



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας
Σχολή Χημικών Μηχανικών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΗ ΔΑΡ ΣΤΟΝ
ΡΥΘΜΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΦΛΟΓΑΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΦΛΟΓΑΣ**

Πτυχιακή εργασία του Χαραλάμπους Γρηγόρη

Επιβλέπων καθηγητής : Κος Σ. Λιοδάκης

Αθήνα 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε από τον Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Λιοδάκη Στυλιανό και εκπονήθηκε στο εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας του Τομέα Ι της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ στο εαρινό εξάμηνο του 2011.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ευφλεκτότητας 2 κυρίαρχων δασικών ειδών, με τη μέθοδο του ρυθμού διάδοσης φλόγας και η επίδραση του επιβραδυντή DAP στην θερμοκρασία καύσης, στον ρυθμό διάδοσης φλόγας και το ύψος φλόγας. Τα είδη αυτά συλλέχθηκαν από περιοχές ζώνης μείξης δάσους-κατοικιών (WUI – Wildland Urban Interface), δηλαδή περιοχές όπου οι κατοικίες και η δασική έκταση είτε αναμειγνύονται, είτε γειτνιάζουν.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω:

- Τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. **Λιοδάκη Στυλιανό** για την ανάθεση του θέματος, και την βοήθειά του κατά την εκπόνηση της εργασίας.
- Την υποψήφιο Διδάκτορα, **Ελπίδα Ευθυμίου**, δασολόγο του Α.Π.Θ., για την καθοδήγηση, τις συμβουλές της, τη συνεχή της βοήθεια και την εποικοδομητική και απρόσκοπτη συνεργασία που είχαμε καθ' όλο το διάστημα της προετοιμασίας της Διπλωματικής Εργασίας.
- Τα λοιπά μέρη του εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, καθώς ο καθένας βοήθησε με τον τρόπο του για την ετοιμασία της εργασίας.
- Την οικογένεια μου και κοντινά μου άτομα που μου στάθηκαν σε όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στο Ε.Μ.Π. και κατά την ετοιμασία της εργασίας αυτής.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2012

Χαραλάμπους Γρηγόρης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε μέσα στα πλαίσια ευρύτερης ερευνητικής μελέτης του τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., η οποία αφορά την παρέμβαση της επιστήμης στο μεγάλο και σύνθετο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών.

Στη Μεσόγειο οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν μια κύρια οικολογική διεργασία, η οποία ασκεί μια σημαντική επίδραση στο φυσικό κύκλο διαδοχής καθώς και στην δομή των οικοσυστημάτων. Η επίδραση μιας πυρκαγιάς σε ένα οικοσύστημα μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της πυρκαγιάς. Όμως, ο υψηλός αριθμός των δασικών πυρκαγιών που εκδηλώνονται στην Ελλάδα κάθε χρόνο αποτελεί μια πραγματική απειλή για τα φυσικά οικοσυστήματα.

Οι δασικές πυρκαγιές ανέκαθεν αποτελούσαν το σημαντικότερο πρόβλημα των Ελληνικών δασών, και κατά την τελευταία εικοσιπενταετία το κύριο αντικείμενο ενασχόλησης της δασικής και πυροσβεστικής υπηρεσίας, από πλευράς δημοσιονομικών δαπανών στον τομέα των δασών. Οι δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα θεωρούνται περίπλοκο, διαρκές και συνεχώς επιδεινούμενο περιβαλλοντικό πρόβλημα που αποδίδεται στις κλιματολογικές συνθήκες, στις ανθρώπινες δραστηριότητες, στην έλλειψη θεσμικών μέτρων, στον ανεπαρκή εξοπλισμό και οργάνωση των δασοπυροσβεστικών δυνάμεων, καθώς και σε συνδυασμούς των παραπάνω παραγόντων. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες και η οικιστική επέκταση ασκούν ολέθρια πίεση στα δάση της χώρας μας, τα οποία αντικαθίστανται σταδιακά από αστικές, περιαστικές και τουριστικές εκτάσεις. Παγκοσμίως, η καταστροφή των δασών από πυρκαγιές έχει ως αποτέλεσμα όχι μόνο την απώλεια των κυριότερων δεσμευτών του CO₂ της ατμόσφαιρας, αλλά και τον ταυτόχρονο εμπλουτισμό της με το CO₂ και το CH₄ που προέκυψαν ως προϊόντα της καύσης της δασικής βιομάζας, με αποτέλεσμα το κλίμα της γης να γίνεται προοδευτικά θερμότερο, ξηρότερο και ευεπίφορο για την έναρξη και εξάπλωση δασικών πυρκαγιών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται ο ρυθμός διάδοσης φλόγας, η θερμοκρασία καύσης, το ύψος φλόγας και η επίδραση του επιβραδυντή DAP στα πιο πάνω, δύο δασικών υλών με την βοήθεια της μεθόδου διάδοσης φλόγας και την παράλληλη χρήση θερμικής κάμερας.

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι 1030 της EPA και A10 της E.E για τον προσδιορισμό του ρυθμού εξάπλωσης φλόγας. Διεξήχθησαν έξι πειράματα για κάθε δασικό είδος και κάθε κλίση. Ο ρυθμός διάδοσης φλόγας προέκυψε ως ο χρόνος που απαιτήθηκε για να διανύσει το φλεγόμενο μέτωπο μία ειδικά χαραγμένη απόσταση 100mm σε πλάκα-δειγματοφορέα από αλουμίνιο. Η καύση έγινε πιλοτικά με τη βοήθεια φιάλης προπανίου.

Από την επεξεργασία των μετρήσεων που ελήφθησαν για τις παραπάνω δασικές ύλες, εξετάστηκαν 4 κριτήρια: ο ρυθμός διάδοσης της φλόγας, το μέσο ύψος και η ένταση της φλόγας, η θερμοκρασία καύσης και η επίδραση επιβραδυντή στις παραπάνω παραμέτρους.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις παραπάνω παραμέτρους εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα: Το *Cypressus sempervirens* έχει μεγαλύτερο ρυθμό καύσης, μεγαλύτερο ύψος φλόγας και μικρότερη θερμοκρασία καύσης από το *Quercus coccifera*. Η επίδραση του επιβραδυντή διαφέρει ανάλογα το είδος της δασικής ύλης και της παραμέτρου που μελετάται.

Τέλος, η μέθοδος μέτρησης του ρυθμού εξάπλωσης φλόγας που χρησιμοποιήθηκε, απέδωσε ομολογουμένως αξιόπιστα και αναπαραγωγίσιμα αποτελέσματα μεταξύ τους, συγκριτικά και με τα συμπληρωματικά πειράματα που διεξήχθησαν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 Τα δάση.....	9
----------------	---

1.1 Ορισμοί και Έννοιες	9
1.2 Δομή δασικού οικοσυστήματος	10
1.3 Χρησιμότητα του δάσους	12
1.4 Τα δασικά οικοσυστήματα της Ελλάδας	14
1.5 Είδη βλάστησης στην Ελλάδα.....	20
2 Δασική Ύλη.....	23
2.3 Το ξύλο	23
2.4 Σύσταση του ξύλου σε χημικά στοιχεία.	23
2.5 Χημική σύσταση ξύλου	25
2.5.1 Γενικά.....	25
2.5.2 Μικρομοριακές χημικές ενώσεις.....	26
2.5.3 Μακρομοριακές χημικές ενώσεις.....	29
2.6 Μεταβλητότητα στη χημική σύσταση του ξύλου	32
3 Δασικές πυρκαγιές.....	37
3.1 Εισαγωγή.....	37
3.2 Αίτια πρόκλησης πυρκαγιών	38
3.3 Παράγοντες που επιδρούν στην δασική πυρκαγιά.....	39
3.3.1 Μετεωρολογικοί παράγοντες.....	40
3.3.2 Τοπογραφική διαμόρφωση	42
3.3.3 Μορφολογία περιοχής.....	43
3.3.4 Κάλυψη εδάφους.....	43
3.3.5 Κλίμα και εποχή πυρκαγιών	43
3.3.6 Επίδραση των χαρακτηριστικών της δασικής καύσιμης ύλης	44
3.4 Δείκτες επικινδυνότητας δασικής πυρκαγιάς.....	44
3.5 Είδη δασικών πυρκαγιών.....	45
3.5.1 Πυρκαγιές επιφάνειας.....	46
3.5.2 Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες	46
3.5.3 Πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες	46
3.5 Μέρη πυρκαγιάς.....	46
3.6 Επιπτώσεις από τις πυρκαγιές.....	48
3.6.1 Επιπτώσεις στην υγεία	48

3.6.2 Επιπτώσεις στο έδαφος.....	49
3.6.3 Επιπτώσεις στις λεκάνες απορροής.....	51
3.6.4 Επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα.....	52
3.6.5 Επιπτώσεις στο υδρογραφικό δίκτυο και στη διάβρωση.....	53
3.6.7 Κίνδυνοι κατολίσθησης.....	54
3.6.8 Υδρολογικοί κίνδυνοι.....	54
3.6.9 Τεχνολογικοί κίνδυνοι.....	55
3.6.10 Θετικές επιπτώσεις πυρκαγιών.....	55
3.7 Μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης πυρκαγιών.....	56
4 Χρήση χημικών επιβραδυντών στις δασικές πυρκαγιές.....	59
4.1 Γενικά.....	59
4.2 Τρόπος αποτελεσματικής δράσης επιβραδυντή.....	60
4.3 Κατηγοριοποίηση επιβραδυντών.....	60
4.3.1 Χημική σύσταση.....	61
4.3.2 Βαθμός δράσης.....	61
4.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Χρήσης Χημικών Επιβραδυντών.....	64
5 Υπέρυθρη Θερμογραφία.....	66
5.1 Ορισμοί.....	66
5.2 Παθητική και ενεργητική θερμογραφία.....	66
5.2.1 Παθητική θερμογραφία.....	67
5.2.2 Ενεργητική θερμογραφία.....	67
5.3 Υπέρυθρη θερμογραφία και εκπεμπτικότητα (emissivity) των υλικών.....	67
5.3.1 Εκπεμπτικότητα - Ορισμός.....	67
5.3.2 Φάσμα εκπεμπτικότητας υλικών.....	68
5.3.4 Η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης στην εκπεμπτικότητα των υλικών.....	69
5.3.5 Η επίδραση της εκπεμπτικότητας στη θερμογραφία.....	71
5.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα υπέρυθρης θερμογραφίας.....	72
5.5 Εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας.....	73
6.1 Σκοπός.....	75
6.2 Εξεταζόμενες ύλες.....	76
6.2.1 Κυπαρίσσι (<i>Cypressus sempervirens</i>).....	76

6.2.2 Πουρνάρι (<i>Quercus coccifera</i>).....	77
6.2.3 Το Dar ως επιβραδυντής.....	79
6.3 Δειγματοληψία.....	80
6.3.1 Περιοχή δειγματοληψίας.....	80
6.3.2 Διαδικασία Δειγματοληψίας.....	82
6.4 Επεξεργασία δασικής ύλης.....	83
6.4.1 Μύλος άλεσης.....	84
6.4.2 Μηχανικά κόσκινα.....	85
6.4.3 Θάλαμος εγκλιματισμού.....	87
6.5 Πειραματική διάταξη.....	88
6.5.1 Συσκευή μεθόδου διάδοσης φλόγας.....	89
6.6 Μέθοδος.....	91
6.6.1 Πρώτος κύκλος πειραμάτων.....	91
6.6.2 Δεύτερος κύκλος πειραμάτων.....	92
6.7 Παρατηρήσεις.....	92
6.8 Αποτελέσματα –Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	94
6.8.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....	95
6.8.1.2 Πειραματικά αποτελέσματα ρυθμού διάδοσης φλόγας.....	95
6.8.1.2.1 Χρόνος καύσης – ρυθμός καύσης.....	97
Χωρίς επιβραδυντή.....	97
Με επιβραδυντή.....	98
6.8.1.2.2 Ύψος φλόγας.....	98
Χωρίς επιβραδυντή.....	100
Με επιβραδυντή.....	100
6.8.1.2.3 Θερμοκρασία καύσης.....	101
6.9 Συζήτηση Αποτελεσμάτων.....	104
6.9.1 Καυσιμότητα – Διατηρησιμότητα.....	104
6.9.2 Θερμοκρασία φλόγας κατά την διάρκεια της καύσης.....	106
6.9.3 Επίδραση Επιβραδυντή.....	107
6.10 Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	108



Θεωρητικό Μέρος

1 Τα δάση

1.1 Ορισμοί και Έννοιες

Δάσος : Σύμφωνα με το Σύνταγμα της Ελλάδας «Ως δάσος ή δασικό οικοσύστημα νοείται το οργανικό σύνολο άγριων φυτών με ξυλώδη κορμό πάνω στην αναγκαία επιφάνεια του εδάφους, τα οποία, μαζί με την εκεί συνυπάρχουσα χλωρίδα και πανίδα, αποτελούν μέσω της αμοιβαίας αλληλεξάρτησης και αλληλοεπίδρασής τους, ιδιαίτερη βιοκοινότητα (δασοβιοκοινότητα) και ιδιαίτερο φυσικό περιβάλλον (δασογενές). Δασική έκταση υπάρχει όταν στο παραπάνω σύνολο η άγρια ξυλώδης βλάστηση, υψηλή ή θαμνώδης, είναι αραιά.».[1]

Το δάσος αποτελείται από ένα σύνολο φυτών (δένδρα, θάμνοι, φρύγανα, πόες, λουλούδια, κ.α) με κυρίαρχα τα δένδρα, τα οποία σε συνάρτηση με τα διάφορα ζώα, το έδαφος και το κλίμα της περιοχής, αποτελούν το δασικό οικοσύστημα.

Οι δασικές εκτάσεις φέρουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τα δάση, με τη διαφορά ότι η βλάστηση είναι πιο αραιή. Οι περισσότερες από τις εκτάσεις αυτές, αν προστατευθούν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, θα εξελιχθούν σε δάση.

Ένα δάσος μπορεί να χωριστεί σε 3 κατηγορίες

- Παρθένο Δάσος
- Φυσικό Δάσος
- Τεχνητό Δάσος

Σήμερα το 1/4 της ελληνικής επικράτειας (25.5% η 33.590.000 στρέμματα) αποτελούνται από δάση που στην πλειοψηφία τους είναι φυσικά και χαρακτηρίζονται από υψηλή. Επιπλέον το 23.9% (31.540.000 στρέμματα) της ελληνικής επικράτειας καλύπτεται από δασικές εκτάσεις, οι οποίες όμως συχνά είναι υποβαθμισμένες καθώς βρίσκονται συνήθως κοντά σε αστικές και τουριστικές περιοχές.

Το δάσος είναι ένα αρκετά πολύπλοκο οικοσύστημα, ένας ζωντανός οργανισμός κοινοβίωσης φυτών και ζώων με κύριο χαρακτηριστικό της επικράτηση των δέντρων. Παρόλο ότι κάθε δασικό είδος έχει τις δικές του απαιτήσεις σε υγρασία, θρεπτικά στοιχεία και κλιματικούς παράγοντες. Υπάρχει αμοιβαία αλληλεπίδραση και αλληλεξάρτηση μεταξύ φυτών, ζώων και του φυσικού τους περιβάλλοντος. Από τις σχέσεις αυτές δημιουργείται μια ισορροπία η οποία είναι και το βασικό κλειδί στην οικολογική ισορροπία του ευρύτερου περιβάλλοντος. Η ισορροπία αυτή αυτορυθμίζεται με εσωτερικούς μηχανισμούς των βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων. Αν όμως δράσουν εξωτερικοί παράγοντες όπως ο άνθρωπος με τις επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές, την υπερβόσκηση και τις εκτεταμένες υλοτομίες τότε το δασικό οικοσύστημα υποβαθμίζεται.[2]

Δασικό οικοσύστημα: είναι το οικοσύστημα των φυτών και ζώων, στο οποίο κυριαρχούν τα δενδρώδη δασικά είδη.[8]

Βλάστηση: Με τον όρο βλάστηση εννοούμε τον τρόπο με τον οποίο τα φυτά σχηματίζουν διάφορες ομάδες στο φυσικό περιβάλλον.[10]

1.2 Δομή δασικού οικοσυστήματος

Η δομή του δασικού οικοσυστήματος χαρακτηρίζεται από δύο βασικά στοιχεία που το προσδιορίζουν:

Τους αβιοτικούς παράγοντες η οποίοι αποτελούνται από ένα σύνολο από μη ζωντανούς φυσικούς ή χημικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως:

- το έδαφος
- το νερό

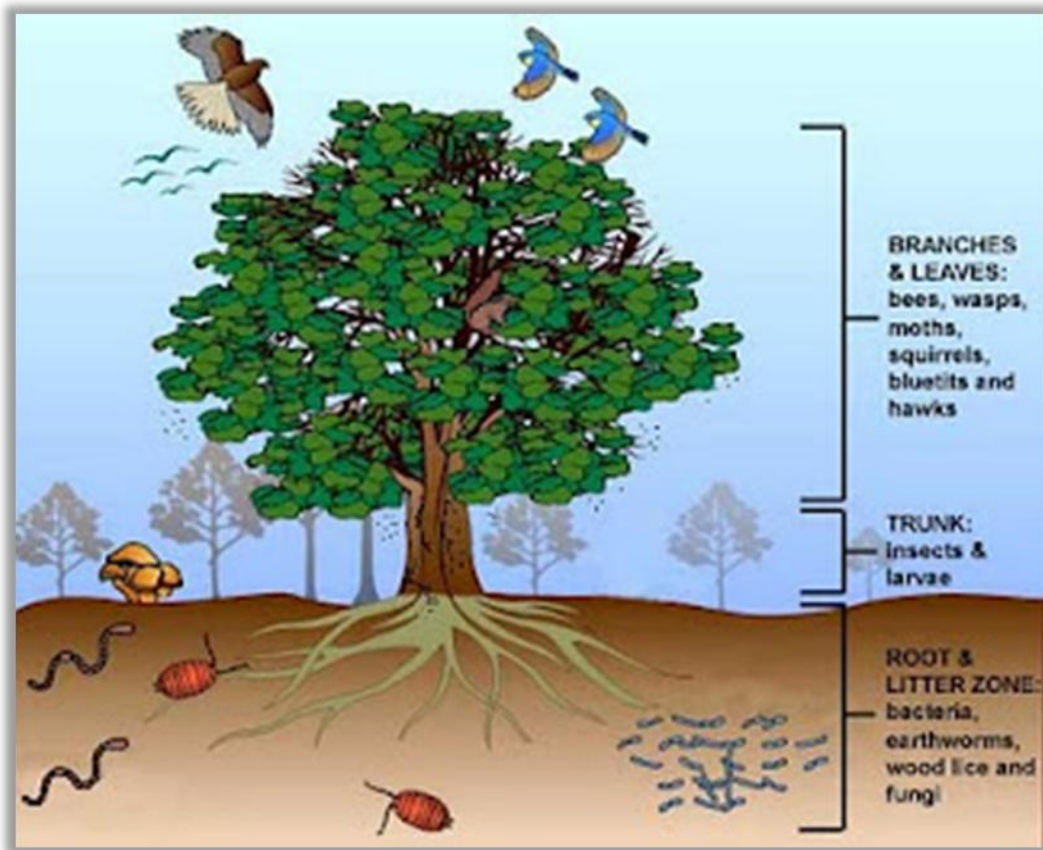
- το κλίμα (ηλιακή ακτινοβολία, φως, θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος κ.α.)
- ανόργανα στοιχεία και ενώσεις (οξυγόνο, άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα κ.α.)
- οργανικές ενώσεις(πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, κ.α.)

Τους βιοτικούς παράγοντες δηλαδή, το σύνολο των ζωντανών οργανισμών που διακρίνεται κατά σειρά σε:

- Κοινότητα των φυτών όπου κυριαρχούν ανώτερα είδη φυτών όπως δένδρα, θάμνοι, ποώδη φυτά οι λεγόμενοι παραγωγοί
- Κοινότητα των ζώων που είναι το σύνολο των ζωικών οργανισμών οι λεγόμενοι καταναλωτές
- Κοινότητα των μικροοργανισμών ή αποικοδομητών που αποτελείται από ετερότροφους οργανισμούς κυρίως βακτήρια και μύκητες που διασπών την νεκρή οργανική ύλη και την μετατρέπουν σε ανόργανα μόρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν πάλι από τους παραγωγούς

Οι αβιοτικοί και οι βιοτικοί παράγοντες βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπίδραση με αδιάκοπη μεταφορά ενέργειας μεταξύ τους αλλά και στο εσωτερικό τους. Το δάσος είναι ένα από τα πολυπλοκότερα οικοσυστήματα της φύσης που καλύπτουν το 32% της χερσαίας γήινης επιφάνειας του πλανήτη. Με κριτήριο το ύψος των ώριμων φυτών του δάσους διακρίνονται όροφοι: ο ανώτερος που συγκροτείται από τα δένδρα και ο κατώτερος που συγκροτείται από ποώδη φυτά. Η σύνθεση των δασών εξαρτάται κυρίως από το έδαφος και το κλίμα.[3]

Οι αβιοτικοί και οι βιοτικοί παράγοντες βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπίδραση, με αδιάκοπη μεταφορά ενέργειας μεταξύ των δύο συνόλων, αλλά και στο εσωτερικό τους. Το δάσος είναι ένα από τα πολυπλοκότερα συστήματα που απαντώνται στη φύση και αντιπροσωπεύει το είδος του χερσαίου οικοσυστήματος με τη μεγαλύτερη κατανομή στον πλανήτη (καλύπτει το 32% της γήινης επιφάνειας).[4]



Εικόνα 1.1: Παρουσίαση δασικού οικοσυστήματος.[11]

1.3 Χρησιμότητα του δάσους

1. Διαμορφώνει το κλίμα. Το δάσος επιδρά στη θερμοκρασία του αέρα και του εδάφους.
2. Συμβάλλει στον κύκλο του οξυγόνου. Η καθαρή παραγωγή οξυγόνου είναι σχεδόν δεκαπλάσια από οποιοδήποτε άλλο οικοσύστημα.
3. Συμβάλλει στη ροή του διοξειδίου του άνθρακα. Οι παραγωγοί καταναλώνουν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα για τη φωτοσύνθεση. Παρόλα αυτά η συγκέντρωσή του αυξάνεται, λόγω της συνεχούς αύξησης της κατανάλωσης υγρών και στερεών καυσίμων. Το CO₂ θεωρείται ως κύριος συντελεστής της δημιουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου και των κλιματικών αλλαγών. Το δάσος μαζί με τους ωκεανούς

αποτελούν τους βασικούς αναδραστικούς μηχανισμούς που ρυθμίζουν την ισορροπία του κύκλου του CO₂. Τελευταία όμως έχουν χάσει τη ρυθμιστική τους ικανότητα, αφού η επιφάνεια των δασών μειώνεται συνεχώς (ήδη έχουν καταστραφεί τα 2/3 των δασών του πλανήτη μας) ενώ οι ωκεανοί χάνουν τη ρυθμιστική τους ικανότητα λόγω ρύπανσης.

4. Απορρυπαίνει και μειώνει το θόρυβο.[5]
5. Συμμετέχει στον κύκλο του νερού (Υδρολογικός κύκλος). Το δάσος αποτρέπει τις πλημύρες και ταυτόχρονα εμπλουτίζει τον υπόγειο υδροφορέα. Το δασικό έδαφος έχει μεγάλη ταμιευτική ικανότητα, αφού συγκρατεί το νερό κατά την περίοδο των βροχών και το αποδίδει κατά την περίοδο της ανομβρίας διατηρώντας σταθερή την παροχή των πηγών. Το πόσο σημαντική είναι η επίδραση του δάσους στην αποτροπή των πλημμύρων το ζούμε στη χώρα μας κάθε χρόνο. Μετά την καταστροφή των δασών από πυρκαγιές ακολουθούν σχεδόν πάντα, εφόσον δε ληφθούν μέτρα, καταστροφικές πλημύρες.[2]
6. Προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση. Το δάσος ασκεί πολύ μεγάλη επίδραση στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση και συνεπώς από την υποβάθμιση και την ερημοποίηση, συνέπειες που έχει γνωρίσει η χώρα μας.
7. Συμβάλλει στη βιοποικιλότητα. Το δάσος εξασφαλίζει κατάλληλες συνθήκες για την προστασία, διατροφή και διατήρηση πολλών ζωικών οργανισμών (πανίδα) και δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για τη διατήρηση διαφόρων φυτικών ειδών, δηλαδή τη χλωρίδα. Σε μια συνέντευξή του ο διάσημος καρδιοχειρουργός Μαγκντί Γιακούμπ επεσήμανε τη σημασία της βιοποικιλότητας λέγοντας: «Το είδος των επεμβάσεων που κάνουμε θα ήταν αδύνατο χωρίς φάρμακα όπως το Tubocurarine, το Digoxin και το Cyclosporin, που προέρχονται από βότανα και φυτά των τροπικών δασών. Αλλά πέρα από τις πρακτικές χρήσεις των φυτών, δε θα πρέπει να ξεχνάμε και τους ηθικούς και συναισθηματικούς λόγους για τη σωτηρία τους»

8. Εξασφαλίζει πρώτες ύλες. Το δάσος είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος με πολύ μεγάλη οικονομική σημασία. Ένα από τα πολυτιμότερα προϊόντα του είναι το ξύλο, το οποίο χρησιμοποιείται στην οικοδομική, τη ναυπηγική, την κατασκευή επίπλων, εργαλείων, παιχνιδιών και διαφόρων αντικειμένων. Ξύλο κατώτερης ποιότητας χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη, αλλά και στην παραγωγή χαρτοπολτού για την κατασκευή χαρτιού και χαρτονιού. Το ξύλο αποτελεί σήμερα την πρώτη ύλη για 175 τουλάχιστον βιομηχανικά χημικά προϊόντα. Η απόσταξή του δίνει μεγάλο αριθμό προϊόντων όπως η μεθανόλη, η ακετόνη, που είναι απαραίτητα για την παρασκευή των χρωμάτων. Η εκμετάλλευση του ξύλου από το δάσος θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις αρχές της αειφορικής διαχείρισης, έτσι ώστε η οικονομική αυτή δραστηριότητα να μην έχει δυσμενείς συνέπειες για το οικοσύστημα. Άλλα προϊόντα που παίρνουμε από το δάσος είναι ο φλοιός, το ρετσίνι, το μέλι, τα μικρά φρούτα του δάσους, αρωματικά φύλλα (δάφνη), φαρμακευτικά βότανα.[6,7]
9. Προσφέρει εκπαίδευση και αναψυχή. Το δάσος μπορεί να γίνει χώρος-πεδίο εφαρμογής της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης. Οι μαθητές έρχονται σε επαφή με τη ζωή του δάσους, παρατηρούν, καταγράφουν, αισθάνονται, παίζουν, εξιχνιάζουν, γνωρίζουν, μαθαίνουν. Αυτό μπορεί να τους βοηθήσει να αναπτύξουν υπεύθυνες στάσεις και συμπεριφορές απέναντι στο περιβάλλον. Ο οικοτουρισμός (δασικός τουρισμός, περιπατητικός τουρισμός κ.λ.π.) αποτελεί μια ήπια και φιλική προς το περιβάλλον μορφή τουρισμού που αναπτύσσεται τελευταία και στη χώρα μας με λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον απ' ότι ο μαζικός συμβατικός τουρισμός.

1.4 Τα δασικά οικοσυστήματα της Ελλάδας

Το μεσογειακό οικοσύστημα χαρακτηρίζεται από θερμά και ξηρά καλοκαίρια και από ήπιους και βροχερούς χειμώνες και φωτοπερίοδο ημερήσια και εποχιακή. Οικοσυστήματα με αυτά τα χαρακτηριστικά συναντώνται σε πέντε περιοχές ανά την υφήλιο.

1. Μεσόγειος Λεκάνη (2.300.000 km²)

2. Καλιφόρνια (324.000 km²)
3. Χιλή (140.000 km²)
4. Νότια Αφρική (90.000 km²)
5. Νότια Αυστραλία (112.260 km²)

Το μεγαλύτερο ποσοστό των ελληνικών δασών ανήκει στην κατηγορία της Μεσογειακής Λεκάνης. Ταξινόμηση των δασικών οικοσυστημάτων μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Με βάση τα θερμικά κριτήρια ακολουθεί μια σχηματική ταξινόμηση των ειδών βλάστησης σε ορόφους βλάστησης.

Με τον όρο όροφος βλάστησης εννοούμε την κατακόρυφη διαδοχή των διαπλάσεων της φυσικής βλάστησης από αείφυλλα, πλατύφυλλα μέχρι τις αλπικές διαπλάσεις. Στην Ελλάδα συναντώνται οι εξής όροφοι βλάστησης:

- Θερμομεσογειακός
- Μεσογειακός
- Υπερμεσογειακός
- Ορεινός Μεσογειακός
- Ορομεσογειακός

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των πιο πάνω:

Θερμομεσογειακός όροφος βλάστησης

Η ζώνη αυτή είναι γνωστή και ως ζώνη των θερμόφιλων αείφυλλων-πλατύφυλλων. Καλύπτει την παραλιακή ζώνη της χώρας και συναντάται σε υψόμετρα από 250 m μέχρι 400 m ανάλογα με τις εκθέσεις του ανάγλυφου και του γεωγραφικού πλάτους. Καταλαμβάνει την ξηρότερη ανατολική και νοτιοανατολική Ελλάδα μέχρι το Πήλιο, τα νησιά του νότιου Αιγαίου, τις χαμηλότερες θέσεις της χερσονήσου της Χαλκιδικής και του βόριου τμήματος της, καθώς και μικρό μέρος των νησιών του Ιονίου. Από μεριάς βλάστηση χαρακτηρίζεται από θερμόφιλους σχηματισμούς.

- Κωνοφόρων όπως αρκεύθων (*Juniperus phoenicea*), χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*), τραχείας πεύκης (*Pinus brutia*), κουκουναριάς (*Pinus pinea*).
- Σκληρόφυλων ειδών όπως χαρουπιάς (*Ceratonia siliqua*), σκίνου (*Pistachio lentiscus*), αγριελιάς (*Olea europaea*).
- Απαντούν επίσης φυτοκοινότητες χαμηλής μακκίας βλάστησης με τοπική κυριαρχία του πουρναριού (*Quercus coccifera*), με δενδρώδη γαλατσίδα (*Euphorbia dendroides*) κυρίως στην περιοχή του βόρειου κορινθιακού κόλπου, και φρύγανων όπως άσφακας (*Phlomis fruticosa*), λαδανιάς (*Cistus sp*), θυμάρι (*Coridothymus capitatus*), αφάνας (*Genista acanthoclada*), αστοιβής (*Sarcopoterium spinosum*), κτλ.
- Ιδιαίτερα οικολογική αξία έχουν τα υπολειμματικά δάση βελανιδιάς (*Quercus macrolepis*) που συναντώνται κυρίως στην ανατολική Αττική, νότια παραλιακή Φωκίδα, περιοχή στροφιλιάς Αχαΐας και νησιά του Αιγαίου (Κρήτη και Νίσσηρο).

Μεσογειακός όροφος βλάστησης

Εμφανίζεται στην Πελοπόννησο στις υγρότερες ακτές της δυτικής Ελλάδας και αμέσως από τα παράλια της Θεσσαλίας και της Ηπείρου. Χαρακτηρίζεται κυρίως από την υποπαραλιακή και υποορεινή ζώνη της χώρας σε υψόμετρα από 400 m μέχρι και 1100 m.

Καταλαμβάνει τη λοφώδη περιοχή της νότιας και ανατολικής Χαλκιδικής, τη χαμηλότερη περιοχή του Αγίου Όρους και τις ακτές της ανατολικής Μακεδονίας και δυτικής Θράκης, ενώ εμφανίζεται και στις υγρότερες θέσεις των νησιών του βορείου Αιγαίου καθώς και της Κρήτης.

Η βλάστηση χαρακτηρίζεται από φυτοκοινότητες:

- Κωνοφόρων όπως η Κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*) και η άρκευθος οξύκεδρος (*Juniperus oxycedrus*) με υπόροφο σκληρόφυλλα είδη στη Πελοπόννησο και στις οροσειρές του βόρειου κορινθιακού κόλπου, το κυπαρίσσι (*Cupressus sempervives*) στη Κρήτη και Ρόδο, ενώ οι φυτοκοινότητες της χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*) και τραχείας πεύκης (*Pinus brutia*) λόγω της οικολογικής τους ευρύτητας απαντούν και στο συγκεκριμένο όροφο βλάστησης.

- Αείφυλλων–πλατύφυλλων (λιγότερο θερμόφιλες σε σχέση με τον προηγούμενο όροφο βλάστηση) όπως του δενδρώδους πουργαριού (*Quercus coccifera*) σε κατάσταση climax, αριάς (*Quercus ilex*), κουμαριάς (*Arbutus unedo*), φιλίκι (*Phillyrea latifolia*) και ερείκη (*Erica arborea*).
- Πλατάνου (*Platanus orientalis*). Οι φυτοκοινότητες του πλατάνου συναντώνται στον θερμομεσογειακό και μεσογειακό όροφο βλάστησης και φθάνουν μερικές φορές στον υπερμεσογειακό όροφο βλάστησης.
- Φυλλοβόλων όπως μεσογειακά δάση δρυών με πλατύφυλλη δρύ (*Quercus frainetto*) και χνοώδης δρύς (*Quercus pubescens*) που απαντούν σε βαθειά αλλουβιακά εδάφη, ιδίως στην νότια Ελλάδα και υπολειματικά δάση βελανιδιάς (*Quercus macrolepis*) κυρίως στις περιοχές της Ηπείρου, Αιτωλοακαρνανίας Αλεξανδρούπολης, Αλμυρού Μαγνησίας κτλ.

