λίγο πριν από το χρόνο 4 min η ακουστική ισχύς αυξάνεται, διότι η φλόγα αυξάνει πάλι σε διαστάσεις, σε μικρότερο βαθμό όμως. Μετά τον χρόνο αυτό και μέχρι τον χρόνο 8 min η φλόγα, σταδιακά, μειώθηκε με ανάλογη μείωση στην ακουστική ισχύ. Περί τον χρόνο 8,5 min η εκ νέου ρίψη νερού έσβησε την φλόγα και η καύση συνεχίστηκε ως υποβόσκουσα, με ένταση, καθώς στην κλίνη υπήρχε σημαντική ποσότητα από κάρβουνα, που έκαιγαν έντονα, καθόσον η ταχύτητα του ανέμου ήταν αρκετή ώστε το φαινόμενο να είναι σημαντικό. Επίσης, η ρίψη νερού που προκάλεσε ταχεία ψύξη των κάρβουνων και η επακόλουθη απότομη εξάτμιση του νερού, συνέτειναν στο να σημειωθεί σημαντική ακουστική δραστηριότητα, κάτι που παρατηρείται χαρακτηριστικά στα διαγράμματα 12.4 και 12.5.

Η αύξηση της ακουστικής ισχύος που παρατηρήθηκε στο διάστημα 11 – 12 min πιθανόν να οφείλεται στην ακουστική δραστηριότητα που παράχθηκε από το προσωπικό του πυροσβεστικού σώματος, καθόσον στο διάστημα αυτό κινήθηκαν και εκτέλεσαν εργασίες στην κλίνη.



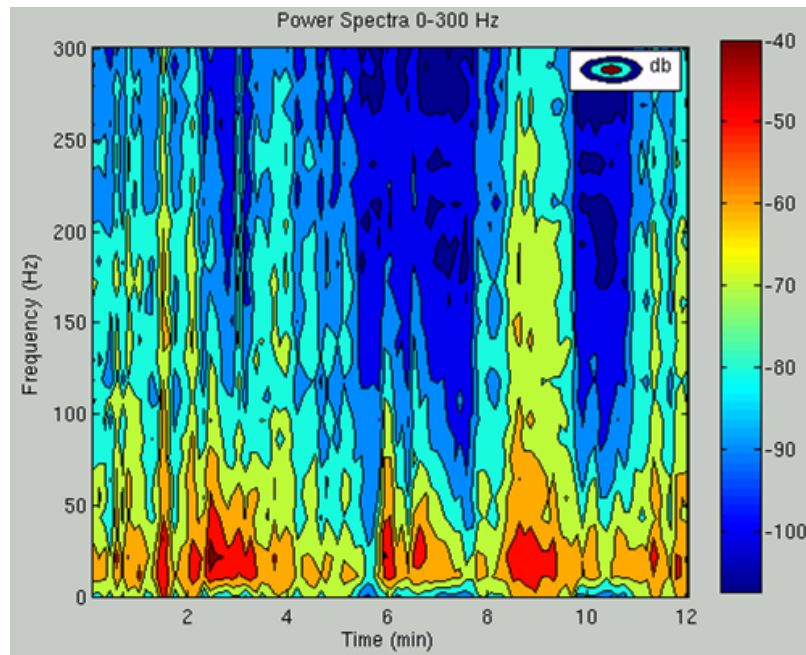
Διάγραμμα 12.4: Φασματογράφημα της ακουστικής ισχύος σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, στο διάστημα 0 – 12 min, και την ακουστική συχνότητα, για το φάσμα 300 – 2000 Hz από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.

Το φασματογράφημα του Διαγράμματος 12.4, δίδει γενικές πληροφορίες για την μεταβολή της ακουστικής ισχύος. Όμως περαιτέρω διερεύνηση απαιτείται προκειμένου να μελετηθεί η μεταβολή της ακουστικής ισχύος που οφείλεται μόνο στην καύση.

Παρατηρώντας το φασματογράφημα Διαγράμματος 12.5 διαπιστώνεται ότι υπάρχει μία αντιστοιχία με το Διάγραμμα 12.4 όσον αφορά στα χρονικά διαστήματα στα οποία υπάρχει σημαντική ακουστική δραστηριότητα. Όμως στην περίπτωση, αυτή του φασματογραφήματος του διαγράμματος 12.5 διαπιστώνεται ότι η ακουστική ισχύς είναι σημαντική κάτω από τα 100 Hz και ίσως ακόμη πιο κάτω. Επομένως, το ενδιαφέρον πλέον εστιάζεται στην ακουστική ισχύ που εμφανίζεται σε λιγότερο από 100 Hz. Επιπλέον, η ακουστική αυτή ισχύς που εμφανίζεται σε λιγότερο από 100 Hz είναι και αυτή που συνδέεται άμεσα με το φαινόμενο της καύσης. Η διαπίστωση αυτή ήταν αναμενόμενη καθόσον το καθαυτό φαινόμενο της καύσης συνδέεται με χαμηλές συχνότητες, όπως διαπιστώθηκε στην προηγούμενη σειρά πειραμάτων με την μελέτη της καύσης τριών διαφορετικών υλικών. Ενώ, ο θόρυβος στην ακουστική υπογραφή παράχθηκε από πηγές, όπως προαναφέρθηκε, που συνδέονται με υψηλότερες συχνότητες.

Μια προσεκτικότερη παρατήρηση στα διαγράμματα 12.4 και 12.5 αποκαλύπτει μία διαφορά μεταξύ τους. Αναλυτικότερα, στο χρονικό διάστημα 6 – 7 min στο διάγραμμα 12.4 δεν παρατηρείται κάποιο ενδιαφέρον ηχητικό συμβάν. Στην περίπτωση όμως του διαγράμματος 12.5 και για το ίδιο χρονικό διάστημα παρατηρήθηκε σημαντική συγκέντρωση ακουστικής ισχύος και μάλιστα σε χαμηλές συχνότητες μέχρι τα 50 Hz. Το ενδιαφέρον αυτό φαινόμενο δύναται να εξηγηθεί, διότι, τον χρόνο 6 min εισήχθη στο κέντρο της καιόμενης κλίνης ένα τμήμα από την υπό δοκιμή μάνικα. Το τμήμα αυτό της μάνικας αναφλέχθηκε σχεδόν άμεσα και άρχισε να καίγεται έντονα και χαρακτηριστικά. Μετά από τον χρόνο 7 min η ένταση της καύσης με φλόγα μειώθηκε σταδιακά.

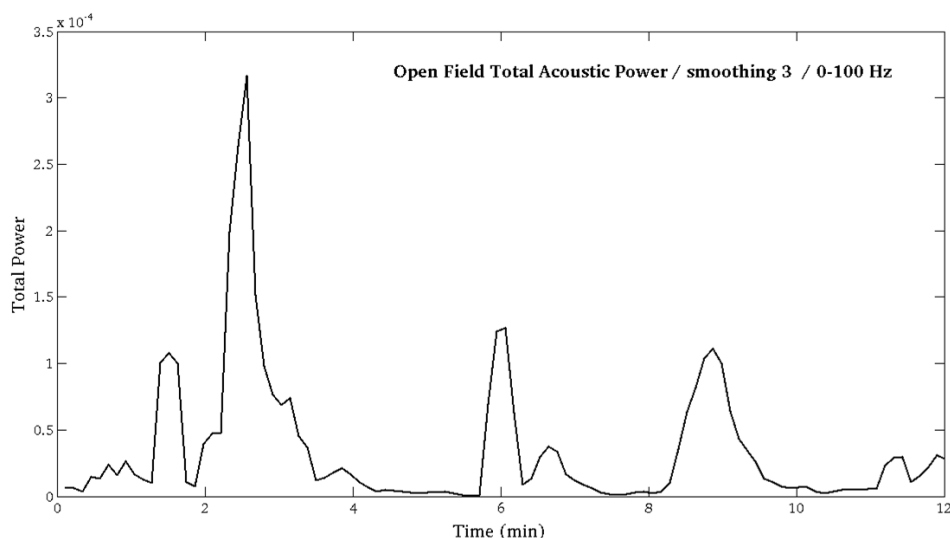
Επίσης, στην προηγούμενη σειρά πειραμάτων, της καύσης διαφορετικών υλικών, η συχνοτική περιοχή, όπου, η ακουστική ισχύς της καύσης ήταν σημαντική, ήταν το φάσμα 0 – 160 Hz. Όμως στην περίπτωση αυτή, του πειράματος στο ανοιχτό πεδίο, το φάσμα αυτό ήταν μικρότερο, δηλαδή 0 – 100 Hz, ή ακόμη λιγότερο. Αυτή η διαπίστωση δύναται να εξηγηθεί, καθόσον στο πείραμα αυτό, η κλίμακα της φωτιάς ήταν πολύ μεγαλύτερη, ενώ, στα προηγούμενα πειράματα, η κλίμακα της καύσης ήταν εργαστηριακή και μάλιστα πολύ μικρότερη. Η ακουστική δραστηριότητα της καύσης παράγει μεγαλύτερες συχνότητες όσο μικραίνει η καύση, μερικές δεκάδες ή και εκατοντάδες Hz ενώ, μεγαλύτερες φωτιές παράγουν μικρότερες συχνότητες, μέχρι και κλάσματα του Hz (Hamins et al 1992, Detriche και Lanore 1980).



Διάγραμμα 12.5: Φασματογράφημα της ακουστικής ισχύος σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, στο διάστημα 0 – 12 min, και την ακουστική συχνότητα, για το φάσμα 0 – 300 Hz από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.

Στο παρακάτω διάγραμμα 12.6 παρουσιάζεται η συνολική ακουστική ισχύς, για το χρονικό διάστημα 0 – 12 min, για το συχνοτικό φάσμα 0 – 100 Hz. Επιπλέον, για να αναδειχθούν τα μέγιστα στο γράφημα αυτό εφαρμόστηκε, μετά από δοκιμές, smoothing 3^{ης} τάξεως.

Γίνεται πλέον φανερό, με το διάγραμμα 12.6, ότι οι παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, αποσαφηνίζονται με το παρακάτω διάγραμμα 12.6. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε ότι στο χρονικό διάστημα 2 – 3 min, η συνολική ισχύς παρουσιάζει μεγάλες τιμές και ραγδαία αύξηση μέχρι τον χρόνο 3 min και αμέσως μετά απότομη μείωση. Επίσης, στο χρόνο 3,5 min παρατηρήθηκε μία αναβαθμίδα στην γραφική παράσταση και μετά απότομη μείωση. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στο διάστημα 2 – 3 min σημειώθηκε απότομη αύξηση της έντασης της καύσης και της φλόγας. Ενώ, στις χρονικές στιγμές 3 min και 3,5 min πραγματοποιήθηκαν οι σύντομες ρίψεις νερού στην καιόμενη κλίνη, μ' επακόλουθη πτώση της έντασης της φλόγας. Στο χρονικό διάστημα 6 - 7 min, που υπάρχει αύξηση της συνολικής ακουστικής ισχύος, αυτό οφείλεται στην έντονη καύση του τμήματος της υπό δοκιμή μάνικας που τοποθετήθηκε την καιόμενη κλίνη. Επίσης, η αύξηση της συνολικής ισχύος που παρατηρήθηκε το διάστημα 8,5 – 9,5 min οφείλεται στην έντονη υποβόσκουσα καύση που ακολούθησε την σβέση της φλόγας με ρίψη νερού.



Διάγραμμα 12.6: Γραφική παράσταση της μεταβολής της συνολικής ακουστικής ισχύος σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, στο διάστημα 0 – 12 min, για το συχνοτικό φάσμα 0 – 100 Hz από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.

12.6.3. Οπτική Ανάλυση

Στην εφαρμογή αυτή, του πειράματος του ανοιχτού πεδίου, στην οπτική ανάλυση πραγματοποιήθηκε μία διαφορετική προσέγγιση. Ειδικότερα, η οπτική ανάλυση βασίστηκε στην επεξεργασία του βίντεο που εξήχθη από την φορητή θερμογραφική κάμερα FLIR T360, μέσω της εξόδου AV και καταγράφηκε σε φορητό αποθηκευτικό μέσο (USB memory stick) από την συσκευή Pinneacle video transfer, όπως φαίνεται στην εικόνα 65. Να σημειωθεί εδώ ότι, η εν λόγω κάμερα διαθέτει υψηλή ανάλυση εικόνας 640 X 480.



Εικόνα 65: Η φορητή θερμογραφική κάμερα FLIR T360 τοποθετημένη πάνω σε τρίποδο και συνδεδεμένη με την συσκευή Pinneacle video transfer. Η συσκευή αυτή κατέγραψε σε φορητό αποθηκευτικό μέσο (USB memory stick) το βίντεο που εξήχθη από την φορητή θερμογραφική κάμερα, μέσω της εξόδου AV από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.

Στα πειράματα αυτά ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, με κάποια διαφοροποίηση, που αφορά στην οπτική ανάλυση στην προηγούμενη σειρά πειραμάτων, δηλαδή την δειγματοληψία στιγμιότυπων από κάθε πείραμα, επιλογή του κατάλληλου frame και η ανάλυση με βάση το μοντέλο RGB. Επιπλέον αυτών, κάθε frame μετατράπηκε σε gray image και υπολογίστηκε ο μέσος όρος της έντασης του γκρι (average gray intensity) και παραστάθηκε γραφικά σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο. Οι αναλύσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του λογισμικού Matlab του ClouFront του ΕΜΠ.

Στην περίπτωση αυτή πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία 144 στιγμιότυπων από το εξαχθέν βίντεο της θερμογραφικής κάμερας, με συχνότητα δειγματοληψίας τα 5 s. Δηλαδή η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε για τα 12 πρώτα λεπτά του πειράματος, όπως φαίνεται στην παρακάτω στην εικόνα 66.



Εικόνα 66: Στιγμιότυπα που εξήχθησαν από το βίντεο της θερμογραφικής κάμερας FLIR T360 κατά την διάρκεια καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο και που αντιστοιχούν σε διαφορετικές στιγμές του πειράματος: (α) στιγμιότυπο Νο 7 ($7 \times 5 = 35$ sec ή 0,58 min του πειραματικού χρόνου), (β) στιγμιότυπο Νο 20 ($20 \times 5 = 100$ sec ή 1,67 min του πειραματικού χρόνου) και (γ) στιγμιότυπο Νο 70 ($70 \times 5 = 350$ sec ή 5,83 min του πειραματικού χρόνου).

12.6.3.1. Εξοικείωση με τις θερμικές και θερμογραφικές κάμερες

Η χρησιμοποίηση της θερμογραφικής κάμερας στο πείραμα αυτό, ήταν η πρώτη πετυχημένη προσπάθεια χρήσης μίας τέτοιας συσκευής, στα πειράματα της παρούσης διατριβής.

Ήδη, είχαν προηγηθεί άλλες απόπειρες χρησιμοποίησης παρόμοιων συσκευών στα εργαστηριακά πειράματα καύσης. Ο σκοπός αυτών των προσπαθειών ήταν η εξοικείωση χρήσης αυτών των καμερών αλλά και η διερεύνηση εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας, στους σκοπούς της παρούσας διατριβής.

Αρχικά είχε χρησιμοποιηθεί η θερμική κάμερα ασφαλείας FLIR VSR-6 με το αντίστοιχο εξωτερικό καταγραφικό βίντεο, που χορηγήθηκε με δανεισμό από την εταιρεία Signal AE. Εδώ είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι, πέρα από την χορηγία του προαναφερόμενου εξοπλισμού το προσωπικό και η διεύθυνση της εταιρείας παρείχαν σημαντικό, από τον πολύτιμό τους, χρόνο και ανεκτίμητη τεχνογνωσία στις θερμικές και οπτικές κάμερες. Επίσης, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα της υπόψη διατριβής για τις οπτικές εφαρμογές (CCD κάμερα και παρελκόμενα) είναι δωρεά της εταιρίας για την ολοκλήρωση και εκπλήρωση των σκοπών της παρούσης διατριβής

Η κάμερα ασφαλείας FLIR VSR-6 παρείχε ασπρόμαυρο βίντεο μέτριας ανάλυσης και συνέβαλλε σημαντικά στην επαφή και εξοικείωση με την τεχνολογία που έφερε.

Κατόπιν χρησιμοποιήθηκε η φορητή θερμογραφική κάμερα FLIR P35 που χορηγήθηκε, με δανεισμό και για σύντομο χρονικό διάστημα, από το Πανεπιστήμιο

Θεσσαλίας. Επίσης και ο αναλυτής καυσαερίων MRU Delta 1600V ήταν χορηγία του ίδιου ιδρύματος, κατόπιν της συνδρομής του Επικούρου Καθηγητή Σ. Φουντά στους σκοπούς της παρούσης διατριβής.

Η θερμογραφική αυτή κάμερα ενσωμάτωνε υψηλή τεχνολογία από τον τομέα της θερμογραφίας με ικανότητα να ανιχνεύει και να καταγράφει θερμοκρασίες μέχρι και τους 1.000 °C, κατάλληλη και για πειράματα καύσης, πέραν των άλλων πολυάριθμων δυνατοτήτων που παρείχε. Για το λόγο αυτό η κάμερα αυτή είχε και συνεχίζει ακόμη να έχει υψηλό κόστος κτήσης. Παρά το σύντομο χρονικό διάστημα που βρίσκονταν στο ΕΜΠ συνέβαλλε σημαντικά στην εξοικείωση και την κατανόηση των βασικών αρχών της θερμογραφίας, όχι μόνο από τον υπογράφοτα αλλά και από τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας FIACTU.

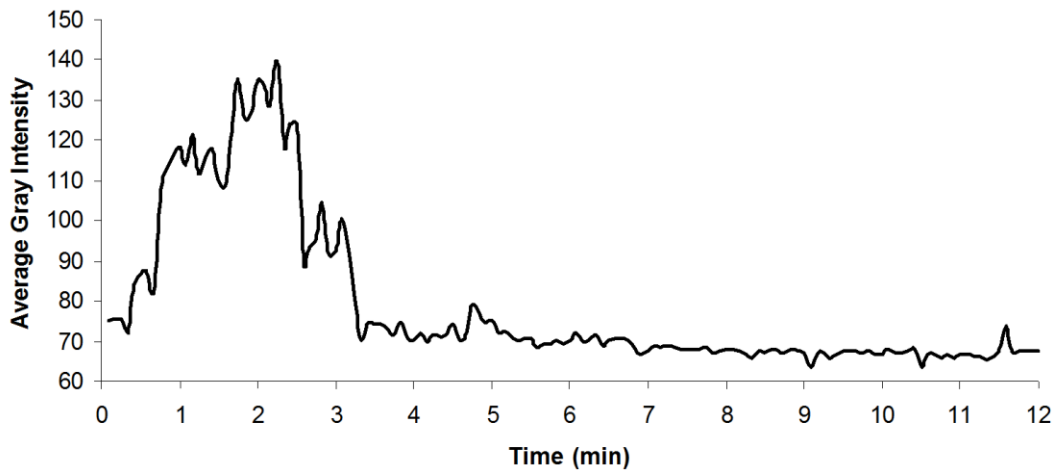
Τελικά, στα πειράματα του ανοιχτού πεδίου χρησιμοποιήθηκε η φορητή θερμογραφική κάμερα FLIR T360. Η κάμερα αυτή χορηγήθηκε με μακροπρόθεσμο δανεισμό, για την ενίσχυση των σκοπών της παρούσας διατριβής, από το Κέντρο Ελέγχου Ειδικών Λοιμώξεων και Πρόληψης Νοσημάτων, το γνωστό σ' όλους ΚΕΕΛ/ΠΙΝΟ του Υπουργείου Υγείας. Η κάμερα αυτή αποκτήθηκε χάριν στην πρωτοβουλία και την υποστήριξη του τότε προέδρου του ΚΕΕΛ/ΠΙΝΟ Ομότιμου Καθηγητού ΕΚΠΑ Γ. Σαρόγλου. Η κάμερα αυτή, παρότι ενσωματώνει λιγότερες δυνατότητες από την FLIR P35, που προαναφέρθηκε, εντούτοις το μέγεθος της, η φορητότητα της και οι δυνατότητες χρήσης πεδίου που διαθέτει την κάνουν ιδανική, για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής.