Υπερμεσογειακός όροφος βλάστησης

Κυμαίνεται γενικά από τα 1000 m μέχρι τα 1500 m. Τα χαμηλότερα υψομετρικά όρια αυτού του ορόφου είναι πολύ μεταβλητά 1100 m στην Πελοπόννησο κατά μέσο όρο, 800 m στη Ήπειρο, 400m έως 500 m στην Θράκη-Μακεδονία. Το κλίμα εδώ γίνεται βαθμιαία ηπειρωτικό, οι χειμώνες δριμύτεροι, οι βροχοπτώσεις αυξάνουν ενώ η ξηρή περίοδος παραμένει σαφώς καθορισμένη αν και χρονικά είναι περιορισμένη. Κατά την διάρκεια του χειμώνα οι θερμοκρασίες πέφτουν πολλές φορές κάτω από τους 0 °C και οι χιονοπτώσεις διαρκούν από μερικές εβδομάδες μέχρι και πάνω από δύο μήνες.

Η βλάστηση είναι πολύ ετερογενής και χαρακτηρίζεται από ένα μίγμα διαπλάσεων δρυών, ελάτων και μαύρης πεύκης. Πιο συγκεκριμένα απαντούν:

- Δάση πλατύφυλλης δρυός (*Quercus frainetto*) της ηπειρωτικής Ελλάδας που συνοδεύονται από διάφορα είδη δρυών όπως η ευθυφλοιός δρύς (*Quercus cerris*) με σημαντική παρουσία κυρίως στην Πίνδο ενώ περιορισμένη είναι η παρουσία της

μακεδονικής δρυός (*Quersus macedonica*), της χνοώδους δρυός (*Quersus pubescens*) και διαπλάσεις καστανιάς (*Castanea sativa*) με ερείκη (*Erica arborea*), αρκουδοπούρναρου (*Ilex aquifolium*) στην περιοχή του Πηλίου.

- Δάση πλατύφυλλης δρυός (*Quersus frainetto*) της Πελοποννήσου με όψεις καστανιάς (*Castanea sativa*) στον Πάρνωνα και Ταΰγετο και οστρυά καρπινόφυλλη (*Ostrya carpinifolia*), Φράξο όρνο (*Fraxinus ornus*) στη κεντρική και βόρεια Πελοπόννησο.
- Δάση ασβεστόφιλα με υβριδογενή ελάτη (*Abies borisii*) στην Πίνδο στο ανώτερο τμήμα του υπερμεσογειακού ορόφου βλάστησης με όψεις χνοώδους δρυός (*Quersus pubescens*), οστρυάς καρπινόφυλλης (*Ostrya carpinifolia*), Βουνοκυπάρισσου (*Juniperus foetidissima*)
- Δάση Κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*) στη Πελοπόννησο και στις μεγάλες οροσειρές της στερεάς Ελλάδας από τα 1000 m -1500 m.
- Δάση οξύφυλλα με υβριδογενή ελάτη (*Abies borisii*) στη νότια Πίνδο με όψεις καστανιάς (*Castanea sativa*), οστρυάς καρπινόφυλλης (*Ostrya carpinifolia*), Γαύρος ο Ανατολικός (*Carpinus orientalis*).
- Δάση μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*) της Πελοποννήσου. Απαντούν στις κυριότερες οροσειρές της σε υψόμετρο 1000 m -1300 m και διαδέχονται τις φυτοκοινότητες της *Quersus frainetto*.
- Δάση μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*) της βόρειας Ελλάδας απαντούν στον Όλυμπο, Πιερία όρη σε υψόμετρα 800 m -1300 m.
- Δάση οξιάς (*Fagus sylvatica*) και οστρυάς καρπινόφυλλης (*Ostrya carpinifolia*) σε υψόμετρο 700 m -1300 m. Αυτά απαντούν στους ορεινούς όγκους από το Πήλιο μέχρι το Βέρμιο. Διακρίνονται όψεις με Ίταμο (*Taxus Baccata*), *Ostrya carpinifolia*, *Castanea sativa*, *Ilex aquifolium*.

Ορομεσογειακός δασικός όροφος βλάστησης

Η υψομετρική του διαβάθμιση γενικά κυμαίνεται από τα 1700 m -2200 m και βλάστηση του στο μεγαλύτερο μέρος της έχει υποβαθμιστεί από την υπερβόσκηση νομαδικών κοπαδιών. Οι εκτάσεις αυτές χρησιμοποιούνταν από αιώνες ως θερινοί βοσκότοποι για τη νομαδική

κτηνοτροφία. Χαρακτηρίζονται από σχηματισμούς ακανθωδών ημίθαμνων οι οποίοι εμφανίζονται κατά προσκέφαλα με διάφορα χειλανθή, πολυετείς πόες και νανώδης αρκεύθους, με τη μορφή στεπόμορφων λιβαδιών.

Στον όροφο αυτό απαντούν:

- Ορομεσογειακές φυτοκοινότητες με Κεφαλληνιακή ελάτη (*Abies cephalonica*) στη νότιο Ελλάδα σε υψόμετρο 1700 m – 2100 m.
- Ορομεσογειακές φυτοκοινότητες με ρόμπολο (*Pinus heldreichii*) στον Όλυμπο και βόρεια Πίνδο.
- Οροσειρές ανοικτές με φυτοκοινότητες με δενδρώδες αρκεύθους (*Juniperus foetidissima*) και σπανιότερα *J. Excelsa* στις υψηλές οροσειρές του Ερύμανθου, Κυλλήνης, Παρνασσού, Γκιώνας, Βαρδουσίων σε υψόμετρο 1600-2200m.

Μη μεσογειακή περιοχή

Ορεινός και Υπαλπτικός όροφος βλάστησης

Η ζώνη αυτή εμφανίζεται μόνο στη βόρεια Ελλάδα και στα υψηλότερα όρη της. (Όλυμπος, βόρεια Πίνδος, Πιερία, Όρβηλος, Ροδόπη, ορεινό τόξο Αριδαίας). Το κλίμα εδώ είναι καθαρά ηπειρωτικό με δριμείς χειμώνες κανονική κατανομή βροχοπτώσεων έλλειψη ξηρής περιόδου και μεγάλης διάρκειας χιονοκάλυψη.

Η βλάστηση χαρακτηρίζεται από:

- Δάση οξιάς (*Fagus silvatica*) και υβριδογενούς ελάτης (*Abies borisii*) της Πίνδου σε υψόμετρο 1300 m – 2100 m.
- Δάση οξύφυλλα με οξιά με υψόμετρο που αρχίζει από 1600 m στη βορειοανατολική Μακεδονία καθώς και στις οροσειρές του Πηλίου και του Βέρμιου.
- Δάση ρόμπολου (*Pinus heldreichii*) που εμφανίζεται κυρίως στον Όλυμπο στη βόρεια Πίνδο και στον Όρβηλο.
- Δάση δασικής πεύκης (*Pinus sylvestris*) των Πιερίων, Ροδόπης, Βόρα και Λαιλιά.

- Δάση σημύδας (*Betula pendula*) της Ροδόπης και του ορεινού τόξου Αριδαίας.
- Δάση Βαλκανικής πενταβέλονης πέυκης (*Pinus peuce*).

1.5 Είδη βλάστησης στην Ελλάδα

Οι δασικές διαπλάσεις που συναντώνται στην Ελλάδα είναι:

- Αείφυλλες – σκληρόφυλλες διαπλάσεις : Ένα μικτό σύστημα από υψηλούς αείφυλλους – σκληρόφυλλους θάμνους με χαρακτηριστικότερα είδη το πουρνάρι, άρια, κουμαριά , μυρτιά, άρκευθος. Η βλάστηση της μακκίας είναι πολύ σημαντική καθώς προστατεύει τα εδάφη από την διάβρωση και αποτελεί πηγή τροφής για την πανίδα.
- Ορεινά κωνοφόρα: Χαρακτηριστικό είδος τα έλατα. Στην Ελλάδα καλλιεργείται σαν ενδημικό είδος το κεφαλλονίτικο έλατο, το οποίο διασταυρούμενο με το ευρωπαϊκό λευκό έλατο δίνει το φυσικό υβρίδιο *Abies borisii*. Στην διάπλαση αυτή συναντάμε επίσης και την μαύρη Πεύκη.
- Μικτά φυλλοβόλα δάση: Κυρίαρχων είδος οι φυλλοβόλες βελανιδιές, τα σφεντάμια, οι φλαμουριές, η κασταριά και η καρυδιά.
- Αείφυλλα δάση χαμηλών υψομέτρων: Εξαπλώνονται σε χαμηλά υψόμετρα μέχρι τα 1000 μέτρα και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Τα θερμόφιλα κωνοφόρα όπως την χαλέπιος Πεύκη, την τραχεία πέυκη, κουκουναριά και τις αείφυλλες βελανιδιές οι οποίες συναντώνται είτε σε δενδρώδη είτε σε θαμνώδη μορφή.
- Παρόχθια Δάση: Η παρουσία τους οφείλετε αποκλειστικά στην ύπαρξη νερού και αποτελούνται από φυλλοβόλα δένδρα και θάμνους όπως οι λεύκες, οι ιτιές , πλατάνια , φλαμουριές.
- Φρύγανα: Αποτελείται από χαμηλούς θάμνους ως επί το πλείστο αρωματικοί οι οποίοι έχουν εξαιρετικές αντοχές στις υψηλές θερμοκρασίες και την ξηρασία. Αποτελούν χαρακτηριστική βλάστηση στα μεσογειακά οικοσυστήματα και είναι συνήθως αποτέλεσμα υποβάθμισης προϋπάρχουσας βλάστησης, μακκίας και δάσους. Αναπτύσσεται κυρίως σε βραχώδη και άγονα εδάφη ή σε καμένες εκτάσεις. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν το θυμάρι, η λαδανιά, το ρέικι, το σπαράγγι και ο ασφόδελος

- Δάση οξιάς και τα δάση ψυχρόβιων κωνοφόρων: Επικρατούν η οξιά, η δασική πεύκη, η ερυθρελάτη και η σημύδα.[4,8,9]

Βιβλιογραφία

1. Νόμος 998/1979 (ΦΕΚ 289 Α΄) «Περί προστασίας των δασών και των δασικών εν γένει εκτάσεων της Χώρας» όπως τροποποιήθηκε με το Νόμο 3208/2003 (ΦΕΚ 303 Α΄)
2. Δ. Καϊλίδης, «Δασικές Πυρκαγιές», Θεσσαλονίκη 1990, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, 3η έκδοση
3. www.1gym-pyrgou.ilei.sch.gr/dasos/domi.htm
4. www.kpe-kastor.kas.sch.gr
5. ΔΡΑΣ.Ε.blog.com
6. Ιωάννης Λ. Φιλίππου, «Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου», Θεσσαλονίκη, εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, σελ. 11-342
7. Δ. Γάκης, «Ηλεκτροχημικές Μέθοδοι για την Αξιολόγηση Χημικών Επιβραδυντών Δασικών Πυρκαγιών», Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 1998, σελ.35-91
8. www.wikipedia.org
9. www.explain.gr
10. www.parnitha-np.gr
11. <http://enveducation.blogspot.com>

2 Δασική Ύλη

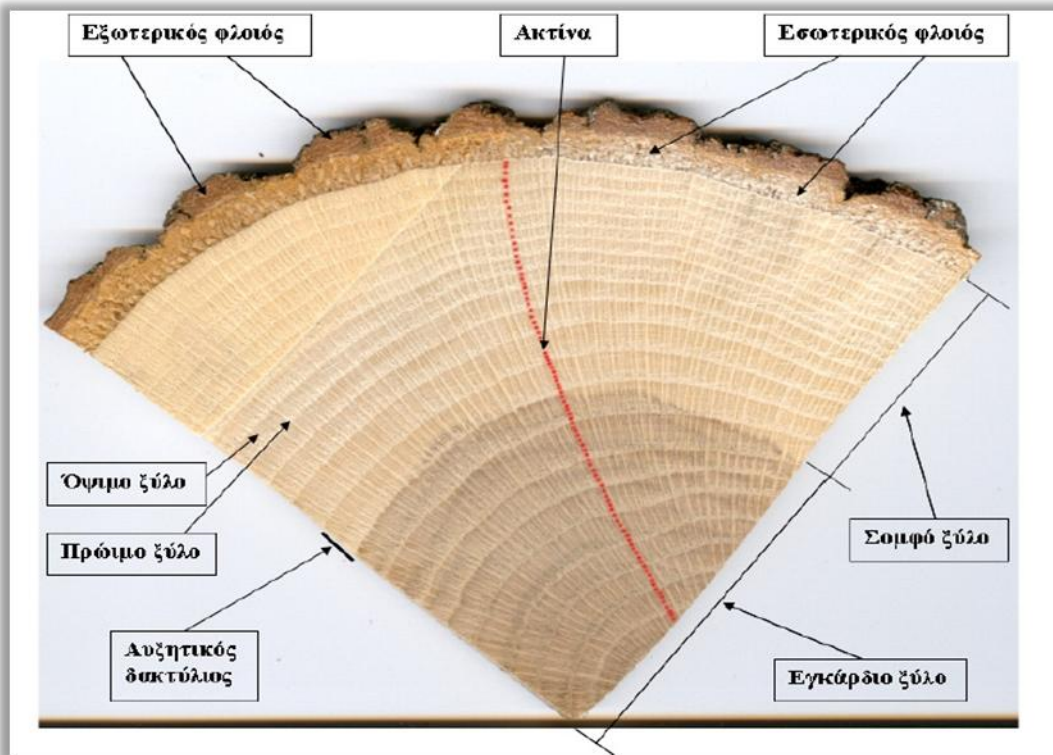
Για να γίνει αντιληπτός ο μηχανισμός έναρξης εξάπλωσης και κατάσβεσης των δασικών πυρκαγιών κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στην κύρια πηγή προέλευσης της δασικής ύλης και στην χημική σύσταση των συστατικών της εφόσον αποτελεί το καύσιμο της πυρκαγιάς, για να μπορούμε να εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η καύση της. Η καύσιμη δασική ύλη μπορεί να διαχωριστεί σε 3 κατηγορίες: την υπεδάφια καύσιμη ύλη (οργανική ύλη σε αποσύνθεση), την καύσιμη ύλη επί του εδάφους μέχρι 2 m (ξηροτάπητας και ποώδης βλάστηση) και την εναέρια καύσιμη ύλη 2 m πάνω από το έδαφος (κωνοφόρα, αναρριχώμενα φυτά, όρθια νεκρά δένδρα).

2.3 Το ξύλο

Το ξύλο είναι προϊόν βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στα δένδρα. Ουσιαστικά το ξύλο ως προϊόν του φαινομένου της φωτοσύνθεσης αποτελεί αποθηκευμένη μορφή ηλιακής ενέργειας. Μέσω της διεργασίας της φωτοσύνθεσης των δένδρων και των φυτών πάνω από 200.000.000.000 tn οργανικής ουσίας (βιομάζας) παράγονται ετησίως. Το ξύλο αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό της παραγόμενης αυτής βιομάζας και αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το ποσοστό αυτό της αποθηκευμένης ενέργειας παράγεται χωρίς την παραμικρή κατανάλωση ενέργειας από τον άνθρωπο. Για την παραγωγή του ξύλου οι μόνες πρώτες ύλες που απαιτούνται είναι το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο λαμβάνεται από τα δένδρα από τον ατμοσφαιρικό αέρα και το νερό με τα ανόργανα άλατα που λαμβάνεται από το έδαφος.[1,4]

2.4 Σύσταση του ξύλου σε χημικά στοιχεία.

Το ξύλο αποτελείται από άνθρακα σε ποσοστά 48-51%, οξυγόνο 43-45%, υδρογόνο 5-7%, άζωτο 0.1-0.3% και μεταλλικά στοιχεία όπως K, Na, Ca, Mg, Fe, S, P, Al, Si, Ni, Ba, Pd, κ.α. Τα μεταλλικά στοιχεία παραμένουν μετά την πλήρη καύση του ξύλου ως τέφρα (0,2-1% της ξηρής μάζας του ξύλου).



Εικόνα 2.1: Εσωτερική δομή ξύλου.[10]

Αναφορικά με την σύσταση του ξύλου σε κύρια στοιχεία δηλαδή άνθρακα, οξυγόνο και υδρογόνο ελάχιστες διαφορές υπάρχουν, τόσο μεταξύ των διαφόρων δασικών ειδών όσο και μεταξύ των διαφόρων τμημάτων (κατά την έννοια του ύψους και της διαμέτρου) ενός κορμού ή γενικότερα ενός δέντρου.[1]

Πίνακας 2.1: Σύσταση σε στοιχεία διαφόρων ειδών ξύλου %.[11]

ΕΙΔΟΣ ΞΥΛΟΥ	C	H	O	N	ΓΕΦΡΑ
Λάρικα	49,6	5,8	44,2	0,2	0,2
Πεύκη	50,2	6,1	43,4	0,2	0,2
Ερυθρελάτη	50,0	6,0	43,5	0,2	0,3
Δρυς	49,2	5,8	44,2	0,4	0,4

Οξιά	48,9	5,9	44,5	0,2	0,5
Σημύδα	48,6	6,4	44,7	0,3	-
Λεύκη	49,7	6,3	44,0	-	-

Αντίθετα σημαντικές διαφορές κυρίως μεταξύ των διαφόρων τμημάτων ενός κορμού ή ενός δέντρου έχουν διαπιστωθεί στα ποσοστά αζώτου και τέφρας. Τα φύλλα και ο φλοιός έχουν γενικά περισσότερα ανόργανα συστατικά και άζωτο από το ξύλο.

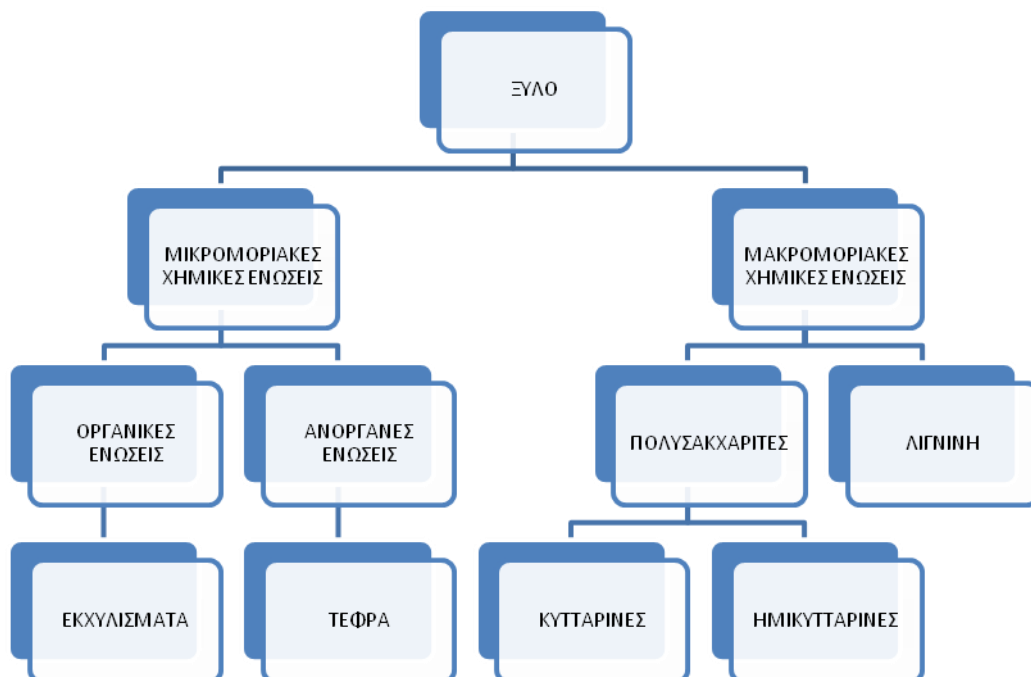
***Πίνακας 2.2:** Σύσταση σε στοιχεία σε διάφορα μέρη ενός δέντρου οξιάς (%).[5]*

ΜΕΡΟΣ ΔΕΝΤΡΟΥ	C	H	O+N	ΤΕΦΡΑ
Φύλλα	45,01	6,97	40,91	7,11
Ξύλο κλαδιών	48,75	6,56	44,42	0,36
Φλοιός κλαδιών	49,40	6,41	40,82	3,39
Ξύλο κορμού	48,92	6,46	44,32	0,30
Φλοιός κορμού	46,27	5,93	44,75	2,66
Ξύλο ριζών	48,35	6,27	45,11	0,23
Φλοιός ριζών	49,72	6,05	43,34	1,39

2.5 Χημική σύσταση ξύλου

2.5.1 Γενικά

Το ξύλο ως φυσική πρώτη ύλη παριστά ένα σύνθετο αλλά ετερογενές υλικό που αποτελείται από συστατικά τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους στη χημική σύσταση. Τα χημικά συστατικά του ξύλου διακρίνονται όπως δείχνει το σχήμα 2.1 σε μακρομοριακές (μεγάλου μοριακού βάρους) χημικές ενώσεις όπως είναι η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες (πολυόζες) και η λιγνίνη και σε μικρομοριακές ενώσεις στις οποίες ανήκουν τα εκχυλίσματα και οι ανόργανες ενώσεις.



Σχήμα 2.1: Χημική Σύσταση Ξύλου.

2.5.2 Μικρομοριακές χημικές ενώσεις

Οι μικρομοριακές ενώσεις του ξύλου χαρακτηρίζονται σαν συνοδοί ουσίες του ξύλου και δεν αποτελούν συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων. Όπως φαίνεται και στο πιο πάνω σχήμα διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες τις οργανικές ενώσεις που αποτελούνται κυρίως από τα εκχυλίσματα και τις ανόργανες ενώσεις που είναι η τέφρα.

Οι οργανικές ενώσεις βρίσκονται κυρίως εναποτιθέμενες στα κυτταρικά τοιχώματα και στις κυτταρικές κοιλότητες. Ονομάζονται και εκχυλίσματα γιατί μπορούν να απομακρυνθούν από το ξύλο χωρίς να υπάρξει μεταβολή στη δομή του.

Οι κυριότερες ομάδες οργανικών ενώσεων που βρίσκονται στα εκχυλίσματα του ξύλου είναι:

Φαινολικές ενώσεις

Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό αρωματικών ενώσεων όπως ταννίνες, στυλβένια, φλοιοβαφένια, φλαβανόνες, φαινολικά οξέα και άλλα φαινολικά παράγωγα.

- **Τερπένια.** Τα τερπένια επίσης περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων. Χημικώς προέρχονται από την ένωση μονάδων ισοπρενίου και διακρίνονται σε μονοτερπένια, διτερπένια, τριτερπένια και πολυτερπένια. Στην ομάδα αυτή ανήκουν τα πτητικά έλαια, τα ρητινικά οξέα και άλλες ρητινώδεις ουσίες.
- **Λιπαρά οξέα.** Κορεσμένα και ακόρεστα λιπαρά οξέα βρίσκονται στο ξύλο κυρίως σε μορφή εστέρων με γλυκερίνη (λίπη και έλαια) ή με άλλες πολυαλκοόλες (κηροί).
- **Αλκοόλες.** Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει αλιφατικές αλκοόλες, κυρίως σε μορφή εστέρων, και αρωματικές αλκοόλες κυρίως στερόλες.
- **Άλλες ενώσεις.** Στο ξύλο υπάρχουν επίσης οξικό οξύ (κυρίως ενωμένο με τις ημικυτταρίνες), μονοβασικά και υδροξυβασικά οξέα (κυρίως σε μορφή αλάτων με μέταλλα), σάκχαρα και δισακχαρίτες, αμίνες, υδρογονάνθρακες, αλκαλοειδή κ.α.

Ανόργανες ενώσεις

Στο ξύλο όμως υπάρχουν ακόμη εναποτιθέμενες και διάφορες ανόργανες ενώσεις όπως άλατα και οξείδια των Ca, K, Na, Mg, K κ.α. Το σύνολο των ανόργανων συστατικών ονομάζεται τέφρα (απομένει ως υπόλειμμα μετά από πλήρη καύση του ξύλου)[1]. Η τέφρα στα φύλλα και στον φλοιό φθάνει μέχρι και 10% σε μερικές περιπτώσεις σε μερικά τροπικά είδη.[3]

Το ποσοστό και η σύσταση των ανόργανων ουσιών στο ξύλο ποικίλει ανάλογα με το είδος του δέντρου, το τμήμα του δέντρου απ' το οποίο προέρχεται το δείγμα, ανάλογα με τις κλιματικές και εδαφολογικές συνθήκες του περιβάλλοντος και ανάλογα με την εποχή που γίνεται η υλοτομία. Γενικά τα πλατύφυλλα έχουν μεγαλύτερο ποσοστό απ' ότι τα κωνοφόρα, το εγκάρδιο απ' ότι το σομό, και το πρώιμο απ' ότι το όψιμο ξύλο. Το ξύλο των κλάδων, των ριζών, ο

φλοιός και το φύλλωμα περιέχουν μεγαλύτερα ποσοστά. Ειδικότερα έχουμε μια βαθμιαία ελάττωση των ανόργανων ουσιών μέσα στο δέντρο κατά τη σειρά[1]:

φύλλα (βελόνες) → φλοιός → μικρές ρίζες → μικροί κλάδοι → μεγάλες ρίζες → μεγάλοι κλάδοι → κορμός

Τα αφθονότερα ανόργανα συστατικά της δασικής ύλης είναι τα Si, Ca, K και Mg, ενώ ακολουθούν τα Mn, Na, P, Al, Fe και Zn. Εκτός από τα κύρια αυτά στοιχεία, στο ξύλο υπάρχουν σε πολύ μικρές ποσότητες και περίπου 50 άλλα στοιχεία (ιχνοστοιχεία).

Έλλειψη ορισμένων ανόργανων στοιχείων προκαλεί μείωση της αύξησης των δέντρων, κιτρίνισμα των φύλλων, ξήρανση κλάδων, ακόμη και ξήρανση των δέντρων. Αντίθετα είναι γνωστή η επίδραση της λίπανσης στην ανάπτυξη και ζωτικότητα των δέντρων.[6]

Εκχυλίσματα

Τα εκχυλίσματα δε συμμετέχουν στη δόμηση των κυτταρικών τοιχωμάτων αλλά εναποτίθενται στις κυτταρικές κοιλότητες και σε μικροδιάκενα των κυτταρικών τοιχωμάτων κατά τη διαφοροποίηση των ξύλινων ιστών ως αποταμιευτικές και προστατευτικές ουσίες ή συνιστούν υπολείμματα του νεκρού πρωτοπλάσματος. Οι φυτικές ορμόνες και οι χυμοί των δέντρων ανήκουν επίσης στα εκχυλίσματα. Τα περισσότερα εκχυλίσματα μπορούν να εκχυλιστούν από το ξύλο με οργανικούς διαλύτες, ορισμένα είναι διαλυτά στο νερό ενώ άλλα δεν εκχυλίζονται.

Το ποσοστό των εκχυλισμάτων στο ξύλο είναι μικρό και κυμαίνεται από 2-10%. Στα τροπικά είδη φτάνει το 20-25 %. Οι ρίζες, τα κλαδιά, ο φλοιός, το φύλλωμα, τα άνθη και οι καρποί περιέχουν επίσης εκχυλίσματα. Πολλά δένδρα όταν πληγώνονται εκκρίνουν ορισμένα εκχυλίσματα από το σομφό ξύλο ή από το εσωτερικό τμήμα του φλοιού. Τέτοια προϊόντα έκκρισης είναι οι ρητίνες και διάφορα κόμμεα.

Τα εκχυλίσματα μπορεί να μοιάζουν μεταξύ συγγενών ειδών αλλά ουσιαστικά είναι διαφορετικά είτε μεταξύ οικογενειών είτε μεταξύ γεννών ή ακόμα και στα διάφορα υβρίδια, ποικιλίες και προελεύσεις του ίδιου είδους.

Επίσης όλα τα είδη εκχυλισμάτων δεν απαντούν σε όλα τα φυτικά είδη. Έχει παρατηρηθεί ότι για κάθε είδος ξύλου υπάρχει μια χαρακτηριστική ένωση η οποία είναι αποκλειστική σε αυτό. Με βάση αυτή την παρατήρηση πραγματοποιείται μια «χημειοταξινόμηση» των φυτών σύμφωνα με την χημική τους σύσταση. Για παράδειγμα για το γένος *Pinus*, υπάρχουν 11 ενώσεις που ανιχνεύονται μόνο σε αυτό.[7]

2.5.3 Μακρομοριακές χημικές ενώσεις

Οι μακρομοριακές χημικές ενώσεις αποτελούν τα δομικά συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων του ξύλου και υπάρχουν σε όλα τα ξυλώδη είδη του φυτικού κόσμου. Το ξύλο των φυτικών ειδών της εύκρατης ζώνης περιέχει περίπου 97-99% μακρομοριακές ενώσεις ενώ στο ξύλο των φυτικών ειδών της τροπικής ζώνης περιέχονται περίπου 90% μακρομοριακές ενώσεις. Το κύριο δομικό συστατικό του ξύλου είναι η κυτταρίνη η οποία δομεί περίπου τα 50% της ξυλώδους μάζας των κωνοφόρων και πλατύφυλλων ειδών και έχει σε όλα τα είδη την ίδια χημική σύσταση δηλ. δομείται το ευθύγραμμο μακρομόριο της από ένα μεγάλο αριθμό του μονοσάκχαρου β-D-Γλυκόζη. Η κυτταρίνη μαζί με την ημικυτταρίνη αποτελούν το ένα μέρος των μακρομοριακών χημικών ενώσεων τους πολυσακχαρίτες. Το άλλο μέρος αποτελείται από την λιγνίνη. Ακολουθείται εκτενέστερη ανάλυση των πιο πάνω.

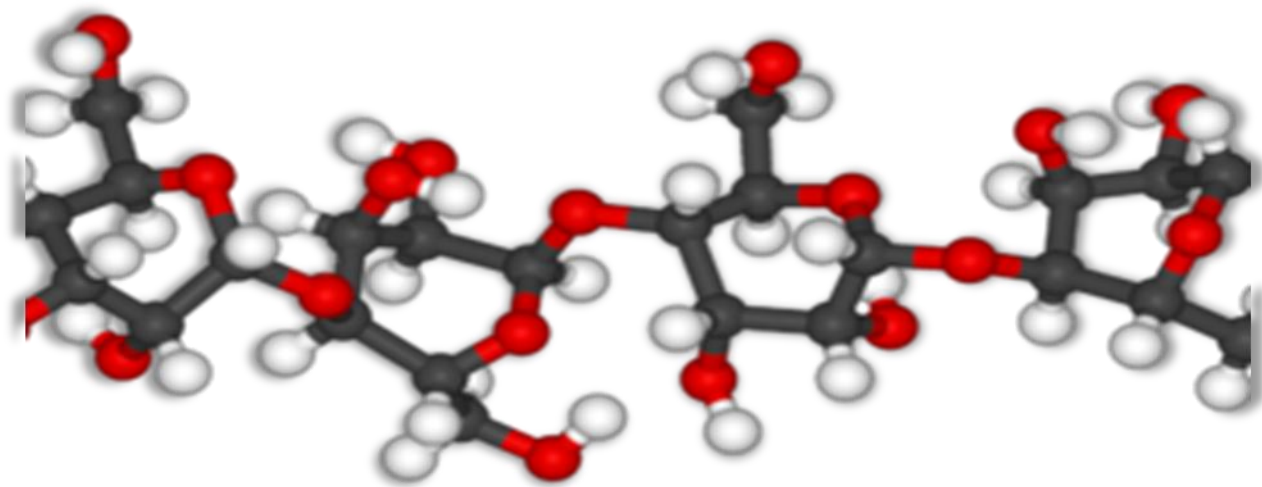
2.5.3.1 Πολυσακχαρίτες

Κυτταρίνη

Η κυτταρίνη είναι η πιο διαδεδομένη οργανική ένωση στον κόσμο καθώς όντας δομικός πολυσακχαρίτης των φυτών, αποτελεί το κύριο συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος των φυτικών κυττάρων. Αποτελείται από περίπου 10.000 μόρια γλυκόζης που ενώνονται για να σχηματίσουν μεγάλες ευθείες αλυσίδες. Οι αλυσίδες αυτές συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου σχηματίζοντας έτσι δέσμες που με την σειρά τους διαπλέκονται σε πολύ ισχυρά πλέγματα. Αποτελείται από μόρια D- γλυκόζης ενωμένα μεταξύ τους με β-γλυκοζιτικό δεσμό, ο οποίος σχηματίζει μεταξύ του ημιακεταλικού υδροξυλίου του ενός μορίου και του -OH του 4^{ου} ατόμου άνθρακα του άλλου μορίου.[9,10]

Το ποσοστό συμμετοχής της στη δόμηση των κυτταρικών τοιχωμάτων διαφέρει για κάθε φυτικό είδος. Στο ξύλο για παράδειγμα κυμαίνεται σε 40-50% ενώ στο βαμβάκι 95-99%.

Ο εμπειρικός τύπος της κυτταρίνης είναι $(C_6H_{10}O_5)_n$ και το μοριακό της βάρος δεν είναι ακριβώς καθορισμένο αλλά κυμαίνεται από 10^5 - 10^6 . [8,9]



Εικόνα 2.2: Τρισδιάστατη απεικόνιση κυτταρίνης (μαύρο: άνθρακας, κόκκινο: οξυγόνο, λευκό: υδρογόνο). [4]

Ημικυτταρίνη

Οι ημικυτταρίνες είναι πολυσακχαρίτες με μικρότερο μοριακό βάρος από αυτό της κυτταρίνης. Η δομή τους αποτελείται από κοντές και διακλαδισμένες αλυσίδες σακχάρων κυρίως εξόζης και πεντόζης. Αυτό σημαίνει ότι οι ημικυτταρίνες αποτελούνται από σάκχαρα με 6 άτομα άνθρακα (γλακτόζη, γλυκόζη και μανόζη) και από σάκχαρα με 5 άτομα άνθρακα. Οι ημικυτταρίνες που προέρχονται από ξυλεία των φυλλοβόλων διαθέτουν περισσότερα σάκχαρα με 5 άτομα άνθρακα (κυρίως ξυλόζη), ενώ οι ημικυτταρίνες που προέρχονται από ξυλεία των κωνοφόρων μετρούν περισσότερα σάκχαρα με 6 άτομα άνθρακα. Επιπλέον οι ημικυτταρίνες υδρολύονται πιο εύκολα σε σχέση με την κυτταρίνη. Το ποσοστό των ημικυτταρινών κυμαίνεται σε μεγάλα όρια (16-42%) στα διάφορα φυτικά είδη και ανάλογα με το είδος δένδρου που προέρχεται διαφέρει και ο αριθμός τους. Οι ημικυτταρίνες συγκριτικά με την κυτταρίνη, διαφέρουν στο ότι έχουν

μικρότερο μοριακό βάρος, διαλύονται σε αλκαλικά διαλύματα, υδρολύονται ευκολότερα με αραιά οξέα και είναι άμορφες. Επίσης σε αντίθεση με τα πολυμερή μόρια της κυτταρίνης που είναι γραμμικά, τα μόρια των ημικυτταρινών συχνά φέρουν διακλαδώσεις ή πλευρικές ομάδες. [1,3]

Εκτός από την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες στο ξύλο υπάρχουν και άλλοι πολυσακχαρίτες σε μικρά ποσοστά που είναι διαλυτοί στο νερό και απομακρύνονται με εκχύλιση ξύλου. Οι σπουδαιότεροι είναι οι πηκτινικές ουσίες και οι γλύκανες.

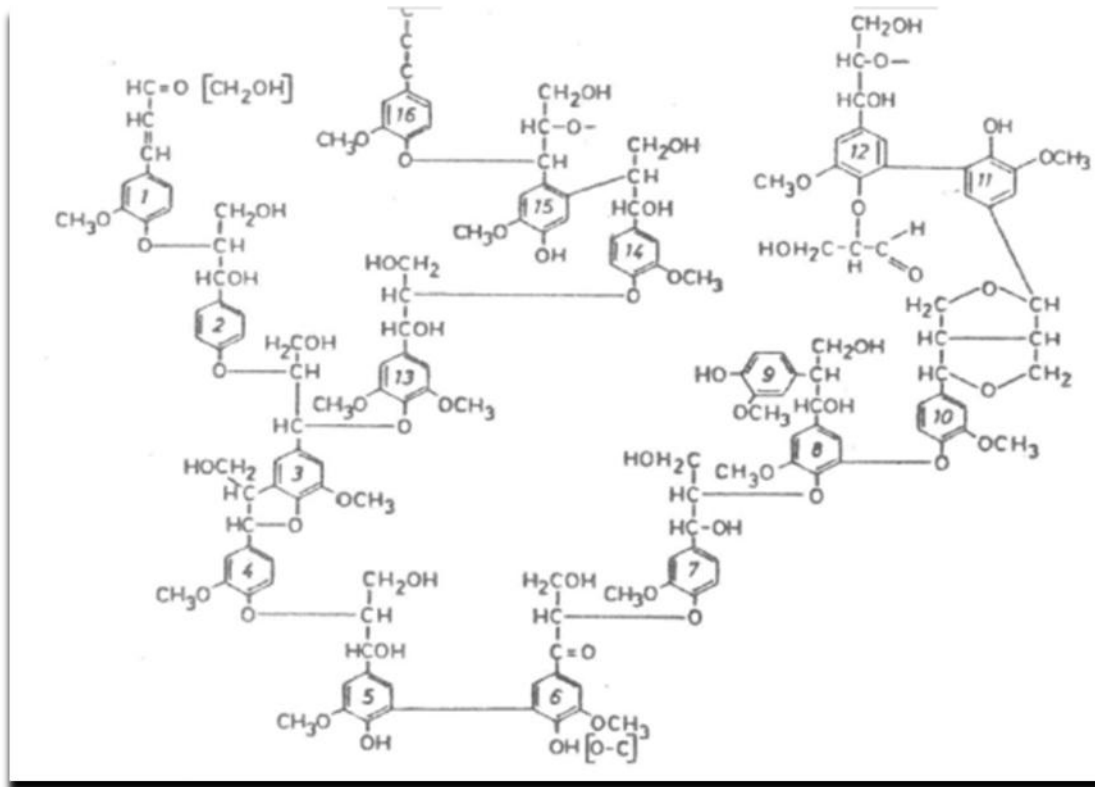
Οι πηκτινικές ουσίες έχουν δομή ανάλογη των ημικυτταρινών. Διαφέρουν από αυτές στη σύνθεση των πολυμερών μορίων, στο βαθμό διακλάδωσης και στον βαθμό πολυμερισμού. Οι σπουδαιότερες πηκτινικές ουσίες είναι οι γαλακτουρονάνες και οι αραβινάνες.

Οι γλύκανες περιλαμβάνουν το άμυλο, την αμυλοπηκτίνη, την καλλόζη, τη λαρισάνη και τις ξυλογλυκάνες.

Λιγνίνη

Όπως και η κυτταρίνη η λιγνίνη είναι μια από τις πλέον διαδεδομένες φυσικές πολυμερείς ενώσεις και κατακρίβεια η 2^η στη σειρά μετά την κυτταρίνη δεδομένου ότι αποτελεί συστατικό των τοιχωμάτων του ξύλου των διάφορων φυτικών ειδών. Το φυσικό αυτό πολυμερές έχει τρισδιάστατη δομή ανήκει στις αρωματικές χημικές ενώσεις και αποτελείται από μονάδες φαινυλοπροπανίου συνδεδεμένες μεταξύ τους με δεσμούς άνθρακα – άνθρακα ή άνθρακα – οξυγόνου.[11]

Τα κωνοφόρα περιέχουν περισσότερη λιγνίνη και διαφορετικής χημικής σύνθεσης από τα πλατύφυλλα. Τα πολυμερή μόρια της λιγνίνης συνδέονται με φυσικούς δεσμούς με την κυτταρίνη και με φυσικούς και χημικούς δεσμούς με τις ημικυτταρίνες στη δόμηση του ξύλινου ιστού. Η λιγνίνη ανάλογα με το είδος του ξύλου αποτελεί περίπου το 15-38% της ξύλινης μάζας. [12]



Εικόνα 2.3: Μοντέλο λιγνίνης.[11]

2.6 Μεταβλητότητα στη χημική σύσταση του ξύλου

Όλα τα είδη ξύλου αποτελούνται από τα ίδια χημικά συστατικά. Η σχετική αναλογία όμως των συστατικών ποικίλει στα διάφορα είδη ξύλου, στα διάφορα μέρη ενός δένδρου, στα διάφορα κύτταρα ακόμα και στα διάφορα κυτταρικά τοιχώματα του ίδιου κυττάρου. Παράγοντες όπως η ηλικία των δένδρων, αυξητικοί παράγοντες, οικολογικές συνθήκες κ.ά. επηρεάζουν την χημική σύσταση. Μεγάλη ποικιλότητα υπάρχει κυρίως στο ποσοστό και στην σύνθεση των εκχυλισμάτων.[3]

Μεταβλητότητα ανάμεσα σε διαφορετικά είδη ξύλου

Υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην χημική σύσταση σε κύρια συστατικά μεταξύ των διαφόρων ειδών ξύλου. Στην εύκρατη ζώνη κατά μέσο όρο τα κωνοφόρα έχουν λιγότερους πολυσακχαρίτες και περισσότερη λιγνίνη από τα πλατύφυλλα. το ποσοστό της κυτταρίνης είναι

περίπου το ίδιο στα κωνοφόρα και στα πλατύφυλλα. Τα κωνοφόρα έχουν λιγότερες ημικυτταρίνες. Η κύρια διαφορά μεταξύ των πολυσακχαριτών στα κωνοφόρα και στα πλατύφυλλα βρίσκεται στην σύνθεση των ημικυτταρινών. Το ποσοστό της μαννόζης κυμαίνεται στα κωνοφόρα μεταξύ 10 και 15% ενώ στα πλατύφυλλα σπάνια υπερβαίνει το 3-5%. Αντίθετα το ποσοστό της ξυλόζης κυμαίνεται στα πλατύφυλλα από 12-20% ενώ στα κωνοφόρα δεν υπερβαίνει το 10%. Επίσης τα πλατύφυλλα έχουν χαρακτηριστικά μεγαλύτερο ποσοστό οξικών ομάδων από τα κωνοφόρα. Το ποσοστό της αραβινόζης είναι μικρό σε όλα τα είδη και κυμαίνεται μεταξύ 1-3%. Το ποσοστό της λιγνίνης κυμαίνεται μεταξύ 23-33% στα κωνοφόρα και 16- 25% στα πλατύφυλλα. Το ποσοστό των εκχυλισμάτων είναι γενικά μεγαλύτερο στα πλατύφυλλα αλλά το κλάσμα που είναι διαλυτό σε οργανικούς διαλύτες είναι μεγαλύτερο στα κωνοφόρα.

Μεταβλητότητα ανάμεσα σε προελεύσεις

Διαφορές στην χημική σύσταση υπάρχουν όχι μόνο μεταξύ των ειδών, αλλά και μεταξύ γεωγραφικών προελεύσεων και οικοτύπων του ίδιου είδους ακόμα και μεταξύ δένδρων της ίδιας συστάδας. Οι διαφορές αυτές οφείλονται σε γενετικούς παράγοντες ή σε μηχανισμούς προσαρμογής των δένδρων σε μικρό - και μακρόκλιμα.

Μεταβλητότητα μέσα στο ίδιο δένδρο

Η χημική σύσταση του ξύλου των δένδρων μεταβάλλεται οριζόντια (από την εντεριόνη προς τον φλοιό) και κατακόρυφα(από την βάση προς την κορυφή).

Οριζόντια μεταβλητότητα: στα κωνοφόρα το ποσοστό της κυτταρίνης αυξάνεται από την εντεριόνη προς τα έξω. Στην ίδια διεύθυνση το ποσοστό των πεντοζών και της λιγνίνης ελαττώνεται. Σε εξωτερικούς δακτυλίους δένδρων πολύ μεγάλης ηλικίας βρέθηκε λιγότερη κυτταρίνη και περισσότερη λιγνίνη σε σύγκριση με προηγούμενους δακτυλίους. Το ποσοστό των εκχυλισμάτων και της τέφρας επίσης ελαττώνεται από την εντεριόνη προς τα έξω.

Κατακόρυφη μεταβλητότητα: τα ποσοστά της κυτταρίνης και της λιγνίνης αυξάνονται με το ύψος του δένδρου ενώ τα ποσοστά των ημικυτταρινών και των εκχυλισμάτων ελαττώνονται.

Στην κορυφή του δένδρου το ποσοστό της κυτταρίνης είναι μικρό. Τα ποσοστά των εκχυλισμάτων είναι ιδιαίτερα μεγάλα στη βάση των δένδρων.

Μεταβλητότητα λόγω ηλικίας

Οι διάφοροι ερευνητές που έχουν μελετήσει την επίδραση της ηλικίας στη χημική σύσταση του ξύλου δεν συμφωνούν μεταξύ τους στα αποτελέσματα. Σύμφωνα με τους περισσότερους τα ποσοστά κυτταρίνης, λιγνίνης και εκχυλισμάτων αυξάνονται ενώ το ποσοστό των ημικυτταρινών μειώνεται με την ηλικία των δένδρων. Σύμφωνα πάλι με άλλους τα δένδρα μεγάλης ηλικίας περιέχουν μεγαλύτερα ποσοστά λιγνίνης, τέφρας και εκχυλισμάτων και μικρότερα ποσοστά κυτταρίνης.

Μεταβλητότητα λόγω αυξητικών παραγόντων

Η ταχύτητα αύξησης των δένδρων επηρεάζει σημαντικά την χημική σύσταση του ξύλου. Για παράδειγμα, μελέτη δένδρων πλατάνου και λεύκης, έδειξε ότι ξύλο δένδρων με μεγάλη κατά πλάτος αύξηση είχε λιγότερη λιγνίνη και περισσότερους πολυσακχαρίτες από ότι σε δένδρα με μικρή αύξηση. Διαφορές υπήρχαν και στη σύσταση των πολυσακχαριτών. Βέβαια οι αυξητικοί παράγοντες επηρεάζουν κάθε δένδρο αλλιώς. Επίσης η χημική αυξητικοί παράγοντες επηρεάζουν κάθε δένδρο αλλιώς. Επίσης η χημική σύσταση επηρεάζεται και από την πυκνότητα του ξύλου. Άλλοι αυξητικοί παράγοντες όπως έδαφος, κλίμα, αυξητικός χώρος κ.ά. που επηρεάζουν την ταχύτητα αύξησης και την πυκνότητα του ξύλου επηρεάζουν την χημική σύσταση.

Μεταβλητότητα σε κλάδους, κορυφές και ρίζες

Το ξύλο των κλάδων, κορυφών και ριζών διαφέρει από το ξύλο του κορμού. Συγκριτικές μελέτες χημικής σύστασης διάφορων μερών κωνοφόρων δένδρων έδειξαν ότι τα ποσοστά των χημικών συστατικών κυμαίνονται στα διάφορα μέρη του δένδρου με την εξής φθίνουσα σειρά :

Λιγνίνη: λεπτοί κλάδοι, χονδροί κλάδοι, κορυφή, ρίζες, κορμός

Κυτταρίνη: κορμός, ρίζες, κορυφή, χονδροί κλάδοι, λεπτοί κλάδοι

Ημικυπαρίνες: κλάδοι, κορυφή, κορμός, ρίζες

Εκχυλίσματα: κλάδοι, ρίζες, κορυφή, κορμός

Τέφρα: ρίζες, λεπτοί κλάδοι, κορυφή, χονδροί κλάδοι, κορμός.[3,6]

Βιβλιογραφία

1. Αθανάσιος Η. Γρηγορίου, «Εργαστηριακές Σημειώσεις, Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου», Δεκέμβριος 2002, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ.1-21, 27-53, 57-67
2. Γ. Τσουμής, Επιστήμη και τεχνολογία του ξύλου, Τόμος Α: Δομή και ιδιότητες, Θεσσαλονίκη 1992, σελ. V-XIV, 2-9, 11-12, 36-44, 53-54, 131-144, 234-239, 284-285
3. Ιωάννης Λ. Φιλίππου, «Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου», Θεσσαλονίκη, εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, σελ. 11-342 -2 διορθζένη
4. www.wikipedia.org
5. Δ. Καϊλίδης, «Δασικές Πυρκαγιές», Θεσσαλονίκη 1990, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, 3^η έκδοση
6. Ηρακλής-Παναγιώτης Αγιοβλασίτης, «Μελέτη της επιβραδυντικής δράσης 28 ανοργάνων χημικών ενώσεων στη δασική ύλη *Pinus halepensis*», Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2005, σελ. 1-73, 119-137
7. Π. Κωνσταντινίδης, «Μαθαίνοντας να ζούμε με τις Δασικές Πυρκαγιές», Εκδόσεις Χριστοδουλίδη, Θεσσαλονίκη 2003, σελ. 13-17, 27-28, 29-50, 58-62, 71-81.
8. Δ. Βορίσης, «Η καταστολή των δασικών πυρκαγιών», Έκδοση Πυροσβεστικής Ακαδημίας, Αθήνα 2004, σελ. 17-22, 54-55
9. <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/>
10. <http://users.teilar.gr/~mantanis/xt4.pdf>
11. www.livepedia.gr
12. Ξανθόπουλος Γ., Μανασή Μ., «Μεθοδολογία Δημιουργίας Μοντέλων Καύσιμης Ύλης για την πρόβλεψη της Συμπεριφοράς των Δασικών Πυρκαγιών», Natural Resource Technologies Consulting

3 Δασικές πυρκαγιές

3.1 Εισαγωγή

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν την κύρια απειλή και ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για τα δάση. Κάθε καλοκαίρι, οι πυρκαγιές προκαλούν τεράστιες καταστροφές στα δασικά οικοσυστήματα αφήνοντας στο πέρασμά τους στάχτες και αποκαΐδια. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα παραγόντων που συμβάλει στην αύξηση του κινδύνου δασικών πυρκαγιών όπως είναι οι ψηλές θερμοκρασίες και η παρατεταμένη ξηρασία, οι δυνατοί άνεμοι, οι μεγάλες κλίσεις των δασικών εδαφών και η εύφλεκτη ξηροφυτική βλάστηση. Ένας άλλος επίσης σημαντικός παράγοντας είναι και η συσσώρευση βιομάζας, λόγω της εγκατάλειψης πολλών αγροτικών περιοχών. Ο αυξανόμενος τουρισμός και η μαζική έξοδος των κατοίκων των πόλεων για αναψυχή στα δάση, συμβάλουν επίσης σημαντικά στην αύξηση του κινδύνου πρόκλησης πυρκαγιών.

Οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών είναι τεράστιες, αφού επηρεάζουν όχι μόνο το δάσος, αλλά επίσης την οικονομία, την κοινωνία και τον άνθρωπο. Καταστρέφονται σπίτια και άλλες περιουσίες, υποβαθμίζεται το περιβάλλον, διαταράσσεται η ισορροπία του οικοσυστήματος, διαβρώνεται το έδαφος, δημιουργούνται χείμαρροι και πλημμύρες, επηρεάζεται το μικροκλίμα, καταστρέφεται η χλωρίδα και η πανίδα του τόπου και χάνεται η φυσική ομορφιά.

Η έκταση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών στη χώρα μας αποδίδεται από τους παρακάτω πίνακες που δίνουν τον αριθμό των πυρκαγιών, την καμένη έκταση και την καμένη έκταση ανά πυρκαγιά. Από τα γραφήματα προκύπτει μια αυξητική τάση στον αριθμό των πυρκαγιών και στην καμένη έκταση, με μία μικρή συγκράτηση την τελευταία πενταετία. Στα διαγράμματα σημειώνεται με διακεκομμένη γραμμή η χρονολογία κατά την οποία ανέλαβε την ευθύνη της δασοπυρόσβεσης το Πυροσβεστικό Σώμα.[1]

Πίνακας 3.1: Βάση δεδομένων πυρκαγιών για την Ελλάδα 1990-2004 [17]

Έτος	Σύνολο πυρκαγιών για δάση και άλλα είδη γης	Σύνολο καμένης έκτασης για δάση και άλλα είδη γης (ha)	Καμένη έκταση δασών (ha)	Καμένη έκταση για άλλα είδη γης (ha)
1990	1322	38593	21088	17 506
1991	1041	23574	8 000	15 574
1992	2042	66346	23 194	43 153
1993	2406	54049	24 200	29 849
1994	1763	57908	21 157	36 751
1995	1438	27203	9 645	15 541
1996	1757	24000	7 592	17 718
1997	3117	41839	16 760	25 178
1998	9282	112802		
1999	10723	19050		
2000	14650	167006		
2001	15350	20705		
2002	8881	4127		
2003	9583	5565		
2004	10861	8455		

3.2 Αίτια πρόκλησης πυρκαγιών

Το ξέσπασμα πυρκαγιών οφείλεται σε δύο παράγοντες, είτε τα φυσικά αίτια είτε την ανθρώπινη παρέμβαση. Πυρκαγιές στα δάση συνέβαιναν από πολύ παλιά κατά κύριο λόγο της συγκέντρωσης τεράστιας ποσότητας οργανικής ύλης στα δάση. Ανάμεσα στα κύρια αίτια έναρξης δασικών πυρκαγιών ήταν είτε τα φυσικά φαινόμενα όπως αυταναφλέξεις, είτε κεραυνοί

είτε οι εκρήξεις ηφαιστειών. Σε περιοχές όπου οι κλιματικές συνθήκες διαμορφώθηκαν έτσι ώστε να υπάρχουν συχνές κεραυνοκαταιγίδες όπως τον μεσογειακό χώρο οι πυρκαγιές αυξήθηκαν.[1] Τα φυσικά αίτια που προαναφέρθηκαν αποτελούν πηγή έναρξης μόνο 3% των συνολικών δασικών πυρκαγιών στην χώρα μας. Είναι φανερό από τα στατιστικά αυτά ότι το μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης για το ξέσπασμα των δασικών πυρκαγιών το φέρει η ανθρώπινη παρέμβαση. Τεράστιες δασικές εκτάσεις έχουν αφανιστεί τα τελευταία δέκα χρόνια μετατρέποντας το θέμα αυτό σε πραγματική μάστιγα και απειλή για το ελληνικό δασικό οικοσύστημα.[2]

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία, 9 στις 10 δασικές πυρκαγιές προκαλούνται από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες Αναλυτικά οι κυριότερες αιτίες δασικών πυρκαγιών είναι[27]:

- Οι διάφορες γεωργικές δραστηριότητες και κυρίως το καψάλισμα της αποκαλάμης και το κάψιμο ξηρών χόρτων.
- Η απόρριψη αναμμένων τσιγάρων και σπύρτων.
- Το άναμμα φωτιάς σε μη επιτρεπόμενους χώρους.
- Το κάψιμο σκουπιδιών σε μη οργανωμένους σκουβαλοτόπους.
- Οι στρατιωτικές ασκήσεις.
- Οι δραστηριότητες κυνηγών κυρίως κατά τους θερινούς μήνες.
- Οι διάφορες δραστηριότητες σε εξοχικές κατοικίες όπως η χρήση ηλεκτρικών εργαλείων και το κάψιμο σκυβάλων.
- Οι κακόβουλες ενέργειες (εμπρησμοί).
- Βραχυκύκλωμα ηλεκτροφόρων καλωδίων.
- Οι κεραυνοί.

3.3 Παράγοντες που επιδρούν στην δασική πυρκαγιά

Μετά την έναρξη μιας πυρκαγιάς η εξάπλωση της εξαρτάται από ένα συνδυασμό παραγόντων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους όπως είναι το είδος, η ποσότητα και η περιεχόμενη υγρασία

της δασικής ύλης, η τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής τα καιρικά φαινόμενα το υψόμετρο, η κλίση του εδάφους και άλλοι διάφοροι παράγοντες που θα αναπτυχθούν αναλυτικά πιο κάτω.

Σημαντικότερος παράγοντας πέραν της ανθρώπινης παρέμβασης θεωρούνται οι μετεωρολογικές συνθήκες για τον λόγο ότι αποτελούν την κύρια αιτία έναρξης και διάδοσης της πυρκαγιάς. Πέραν όμως τούτου η περιεχόμενη υγρασία της καύσιμης ύλης θεωρείται ως ο σπουδαιότερος παράγοντας για την έναρξη και διάδοση αυτών. Η τοπογραφική διαμόρφωση μπορεί να διευκολύνει την εξάπλωση μιας πυρκαγιάς εντούτοις από μόνη της δεν μπορεί να αποτελέσει σημαντική αιτία.

3.3.1 Μετεωρολογικοί παράγοντες

3.3.1.1 Βροχοπτώσεις

Το ύψος της βροχόπτωσης επιδρά αρνητικά στην δημιουργία και διάδοση δασικών πυρκαγιών. Μεγάλες και μακροχρόνιες βροχοπτώσεις διαβρέχουν καλά την εύφλεκτη δασική ύλη και την κάνουν ανθεκτική στην έναρξη και επέκταση των πυρκαγιών. Αντίθετα υψηλές θερμοκρασίες και ξηρό μακροχρόνιο κλίμα κατεβάζει την περιεχόμενη της ζωντανής καύσιμης ύλης αλλά κυρίως της νεκρής καύσιμης ύλης υγρασίας. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει και η εποχή του χρόνου και ο καιρός που ακολουθεί μετά τις βροχοπτώσεις. Στην Ελλάδα συνήθως τα καλοκαίρια συνοδεύονται από μεγάλη ξηρασία και από αρκετά υψηλές τιμές θερμοκρασίες γεγονός που ευνοεί την έναρξη μιας πυρκαγιάς.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τις χρονιές 1988,1985,981,1977,1974,1969-1970,1964-1965, 1960 οι οποίες συγκαταλέγονται στις ξηρότερες χρονιές ήταν και χρονιές μεγάλων δασικών πυρκαγιών.[5]

3.3.1.2 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του αέρα επιδρά στην πορεία της ξήρανσης, κυρίως της νεκρής καύσιμης ύλης κατά την διάρκεια του χρόνου αλλά και κατά την διάρκεια της ημέρας. Υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με την ξηρασία αποτελούν κατάλληλες συνθήκες για την έναρξη και διάδοση των

δασικών πυρκαγιών. Στατιστικά στην Ελλάδα την ξηρή και θερμή περίοδο του καλοκαιριού ξεσπούν οι περισσότερες δασικές πυρκαγιές.

3.3.1.3 Άνεμος

Το μέτρο της ταχύτητας και η κατεύθυνση του ανέμου επηρεάζει το βαθμό επίδρασης του στην εξάπλωση της δασικής πυρκαγιάς. Οι άνεμοι βορείων διευθύνσεων (μελτέμια) που εμφανίζονται κατά τους θερμούς καλοκαιρινούς μήνες (Μάιο - Σεπτέμβριο) είναι οι πιο επικίνδυνοι. Τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο έχουν τις μεγαλύτερες εντάσεις και μέση χρονική διάρκεια από 2 μέχρι 4 μέρες. Πνέουν κυρίως την ημέρα από τις 8 το πρωί μέχρι τις 8 το βράδυ με την μεγαλύτερη ένταση τους στις 2 το μεσημέρι και χαρακτηριστικό τους είναι η γρήγορη εξασθένιση τους κατά τις βραδινές ώρες.[7]

Η ταχύτητα του ανέμου είναι από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες για την έναρξη και διάδοση της δασικής πυρκαγιάς και αυτό γιατί κατά την στιγμή της ανάφλεξης η διάδοση είναι στενά συνδεδεμένη στη δύναμη του ανέμου που υπάρχει στην επιφάνεια του εδάφους.[20] Επίσης ο άνεμος είναι αυτός που δίνει το απαραίτητο οξυγόνο για την διατήρηση και την εξάπλωση της φωτιάς. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ανέμου τόσο πιο εύκολα και γρήγορα μεταπηδούν οι φλόγες στα γειτονικά στρώματα καύσιμης ύλης την οποία θερμαίνουν και ξηραίνουν, ενώ ταυτοχρόνως πετούν και μεταφέρονται μπροστά από την φωτιά αναμμένα χόρτα, κλαδιά κτλ με κίνδυνο δημιουργίας νέας εστίας.[6]

Ακόμα μια σημαντική παράμετρος είναι η διεύθυνση του ανέμου γιατί καθορίζει την περιεκτικότητα της υγρασίας του αέρα αλλά και την κατεύθυνση διάδοσης της πυρκαγιάς. Οι ξηροί άνεμοι είναι οι πιο επικίνδυνοι για την έναρξη και διάδοση διότι συντελούν σε μεγάλο βαθμό στην ξήρανση της καύσιμης ύλης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σε όλη την νότιο και νησιώτικη Ελλάδα που έχουμε τις περισσότερες δασικές πυρκαγιές μόνο το 14% συμβαίνουν με νηνεμία και 31.1% συμβαίνουν με ανέμους από 4 BF και άνω.[6]

Εξάτμιση

Η εξάτμιση είναι αποτέλεσμα συνδυασμένης επίδραση του ανέμου της θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας αέρα της ατμοσφαιρικής υγρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε περιοχές όπως την χώρα μας κατά την καλοκαιρινή περίοδο του χρόνου έχουμε ελάχιστα mm βροχοπτώσεων. Η βροχή των λίγων mm που διαβρέχει ελάχιστη την νεκρή καύσιμη ύλη εξατμίζεται πολύ γρήγορα.[6]

Βαρομετρική Πίεση

Η βαρομετρική πίεση και η διανομή της σε μια χώρα καθορίζει την ταχύτητα του ανέμου και επιδρά στην διαμόρφωση του καιρού.[5]

3.3.2 Τοπογραφική διαμόρφωση

Υψόμετρο

Η βλάστηση που συναντάμε σε διαφορετικά υψόμετρα και η περίοδος που αυτή μένει πράσινη διαφέρει λόγω των διαφορετικών τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας του κάθε υψομέτρου. Σε ψηλά υψόμετρα συναντάμε πιο συχνά πράσινη βλάστηση με ικανοποιητική υγρασία η οποία αποτρέπει σε σημαντικό βαθμό την έναρξη και εξάπλωση πυρκαγιάς.[19]

Στατιστικά ο μεγαλύτερος αριθμός πυρκαγιών ξεσπά σε υψόμετρα 700 - 1000 m ενώ αντιθέτως σπάνια ξεσπά πυρκαγιά σε υψόμετρα πάνω από 1500 m. Αυτό οφείλεται κυρίως στην διαστολή και ψύξη του αέρα καθώς ανέρχεται στα μεγαλύτερα υψόμετρα. Οι υδρατμοί υγροποιούνται λόγω της πίεσης και μετατρέπονται σε βροχή. Επίσης στα πιο ψηλά υψόμετρα λόγω της μειωμένης περιεκτικότητας του αέρα σε οξυγόνο μειώνεται και η ταχύτητα καύσης.[8]

Έκθεση

Έκθεση είναι η θέση της πλαγιάς ως προς τον ορίζοντα και επιδρά στην περιεκτικότητα της υγρασίας. Πλαγιές που έχουν προσανατολισμό προς τα βόρεια η καύσιμη ύλη περιέχει μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας αφού οι πλαγιές αυτές δέχονται λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία ενώ στις νότιες πλαγιές παρατηρούμε θερμότερες και πιο ξηρές συνθήκες. Αντίστοιχα οι

ανατολικές θερμαίνονται μέχρι το μεσημέρι και οι δυτικές δέχονται τα μεγαλύτερα ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας από το μεσημέρι μέχρι και την δύση του ήλιου.[8]

Κλίση εδάφους

Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση μιας περιοχής τόσο αυξάνεται η ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς γιατί η υπερκείμενη καιγόμενη ύλη βρίσκεται πιο κοντά στις φλόγες και δέχεται μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολούμενης θερμότητας. Επίσης στα εδάφη με μεγάλη κλίση συναντάμε μικρότερες τιμές υγρασίας επειδή το νερό απορρέει γρηγορότερα.

3.3.3 Μορφολογία περιοχής

Σημαντικό ρόλο στην έναρξη και εξάπλωση της δασικής πυρκαγιάς παίζει η μορφολογία της περιοχής ανάλογα με την σύσταση του εδάφους αλλά και την ευκολία πρόσβασης στον χώρο της πυρκαγιάς από τις πυροσβεστικές αρχές.

3.3.4 Κάλυψη εδάφους

Το ποσοστό κάλυψης της περιοχής από δένδρα οι θάμνους παίζει καθοριστικό ρόλο. Κάτω από την κόμη των δέντρων η ταχύτητα του αέρα είναι μικρότερη, η θερμοκρασία είναι μικρότερη και η υγρασία μεγαλύτερη. Οι παράγοντες αυτοί ξεχωριστά αλλά και σε συνδυασμό επιδρούν στην έναρξη και διάδοση της πυρκαγιάς.

3.3.5 Κλίμα και εποχή πυρκαγιών

Το κλίμα κάθε περιοχής καθορίζει την περίοδο των διαφόρων μετεωρικών κατακρημνισμών και στη συνέχεια την περίοδο των δασικών πυρκαγιών.

Στην Ελλάδα έχουμε ξηρό και θερμό καλοκαίρι και φθινόπωρο, έτσι η περίοδος των πυρκαγιών είναι το καλοκαίρι κυρίως αλλά και ως τα μέσα του φθινοπώρου. Η περίοδος των πυρκαγιών αρχίζει τον Ιούνιο περίπου, ενώ η πιο επικίνδυνη εποχή είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.[27]

3.3.6 Επίδραση των χαρακτηριστικών της δασικής καύσιμης ύλης

Το είδος της βλάστησης, η πυκνότητα και ποσότητα της καύσιμης ύλης (βλάστηση και νεκρό οργανικό υλικό) και η υγρασία της καύσιμης ύλης είναι χαρακτηριστικά της που επιδρούν στις δασικές πυρκαγιές. Η ποσότητα της καύσιμης ύλης (βιομάζα) σε μία περιοχή εξαρτάται από τη χρήση του εδάφους (δασικές ή καλλιεργημένες περιοχές), το είδος της βλάστησης και τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτή. Η περιεκτικότητα σε υγρασία εξαρτάται και από την ποσότητα της καύσιμης ύλης αλλά και από της ατμοσφαιρικές συνθήκες.[9]

3.4 Δείκτες επικινδυνότητας δασικής πυρκαγιάς

Ο δείκτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς (Forest fire Wether Index, FWI) είναι ένα σύστημα εκτίμησης του κινδύνου δασικής πυρκαγιάς υπολογισμένο από το γαλλικό μετεωρολογικό κέντρο Mitio France και το αντίστοιχο καναδικό Meteorological Service of Canada. Παρουσιάστηκε πρώτη φορά στη Γαλλία το 1992 αλλά βασίζεται σε ένα καναδικό εμπειρικό μοντέλο που έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιείται από το 1976.[22]

Ο δείκτης επικινδυνότητας Nesterov

Ο Nesterov είναι ένα απλό σύστημα εκτίμησης κινδύνου δασικής πυρκαγιάς, παρουσιάστηκε το 1949 και ο μαθηματικός του τύπος είναι ο ακόλουθος:

$$\sum_{i=1}^w (t_i - D_i) * t_i$$

P: δείκτη ανάφλεξης

W: αριθμός των ημερών με ύψος νερού άνω των 3mm

T: είναι η θερμοκρασία σε °C

D: είναι η θερμοκρασία του σημείου δρόσου σε °C

Ο υπολογισμός κινδύνου πυρκαγιάς ξεκινάει την πρώτη μέρα της Άνοιξης, ώστε η υψηλότερη θερμοκρασία να είναι άνω του σημείου ψύξεως και συνεχίζει έως ότου οι βροχοπτώσεις να φτάσουν τα 3mm όπου αρχίζει εκ νέου η διαδικασία. Ο κίνδυνος πυρκαγιάς ανάλογα με τις τιμές του δείκτη ανάφλεξης P παίρνει τις τιμές του Πίνακα 3.2.[23]

Πίνακας 3.2: Κίνδυνος πυρκαγιάς ανάλογα με τις τιμές του δείκτη ανάφλεξης.[23]

Τιμές του _P	Κίνδυνος πυρκαγιάς
0-300	Ελάχιστος
301-1000	Μέτριος
1001-4000	Υψηλός
4000+	Εξαιρετικός

3.5 Είδη δασικών πυρκαγιών

Ανάλογα με τον τρόπο εξάπλωσης ,την προέλευση ,την ταχύτητα εξάπλωσης , το μέγεθος της βλάβης που προκαλούν η κάθε πυρκαγιά διαφέρει. Υπάρχουν διάφορα είδη κατηγοριοποίησης τους ανάλογα με την εξεταζόμενη παράμετρο. Ακολουθεί μια ταξινόμηση ανάλογα με την τρόπο εξάπλωσης τους .