Η εμπειρία που αποκτήθηκε, με τις προαναφερόμενες κάμερες, συνέβαλλε στην δημιουργία της πεποίθησης ότι η υιοθέτηση και χρήση της θερμογραφίας παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον για τους σκοπούς της υπόψη διατριβής.

12.6.3.2. Εξέταση της Μεταβολής του Average Gray Intensity και του R

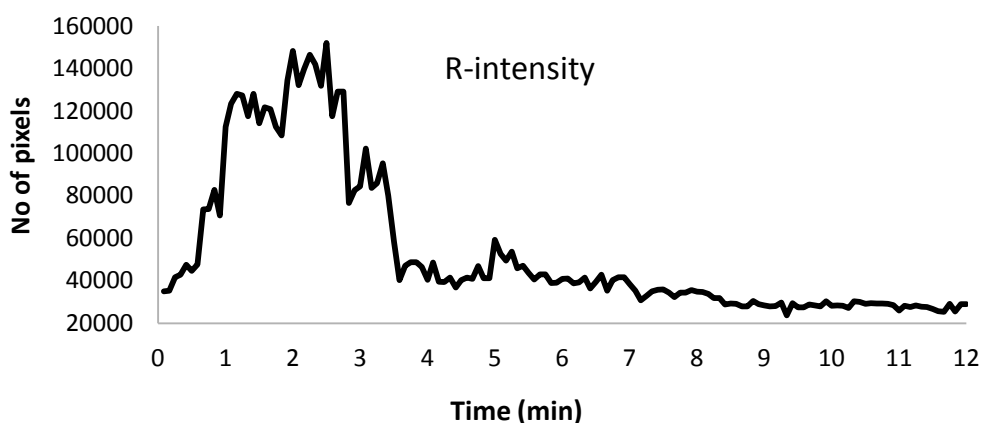
Στο παρακάτω διάγραμμα 12.7 εμφανίζονται τα αποτελέσματα, από την οπτική ανάλυση των πειραμάτων καύσης της δασικής ύλης, στο ανοιχτό πεδίο και πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται, η μεταβολή του μέσου όρου του γκρι, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 12.7 διαπιστώνεται ότι, παρέχονται σημαντικές ενδείξεις της παρουσίας φλόγας και καπνού. Για το χρονικό διάστημα 0 – 3,5 min παρατηρήθηκαν οι μέγιστες τιμές του μέσου όρου του γκρι. Πιο συγκεκριμένα με την έναρξη του φαινομένου αμέσως σημειώθηκε και αύξηση στις τιμές του μέσου όρου του γκρι και αυτό συνεχίστηκε μέχρι λίγο πριν τον χρόνο 3 min. Στον χρόνο αυτό υπενθυμίζεται ότι, πραγματοποιήθηκε η πρώτη ρίψη νερού από το προσωπικό του πυροσβεστικού σώματος. Για το λόγο αυτό, στο διάστημα 3 – 3,5 min παρατηρήθηκε ραγδαία μείωση του μέσου όρου του γκρι. Επίσης στο ίδιο διάστημα παρατηρήθηκε μία αναβαθμίδα στο διάγραμμα 12.7, που δύναται να εξηγηθεί από το γεγονός ότι, μετά την πρώτη ρίψη νερού και την απότομη μείωση της έντασης της φλόγας, η φλόγα άρχισε να αναζωπυρώνει και να ανακτά μέγεθος και ένταση. Στο σημείο αυτό πραγματοποιήθηκε και η δεύτερη ρίψη νερού, μ' αποτέλεσμα η φλόγα να μειωθεί πλέον σημαντικά. Η χρονική αυτή εξέλιξη της φλόγας αντανακλάται με παρόμοιο τρόπο στο διάγραμμα 12.7. Μετά από τον χρόνο 3,5 min οι τιμές του μέσου όρου του γκρι φθίνουν σταδιακά.

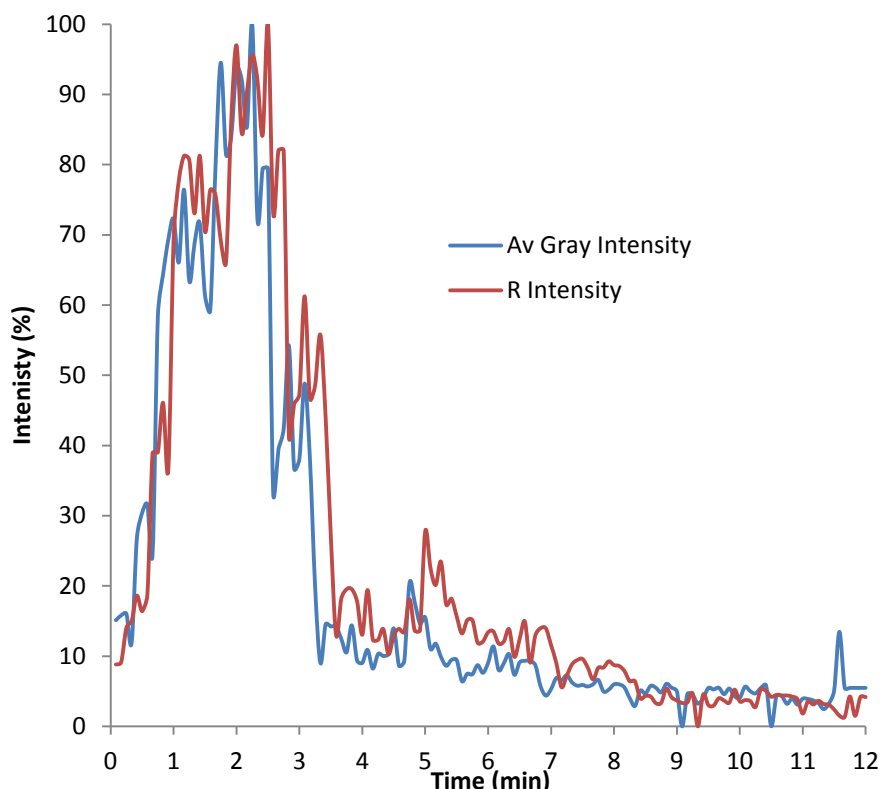


Διάγραμμα 12.7: Γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης, για το frame που περικλείεται από τις στήλες 35 - 604 και τις γραμμές 42-441

Στο παρακάτω διάγραμμα 12.8 παρουσιάζεται η μεταβολή της έντασης του R, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο. Με τον όρο ένταση του R, εννοείται η μεταβολή του αριθμού των pixels από στιγμιότυπο σε στιγμιότυπο που είχαν τιμές $R > 230$. Παρατηρώντας το διάγραμμα αυτό, διαπιστώνεται ότι, παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με το παραπάνω διάγραμμα 12.7, δηλαδή ο μέσος όρος του γκρι μεταβλήθηκε, με παρόμοιο τρόπο με την ένταση του R. Αυτή η διαπίστωση είναι ακόμη πιο εμφανής στο παρακάτω διάγραμμα 12.9. Επίσης, στο ίδιο διάγραμμα παρατηρείται ότι, ενώ η μεταβολή της έντασης του R μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο όπως ο μέσος όρος του γκρι, όμως η μεταβολή εμφανίζεται να παρουσιάζει μία μικρή χρονική υστέρηση σε σχέση με την μεταβολή του μέσου όρου του γκρι.



Διάγραμμα 12.8: Γραφική παράσταση της έντασης του R σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο, για το frame που περικλείεται από τις στήλες 35 - 604 και τις γραμμές 42-441



Διάγραμμα 12.9: Γραφική παράσταση του μέσου όρου του γκρι και της έντασης του R σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο, για το frame που περιλαμβάνεται από τις στήλες 35 - 604 και τις γραμμές 42-441

12.7. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Το πείραμα του ανοιχτού πεδίου αποτέλεσε μία πραγματική πρόκληση για την υπόψη διατριβή. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο, για να μελετηθεί η καύση διαφόρων υλικών κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, μεταφέρθηκε στο ανοιχτό πεδίο για τη μελέτη μίας μεγάλης κλίμακας φωτιάς. Οι διαφορές ανάμεσα στα πειράματα στο εργαστήριο και αυτό του ανοιχτού πεδίου ήταν πολλές, ενώ οι ομοιότητες ελάχιστες. Παρόλα αυτά, καταβλήθηκε σημαντική προσπάθεια για την υλοποίηση των καταγραφών και των αναλύσεων που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους του παρόντος κεφαλαίου. Παρά τις εμφανείς δυσκολίες και αντιξοότητες, οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα αυτού του πειράματος είναι ιδιαίτερος σημαντικά για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής.

Η χημική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τον αναλυτή καυσαερίων και όχι με το όργανο PSS-MS. Το PSS-MS είναι ένα εργαστηριακό όργανο και η μεταφορά του στο ανοιχτό πεδίο, προς το παρόν, δεν είναι εφικτή. Η χημική ανάλυση συνάντησε αρκετές δυσκολίες και το μεγαλύτερο ζήτημα ήταν, το κατά πόσο αντιπροσωπευτική ήταν η δειγματοληψία του οργάνου των συγκεντρώσεων των εκλυόμενων αερίων. Το όργανο αυτό είναι ένας σημειακός ανιχνευτής και η θέση δειγματοληψίας ήταν σταθερή κατά τη διάρκεια του πειράματος, όπου για λόγους προστασίας είχε τοποθετηθεί προς την υπήνεμη πλευρά της κλίνης σε ύψος περί τα 3 m, σε μία ασφαλή απόσταση. Όμως η διακύμανση, έστω και μικρή, της διεύθυνσης του ανέμου κατά την διάρκεια του πειράματος δημιούργησε το εύλογο παραπάνω ερώτημα.

Όμως, το χημικό προφίλ στο χρόνο, που παρουσιάζεται στο διάγραμμα 12.2, είναι αντιπροσωπευτικό της εξέλιξης της φωτιάς. Πιο συγκεκριμένα, η συγκεντρωση του O_2 , παρουσίασε ελάχιστο, ενώ οι συγκεντρώσεις του CO_2 , του CO και του NO παρουσίασαν μέγιστα περί το χρόνο 3 min, καθώς στο χρονικό διάστημα 2,5 – 3 min η φλόγα παρουσίασε την μέγιστη ένταση και ύψος. Οπότε και το προφίλ αυτών των συγκεντρώσεων παρουσίασαν μία ανάλογη εξέλιξη. Μετά από το χρονικό αυτό διάστημα, όλες οι συγκεντρώσεις των παραπάνω αερίων παρουσίασαν σταθεροποίηση σε χαμηλότερες τιμές (υψηλότερες για το O_2), σε αντιστοιχία με την εξέλιξη της καύσης.

Όσον αφορά στην ακουστική ανάλυση, οι αντιξοότητες που υπήρξαν ήταν αρκετές με κυριότερες την έλλειψη καταγραφής του background, δηλαδή την ακουστική καταγραφή λίγο πριν την αφή της φλόγας, καθώς και τη παρουσία μίας μεγάλης ποικιλίας μεταβαλλόμενων ακουστικών φαινομένων. Όμως η επεξεργασία των ακουστικών καταγραφών δεν φαίνεται να επηρεάστηκε από αυτές τις δυσκολίες. Πιο συγκεκριμένα, οι παρατηρήσεις που σημειώθηκαν για το διάγραμμα 12.5 ήταν σημαντικές για να προκύψει το διάγραμμα 12.6, διαπιστώθηκε, δηλαδή ότι η ακουστική δραστηριότητα που οφείλεται στην καύση ήταν συγκεντρωμένη στην συχνοτική περιοχή 0 – 100 Hz. Επιπλέον, η μεταβολή στην ακουστική δραστηριότητα στην περιοχή αυτή αντιστοιχούσε πλήρως στην μεταβολή της καύσης για το ίδιο υπό εξέταση χρονικό διάστημα. Επομένως, με βάση αυτά τα συμπεράσματα προέκυψε το διάγραμμα 12.6 το οποίο παρουσιάζει την μεταβολή της συνολικής ακουστικής ισχύος στο χρόνο, που καταγράφηκε στην συχνοτική περιοχή 0 – 100 Hz και για το διάστημα 0 – 12 min. Εν κατακλείδι, το ακουστικό προφίλ, που παρουσιάζεται στο διάγραμμα 12.6, φαίνεται να έχει σημαντική αντιστοιχία με την μακροσκοπική παρατήρηση της καύσης στο ίδιο χρονικό διάστημα και μάλιστα χωρίς χρονική υστέρηση.

Όσον αφορά στην οπτική ανάλυση και στην περίπτωση αυτή υπήρξαν αντιξοότητες. Πιο συγκεκριμένα, στον αρχικό σχεδιασμό του πειράματος υπήρχε η πρόβλεψη η οπτική καταγραφή να πραγματοποιηθεί με δύο κάμερες, η μία ήταν η οπτικού φάσματος CCD κάμερα και η άλλη η θερμογραφική κάμερα. Όμως, λόγω τεχνικού κωλύματος με την CCD κάμερα, η καταγραφή πραγματοποιήθηκε μόνο με την θερμογραφική. Οπότε, επειδή δεν υπήρξε επανάληψη του πειράματος δεν κατέστη δυνατή η καταγραφή του πειράματος με την CCD κάμερα. Αυτή η τεχνική δυσκολία ήταν κι' αυτή μέρος των ρεαλιστικών συνθηκών του πεδίου κάτι που στο εργαστήριο θα αντιμετωπιζόταν με ευκολία. Πέρα απ' αυτό, η καταγραφή βίντεο με θερμογραφική κάμερα πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά, με επιτυχία, στην παρούσα εργασία, όπου είχε σαν αποτέλεσμα ένα θερμογραφικό βίντεο, υψηλής ανάλυσης 640X480, με ακριβή αντιστοίχιση χρωμάτων και θερμοκρασιών. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά αποτελούν και τα μεγάλα πλεονεκτήματα που παρέχει το θερμογραφικό βίντεο, δηλαδή υψηλή ανάλυση και ακριβή αντιστοίχιση χρωμάτων με θερμοκρασίες. Η συγκεκριμένη κάμερα είχε ρυθμιστεί από τον υπογράφοντα ώστε οι υψηλότερες θερμοκρασίες να παρουσιάζονται με λευκό και οι αμέσως χαμηλότερες θερμοκρασίες να παρουσιάζονται με κόκκινο.

Να σημειωθεί η κάμερα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα αυτό έχει ικανότητα να μετρά θερμοκρασίες μέχρι τους $350^\circ C$. Υπάρχει η δυνατότητα επίσης η συγκεκριμένη κάμερα να αναβαθμιστεί ώστε να μετρά μέχρι τους $1200^\circ C$, δυνατότητα που την κάνει ιδανική για την παρατήρηση της καύσης. Όμως επειδή η κάμερα ανήκει στο Υπ. Υγείας και κατά δεύτερο λόγο, η αναβάθμιση στοίχιζε την εποχή που διεξήχθη το πείραμα περί τα 1500 ευρώ, αποφασίστηκε να μην πραγματοποιηθεί η εν λόγω αναβάθμιση. Όμως παρόλα αυτά, η τεχνική που

εφαρμόστηκε, δηλαδή η εξαγωγή του βίντεο και η εν συνεχεία επεξεργασία του, καθιστά μη απαραίτητη την αναβάθμιση της εν λόγω κάμερας για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής. Η επεξεργασία του βίντεο που εφαρμόστηκε ήταν αρκετή, ώστε να δώσει τις χρήσιμες πληροφορίες, σχετικά με την εξέλιξη και την ένταση του φαινομένου της καύσης της δασικής ύλης.

Ειδικότερα, παρατηρώντας το διάγραμμα 12.9, όπου παρουσιάζονται η μεταβολή του μέσου όρου του γκρι και της έντασης του R, στο χρόνο, διαπιστώνεται ότι και τα δύο αυτά μεγέθη παρακολούθησαν την εξέλιξη και την ένταση της καύσης με αρκετή ακρίβεια και χωρίς χρονική υστέρηση. Ακόμη, στο ίδιο διάγραμμα διαπιστώνεται ότι, υπάρχει σημαντική αντιστοίχιση στα δύο αυτά μεγέθη, σχεδόν ταύτιση. Αυτό σημαίνει ότι και τα δύο αυτά μεγέθη παρακολουθούν την εξέλιξη και την ένταση της καύσης με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Η διαπίστωση αυτή είναι σημαντική, καθώς στις προηγούμενες σειρές πειραμάτων, διαπιστώθηκε ότι ο μέσος όρος του γκρι ήταν το μέγεθος που παρουσίαζε ευαισθησία τόσο στην παρουσία της φλόγας και στην λάμψη των εξανθρακωμάτων στην υποβόσκουσα καύση όσο και στην παρουσία του καπνού. Ενώ η ένταση του R στα ίδια πειράματα παρουσίασε ευαισθησία μόνο στην παρουσία της φλόγας. Επομένως διαπιστώνεται ότι, η θερμογραφική κάμερα, με την κατάλληλη ρύθμιση της παλέτας των χρωμάτων μπορεί να δώσει θερμογραφικό βίντεο, όπου ο μέσος όρος του γκρι και η ένταση του R να έχουν την ίδια ακριβώς ευαισθησία.

Το παραπάνω συμπέρασμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς ανοίγει ένα νέο ορίζοντα δοκιμών για την χρήση της θερμογραφικής κάμερας στην μελέτη της καύσης στο πεδίο. Δηλαδή, η επιλογή της παλέτας χρωμάτων δύναται να ρυθμίσει την ευαισθησία των μεγεθών R, G και B στα διάφορα χαρακτηριστικά της φωτιάς και της καύσης. Όμως, αυτή η διαπίστωση απαιτεί την πραγματοποίηση δοκιμών, προκειμένου, να διευκρινιστεί το κατά πόσο αυτή η διαπίστωση ευσταθεί και αν ναι τότε θα πρέπει να διευκρινισθούν με σαφήνεια, η σχέση της επιλογής της παλέτας των χρωμάτων και η ευαισθησία των μεγεθών R, G και B στα διάφορα χαρακτηριστικά της φωτιάς και της καύσης.