3.5.1 Πυρκαγιές επιφάνειας

Αποτελούν το συνηθέστερο είδος πυρκαγιάς και σε αυτές καίγεται η χαμηλή βλάστηση στην επιφάνεια του εδάφους. Χαρακτηριστικό τους είναι η μεγάλη ταχύτητα διάδοσης φλόγας όταν επικρατούν άνεμοι στην περιοχή με φλόγα και ταχύτητα.[16]

3.4.2 Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες

Σε αυτές καίγεται η οργανική ύλη κάτω από την επιφάνεια του φυλλοστρώματος του δάσους. Έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό τη μη παραγωγή καπνού, οπότε γίνονται πολύ δύσκολα αντιληπτές. Οι πυρκαγιές αυτές μπορεί να διεισδύουν σε βάθος έως και 2m εξαπλώνονται αργά και είναι από τις πιο δύσκολες στην κατάσβεση. Οι πυρκαγιές αυτού του είδους είναι σπάνιες στην Ελλάδα.

3.4.3 Πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες

Οι πυρκαγιές αυτές είναι συνήθως συνεπακόλουθο των πυρκαγιών επιφάνειας και έχουν σαν χαρακτηριστικό γνώρισμα την καύση του φυλλώματος των δέντρων το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την ολική καταστροφή και νέκρωση των δέντρων. Κυρίως θύματα τις πυρκαγιές αυτής είναι τα φυτικά είδη που η κόμη είναι εύφλεκτη όπως τα κωνοφόρα. Φυλλοβόλα πλατύφυλλα λόγω του πράσινου φυλλώματος τους είναι πιο δύσκολο να καούν.

Χαρακτηριστικό αυτού του τύπου το οποίο την καθιστά και ιδιαίτερα επικίνδυνη είναι ότι ο άνεμος παρασύρει σε μεγάλη απόσταση καιγόμενα κλαδιά και φύλλα με κίνδυνο δημιουργίας νέων εστιών. Εξαπλώνεται με μεγάλη ταχύτητα, μεγαλύτερη από αυτήν της επιφανειακής. Δημιουργείται αρκετός καπνός ο οποίος ανυψώνεται αρκετά ψηλά με σκοτεινό σκούρο χρώμα λόγω της καύσης των πράσινων φύλλων.[5]

3.5 Μέρη πυρκαγιάς

Μια πυρκαγιά αποτελείται από 5 διαφορετικά μέρη από τα οποία το καθένα έχει τα δικά του χαρακτηριστικά.

- Μέτωπο ή κεφαλή πυρκαγιάς

Μέτωπο της πυρκαγιάς χαρακτηρίζεται το μπροστά μέρος της πυρκαγιάς το οποίο ακολουθεί την διεύθυνση του αέρα. Και κινείται με την μεγαλύτερη ταχύτητα. Καθορίζεται σαν μέτωπο της φωτιάς που καίει γρήγορα και έντονα και προκαλεί τις περισσότερες ζημιές. Το μέτωπο είναι το πιο κρίσιμο σημείο στον έλεγχο μιας δασικής πυρκαγιάς, και το δυσκολότερο να ελεγχθεί. Κατά την κατάσβεση μιας πυρκαγιάς από πυροσβεστικές δυνάμεις τον ρόλο του ελέγχου του μετώπου συνήθως το αναλαμβάνουν οι εναέριες δυνάμεις.

- Ο δακτύλιος

Μια δασική πυρκαγιά που βρίσκεται σε εξέλιξη, διαιρείται συνήθως σε διάφορα μέρη ή δακτυλίους. Κάθε δακτύλιος σχηματίζει τη δική του κεφαλή ή κορυφή του δακτυλίου. Για να ελεγχθεί το μέτωπο της φωτιάς πρέπει να γίνουν διαδοχικά βήματα ελέγχου κάθε δακτυλίου χωριστά.

- Τα νώτα ή η ουρά της δασικής πυρκαγιάς

Είναι το πίσω μέρος της πυρκαγιάς το οποίο κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση με το μέτωπο. Η ένταση και η ταχύτητα των φλογών στα νώτα είναι πολύ μικρή γι αυτό και η προσβολή τους είναι ευκολότερη από κάθε άλλο τμήμα της πυρκαγιάς.

- Τα πλευρά

Βρίσκονται αριστερά και δεξιά της κεφαλής και των νώτων της δασικής πυρκαγιάς. Αυτά χαρακτηρίζονται σαν ‘δεξιό πλευρό’ και ‘αριστερό πλευρό’ ανάλογα με τη διεύθυνση της κίνησης του ανέμου. Τα πλευρά της πυρκαγιάς δε καίνε έντονα, ούτε επεκτείνονται τόσο γρήγορα, όσο η κεφαλή της, αλλά ούτε καίνε τόσο ήρεμα, όσο τα νώτα της πυρκαγιάς είναι όμως δυνατό να ελεγχθούν ευκολότερα από ότι η κεφαλή της ή οι δακτύλιοι.

- Η περίμετρος

Αποτελεί το σύνολο των πλευρών της κεφαλής και των νότων. Όταν η πυρκαγιά καίει, η περίμετρος της διαρκώς αυξάνει. Όταν τέλος η πυρκαγιά σβήσει η περίμετρος της ορίζει την καμένη επιφάνεια.[16]

3.6 Επιπτώσεις από τις πυρκαγιές

3.6.1 Επιπτώσεις στην υγεία

Μεγαλύτερη επίπτωση στον άνθρωπο από τις δασικές πυρκαγιές είναι οι μεγάλες επιπτώσεις που επιφέρει ο καπνός από τις πυρκαγιές στην υγεία. Ο καπνός της πυρκαγιάς αποτελείται από ένα μείγμα ενώσεων υδρατμών, μονοξειδίου του άνθρακα, αλδεϋδών, διοξειδίου του άνθρακα, αμμωνία, τολουόλες αλλά και διάφορα μικροσωματίδια ανάλογα κάθε φορά από το είδος της δασικής ύλης που καίγεται.

Σε αρκετές περιπτώσεις η καύσιμη ύλη είναι δομικά υλικά λιπάσματα φυτοφάρμακα, απόβλητα και επικίνδυνες ουσίες που συμβάλουν σε μεγάλο βαθμό στην ατμοσφαιρική ρύπανση σε παγκόσμιο επίπεδο με άμεσες και έμμεσες συνέπειες για την υγεία του ανθρώπου. Στην κατηγορία των άμεσων συνεπειών συγκαταλέγονται τραυματισμοί, εγκαύματα, δηλητηριάσεις από μονοξείδιο του άνθρακα, στρες, κρούσματα πανικού, αναπνευστικά προβλήματα ακόμη και θάνατος σε αρκετές περιπτώσεις. Στις έμμεσες συνέπειες συγκαταλέγονται τα διάφορα περιστατικά άσθματος, αναπνευστικών και καρδιαγγειακών ή άλλων προβλημάτων.

Η παρατεταμένη εισπνοή καπνού μειώνει την αντίσταση στις μολύνσεις και αυξάνει την ευαισθησία σε μικροοργανισμούς, οδηγεί σε απώλεια βάρους, κούραση και αδυναμία. Το μονοξείδιο του άνθρακα προκαλεί υπνηλία, αποπροσανατολισμό κούραση, αργά αντανakλαστικά, μειωμένες διανοητικές και χειρωνακτικές δεξιότητες, ανικανότητα διαχωρισμού χρωμάτων και υπολογισμού του χρόνου.

Ο καπνός δεν αποτελείται μόνο από τα στοιχεία της καύσιμης οργανικής ύλης, ανάμεσα

σε αυτά υπάρχει ένα πλήθος τοξικών ουσιών. Όταν η πυρκαγιά καταστρέφει υλικά όπως γεννήτριες ή άλλη υλικοτεχνική υποδομή της ΔΕΗ, αυτοκίνητα ή σκουπίδια εκπέμπονται τοξικές ουσίες. Ακόμα τοξικές ουσίες μπορεί να προέρχονται από τα κατάλοιπα των ζιζανιοκτόνων και φυτοφαρμάκων όπου χρησιμοποιούν στην γεωργία. Οι ουσίες αυτές ευθύνονται για διάφορα προβλήματα υγείας ακόμα και εμφάνιση καρκίνου.[10]

Σχετικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί, έχουν αποδείξει πως για κάθε χίλια στρέμματα που καίγονται, παράγονται 10tn διοξειδίου του άνθρακα και PCBs (Polychlorinated Biphenyls Πολυχλωριομένα Διφαινίλια, το σύνολο των υπόλοιπων καυσαερίων) τα όποια ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται, επιταχύνουν τις χημικές αντιδράσεις προς σχηματισμό όζοντος, το οποίο προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα και δύσπνοια.

Οι βλάβες του αναπνευστικού μπορεί να είναι είτε βραχυπρόθεσμες είτε μακροπρόθεσμες. Οι βραχυπρόθεσμες οφείλονται στην άμεση παραγωγή θερμότητας, στα αιωρούμενα τοξικά σωματίδια, στην εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα κατά την διάρκεια της καύσης, ενώ οι μακροπρόθεσμες οφείλονται στην απουσία του ίδιου του δάσους που λειτουργεί σαν φίλτρο καθαρισμού της ατμόσφαιρας.[8]

Μετεωρολογικοί και τοπογραφικοί παράγοντες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη διασπορά και την διάχυση των αέριων ρύπων. Τέτοιοι παράγοντες είναι το ανάγλυφο της περιοχής, οι θερμικές κυκλοφορίες με την μορφή θαλάσσιας αύρας ή αναβατικών και καταβατικών ανέμων, καθώς επίσης και η θερμοκρασιακή αναστροφή η οποία λειτουργεί ως σκέπασμα που παγιδεύει τον καπνό και έχει ως αποτέλεσμα να τον κρατά στο έδαφος.[18]

3.6.2 Επιπτώσεις στο έδαφος

Η επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στο έδαφος είναι μεγάλες γιατί μετά την

πυρκαγιά μεταβάλλονται σε μεγάλο βαθμό οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους που έχει σαν αποτέλεσμα να μεταλλαχτεί και η παραγωγικότητα του εδάφους. Η μερική ή ολική καταστροφή του δάσους και γενικά της βλάστησης του εδάφους συντελεί στη μερική ή ολική παράσυσρη του εδάφους από τις βροχές, στη δημιουργία πλημμυρών στις πεδινές περιοχές, στην αύξηση της διάβρωσης του εδάφους και στην εμφάνιση χειμαρρωδών φαινομένων.

Η έντονη διάβρωση που δημιουργείται μετά από μια δασική πυρκαγιά τροφοδοτεί κάθε χρόνο τους χειμάρρους με φερτά υλικά και η έντονη απορροή μετά την ετήσια κατά μέσο όρο καταστροφή 100.000 στρεμμάτων δάσους οδηγεί στην απώλεια 29.000.000 m³ νερού το οποίο ήταν προορισμένο να εμπλουτίσει τον υδροφόρο ορίζοντα, τα υπόγεια αποθέματα νερού και τις φυσικές πηγές με την διαδικασία της διήθησης και της διαπερατότητας του δασικού εδάφους.

Μετά από μια μεγάλης έντασης δασική πυρκαγιά, η αποσάθρωση των σκληρών ασβεστολιθικών πετρωμάτων αυξάνει σημαντικά με την επίδραση των θερμοκρασιακών μεταβολών και των μεταβολών της υγρασίας. Για παράδειγμα, οι επιφάνειες ασβεστολιθικών πετρωμάτων από τις οποίες πέρασε πυρκαγιά, ανάλογα με την ένταση της, δημιουργεί CaO (ασβέστη), που μετά από βροχή προσλαμβάνει νερό, γίνεται υδροξύλιο του ασβεστίου και το πέτρωμα αποσαθρώνεται έντονα.[16]

Βασικό ρόλο στην καταστροφή και στην διαμόρφωση του εδάφους μετά από πυρκαγιά συμβάλουν αρκετοί παράγοντες. Η ένταση η συχνότητα και τα ειδικά χαρακτηριστικά του εδάφους παίζουν καθοριστικό ρόλο και συνεπιδρούν με διάφορους τρόπους. Μικρής έντασης πυρκαγιές δεν προκαλούν μεγάλες αλλαγές στην δομή του εδάφους, μάλιστα επιταχύνουν την πρόοδο της ανακύκλωσης επιστρέφοντας τα θρεπτικά συστατικά ξανά στο έδαφος για να χρησιμοποιηθούν ξανά από τα φυτά. Υποβάθμιση και καταστροφή του εδάφους παρατηρείται μετά από πυρκαγιά στην οποία καίγονται υψηλά κορμοδριβή δάση η πυκνά θαμνώδη δάση με μεγάλη ένταση και μεγάλες θερμοκρασίες στις οποίες το οργανικό υλικό

του εδάφους καίγεται με αποτέλεσμα να καταστρέφεται σε μεγάλο βαθμό η δομή του.

Κάτω από διάφορες φυσικές συνθήκες, οι δασικές πυρκαγιές αυξάνουν την αναλογία των νιτρικών συστατικών του εδάφους και έτσι αντισταθμίζουν μερικά τις απώλειες του στην ατμόσφαιρα, που προήλθαν από τη πυρκαγιά.

Στην Ελλάδα μετά τις καλοκαιρινές πυρκαγιές, ακολουθούν ραγδαίες φθινοπωρινές βροχές. Αν η κλίση του καμένου εδάφους είναι πάνω από 30 %, η διάβρωση είναι σημαντική και οι ολισθήσεις συνηθισμένες. Επίσης μετά μία δασική πυρκαγιά, αν το έδαφος έχει καεί στο σύνολο του, τότε οι εδαφικές χημικές και φυσικές ιδιότητες και η δομή του αλλάζουν δραστικά, τα φυτά υποσιτίζονται και το έδαφος διαβρώνεται.[16]

3.6.3 Επιπτώσεις στις λεκάνες απορροής

Η επίδραση των πυρκαγιών στο υδρογραφικό δίκτυο της καμένης περιοχής είναι σημαντική καθώς αυξάνονται οι απορροές και η ποιοτική υποβάθμιση του νερού που προορίζεται για την εξυπηρέτηση των οικιακών χρήσεων των περιοχών αυτών.

Το νερό που προέρχεται από τις διαβρώσεις καμένων επιφανειών περιέχει αυξημένες ποσότητες Ca (Ασβέστιο), K (Κάλιο), N (Άζωτο) και P (Φωσφόρο). Επίσης κατά τις πρώτες βροχές η χημική σύσταση του νερού αλλάζει προς την κατεύθυνση αυξημένων σε ανθρακικά, νιτρώδη, αμμωνιακά και οργανικά νιτρικά υλικά που προέρχονται από τη διάλυση και παράσυρση της στάχτης. Τα στοιχεία από το έδαφος και η στάχτη καθιστούν το νερό ακατάλληλο για άρδευση αφού όταν αυτό χρησιμοποιηθεί μπορεί να προκαλέσει υπερτροφισμό.

Η καταστροφή της βλάστησης των φυτικών υπολειμμάτων της επιφάνειας μιας λεκάνης απορροής από πυρκαγιά συντελεί στη αύξηση της διάβρωσης του εδάφους και της απορροής από ισχυρές βροχοπτώσεις και τελικά τη δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων. Ειδικότερα μετά την πυρκαγιά μεταβάλλονται τόσο το ύψος όσο και η ενέργεια της βροχής που φθάνει στην επιφάνεια της λεκάνης, όσο και πολλές από τις

φυσικές ιδιότητες του εδάφους της, με αποτέλεσμα την εμφάνιση των δυσμενών φαινομένων που αναφέρθηκαν.[16]

3.6.4 Επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα

Καθημερινά απορροφούνται μεγάλες ποσότητες ακτινοβολίας από την Γη για κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της ενώ η υπόλοιπη ποσότητα αντανακλάται πίσω στο διάστημα. Τα δάση παίζουν πολύ βασικό ρόλο στο ισοζύγιο αυτό της απορρόφησης και την αντανάκλασης των ηλιακών ακτινών με την διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής κατά την οποία δημιουργούνται υδρατμοί οι οποίοι απορροφούν μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας.

Κατά την καύση των δασικών εκτάσεων απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, αιθάλης και σε μικρότερο ποσοστό, άλλα αέρια, γνωστά όλα ως αέρια του θερμοκηπίου. Τα αέρια αυτά συγκεντρώνονται στη στρατόσφαιρα και απορροφούν ακτινοβολία με αποτέλεσμα να θερμαίνονται. Στη συνέχεια εκπέμπουν και αυτά ακτινοβολία όπου μεγάλο ποσοστό αυτής οδηγείται στο έδαφος. Εξαιτίας αυτού τα συγκεκριμένα αέρια εκπέμπουν τελικά προς το διάστημα μικρότερη ακτινοβολία από αυτή που δέχονται με συνέπεια την αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας. Αυτό ακριβώς συνιστά το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Την μεγαλύτερη συνεισφορά έχει το διοξείδιο του άνθρακα και ακολουθούν το μεθάνιο, οξείδια αζώτου, χλωροφθοράνθρακες και όζον.

Όσο πιο μεγάλη είναι η ένταση της πυρκαγιάς τόσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό των μικροσωματιδίων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Οι κεφαλές των δασικών πυρκαγιών που καίνε με ταχύτητα και ένταση των καύσιμη οργανική ύλη αφήνουν άκαυστα καπνίζοντα υπολείμματα και οι εκπομπές αυτές είναι τριπλάσιες από εκείνες των δασικών πυρκαγιών που καίνε τα νώτα και τα πλευρά της πυρκαγιάς.[17]

3.6.5 Επιπτώσεις στο υδρογραφικό δίκτυο και στη διάβρωση

Ανάλογα από το είδος και την ποσότητα της τοπικής βλάστησης και την ισχύ της πυρκαγιάς προκύπτουν και οι συνεπείς στο υδρογραφικό δίκτυο και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζονται. Πυρκαγιές μεγάλης ισχύς αυξάνουν το ποσό απορροής του νερού και της διάβρωσης του εδάφους. Οι κίνδυνοι της αύξησης της διάβρωσης μπορούν να διαρκέσουν από 1 μέχρι 5 χρόνια μετά τις πυρκαγιές και εξαρτώμενοι σε μεγάλο κομμάτι από την ένταση και την τοποθεσία των καταιγίδων σε συνδυασμό με την καμένη περιοχή. Μερικοί επιστήμονες σε θέματα ατμόσφαιρας έχουν προτείνει ότι μεγάλες καμένες περιοχές μπορούν στην πραγματικότητα να αναπτύξουν την ένταση των καταιγίδων και κατ' επέκταση να συνεισφέρουν στην αύξηση της απορροής και διάβρωσης. Μια πιθανή εξήγηση για αυτό το φαινόμενο είναι ότι τα καμένα εδάφη έχουν χαμηλότερη αντανακλαστικότητα και απορροφούν μεγαλύτερη θερμότητα αυξάνοντας τις θερμοκρασίες στο υπέδαφος.[17]

3.6.6 Επιπτώσεις στην οικονομία

Οι οικονομικές απώλειες λόγω των πυρκαγιών διαφέρουν και μπορούν γενικά να διακριθούν σε εκείνες που εμφανίζονται ως συνέπεια και απάντηση στις πυρκαγιές και εκείνες που σχετίζονται με την αναμονή των πυρκαγιών.

Οι απώλειες ως συνέπεια των πυρκαγιών υφίστανται από την άμεση ή έμμεση έκθεση των αγαθών σε αυτές. Κάτω από αυτήν την κατηγορία μπορούμε να απαριθμήσουμε τις απώλειες αγαθών και υπηρεσιών του δάσους (π.χ. ξυλεία, μανιτάρια, μούρα, θέσεις αναψυχής και τουριστικές δραστηριότητες, αισθητική αξία τοπίων, προστασία λεκανών απορροής, βιοποικιλότητα), ιδιοκτησίας (π.χ. σπίτια, αυτοκίνητα, δυναμικότητα παραγωγής), υποδομής (π.χ. ηλεκτροφόρα καλώδια, δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές), ανθρώπινης υγείας (νοσηρότητα και θνησιμότητα) και άλλων (π.χ. κλείσιμο δρόμων, απώλειες στην παραγωγή λόγω των διακοπών ρεύματος). Αυτοί που επωμίζονται κυρίως τις απώλειες αυτές είναι οι ιδιοκτήτες ή χρήστες των κατεστραμμένων αγαθών ή των χαμένων υπηρεσιών.

Επιπλέον, ως απάντηση στις πυρκαγιές, γενικά, προωθούνται η καταστολή (ανθρώπινο δυναμικό και εξοπλισμός) και οι ενέργειες αποκατάστασης. Αυτές οι δραστηριότητες παράγουν δαπάνες που στο μεγαλύτερο μέρος τους επιβαρύνουν την κοινωνία. Αντίθετα, οι δαπάνες εν αναμονή των πυρκαγιών είναι κυρίως εκείνες που αφορούν τα μέτρα που στοχεύουν στην πρόληψή τους και την προστασία της ιδιοκτησίας και των ανθρώπων. Αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν την πρόληψη πυρκαγιάς (π.χ. απομάκρυνση της καύσιμης ύλης με προδιαγεγραμμένη καύση, αραιώσεις, αντιπυρικές ζώνες), τη σχετική με τις πυρκαγιές εκπαίδευση και κατάρτιση, τη διατήρηση του δασοπυροσβεστικού και άλλου σχετικού με την πυρκαγιά εξοπλισμού, τα αντιπυρικά μέτρα ασφαλείας στις κατασκευές και υποδομές.[26]

3.6.7 Κίνδυνοι κατολίσθησης

Κατολισθήσεις ονομάζονται όλα τα είδη κινήσεως δια των οποίων μετακινούνται οι σχετικές ξηρές μάζες του αποσαθρωμένου πετρώματος και στις οποίες το νερό παίζει βοηθητικό ρόλο.[12] Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο κατακόρυφη μετακίνηση προς τα κάτω, το φαινόμενο καλείται καθίζηση ή κατάπτωση.[11]

Καμιά κατολίσθηση δεν παρατηρήθηκε να προκλήθηκε μόνο από ακραίες καιρικές συνθήκες, όλες οι κατολισθήσεις συνδυάζονται με τη φωτιά. Αυτό συμβαίνει γιατί τα δάση δρουν σα μια θερμική ασπίδα μεταξύ της ατμόσφαιρας και του υπεδάφους και επειδή οι ρίζες των δέντρων παρέχουν ισχυρές επιδράσεις στις πλαγιές των βουνών.[20]

3.6.8 Υδρολογικοί κίνδυνοι

Η καταστροφή της βλάστησης και των φυτικών υπολειμμάτων της επιφάνειας μιας λεκάνης απορροής από πυρκαγιά έχει σαν αποτέλεσμα μετά μια βροχόπτωση στην εμφάνιση επιφανειακής απορροής και διάβρωσης του εδάφους καθώς και στη μείωση της ικανότητας του να συγκρατεί το νερό με επακόλουθο την εμφάνιση πλημμυρών. Οι πλημμύρες είναι ο πιο συνήθης κίνδυνος από όλους τους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Αυτές επηρεάζουν τη ζωή 20.000 ανθρώπων ανά έτος και επηρεάζει δυσμενώς 75.000.000 ανθρώπους σε όλο τον κόσμο. Πιο συγκεκριμένα οι πλημμύρες προκαλούν

κοινωνικο-οικονομικές καταστροφές καθώς και δευτερεύουσες απώλειες που συνδέονται με μείωση αξιών των σπιτιών αμέσως μετά από αυτό το γεγονός παρόλα αυτά η μείωση αυτή είναι ένα πρόσκαιρο γεγονός. Ζημιές στη σοδιά, στα ζώα και στις αγροτικές υποδομές μπορεί να είναι μεγάλες σε καλλιεργούμενες αγροτικές περιοχές.

Μετά την πυρκαγιά υπάρχει μεταβολή στο ύψος και την ενέργεια της βροχής που φθάνει στην επιφάνεια λεκάνης, όσο και πολλές από τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους της το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση δυσμενών φαινομένων όπως αυτά έχουν περιγραφεί πιο πάνω. Επιτακτική ανάγκη αμέσως μετά την κατάσβεση μιας πυρκαγιάς είναι η λήψη αντιπλημμυρικών και αντιδιαβρωτικών έργων.

3.6.9 Τεχνολογικοί κίνδυνοι

Τεχνολογικοί κίνδυνοι είναι κάθε τεχνολογική δραστηριότητα του ανθρώπου που ενέχει κάποια πιθανότητα να προκαλέσει μεγάλης ή μικρής κλίμακας καταστροφής στο ανθρωπογενές ή/και στο φυσικό περιβάλλον.[13]

Μία δασική πυρκαγιά είναι δυνατό να προκαλέσει τεχνολογικά ατυχήματα σε χημικές βιομηχανίες, να προκαλέσουν διακοπή ηλεκτροδότησης, διάρρηξη αγωγών μεταφοράς αερίων ή υγρών καυσίμων. Αν μία πυρκαγιά προκαλέσει την έναρξη ενός τεχνολογικού ατυχήματος τότε οι κίνδυνοι αφορούν μεγάλης έκτασης περιοχές με ακόμα πιο καταστροφικές επιπτώσεις όταν στην περιοχή υπάρχει έντονη παρουσία χημικής βιομηχανίας.[4,26]

3.6.10 Θετικές επιπτώσεις πυρκαγιών

Παρόλο το κακό που προκαλούν μερικές φορές οι πυρκαγιές έχουν και ορισμένα θετικά συνεπακόλουθα. Βοηθούν στην αναγέννηση των δασών με την καύση του πυκνού στρώματος φυλλάδας που έχει σαν αποτέλεσμα την έκθεση του γυμνού εδάφους και την εγκατάσταση σε αυτό καινούργιων φυτών. Επίσης καταστρέφεται η υποβλάστηση που υπάρχει η οποία εμποδίζει πολλές φορές την ανάπτυξη του οικοσυστήματος. Για

αυτό το λόγο πολλές φορές ανάβονται τεχνητές πυρκαγιές για την καταστροφή της υποβλάστησης, της φυλλάδας και των θάμνων πριν την εποχή φύτευσης σε αναδασωτέες περιοχές.

Ακόμα οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να βελτιώσουν την χλωρίδα των βοσκοτόπων. Ύστερα από κάθε πυρκαγιά φυτρώνει στην αρχή χρήσιμη χλόη, που τρώγεται από τα βοσκόντας ζώα, τελικά όμως ύστερα από λίγα χρόνια ο βοσκότοπος σκεπάζεται και πάλι από ζιζάνια, οπότε οι βοσκοί καίνε και πάλι τους βοσκότοπους τους.

Οι πυρκαγιές χρησιμεύουν ακόμη για τη καταστροφή φυτοπαθολογικών ασθενειών. Η καταστροφή των προσβεβλημένων δέντρων γίνεται με τη καύση τους.[13]

Σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιείται το ελεγχόμενο κάψιμο ως μέσο πρόληψης των δασικών πυρκαγιών. Με τον ελεγχόμενο κάψιμο μπορεί να επιτευχτεί η απομάκρυνση της ζωντανής βλάστησης. Έτσι κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και φυσικά υπό τον ανθρώπινο έλεγχο επιτυγχάνονται τα θετικά μόνο στοιχεία της φωτιάς.[15]

3.7 Μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης πυρκαγιών

- Ευαισθητοποίηση/ενημέρωση των πολιτών
- Τεχνικά και νομοθετικά μέτρα
- Διερεύνηση των αιτιών και ανάλυση στατιστικών
- Κατάλληλη διαχείριση του δάσους
- Προκατασταλτικό (αντιπυρικό) σχεδιασμό
- Προκατασταλτικά έργα (δρόμους, δεξαμενές, ελικοδρόμια, αντιπυρικές ζώνες, κλπ.)
- Ετοιμότητα– σύστημα εκτίμησης κινδύνου
- Επίγειες περιπολίες στο δάσος και προσωπικές επαφές
- Εντοπισμό των πυρκαγιών από το έδαφος ή τον αέρα [25,26]

Βιβλιογραφία

1. Ηρακλής-Παναγιώτης Αγιοβλασίτης, «Μελέτη της επιβραδυντικής δράσης 28 ανοργάνων χημικών ενώσεων στη δασική ύλη *Pinus halepensis*», Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2005, σελ. 1-73, 119-137
2. Π. Κωνσταντινίδη, «Μαθαίνοντας να ζούμε με τις Δασικές Πυρκαγιές», Εκδόσεις Χριστοδουλίδη, Θεσσαλονίκη 2003, σελ. 13-17, 27-28, 29-50, 58-62, 71-81
3. Δ. Βορίσης, «Η καταστολή των δασικών πυρκαγιών», Έκδοση Πυροσβεστικής Ακαδημίας, Αθήνα 2004, σελ. 17-22, 54-55
4. Δ. Γάκης, «Ηλεκτροχημικές Μέθοδοι για την Αξιολόγηση Χημικών Επιβραδυντών Δασικών Πυρκαγιών», Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 1998, σελ.35-91
5. Καιλίδης- Καρανικόλα, Δασικές πυρκαγιές σελ18-19, 221-228, 187, 135-138,251-253, Εκδόσεις Γιαχούδη, Αθήνα
6. Μαριδάκη Σταυρούλα, «Μελέτη της επιβραδυντικής δράσης του NaHCO_3 και του NH_4Br στις δασικές ύλες: Ευκάλυπτος, αγριελιά, δάφνη και πικροδάφνη», Διπλωματική εργασία, Αθήνα, Οκτώβριος 2002, σελ. 1-66
7. Φλοκας, 1996, Μαθήματα μετεωρολογίας και κλιματολογίας θεσσαλονίκης, σελ.383
8. Στυλιανοπούλου 2008, Μελέτη των οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων από πυρκαγιές στην Πελοπόννησο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2007, Διπλωματική εργασία, Αθήνα
9. Καούκης, Κ, (2009), Δασικέ πυρκαγιές στην Ελλάδα την περίοδο τ1991-2004, Μηνύματα από την εξέλιξη τουφαινομένου , Αθήνα, 25
10. Ψαρά Μ., (2007) Χορός τοξικών σωματιδίων πάνω από το λεκανοπέδιο,(Αθρο), Διαδυκτιακός τόπος www.ethnos.gr/article.asp?catid=22768&subid=2&pubid=131173
11. Λέκκας 2000, Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές, σελ. 105-107, Αθήνα
12. Παπαπέτρου-Ζαμάνη 1995, Γεωμορφολογία, σελ.90-91, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
13. Παπαδοπουλος Γ, 2000, Πολιτική Προστασία στην Ελλάδα, , σελ 19-20,Εκδοσεις Ιών, Αθήνα

14. Χριστόλης, Μιχάλης Ν. 2007, Το αύριο εν κινδύνω, Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές στην Ευρώπη και την Ελλάδα, Εκδόσεις, Gutenberg - Γιώργος & Κώστας Δαρδανός
15. Καϊλίδης Δ. και Καρανικόλα Π. 2004. Δασικές Πυρκαγιές 1900 – 2000, Γιαχούδη , Αθήνα
16. Γκόφας 2008
17. Omi P,(2005), Forest fires, 174- 176, California – Usa
18. Ηλιόπουλος Ν., (2006), Δασικές πυρκαγιές και ατμοσφαιρική επιβάρυνση, Πυροσβεστική επιθεώρηση, τεύχος 113, σελ. 34-37.
19. Xanthopoulos, G. 2000. Greece: the 1999 forest fire season. International Forest Fire News (ECE/FAO) 22: 25-2.
20. Smith, J. (2002). Afforestation and reforestation in the clean development mechanism of the Kyoto Protocol: implications for forests and forest people. International Journal of Global Environmental Issues, 2, 322–343
21. Spanos, I. & Spanos, K. 1996. Postfire establishment and survival of Pinus brutia on the island of Thasos. pp: 163-168. Proceedings of the Second Balkan Scientific Conference, June 3-5, 1996, 1996. Sofia
22. www.1gym-pyrgou.ilei.sch.gr/dasos/domi.htm
23. . www.kpe-kastor.kas.sch.gr/
24. Sassa, K., Wang, G., Fukuoka, H., and Vankov, D.A. (2005): Shear-displacement-amplitude dependent pore pressure generation in undrained cyclic loading ring shear tests: an energy approach. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 131(6):750-761
25. <http://www.fria.gr>
26. Yves Birot, Η Ζωή Μας με τις Δασικές Πυρκαγιές: Η Άποψη της Επιστήμης ,EFI Discussion Paper15,2009
27. <http://www.moa.gov.cy>

4 Χρήση χημικών επιβραδυντών στις δασικές πυρκαγιές

4.1 Γενικά

Οι επιβραδυντές δασικών πυρκαγιών χρησιμοποιούνται με διάφορους τρόπους στην πρόληψη και κατάσβεση πυρκαγιών.

- Ανασταλτικά: οι κατάλληλες χημικές ουσίες αναμιγνύονται με το νερό και εφαρμόζονται στη βλάστηση μπροστά από το μέτωπο της πυρκαγιάς με σκοπό να επιβραδύνει την ανάφλεξη.
- Κατασταλτικά: Οι κατάλληλες χημικές ουσίες ρίχνονται στην φωτιά με σκοπό κατάσβεση.

Χημικοί επιβραδυντές για την κατάσβεση πυρκαγιών χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια και συγκεκριμένα από την δεκαετία του 50 στον πλανήτη και ο συνηθέστερος τρόπος είναι με ρίψη από αεροπλάνα. Με το πέρασμα των χρόνων πολλές και διάφορες ουσίες δοκιμασθήκαν η κάθε μια με διαφορετικά αποτελέσματα και επιπτώσεις. Αρχικά χρησιμοποιούταν το βορικό νάτριο και το χλωριούχο ασβέστιο και αργότερα το βορικό-νάτριο-ασβέστιο αλλά προκαλούσαν έντονα προβλήματα στην διάβρωση των μετάλλων και προκαλούσαν καταστροφές στο οικοσύστημα. Αρκετοί άλλοι συνδυασμοί δοκιμάστηκαν όπως διογκούμενος άργιλος-μπετονίτης, πυκνόρρευστο φωσφορικό διαμμώνιο και θειικό αμμώνιο. Από την δεκαετία του 70 και μετά χρησιμοποιούνταν επιβραδυντικές ουσίες με μικρό ή μακρό χρόνο δράσεως, διαβρεκτικές και αφρώδεις ουσίες. Η επιστήμη των χημικών επιβραδυντών εμφανίστηκε στις αρχές του αιώνα μας και αναπτύσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια μιας και η μάστιγα των δασικών πυρκαγιών αυξάνεται χρόνο με τον χρόνο. Η ανάγκη χρησιμοποίησης επιβραδυντών ως μέσω κατάσβεσης δασικών πυρκαγιών είναι επιτακτική λόγω της συνεχούς μείωσης των αποθεμάτων νερού που προκύπτουν από την αλλαγή των καιρικών φαινομένων. Σκοπός της έρευνας είναι η ανακάλυψη νέων ουσιών πιο δραστικών που μειώνουν αρκετά τον χρόνο και την θερμοκρασία καύσης αλλά να είναι και φιλική με τα δασικά οικοσυστήματα. [3,4]

4.2 Τρόπος αποτελεσματικής δράσης επιβραδυντή

Για να θεωρείται ένας επιβραδυντής αποτελεσματικός πρέπει να μειώνει σε μεγάλο βαθμό την ευφλεκτότητα και την καύση της καύσιμης δασικής ύλης. Αυτό βασίζεται στην χημική ικανότητα του επιβραδυντή να μειώσει και να εμποδίσει την καύση και αξιολογείται μέσω του παράγοντα SF (superiority factor), του οποίου η τιμή πρέπει να είναι πάνω από 0.6 για να μπορεί αν χρησιμοποιηθεί για την κατάσβεση πυρκαγιών. Η αποτελεσματικότητα και τα αποτελέσματα της χρήσης τους εξαρτώνται από πολλούς και διάφορους παραμέτρους οι οποίοι είναι:

- Η ποσότητα του επιβραδυντή που χρησιμοποιείται
- Τα κλιματικά στοιχεία της ημέρας
- Η ποσότητα των δασικών καύσιμων υλών
- Η αναλογία του χημικού επιβραδυντικού στο υδατικό διάλυμα πυρόσβεσης
- Ο τρόπος και ο χρόνος εφαρμογής τους
- Το είδος, η κατάσταση και η διάταξη των δασικών καύσιμων υλών.

Παρόλες αυτές τις παραμέτρους ένας χημικός επιβραδυντής για να είναι αποτελεσματικός πρέπει να πληροί κάποια από τα πιο κάτω κριτήρια

- Να μην είναι τοξικός και να προκαλεί επιβλαβείς επιπτώσεις στο οικοσύστημα και τον άνθρωπο.
- Να μην είναι διαβρωτικός
- Να είναι μακράς διάρκειας
- Να έχει μικρό κόστος
- Να έχει δείκτη SF μεγαλύτερο από 0.6
- Να προσκολλάται καλά στην βλάστηση.

4.3 Κατηγοριοποίηση επιβραδυντών

Οι επιβραδυντές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους ανάλογα με την χημική τους σύσταση και ανάλογα με την δράση τους είναι οι συνηθέστεροι τρόποι

4.3.1 Χημική σύσταση

Ανάλογα με το χημικό σύσταση του έχουμε τις πιο κάτω κατηγορίες:

- Φωσφορικές ενώσεις οι οποίες αποτελούν και το 20% της παγκόσμιας αγοράς χημικών επιβραδυντών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι φωσφορικοί εστέρες.
- Μεταλλικές ενώσεις οι οποίες αποτελούν άλλο ένα 20% της παγκόσμιας αγοράς.
- Οργανικές ενώσεις οι οποίες αποτελούν και το μεγαλύτερο ποσοστό της παγκόσμιας αγοράς με 50%. [5]

4.3.2 Βαθμός δράσης

Βραχείας διάρκειας

Ονομάζονται έτσι γιατί η δράση τους διαρκεί μέχρι να εξατμιστεί το νερό στο οποίο έχουν διαλυθεί. Αρχή λειτουργίας τους είναι η αύξηση της πυκνότητας του νερού οι οποία επιφέρει διάφορες αλλαγές στις ιδιότητες του νερού. Επικολλάται πιο εύκολα στην επιφάνεια των δένδρων και των καιγόμενων υλών, το ξηρό και σκληρό στρώμα που σχηματίζεται από τέτοια ιξώδη μετά την εξάτμιση του νερού βοηθά στην απομόνωση της καιγόμενης δασικής ύλης από το οξυγόνο του αέρα με αποτέλεσμα να συντελεί θετικά στην κατάσβεση της φωτιάς.

Οι ουσίες που χρησιμοποιούνταν και λειτουργούσαν με τον μηχανισμό αύξησης του ιξώδους του νερού έχει αποδειχθεί ότι είναι δηλητηριώδης για τα ζώα και τον άνθρωπο και η χρήση τους σήμερα αποφεύγεται σε μεγάλο βαθμό. [6]

Επιβραδυντές βραχείας διάρκειας είναι:

- CMC-7H3S : κρυσταλλική αδρανής σκόνη
- Gerald : συνθετικό οργανικό πολυμερές μίγμα
- Οι άργιλοι [10]

Μακράς διάρκειας

Ονομάζονται έτσι γιατί δρουν για αρκετό χρονικό διάστημα μετά την ρίψη τους στην δασική ύλη ακόμη και μετά την εξάτμιση του νερού ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, μέχρι δηλαδή να απομακρυνθούν από τον άνεμο και την βροχή πράγμα που τους καθιστά πολύ χρήσιμους κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών κατά τους οποίους έχουμε τα μεγαλύτερα ξεσπάσματα πυρκαγιών και επικρατούν ξηρές συνθήκες και ανομβρία.[4]

Κύριο συστατικό τους είναι τα φωσφορικά και θειικά άλατα του αμμωνίου και ο τρόπος δράσης τους περιγράφεται πιο κάτω:

1. Απόθεση του άλατος στα φυτά μετά την εξάτμιση του νερού με την βοήθεια των πρόσθετων ουσιών που υπάρχουν στον επιβραδυντή για να διευκολύνουν την προσκόλληση του στα φύλλα των φυτών.
2. Εξάτμιση της περιεχόμενης υγρασίας στα καύσιμα από την θερμότητα της πυρκαγιάς.
3. Διάσπαση του άλατος με έκλυση αμμωνίας και σχηματισμό φωσφορικού, μεταφωσφορικού ή θειικού οξέως, στη συνέχεια το οξύ αντιδρά με το καύσιμο αφυδατώνοντας το και ο σχηματιζόμενος άνθρακας σε μορφή γραφίτη δεν καίγεται.
4. Το οξύ σαν καταλύτης είναι διαθέσιμο να αντιδράσει ξανά.[4]

- Θεωρία αραίωσης με μη εύφλεκτα αέρια.

Μη εύφλεκτα αέρια που απελευθερώνονται με τη διάσπαση του επιβραδυντή , αραιώνουν τα καύσιμα αέρια που σχηματίζονται κατά την πυρόλυση της καύσιμης δασικής ύλης.

- Θεωρία φραγμού.

Οι επιβραδυντές εμποδίζουν την διαφυγή πτητικών ουσιών σχηματίζοντας ένα υαλώδης φράγμα το οποίο εμποδίζει το οξυγόνο να φράσει το υπόστρωμα της καιγόμενης δασικής ύλης.

- Θεωρία ελάττωσης του θερμικού περιεχομένου των πτητικών.

Οι χημικοί επιβραδυντές ελαττώνουν το περιεχόμενο των καύσιμων πτητικών. Η ελάττωση στο θερμικό περιεχόμενο συμβαίνει κάθε φορά που η ποσότητα του ανθρακούχου στερεού αυξάνεται και η ποσότητα των πτητικών ελαττώνεται.

- Θερμική θεωρία

Οι Επιβραδυντές μπορούν να αυξήσουν την θερμική αγωγιμότητα της καύσιμης δασικής ύλης με αποτέλεσμα να απάγεται ευκολότερα η θερμότητα ή μέρος της θερμότητας να απορροφάται από τον επιβραδυντή με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία ανάφλεξης.[7,8,9]

Ως επιβραδυντές μακράς διάρκειας χρησιμοποιούνται οι πιο κάτω ουσίες

- Φωσφορική αμμωνία
- Φωσφορικό μονοαμμώνιο
- Θεική αμμωνία

Αφροί

Κύρια χρήση αυτής της κατηγορίας είναι για την κατάσβεση πετροχημικών προϊόντων όμως μερικές φορές χρησιμοποιούνται και για την κατάσβεση των δασικών πυρκαγιών. Η χρησιμοποιούμενη ουσία είναι σε αφρώδη μορφή και κατανέμεται επιφανειακά στο κυτταρινούχο υλικό εμποδίζοντας την έξοδο από αυτό των πτητικών συστατικών του και παράλληλα εμποδίζοντας την προσέγγιση του οξυγόνου στη ζώνη καύσης. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται στην κατάσβεση των δασικών πυρκαγιών δρα με τον εξής τρόπο: Οι αφροί σκεπάζουν την δασική ύλη και αυξάνουν το κολλώδες του διαθέσιμου νερού πάνω στην βλάστηση όπου εφαρμόζονται και έτσι κρατούν το νερό πάνω στην καιγόμενη ύλη με αποτέλεσμα την αναχαίτιση της φωτιάς.[4]

Οι αφροί απαντώνται σε 3 κατηγορίες

- Foam concentrate
- Foam solution

- Foam bubbles

4.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Χρήσης Χημικών Επιβραδυντών

- Αρκετές φορές το κόστος αγοράς των επιβραδυντών είναι αρκετά μεγάλο που μερικές φορές κάνει απαγορευτική την χρήση τους.
- Πολλοί επιβραδυντές έχουν δυσμενείς συνέπειες στο έδαφος, τον αέρα και στις πηγές νερού γύρω τους μειώνοντας η καταστρέφοντας σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του περιβάλλοντος.
- Για την σωστή χρήση τους απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις οι οποίες αποκτώνται μέσω σωστής εκπαίδευσης.
- Υπάρχει ανάγκη φροντίδας και γνώσης για την προμήθεια πρόσθετων εφοδίων. Οι πρόσθετες διαδικασίες για την αποθήκευση , ανάμιξη και διανομή τους.[1]

- Χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά σε περιοχές δύσβατες στις οποίες η δημιουργία αντιπυρικής ζώνης είναι αδύνατη.
- Η ικανότητα τους να δρουν ακόμη και όταν το νερό εξατμιστεί πλήρως.
- Η εξοικονόμηση νερού.
- Ο πολλαπλασιασμός της κατασβεστικής ικανότητας του νερού.[1]

Βιβλιογραφία

1. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Επιβραδυντικών Δασικών Πυρκαγιών στο έδαφος και τους υδάτινους αποδέκτες'', Μεταπτυχιακή (Διπλωματική) Εργασία, Θεόδωρος Γ. Σκαρογιάννης, ΑΘΗΝΑ 2005
2. '' EFFECTS OF WILDFIRE SUPPRESSION CHEMICALS ON PEOPLE AND THE ENVIRONMENT – A REVIEW '' , Kostas D.Kalabokidis , University of the Aegean Departement of Geography , Mytilene , Greece , 27/9/00 Εισαγωγή
3. Δ. Γάκης, Ηλεκτροχημικές Μέθοδοι για την Αξιολόγηση Χημικών (παλιό 3) Επιβραδυντών Δασικών Πυρκαγιών, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 1998, σελ. 3-6, 13-15, 19-61, 101-103, 111-113, 197-203
4. Horrocks A.R., Price D., Fire retardant materials, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2001, pp. 264-291, 293-317. (παλιό ξ8)
5. Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, J. Wiley & Sons, 4 Th Edition, 1993: Vol. 1 (1025-1036), Vol. 2 (252-262, 291-300, 692-707), Vol. 4 (381- 385, 796-801), Vol. 7 (381-388, 414-426, 509-516), Vol. 10 (930-958, 976-992, 993- 1005), Vol. 14 (829-852,883-885), Vol. 15 (622-626, 684-688, 996-1000), Vol. 18 (686- 688, 695-696), Vol. 19 (1047-1053, 1058-1067, 1075-1092), Vol. 22 (327-330, 354-360, 368-374), Vol. 25 (851)
6. Δ. Βορίσης, Η καταστολή των δασικών πυρκαγιών, Έκδοση Πυροσβεστικής Ακαδημίας, Αθήνα 2004
7. S. Liodakis, D. Gakis, K. Ahlqvist, M. Statheropoulos, Pyrolysis of Pinus halepensis needles treated with fire retardants, Annals of Forest Science, 61 (2004) 551- 555
8. S.E. Liodakis, D. Bakirtzis, D. Vorisis, G. Parissakis. Ageing Effect on the Thermal Degradation of Pinus brutia using Thermogravimetric analysis Techniques. 2nd International Conference IMA – Instrumental methods of Analysis – Ioannina 2001
9. S. Liodakis, D. Bakirtzis, D. Vorisis, E. Lois. Fire Retardation Studies on Forest Fuels. 19th ESAT, 2002

10. Hardy,1977,NWCG Fire Equipment working team, 1994,1995

5 Υπέρυθρη Θερμογραφία

5.1 Ορισμοί

Θερμογραφία, ή θερμική απεικόνιση, είναι μια μέθοδος προσδιορισμού της χρονικής εξάρτησης και της χωρικής κατανομής της θερμότητας στα υπό εξέταση αντικείμενα. Το σύστημα που χρησιμοποιείται για αυτόν το σκοπό πρέπει να είναι σε θέση να μετασχηματίσει μια υπέρυθη εικόνα σε μια ορατή εικόνα. Η λειτουργία του είναι να δημιουργεί μια ορατή εικόνα με μια κατανομή ακτινοβολίας που είναι ανάλογη με την υπέρυθη κατανομή ακτινοβολίας του αντικειμένου, δηλαδή τη χωρική κατανομή της θερμοκρασίας του $T(Y, z)$ ή την κατανομή εκπεμπτικότητάς του $\varepsilon(Y, z)$. Αυτή η μετατροπή επιτυγχάνεται συνήθως από τη γρήγορη διαδοχική ανίχνευση του αντικειμένου με ένα ραδιόμετρο.[1]

Η υπέρυθη θερμογραφία είναι μία μη καταστρεπτική τεχνική κατά την οποία μετρείται και καταγράφεται η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός υλικού ή ενός σώματος, στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το αποτέλεσμα τέτοιων μετρήσεων είναι το θερμογράφημα, μία «θερμική» εικόνα (σε έγχρωμη ή ασπρόμαυρη μορφή) της εξεταζόμενης επιφάνειας.

Η αρχή των υπέρυθρων θερμογραφικών τεχνικών βασίζεται στο γεγονός ότι η ροή θερμότητας σε ένα υλικό διαφοροποιείται με την παρουσία ορισμένων τύπων ατελειών. Μεταβολές στη ροή θερμότητας προκαλούν τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές στο εξεταζόμενο υλικό. Ουσιαστικά η θερμογραφία είναι η μελέτη και η απεικόνιση ανάλογων θερμικών δεδομένων.[2]

5.2 Παθητική και ενεργητική θερμογραφία

Η υπέρυθη θερμογραφία μπορεί να αναλυθεί σε δύο προσεγγίσεις, την παθητική προσέγγιση και την ενεργητική προσέγγιση. Η παθητική προσέγγιση εξετάζει υλικά και δομές που είναι από την φύση σε διαφορετική (συχνά υψηλότερη) θερμοκρασία από αυτή του

περιβάλλοντος ενώ στην περίπτωση της ενεργητικής προσέγγισης, ένα εξωτερικό ερέθισμα είναι απαραίτητο για να προκαλέσει σχετικές θερμοκρασιακές διαφορές.[3]

5.2.1 Παθητική θερμογραφία

Κατά την μέθοδο αυτή καταγράφεται η εκπεμπόμενη από το σώμα υπέρυθη ακτινοβολία, χωρίς την εφαρμογή κάποιας εξωτερικής πηγής θερμότητας. Οι σημαντικές εφαρμογές της παθητικής προσέγγισης είναι στην παραγωγή, προληπτική συντήρηση, ιατρική, πυρανίχνευση δασών, προγράμματα θερμικής αποδοτικότητας κτιρίων, έλεγχος οδικής κυκλοφορίας, γεωργία και βιολογία, ανίχνευση αερίου και σε μη καταστρεπτικές δοκιμές (non destructive testing, NDT). Σε όλες αυτές τις εφαρμογές, μη κανονικά θερμοκρασιακά αποτελέσματα δείχνουν ένα πιθανό πρόβλημα που πρέπει να προσεχθεί.[3]

5.2.2 Ενεργητική θερμογραφία

Σε αντίθεση με την παθητική προσέγγιση, στην ενεργητική προσέγγιση, απαιτείται ένα εξωτερικό ερέθισμα για να παραγάγει τις σχετικές διαφορές θερμοκρασίας που αλλιώς δε θα εμφανιζόταν. Γνωστά χαρακτηριστικά αυτού του εξωτερικού ερεθίσματος επιτρέπουν τον ποσοτικό χαρακτηρισμό όπως για παράδειγμα την ανίχνευση του βάθους μιας ρωγμής. Βασιζόμενοι σε εξωτερικό ερέθισμα έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές τεχνικές ενεργητικής θερμογραφίας, όπως Θερμογραφία παλμού (PT), Βηματικής θέρμανσης (SH), Θερμογραφία ασφαλείας (LT), Θερμογραφία ταλαντώσεων (VT). Η ενεργητική προσέγγιση βρίσκει πολυάριθμες εφαρμογές σε μη καταστρεπτικές δοκιμές.[3]

5.3 Υπέρυθη θερμογραφία και εκπεμπτικότητα (emissivity) των υλικών.

5.3.1 Εκπεμπτικότητα - Ορισμός

Εκπεμπτικότητα είναι ο λόγος της ακτινοβολίας ενός σώματος σε μια δεδομένη θερμοκρασία προς την ακτινοβολία ενός σώματος που απορροφά όλη την ακτινοβολία, στην ίδια θερμοκρασία. Ο ακριβής καθορισμός της επιφανειακής εκπεμπτικότητας είναι κλειδί για τη σωστή μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας ενός υλικού.[1]

5.3.2 Φάσμα εκπεμπτικότητας υλικών

Η εκπεμπτικότητα $\varepsilon(\lambda)$ μιας επιφάνειας ορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} / \frac{dR_{bb}(\lambda, T)}{d\lambda}$$

Επομένως η εκπεμπτικότητα είναι μια συνάρτηση του μήκους κύματος, της κατεύθυνση της παρατήρησης σε σχέση με την επιφάνεια και της θερμοκρασία της επιφάνειας.

Γενικά, η εκπεμπτικότητα μεταβάλλεται αργά με το μήκος κύματος στην περίπτωση των στερεών αντικειμένων, αλλά μεταβάλλεται γρήγορα στην περίπτωση των αερίων και των υγρών.

Επιπλέον, η εκπεμπτικότητα μιας επιφάνειας στο ορατό φάσμα συχνά δεν έχει καμία σχέση με την εκπεμπτικότητα στο φάσμα των υπερύθρων. Για παράδειγμα, το χιόνι έχει πολύ χαμηλή εκπεμπτικότητα στο ορατό φάσμα, αλλά είναι άριστο μέλαν σώμα στις υπέρυθρες ακτίνες. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει μια αρκετά αργή επιστροφή στην υγρή κατάσταση, ακόμη και κάτω από την έκθεση στο φως του ήλιου. Στην πραγματικότητα, το μεγαλύτερο μέρος της ορατής ηλιακής ακτινοβολίας διασκορπίζεται και αντανακλάται, η υψηλότερη εκπεμπτικότητα στην περιοχή των υπερύθρων επιτρέπει την επανεκπομπή της απορροφημένης υπέρυθρης ενέργειας.

Γενικά, τα μέταλλα έχουν μια σχετικά υψηλή εκπεμπτικότητα που αυξάνεται γρήγορα με τη θερμοκρασία έως ότου διαμορφωθεί ένα οξείδιο στην επιφάνεια του θερμού μετάλλου. Άλλα υλικά έχουν υψηλές εκπεμπτικότητες που τείνουν να μειωθούν με τη θερμοκρασία. Σε όλες τις περιπτώσεις, η εκπεμπτικότητα εξαρτάται από την επιφάνεια του υλικού.

Για ένα δεδομένο υλικό, η εκπεμπτικότητα ανάγεται συχνά υπό κανονικές συνθήκες και ενσωματώνεται σε όλα τα μήκη κύματος:

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda) \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} d\lambda} = \frac{1}{\sigma T^4} \int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda) \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} d\lambda$$

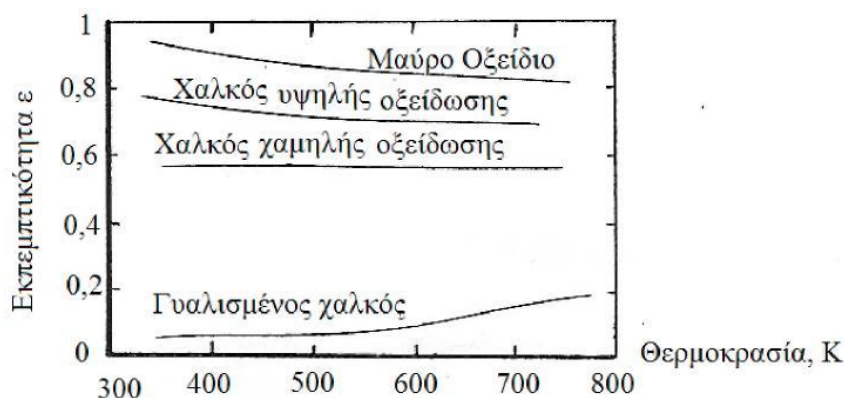
Αυτό αναφέρεται έπειτα ως *ολική εκπεμπτικότητα* που είναι η αναλογία της ενέργειας που ακτινοβολείται από το υλικό σε μια θερμοκρασία T και της ενέργειας που ακτινοβολείται από ένα μέλαν σώμα στην ίδια θερμοκρασία.[1]

5.3.4 Η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης στην εκπεμπτικότητα των υλικών

Η εκπεμπτικότητα ενός υλικού εξαρτάται, αφ' ενός, από τη γωνία της παρατήρησης και αφετέρου από την πόλωση της ακτινοβολίας που εξετάζεται. Αυτό οδηγεί στις σχέσεις Fresnel για το συντελεστή ανάκλασης της περιοχής μεταξύ δύο μέσων.

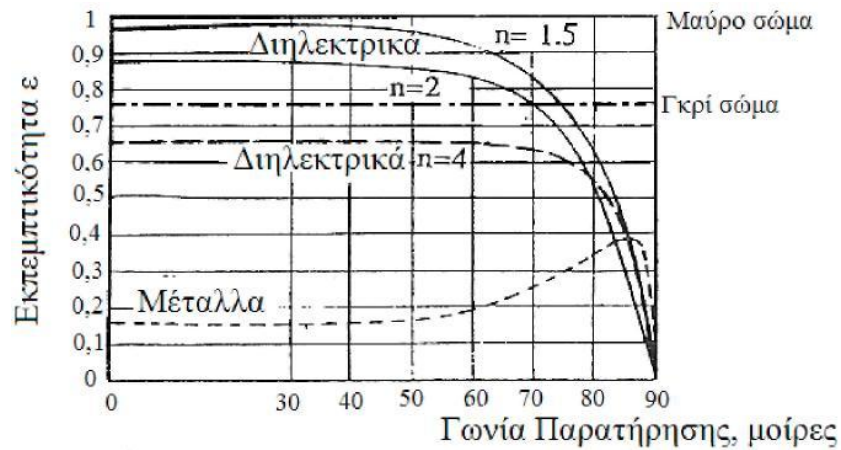
Το νερό είναι σχεδόν τέλει μέλαν σώμα σε ένα μήκος κύματος 10μm σε κανονικές συνθήκες, και γίνεται ένας καθρέφτης ($\varepsilon = 0$) σε χαμηλές συνθήκες.

Η μεταβολή της εκπεμπτικότητας μιας επιφάνειας με τη γωνία παρατήρησης συνεπάγεται ότι οι επιφάνειες που δεν είναι επίπεδες έχουν τοπικά διαφορετική εκπεμπτικότητα, ακόμη και στην περίπτωση ενός υλικού σταθερής εκπεμπτικότητας.



Εικόνα 5.1: Εξάρτηση της εκπεμπτικότητας από την κατάσταση της επιφάνειας του υλικού.

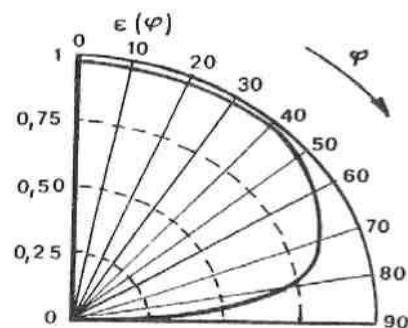
Η γεωμετρία της επιφάνειας που ακτινοβολεί χαρακτηρίζεται από την εκπεμπτικότητα της υπό γωνία. Μια διάκριση πρέπει επομένως να γίνει μεταξύ της ικανότητας ακτινοβολίας προς μια κατεύθυνση, της ικανότητας ακτινοβολίας υπό στερεά γωνία και της ικανότητας ακτινοβολίας ημιδιαστημάτων.



Εικόνα 5.2: Μεταβολή της εκπεμπτικότητας σε σχέση με τη γωνία παρατήρησης.

Για αντικείμενα που ακολουθούν το νόμο του Lambert ισχύει:

$$\epsilon_{\lambda,\varphi} = \epsilon_{\lambda,\omega} = \epsilon_{\lambda,h}$$



Εικόνα 5.3: Πολικό διάγραμμα της εκπεμπτικότητας για το νερό ($\lambda = 10 \mu\text{m}$)

Τα περισσότερα αντικείμενα υπακούουν στο νόμο του Lambert για γωνίες που δεν υπερβαίνουν τις 55°. [1]

5.3.5 Η επίδραση της εκπεμπτικότητας στη θερμογραφία

Η θερμογραφία χρησιμοποιεί κάμερες υπερόθρου για τη μέτρηση είτε της θερμοκρασία ενός αντικειμένου είτε της εκπεμπτικότητας του. Έχουμε δει ότι η εκπομπή ενός αντικειμένου με εκπεμπτικότητα ϵ , σε θερμοκρασία T δίνεται από τον τύπο

$$\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} = \epsilon_{\lambda} \frac{dR_{cn}(\lambda, T)}{d\lambda}$$

Ο παράγοντας ϵ (λ) μπορεί να μεταβάλλεται στο διάστημα 0 έως 1, ανάλογα με το αντικείμενο, και έχει εξαιρετικά ισχυρή επίδραση στην ακτινοβολία από το αντικείμενο. Οι θερμογραφικές μετρήσεις θεωρούνται ακριβείς για την ανίχνευση αυτής της ακτινοβολίας. Είναι σαφές ότι τα σχεδόν-μέλανα σώματα θα δώσουν ένα άριστο αποτέλεσμα επειδή η μετρούμενη ακτινοβολία προκύπτει πρακτικά στο σύνολο της από αυτο-εκπομπή.

Ο νόμος του Planck επιτρέπει στην περίπτωση αυτή τον υπολογισμό της αντίστοιχης θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα είναι πολύ χειρότερα όταν η εκπεμπτικότητα του υλικού είναι χαμηλή.

Δύο παράγοντες επηρεάζουν τέτοιες μετρήσεις. Ο πρώτος παράγοντας είναι το γεγονός ότι σε ίσες θερμοκρασίες, η ενέργεια που ακτινοβολείται από ένα αντικείμενο χαμηλής εκπεμπτικότητας είναι λιγότερη από αυτή ενός μέλανος σώματος. Αυτό το φαινόμενο δεν επιδρά σημαντικά επειδή η γνώση της ικανότητας ακτινοβολίας σε συνδυασμό με την καλή ευαισθησία ανίχνευσης, επιτρέπει τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του αντικειμένου.

Ο δεύτερος παράγοντας ο οποίος επιδρά σημαντικά στη μέτρηση, είναι η ανάκλαση του υλικού η οποία είναι υψηλή όταν η εκπεμπτικότητα είναι χαμηλή, προσθέτοντας έτσι την παρασιτική ακτινοβολία του περιβάλλοντος. Είναι επομένως πολύ δύσκολο να διακρίνουμε μεταξύ ακτινοβολίας λόγω της αυτό-εκπομπής και ακτινοβολίας λόγω της αντανάκλασης.

Παρόλα αυτά είναι δυνατό να επιτευχθούν έγκυρα αποτελέσματα όταν η θερμοκρασία του υπό μέτρηση αντικειμένου είναι αρκετά υψηλότερη από αυτή του περιβαλλοντικού μέσου. Η παρασιτική ενέργεια είναι τότε χαμηλή, ακόμη και για ένα αντικείμενο με μέσο συντελεστή ανάκλασης. Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι καμία μέτρηση δεν είναι δυνατή για υλικά υψηλής ανάκλασης των οποίων η αυτο-εκπομπή είναι ουσιαστικά μηδέν.

Συνοψίζοντας, οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται όποτε είναι δυνατόν επάνω σε «μαύρες» επιφάνειες ή επιφάνειες που έχουν γίνει μαύρες τεχνητά από χρώμα ή επεξεργασία ώστε να έχουν υψηλή εκπεμπτικότητα. Εντούτοις, όταν αυτό δεν είναι δυνατό, οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται υπό ευνοϊκές συνθήκες κάτω από τις οποίες τα αντικείμενα να μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι «γκρι», π.χ., πολυφασματικές μετρήσεις μπορούν να συνδυαστούν με σχετικά σύνθετη επεξεργασία σήματος.[1]

5.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα υπέρυθρης θερμογραφίας

Κάθε μη καταστρεπτική τεχνική έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτημά της. Στην περίπτωση της υπέρυθρης θερμογραφίας, τα πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:

- γρήγορη επιθεώρηση μεγάλων επιφανειών(μέχρι μερικά m^2 κάθε φορά).
- επιθεώρηση χωρίς επαφή.
- η ασφάλεια του προσωπικού (δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία σχετική επιβλαβής ακτινοβολία).
- τα αποτελέσματα είναι σχετικά εύκολο να μελετηθούν δεδομένου ότι οι εικόνες μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία για να εξαχθούν περισσότερες πληροφορίες.
- ευρεία έκταση των εφαρμογών.
- είναι ίσως το μοναδικό εργαλείο επιθεώρησης σε κάποιες περιπτώσεις (π.χ. όπως στην περίπτωση μερικών κεραμικών επιστρωμάτων που επιθεωρούνται μετά βίας με άλλες η καταστρεπτικές τεχνικές ή στην περίπτωση ερευνών στη διάρκεια συντήρησης).

Από την άλλη, υπάρχουν μερικά μειονεκτήματα όπως:

- Δυσκολία απόκτησης μιας γρήγορης, ομοιόμορφης και ιδιαίτερα ενεργητικής θερμικής διέγερσης πάνω σε μια μεγάλη επιφάνεια.
- Επίδραση των θερμικών απωλειών (εκ μεταφοράς, ακτινοβολίας) που συνήθως προκαλούν ψεύτικες μεταβολές θερμοκρασίας και έχουν επιπτώσεις στην αξιοπιστία της μέτρησης.
- Υψηλό κόστος του εξοπλισμού.
- Δυνατότητα επιθεώρησης ένα περιορισμένου πάχους υλικού κάτω από την επιφάνεια.
- Προβλήματα εκπεμπτικότητας.[3]

5.5 Εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας

Η εφαρμογή της υπέρυθρης θερμογραφίας σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις (σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο) περιλαμβάνει μεταξύ άλλων την ανίχνευση «θερμών σημείων» ,χαλαρών συνδέσεων, «καμένων επαφών» καθώς και τον έλεγχο της κατάστασης της μόνωσης. Στις μηχανολογικές εγκαταστάσεις η υπέρυθρη θερμογραφία χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό «θερμών περιοχών», περιοχών υψηλού βαθμού τριβών και των «ελαττωματικών» εξαρτημάτων διαφόρων μηχανημάτων. Επίσης χρησιμοποιείται στις σωληνώσεις, σε συστήματα εναλλακτών και σε δοχεία για την ανίχνευση διαρροών, τη μέτρηση στάθμης και τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των ατμοπαγίδων.