Κάνοντας μια συνολική σύγκριση, στα αποτελέσματα της χημικής, ακουστικής και οπτικής ανάλυσης, δύναται να ειπωθεί ότι και οι τρεις αυτές αναλύσεις παρακολούθησαν το φαινόμενο με ακρίβεια, με την ακουστική και την οπτική ανάλυση να μην παρουσίασαν χρονική υστέρηση στην παρακολούθηση του φαινομένου, ενώ η χημική ανάλυση παρουσίασε μία μικρή, σχετικά, χρονική υστέρηση. Εκείνο όμως, που προκαλεί εντύπωση ήταν η ευαισθησία που εμφάνισε στις αλλαγές και στην ένταση του φαινομένου η ακουστική ανάλυση. Πράγματι, το χρονικό διάστημα 0 – 3,5 min και οι τρεις αναλύσεις παρουσίασαν το ίδιο προφίλ στα διαγράμματα 12.2, 12.6 και 12.9, όπου αντιστοιχούν στην χημική, ακουστική και οπτική ανάλυση. Μετά τον χρόνο 3,5 min τόσο η χημική ανάλυση όσο και η οπτική ανάλυση δεν παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές στο προαναφερόμενο προφίλ τους. Σ' αντίθεση, το ακουστικό προφίλ στο διάγραμμα 12.6 παρουσίασε δύο σημαντικές μεταβολές. Πιο συγκεκριμένα, στο χρονικό διάστημα 6 - 7 min, σημειώθηκε αύξηση της συνολικής ακουστικής ισχύος, κι' αυτό οφείλεται στην έντονη καύση του τμήματος της υπό δοκιμή μάνικας που τοποθετήθηκε την καιόμενη κλίνη. Επίσης, στο ίδιο διάγραμμα, παρατηρείται αύξηση της συνολικής ισχύος στο διάστημα 8,5 – 9,5 min, που οφείλεται στην έντονη υποβόσκουσα καύση που ακολούθησε την σβέση της φλόγας με ρίψη νερού.

Συνεπώς διαπιστώνεται ότι, η ακουστική ανάλυση αποκρίθηκε με μεγάλη ευαισθησία σε δύο συμβάντα, όπου η αντίστοιχη χημική και οπτική ανάλυση δεν αποκρίθηκαν καθόλου για τα προαναφερόμενα χρονικά διαστήματα ενδιαφέροντος.

12.8. Συμπεράσματα

Στο πείραμα αυτό, πραγματοποιήθηκε καύση δασικής ύλης, ποσότητας 1000 kg, σ' ανοιχτό πεδίο. Επίσης, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε, στις προηγούμενες σειρές πειραμάτων στο εργαστήριο, για την μελέτη ελεγχόμενων και εργαστηριακής κλίμακας καύσεων διαφόρων υλικών, μεταφέρθηκε στο ανοιχτό πεδίο για την μελέτη της καύσης μεγάλης κλίμακας της δασικής ύλης που αναφέρθηκε παραπάνω.

Από τη μελέτη αυτής της καύσης συνάγεται ότι και οι τρεις αναλύσεις, δηλαδή η χημική, ακουστική και οπτική ανάλυση, δύνανται να παρακολουθήσουν το φαινόμενο με ακρίβεια, ευαισθησία και χωρίς ή με μικρή χρονική υστέρηση.

Η χημική ανάλυση, παρότι πραγματοποιήθηκε με την χρήση του αναλυτή καυσαερίων και όχι με το PSS-MS, παρακολούθησε το φαινόμενο με ακρίβεια και μικρή χρονική υστέρηση. Παρουσίασε όμως περιορισμούς, οι οποίοι οφείλονται στο ότι ο χημικός αισθητήρας είναι σημειακός ανιχνευτής, γεγονός που θέτει τη χημική ανάλυση σε εξάρτηση από τους μετεωρολογικούς παράγοντες στο ανοιχτό πεδίο. Συνεπώς, η χημική ανάλυση χρήζει σημαντικής περαιτέρω διερεύνησης προκειμένου να μειωθούν οι περιορισμοί της και να ενισχυθεί η δυναμική αναλυτική δυνατότητα που παρουσιάζει.

Η ακουστική ανάλυση παρουσίασε σημαντική ευαισθησία στην εκδήλωση συμβάντων, ενώ οι άλλες δύο αναλύσεις δεν σημείωσαν καμία μεταβολή στο προφίλ τους τα χρονικά διαστήματα στα οποία εκδηλώθηκαν τα συμβάντα αυτά. Συνεπώς, με τον τρόπο αυτό διαπιστώθηκε η αναλυτική δυναμική που παρουσιάζει η ακουστική ανάλυση και η οποία χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Η χρήση της θερμογραφίας στην μελέτη της καύσης παρουσίασε σημαντικό ενδιαφέρον και προοπτικές περαιτέρω ανάπτυξης. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη και η ανάλυση του θερμογραφικού βίντεο έδειξε ότι δύναται να ακολουθήσει την εξέλιξη του φαινομένου στο χρόνο, μέσω των μεγεθών του μέσου όρου του γκρι και της έντασης του R. Επίσης, αναδείχθηκε η ανάγκη περαιτέρω δοκιμών της θερμογραφικής κάμερας για την μελέτη της καύσης προκειμένου να προσδιοριστούν οι δυνατότητες που παρουσιάζει η τεχνολογία αυτή.

Η μεταφορά στο πεδίο της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο παρουσίασε αντιξοότητες που ο αποτελεσματικός σχεδιασμός αδυνατεί να προβλέψει. Επομένως, η μελέτη στο πεδίο προϋποθέτει εμπειρία και σημαντική προετοιμασία. Η προετοιμασία, πέραν των ειδικών συνθηκών σε κάθε πείραμα, οφείλει να αξιοποιεί τα διδάγματα και τις εμπειρίες από προηγούμενες μελέτες. Δηλαδή, αυτό συνεπάγεται μία οργάνωση με εστίαση στην εργασία στο πεδίο αλλά και την ανάπτυξη μίας κουλτούρας πεδίου, προκειμένου, να αξιοποιηθούν στο έπακρο η επένδυση των πόρων καθώς και οι ευκαιρίες και οι δυνατότητες της εργασίας στο πεδίο.

Βιβλιογραφία:

Detriche P, Lanore J C, An acoustic study of pulsation characteristics of fires, *Fire Technology* 16:3 (1980) 204-211.

Hamins A, Yang J C, Kashiwagi T, An experimental investigation of the pulsation frequency of flames, *Symposium (International) on Combustion* 24:1 (1992) 1695-1702.

Fowler C T, Human health impacts of forest fires in the southern United States: a literature review. *J Ecol Anthropol* 7 (2003) 39–59.

Reinhardt T E, Ottmar R D, Baseline measurements of smoke exposure among wildland fire-fighters, *J Occup Environ Hyg* 1 (2004) 593–606

Statheropoulos M, Karma S, Complexity and origin of the smoke components as measured near the flame-front of a real forest fire incident: A case study, *J Anal Appl Pyrolysis* 78 (2007) 430-437.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

13.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διατριβή εφαρμόστηκε η χημική ανάλυση πεδίου, τόσο με την φασματομετρία μάζας, όσο και με την χρήση χημικών αισθητήρων, σε συνδυασμό με την οπτική και ακουστική ανάλυση. Ειδικότερα, το πρωτότυπο όργανο PSS-MS, καθώς και ο χημικός αναλυτής καυσαερίων MRU Delta 1600V, χρησιμοποιήθηκαν μαζί με οπτικό και ακουστικό αισθητήρα για την παρακολούθηση και ανάλυση του φαινομένου της καύσης, στο εργαστήριο.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας η οποία θα ενσωματώνει το PSS-MS και την τεχνολογία ανάλυσης ήχου και εικόνας προκειμένου να είναι εφικτή η ολοκληρωμένη παρακολούθηση, τόσο σε μοριακό όσο και μακροσκοπικό επίπεδο, του φαινομένου της καύσης στο εργαστήριο, σε ελεγχόμενες προσομοιωμένες συνθήκες πεδίου. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε προσπάθεια μεταφοράς της προαναφερθείσας μεθοδολογίας στο πεδίο, κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος καύσης της δασικής ύλης και της δοκιμής του εύκαμπτου πυροσβεστικού σωλήνα.

Επίσης, η μεθοδολογία αυτή περιλαμβάνει, πέρα από τις αισθητήριες τεχνολογίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, αλλά και τις τεχνικές εκείνες που επιτρέπουν την αποτελεσματική συλλογή δεδομένων από τα αισθητήρια όργανα και την επεξεργασία τους. Η επεξεργασία των σημάτων των αισθητήρων πραγματοποιήθηκε με σκοπό να μελετηθεί η εξέλιξη του φαινομένου της καύσης από την συνέργια των τριών αισθητήριων τεχνολογιών, έτσι ώστε το φαινόμενο να παρατηρείται με πιστότητα και αξιοπιστία σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, η συνέργια των τριών αυτών τεχνολογιών επέτρεψε την απόκτηση της χρήσιμης πληροφορίας που χαρακτηρίζει τα μοναδικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων σημάτων έτσι ώστε να ταυτοποιηθούν μοναδικά στοιχεία της καύσης.

13.2 Συμπεράσματα 1ης σειράς πειραμάτων

Ο σκοπός των πειραμάτων αυτών ήταν να διερευνηθεί η δυνατότητα: (α) του PSS-MS για on-line παρακολούθηση των VOCs που εκλύονται κατά την διάρκεια των πειραμάτων καύσης και (β) εάν η κάθε τεχνολογία, δηλαδή η χημική, ακουστική και οπτική ανάλυση, ξεχωριστά δύναται να επιβεβαιώσει ή και να συμπληρώσει τις ενδείξεις καύσης που παρέχονται από τις άλλες δύο τεχνολογίες.

Για την επίτευξη των στόχων αυτών, υλοποιήθηκε η κατάλληλη υποδομή για την πραγματοποίηση των πειραμάτων καύσης και η ανάπτυξη του κατάλληλου πειραματικού πρωτοκόλλου. Επιπλέον, αναπτύχθηκαν δύο σενάρια που προσομοίαζαν διαφορετικές συνθήκες πεδίου. Δηλαδή, πραγματοποιήθηκε η απευθείας παρατήρηση της καύσης αλλά και η παρατήρηση με την παρεμβολή

εμποδίων. Η παρεμβολή των εμποδίων επηρέαζε την μακροσκοπική παρατήρηση του φαινομένου.

Στη συνέχεια, η προσπάθεια επικεντρώθηκε στην ανάκτηση, συλλογή και ανάλυση των δεδομένων από τους αισθητήρες. Η ανάκτηση και η συλλογή των δεδομένων των αισθητήρων περιελάμβανε τον εξοπλισμό και λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό αυτό και παρουσιάστηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 8 της παρούσας διατριβής. Η ανάλυση των δεδομένων ή σημάτων περιελάμβανε την αρχική επεξεργασία των δεδομένων προκειμένου τα σήματα των αισθητήρων να λάβουν την κατάλληλη μορφή. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν οι αλγόριθμοι επεξεργασίας ήχου και εικόνας στο περιβάλλον Matlab. Με βάση τους αλγόριθμους αυτούς, έγινε η ανάλυση των επεξεργασμένων σημάτων ήχου και εικόνας. Η ανάλυση των επεξεργασμένων χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων ολοκληρώθηκε με την μελέτη και σύγκριση τους προκειμένου να εξαχθούν τα πρώτα συμπεράσματα αυτής της εργασίας.

Από την πραγματοποίηση και την μελέτη της 1ης σειράς πειραμάτων διαπιστώθηκε ότι:

α. Ο χρόνος απόκρισης του PSS-MS, στο φαινόμενο της καύσης δύναται να συγκριθεί με τους αντίστοιχους χρόνους απόκρισης των χημικών αισθητήρων του αναλυτή καυσαερίων.

β. Ο συνδυασμός της χημικής ανάλυσης πεδίου, με την ανάλυση των ακουστικών και οπτικών σημάτων επιτρέπει την ολοκληρωμένη παρακολούθηση φαινομένων τόσο σε μοριακό αλλά και μακροσκοπικό επίπεδο.

γ. Τα ακουστικά και τα οπτικά σήματα παρέχουν νωρίτερα τις ενδείξεις της φωτιάς και επιπλέον, δύνανται να επιβεβαιώσουν τις πληροφορίες της χημικής ανάλυσης ή να δράσουν συνεπικουρικά στην χημική ανάλυση όταν υφίστανται περιορισμοί σ' αυτήν.

δ. Η ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης των αναλυτικών δυνατοτήτων της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

13.3 Συμπεράσματα 2ης σειράς πειραμάτων

Τα πειράματα της σειράς αυτής αποτελούν φυσική συνέχεια της προηγούμενης, καθόσον προέκυψε η ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης των δυνατοτήτων και της αξιοπιστίας της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Συνεπώς, τα πειράματα αυτά περιελάμβαναν διαφορετικές συνθήκες καύσης και επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν τρεις συνδυασμοί διαφορετικών καύσιμων υλικών, για τα οποία η καύση τους πραγματοποιήθηκε υπό κλίση. Τα υλικά αυτά ήταν το βαμβακερό λευκό ύφασμα, το λευκό χαρτί εκτύπωσης και το αποξηραμένο ξύλο δρυς. Τα υλικά αυτά είναι κοινά, παρουσιάζουν διαφορές στην καύση τους και βρίσκονται σε ικανές ποσότητες στους εσωτερικούς χώρους που ασχολείται η υπόψη εργασία.

Οι στόχοι οι οποίοι τέθηκαν για τα πειράματα αυτά ήταν:

(α) η διερεύνηση της αξιοπιστίας της προτεινόμενης μεθόδου για την παρακολούθηση του φαινομένου καύσης διαφορετικών υλικών και τα οποία παρουσιάζουν διαφορές στην καύση τους,

(β) η βελτίωση των αλγόριθμων επεξεργασίας των χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων και

(γ) η διερεύνηση και ο έλεγχος της αναλυτικής ικανότητας της προτεινόμενης μεθοδολογίας με την χρήση τεχνικών μοντελοποίησης.

Από την πραγματοποίηση και την μελέτη της 2ης σειράς πειραμάτων διαπιστώθηκε για το όργανο **PSS-MS** ότι:

α. Ο χρόνος απόκρισης του οργάνου, στο φαινόμενο της καύσης δύναται να συγκριθεί με τους αντίστοιχους χρόνους απόκρισης των χημικών αισθητήρων του αναλυτή καυσαερίων.

β. Ανέδειξε σημαντικές διαφορές στο χημικό προφίλ της καύσης των διαφορετικών υλικών. Πιο συγκεκριμένα, η m/z 57 (που αποδίδεται στους aliphatic hydrocarbons) ήταν η ουσία με την μεγαλύτερη έκλυση στην διάρκεια της καύσης του βαμβακερού υφάσματος, ενώ η m/z 78 (που αποδίδεται στο benzene) και η m/z 91 (που αποδίδεται στο toluene), κατά σειρά, ακολούθησαν. Απεναντίας στην καύση του λευκού χαρτιού εκτύπωσης η m/z 78 ήταν η ουσία με την μεγαλύτερη έκλυση, ενώ η m/z 57 και η m/z 91 ακολούθησαν. Επίσης στην καύση του ξύλου δρυς η m/z 57 ήταν η ουσία με την μεγαλύτερη έκλυση.

γ. Το χημικό προφίλ που παρέχει το TIC, προερχόμενο από την ανάλυση το PSS-MS, υποδηλώνει, κατά κάποιο τρόπο, την ένταση της διαδικασίας καύσης. Ενώ, το μέγιστο στην καμπύλη του TIC στον χρόνο, της καύσης του βαμβακερού υφάσματος και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης, υποδηλώνει κατά κάποιο τρόπο, την μετάβαση από το στάδιο της καύσης με φλόγα στην υποβόσκουσα καύση. Το συμπέρασμα αυτό δεν έχει εφαρμογή και στην περίπτωση της καύσης του ξύλου δρυς. Πιο συγκεκριμένα, η καύση του βαμβακερού υφάσματος και του λευκού χαρτιού εκτύπωσης παρουσίασαν ομοιότητες στο χημικό προφίλ τους, ενώ το χημικό προφίλ του ξύλου δρυς είναι διαφορετικό.

Από την πραγματοποίηση και την μελέτη της τόσο της 1ης σειράς πειραμάτων όσο και της αντίστοιχης 2ης σειράς, διαπιστώθηκε, από τη χημική ανάλυση από τους αισθητήρες του **αναλυτή καυσαερίων** MRU Delta 1600V, ότι συνάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

α. Η συγκέντρωση του O_2 παρουσίασε ελάχιστο ενώ οι συγκεντρώσεις του CO_2 και του NO καθώς και η θερμοκρασία των καυσαερίων παρουσίασαν μέγιστο την χρονική στιγμή που η φλόγα είχε το μέγιστο ύψος και ένταση.

β. Σ' αντίθεση, οι συγκεντρώσεις του CO και του C_3H_8 παρουσίασαν μέγιστο την χρονική στιγμή που η φλόγα έπαυε να υπάρχει.

γ. Οι συγκεντρώσεις των O_2 , CO_2 και NO , καθώς και η θερμοκρασία των καυσαερίων ουσιαστικά ακολούθησαν μία χρονική εξέλιξη που αντιστοιχεί στην ένταση της καύσης και των τριών υλικών. Δηλαδή, οι μεταβολές ήταν μεγάλες και έντονες, κατά την διάρκεια της καύσης της φλόγας, ανταποκρινόμενα τα μεγέθη αυτά, με παρόμοιο τρόπο, στην μεταβολή της φλόγας. Ενώ, στην υποβόσκουσα καύση τα μεγέθη αυτά μεταβλήθηκαν με αργό ρυθμό, όπως και η ένταση της καύσης, μέχρι την σταθεροποίηση τους, που συνέβη με την παύση και της υποβόσκουσας καύσης.

Η ανάγκη για την περαιτέρω **βελτίωση των αλγορίθμων**, που ανεπτύχθησαν από την 1η σειρά πειραμάτων, σκοπό είχε να συνδράμει στην προσπάθεια να εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα από την ολοκλήρωση της ανάλυσης ήχου και εικόνας και της χημικής ανάλυσης του PSS-MS. Όντως, οι αλγόριθμοι βελτιώθηκαν και ήταν δυνατή η εξαγωγή γνώσης που στα προηγούμενα πειράματα δεν ήταν εφικτή. Επιπλέον, δόθηκε η δυνατότητα στη διαδικασία μοντελοποίησης να εργαστεί πάνω σε βελτιωμένα επεξεργασμένα χημικά, οπτικά και ακουστικά σήματα.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στην **οπτική ανάλυση** διαπιστώθηκαν τα παρακάτω:

α. Ο μέσος όρος του γκρι παρουσίασε ευαισθησία, στην παρουσία και την ένταση της φλόγας, στην έκλυση του λευκού καπνού και στην ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας που εκπέμπονταν από τα εξανθρακώματα του κάθε υλικού. Τα χαρακτηριστικά αυτά, μπορούν να αποτελέσουν ενδείξεις του σταδίου που βρίσκεται, η καύση σε σχέση με την χρονική εξέλιξη της. Περαιτέρω διερεύνηση πιθανότατα να προσδώσει σημαντικές προοπτικές για την ανίχνευση πυρκαγιάς μέσω της βίντεο παρακολούθησης.

β. Η ένταση του R παρουσιάζει ευαισθησία μόνο στην παρουσία της φλόγας.

γ. Συνδυάζοντας την παρακολούθηση του μέσου όρου του γκρι και της έντασης του R δύναται να εντοπιστεί η χρονική διάρκεια της φάσης της καύσης με φλόγα, καθώς και το χρονικό σημείο μετάβασης της καύσης με φλόγα στη υποβόσκουσα καύση.

Όσον αφορά στην **ακουστική επεξεργασία**, διαπιστώθηκε ότι:

α. Η ακουστική δραστηριότητα, που παρουσιάστηκε στη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, ήταν σημαντική και συνδεόταν άμεσα με την καύση όλων των υλικών.

β. Η επίδραση του θορύβου, από το background, ήταν πολύ σημαντική στις συχνότητες από 160 Hz έως 200 Hz.

γ. Η παρακολούθηση στο χρόνο της συνολικής ακουστικής ισχύος στη συχνοτική περιοχή 0 – 160 Hz, με smoothing 5^{ης} τάξεως διαπιστώθηκε ότι, κάθε υλικό παρουσίασε το δικό του ακουστικό προφίλ.

δ. Στα ακουστικά αυτά σήματα, η κρίσιμη πληροφορία, που σχετίζεται με την εξέλιξη της διαδικασίας καύσης, σ' όλα τα υλικά, παρεμποδίζεται από άλλες ακουστικές περιοδικές μεταβολές. Για το λόγο αυτό, τα ακουστικά αυτά σήματα, αναλύθηκαν στις αρμονικές τους στο συχνοτικό πεδίο και όχι στο αντίστοιχο χρονικό, κάνοντας χρήση της Fourier transform.

Μια άλλη γενική παρατήρηση που αφορά στα **κανονικοποιημένα σήματα**, από τα πειράματα καύσης όλων των υλικών, διαπιστώνεται ότι, τα προφίλ του TIC και του μέσου όρου της έντασης του γκρι ακολουθούν, σχεδόν, το ίδιο εξελικτικό μοτίβο στο χρόνο, ενώ, τα ακουστικά σήματα, απ' όλα τα υλικά δεν δύνανται να χαρακτηριστούν σε σχέση με την εξέλιξη τους στο χρόνο.

Η **διαδικασία μοντελοποίησης**, με τα βελτιωμένα επεξεργασμένα σήματα εντόπισε μοναδικά χαρακτηριστικά από την καύση του κάθε υλικού. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε η διερεύνηση των παραμέτρων των χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων, προκειμένου, να επιλεγθούν μοναδικά χαρακτηριστικά από την καύση του κάθε υλικού ξεχωριστά. Για τα ακουστικά και τα οπτικά σήματα η μοντελοποίηση έγινε στην χρονική ακολουθία. Ενώ, η επεξεργασία των ακουστικών σημάτων έλαβε χώρα στο συχνοτικό φάσμα (frequency domain) έτσι ώστε, να αναλυθούν στις αρμονικές τους και να αποκωδικοποιηθεί έτσι η χρήσιμη φέρουσα πληροφορία, που στη χρονική ακολουθία αυτό δεν ήταν εφικτό.

Επίσης σημαντικό είναι ότι, η διαδικασία της μοντελοποίησης αποτέλεσε ένα κατά κάποιο τρόπο εργαλείο ελέγχου της αναλυτικής δυνατότητας της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Καθόσον, με βάση τα επεξεργασμένα σήματα των αισθητήρων εντοπίστηκαν και ταυτοποιήθηκαν μοναδικά χαρακτηριστικά της καύσης του κάθε υλικού.

Στις παραγράφους 11.7.1., 11.7.2. και 11.7.3. γίνεται εκτενής ανάλυση των χαρακτηριστικών, που αποτελούν τις παραμέτρους μοντελοποίησης, από τα μοντέλα των χημικών και οπτικών υπογραφών. Επομένως, το σύνολο των χαρακτηριστικών αυτών περιλαμβάνει, 6 παραμέτρους από το χημικό μοντέλο, 6 παραμέτρους από το οπτικό μοντέλο και άλλες 7 παραμέτρους από το ακουστικό μοντέλο (εύρος αρμονικών).

Η αποτελεσματικότητα, μίας τέτοιας προσέγγισης, για την μοντελοποίηση της καύσης των υπόψη υλικών, χρήζει περαιτέρω αξιόπιστης επιβεβαίωσης μέσα από την επεξεργασία ενός αξιόπιστου πλήθους των επαναλήψεων των πειραμάτων καύσης, των υπόψη υλικών. Αυτό βέβαια, αποτελεί μία πρόταση για περαιτέρω ερευνητική δραστηριότητα σ' αυτό το πεδίο. Όμως, τα μέχρι τώρα αποτελέσματα, που ουσιαστικά αποτελούν μία πρώτη διερεύνηση είναι θετικά και ενθαρρυντικά, καθώς η κατανομή αυτών των χαρακτηριστικών είναι διαφορετική για κάθε υλικό, παρέχοντας έτσι την δυνατότητα να ταξινομηθούν αλλά και να ταυτοποιηθούν οι καύσεις διάφορων υλικών.

13.4 Συμπεράσματα από το πείραμα εξωτερικού πεδίου.

Πέραν των ανωτέρω πειραμάτων, πραγματοποιήθηκε και η προσπάθεια μεταφοράς της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας στο πεδίο. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε η οπτική, χημική και ακουστική παρατήρηση της καύσης δασικής ύλης μεγάλης κλίμακας στο πεδίο. Δηλαδή, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο, με τις ελεγχόμενες και σε μικρή κλίμακα φωτιές, μεταφέρθηκε στο ανοιχτό πεδίο. Ακόμη, διερευνήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής της θερμογραφίας στους σκοπούς της παρούσας διατριβής.

Δηλαδή, η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στο πεδίο, με πραγματικές και αντίξοες συνθήκες πραγματοποιώντας την παρατήρηση της καύσης δασικής ύλης μεγάλης κλίμακας. Επίσης, η παρατήρηση πραγματοποιήθηκε με διαφορετικούς αισθητήρες απ' αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο. Πιο συγκεκριμένα, η οπτική παρατήρηση πραγματοποιήθηκε με θερμογραφική κάμερα, στο υπέρυθρο φάσμα, αντί του οπτικού φάσματος που έγινε στο εργαστήριο με τον αισθητήρα CCD. Επίσης, η χημική ανάλυση βασίστηκε στα δεδομένα του αναλυτή καυσαερίων MRU Delta 1600V, αντί του PSS-MS που έγινε στο εργαστήριο.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων των τριών τεχνολογιών διαπιστώθηκε ότι, δύνανται να παρακολουθήσουν το φαινόμενο με ακρίβεια και παρουσίασαν ευαισθησία στις μεταβολές του φαινομένου.

Η χημική ανάλυση, με την χρήση του αναλυτή καυσαερίων, παρακολούθησε το φαινόμενο με ακρίβεια και μικρή χρονική υστέρηση. Παρουσίασε όμως περιορισμούς, οι οποίοι οφείλονται στο ότι ο χημικός αισθητήρας, παρότι είχε την δυνατότητα να παρακολουθεί ένα περίπλοκο και δυναμικό φαινόμενο στο πεδίο, είναι κατ' ουσία ένας σημειακός ανιχνευτής, γεγονός που θέτει τη χημική ανάλυση σε εξάρτηση από τους μετεωρολογικούς παράγοντες στο ανοιχτό πεδίο.

Η ακουστική ανάλυση παρακολούθησε το φαινόμενο με ακρίβεια και χωρίς χρονική υστέρηση και παρουσίασε σημαντική ευαισθησία στην εκδήλωση συμβάντων, σ' αντίθεση με τις άλλες δύο αναλύσεις που δεν αποκρίθηκαν στα συμβάντα. Συνεπώς, η ακουστική ανάλυση παρουσίασε δυναμική αναλυτική ικανότητα και ήταν ανεξάρτητη των συνθηκών του πεδίου.

Η χρήση της θερμογραφίας στην μελέτη της καύσης της δασικής ύλης ήταν η πρώτη πετυχημένη προσπάθεια στην παρούσα εργασία και η οποία παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον. Η οπτική ανάλυση, που πραγματοποιήθηκε με βάση το

θερμογραφικό βίντεο, διαπιστώθηκε ότι δύναται να παρακολουθεί το φαινόμενο με ακρίβεια και χωρίς χρονική υστέρηση. Η παρακολούθηση του φαινομένου πραγματοποιήθηκε, μέσω της καταγραφής των μεταβολών του μέσου όρου του γκρι και της έντασης του R, στο χρόνο. Επίσης, διαπιστώθηκε η ανάγκη περαιτέρω δοκιμών της θερμογραφικής κάμερας για την μελέτη της καύσης προκειμένου να προσδιοριστούν οι δυνατότητες που παρουσιάζει η τεχνολογία αυτή.

Η μεταφορά στο πεδίο της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο, ανέδειξε την ανάγκη για την ανάπτυξη μίας οργάνωσης με εστίαση στην εργασία στο πεδίο αλλά και την καλλιέργεια μίας κουλτούρας πεδίου προκειμένου να αξιοποιηθούν στο έπακρο η επένδυση των πόρων καθώς και οι ευκαιρίες και οι δυνατότητες της εργασίας στο πεδίο.

13.5 Γενικά συμπεράσματα και προσφορά διατριβής

Στην εργασία αυτή, έγινε προσπάθεια ώστε, η φασματομετρία μάζας, ως χημική αναλυτική μέθοδος, να συνδυαστεί με την ακουστική και την οπτική ανάλυση στην παρακολούθηση και ανάλυση του φαινομένου της καύσης, τόσο σε μοριακή όσο και σε μακροσκοπική κλίμακα. Επίσης στην προσπάθεια αυτή, πέραν της φασματομετρίας μάζας, χρησιμοποιήθηκε και η χημική ανάλυση πεδίου που παρέχεται, από ηλεκτροχημικούς αισθητήρες αλλά και αισθητήρες υπέρυθρου (NDIR), σε συνδυασμό με την ακουστική και την οπτική ανάλυση, για την μελέτη του φαινομένου της καύσης, τόσο στο εργαστήριο, όσο και στο ανοιχτό πεδίο, σε μεγάλης κλίμακας φωτιά δασικής ύλης.

Διαπιστώθηκε ότι, η χημική ανάλυση δύναται να συνδράμει την ακουστική και οπτική παρακολούθηση, όταν δεν υφίστανται δυνατότητες μακροσκοπικής παρακολούθησης. Επίσης, η κάθε τεχνολογία, δηλαδή η χημική, ακουστική και οπτική ανάλυση, ξεχωριστά δύναται να επιβεβαιώσει ή και να συμπληρώσει τις ενδείξεις καύσης που παρέχονται από τις άλλες δύο τεχνολογίες.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε βελτιωμένη επεξεργασία των χημικών, οπτικών και ακουστικών σημάτων που κατεγράφησαν στην διάρκεια των πειραμάτων καύσης των τριών διαφορετικών υλικών. Επιπρόσθετα, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην διερεύνηση μοναδικών χαρακτηριστικών της καύσης του κάθε υλικού μέσω της διαδικασίας μοντελοποίησης και την προσαρμογή καμπύλης. Η διαδικασία αυτή, δύναται να επιτρέψει την ταυτοποίηση της καύσης του κάθε υλικού, με την χρήση των χρονικών μοντέλων και την προσαρμογή καμπύλης για τα οπτικά και τα χημικά σήματα. Ενώ για τον ίδιο σκοπό, στα ακουστικά σήματα χρησιμοποιήθηκε η φασματική ανάλυση συχνοτήτων προκειμένου να εντοπιστούν και να ποσοτικοποιηθούν οι αρμονικές που συνδέονται με την καύση του κάθε υλικού.

Επισημαίνεται ότι, ότι η διαδικασία μοντελοποίησης παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές για την προτεινόμενη μεθοδολογία. Πιο συγκεκριμένα, με τα μοναδικά χαρακτηριστικά της καύσης που δύναται να εντοπιστούν στα επεξεργασμένα χημικά, ακουστικά και οπτικά σήματα δημιουργούνται θετικές προοπτικές για την δημιουργία βάσης δεδομένων όπου θα περιέχει βιβλιοθήκη με τα χαρακτηριστικά καύσης συγκεκριμένων υλικών όπου καίγονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Έτσι θα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και να ταξινομηθούν πληροφορίες από την καύση διαφόρων υλικών. Με τον τρόπο αυτό δύναται να αναπτυχτεί μία διαδικασία κριτηρίων, όπου θα υπάρχει η δυνατότητα να ταυτοποιηθεί ένα φαινόμενο που ανιχνεύτηκε, εάν είναι καύση, σε ποιο στάδιο είναι και πιο είναι το πιθανό καύσιμο υλικό.

Με την μεταφορά της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας στο ανοιχτό πεδίο, με την παρακολούθηση της καύσης της δασικής ύλης μεγάλης κλίμακας, διαπιστώθηκε ότι και οι τρεις τεχνολογίες δύνανται παρακολουθούν το φαινόμενο με ακρίβεια, ενώ η ακουστική ανάλυση παρουσίασε σημαντική ευαισθησία. Ακόμη, διαπιστώθηκε ότι η χρήση της θερμογραφίας στην μελέτη της καύσης στο πεδίο έχει σημαντικές δυνατότητες ανάπτυξης.

Η συνεργατική δράση των τριών αναλυτικών τεχνολογιών, συνεπικουρούμενη από τις βελτιωμένες τεχνικές της ανάλυσης σημάτων και μοντελοποίησης, αποδείχτηκε ότι, είναι αποτελεσματική στην μελέτη της συμπεριφοράς της καύσης διαφορετικών υλικών.

Γενικότερα δύναται να ειπωθεί ότι, ο εντοπισμός και ο αποκλεισμός των οπτικών, ακουστικών και χημικών ψευδοσυναγερμών είναι ένα από τα μεγάλα οφέλη που θα προκύψουν με την ανάπτυξη της συνδυαστικής δράσης των τριών διαφορετικών αναλύσεων, έτσι ώστε, η κάθε μία να επιβεβαιώνει ή να αποκλείει τους συναγερμούς της άλλης.

Εκτιμάται ότι, η συνδυαστική δράση των τριών τεχνολογιών αυτών (χημικής ανάλυσης, εικόνας, ήχου) παρέχει δυνατότητες ανάπτυξης πιο αξιόπιστων μη επιτηρούμενων συστημάτων επίβλεψης χώρων πλοίων και άλλων πλωτών κατασκευών με ταχύτερη απόκριση και λιγότερους ψευδοσυναγερμούς. Τα συστήματα αυτά θα μπορούν να συνδυάζουν διάφορες υφιστάμενες και εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες πεδίου, προκειμένου, να βελτιστοποιηθεί η ικανότητα έγκαιρης ανίχνευσης πυρκαγιάς καθώς και άλλων επικίνδυνων φαινομένων και να παράσχουν σημαντική υποστήριξη στην διαδικασία λήψης απόφασης και χειρισμού κρίσεων. Αυτό δύναται να επιτευχθεί με την παροχή αξιόπιστων δεδομένων και κρίσιμης πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο, τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε απομακρυσμένα κέντρα επιτήρησης.

Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα της διερευνητικής αυτής εργασίας, αλλά και η περαιτέρω ανάπτυξη των θετικών προοπτικών που αναδείχθηκαν για την προτεινόμενη μέθοδο, που αφορούν στην έγκαιρη ανίχνευση και στην παρακολούθηση πυρκαγιών εσωτερικών χώρων, χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση προκειμένου να εξαχθούν ακόμη πιο ασφαλή συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

14.1. Γενικά

Η εμπειρία που αποκτήθηκε και τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η παρούσα διατριβή είναι χρήσιμα, ώστε να καταγραφούν οι προοπτικές που ανοίγονται στην προτεινόμενη μεθοδολογία, αλλά και σε ποιές κατευθύνσεις δύναται περαιτέρω να εξελιχθεί.

Μία πρώτη ανάγκη που προέκυψε από τον υλοποίηση του πειραματικού σχεδιασμού, της υπόψη διατριβής, είναι ότι, για κάθε σειρά πειραμάτων απαιτούνται περισσότερες επαναλήψεις. Με τον τρόπο αυτό τα αποτελέσματα στα οποία καταλήγει η παρούσα διατριβή θα αποκτήσουν μεγαλύτερη βαρύτητα.

Εδώ δύναται να τεθεί ένα ερώτημα, η ικανοποίηση της παραπάνω ανάγκης μήπως είναι τελικά ανάλωση πόρων για κάτι το οποίο στην πράξη δεν είναι αναγκαίο;

Κατά την προσωπική άποψη του υπογράφοντα, η επανάληψη αυτών πειραμάτων, ως έχουν, θα είναι σπατάλη σημαντικών πόρων καθώς ενέχεται η απόδοση αποτελέσματος προς την ανάλωση πόρων να είναι μικρή.

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι διερευνητικός των δυνατοτήτων της προτεινόμενης μεθοδολογίας και η περαιτέρω προσπάθεια οφείλει να έχει διαφορετική κατεύθυνση.

Με βάση το παραπάνω σκεπτικό και τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής παρατίθεται μία σειρά προτάσεων, αναφορικά με τις δυνατότητες περαιτέρω εξέλιξης που μπορεί να έχει, η πολλά υποσχόμενη, προτεινόμενη μεθοδολογία.

14.2. Βελτίωση του PSS-MS

Το όργανο PSS-MS, τελικά, διαπιστώθηκε ότι δύναται να παρακολουθεί αποτελεσματικά το περίπλοκο και δυναμικό φαινόμενο της καύσης στο εργαστήριο, κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες που προσομοιάζαν το πεδίο.

Με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε, μέσα από την παρούσα εργασία, δύναται να διατυπωθούν προτάσεις στις οποίες δύναται να κινηθεί η περαιτέρω βελτίωση και εξέλιξη του οργάνου αυτού και οι οποίες δύναται να συνοψιστούν προς δύο κατευθύνσεις, ως κάτωθι:

- α. Ως μεταφερόμενο ή φορητό όργανο πεδίου (stand alone)
- β. Ως σταθερή αναλυτική μονάδα πεδίου

Όσον αφορά στην πρώτη πρόταση, αυτό αποτελεί μία μεγάλη πρόκληση, δηλαδή την ανάπτυξη του PSS-MS ως μεταφερόμενο ή φορητό όργανο πεδίου. Καθόσον, θα

πρέπει να επιλυθούν πλήθος ζητημάτων που αφορούν στις ενεργειακές απαιτήσεις, βάρος, αξιοπιστία, αντοχή, ευχρηστία ακόμη και εργονομία.

Η ανάπτυξη ενός φορητού MS αποτελεί, ουσιαστικά ένα ζήτημα που αφορά στην μικρογράφηση (miniaturization) όλων των λειτουργιών ενός MS. Πιο συγκεκριμένα, σημαντική μείωση μεγέθους και βάρους θα πρέπει να επέλθει στην παγίδα ιόντων (ion trap), στην πηγή ιονισμού (ionizer), στον ανιχνευτή ιόντων (ion detector), στο σύστημα κενού, στο σύστημα δειγματοληψίας, στην μπαταρία, στα ηλεκτρονικά ελέγχου και όλα αυτά να περιέχονται σε μία στιβαρή και εύχρηστη θήκη και να υποστηρίζονται από το ανάλογο λογισμικό.

Τα MS σχεδιάζονται εδώ και αρκετά χρόνια σαν μεταφερόμενα ή φορητά, αλλά μόνο μερικά μοντέλα μπορούν να χαρακτηριστούν ως επιτυχημένα. Ο λόγος είναι ότι αρκετά συστήματα είναι βαριά, ογκώδη και με περιορισμένη ενεργειακή αυτονομία, όπως για παράδειγμα το MS-200 της KORE TECHNOLOGY. Βέβαια, η πρόοδος που έχει τελεστεί στην τεχνολογία των μικρογραφημένων συστημάτων κενού, των αναλυτών, που βασίζονται στην τεχνολογία των MEMS (micro electromechanical) και στις μπαταρίες, ανοίγει νέες προοπτικές για την ανάπτυξη νέων μικρότερων, ελαφρότερων και αποδοτικότερων φορητών MS (Ouyang 2009, Mo Yang 2007).