Βιβλιογραφία

1. G.Gaussorges, Microwave Technology Series 5, Infrared Thermography, Chapman Hall
2. Ιωάννης Μ. Γαλανάκης, Διπλωματική Εργασία, "Υπέρυθρη Θερμογραφία Ενεργητικού Ελέγχου στην Εξέταση και Αποτίμηση Υλικών Αεροσκαφών", Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Αθήνα 2001
3. X. Maldague, Introduction to NDT by Active Infrared thermography, Electrical and Computing Engineering Department, Université Laval, Quebec City (Que.) Canada G1K

Πειραματικό Μέρος

6.1 Σκοπός

Ο σκοπός της πειραματικής αυτής διαδικασίας είναι ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών καύσης δύο δασικών υλών με τη χρήση σε εργαστηριακή κλίμακα δοκιμασίας διάδοσης φλόγας κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο **EPA 1030 και E.E A10**, με την παράλληλη χρήση θερμικής κάμερας για καταγραφή και μελέτη της θερμοκρασία καύσης. Παράλληλα μελετάται η επίδραση του επιβραδυντή DAP στις ιδιότητες της καύσης των εν λόγω δασικών υλών. Τα πειράματα διεξήχθησαν έπειτα από κονιοποίηση του φυλλώματος των φυτών σε ένα λεπτόκοκκο, ομοιογενές υλικό (σωματιδιακή φυλλώδης καυσιμότητα), ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων. Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στα εξής:

- να προσδιοριστεί η σχετική καυσιμότητα φυλλώματος και η θερμοκρασία καύσης από κάποια πολύ κοινά δασικά είδη που προέρχονται από ζώνη μίξης δάσους-κατοικιών κοντά στην Αθήνα.
- να μελετηθεί η επίδραση του χημικού επιβραδυντή DAP στην καυσιμότητα και την θερμοκρασία καύσης αυτών των δασικών υλών.
- να καταταχθούν τα δασικά είδη σε κατηγορίες, σύμφωνα με την καυσιμότητα τους.
- να εξαχθούν δεδομένα για την ανάπτυξη μοντέλων διάδοσης πυρκαγιάς σε ζώνες μίξεως δάσους-κατοικιών.

6.2 Εξεταζόμενες ύλες

6.2.1 Κυπαρίσσι (*Cypressus sempervirens*)

Το κυπαρίσσι ανήκει στην οικογένεια των Κυπαρισσοειδών και είναι ένα γυμνόσπερμο κωνοφόρο αειθαλές φυτό. Με περίπου 18 είδη το κυπαρίσσι συναντάται σε χώρες της Μεσογείου Δυτικής Ασίας και σε περιοχές της Βορείου Αμερικής.[1]

Τα φύλλα του είναι απλωτά και βελονοειδή ενώ ο φλοιός του χωρίζεται σε λωρίδες που αποχωρίζονται και πέφτουν με την πάροδο του χρόνου. Οι κώνοι του κυπαρισσιού έχουν σχήμα σφαιρικό και φέρουν ζεύγη ξυλόπωδων λεπιών που βγαίνουν από τον άξονα του κάθε κώνου. Ο κώνος ανοίγει 2 χρόνια μετά την δημιουργία του.[2]

Συνήθως τα κυπαρίσσια έχουν σχήμα μακρόστενα σαν πυραμίδας και φτάνουν σε ύψος μέχρι και 30m. Λίγα είναι τα θαμνώδη είδη που είναι αυτοφυή άγριων βραχυδών περιοχών με απλωμένα κλαδιά που δεν ξεπερνούν σε ύψος τα 7m.[2]

Η καλής ποιότητας ξυλεία του χρησιμοποιείται στην επιπλοποιία. Είναι δέντρο πολύμορφο και υπάρχει σε πολλές παραλλαγές. Οι πιο σημαντικές είναι:

- Η **πυραμοειδής** παραλλαγή ,στην οποία τα κλαδιά του είναι όρθια και λέγεται και αρσενικό κυπαρίσσι.
- **Οριζοντιόκλαδος** παραλλαγή με οριζόντια απλωτά κλαδιά και πλατιά πλούσια κόμη. Είναι το γνωστό θηλυκό κυπαρίσσι.

Το κυπαρίσσι το κοινό είναι γνωστό από τα πανάρχαια χρόνια. Σύμφωνα με το μύθο την ονομασία του την οφείλει τον Κυπάρισσο από την Κω που τον μεταμόρφωσε ο θεός Απόλλωνας σε δέντρο έτσι ώστε να παραμείνει αθάνατος, μαζί και η θλίψη του μετά από το θάνατο του αγαπημένου του ελαφιού. Έτσι σύμφωνα με αυτή την άποψη έμεινε ως πένθιμο δέντρο και φυτεύεται σε κοιμητήρια.[1]



Εικόνα 6.1: Στα αριστερά απεικονίζεται συστοιγία κυπαρισσιών και στα δεξιά κοντινό πλάνο από το φύλλωμα του

6.2.2 Πουρνάρι (*Quercus coccifera*)

Το πουρνάρι (*Quercus coccifera*) ανήκει στην κατηγορία των αειθαλών δρυών και στη οικογένεια *Fagaceae*. Οφείλει την ονομασία του στους κόκκους ερυθρού χρώματος που σχηματίζουν οι προνύμφες του εντόμου *Kermes vermilio* μέσα στα φύλλα, όπου φωλιάζουν και νυμφώνονται.[1,6]

Στις περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου κυρίως απαντώνται το υπόειδος *coccifera* ενώ στην περιοχή της Δυτικής μεσογείου το υπόειδος *calliprinos*.

Είναι πολύ ανθεκτικό στις κλιματικές αλλαγές. Εμφανίζεται από το κύμα της θάλασσας και φθάνει μέχρι τη ζώνη της ελάτης, όπου συχνά δημιουργεί τον υπόροφό της. Είναι φωτόφιλο είδος. Αντέχει σε μερική σκίαση αλλά τότε δεν αναπτύσσεται καλά σε ύψος.[3]

Το πουρνάρι αναπτύσσεται σε μεγάλη ποικιλία εδαφών αλλά ευδοκίμει περισσότερο σε γόνιμα πηλώδες και εύφορα εδάφη. Αναπτύσσεται πολύ καλά και σε ασβεστόχα εδάφη. Είναι από τους

πλέον ανθεκτικούς θάμνους στη βόσκηση. Παραβλαστάνει εύκολα και σπάνια δείχνει να εξαντλείται. Η ικανότητα αυτή του πουρναριού φαίνεται μετά από πυρκαγιά και ανάλογα την ταχύτητα της παραβλάστησης, προστατεύει το έδαφος από τυχόν διαβρώσεις.[5]

Η αναγέννηση του φυτού πραγματοποιείται με πρεμνοβλαστήματα από τη βάση του κορμού, καθώς και από τις ρίζες (ριζοβλαστήματα), σχετικά γρήγορα μετά την πυρκαγιά (εκμεταλλευόμενο τις αποθησαυριστικές ουσίες που συγκέντρωσαν οι ρίζες του).[4]

Στην κανονική του μορφή είναι αείφυλλο δένδρο που φθάνει ύψος τα 15 m και διάμετρο κόμης τα 25 m. Όμως συνήθως αναπτύσσεται σε περιοχές με έντονη βοσκή ή ξύλευση, καταλαμβάνοντας τους χώρους των φυτών που δεν αντέχουν στην υπερεκμετάλλευση και έτσι εμφανίζεται ως μικρός ή μεγάλος πολύκλαδος αείφυλλος σκληρόφυλλος θάμνος ύψους περίπου 1-6 m. Ο κορμός του φτάνει σε μια διάμετρο περίπου 50 cm. Έχει ακανθώδη, οδοντωτά φύλλα μήκους 1,5 έως 4 cm (Εικόνα χχ) και πλάτους 1 έως 3 cm, ενώ η κόμη του είναι σφαιρική. Οι καρποί του, τα βελανίδια, έχουν μήκος 2-3 cm και η διάμετρος τους κυμαίνεται στα 1,5-2 cm 18 μήνες μετά την γονιμοποίηση τους.[3]



***Εικόνα 6.2:** Αριστερά ο καρπός και το φύλλωμα του πουρναριού. Δεξιά άτομο πουρναριού*

6.2.3 Το Dap ως επιβραδυντής

DAP (Μονόξινο φωσφορικό διαμμώνιο $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ή DAP (Diammonium Phosphate)

Χαρακτηριστικά:

Μοριακό Βάρος: 132.06

Πυκνότητα: 1,619 g/cm³

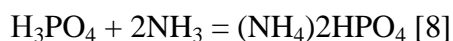
Σημείο Τήξης: 155 °C

Διαλυτότητα: 57,5 g / 100 g H₂O (0 °C) 106,70 g / 100 g H₂O (100 °C)

Φυσική κατάσταση: Άοσμο , κρυσταλλικό λευκό.[1]

Το Dap αποτελεί ένα από τους κυριότερους χημικούς επιβραδυντές δασικών πυρκαγιών που χρησιμοποιείται σήμερα παγκοσμίως και είναι πολύ καλός αναστολέας της διάβρωσης.

Η παραγωγή του γίνεται με διοχέτευση αμμωνίας σε διάλυμα φωσφορικού οξέως κατά την αντίδραση:



Ο πιο γνωστός εμπορικός επιβραδυντής με βάση το Dap είναι το **Phoscheck** που κυκλοφορεί στο εμπόριο με την παρακάτω % επί του ξηρού βάρους σύσταση: 89% Dap, 8% κόμμι guar ως πηκτική ουσία, 1% οξείδιο του σιδήρου ως χρωστική (κόκκινο χρώμα) για να φαίνεται εφόσον χρησιμοποιείται από αεροπλάνα και αντιδιαβρωτικά μέσα 2%.

Υπάρχουν δύο τύποι αυτού του επιβραδυντικού ανάλογα με την χρήση τους:

- Το Phoscheck-XA
- Phoscheck-259

Το πρώτο χρησιμοποιείται για κατάσβεση πυρκαγιών από αέρα ενώ το δεύτερο για κατάσβεση πυρκαγιών από ξηρά.

Η αναλογία του επιβραδυντικού στο διάλυμα είναι 1,2 kg/10 kg νερού για το Phoscheck-XA ή 1,6 L/gal νερού για το Phoscheck-259. Οι αναλογίες αυτές πρέπει να τηρούνται αυστηρά για να μην ελαττωθεί η ποσότητα του αντιδιαβρωτικού που περιέχεται σ' αυτό. Τα προηγούμενα πωλούνται έτοιμα στο εμπόριο. Άλλες πηκτικές ουσίες που μπορούν να προστεθούν είναι ή μεθυλική ανθρακική-κυτταρίνη ή πηκτικές που περιέχονται σε άργιλο ενώ ως αντιδιαβρωτικό συνήθως χρησιμοποιείται το σιδηροκυανιούχο νάτριο.[7]



Εικόνα 6.3: Σκόνη Dap

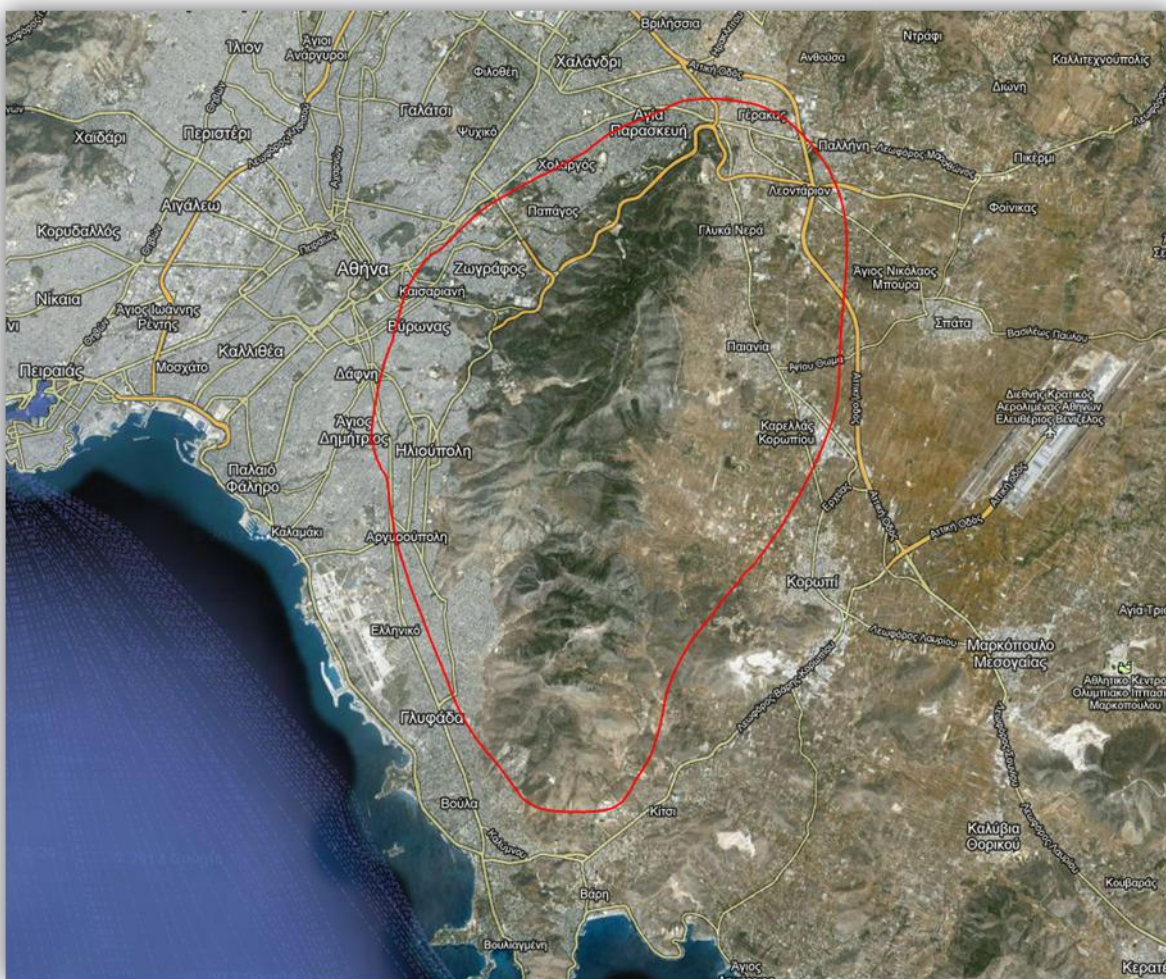
6.3 Δειγματοληψία

6.3.1 Περιοχή δειγματοληψίας

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Υμηττού. Ο Υμηττός βρίσκεται στη Στερεά Ελλάδα και συγκεκριμένα στο Νομό Αττικής, σε απόσταση 7,5 km (Πλατεία Συντάγματος - κορυφή Εύζωνας σε ευθεία γραμμή) Α - ΝΑ των Αθηνών. Εκτείνεται από το Χολαργό, Αγία Παρασκευή και Γλυκά Νερά βόρεια, μέχρι Βούλα και Βάρη νότια. Αποτελεί σημαντικό στοιχείο της περιαστικής φύσης της Αττικής μαζί με τα άλλα βουνά που σχηματίζουν το

λεκανοπέδιο. Από τα συνολικά 436.500 στρέμματα των περιαστικών βουνών του λεκανοπέδιου καταλαμβάνει μια έκταση 81.230 στρεμμάτων και είναι ιδιαίτερα επιμήκης (22 km - 24 km).[1]

Η κοιλάδα του Πρινάρη τον χωρίζει σε δύο τμήματα, το βόρειο με την ψηλότερη κορφή του που οι αρχαίοι Αθηναίοι τον ονόμαζαν Μέγα Υμηττό και το νοτιότερο Ελάττονα ή Άνυδρο Υμηττό (σήμερα Μαυροβούνι και Κόντρα). Η υψηλότερη κορυφή του φτάνει τα 1026 m και λέγεται Εύζωνας. Είναι επίσης γνωστός για τις μεγάλες εκτάσεις πρασίνου, τα σπήλαια και τα βάραθρά του.



Εικόνα 6.4: Γενική άποψη του Υμηττού

Από γεωλογική άποψη ο Υμηττός ανήκει στην αττικοκυκλαδική ζώνη. Τα πετρώματά του περιέχουν ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους και μεγάλες μάζες μαρμάρου και μαρμαρυγιακών σχιστολίθων. Η ύπαρξη, ταυτόχρονα, σημαντικών αρχαιολογικών χώρων καθιστούν το βουνό αναντικατάστατο κομμάτι της φυσικής και πολιτισμικής μας κληρονομιάς.

Σύμφωνα με εκδοχή που αναφέρει ο Ν. Νέζης, η λέξη Υμηττός προέρχεται από την Προελληνική Ουμáιτ ή Ύμητ, που σήμαινε σκληρός, τραχύς, βραχώδης τόπος. Άλλοι αποδίδουν το όνομα του σε παραφθορά του Θυμέτ (θύμος - θυμάρι) Υμέτ-Υμηττός.

Το βουνό αυτό, μοναδικό σε χλωρίδα, με περισσότερα από 600 είδη φυτών, από τα οποία τα 40 είναι ενδημικά της Ελλάδας, είναι ισάξιο του Πάρνωνα και του Ελικώνα! Μερικά από τα είδη αυτά προστατεύονται με Προεδρικό Διάταγμα, με τη Συνθήκη της Βέρνης καθώς και με αποφάσεις της Ε.Ε.

Κλιματολογικά Στοιχεία του Υμηττού

Πίνακας 6.1: Μέσες τιμές από Νοέμβριος 2007 - Αύγουστος 2011 [Μετεωρολογικός Σταθμός Υμηττού]

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Μέση μέγιστη	13,3 °C	13,9 °C	17,1 °C	20,7 °C	25,6 °C	30,2 °C	33,4 °C	33,3 °C	27,7 °C	22,2 °C	19,4 °C	14,9 °C
Μέση ελάχιστη	8,2 °C	7,8 °C	10,4 °C	13,5 °C	17,8 °C	22,6 °C	25,3 °C	25,5 °C	20,5 °C	16,6 °C	13,2 °C	9,9 °C

6.3.2 Διαδικασία Δειγματοληψίας

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στο βουνό Καλοπούλλα στον Υμηττό. Με σκοπό την αποφυγή ύπαρξης υγρασίας στα δείγματα έτσι ώστε να αποφευχθούν προβλήματα όπως εμφάνιση μυκήτων και αύξηση μικροβίων η δειγματοληψία έγινε μετά από μια μακρά περίοδο ξηρασίας. Απαραίτητη προϋπόθεση ήταν να παρέλθουν δυο εβδομάδες από την τελευταία βροχόπτωση στην περιοχή εάν βέβαια υπήρξε βροχόπτωση πριν από την ημερομηνία της δειγματοληψίας.

Με σκοπό την επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος για την αξιοπιστία της πειραματικής διαδικασίας η δειγματοληψία ήταν τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται μεγάλη διασπορά των δειγμάτων. Αυτό επιταχύνθηκε εφόσον το δείγμα προερχόταν από δέντρα διαφόρων μεγεθών και ηλικίας κατά μήκος της περιοχής δειγματοληψίας όπως αυτή φαίνεται στον πιο κάτω χάρτη στον οποίο καταγράφεται η περιοχή δειγματοληψίας και η διαδρομή που ακολουθήθηκε.[9,10].

Πίνακας 6.2: Κλιματολογικές συνθήκες μήνα Νοεμβρίου 2011 [Μετεωρολογικός Σταθμός Υμητού]

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for NOV. 2011

NAME: Ymittos CITY: Athens STATE: Attiki
 ELEV: 122 m LAT: 37° 57' 12" N LONG: 23° 44' 56" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	13.3	17.7	13:20	10.4	5:00	5.0	0.0	0.0	4.5	22.5	16:00	NNE
2	13.4	17.9	14:40	10.4	6:50	4.9	0.0	0.0	8.7	35.4	16:20	N
3	13.3	16.6	14:30	11.3	2:40	5.0	0.0	0.0	8.9	35.4	12:20	N
4	13.2	17.0	14:20	10.4	3:50	5.1	0.0	0.0	7.4	32.2	19:20	N
5	13.9	19.1	15:30	10.2	7:50	4.4	0.0	0.0	4.2	22.5	11:30	N
6	13.8	19.4	13:10	8.9	7:00	4.6	0.0	0.0	3.1	19.3	13:40	NNE
7	14.8	20.2	13:30	10.3	5:40	3.7	0.1	0.0	6.1	32.2	18:30	NE
8	15.3	19.6	14:40	13.1	7:00	3.1	0.1	0.0	7.7	25.7	15:50	N
9	14.4	18.4	13:40	11.4	7:10	3.9	0.0	0.0	2.1	20.9	14:50	NNE
10	16.0	19.8	15:10	13.2	0:10	2.5	0.2	0.0	2.6	17.7	1:40	NE
11	13.8	17.3	11:30	11.0	00:00	4.5	0.0	0.0	13.5	53.1	18:50	N
12	10.0	11.6	13:00	8.9	19:00	8.3	0.0	0.0	18.8	51.5	0:40	N
13	8.7	9.7	0:10	7.6	9:10	9.6	0.0	0.0	19.5	62.8	17:00	N
14	8.9	9.6	13:50	7.9	1:20	9.4	0.0	0.2	18.7	57.9	3:30	N
15	9.5	11.6	12:50	7.9	5:30	8.8	0.0	0.6	10.0	37.0	11:10	N
16	9.8	12.1	14:10	8.1	00:00	8.5	0.0	0.0	4.8	27.4	14:40	NW
17	9.5	13.0	14:00	6.8	7:20	8.8	0.0	0.0	7.1	33.8	12:20	N
18	9.7	12.6	15:20	8.0	7:30	8.6	0.0	0.0	7.2	33.8	11:50	N
19	10.4	15.7	15:20	5.9	7:50	7.9	0.0	0.0	2.9	24.1	12:30	NE
20	10.9	15.4	13:20	7.1	7:10	7.3	0.0	0.0	5.1	20.9	10:50	N
21	11.1	15.6	14:20	8.0	7:20	7.2	0.0	0.0	4.2	25.7	10:10	NE
22	11.1	14.8	13:40	7.4	6:50	7.3	0.0	0.0	2.7	17.7	13:20	NNE
23	12.8	16.8	13:30	10.6	5:30	5.5	0.0	0.0	4.5	22.5	16:20	SW
24	11.6	13.9	12:40	10.4	6:00	6.7	0.0	0.0	15.3	43.5	21:10	N
25	10.3	12.3	14:10	8.3	23:50	8.0	0.0	0.0	15.6	53.1	11:00	N
26	9.6	11.8	13:10	7.7	00:00	8.7	0.0	0.0	5.5	20.9	1:10	N
27	9.8	14.0	14:00	7.1	2:40	8.5	0.0	0.0	4.5	29.0	13:20	N
28	10.3	15.0	15:30	6.4	5:30	8.0	0.0	0.0	3.2	16.1	13:30	NE
29	12.0	16.4	12:20	8.2	7:30	6.3	0.0	0.0	8.4	43.5	13:50	N
30	12.3	17.2	14:00	9.4	23:40	6.0	0.0	0.0	4.5	29.0	0:30	N

	11.8	20.2	7	5.9	19	196.0	0.5	0.8	7.7	62.8	13	N

Max >= 32.0: 0
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 0.61 ON 15/11/11
 Days of Rain: 2 (> .2 mm) 0 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

6.4 Επεξεργασία δασικής ύλης

Τα δείγματα συλλέχθηκαν και τοποθετήθηκαν σε χάρτινες και πλαστικές κούτες. Για προσδιορισμό της υφιστάμενης υγρασίας ένα μικρό μέρος του δείγματος αφού ζυγίστηκε

τοποθετήθηκε σε μικρές κλειστές σακούλες πολυαιθυλενίου για 24 ώρες και τοποθετήθηκε στο πυραντήριο. Μετά από 24 ώρες μετρήθηκε το νέο βάρος και προσδιορίστηκε η υγρασία.[10]

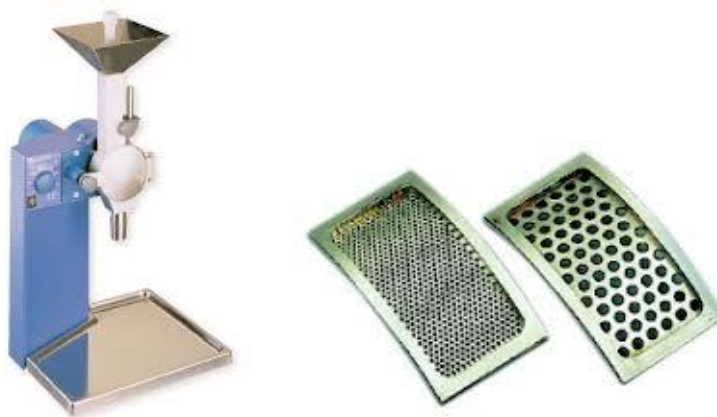
Κάθε δείγμα τοποθετήθηκε στο φούρνο κενού για 24 ώρες σε συνθήκες 10 torr και 60 °C. Στη συνέχεια ακολούθησε λειοτρίβηση του δείγματος. Η λειοτρίβηση έγινε σε 2 στάδια. Αρχικά με ένα μηχάνημα τύπου multi το δείγμα τεμαχίστηκε σε μικρά κλάσματα της τάξης των 2-3 cm. Στη συνέχεια το δείγμα με την βοήθεια ειδικού μύλου άλεσης του οίκου IKA απέκτησε κοκκομετρίες μικρότερες των 200mm. Με την χρήση ειδικής σειράς κοσκίνων το δείγμα διαχωρίστηκε σε 3 μεγέθη, κοκκομετρίες της τάξης 0-100mm, 100-200mm, 200mm και άνω. Για την σειρά των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιήσαμε δείγμα με κοκκομετρίες 100-200mm. Η συγκεκριμένη κοκκομετρία επιλέχθηκε γιατί δίνει την μεγαλύτερη σταθερότητα στους χρόνους καύσης. Η κονιοποίηση των φύλλων σε ένα λεπτό σταθερό υλικό γίνεται κυρίως για να εξαλειφθεί ο παράγοντας της δομής του φυτού και τα προβλήματα που σχετίζονται με τη μεταφορά θερμότητας και μάζας.[11]

Μετά το διαχωρισμό τα δείγματα αποθηκεύονται σε ξηραντήριο 24 ώρες πριν από την καύση τους. Πιο κάτω γίνεται συνοπτική παρουσίαση της διαδικασίας επεξεργασίας της δασικής ύλης και παρουσιάσεις των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν.[12,13]

6.4.1 Μύλος άλεσης

Ο μύλος άλεσης όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω είναι ένα μηχάνημα το οποίο χρησιμοποιείται για την ελάττωση του μεγέθους του δείγματος. Για την πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε στη σειρά πειραμάτων χρειαζόταν δείγμα της τάξης μεγέθους 100-200 mm. Για να πετύχουμε την ελάττωση του μεγέθους του δείγματος μας σε αυτή την κοκκομετρία χρησιμοποιήθηκε μύλος άλεσης Mf 10 basic της εταιρίας IKA WERKE. Το μηχάνημα αυτό αποτελείται από ένα ρώτορα υψηλής ταχύτητας που γυρνά μέσα σε ένα κυλινδρικό κέλυφος με οριζόντιο άξονα. Η τροφοδοσία γίνεται από το πάνω μέρος του μηχανήματος από όπου η προς λειοτρίβηση ύλη οδηγείται στη ζώνη άλεσης. Στη ζώνη άλεσης υπάρχει ένας περιστρεφόμενος οδοντωτός κύλινδρος ο οποίος τεμαχίζει την ύλη καθώς αυτή έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα του μύλου. Στο κάτω μέρος της διάταξης στον κλωβό λειοτρίβησης υπάρχει ένα κόσκινο

προεπιλεγμένου μεγέθους και το τελικό λειοτριβιμένο μέρος της δασικής ύλης οδηγείται στην έξοδο. Κατά την προετοιμασία του δείγματος που ακολουθείται ο μύλος άλεσης χρησιμοποιείται σε δύο στάδια. Κατά τα πρώτο στάδιο χρησιμοποιείται κόσκινο των 4 mm για την αρχική ελάττωση του μεγέθους. Λόγω της παρουσίας ρετσινιού και άλλων ουσιών στο δείγμα παρατηρείται ότι το κόσκινο φράζει αρκετά συχνά και χρειάζεται καθαρίσμα. Αφού γίνει μια πρώτη ελάττωση του μεγέθους με το κόσκινο αυτό ακολουθείται η ίδια διαδικασία με κόσκινο 2.5 (εικόνα 6β). Σημαντική παράμετρος της διαδικασίας είναι τα τακτά διαλλείματα κατά την διεξαγωγή της διεργασίας αυτής δια τον λόγο ότι το μηχάνημα θερμαίνεται πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του δείγματος. Για τον σκοπό αυτός η διαδικασία γίνεται με μικρές συχνές παύσεις.[14]



Εικόνα 6.5: Μύλος Άλεσης MF 10 basic, κόσκινα προεπιλεγμένης κοκκομετρίας

6.4.2 Μηχανικά κόσκινα.

Τα μηχανικά κόσκινα αποτελούν την απλούστερη και συνηθέστερη μέθοδο διαχωρισμού δειγμάτων κατά μέγεθος. Στην επεξεργασία που ακολουθήθηκε χρησιμοποιήθηκαν κόσκινα τυποποιημένα κατά DIN 4188 και συγκεκριμένα αυτά με άνοιγμα οπών μεγέθους 100 mm με 200 mm. Τα κόσκινα τοποθετήθηκαν πάνω σε ένα τάρακτρο το οποίο δίνει ένα βαθμό

κατακόρυφης κίνηση μαζί με οριζόντια δόνηση. Τα κόσκινα είχαν κυλινδρικό σχήμα εσωτερικής διαμέτρου 20 cm και ύψος 6 cm. Η διεργασία του κοσκίνισματος εκτελέστηκε αυτόματα από ηλεκτροκίνητο τάρακτο της εταιρίας Fritsch επί 15 -20 λεπτά και με ένταση 6 από την διατιθεμένη κλίμακα 1-10. Μετά την λήξη του χρόνου κοσκίνισματος περισυλλέχθηκαν τα διάφορα κλάσματα του δείγματος που διαχωρίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε γυάλινες αεροστεγή συσκευασίες. Παραλήφθηκαν 3 κατηγορίες κλασμάτων <100mm , 0-100mm, >200. Πρίν από κάθε πειραματική σειρά τα δείγματα τοποθετούνται σε θάλαμο εγκλιματισμού για 24 ώρες.[15,14]



Εικόνα 6.6: Η διάταξη των κοσκίνων που χρησιμοποιήθηκε.

6.4.3 Θάλαμος εγκλιματισμού

Το conditioning box είναι ειδικός θάλαμος διαστάσεων 48 cm x 40 cm x 47 cm (μήκος, πλάτος, ύψος) μέσα στον οποίο ελέγχεται η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία και έτσι ανεξάρτητα από τις επικρατούσες εργαστηριακές κλιματικές συνθήκες η ισοδύναμη υγρασία είναι δυνατόν να διατηρηθεί στο επιθυμητό επίπεδο.

Εξωτερικά το conditioning box φέρει διακόπτη επιλογής θερμοκρασίας με βαθμονομημένη κλίμακα από 10-40 °C, διακόπτη on-off καθώς και ενδεικτικές λυχνίες λειτουργίας. Εσωτερικά φέρει εντοιχισμένο θερμόμετρο με δυνατότητα ένδειξης της θερμοκρασίας στην κλίμακα από 10 - 150 °C και ένα μεταλλικό κουτί στο οποίο υπάρχουν για λόγους ασφαλείας οι αντιστάσεις θέρμανσης, ένας αυτόματος θερμοστάτης για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, και ένας ανεμιστήρας για την κυκλοφορία του αέρα προκειμένου να επιτευχθεί ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας. Εσωτερικά επίσης περιέχονται ράφια για την τοποθέτηση των δειγμάτων καθώς και δοχείο που περιέχει silica-gel για την δέσμευση της υγρασίας. Για την σωστή λειτουργία του conditioning box πρέπει κάθε εβδομάδα να μεταφέρεται το silica-gel στο πυριατήριο στους 120 °C για αναγέννησή του. Στο πάνω μέρος του, από όπου και γίνεται η εισαγωγή των δειγμάτων υπάρχει fiber glass που στηρίζεται σε θερμομονωτικά λάστιχα.

Το conditioning box συνοδεύεται από τον καταγραφέα δεδομένων HOBO H6 και κατάλληλο λογισμικό (software) BoxCar Pro της εταιρείας Onset.[15]

Η θερμοκρασία από την αρχή είχε ρυθμιστεί στην σταθερή τιμή των 35 °C. Ο έλεγχος της διατηρησιμότητας της θερμοκρασίας καθώς και της σχετικής υγρασίας εντός του θαλάμου έγινε με την βοήθεια του καταγραφικού.