Σ' ένα τέτοιο ευρύτερο πλαίσιο βελτίωσης θα μπορούσε, γενικά, να κινηθεί η βελτίωση του PSS-MS για την χρήση του ως μεταφερόμενο ή φορητό όργανο πεδίου.

Όσον αφορά στην διατύπωση της δεύτερης πρότασης, δηλαδή την ανάπτυξη του PSS-MS, ως σταθερή αναλυτική μονάδα πεδίου, αυτή παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον για ένα πλήθος εφαρμογών, όπου ίσως η μικρογράφηση του PSS-MS να μην ήταν η πρώτη προτεραιότητα. Διαπιστώθηκε, στην παρούσα εργασία, ότι, το PSS-MS δύναται να παρακολουθεί αποτελεσματικά το περίπλοκο και δυναμικό φαινόμενο της καύσης στο εργαστήριο, κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες που προσομοιάζαν το πεδίο. Ενδεχομένως, αυτό να ισχύει και για άλλα σύνθετα και δυναμικά φαινόμενα του πεδίου, αυτό αποτελεί όμως ένα ιδιαίτερο ζήτημα που δύναται να ελεγχθεί με παρόμοιες, της παρούσας εργασίας, σειρές πειραμάτων. Όμως, το γεγονός ότι, ενώ το PSS-MS παρουσιάζει σημαντικές αναλυτικές ικανότητες, είναι ουσιαστικά, ένας σημειακός ανιχνευτής κι' αυτό περιορίζει σημαντικά τις εφαρμογές αλλά και το εύρος του πεδίου που δύναται το όργανο αυτό να παρακολουθεί αποτελεσματικά.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το σύστημα δειγματοληψίας του PSS-MS προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως ότι επιτρέπει την δειγματοληψία μίας ευρείας ποικιλίας VOCs με σημεία βρασμού μέχρι τους 214° C, σ' αντίθεση με την καθιερωμένη δειγματοληψία μέσω μεμβράνης που χαρακτηρίζεται από πιο αργή και επιλεκτική δειγματοληψία. Αυτή η ιδιότητα του PSS-MS δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την, σχετικά, πραγματικού χρόνου παρακολούθηση ταχέως μεταβαλλόμενων συγκεντρώσεων VOCs.

Επομένως, η διατύπωση αυτής της πρότασης για την περαιτέρω ανάπτυξη του PSS-MS αφορά κυρίως στην εξέλιξη του συστήματος δειγματοληψίας. Το υφιστάμενο σύστημα παρουσιάζει πλεονεκτήματα αλλά ουσιαστικά αποτελεί ένα πρότυπο σύστημα και ως εκ τούτου παρουσιάζει κάποιους περιορισμούς.

Συνεπώς, μία πρώτη προσέγγιση στην ανάπτυξη του συστήματος δειγματοληψίας να αποτελέσει η προσπάθεια μείωσης της επίδρασης των παραπάνω περιορισμών. Παραδείγματα τέτοιων περιορισμών αποτελούν ο όγκος, το βάρος, η δυσχρηστία, η δυσκολία μεταφοράς, η υψηλή κατανάλωση He, η δυσχρηστία της στήλης δειγματοληψίας, ο ακουστικός θόρυβος των πνευματικών βαλβίδων. Αυτά όλα, τόσο

ξεχωριστά, όσο και συνολικά αποτελούν ζητήματα που μπορούν να βελτιωθούν και να αυξήσουν την αποδοτικότητα αλλά και το πλήθος των εφαρμογών του PSS-MS.

Μία άλλη προσέγγιση, που αφορά στην ανάπτυξη του συστήματος δειγματοληψίας, πέραν των ζητημάτων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, αποτελεί η πρόταση να εξετασθεί η προοπτική το σύστημα δειγματοληψίας να πραγματοποιεί διαδοχική δειγματοληψία από διαφορετικά σημεία. Πιο συγκεκριμένα, ένα τέτοιο σύστημα θα διέθετε διαφορετικά σημεία δειγματοληψίας, όπου η δειγματοληψία θα πραγματοποιούνταν είτε διαδοχικά είτε με σειρά επιλογής. Ουσιαστικά χρησιμοποιώντας ένα MS θα δύναται να αναλυθούν αέρια δείγματα από διαφορετικά σημεία, χρησιμοποιώντας την ίδια στήλη δειγματοληψίας (capillary inlet).

Η παραπάνω πρόταση δεν αποτελεί καινοτομία, καθώς έχουν παρουσιασθεί διάφορες προσεγγίσεις στο θέμα. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το σύστημα δειγματοληψίας (inlet system – multi stream gas sampling) της Residual Gas Analyzers που προσφέρει μέχρι 32 κανάλια δειγματοληψίας, μέσω ηλεκτρικών διακοπών για ένα τετραπολικό MS. Ένα παρόμοιο σύστημα είναι και το 8 κανάλιο σύστημα δειγματοληψίας της Hiden Analytical, ενώ ένα πιο εξελιγμένο σύστημα αποτελεί το Rapid Multi-stream Sampler της Thermo Scientific που έχει δυνατότητα για μέχρι 253 κανάλια δειγματοληψίας, για την ίδια μονάδα MS.

Οι μέχρι τώρα παρουσιασθείσες προτάσεις είναι περιορισμένες και υπάρχουν πολλά περιθώρια για καινοτομία στο χώρο αυτό. Η καινοτομία μπορεί να βασιστεί, στην τεχνολογία που θα εφαρμοστεί, στις εφαρμογές που θα αναπτυχθούν και στον συνδυασμό των πλεονεκτημάτων που προσφέρει το PSS με ένα πολυκάναλο δειγματοληπτικό διακόπτη. Έτσι θα ήταν εφικτή, η πλήρης κάλυψη του πεδίου από πλευράς χημικής ανάλυσης πεδίου, μ' ένα μόνο σύστημα παρακολούθησης πραγματικού χρόνου. Βέβαια κάτι τέτοιο δημιουργεί και την απαίτηση υποστήριξης από ένα ανάλογο λογισμικό.

Μία προτεινόμενη προσέγγιση θα αποτελούσε η προσπάθεια συνδυασμού του υφιστάμενου συστήματος μ' ένα εμπορικό πολυκάναλο διακόπτη δειγματοληψίας. Μία τέτοια προσπάθεια θα ήταν εξαιρετικά ενδιαφέρουσα τόσο από πλευράς τεχνικής υλοποίησης της πρότασης αλλά και των εφαρμογών που θα δύναται να έχει ένα τέτοιο εγχείρημα.

Μετά από μια εκτεταμένη σειρά βελτιώσεων, μία ιδανική εφαρμογή, για τον υπογράφοντα, θα αποτελούσε για το PSS-MS, εάν ήταν εφικτό, μέσω ενός πολυκάναλου διακόπτη το όργανο να δειγματοληπτεί από την εξαγωγή καυσαερίων του κάθε κυλίνδρου καύσης μίας κύριας μηχανής πλοίου. Μία τέτοια παρακολούθηση, συγκεκριμένων ουσιών (markers), στην εξαγωγή του κάθε κυλίνδρου θα έδινε σημαντικές πληροφορίες που αφορούν στην λειτουργική κατάσταση και απόδοση ενός πλήθους συστημάτων, όπως για παράδειγμα:

- οι καυστήρες και το σύστημα έγχυσης και ψεκασμού του κάθε κυλίνδρου και συνολικά της όλης της μηχανής,
- το σύστημα λίπανσης
- η πρόληψη του φαινομένου του oil mist, του κάθε κυλίνδρου,
- το σύστημα ψύξης του κάθε κυλίνδρου,
- η ποιότητα του καυσίμου, η αποτελεσματικότητα του συστήματος διαχείρισης και επεξεργασίας του καυσίμου,
- οι εκπομπές αέριων ρύπων
- η ενεργειακή απόδοση της μηχανής

14.3. Πειραματικός Σχεδιασμός Επόμενων Πειραμάτων

Από τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας συνάγεται ότι η φυσική εξέλιξη της παρούσας διατριβής θα αποτελούσε ένας νέος κύκλος πειραμάτων. Τα πειράματα αυτά μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να αξιοποιηθούν, κατά το πλείστον, η εμπειρία και τα συμπεράσματά που ανέκυψαν από την εν λόγω εργασία.

Οπωσδήποτε και πάλι, πρέπει να προσδιοριστούν ή καλύτερα να σκιαγραφηθούν, σε γενικές γραμμές, ο σκοπός και ο στόχος των πειραμάτων, το πειραματικό πρωτόκολλο, καθώς και η οργανολογία που θα χρησιμοποιηθεί.

14.3.1. Σκοπός και στόχος των Επόμενων Πειραμάτων

Ο σκοπός των επόμενων προτεινόμενων πειραμάτων θα είναι, η διερεύνηση των δυνατοτήτων της, προτεινόμενης με την παρούσα διατριβή, μεθοδολογίας, για την έγκαιρη ανίχνευση, χωροταξικού εντοπισμού και ταυτοποίηση επικίνδυνων φαινομένων στο πεδίο. Τέτοια φαινόμενα θα μπορούσαν να είναι η φωτιά, τόσο με υποβόσκουσα καύση όσο και καύση με φλόγα, ή ακόμη και η διαφυγή υγρών και αερίων.

Προκειμένου να επιτευχθεί ένας τέτοιος, φιλόδοξος, σκοπός, προτείνεται ότι πρέπει να υλοποιηθούν οι παρακάτω στόχοι:

- α. Χρήση της κατάλληλης οργανολογίας
- β. Ανάπτυξη κατάλληλου πειραματικού πρωτοκόλλου
- γ. Επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

14.3.2. Οργανολογία

Η προτεινόμενη οργανολογία θα περιλαμβάνει χημικούς, οπτικούς και ακουστικούς αισθητήρες και λοιπό εξοπλισμό. Πιο συγκεκριμένα:

α. **Χημικοί αισθητήρες:** Το PSS-MS προτείνεται να χρησιμοποιηθεί με την παρούσα του μορφή. Εάν υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί βελτιωμένο, με την προσθήκη ενός πολυκάναλου διακόπτη, αυτό θα ήταν προτιμότερο, διότι διευρύνονται έτσι οι δυνατότητες παρακολούθησης ευρέως πεδίου και όχι σημειακή μόνο ανίχνευση. Ένας τέτοιος διακόπτης θα μπορούσε να είναι ενδεικτικά ο 8-way Multi-purpose Stream Selector της εταιρείας Hiden Analytical.

Επίσης, συνίσταται η χρήση αισθητήρων αερίων, σε δίκτυο, προκειμένου να πραγματοποιείται παρακολούθηση ευρέως πεδίου και όχι σημειακή μόνο ανίχνευση, καθώς και το κατάλληλο λογισμικό υποστήριξης. Οι αισθητήρες αυτοί θα είναι ευαίσθητοι και επιλεκτικοί σε συγκεκριμένη ουσία χαρακτηριστική του φαινομένου (marker compound). Οι προτεινόμενοι αισθητήρες είναι CO₂ και CO, καθόσον η έκλυση του CO₂ είναι χαρακτηριστική της φάσης της καύσης με φλόγα, ενώ η έκλυση του CO είναι χαρακτηριστική της υποβόσκουσας καύσης. Για τις δύο αυτές κατηγορίες αισθητήρων υφίστανται διάφορες τεχνολογίες, που αναλύονται στο Κεφ. 4 της παρούσας διατριβής, καθώς και πολλοί κατασκευαστές. Η επιλογή τεχνολογίας και κατασκευαστή προϋποθέτει δοκιμές και επιλογή με κριτήρια τα οποία σε επόμενο στάδιο θα δύνανται να καθορισθούν.

β. **Οπτικοί αισθητήρες:** Από την εμπειρία που έχει αποκομισθεί με την παρούσα εργασία προτείνεται η χρήση των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα της υπόψη διατριβής. Πιο συγκεκριμένα προτείνεται να χρησιμοποιηθούν

σε πρώτη φάση, η κάμερα CCD, οπτικού φάσματος, GANZ ZC-Y12PH5 και η θερμογραφική κάμερα FLIR T360, που λειτουργεί στο υπέρυθρο φάσμα και πιο συγκεκριμένα στο φασματικό εύρος 7.5 έως 13 μm . Με τις συγκεκριμένες κάμερες υπάρχει εξοικείωση και έτσι δύναται να αξιοποιηθούν στο έπακρο οι δυνατότητες που προσφέρουν.

Οι συγκεκριμένες κάμερες προσφέρουν, επίσης, ένα σημαντικό πλεονέκτημα. Ειδικότερα, οι κάμερες αυτές, λόγω των φασμάτων που λειτουργούν, είναι παθητικοί δέκτες καθόσον δεν χρειάζεται να αλληλοεπιδράσουν με το περιβάλλον για να λάβουν σήματα. Σ' αντίθεση, οι κάμερες, γενικά, που λειτουργούν στο UV ή IR φάσμα απαιτούν εξωτερική, κατάλληλη, πηγή φωτισμού του πεδίου για την καταγραφή της ανάκλασης στο φάσμα αυτό. Το στοιχείο αυτό δεν συνίσταται για την διαρκή παρακολούθηση στο πεδίο.

γ. Ακουστικοί αισθητήρες: Η παρούσα εργασία ανέδειξε την σημασία που έχει η ακουστική ανάλυση για την μελέτη των επικίνδυνων φαινομένων στο πεδίο και ειδικότερα αυτού της φωτιάς. Επομένως, για την επίτευξη του στόχου που προαναφέρθηκε, δηλαδή, *“έγκαιρη ανίχνευση, χωροταξικού εντοπισμού και ταυτοποίηση επικίνδυνων φαινομένων στο πεδίο”* προτείνεται η χρήση καταλληλότερου, για τον σκοπό αυτό, εξοπλισμού. Πιο συγκεκριμένα προτείνεται η χρήση συστοιχίας μικροφώνων (sensor array) για την λήψη σημάτων μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα (air conducted sound sensors). Ο σκοπός εδώ δεν είναι μόνο να ανιχνευθεί και να ταυτοποιηθεί το φαινόμενο αλλά και να εντοπιστεί και η θέση του στο χώρο. Βέβαια εδώ, θα πρέπει να διερευνηθούν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των μικροφώνων της συστοιχίας, όπως είναι η ευαισθησία, η κατευθυντικότητα, το φασματικό εύρος συχνοτήτων στο οποίο αποκρίνονται τα μικρόφωνα αυτά, και το επίπεδο θορύβου. Σχετική αναφορά, επί του θέματος αυτού, έχει γίνει στο Κεφάλαιο 2 της παρούσας διατριβής.

Επιπλέον, δύναται να εξετασθεί και η χρήση άλλων τύπων μικροφώνων όπως είναι τα accelerometers και vibration transducers. Αυτό, όμως προτείνεται να πραγματοποιηθεί σε δεύτερο χρόνο και εφόσον απαιτηθεί να διερευνηθούν τα επικίνδυνα φαινόμενα στο πεδίο και για τα οποία, θα προκύψει η ανάγκη εφαρμογής τέτοιου είδους αισθητήρων.

Επίσης ένα σημαντικό θέμα αποτελεί και ο ρυθμός δειγματοληψίας (sampling rate) με τον οποίο θα πραγματοποιείται η ψηφιοποίηση των ακουστικών σημάτων. Σχετική ανάλυση πραγματοποιήθηκε στα Κεφάλαια 2, 5 και 6 της παρούσας εργασίας. Στο σημείο αυτό προτείνεται ο ρυθμός δειγματοληψίας να προσαρμόζεται αναλόγως του υπό παρακολούθηση φαινομένου. Για το φαινόμενο της φωτιάς, τόσο στο εργαστήριο όσο και στο ανοιχτό πεδίο υπάρχουν χρήσιμα συμπεράσματα που μπορούν να αξιοποιηθούν στο θέμα.

δ. Λοιπός εξοπλισμός: Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνεται, ένας κατάλληλος για το σκοπό των πειραμάτων φορητός υπολογιστής, εξοπλισμός και λογισμικό ανάκτησης δεδομένων και λογισμικό για την ανάγνωση, συγχρονισμό και επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Ο φορητός υπολογιστής θα πρέπει να διαθέτει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά ώστε να ανταποκρίνεται στην συλλογή, καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων από τα αισθητήρια όργανα.

Τα αισθητήρια όργανα πιθανόν να υποστηρίζονται από κατάλληλο εξοπλισμό για την ανάκτηση δεδομένων (μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και λογισμικό ανάκτησης και καταγραφής δεδομένων). Επίσης για τα όργανα που δεν

υπάρχει αυτή η δυνατότητα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί εξοπλισμός κατάλληλος για το σκοπό αυτό. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία αυτού του είδους του εξοπλισμού, όμως απαραίτητο είναι η γνώση των απαιτήσεων από αυτόν τον εξοπλισμό. Συνήθως είναι μία εξωτερική κάρτα DAQ, που διαθέτει αναλογικές και ψηφιακές εισόδους και εξόδους, με θύρα επικοινωνίας με HY (USB, PCI, PCI Express, PXI και PXI-Express και άλλες) και που υποστηρίζεται από κατάλληλο λογισμικό. Υπάρχουν αρκετοί κατασκευαστές αυτού του είδους καρτών, όπως ενδεικτικά αναφέρονται οι εταιρείες National Instruments, Measurement Computing, Advantech και Data Translation.

Επίσης, στην διαδικασία αυτή, της συλλογής, καταγραφής και αρχικής επεξεργασίας των δεδομένων από τα αισθητήρια όργανα, προτείνεται απαραίτητως η χρήση του Data acquisition Toolbox του Matlab. Το Matlab είναι ένα δυνατό υπολογιστικό και αναλυτικό εργαλείο, το οποίο υποστηρίζεται και από μία σειρά από Toolboxes, όπως είναι και το Data acquisition Toolbox. Το Toolbox αυτό παρέχει τις λειτουργίες εκείνες, που είναι απαραίτητες για να συνδεθεί το Matlab και το Simulink με τον εξοπλισμό και το λογισμικό ανάκτησης δεδομένων. Επίσης μέσω του Toolbox αυτού δύναται να πραγματοποιηθεί ρύθμιση του εξοπλισμού ανάκτησης δεδομένων, έτσι ώστε, τα δεδομένα να φορτώνονται για ανάγνωση απευθείας στο Matlab για άμεση ανάλυση. Επίσης μπορούν να αποσταλούν αντίστροφα δεδομένα στα αισθητήρια όργανα, έτσι ώστε να επιτευχθεί έλεγχος όλων των συστημάτων ανάκτησης δεδομένων. Επίσης, δύναται να επιτευχθεί πρόσβαση σε λειτουργίες των αισθητηρίων οργάνων και να συγχρονιστούν τα δεδομένα που λαμβάνονται από πολλαπλούς αισθητήρες. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να αναλύονται δεδομένα καθώς λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο ή να καταγραφούν για μετέπειτα ανάλυση. Επίσης, δύναται να αυτοματοποιούνται οι έλεγχοι. Ακόμη τα Simulink blocks που περιλαμβάνονται στο Toolbox αυτό επιτρέπει να πραγματοποιείται streaming live data απευθείας στα μοντέλα του Simulink έτσι ώστε να επαληθεύονται τα μοντέλα που έχει δημιουργήσει ο χρήστης. Να σημειωθεί ότι το Matlab και πολλά toolboxes καθώς και το Simulink υποστηρίζονται από το ΕΜΠ και η χρήση του θα πραγματοποιηθεί, κατά πάσα πιθανότητα, χωρίς κόστος.

1.4.3.3. Ανάπτυξη Κατάλληλου Πειραματικού Πρωτοκόλλου

Στην παράγραφο αυτή υποβάλλονται προτάσεις, που βασίζονται στις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, που δύνανται να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη προσδιορισμού του κατάλληλου πειραματικού πρωτοκόλλου, ως κάτωθι:

α. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το αρχικό φαινόμενο που θα μελετηθεί είναι η φωτιά, τόσο καύση με φλόγα όσο και υποβόσκουσα καύση.

β. Εκείνο όμως που συνίσταται στην περίπτωση αυτή είναι οι συνθήκες του πειράματος να είναι όντως πεδίου εσωτερικών χώρων. Επομένως, ο χώρος που θα πραγματοποιηθούν τα πειράματα να είναι ένας εσωτερικός χώρος κτιρίου ή μίας άλλης κατασκευής, που να πληρεί τις συνθήκες για πεδίο αλλά και που να προσφέρει δυνατότητες για την αποτελεσματική υποστήριξη των πειραμάτων, δηλαδή παροχή ηλεκτρισμού, εύκολος εξαερισμός, απομονωμένος από άλλες δραστηριότητες, η ελεγχόμενη πρόσβαση στο χώρο και να έχει επαρκή πυροπροστασία.

γ. Εφόσον οι συνθήκες θα είναι ρεαλιστικές ενός πεδίου, κατά συνέπεια και η εκδήλωση της φωτιάς θα είναι ρεαλιστική. Στην πραγματικότητα μία φωτιά, στις

περισσότερες των περιπτώσεων, όταν εκδηλωθεί αφού έχει προηγηθεί κάποιο σημαντικό χρονικό διάστημα κατά το οποίο προϋπήρχε υποβόσκουσα καύση. Οπότε, θα πρέπει να ληφθεί κατάλληλη μέριμνα για το σκοπό αυτό και οπωσδήποτε πολλές δοκιμές προκειμένου να προσδιοριστούν ο συνδυασμός υλικών, η τοποθέτηση τους, καθώς και η αιτία πρόκλησης της φωτιάς. Προφανώς, θα πρέπει να υπάρξουν διάφορες επιλογές. Στα προηγούμενα πειράματα διαπιστώθηκε ότι το ύφασμα είχε σημαντική υποβόσκουσα καύση αλλά και οι συνθήκες του πειράματος καθόριζαν σημαντικά την ένταση και την διάρκεια της υποβόσκουσας καύσης. Επίσης, η αιτία ανάφλεξης είναι ένας σημαντικός παράγοντας που χρήζει διερευνήσεως με δοκιμές και την εφαρμογή τεχνικών λύσεων. Για το θέμα αυτό προτείνεται να δοκιμαστεί η ανάφλεξη υφάσματος από αναμμένο τσιγάρο, από βραχυκύκλωμα, από θερμή πηγή είτε με επαφή είτε με ακτινοβολία ή ακόμη και πυρακτωμένα σωματίδια προερχόμενα από την λειτουργία τροχού λειάνσεως ή ηλεκτροσυγκόλλησης. Εδώ, ίσως, μία αναδρομή στην βιβλιογραφία φωτίσει τις πτυχές αυτού του θέματος.

δ. Επίσης για τον αερισμό προτείνεται η καύση να είναι ελεύθερη και ο καπνός να διαχέεται ελεύθερα εντός του χώρου, ενώ ο εξαερισμός να είναι ο συνήθης για τον χώρο αυτό. Στο σημείο αυτό, τίθεται ένα σοβαρό θέμα το οποίο άπτεται στην επικινδυνότητα, για την υγεία των εμπλεκομένων στα πειράματα αλλά και την ασφάλεια του χώρου από μετάδοση της φωτιάς. Στα δύο αυτά θέματα οφείλεται να δοθεί η δέουσα σημασία προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι οποιοσδήποτε κίνδυνοι. Μία πολύ σημαντική πρόληψη θα ήταν η εκπόνηση ενός λεπτομερούς και εγκεκριμένου σχεδίου ασφαλείας, όπου έτσι, θα ήταν δυνατό να αποτραπούν αρκετές δυσάρεστες πιθανές συνέπειες.

ε. Επίσης, θα πρέπει να εκπονηθούν σενάρια τα οποία θα περιγράφουν την χρονική εξέλιξη της φωτιάς, τα υλικά, την θέση τους στο χώρο, την διάταξη τους, την αιτία πρόκλησης της φωτιάς και οτιδήποτε άλλο απαιτηθεί έτσι ώστε οι συνθήκες του πειράματος να είναι ρεαλιστικές. Τα σενάρια αυτά θα πρέπει να εξασφαλίζουν, όπως και όλο το πειραματικό πρωτόκολλο, ότι τα πειράματα είναι επαναλήψιμα. Αυτό είναι ιδιαίτερος σημαντικό, διότι το κάθε πείραμα θα έχει αρκετές επαναλήψεις, έτσι ώστε στα αποτελέσματα η πιθανότητα στατιστικού λάθους να είναι μικρή αλλά και τα συμπεράσματα στα οποία θα καταλήγει η εργασία αυτή, να είναι ασφαλή και ισχυρά.

στ. Η επιλογή της θέσης των διαφόρων αισθητήρων είναι ιδιαίζουσας σημασίας. Το ιδανικότερο θα ήταν οι διάφοροι αισθητήρες να κάλυπταν πλήρως τον επιτηρούμενο χώρο. Αυτό στη πράξη είναι δύσκολο στην εφαρμογή του και συνεπώς θα πρέπει να γίνουν σημαντικές παραδοχές. Καταρχάς θα πρέπει να οριστεί η ζώνη επιτηρήσεως για κάθε κατηγορία αισθητήρων. Αυτό εξαρτάται κυρίως από την χωροθέτηση και την ύπαρξη αντικειμένων στην επιτηρούμενη ζώνη και από τις δυνατότητες του κάθε αισθητήρα. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελούν οι χημικοί αισθητήρες, καθόσον αυτοί είναι σημειακοί ανιχνευτές. Οπότε, προτείνεται η διερεύνηση εφαρμογής ενσύρματου δικτύου αισθητήρων CO / CO₂ προκειμένου να μελετηθούν διάφοροι συνδυασμοί αριθμού και θέσης στο χώρο αισθητήρων προκειμένου, να καλύπτονται αρκετά σημεία εντός της επιτηρούμενης ζώνης. Με την ίδια φιλοσοφία προτάθηκε και για το PSS-MS η διερεύνηση σύνδεσης της δειγματοληπτικής γραμμής μ' ένα δίκαναλο διακόπτη για την δειγματοληψία από 8 διαφορετικά σημεία, καθώς αυτό θα προσδώσει στο PSS-MS δυνατότητες επιτήρησης χώρου ή πολλαπλών σημείων, αντί του ενός σημείου που γίνεται επί του παρόντος. Σε κάθε περίπτωση, το θέμα αυτό προϋποθέτει αρκετές δοκιμές

προκειμένου να εντοπιστεί η βέλτιστη θέση των αισθητήρων. Η βέλτιστη αυτή θέση, σημαίνει, ότι από τη θέση του κάθε αισθητήρα παρέχεται το ευρύτερο πεδίο επιτήρησης αλλά και η θέση εκείνη όπου θα βοηθήσει να εντοπιστούν τα όρια στην εντοπιστική ικανότητα του κάθε αισθητήρα.

1.4.3.4. Επεξεργασία Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο

Στην παρούσα εργασία, η επεξεργασία δεδομένων έγινε σε δεύτερο χρόνο, δηλαδή, αφού πραγματοποιήθηκε η συλλογή και η καταγραφή των δεδομένων, η επεξεργασία των δεδομένων αυτών πραγματοποιήθηκε σε χρόνο μεταγενέστερο της λήψης αυτών δεδομένων από τους αισθητήρες. Ο λόγος ήταν ότι, δεν απαιτήθηκε επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο από τον σκοπό της εν λόγω εργασίας. Επίσης, η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί λόγω τεχνικών δυσκολιών. Πιο συγκεκριμένα, ο κύριος όγκος των επεξεργασιών της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε στο Matlab του CloudFront του ΕΜΠ. Στο περιβάλλον αυτό δεν ήταν εφικτό να γίνει data streaming αρχείων όπως είναι τα video files, αλλά και εάν ακόμη αυτό ήταν εφικτό, υπήρχε ο σοβαρός περιορισμός της χωρητικότητας μνήμης του Cloud Storage, στον λογαριασμό του υπογράφοντα.

Εκτιμάται ότι, πριν την παράθεση της ανάλυσης του αντικείμενου της παρούσας παραγράφου, είναι χρήσιμο, για την κατανόηση της ανάλυσης αυτής, να δοθούν σύντομοι ορισμοί βασικών εννοιών που θα αναφερθούν στην παράγραφο αυτή.

1.4.3.4.1. Ορισμοί

Stream data: Η αδιάκοπη ροή μιας μακράς ακολουθίας δεδομένων, όπως για παράδειγμα τα αρχεία ήχου και βίντεο.

Data processing: Η διαδικασία με την οποία μετατρέπονται δεδομένα σε πληροφορία, όπως επίσης είναι η ίδια διαδικασία με την οποία μετατρέπεται η πληροφορία σε δεδομένα. Δηλαδή, με την διαδικασία αυτή, μετατρέπονται τα δεδομένα από ενός τύπου format, σ' ένα άλλο.

Real time processing: Η διαδικασία του data processing η οποία πραγματοποιείται άμεσα με την λήψη των δεδομένων ή με την λήψη μίας εντολής.

Data automation: Η χρήση ηλεκτρονικού, ηλεκτρο-μηχανολογικού, ή μηχανικού εξοπλισμού και τις σχετικές τεχνικές για την αυτόματη καταγραφή, επικοινωνία και επεξεργασία δεδομένων και η παρουσίαση της απορρέουσας πληροφορίας.

Data fusion: Η διαδικασία της σύνθεσης πρωτογενών δεδομένων που έχουν ληφθεί από διάφορες πηγές, έτσι ώστε να δημιουργηθεί η σημαντική πληροφορία, η οποία έχει μεγαλύτερη αξία απ' αυτή που λαμβάνεται από κάθε πηγή ξεχωριστά.

Sensor fusion: Η διαδικασία που συνδυάζει τα δεδομένα που λαμβάνονται από διάφορους αισθητήρες, έτσι ώστε η προκύπτουσα πληροφορία να είναι κατά κάποιον τρόπο καλύτερη απ' ότι η πληροφορία που θα προκύψει από κάθε αισθητήρα ξεχωριστά. Στην περίπτωση αυτή η χρήση του όρου “καλύτερη” λαμβάνει την σημασία της πιο ακριβής και πιο ολοκληρωμένης, ή ακόμη πιο αξιόπιστης και έγκυρης.

Multisensor Image fusion: Η διαδικασία που συνδυάζει σχετικές πληροφορίες από δύο ή περισσότερες εικόνες σε μία μόνο εικόνα. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι τέτοιο ώστε η προκύπτουσα εικόνα να παρέχει περισσότερες πληροφορίες από την κάθε αρχική εικόνα ξεχωριστά.

1.4.3.4.2. Προτάσεις

Στην παρακάτω ανάλυση θα γίνει παράθεση προτάσεων αναφορικά με τις κατευθύνσεις που μπορεί να λάβει η επεξεργασία σ' έναν επόμενο κύκλο πειραμάτων.

Ένα από τα κύρια ζητήματα που προτείνεται να διερευνηθούν είναι ότι το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των δεδομένων, που συλλέγονται από τους αισθητήρες, να είναι η πληροφορία στην οποία θα εμπεριέχονται τα παρακάτω κρίσιμα στοιχεία:

- α. η ταυτοποίηση του φαινομένου,
- β. η ταξινόμηση του φαινομένου σύμφωνα με κριτήρια και
- γ. ο εντοπισμός της θέσης του φαινομένου στο χώρο της επιτηρούμενης ζώνης

Όσον αφορά στην **ταυτοποίηση του φαινομένου**, όπως για παράδειγμα, το φαινόμενο της φωτιάς, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το στοιχείο αυτό μπορεί να αναλυθεί στις επιμέρους φάσεις:

(α) Ανίχνευση του συμβάντος.

(β) Αξιολόγηση με βάση ορισθέντες κρίσιμους δείκτες που θα αναφέρονται στα δεδομένα των αισθητήρων, όπως για παράδειγμα οι αλλαγές, πέρα από προκαθορισμένα όρια, σε παρακολουθούμενες τιμές.

(γ) Αποκλεισμός παρόμοιων φαινομένων, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση της φωτιάς αυτό θα μπορούσε να είναι δραστηριότητες όπως το τρόχισμα ή το κόψιμο με τροχό και άλλες παρόμοιες θερμές εργασίες, ή ακόμη και αλλαγή στον φωτισμό.

(δ) Ταυτοποίηση του φαινομένου.

Το επόμενο κρίσιμο στοιχείο, που αφορά στην **ταξινόμηση του φαινομένου**, αυτό ενδεικτικά, θα μπορούσε να παρέχει την πληροφορία, σχετικά με το μέγεθος του φαινομένου, την φάση εξέλιξης που βρίσκεται, και τον ρυθμό με τον οποίο εξελίσσεται. Είναι ευνόητο λοιπόν, ότι για να υπάρξει μία τέτοια ταξινόμηση του φαινομένου, θα πρέπει να ορισθούν κριτήρια, όπου για τον προσδιορισμό τους πιθανόν να απαιτηθούν αρκετές δοκιμές και προεργασία.

Το στοιχείο του **εντοπισμού της θέσης του φαινομένου στο χώρο** της επιτηρούμενης ζώνης παρέχει κρίσιμη πληροφορία. Η πληροφορία αυτή θα συνδράμει τους τελικούς χρήστες στην λήψη απόφασης σχετικά με την κατάλληλη δράση που πρέπει να ληφθεί. Υπάρχουν αρκετές τεχνικές, όπου με βάση τα δεδομένα που προέρχονται από κατάλληλους για το σκοπό αυτό αισθητήρες, είναι εφικτή η χωροθέτηση του φαινομένου. Για την ακουστική ανάλυση, που αφορά στον ηχοεντοπισμό, έχει γίνει ήδη η σχετική αναφορά στο Κεφ. 2 της παρούσας διατριβής. Για την οπτική ανάλυση έχουν αναφερθεί στην βιβλιογραφία αρκετές τεχνικές χωροθέτησης αντικειμένου ή φαινομένου.

Το επόμενο σημαντικό ζήτημα αφορά στην ροή των δεδομένων, ή ακόμη καλύτερα στο streaming live data. Η προσπάθεια εδώ θα επικεντρωθεί, ώστε τα δεδομένα να συλλέγονται και να επεξεργάζονται, προκειμένου να παρουσιάζεται η κρίσιμη πληροφορία σε συνεχή ροή και εάν είναι εφικτό σε πραγματικό χρόνο.

Ήδη στην παραπάνω παράγραφο 1.4.3.2. έχει προταθεί ότι είναι τεχνικά εφικτή, η συλλογή των δεδομένων να γίνεται σε πραγματικό χρόνο και φόρτωση στο Matlab, με την κατάλληλη χρήση του Matlab Data acquisition Toolbox. Επομένως, είναι ένα τεχνικό, σημαντικό όμως, ζήτημα, η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο στο περιβάλλον του Matlab.

Το επόμενο ζήτημα που προτείνεται να διερευνηθεί είναι το data fusion και το sensor fusion. Εκτιμάται ότι ο σκοπός μίας τέτοιας διερεύνησης θα είναι η υποστήριξη των τριών κρίσιμων στοιχείων που προαναφέρθηκαν, δηλαδή η ταυτοποίηση, η ταξινόμηση και ο εντοπισμός της θέσης του φαινομένου στο χώρο.

14.4. Επισημάνσεις

Οι προτάσεις που αναφέρονται στις παραπάνω παραγράφους έγιναν με γνώμονα τις παρακάτω παραμέτρους:

α. Η υποβληθείσα συνολικά πρόταση αποτελεί, κατά την γνώμη του υπογράφοντα, την φυσική εξέλιξη και το επόμενο στάδιο της παρούσας εργασίας.

β. Η υλοποίηση των προτάσεων αυτών εκτιμάται ότι θα είναι σχετικά χρονοβόρος και θα απαιτηθεί σημαντική προσπάθεια και προσήλωση. Όμως το οικονομικό κόστος εκτιμάται ότι θα είναι χαμηλό, καθόσον, το μεγαλύτερο μέρος του εξοπλισμού που θα απαιτηθεί υφίσταται ήδη. Για τον επιπλέον εξοπλισμό που θα απαιτηθεί υπάρχουν προοπτικές προμήθειας του με δανεισμό. Η απαίτηση αγοράς εξοπλισμού εκτιμάται ότι θα είναι μικρή και όχι ιδιαίτερα μεγάλου κόστους.

γ. Η αγορά του λογισμικού Matlab δεν απαιτείται διότι το ΕΜΠ δύναται να παράσχει άδεια χρήσης εντός του ΕΜΠ.

δ. Η υλοποίηση των παραπάνω προτάσεων είναι ένα κατεξοχήν θέμα διεπιστημονικότητας. Υπάρχουν αρκετά θέματα για τα οποία θα αναζητηθεί τεχνική υποστήριξη, πέρα από την ομάδα FIACU (Field Analytical Chemistry and Technology Unit) του ΕΜΠ. Αυτή η τεχνική υποστήριξη, όμως δύναται να αναζητηθεί μεταξύ των λοιπών εταιρών του ευρωπαϊκού προγράμματος SGL (Second Generation Locator) ή εντός της χώρας μας. Το θέμα αυτό, ομολογουμένως παρουσιάζει δυσκολία, όμως θα αποτελέσει μία σημαντική ευκαιρία για επιστημονική συνεργασία και σημαντική ροή τεχνογνωσίας στην ομάδα FIACU.

ε. Η πρόταση, συνολικά, έχει σημαντικά στοιχεία πρωτοτυπίας και καινοτομίας καθώς δεν υφίσταται βιβλιογραφική αναφορά για κάτι παραπλήσιο.

στ. Η υλοποίηση, έστω και μέρους των προαναφερόμενων προτάσεων, δημιουργεί την βάση για πατενταρισμένες μεθοδολογίες και προοπτικές για πιθανές εμπορικές εφαρμογές.

ζ. Η πρόταση, όπως διατυπώνεται, ουσιαστικά, σκιαγραφεί μία μεθοδολογία ανοικτής αρχιτεκτονικής όπου σε δεύτερο χρόνο θα μπορούν να ενσωματωθούν, τόσο και άλλες αισθητήριες τεχνολογίες αλλά και άλλες τεχνικές επεξεργασίας, αναλόγως των εφαρμογών.