Αρχικά συνδέθηκε κατάλληλα ο καταγραφέας δεδομένων με ένα καλώδιο διασύνδεσης με τον υπολογιστή και στη συνέχεια με την χρησιμοποίηση του λογισμικού του BoxCar Pro έγινε προγραμματισμός της λειτουργίας του καταγραφέα ώστε να καταγράψει, με τους αντίστοιχους αισθητήρες του, την θερμοκρασία (°C) και την σχετική υγρασία (RH %) για συγκεκριμένο

χρονικό διάστημα. Έπειτα αποσυνδέθηκε ο καταγραφέας από το καλώδιο διασύνδεσης και τοποθετήθηκε στη θέση του μέσα στο conditioning box. Μετά την παρέλευση του παραπάνω χρονικού διαστήματος και ακολουθώντας αντίστροφη πορεία έγινε εκφόρτωση των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Με τη βοήθεια του λογιστικού φύλλου Excel της Microsoft προέκυψαν οι γραφικές παραστάσεις της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Από την μελέτη των γραφημάτων αυτών προκύπτει ότι η θερμοκρασία εντός του θαλάμου σταθεροποιήθηκε στους 32 °C ενώ η σχετική υγρασία σταθεροποιήθηκε στο 12,5 %.



Εικόνα 6.7: Ο θάλαμος εγκλιματισμού εξωτερικά (αριστερά) και εσωτερικά(δεξιά)

6.5 Πειραματική διάταξη

Οργανολογία πειραματικής διάταξης:

1. θερμαινόμενη πλάκα
2. καλούπι/δειγματοφορέας
3. κάμερα
4. θερμοστοιχείο και θερμόμετρο
5. Η/Υ

6. υπέρυθρη κάμερα

Τα πειράματα που εκτελέστηκαν πραγματοποιήθηκαν σε 2 κύκλους. Στον πρώτο κύκλο με τη μέθοδο διάδοσης φλόγας μετρήθηκαν οι χρόνοι καύσης τα ύψη φλόγας καθώς και η θερμοκρασία καύσης 2 δασικών υλών. Κατά τον δεύτερο κύκλο εργασιών στο δείγμα τοποθετήθηκε μικρό ποσοστό επιβραδυντή και ακολουθήθηκαν τα ίδια βήματα με τον πρώτο κύκλο.

Πιο κάτω γίνεται συνοπτική παρουσίαση και περιγραφή της μεθοδολογίας και των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν.

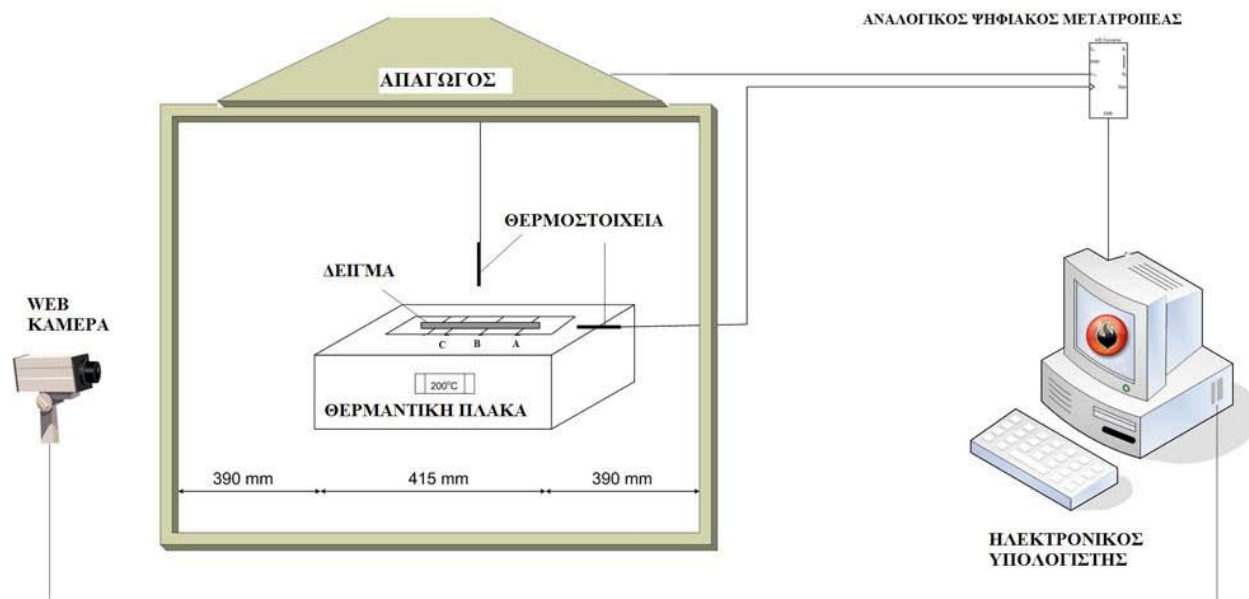
6.5.1 Συσκευή μεθόδου διάδοσης φλόγας

Η διάταξη αποτελείται από μια θερμαινόμενη πλάκα αλουμινίου (εικόνα χχ) διαστάσεων 41 x 26 cm πλάτος με ελεγχόμενη θερμοκρασιακή ακρίβεια ± 0.5 °C στο εύρος από θερμοκρασία περιβάλλοντος έως 35 °C. Η θερμοκρασία ρυθμίζεται από κομβίον στο κάτω μέρος της συσκευής και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 300 °C. Σκοπός της θερμαινόμενης πλάκας είναι η διασφάλιση ότι τα δείγματα θα είχαν σταθερή αρχική θερμοκρασία περίπου 70 °C. Για έλεγχο της θερμοκρασίας της πλάκας χρησιμοποιήθηκε θερμοστοιχείο τύπου PT 100 probe sensor διαμέτρου 0.2 mm το οποίο βρισκόταν συνδεδεμένο απευθείας με τη θερμαντική πλάκα, ενώ για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του αέρα χρησιμοποιήθηκε άλλο ένα θερμόμετρο 20 cm πάνω από το ύψος της πλάκας.

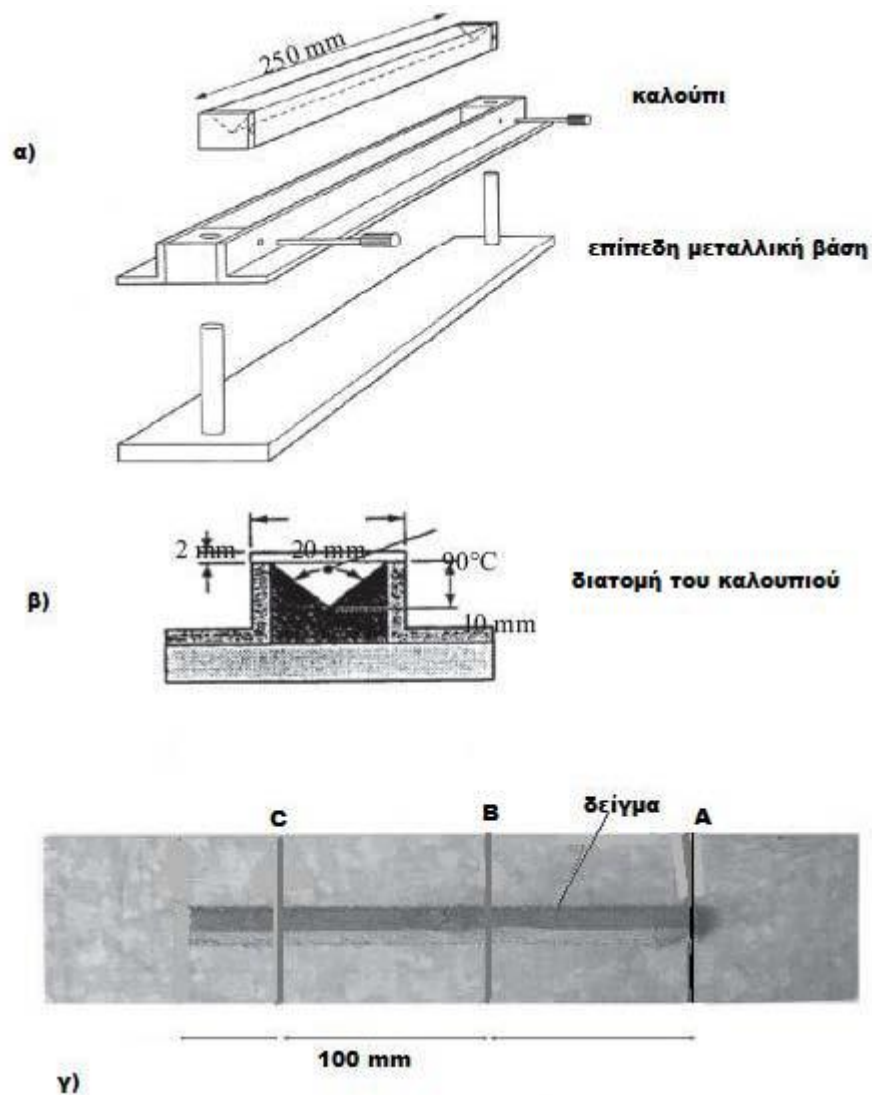
Το δείγμα πριν τοποθετηθεί στην θερμαινόμενη πλάκα τοποθετείται σε ένα καλούπι (εικόνα χχ) κατασκευασμένο από αλουμίνιο μήκους 25 cm το οποίο έχει ένα ανάποδο τριγωνικό τμήμα 20mm x 10 mm. Στη συνέχεια τα δείγματα μεταφέρονταν στο δειγματοφορέα (εικόνα χχ) (έλασμα) από αλούμινα διαστάσεων 40 cm x 10 cm στον οποίο έχουν σημειωθεί ευδιάκριτα 3 σημεία όπως φαίνεται και στο πιο κάτω σχήμα. Το σημείο Α σηματοδοτούσε την έναρξη της καύσης το σημείο Β την έναρξη των μετρήσεων και το σημείο Γ το πέρας της μέτρησης. Με την χρήση ενός χρονομέτρου μετριέται ο χρόνος που η αρχή του φλεγόμενου μετώπου χρειάζεται για

να διανύσει τη δεύτερη ζώνη της πλάκας και να φτάσει στη γραμμή που οριοθετεί την έναρξη της τρίτης ζώνης (απόσταση από το Β στο Γ).[18,19]

Στο πίσω μέρος της συσκευής τοποθετήθηκε ένας αριθμημένος χάρακας για να μετρηθεί το ύψος φλόγας. Καθόλη την διάρκεια διεξαγωγής των μετρήσεων οι καύσεις καταγράφονται από φορητή κάμερα υψηλής ευκρίνειας.



Εικόνα 6.8: Σχεδιάγραμμα διάταξης συσκευής μετάδοσης φλόγας



Εικόνα 6.9: α. Καλούπι δειγματοφορέα, β. Διατομή του καλουπιού, γ. δειγματοφορέας

6.6 Μέθοδος

6.6.1 Πρώτος κύκλος πειραμάτων.

10-12 gr δείγματος δασικής ύλης με σωματιδιακό μέγεθος 100mm -200mm τοποθετείται στο ανάποδα τριγωνικό μέρος του καλουπιού έως ότου αυτό γεμίσει. Το γεμάτο καλούπι ανυψώνεται 2-3 cm και αφήνεται να πέσει 3 φορές στην επίπεδη μεταλλική πλάκα ώστε η δασική ύλη να κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο καλούπι. Στη συνέχεια το δείγμα μεταφέρεται σε καθαρό

δειγματοφορέα αναποδογυρίζοντας προσεχτικά το καλούπι. Ο δειγματοφορέας με το δείγμα τοποθετούνται στην θερμαντική πλάκα η οποία είχε είδη θερμανθεί στους 70 °C . Μόλις η θερμοκρασία της πλάκας φτάσει τους 160 °C με την χρήση ενός μικρού φλόγιστρου αναφλέγουμε το δείγμα στο σημείο Α και μετράμε τον χρόνο καύσης από το σημείο Β –Γ. κατά αυτό τον τρόπο υπολογίζεται ο χρόνος διάδοσης της φλόγας σε mm/s. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται 6 φορές χρησιμοποιώντας καθαρό δειγματοφορέα κάθε φορά και δείγμα της ίδιας κοκκομετρίας.

Μπροστά από την θερμαινόμενη πλάκα τοποθετούνται 2 συσκευές . Μια κάμερα υψηλής ευκρίνειας η οποία θα βιντεογραφεί την καύση κατά όλη την διάρκεια της και μια υπέρυθρη θερμική κάμερα του οίκου Flir με την οποία θα καταγράφονται οι θερμοκρασίες καύσεις του δείγματος όταν η καύση βρίσκεται ανάμεσα στα σημεία Β και Γ.

6.6.2 Δεύτερος κύκλος πειραμάτων

Κατά τον δεύτερο κύκλο πειραμάτων το δείγμα αναμιγνύεται διαδοχικά με 10% ,5%, και 2.5 % κατά βάρος με επιβραδυντή DAP. Ακολουθεί η ίδια μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και στους 2 προηγούμενους πειραματικούς κύκλους με 6 επαναλήψεις για κάθε συγκέντρωση Dap και για τις δύο δασικές ύλες με την ταυτόχρονη βιντεοσκόπησης και καταγραφή της θερμοκρασίας καύσης

6.7 Παρατηρήσεις

1. Η πειραματική διάταξη και η διαδικασία που ακολουθήθηκε έγινε σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους EPA 1030 και E.E A10 και τροποποιήθηκε κατάλληλα για τον προσδιορισμό του ρυθμού εξάπλωσης φλόγας.[27,28]
2. Οι μέθοδος , οργανολογία , υπολογισμοί για καύση δασικής ύλης με βάση τις παραπάνω πρότυπες μετρήσεις έγινε σύμφωνα με τις τροποποιήσεις που έγιναν σε ανάλογη διδακτορική διατριβή [29] και μετρούνται οι παράγοντες ευφλεκτότητας.
3. Κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων σημαντικό ρόλο παίζει η ταχύτητα του αέρα. Για τον λόγο αυτό μετρήθηκε η ταχύτητα του αέρα με ηλεκτρονικό ανεμόμετρο

και βρέθηκε ίση με 0.7 m/s. Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων οι συνθήκες του χώρου στον οποίο πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα παρέμειναν σταθερές για να έχουμε καλή επαναληψιμότητα και έλεγχο στις εξωτερικές συνθήκες. Η πόρτα του απαγωγού, τα γύρω παράθυρα και πόρτες παρέμειναν κλειστές καθ'όλη την διάρκεια της πειραματικής εργασίας.

4. Οι πειραματικές διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν σε ίδιες συνθήκες. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν σταθερή 27 βαθμούς Κελσίου με ηλιοφάνεια.[27,28]
5. Η περιοχή μεταξύ των σημείων Β και Γ είναι η περιοχή στην οποία διεξάγονται οι μετρήσεις για όλες τις εμπλεκόμενες παραμέτρους. Αυτό συμβαίνει γιατί μέχρι το σημείο Β η καύση έχει αναπτυχθεί πλήρως. Η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων είναι 10 cm.
6. Ο απαγωγός στον οποίο διεξάγονταν τα πειράματα έχει καλυφτεί με μαύρο χαρτόνι. Αυτό έγινε έτσι ώστε πίσω επιφάνεια του να έχει μαύρο χρώμα χωρίς αντανακλάσεις φωτός. Για ακριβές αποτελέσματα στην ρύθμιση της θερμικής κάμερας ο παράγοντας εκπεμπότητας ρυθμίστηκε σε 0.98 όπως προβλέπεται για μαύρες επιφάνειες.
7. Η ποσότητα που τοποθετείται στον δειγματοφορέα είναι πάντα σταθερή ανά δασική ύλη και ζυγίζεται με ζυγαριά ακριβείας .
8. Για την εύρεση της κατάλληλης ποσότητας επιβραδυντή που θα χρησιμοποιούταν στις πειραματικές μετρήσεις έγιναν διάφορες δοκιμές στην ποσότητα κατά βάρος. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ποσότητα 10% κατά βάρος κατά την οποία ήταν αδύνατη η λήψη μετρήσεων γιατί υπήρχε τεράστια δυσκολία στην έναρξη και διατήρηση φλόγας .Στην συνέχεια ακολούθησε δοκιμή με 5% κατά βάρος με τα ίδια αποτελέσματα. Στην τρίτη δοκιμή με ποσότητα 2.5% κατά βάρος είχαμε ικανοποιητικά και μετρήσιμα αποτελέσματα από τα οποία μπορούσαν να εξαχθούν αποτελέσματα και συμπεράσματα.
9. Για την λήψη μετρήσεων για τα ύψη φλόγας μετρήθηκε το ύψος φλόγας σε δύο σημεία. Το πρώτο σημείο βρισκόταν 1 cm από το μέτωπο της φωτιάς και το δεύτερο σημείο 10 cm από το μέτωπο της φωτιάς. Η λήψη των μετρήσεων των υψών έγινε απομονώνοντας στιγμιότυπα ανά 10 sec.
10. Για την λήψη μετρήσεων θερμοκρασιών καύσης με την θερμική κάμερα οι μετρήσεις παίρνονταν ανά 7 sec της καύσης με την βοήθεια της θερμικής κάμερας του οίκου Flir.

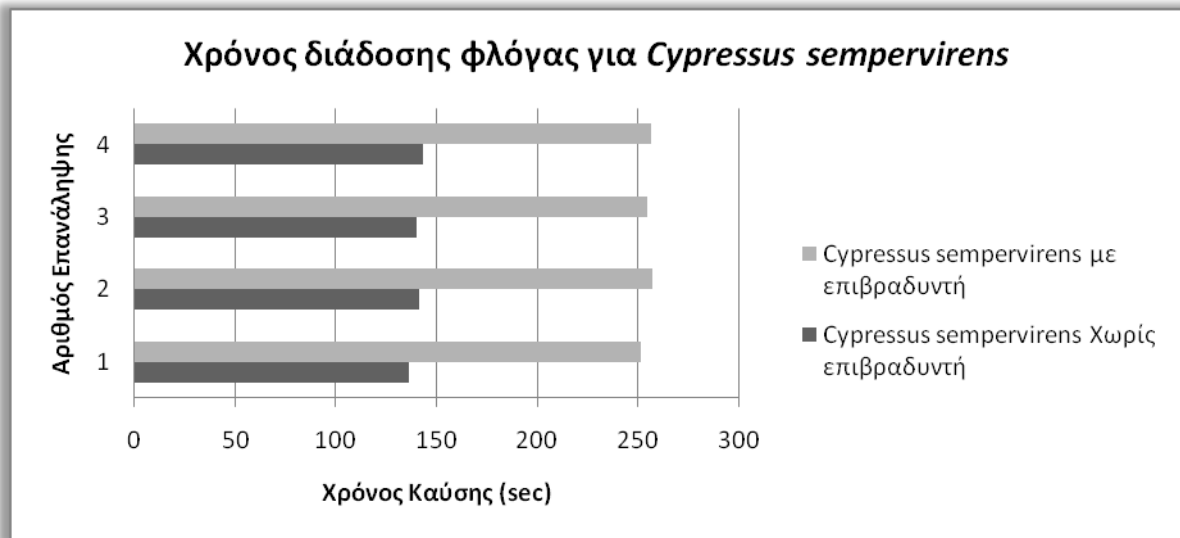
6.8 Αποτελέσματα –Συζήτηση αποτελεσμάτων

Κατά τον πρώτο και δεύτερο πειραματικό κύκλο ακολουθηθήκαν οι διαδικασίες που προαναφερθήκαν στην σχετική παράγραφο. Εξαχθήκαν αποτελέσματα για 4 παραμέτρους:

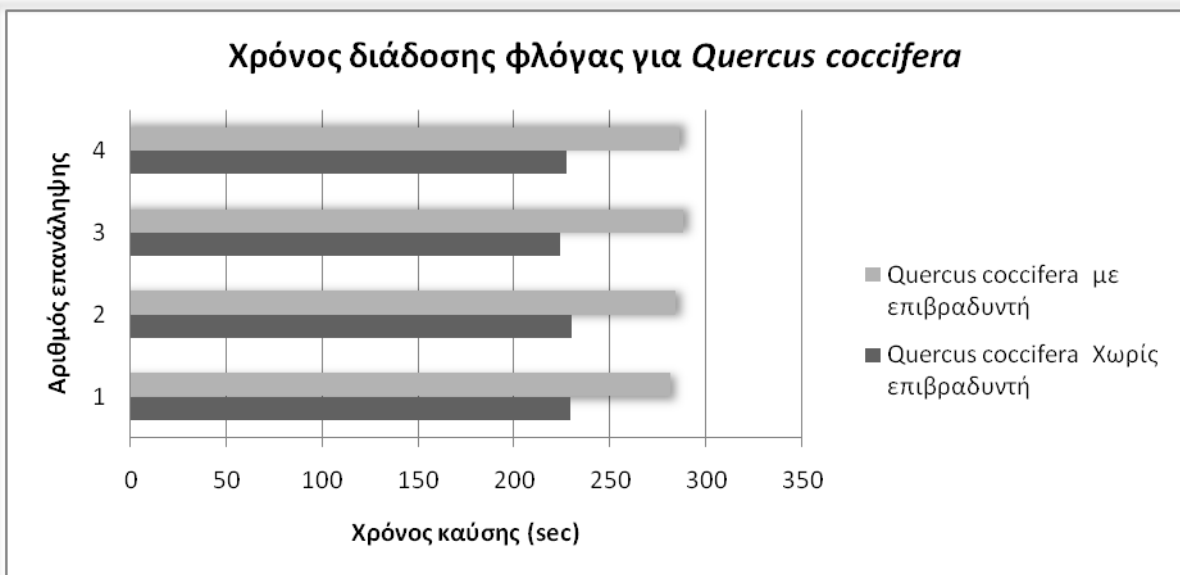
1. Χρόνοι καύσης και ρυθμός διάδοσης της φλόγας. Χρόνος καύσης είναι ο χρόνος που χρειάστηκε το μέτωπο της φωτιάς για να μετακινηθεί μεταξύ των σημείων Β και Γ. Ο ρυθμός διάδοσης υπολογίζεται διαιρώντας την απόσταση μεταξύ των σημείων Α και Β (100 mm), με τον χρόνο καύσης (sec).
2. Θερμοκρασία καύσης η οποία μετρήθηκε με την χρήση της θερμικής κάμερας του οίκου Flir όταν το μέτωπο της φωτιάς βρισκόταν μεταξύ των σημείων Β και Γ.
3. Ύψη φλόγας τα οποία καθορίζουν την ένταση της φλόγας και μετρώνται όταν το μέτωπο της φωτιάς βρίσκεται μεταξύ των σημείων Β και Γ.
4. Οι παραμέτροι 1-3 με την χρήση επιβραδυντή DAP.

6.8.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

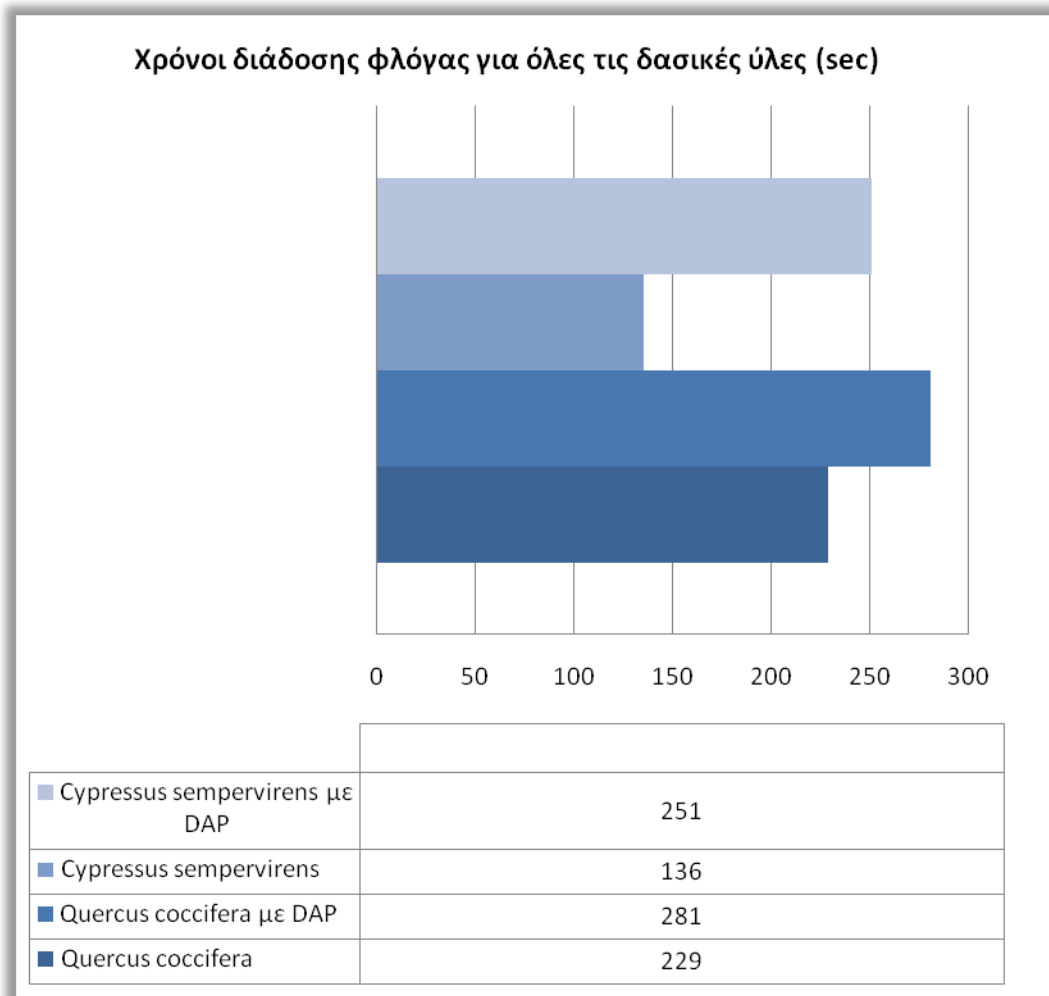
6.8.1.2 Πειραματικά αποτελέσματα ρυθμού διάδοσης φλόγας



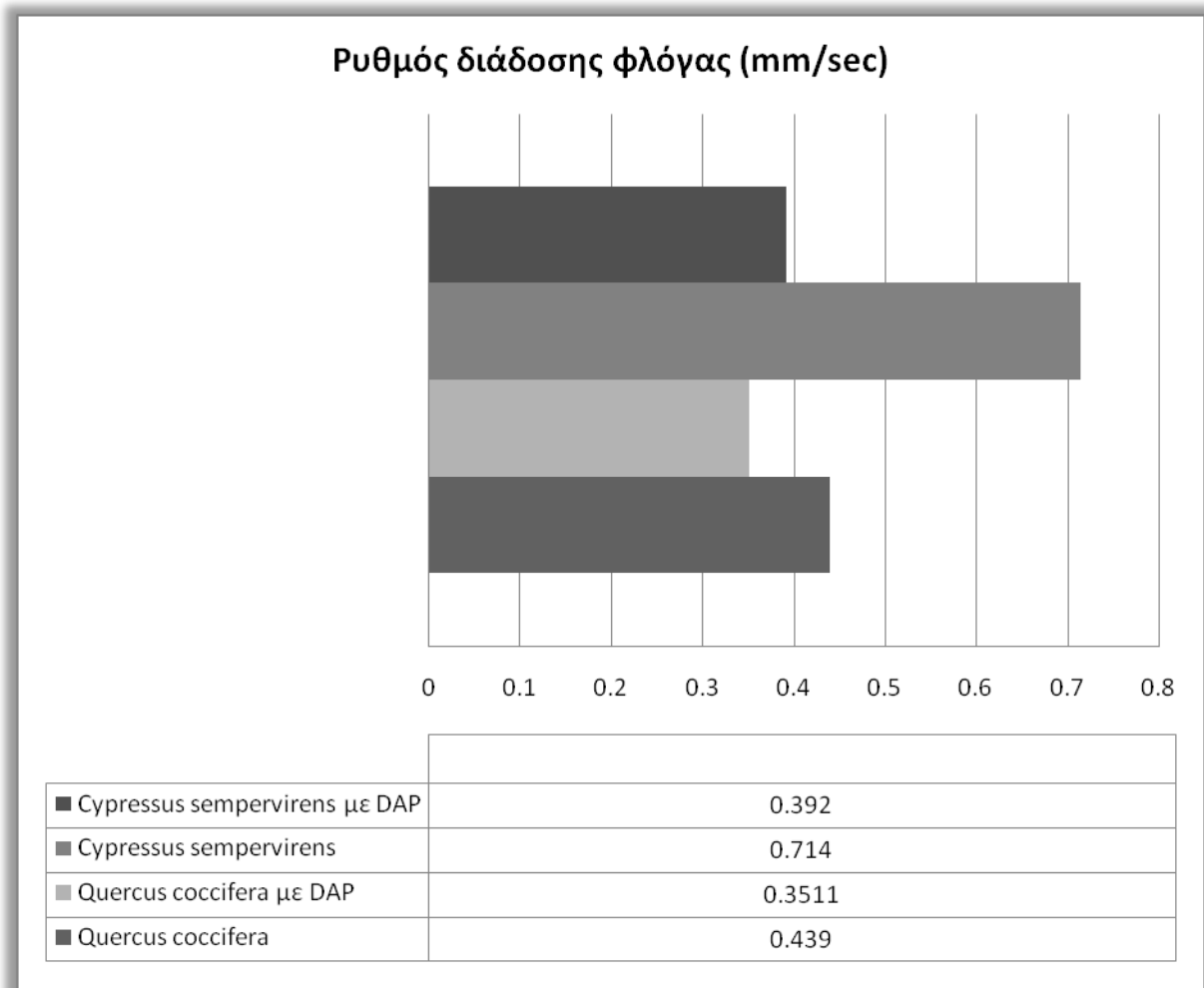
Διάγραμμα 6.1: Χρόνος διάδοσης φλόγας για *Cypressus sempervirens* με επιβραδυντή και χωρίς



Διάγραμμα 6.2 : Χρόνος διάδοσης φλόγας πουρνάρι με επιβραδυντή και χωρίς



Διάγραμμα 6.3: Συνοπτικός πίνακας με αποτελέσματα Flame spread για όλες τις καυστικές ύλες



Διάγραμμα 6.4: Διάγραμμα ρυθμού διάδοσης φλόγας

6.8.1.2.1 Χρόνος καύσης – ρυθμός καύσης

Χωρίς επιβραδυντή

Ο χρόνος καύσης και ο ρυθμός διάδοσης μαζί με την ένταση της φλόγας χαρακτηρίζουν την καυσιμότητα μιας ουσίας. Όσο πιο μεγάλος είναι ο ρυθμός διάδοσης φλόγας και αντίστοιχα όσο πιο μικρός είναι ο χρόνος καύσης τόσο πιο μεγάλη καυσιμότητα έχει η προς εξέταση ουσία. Από το διάγραμμα 6.3 παρατηρούμε ότι ο χρόνος καύσης (χρόνος που χρειάζεται το μέτωπο της φωτιάς να διανύσει την απόσταση Β-Γ) του *Quercus coccifera* είναι αρκετά πιο μεγάλος από τον

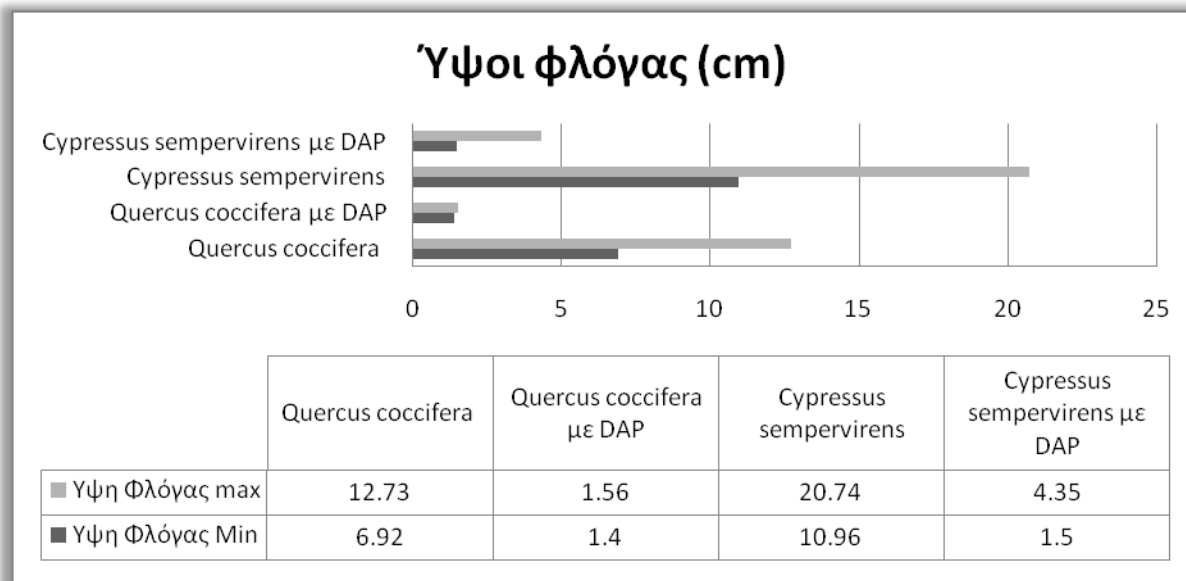
αντίστοιχο του *Cypressus sempervirens* και αντίστοιχα ο ρυθμός διάδοσης φλόγας του *Cypressus sempervirens* είναι αρκετά πιο μεγάλος από του *Quercus coccifera*. Άρα σε σειρά καυσιμότητας μπορούμε να πούμε ότι πρώτα είναι το *Cypressus sempervirens* και μετά το *Quercus coccifera*.