η. Η προτεινόμενη μεθοδολογία έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα, το οποίο είναι της παθητικής διαρκούς παρακολούθησης. Δηλαδή, δεν απαιτείται από το προτεινόμενο σύστημα επιτήρησης να αλληλοεπιδράσει με το επιτηρούμενο περιβάλλον προκειμένου, το σύστημα επιτήρησης να λάβει τα αισθητήρια σήματα

από το περιβάλλον αυτό. Όπως για παράδειγμα δεν απαιτείται η εκπομπή κάποιου είδους σήματος από το σύστημα επιτήρησης για να μελετηθεί η ανάκλαση η απορρόφηση του από το επιτηρούμενο περιβάλλον. Επομένως, η προτεινόμενη μεθοδολογία θα πραγματοποιεί “σιωπηλή” παρακολούθηση, ένα πλεονέκτημα που έχει πλειάδα εφαρμογών.

Βιβλιογραφία:

Mo Yang, Tae-Young Kim, Han-Gyu Kim, Hyun-Cheol Hwang, Seok-Kyung Yi, Do-Hoon Kim, Development of a Palm Portable Mass Spectrometer, 6th HEMS Workshop, September 17-20, 2007, Cocoa Beach, Florida

Ouyang Z, Noll R J, Cooks R G, Handheld miniature mass spectrometers, Anal. Chem 81:2421-2425 (2009).

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://www.kore.co.uk/ms-200.htm>

<http://www.hidenanalytical.com/index.php/en/product-catalog/40-gas-sampling-valves/71--8-way-multi-stream-gas-switching-manifold>

<http://www.a-s-i.demon.co.uk/inlets.htm>

http://www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Product/productPDF_5981.pdf

<http://www.businessdictionary.com/>

<http://en.wikipedia.org/wiki/>

www.webopedia.com/

<http://www.articlesbase.com/>

<http://www.answers.com/>

<http://www.thefreedictionary.com/>

<http://dictionary.reference.com/>

<http://fiactu.ntua.gr/>

<http://www.sgl-eu.org/>

Ευρετήριο ΕΙΚΟΝΩΝ

Αριθμός Εικόνας	Τίτλος	Σελ
1	Lindsay's Wheel of Acoustics	12
2	Μικρόφωνο: (α) free field, (β) pressure field και (γ) random incident	15
3	Ακουστικό ακροσωλήνιο	15
4	Μικρόφωνα: α. Spatial resolution, β. Dynamic range	19
5	Μήκη κύματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	23
6	Φάσμα λειτουργίας των πιο διαδεδομένων συσκευών καταγραφής	24
7	Η σύνδεση του κυκλώματος του αισθητήρα και του ψηφιακού συστήματος απεικόνισης.	25
8	Εξέλιξη των συστημάτων κωδικοποίησης βίντεο	31
9	Η λειτουργία της υδρόφοβης μεμβράνη	39
10	Αισθητήρας CO ₂ τύπου FET	40
11	Φορητοί ηλεκτροχημικοί αισθητήρες προσωπικής προστασίας	44
12	Χαρακτηρισμός ιόντων μιας ουσίας με βάση την κινητικότητα τους	48
13	Η δομή μιας τυπικής εφαρμογής IMS	48
14	Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό	60
15	Μεταροπέας A/D	61
16	DAC μεταροπέας τύπου R-2R Ladder Network.	62
17	Διάταξη μηχανής, μειωτήρα και ελικοφόρου άξονα πλοίου	84
18	Σύνδεση αισθητήρων σε δίκτυο για την ανίχνευση πυρκαγιάς	97
19	Αναλυτικό όργανο πεδίου QRAE PLUS, PGM-2000	113
20	Χημικός αναλυτής καυσαερίων MRU Delta 1600 V	114
21	Φορητό όργανο πεδίου Anagas CD98 Carbon Dioxide (CO ₂)	115
22	Ο φασματογράφος μάζας HP 5972A MSD σε συνδυασμό με το δειγματοληπτικό σύστημα PSS, σε διάταξη για την παρακολούθηση των πειραμάτων καύσης εργαστηριακής κλίμακας	115
23	Κάμερα βίντεο CCD, GANZ ZC-Y12PH5 και ο φακός computar TG4Z2813FCS	116
24	Κάμερα θερμογραφικής απεικόνισης FLIR T360	117
25	Θερμική κάμερα FLIR VRS-6	118
26	Μικρόφωνο AKG C 391 B και προενισχυτής AKG SE 300 B	118
27	Εξωτερική USB κάρτα ήχου M- Audio, Fast Track Pro	119
28	Εξαεριστήρας FKSB/4-120/033	120
29	Διακόπτης και ρυθμιστής στροφών εξαεριστήρα REB-5000W	120
30	Συσκευή Pinneacle video transfer	121
31	Συσκευή Crypto TV4ALL	121
32	Μερική όψη της πειραματικής διάταξης, όπου εμφανίζεται ο απαγωγός καυσαερίων, το καύσιμο υλικό και μέρος του PSS-MS καθώς και ο τριχοειδής δειγματοληπτικός σωλήνας του οργάνου.	128
33	Τα εργαλεία και τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στο κριώμα	128

34	Ο ηλεκτρικός εξαεριστήρας, ο διακόπτης ελέγχου, η βάση στηριξης καθώς και οι εύκαμπτοι καπναγωγοί	129
35	Λεπτομέρειες επί της πειραματικής διάταξης	130
36	Γενική όψη του ικριώματος, όπου φαίνεται η θέση δειγματοληψιών και αισθητήρων	131
37	Ο υπόλοιπος πειραματικός εξοπλισμός (φορητός ΗΥ, εξωτερικές κάρτες ήχου και εικόνας και ο αναλυτής καυσαερίων)	132
38	Αλγόριθμος Matlab για την καταγραφή τιμών R, G και B για κάθε pixel της εικόνας	135
39	Απεικόνιση της ακουστικής καταγραφής ενός πειράματος καύσης με την χρήση του λογισμικού Audacity	137
40	Πειραματική διάταξη: (α) Απευθείας παρατήρηση χωρίς εμπόδια και (β) Παρατήρηση καύσης με την παρεμβολή εμποδίων	139
41	Τοποθέτηση καύσιμου υλικού πάνω στην εστία καύσης	140
42	Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από τις διάφορες φάσεις του πειράματος απευθείας παρατήρησης.	141
43	Διάταξη δειγματοληψίας του PSS-MS επί του ικριώματος	143
44	Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση εικόνας για να δειχθεί η μεταβολή του αριθμού των pixels με τιμές $R > 230$ σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης	146
45	Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση εικόνας για να δειχθεί η μεταβολή του αριθμού των pixels με τιμές $G > 230$, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης	148
46	Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση εικόνας για να δειχθεί η μεταβολή του αριθμού των pixels με τιμές $B > 230$ σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης.	150
47	Χρήση του εργαλείου Image Tool του Image Processing Toolbox του Matlab	151
48	Ο αλγόριθμος επεξεργασίας των ακουστικών καταγραφών σε .wav format στο Matlab του CloudFront του ΕΜΠμμ	154
49	Παρακολούθηση του φαινομένου της καύσης με την παρεμβολή εμποδίων: (α) χαρακτηριστική φωτογραφία του φαινομένου και της διάταξης, (β) σκαριφηματική διάταξη	156
50	Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από τις διάφορες φάσεις του πειράματος καύσης του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων.	157
51	Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση εικόνας για να δειχθεί η μεταβολή του αριθμού των pixels με τιμές $R > 230$ σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων.	158
52	Χρονικό διάστημα στο οποίο η κάθε μέθοδος δίνει ενδείξεις της καύσης, στα πειράματα καύσης: (α) χωρίς την παρεμβολή εμποδίων, (β) με εμπόδια	163
53	Πειραματική διάταξη πειραμάτων καύσης τριών διαφορετικών υλικών, υπό κλίση και χωρίς την παρεμβολή εμποδίων	167
54	Σκαριφηματική διάταξη τοποθέτησης καύσιμου υλικού: (α) ύφασμα ή χαρτί και (β) ξύλο	168

55	Αλγόριθμος μετατροπής frame σε gray image και υπολογισμού του μέσου όρου της έντασης του γκρι (average gray intensity) και παράστασης αυτού σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο των πειραμάτων καύσης των τριών διαφορετικών υλικών	171
56	Αλγόριθμος υπολογισμού ολοκληρώματος της ακουστικής ισχύος (integrated Total Power) για την συχνοτική περιοχή 0 – 160, με smoothing 5 ^{ης} τάξεως και παράστασης αυτού σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο των πειραμάτων καύσης των τριών διαφορετικών υλικών	172
57	Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από την καύση των πειραμάτων καύσης του βαμβακερού υφάσματος	174
58	Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από την καύση από τα πειράματα καύσης του βαμβακερού υφάσματος	182
59	Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από τα πειράματα καύσης του ξύλου δρυς	190
60	Δοκιμή εύκαμπτου πυροσβεστικού σωλήνα, σε συνθήκες πεδίου	211
61	Σκαριφηματική διάταξη από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.	214
62	Χαρακτηριστικές φάσεις του πειράματος καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.	216
63	(α) Ο αναλυτής καυσαερίων MRU Delta 1600V στο πεδίο και (β) το άκρο του σωλήνα αέριας δειγματοληψίας και το αισθητήριο του θερμοστοιχείου του αναλυτή καυσαερίων τοποθετημένα σε ύψος περίπου 3 m. Στην ίδια φωτογραφία εικονίζεται και το μικρόφωνο τοποθετημένο σε ύψος περίπου 2,5 m από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.	217
64	Ο φορητός ΗΥ συνδεδεμένος με την εξωτερική κάρτα ήχου στο πεδίο και το μικρόφωνο τοποθετημένο σε ύψος περίπου 2,5 m συνδεδεμένο μέσω καλωδίου, μήκους 15 m, με την εξωτερική κάρτα ήχου από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.	219
65	Η φορητή θερμογραφική κάμερα FLIR T360 τοποθετημένη πάνω σε τρίποδο και συνδεδεμένη με την συσκευή Pinneacle video transfer από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.	224
66	Στιγμιότυπα που εξήχθησαν από το βίντεο της θερμογραφικής κάμερας FLIR T360 από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.	225

Ευρετήριο ΠΙΝΑΚΩΝ

Αριθμός ΠΙΝΑΚΑ	Τίτλος	Σελ
1	Οι κατηγορίες της Ακουστικής	14
2	Αντιπροσωπευτικές τιμές των χαρακτηριστικών μικροφώνου	15
3	Τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στο πλοίο	90

Ευρετήριο ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Αριθμός Διαγράμματος	Τίτλος	Σελ
10.1	Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής (α) O ₂ , (β) CO, (γ) CO ₂ , (δ) NO, (ε) C ₃ H ₈ και (στ) της θερμοκρασίας των καυσαερίων του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης	142
10.2	Απόκριση του MS, κατά την διάρκεια του πειράματος βαθμονόμησης του οργάνου, στα διάφορα αέρια πρότυπα του benzene	144
10.3	Απόκριση του MS κατά την διάρκεια των πειραμάτων καύσης χωρίς την ύπαρξη εμποδίων	145
10.4	Η καμπύλη μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές R>230 σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης	147
10.5	Η καμπύλη μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές G>230, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης	149
10.6	Η καμπύλη μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές B>230 σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης	150
10.7	Οι καμπύλες μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές R, G και B μεγαλύτερες από το 230 σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης	152
10.8	Φασματογράφημα της ακουστικής καταγραφής σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης απευθείας παρατήρησης	155
10.9	Η καμπύλη μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές R>230 σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων.	159
10.10	Η καμπύλη μεταβολής του αριθμού των pixels, σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, με τιμές: (α) G>230 και (β) B>230 του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων.	160
10.11	Οι καμπύλες μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές R, G και B μεγαλύτερες από το 230 σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων.	161
10.12	Φασματογράφημα της ακουστικής καταγραφής σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο του πειράματος καύσης με παρεμβολή εμποδίων.	162
10.13	Οι καμπύλες μεταβολής του αριθμού των pixels με τιμές R>230, σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο, τόσο για την παρακολούθηση με εμπόδια όσο και χωρίς την παρεμβολή εμποδίων	164
11.1	PSS-MS ανάλυση για την καύση υφάσματος	175

11.2	Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για το πείραμα καύσης του βαμβακερού υφάσματος	175
11.3	Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για την επανάληψη του πειράματος καύσης του βαμβακερού υφάσματος	176
11.4	Γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο από το πείραμα καύσης του βαμβακερού υφάσματος,	177
11.5	Συγκριτική γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι και της αντίστοιχης έντασης του R του πειράματος καύσης του βαμβακερού υφάσματος	178
11.6	Γραφική παράσταση της μεταβολής της συνολικής ακουστικής ισχύος σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, του πειράματος καύσης του βαμβακερού υφάσματος	179
11.7	Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων από τα πειράματα καύσης του βαμβακερού υφάσματος	181
11.8	PSS-MS ανάλυση για την καύση λευκού χαρτιού εκτύπωσης	183
11.9	Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για το πείραμα καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης	184
11.10	Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για την επανάληψη του πειράματος καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης	184
11.11	Γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι από το πείραμα καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης	185
11.12	Συγκριτική γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι και της αντίστοιχης έντασης του R σε του πειράματος καύσης του βαμβακερού υφάσματος	187
11.13	Γραφική παράσταση της μεταβολής της συνολικής ακουστικής ισχύος σε του πειράματος καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης	187
11.14	Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων από τα πειράματα καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης	189
11.15	PSS-MS ανάλυση για την καύση του ξύλου δρυς	191
11.16	Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για το πείραμα καύσης του ξύλου δρυς	192
11.17	Χημική ανάλυση του αναλυτή καυσαερίων για την επανάληψη του πειράματος καύσης του ξύλου δρυς	192
11.18	Γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι πείραμα καύσης του ξύλου δρυς	194
11.19	Γραφική παράσταση της μεταβολής της συνολικής ακουστικής ισχύος του πειράματος καύσης του ξύλου	194
11.20	Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων από τα πειράματα καύσης του ξύλου δρυς	196
11.21	Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων του πειράματος (α) καύσης του βαμβακερού υφάσματος (β) καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και (γ) καύσης του ξύλου δρυς	198

11.22	Γραφική παράσταση των μοντελοποιημένων κανονικοποιημένων σημάτων του TIC από την ανάλυση PSS-MS στο χρόνο, από την καύση: (α) του βαμβακερού υφάσματος (β) του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και (γ) του ξύλου δρυς	199
11.23	Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων του μέσου όρου της έντασης του γκρι σε συνάρτηση, με τον πειραματικό χρόνο, από το: (α) πείραμα καύσης του βαμβακερού υφάσματος, (β) πείραμα καύσης του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και (γ) πείραμα καύσης του ξύλου δρυς	201
11.24	Γραφική παράσταση των μοντελοποιημένων κανονικοποιημένων σημάτων του μέσου όρου του γκρι στο χρόνο, από την καύση: (α) του βαμβακερού υφάσματος (β) του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και (γ) του ξύλου δρυς	202
11.25	Γραφική παράσταση της μεταβολής κανονικοποιημένων σημάτων της ακουστικής ισχύος, από το: (α) πείραμα καύσης του βαμβακερού υφάσματος, (β) πείραμα καύσης του λευκού χαρτιού και (γ) πείραμα καύσης του ξύλου δρυς	203
11.26	Γραφική παράσταση των μοντελοποιημένων κανονικοποιημένων σημάτων της ακουστικής ισχύος από την καύση: (α) του βαμβακερού υφάσματος (β) του λευκού χαρτιού εκτύπωσης και (γ) του ξύλου δρυς	204
12.1	Γραφική παράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας, σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο, μετρούμενη από το θερμοστοιχείο σε σημείο, που αντιστοιχεί στο μέσο της κλίνης κατά το διάμηκες από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.	217
12.2	Γραφική παράσταση μεταβολής της συγκέντρωσης από το πείραμα ανοιχτού πεδίου: (α) O ₂ , (β) CO ₂ , (γ) CO και (δ) NO	219
12.3	Κυματομορφή της ηχητικής καταγραφής του πειράματος καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.	220
12.4	Φασματογράφημα της ακουστικής ισχύος σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, στο διάστημα 0 – 12 min, και την ακουστική συχνότητα, για το φάσμα 0 – 2000 Hz από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.	221
12.5	Φασματογράφημα της ακουστικής ισχύος σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, στο διάστημα 0 – 12 min, και την ακουστική συχνότητα, για το φάσμα 0 – 300 Hz από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.	223
12.6	Γραφική παράσταση της μεταβολής της συνολικής ακουστικής ισχύος σε συνάρτηση με τον πειραματικό χρόνο, στο διάστημα 0 – 12 min, για το συχνοτικό φάσμα 0 – 100 Hz από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο.	224

12.7	Γραφική παράσταση του μέσου όρου της έντασης του γκρι σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο, για το frame που περικλείεται από τις στήλες 35 - 604 και τις γραμμές 42-441	227
12.8	Γραφική παράσταση της έντασης του R σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο, για το frame που περικλείεται από τις στήλες 35 - 604 και τις γραμμές 42-441	227
12.9	Γραφική παράσταση του μέσου όρου του γκρι και της έντασης του R σε σχέση με τον πειραματικό χρόνο από το πείραμα καύσης της δασικής ύλης στο ανοιχτό πεδίο, για το frame που περικλείεται από τις στήλες 35 - 604 και τις γραμμές 42-441	228

ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ

ΣΧΕΔΙΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

1. Εισαγωγή

Πριν την διεξαγωγή των τελικών πειραμάτων καύσης της παρούσας διατριβής αναγνωρίστηκε η ανάγκη ώστε να ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα για την ασφάλεια κατά την διάρκεια των πειραμάτων αυτών. Ειδικότερα, η ελεύθερη καύση υλικών εντός του εργαστηριακού χώρου και μάλιστα εκτός του προστατευμένου χώρου των απαγωγών εγκυμονούσε προφανέστατα σημαντικούς κινδύνους. Για τον λόγο αυτό εκπονήθηκε ένα σχέδιο ασφαλείας τόσο για τα πειράματα στο εργαστήριο όσο και ένα αντίστοιχο για το πείραμα μεγάλης κλίμακας στο ανοιχτό πεδίο.

2. Σκοπός και Ιδέα του Σχεδίου Ασφαλείας

Η ανάγκη για την πρόληψη ατυχήματος και αποφυγής βλάβης της υγείας τόσο των άμεσα εμπλεκομένων στα πειράματα αλλά και οποιουδήποτε άλλου τρίτου προσώπου επέβαλλε την εκπόνηση ενός σχεδίου ασφαλείας.

Ο σκοπός του σχεδίου ήταν να καταγράψει μεθόδους, πρακτικές και συμπεριφορές όπου θα αποβλέπουν στον μηδενισμό της πιθανότητας πρόκλησης ατυχήματος λόγω της διεξαγωγής των πειραμάτων που περιγράφονται στο πειραματικό μέρος της παρούσας διατριβής. Επίσης στο σχέδιο οφείλεται να συμπεριληφθούν όλες εκείνες οι ενέργειες οι οποίες θα πρέπει να υλοποιηθούν άμεσα σε περίπτωση που σημειωθεί εξάπλωση της φλόγας πέρα από τα όρια που θέτει το πειραματικό πρωτόκολλο της διατριβής αυτής. Οι ενέργειες αυτές αφορούν στην Πυρόσβεση και Εκκένωση του χώρου του εργαστηρίου όπου πραγματοποιούνται τα υπόψη πειράματα.

ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

3. Εκτίμηση Επικινδυνότητας στο Εργαστήριο

Στα πλαίσια της πυροπροστασίας και αποφυγής της εξάπλωσης της φωτιάς πέραν των πειραματικών ορίων πραγματοποιήθηκε μία διεξοδική εκτίμηση επικινδυνότητας. Ο σκοπός αυτής της εκτιμήσεως ήταν να ερευνηθεί ο χώρος εντός και περίξ του εργαστηρίου ώστε έτσι να εντοπισθούν έγκαιρα οι καταστάσεις εκείνες που η κοινή λογική επέβαλλε να ληφθούν διορθωτικά μέτρα προκειμένου να μηδενιστεί ή να καταστεί ανεκτός και καταγεγραμμένος ο κίνδυνος για το προσωπικό και τις εγκαταστάσεις της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

Στο πλαίσιο αυτό εντοπίστηκαν αρκετά άχρηστα υλικά εντός και εκτός του εργαστηρίου και τα οποία απομακρύνθηκαν καταλλήλως. Επίσης, εντός του εργαστηρίου ευρέθησαν υλικά τα οποία ήταν πρόχειρα στοιβαγμένα, τα οποία στη συνέχεια ευθετίστηκαν και ασφαλίστηκαν καταλλήλως.

Ακόμη εντοπίστηκαν ανενεργά και ενεργά καλώδια εκτός θέσεως των καλωδιαδρόμων. Τα ανενεργά και άχρηστα καλώδια απομακρύνθηκαν καταλλήλως και τα ενεργά σημάνθηκαν και ενημερώθηκε το προσωπικό για την θέση των καλωδίων αυτών αλλά και για τους κινδύνους που εγκυμονούσαν. Τα ενεργά αυτά καλώδια ήταν μονοφασικά και υπό τάση 220 VDC.

Επίσης, εντοπίστηκαν χαλύβδινες φιάλες αερίων 50 λίτρων σε κάθετη θέση και πλησίον της πειραματικής διάταξης. Παρά το γεγονός ότι οι φιάλες περιείχαν αέριο ήλιο, το οποίο είναι αδρανές και ακίνδυνο σε κανονικές συνθήκες, όμως η ύπαρξη αυτών των φιαλών αποτελούσε έναν άμεσο και δυνητικό κίνδυνο μεγάλης σημασίας. Ο δυνητικός αυτός κίνδυνος ήταν απόρροια του γεγονότος ότι περιείχαν αέριο υπό υψηλή πίεση και σε περίπτωση πυρκαγιάς και υπερθέρμανσης τους ο κίνδυνος έκρηξης ήταν άμεσος. Καθόσον οι φιάλες αυτές ήταν απαραίτητες για την λειτουργία του πειραματικού εξοπλισμού των υπόψη πειραμάτων ελήφθη η απόφαση να παραμείνουν στην θέση τους. Για το λόγο αυτό ελήφθη ιδιαίτερη μέριμνα για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων. Πιο συγκεκριμένα, οι φιάλες ασφαλίστηκαν αποτελεσματικά για την αποφυγή της πτώσης των ακόμη και σε ακραίες συνθήκες. Επίσης, παρεμβλήθηκαν μεταλλικά ερμάκια ανάμεσα στις φιάλες και την πειραματική διάταξη έτσι ώστε να εμποδιστεί η άμεση επέκταση της φωτιάς προς την κατεύθυνση των φιαλών αυτών. Ακόμη όλο το προσωπικό ενημερώθηκε για τους κινδύνους που εγκυμονούσαν οι φιάλες αυτές και όλοι εξοικειώθηκαν με τον χειρισμό των μηχανισμών που έχουν οι φιάλες αυτές.

Επίσης εντοπίστηκαν τα δίκτυα και οι διακόπτες του προπανίου που βρίσκονταν εντός και εκτός του εργαστηρίου. Για λόγους πρόληψης κατά την διάρκεια των πειραμάτων διακόπηκε η παροχή προπανίου προς το εργαστήριο και σημάνθηκαν κατάλληλα οι σχετικοί διακόπτες.

Ακόμη εντοπίστηκαν οι διακόπτες φωτισμού, ρευματοληπτών και ηλεκτρικού εξοπλισμού του εργαστηρίου. Σημάνθηκαν κατάλληλα και ότι δεν ήταν απαραίτητο στην πειραματική διαδικασία τέθηκε εκτός. Επίσης, εντοπίστηκαν οι ηλεκτρικοί υποπίνακες τροφοδοσίας του εργαστηρίου και έγινε ενημέρωση του προσωπικού για την θέση τους και τις δέουσες ενέργειες για την απομόνωση τους σε περίπτωση που απαιτούνταν εκτάκτως να απομονωθεί ηλεκτρικά το εργαστήριο.

Επίσης, έγινε καταγραφή όλων των ανοιγμάτων του εργαστηρίου προς το εξωτερικό περιβάλλον και το εσωτερικό του εργαστηρίου. Στην καταγραφή αυτή εντοπίστηκαν πολλά ανοίγματα και συντάχθηκε λίστα ελέγχου προκειμένου να είναι εφικτός ο έλεγχος της σωστής απομόνωσης του εργαστηρίου σε περίπτωση εκκένωσης λόγω πυρκαγιάς. Στον έλεγχο διαπιστώθηκε ότι ήταν εφικτή η μετάδοση της πυρκαγιάς σε παρακείμενο εργαστήριο μέσω της οροφής και των διαχωριστών τοιχωμάτων, καθόσον αυτά δεν ήταν πυράντοχα. Ακόμη διαπιστώθηκε ότι η μετάδοση της πυρκαγιάς ήταν εφικτή και μέσω του εξαερισμού των απαγωγών που ήταν εγκατεστημένοι εντός του εργαστηρίου. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε οι εξαεριστήρες των απαγωγών να τεθούν εκτός λειτουργίας καθόλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Σημαντική επίσης θα ήταν η επιβάρυνση των άμεσα εμπλεκόμενων με την εκτέλεση των πειραμάτων αλλά και οποιουδήποτε άλλου προσώπου από την διαφυγή του καπνού προερχόμενο από τα πειράματα καύσης. Για το λόγο αυτό ελήφθησαν ιδιαίτερα μέτρα πρόληψης και προστασίας τα οποία συνοπτικά είναι τα κάτωθι:

- Ματαίωση πειραμάτων καύσης υλικών τα οποία ενώ είχαν επιλεγεί στον αρχικό πειραματικό σχεδιασμό εντούτοις αποδεδειγμένα ο καπνός προερχόμενος από τη καύση τους είναι εξαιρετικά τοξικός. Τέτοια υλικά που απορρίφθηκαν ήταν τα πλαστικά και οι μονώσεις καλωδίων.
- Καταστρώθηκε σχέδιο αποτελεσματικής απαγωγής του παραγόμενου καπνού από τα πειράματα καύσης. Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να ρυθμιστεί κατάλληλα η ταχύτητα απαγωγής των παραγόμενων καυσαερίων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο κατάλληλος αερισμός του χώρου αλλά και να πληρούνται και οι απαιτήσεις των πειραμάτων, μετά από δοκιμές, επιλέχθηκε συγκεκριμένη ταχύτητα απαγωγής των καυσαερίων και το άνοιγμα συγκεκριμένων ανοιγμάτων προς την ατμόσφαιρα.
- Πάρθηκαν μέτρα ατομικής προστασίας των ερευνητών. Ειδικότερα, όλοι όσοι βρίσκονταν εντός του χώρου του εργαστηρίου έπρεπε υποχρεωτικά να φέρουν προσωπική φιλτράμασκα και προστατευτικά γυαλιά.
- Προκειμένου να μειωθεί στο ελάχιστο η έκθεση των ερευνητών ακολουθήθηκε συγκεκριμένη διαδικασία στην διάρκεια εκτέλεσης των πειραμάτων. Ειδικότερα, μετά την έναρξη των πειραμάτων και αφού είχαν προηγηθεί όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι και ρυθμίσεις των πειραματικών παραμέτρων ο χώρος του εργαστηρίου εκκεωνόταν από όλους τους ερευνητές εκτός από έναν ο οποίος εκ περιτροπής παρέμενε εντός του χώρου για λόγους ασφαλείας της πειραματικής διαδικασίας αλλά και για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των εγκαταστάσεων.

4. Πυροπροστασία – Πυρόσβεση στο Εργαστήριο

Πέραν των ανωτέρω ελήφθησαν επιπλέον μέτρα που αφορούσαν στην λήψη άμεσων μέτρων σε περίπτωση επέκτασης της φωτιάς πέραν της πειραματικής κλίνης. Τα μέτρα αυτά ήταν τα κάτωθι:

- Εντοπισμός και αξιολόγηση όλων των πυροσβεστικών μέσων που υπήρχαν εντός και περίξ του εργαστηρίου. Τέτοια πυροσβεστικά μέσα ήταν φορητοί πυροσβεστήρες ξηράς κόνεως και CO₂ καθώς και πυροσβεστικές φωλιές με μάνικες.
- Πέραν των υφιστάμενων πυροσβεστικών μέσων μεταφέρθηκε πλησίον της πειραματικής κλίνης ένας επιπλέον πυροσβεστήρας CO₂ και ένα δοχείο με νερό.
- Προληπτικά τα υπολείμματα της καύσης από κάθε πείραμα σε προστατευμένο χώρο απορρίπτονταν σε δοχείο με νερό προκειμένου να αποφευχθεί η διαφυγή και η διασπορά πυρακτωμένων εξανθρακωμάτων.
- Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ως καύσιμο υλικό στα πειράματα καύσης φυλάσσονταν σε προστατευμένο χώρο για την αποφυγή διασποράς των υλικών αυτών αλλά και για να αποφευχθεί η έκθεση τους σε περίπτωση επέκτασης της φλόγας πέραν της πειραματικής κλίνης.
- Επίσης είχαν αναρτηθεί προειδοποιητικές ταμπέλες έξω και περίξ του εργαστηρίου προειδοποιώντας τρίτα πρόσωπα για την διεξαγωγή των πειραμάτων καύσης και την αποφυγή της εισόδου τους στο εργαστήριο.
- Σ' όλους τους εμπλεκόμενους στα πειράματα αυτά είχαν κατανεμηθεί καθήκοντα και αρμοδιότητες αναφορικά με την πυρασφάλεια, την πυροπροστασία και την πυρόσβεση σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

- Είχε ενημερωθεί το αρμόδιο για την πυρόσβεση προσωπικό του ΕΜΠ για την διεξαγωγή των πειραμάτων αυτών.
- Είχαν αναρτηθεί σε εμφανές σημείο τα τηλέφωνα επικοινωνίας της πυροσβεστικής υπηρεσία και του πυροσβεστίου του ΕΜΠ.
- Είχε ορισθεί ως υπεύθυνος ασφαλείας για την τήρηση των ανωτέρω αλλά και τον γενικότερο συντονισμό των εμπλεκόμενων στα πειράματα αυτά ο υπογράφων.

5. Σχέδιο Εκκένωσης στο Εργαστήριο

Για την ασφάλεια των εμπλεκόμενων είχε καταρτισθεί και σχέδιο εκκένωσης του χώρου του εργαστηρίου εάν κρινόταν αυτό απαραίτητο. Σε γενικές γραμμές το σχέδιο αυτό προέβλεπε τα παρακάτω:

- Εάν η φωτιά είχε ξεφύγει από τα όρια της πειραματικής κλίνης και οι επακόλουθες πυροσβεστικές ενέργειες ήταν ανεπαρκείς τότε όλοι οι εμπλεκόμενοι όφειλαν να εγκαταλείψουν το εργαστήριο.
- Πριν από την εγκατάλειψη του εργαστηρίου συγκεκριμένα άτομα είχαν επωμισθεί να ασφαλίσουν το εργαστήριο προκειμένου να μειωθούν οι κίνδυνοι και η εξάπλωση της φλόγας. Πιο συγκεκριμένα πριν από την αποχώρηση από το εργαστήριο έπρεπε, στο μέτρο του εφικτού και μέσα στα πλαίσια της κοινής λογικής, να κλείσουν και να ασφαλιστούν όλα τα ανοίγματα του εργαστηρίου για την αποφυγή της τροφοδότησης της φωτιάς με ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Κατόπιν, προβλεπόταν ηλεκτρική απομόνωση του εργαστηρίου από τον προβλεπόμενο ηλεκτρικό πίνακα.
- Είχε προβλεφθεί σταθμός συγκέντρωσης όλων των εμπλεκόμενων στα πειράματα μετά την σήμανση για την εγκατάλειψη του εργαστηρίου. Επίσης είχε ορισθεί και η κανονική διαδρομή και η εναλλακτική της προς το σταθμό συγκέντρωσης. Επίσης είχε συσταθεί η αποφυγή της χρήσης του ανελκυστήρα στην περίπτωση εγκατάλειψης του εργαστηρίου. Ο υπεύθυνος ασφαλείας όφειλε να καταμετρήσει το προσωπικό και να επικοινωνήσει με τις αρμόδιες αρχές.

ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΤΟ ΑΝΟΙΧΤΟ ΠΕΔΙΟ

6. Εκτίμηση Επικινδυνότητας και Ασφάλεια στο Ανοιχτό Πεδίο

Είναι προφανές ότι οι κίνδυνοι στο πείραμα του ανοιχτού πεδίου είναι διαφοροποιημένοι με τους αντίστοιχους των πειραμάτων του εργαστηρίου. Βέβαια η επικινδυνότητα για το προσωπικό διαφοροποιείται ελάχιστα σε σχέση με τους κινδύνους για τις εγκαταστάσεις.

Το πείραμα αυτό πραγματοποιήθηκε στο ανοιχτό γήπεδο ποδοσφαίρου του ΕΜΠ, και για το λόγο αυτό δεν υπήρχαν παρακείμενες εγκαταστάσεις που κινδύνευαν άμεσα από την διαφυγή της φωτιάς. Όμως η επικινδυνότητα εστιαζόταν στην εξάπλωση της παρακείμενης βλάστησης. Η βλάστηση αυτή αποτελούνταν κυρίως από πεύκα και άλλα, χαρακτηριστικά της μεσογειακής χλωρίδας, φυτά. Παρότι το πείραμα πραγματοποιήθηκε εκτός της αντιπυρικής περιόδου, την 23 Απριλίου 2010, οι υψηλές σχετικά θερμοκρασίες για την εποχή και η ταχύτητα του ανέμου ήταν παράγοντες που αύξησαν σημαντικά την επικινδυνότητα του πειράματος.

Πέραν από την επικινδυνότητα που συνδεόταν με την εξάπλωση της φωτιάς στην παρακείμενη βλάστηση σημαντικοί ήταν και οι κίνδυνοι που εγκυμονούσαν για το προσωπικό που είχε εμπλακεί στο πείραμα αλλά και όλους τους άλλους παρατηρητές που είχαν κληθεί να το παρακολουθήσουν. Ειδικότερα, αυτοί η κίνδυνοι περιελάμβαναν:

- Την εισπνοή τοξικού καπνού και σωματιδίων τέφρας
- Εγκαύματα λόγω της μεγάλης κλίμακας φωτιάς
- Θερμοπληξία
- Ηλίαση
- Ηλεκτροπληξία από απροστάτευτα καλώδια
- Μικροτραυματισμοί από πτώση

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω είχε ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα και πάρθηκαν αρκετά μέτρα, όπου τα σημαντικότερα ήταν τα κάτωθι:

- Η πυροσβεστική υπηρεσία είχε ενημερωθεί εγκαίρως και είχε αποστείλει στον χώρο διεξαγωγής των πειραμάτων ένα πυροσβεστικό όχημα κατάλληλα στελεχωμένο καθώς και Αξιοματικό επικεφαλής προκειμένου να αποτελέσει τον σύνδεσμό ανάμεσα στο ερευνητικό προσωπικό και το προσωπικό του πυροσβεστικού οχήματος.
- Είχε διατεθεί και το αρμόδιο προσωπικό πυροπροστασίας του ΕΜΠ καθώς και τα 2 οχήματα άμεσης επέμβασης που διαθέτει το ΕΜΠ.
- Η κλίνη τοποθέτησης της δασικής ύλης είχε τοποθετηθεί στο κέντρο του γηπέδου προκειμένου να υπάρχει μία απόσταση ασφαλείας από την γύρω βλάστηση.
- Είχε οριστεί ζώνη ασφαλείας γύρω από την κλίνη της δασικής ύλης. Η ζώνη ασφαλείας εξασφάλιζε ότι το ερευνητικό προσωπικό μπορούσε να κινείται γύρω από την κλίνη με ασφάλεια. Εντός της ζώνης ασφαλείας μόνο το προσωπικό της πυροσβεστικής υπηρεσίας, που έφερε κατάλληλο προστατευτικό εξοπλισμό και ενδυμασία, μπορούσε να κινηθεί.
- Κατά την διάρκεια του πειράματος και εκτός της ζώνης ασφαλείας πραγματοποιούνταν συνεχώς μετρήσεις της συγκέντρωσης του CO και των σωματιδίων PM_{2,5} για την σήμανση προειδοποίησης σε περίπτωση που σημειωθούν υψηλές τιμές.
- Πέρα από την οριοθέτηση της ζώνης ασφαλείας υπήρχε στο χώρο του πειράματος κυτίο Α' Βοηθειών για την άμεση αντιμετώπιση εγκαυμάτων και μικροτραυματισμών.
- Για την πρόληψη της θερμοπληξίας είχε συσταθεί στους εμπλεκόμενους η αποφυγή κατανάλωσης σκευασμάτων που περιέχουν καφεΐνη (καφές, τσάι και αναψυκτικά τύπου κόλα). Η καφεΐνη είναι γνωστή για την διούρηση που προκαλεί και την επακόλουθη αφυδάτωση. Επιπλέον υπήρχαν αρκετά δοχεία με πόσιμο και δροσερό νερό και συστάθηκε σ' όλους τους εμπλεκόμενους να ενυδατώνονται συχνά.
- Για την πρόληψη της ηλίαςσης όλοι οι ερευνητές έφεραν κατάλληλο και ομοιόμορφο καπέλο.
- Για την πρόληψη της πτώσης συστάθηκε στους εμπλεκόμενους να φέρουν παπούτσια ασφαλείας και εάν αυτό δεν ήταν εφικτό τότε ως εναλλακτικό συστάθηκε η χρήση αθλητικών κλειστών παπουτσιών.

- Τα ηλεκτρικά καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν για την τροφοδότηση των πειραματικών συσκευών είχαν σημειωθεί και προστατευθεί κατάλληλα για την αποφυγή της πρόκλησης πτώσης σε εμπλεκόμενους αλλά και την προστασία της μόνωσης των καλωδίων.
- Είχαν ανατεθεί καθήκοντα και αρμοδιότητες σ' όλους τους εμπλεκόμενους σχετικά με θέματα ασφαλείας. Επίσης, την προηγούμενη μέρα του πειράματος είχαν προηγηθεί αρκετές δοκιμές προκειμένου να εξοικειωθούν όλοι με τους ρόλους τους και τις αρμοδιότητες τους. Επίσης είχε αναπτυχθεί και ένα σύστημα κανόνων έτσι ώστε η επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων να είναι ακριβής και αποτελεσματική. Σημαντικό ήταν και το γεγονός ότι όλοι οι ερευνητές έφεραν ομοιομορφία στην ενδυμασία (κόκκινο καπέλο και μπλούζα και γκρι παντελόνι) μ' αποτέλεσμα να διευκολύνεται έτσι η επικοινωνία και η αναγνώριση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:

Δημοσιεύσεις και Ανακοινώσεις