Με επιβραδυντή

Παρατηρούμε ότι ο χρόνος καύσης των εξεταζόμενων ειδών μετά την προσθήκη επιβραδυντή DAP είναι αυξημένος και αρκετά μειωμένος ο ρυθμός διάδοσης φλόγας. Ειδικά για το *Cypressus sempervirens* έχουμε μια αύξηση στο χρόνο καύσης της τάξης των 114.5 δευτερολέπτων αριθμός που αντιστοιχεί σε 45% μείωση στο ρυθμό διάδοσης φλόγας . Αντίστοιχα το *Quercus coccifera* μετά την προσθήκη επιβραδυντή υπέστη μείωση στο ρυθμό διάδοσης φλόγας της τάξης 20%. Συγκριτικά οι ρυθμοί διάδοσης φλόγας των δύο εξεταζόμενων υλών μετά την προσθήκη επιβραδυντή είναι αρκετά κοντά με μεγαλύτερο αυτό του κυπαρισσιού. Κατατάσσοντας τις δύο εξεταζόμενες ύλες μετά την προσθήκη επιβραδυντή ως προς την καυσιμότητα πρώτο είναι το *Cypressus sempervirens* και ακολουθεί το *Quercus coccifera*. Κατατάσσοντας τα δύο είδη ως προς την μείωση στο χρόνο καύσης που οφείλεται στην επίδραση του επιβραδυντή πρώτο είναι το *Cypressus sempervirens* και ακολουθεί το *Quercus coccifera* .

6.8.1.2.2 Ύψος φλόγας.

Το ύψος φλόγας συνδέεται άμεσα με την ένταση της φλόγας. Όσο πιο μεγάλο το ύψος της φλόγας τόσο πιο μεγάλη είναι και η ένταση της.[29] Η ένταση της φλόγας είναι ένας από τις δύο παραμέτρους μαζί με τον ρυθμό διάδοσης φλόγας που καθορίζουν την καυσιμότητα μιας ουσίας.



Διάγραμμα 6.5: Ύψη φλόγας για όλα τα δείγματα με επιβραδυντή και χωρίς

Πίνακας 6.4: Μέτρησης ύψους φλόγας

Ύψος φλόγας στο μέτωπο της φωτιάς (cm)			
Δασική ύλη	AVG	STDEV	RSD
<i>Cypressus sempervirens</i>	10.96	2.57	0.234489
<i>Cypressus sempervirens</i> με DAP	1.5	0.88	0.586667
<i>Quercus coccifera</i>	6.92	2.73	0.394509
<i>Quercus coccifera</i> με DAP	1.4	0.61	0.435714

Πίνακας 6.5: Μέτρησης μέγιστων υψών φλόγας

Ύψος φλόγας μακριά από το μέτωπο της φωτιάς (cm)			
Δασική ύλη	AVG	STDEV	RSD
<i>Cypressus sempervirens</i>	20.74	5.34	0.257473
<i>Cypressus sempervirens</i> με DAP	4.35	2.93	0.673563
<i>Quercus coccifera</i>	12.73	5.47	0.429694
<i>Quercus coccifera</i> με DAP	1.56	0.68	0.435897

Χωρίς επιβραδυντή.

Παρατηρούμε ότι το ύψος φλόγας του *Cypressus sempervirens* στο μέτωπο της φωτιάς παίρνει τιμές από 6 -20 cm και μέση τιμή 10.96 cm ενώ μακριά από το μέτωπο της φωτιάς παίρνει τιμές από 10 -30 cm με μέση τιμή 20.74 cm. Το *Quercus coccifera* στο μέτωπο της φωτιάς παίρνει τιμές 1 -16 cm και μέση τιμή 6.92 cm ενώ μακριά από το μέτωπο τιμές από 4 cm - 30cm και μέση τιμή 12.73 cm.. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι η φλόγα κατά την καύση του *Cypressus sempervirens* έχει μεγαλύτερη ύψος - ένταση από του *Quercus coccifera*.

Με επιβραδυντή

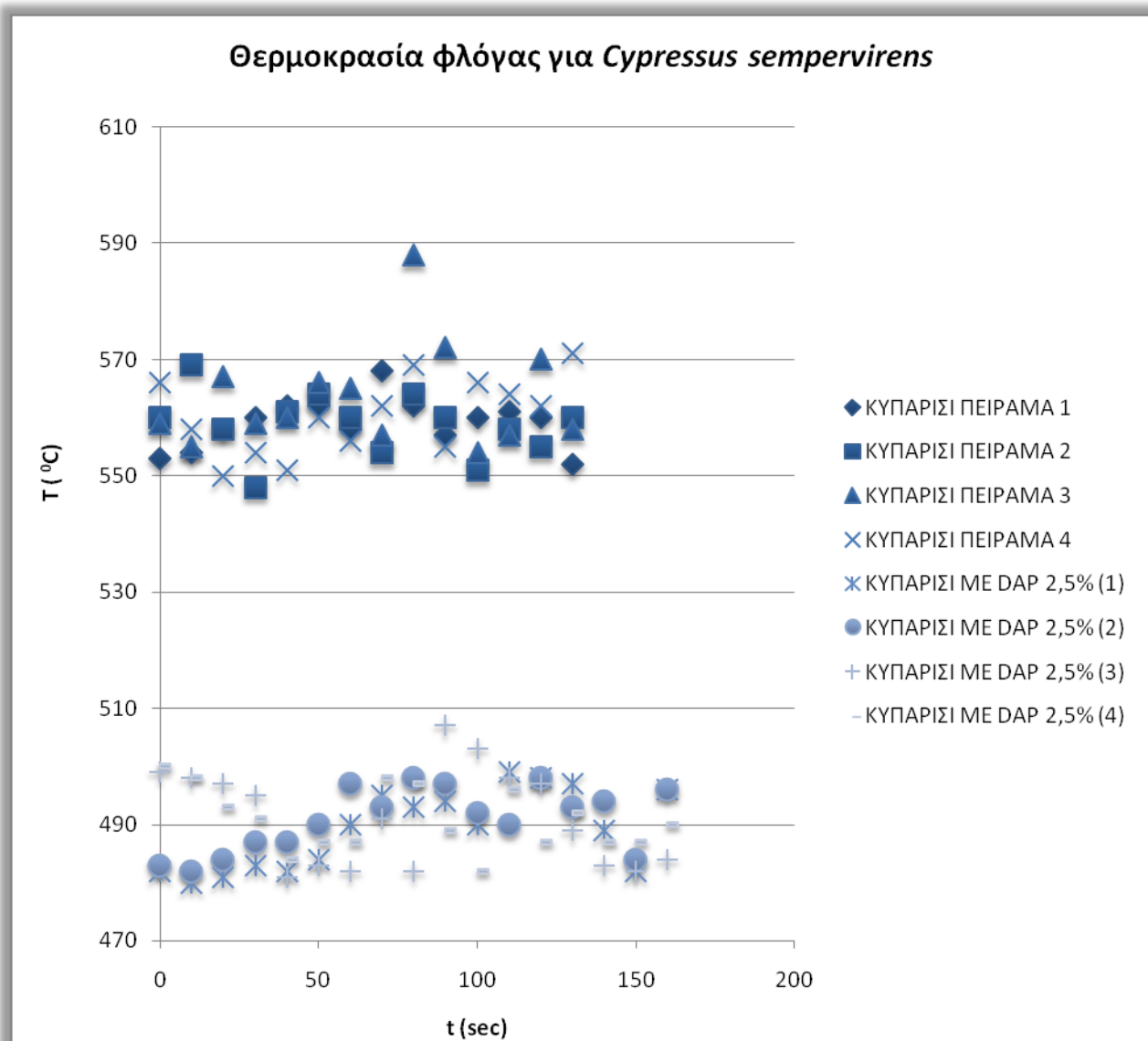
Μετά την προσθήκη επιβραδυντή στα εξεταζόμενα δείγματα τα μέσα ύψη φλόγας μειώνονται δραστικά και για τα δύο είδη. Συγκεκριμένα το ύψος φλόγας του *Cypressus sempervirens* στο μέτωπο της φωτιάς παίρνει τιμές από 1 – 5 cm και μέση τιμή 1.5 cm ενώ μακριά από το μέτωπο της φωτιάς παίρνει τιμές από 1 -1 4 cm με μέση τιμή 4.35 cm. Το *Quercus coccifera* στο μέτωπο της φωτιάς παίρνει τιμές 1 – 3 cm και μέση τιμή 1.4 cm ενώ μακριά από το μέτωπο τιμές από 1 – 4 cm και μέση τιμή 1.56 cm. Συνεπώς το *Cypressus sempervirens* υπέστη μείωση 86% στο μέσο ύψος φλόγας στο μέτωπο της φωτιάς και 79% στο μέσο ύψος φλόγας μακριά από το μέτωπο ενώ αντίστοιχα το *Quercus coccifera* υπέστη μείωση 79% στο μέσο ύψος φλόγας στο μέτωπο και 87% στο μέσο ύψος φλόγας μακριά από το μέτωπο. Κατατάσσοντας τα δύο είδη ως προς το ύψος φλόγας πρώτο είναι το *Cypressus sempervirens* και ακολουθεί το *Quercus coccifera* , ενώ ως προς την μείωση που υπέστη το ύψος από την χρήση επιβραδυντή στο μέτωπο της φωτιάς και μακριά από αυτό πρώτο κατατάσσεται το *Quercus coccifera* με το μεγαλύτερο ποσοστό μείωση και ακολουθεί το *Cypressus sempervirens*.

Πίνακας 6.6: Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων Flame Spread.

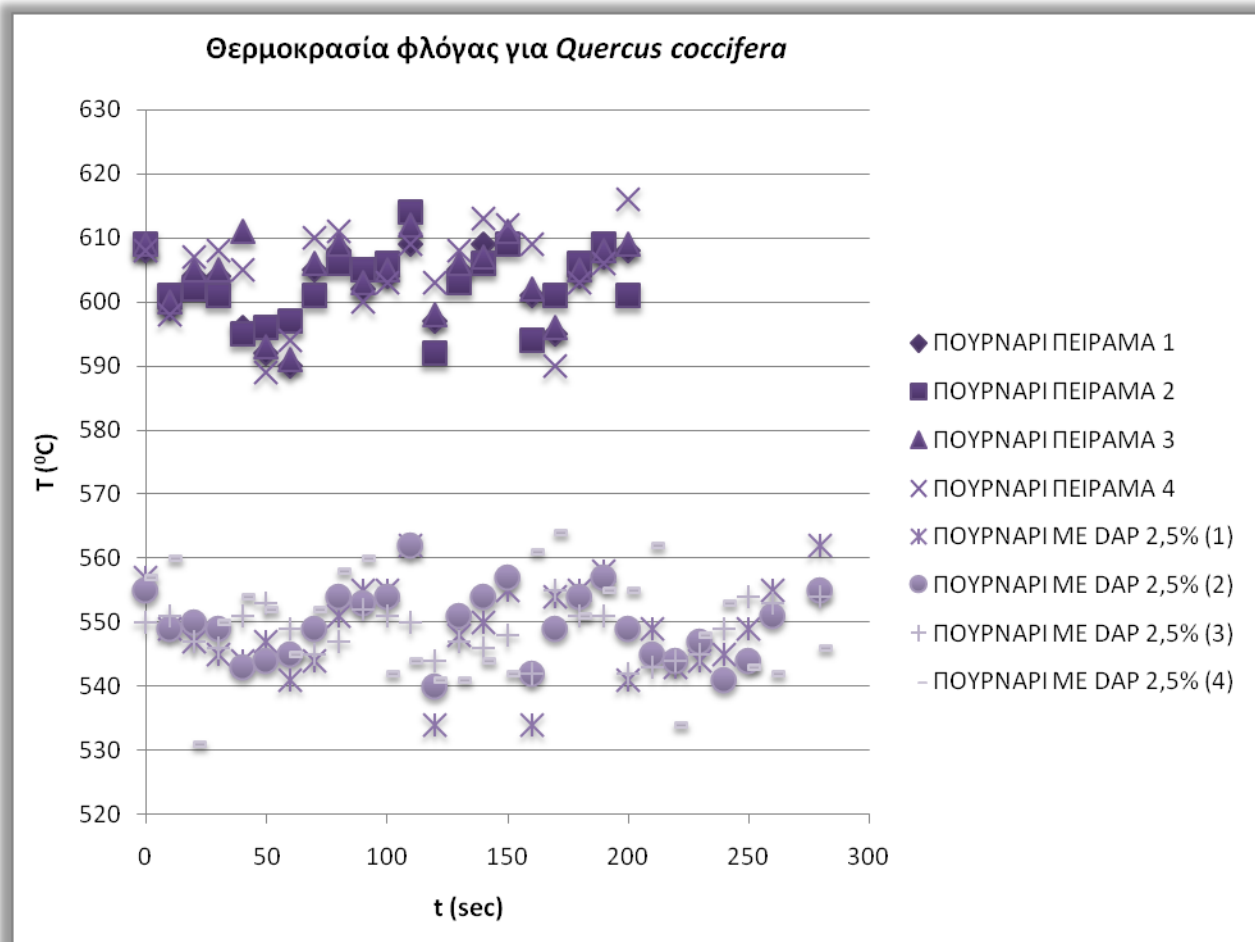
Δασικά είδη	Χρόνος διάδοσης φλόγας (seconds)	Ρυθμός διάδοσης φλόγας (cm/second)	Ύψος Φλόγας στο μέτωπο της φωτιάς (cm)	Μέσο ύψος φλόγας μακριά από το μέτωπο της φωτιάς (cm)
<i>Quercus coccifera</i>	227.5	0.439 (0.01)	6.92 (0.39)	12.73 (0.42)
<i>Cypressus sempervirens</i>	140	0.714(0.02)	10.96 (0.23)	20.74 (0.25)
<i>Quercus coccifera</i> dap	284.75	0.3511 (0.01)	1.4 (0.43)	1.56 (0.43)
<i>Cypressus sempervirens</i> dap	254.5	0.392 (0.01)	1.5 (0,58)	4.35 (0.67)

6.8.1.2.3 Θερμοκρασία καύσης

Η θερμοκρασία καύσης μετρήθηκε με την υπέρυθρη κάμερα του οίκου Flir. Συγκεκριμένα μετρήθηκε η θερμοκρασία της φλόγας όσο η καύση βρισκόταν μεταξύ των σημείων Β-Γ. Είδη με σταθερές θερμοκρασίες φλόγας μπορούν να χαρακτηριστούν σαν είδη με διατηρησιμότητα στην καύση.



Διαγραμμα 6.6: Θερμοκρασίες φλόγας για *Cypressus sempervirens* με επιβραδυντή και χωρίς.



Διαγραμμα 6.7: Θερμοκρασίες φλόγας για *Quercus coccifera* με επιβραδυντή και χωρίς.

Χωρίς επιβραδυντή.

Στις μετρήσεις που έγιναν παρατηρήθηκε ότι η φλόγα από την καύση του *Cypressus sempervirens* έχει θερμοκρασία από 548⁰C - 578⁰C βαθμούς και μέση θερμοκρασία 560.2⁰C, ενώ η φλόγα του *Quercus coccifera* παίρνει τιμές από 589⁰C - 616⁰C και μέση θερμοκρασία 603⁰C. Κατατάσσοντας τις δύο ύλες ως προς την θερμοκρασία καύσης της φλόγας πρώτο κατατάσσεται το *Quercus coccifera* και ακολουθεί στην συνέχεια το *Cypressus sempervirens*. Κατατάσσοντας τα 2 είδη ως προς την διατηρησιμότητα παρατηρούμε ότι το *Quercus coccifera* έχει σταθερότερες θερμοκρασίες κατά την καύση του καθιστώντας το ως το είδος με μεγαλύτερη διατηρησιμότητα.

Με επιβραδυντή

Στις μετρήσεις που πραγματοποιηθήκαν παρατηρείται ότι και οι για τις δύο δασικές ύλες η θερμοκρασία καύσης της φλόγας έχει μειωθεί αρκετά. Συγκεκριμένα η φλόγα από την καύση του *Quercus coccifera* έχει μέγιστη θερμοκρασία 564 °C, ελάχιστη 531 °C και μέση 549 °C, ενώ αντίστοιχα για το *Cypressus sempervirens* ελάχιστη 480 °C, μέγιστη 507 °C και μέση 490.53°C. Η μείωση στην θερμοκρασία της φλόγας του *Cypressus sempervirens* είναι την τάξης 12.4% ενώ για το *Quercus coccifera* είναι την τάξης του 8%

Κατατάσσοντας τις δύο ύλες ως προς την μέση θερμοκρασία της φλόγας τους κατά την καύση πρώτο είναι το *Quercus coccifera* και ακολουθεί το *Cypressus sempervirens*. Κατατάσσοντας την μείωση που προκάλεσε ο επιβραδυντής στις δύο ύλες πρώτο κατατάσσεται το *Cypressus sempervirens* και ακολουθεί το *Quercus coccifera*.

6.9 Συζήτηση Αποτελεσμάτων

6.9.1 Καυσιμότητα – Διατηρησιμότητα

Η καυσιμότητα σχετίζεται με την ένταση των φλογών, και με το ρυθμό διάδοσής τους. [24,25] Επομένως, τα δασικά είδη με υψηλή ένταση φλόγας, υψηλό μέγιστο ύψος φλόγας και μεγάλο ρυθμό διάδοσης χαρακτηρίζονται ως καύσιμα είδη με μεγάλη καυσιμότητα, ενώ είδη με σταθερές θερμοκρασίες φλόγας είναι είδη με μεγάλη διατηρησιμότητα στην καύση.

Το *Cypressus sempervirens* χαρακτηρίζεται σαν είδος με μεγάλη καυσιμότητα ενώ το *Quercus coccifera* σαν είδος με μεγάλη διατηρησιμότητα. Αναφέρουμε επίσης ότι, οι κοκκώδεις ουσίες είναι πάρα πολύ εύφλεκτες όταν ο χρόνος διάδοσης της φλόγας τους, είναι λιγότερο από 45 s ή ο ρυθμός διάδοσης της φλόγας είναι μεγαλύτερος από 2,2 mm/s. [18,19] Βάσει αυτής της αρχής, τα δασικά είδη, που εξετάζουμε σε αυτή την εργασία, έχουν σχετικώς χαμηλή καυσιμότητα σε σύγκριση με άλλες ουσίες (π.χ., πλαστικά και πολυμερή).

Η διαφορά στον ρυθμό διάδοσης φλόγας μεταξύ των δύο εξεταζόμενων υλών οφείλεται κυρίως στην χημική σύσταση του φυλλώματος τους. Βάση προηγούμενων ερευνών που έγιναν

συμπέραναν ότι η περιεκτικότητα του φυλλώματος σε κάλιο επιδρά σημαντικά στον ρυθμό διάδοσης φλόγας. Το κάλιο επιδρά ανασταλτικά στον ρυθμό διάδοσης φλόγας γιατί δρα ως καταλύτης στις οξειδωτικές και πυρολυτικές αντιδράσεις ευνοώντας τον σχηματισμό διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα μετατρέποντας τα καύσιμα αέρια που σχηματίζονται κατά την πυρόληση σε μη καύσιμα με αποτέλεσμα να επιβραδύνει την καύση.[20,21,22,23] Ανάλυση της τέφρας που έγινε που προκύπτει από την καύση *Quercus coccifera* και *Cypressus sempervirens* προκύπτει ότι το *Quercus coccifera* έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα καλίου παρά το *Cypressus sempervirens* γεγονός που επαληθεύει τα πειραματικά μας αποτελέσματα και δικαιολογεί την διαφορά των εξεταζόμενων υλών στον ρυθμό διάδοσης φλόγας.[31]

Πίνακας 6.7: Ανάλυση σε σύσταση σταχτών διάφορων δασικών υλών [31]

Table 2

Elemental and titrimetric analysis data of various forest species ashes as a function of combustion temperature

Forest species	Ash (°C)	Ash content (% w/w)	K (% w/w)	Na (% w/w)	Ca (% w/w)	Mg (% w/w)	Mn (% w/w)	Fe (% w/w)	Zn (% w/w)	Si (% w/w)
<i>Pinus halepensis</i>	600	3.27	13.00	1.78	19.2	8.84	1.12	0.91	0.28	2.55
	800	2.97	6.78	2.18	22.3	8.81	1.20	0.85	0.02	2.59
	1000	2.93	1.40	0.49	25.4	9.75	1.37	1.25	0.01	2.68
<i>Pinus brutia</i>	600	2.39	18.30	1.23	16.9	9.59	1.69	0.80	0.24	1.49
	800	2.03	8.29	2.43	22.6	13.1	1.75	0.86	0.02	1.55
	1000	2.01	1.28	0.52	29.6	14.1	1.91	1.88	0.01	1.73
<i>Olea europaea</i>	600	4.94	13.01	0.52	32.8	4.22	1.15	1.67	0.50	0.55
	800	4.13	7.05	0.92	42.8	5.81	1.23	1.54	0.04	0.58
	1000	4.05	0.61	0.17	46.4	6.26	2.07	2.15	0.01	0.67
<i>Cupressus sempervirens</i>	600	3.86	7.74	0.87	22.2	6.24	0.74	1.05	0.32	1.29
	800	3.43	4.61	1.02	28.9	7.93	1.14	1.62	0.03	1.33
	1000	3.05	0.47	0.15	35.8	9.12	1.81	1.95	0.01	1.40
<i>Pistacia lentiscus</i>	600	3.76	13.3	2.29	26.1	6.40	1.46	1.24	0.38	0.57
	800	2.70	5.31	1.90	45.9	8.57	2.03	1.54	0.04	0.60
	1000	2.69	1.46	0.22	52.7	11.2	2.29	2.02	0.01	0.65
<i>Quercus coccifera</i>	600	3.79	10.71	0.51	25.9	7.79	1.45	1.23	0.37	1.13
	800	2.78	4.64	0.96	37.1	10.2	2.04	1.41	0.03	1.24
	1000	2.70	1.23	0.12	38.8	14.1	2.33	2.05	0.01	1.51

S.A.: soluble alkalinity-neutralisation to pH 7; T.A.: total alkalinity-neutralisation to pH 7; N.S.A.: non-soluble alkalinity-ne

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις με σχετικές μελέτες που αφορούν το ίδιο αντικείμενο[29,32] διαπιστώνουμε μια απόκλιση στις τιμές του ρυθμού διάδοσης φλόγας. Αυτό οφείλεται σε διάφορους λόγους.

Ο ρυθμός καύσης επηρεάζεται από διάφορους παραμέτρους

- Ηλικία του φυτού
- Αέρα
- Θερμοκρασία
- Περιεκτικότητα σε κάλιο
- Περιεχόμενη υγρασία

Σύμφωνα με το έργο Fire Paradox το οποίο έγινε από την INRA (PO2) διαπιστώθηκε ότι η καυσιμότητα ενός είδους αυξάνεται ανάλογα με την ηλικία του. Συγκεκριμένα σε έρευνες που έγιναν κατά την καύση *Quercus coccifera* σε δείγματα ηλικίας από 1-6 ετών διαπιστώθηκε ότι κρατώντας σταθερές τις εξωτερικές μεταβλητές (θερμοκρασία περιβάλλοντος και ταχύτητα αέρα) ο ρυθμός καύσης σε δείγματα 6 ετών ήταν διπλάσιος από τον ρυθμό καύσης δείγματος 2 ετών.

Η ταχύτητα αέρα κατά την ώρα της καύσης παίζει καθοριστικό ρόλο στον ρυθμό και την ταχύτητα καύσης όπως και η θερμοκρασία.

Συσχετίζοντας την διαφορά των αποτελεσμάτων με διδακτορική διατριβή[29] με παρόμοιο αντικείμενο μελέτης διαπιστώνουμε ότι η διαφορά στις τιμές των μετρήσεων μεθόδου διάδοσης φλόγας με τις μετρήσεις που εξάχθηκαν οφείλονται κυρίως ηλικία του δείγματος, την εξωτερική θερμοκρασία και την διαφορά σε υγρασία.

6.9.2 Θερμοκρασία φλόγας κατά την διάρκεια της καύσης

Από τους πίνακες 6.6 και 6.7 παρατηρείται ότι η θερμοκρασία της φλόγας του *Quercus coccifera* κατά την διάρκεια της καύσης του είναι πιο μεγάλη από την αντίστοιχη του *Cypressus*

sempervirens. Επίσης παρατηρείται μια σταθερότητα στην θερμοκρασία καύσης του *Quercus coccifera* γεγονός που το καθιστά σαν είδος με μεγαλύτερη διατηρησιμότητα.

6.9.3 Επίδραση Επιβραδυντή.

Η επίδραση του επιβραδυντή DAP διαφέρει ανάλογα το είδος της μετρούμενης μεταβλητής και της προς εξέταση δασικής ύλης .

Στις μετρήσεις που έγιναν για τον προσδιορισμό του ρυθμού διάδοσης φλόγας για το είδος *Cypressus sempervirens* που χαρακτηρίζεται σαν είδος υψηλής καυσιμότητας, η προσθήκη 2.5 κατά βάρος επιβραδυντή προκάλεσε μείωση στον ρυθμό διάδοσης φλόγας κατά 45%. Στις αντίστοιχες μετρήσεις του *Quercus coccifera*, που χαρακτηρίζεται σαν είδος με υψηλή διατηρησιμότητα στην καύση επέφερε μείωση 20%. Από τα πιο πάνω φαίνεται πως ο επιβραδυντής έχει μεγαλύτερη δραστηριότητα στην μείωση του ρυθμού διάδοσης φλόγας στα είδη με μεγάλη καυσιμότητα.

Στις μετρήσεις που έγιναν για τον προσδιορισμό του ύψους – έντασης της φλόγας οι μειώσεις και στα δύο είδη είναι παραπλήσιες. Παρατηρήθηκε μείωση στο ύψος της τάξης του 80%.

Στην θερμοκρασία φλόγας κατά την διάρκεια της καύσης η επίδραση του επιβραδυντή ήταν αρκετά μικρή με ποσοστά 12% και 8% για το *Cypressus sempervirens* και το *Quercus coccifera* αντίστοιχα.

Από τα πιο πάνω συμπεραίνεται ότι ο επιβραδυντής έχει πολύ μεγάλη δράση στα είδη μεγάλης καυσιμότητας μειώνοντας σε αρκετά μεγάλο βαθμό τον ρυθμό μετάδοσης φλόγας και την ένταση της φλόγας και λιγότερος δραστηριός στα είδη με μικρότερη καυσιμότητα. Επίσης μικρή είναι η επίδραση του στην μείωση της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της καύσης.

6.10 Συμπεράσματα – Προτάσεις

1. Το είδος *Cypressus sempervirens* σε σύγκριση με το είδος *Quercus coccifera* έχει μεγαλύτερο ρυθμό διάδοσης φλόγας και ένταση φλόγας και μπορεί να χαρακτηριστεί σαν είδος με υψηλότερη καυσιμότητα.
2. Το *Quercus coccifera* έχει φλόγα με μεγαλύτερη θερμοκρασία καύσης σε σύγκριση με το *Cypressus sempervirens*, και παρουσιάζει μεγαλύτερη σταθερότητα καθιστώντας το συγκρίνοντας τα 2, σαν το είδος με την μεγαλύτερη διατηρησιμότητα.
3. Η επίδραση του επιβραδυντή DAP στις δασικές ύλες διαφέρει ανά είδος και εξεταζόμενη παράμετρο. Από τα αποτελέσματα του ρυθμού διάδοσης φλόγας φαίνεται ότι είναι πιο δραστικό στα είδη με μεγάλη καυσιμότητα και λιγότερο δραστικό στα είδη με μικρή καυσιμότητα. Ως προς την μείωση της θερμοκρασίας και την διατηρησιμότητα της φλόγας παρατηρούμε ότι η μεταβολές δεν είναι τόσο μεγάλες όσο στον ρυθμό διάδοσης φλόγας και το ύψος φλόγας και η μείωση που προκαλεί είναι της τάξης του 10%.
4. Παρατηρούμε ότι το DAP μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ανασταλτικό μέσο για την εξάπλωση πυρκαγιών σε δάση που αποτελούνται από είδη με υψηλή καυσιμότητα αφού τείνει να μειώνει δραστικά τον ρυθμό και την ένταση των φλογών.
5. Η μίξη διάφορων δασικών υλών και η παρατήρηση του ρυθμού καύσης τους μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στις εξαγωγή συμπερασμάτων τα οποία θα βοηθήσουν σε μεγάλο βαθμό τις Πυροσβεστικές δυνάμεις.
6. Η μίξη διάφορων ποσοστών και τύπων επιβραδυντών και η επίδραση τους σε διαφορετικές δασικές ύλες και σε μίγματα δασικών υλών επίσης μπορεί να αποτελέσει κλειδί στην γνώση και πρόβλεψη της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών.

Βιβλιογραφία 6^{ου} κεφαλαίου

1. www.wikipedia.org
2. <http://www.e-flowershop.gr>
3. Νικόλαος Ηρ. Αθανασιάδης, «Δασική Βοτανική: Δένδρα και Θάμνοι της Ελλάδας, Μέρος II», Θεσσαλονίκη 1986, εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη
4. Σπύρος Αθ. Ντάφης, «Δασική οικολογία», Θεσσαλονίκη 1986, εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη.
5. Παύλος Κωνσταντινίδης, «Μαθαίνοντας να ζούμε με τις Δασικές Πυρκαγιές», Εκδόσεις Χριστοδουλίδη, Θεσσαλονίκη 2003.
6. W.H.O. Ernst, «Sampling of plant material for chemical analysis», *Science of Total Environment* 176 (1995), 15-24.
7. Kirk-Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, J. Wiley & Sons, 4th Edition, 1993: Vol. 1 (1025-1036), Vol. 2 (252-262, 291-300, 692-707), Vol. 4 (381- 385, 796-801), Vol. 7 (381-388, 414-426, 509-516), Vol. 10 (930-958, 976-992, 993- 1005), Vol. 14 (829-852, 883-885), Vol. 15 (622-626, 684-688, 996-1000), Vol. 18 (686- 688, 695-696), Vol. 19 (1047-1053, 1058-1067, 1075-1092), Vol. 22 (327-330, 354-360, 368-374), Vol. 25 (851)
8. <http://www.ipni.net>
9. Σ. Λιοδάκης, Η.Π. Αγιοβλασίτης, Τ. Κακαρδάκης, Χ. Γουναράς, «Δασικές Πυρκαγιές: Ευφλεκτότητα δασικής ύλης σε συνάρτηση με την σύσταση της», Πρακτικά 6^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Χημικής Μηχανικής, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.)
10. J. Nurmi, K. Hillebrand, The characteristics of whole-tree fuel stocks from silvicultural cleanings and thinnings, *Biomass Bioenergy* 31 (2007) 381–392
11. A.P. Dimitrakopoulos, «Thermogravimetric analysis of Mediterranean plant species», *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 60 (2001), 123-130)
12. S. Liodakis, T. Kakardakis, S. Tzortzakou, V. Tsapara, How to measure the particle ignitability of forest species by TG and LOI, *Thermochim. Acta* 477 (2008) 16–20.
13. ASTM D4933-1999, Standard Guide for Moisture Conditioning of Wood and Wood-Based Materials, ASTM International, 2004 520 pp.

14. Mc Cabe-Smith-Harriott, «Βασικές φυσικές διεργασίες μηχανικής», Εκδόσεις Τζιόλα, 6η έκδοση, σελ. 1120 και 1129.)
15. Ηρακλής-Παναγιώτης Αγιοβλασίτης, «Μελέτη της επιβραδυντικής δράσης 28 ανοργάνων χημικών ενώσεων στη δασική ύλη *Pinus halepensis*», Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2005, σελ. 1-73, 119-137.)\
16. Official Journal of the European Communities 92/69/EEC, «A.10. Flammability (solids)», No.L251/63 (1984), p.110.
17. US Environmental Protection Agency test methods, Method 1030, «Ignitability of solids», SW-846, Dec. 1996, p.1-13.)
18. Official Journal of the European Communities 92/69/EEC, «A.10. Flammability (solids)», No.L251/63 (1984), p.110.
19. US Environmental Protection Agency test methods, Method 1030, «Ignitability of solids», SW-846, Dec. 1996, p.1-13
20. D.J. Nowakowski and J.M. Jones, «Uncatalysed and potassium-catalysed pyrolysis of the cell-wall constituents of biomass and their model compounds», *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 83 (2008), 12-25.
21. . D.J. Nowakowski, J.M. Jones, R.M.D. Brydson, A.B. Ross, «Potassium catalysis in the pyrolysis behaviour of short rotation willow coppice», *Fuel* 86 (2007), 2389-2402.
22. W. Pan and G. N. Richards, «Influence of metal ions on volatile products of pyrolysis of wood», *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 16 (1989), 117-126.
23. . W. Pan and G. N. Richards, «Volatile products of oxidative pyrolysis of wood: influence of metal ions», *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 17 (1990), 261-273.
24. H. E. Anderson, «Forest fuel ignitability», *Fire Technology* 6 (1970), 312-319.
25. E. Ormeno, B. cespedes, I.A. Sanchez, A. Velasco-Garcia, J.M. Moreno, C. Fernadez, V. Baldy, «The relationship between terpenes and flammability of leaf litter», *Forest Ecology and Management* 257 (2009), 471-482
26. ASTM D4933-91, Standard guide for Moisture Conditioning of Wood and Wood-Based Materials, reapproved 1997

27. Method A10, «Flammability (solids), της Ε.Ε.
28. Method 1030, «Ignitability of solids», της ΕΡΑ.
29. Διδακτωρικό Τηλέμαχου.
30. S. Liodakis , D. Vorisis, I.P. Agiovlasis, A method for measuring the relative particle fire hazard properties of forest species, August 2005
31. S. Liodakis , G. Katsigiannis, G. Kakali , Ash properties of some dominant Greek forest species, August 2005
32. S. Liodakis , I.P. Agiovlasis, T. Kakardakis, N. Tzamtzis, D. Vorisis, E. Lois, ” Determining hazard risk indices for Mediterranean forest species based on particle flammability properties, Athens 1010
33. S. Liodakis , D. Vorisis, I.P. Agiovlasis, ” A method for measuring the relative particle fire hazard properties of forest species” 2005