



**Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**

**«Οι επιπτώσεις της καύσης βιομάζας ξύλου σε
αστικά κέντρα»**

Μεταπτυχιακή Εργασία

υπό

Διάφα Γ. Ορφέα

Διπλωματούχου Μηχανολόγου και Αεροναυπηγού Μηχανικού, 2010



Επιβλέπων: Ανδρίτσος Νικόλαος

Καθηγητής Πειραματικών Φαινομένων Μεταφοράς

ΒΟΛΟΣ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2014

© 2014 Ορφέας Γ. Διάφας

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

**«Οι επιπτώσεις της καύσης βιομάζας ξύλου σε
αστικά κέντρα»**

Μεταπτυχιακή Εργασία

υπό

Διάφα Γ. Ορφέα

Επιβλέπων: Ανδρίτσος Νικόλαος

Καθηγητής Πειραματικών Φαινομένων Μεταφοράς

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....

.....

.....

Ον/μο:

Ον/μο:

Ον/μο:

Ιδιότητα:

Ιδιότητα:

Ιδιότητα:

ΒΟΛΟΣ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2014

Πρόλογος

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των ρύπων που πηγάζουν από την καύση απλού ξύλου, πελετών και άλλων ειδών βιομάζας από ξύλο. Η έρευνα επικεντρώνεται στα αστικά κέντρα, λόγω της ραγδαίας αύξησης της χρήσης του ξύλου σε αυτά για την πλήρη ή μερική θέρμανση των κατοικιών.

Έχουν γίνει αρκετές έρευνες πάνω σε αυτό το θέμα κυρίως στο εξωτερικό, την Ελλάδα έχει αρχίσει να την αφορά τα τελευταία χρόνια που λόγω της οικονομικής κρίσης, πολύς κόσμος επιλέγει να αντικαταστήσει το πετρέλαιο ακόμη και το φυσικό αέριο, με την βιομάζα.

Στην εργασία αυτή λοιπόν θα ερευνηθούν οι επιπτώσεις αυτής της αλλαγής στο αστικό περιβάλλον και συνεπώς στην υγεία των ανθρώπων που κατοικούν στις πόλεις.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Ανδρίτσο Νικόλαο, επιβλέπων καθηγητή μου, για την αμέριστη εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου και μου ανέθεσε να φέρω εις πέρας αυτή την εργασία.

Επιπλέον, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την συμπαράστασή τους στον κοπιαστικό αυτό δρόμο για την απόκτηση του μεταπτυχιακού μου διπλώματος.

Διάφας Ορφέας

Περίληψη

Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, είναι ένα θέμα που μας αφορά και προβληματίζει όλο και περισσότερο. Γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μία από τις προσπάθειες αυτές.

Η χρήση καυσίμων για μεταφορά και θέρμανση είναι ένας βασικός παράγοντας ρύπανσης. Έτσι, η αντικατάστασή τους από βιομάζα¹, θα πίστευε κανείς πως θα μείωνε τις επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και στην ανθρώπινη υγεία.

Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στον πλανήτη μας, υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 172 δις τόνους ξηρού υλικού, με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας που καταναλώνεται παγκοσμίως στο ίδιο διάστημα. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος ανεκμετάλλευτο, καθώς σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της (καυσόξυλα κλπ.).⁽¹⁾

Τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας, η χρήση βιομάζας για τη θέρμανση των σπιτιών έχει διαδοθεί αρκετά. Λόγω της οικονομικής κρίσης και της αύξησης της τιμής του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, η χρήση σύγχρονων μεθόδων θέρμανσης με βιομάζα είναι πλέον συχνό φαινόμενο όχι μόνο στα χωριά αλλά και στα μεγάλα αστικά κέντρα.

Η αλήθεια είναι, πως σε αραιοκατοικημένες περιοχές, χωριά και μικρές πόλεις, η καύση ξύλου έχει πράγματι σχεδόν μηδενικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Στα αστικά κέντρα όμως, τα πράγματα αλλάζουν. Το ήδη επιβαρυνόμενο κλίμα, το πλήθος των νοικοκυριών και η έλλειψη πρασίνου, καθιστούν τις μεγάλες πόλεις ακατάλληλες για χρήση βιομάζας.

Στην εργασία αυτή, αναφέρονται αναλυτικά πληροφορίες για την βιομάζα ξύλου και τον βαθμό απόδοσης της καύσης όλων των μορφών της. Αναφέρονται επίσης, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της καύσης βιομάζας στα αστικά κέντρα της

¹ Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει οργανική προέλευση, κυρίως φυτική.

Ελλάδας και παρουσιάζονται αποτελέσματα ερευνών με γραφήματα και σχετικές πληροφορίες.

Η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια κάνει σημαντικές προσπάθειες για τον εντοπισμό των κύριων αιτιών της ρύπανσης και φυσικά την αντιμετώπιση της με διάφορους τρόπους. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε ότι η καύση της βιομάζας, παρόλο που είναι ίσως πιο οικονομικός τρόπος θέρμανσης από το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο, μπορεί να έχει επιπτώσεις και στην υγεία μας, έμμεσα μέσω της μόλυνσης του περιβάλλοντος αλλά και άμεσα, αφού μεγάλο ποσοστό των ρύπων παραμένει μέσα στο σπίτι.

Περιεχόμενα

«Οι επιπτώσεις της καύσης βιομάζας ξύλου σε αστικά κέντρα»	0
Πρόλογος	2
Περίληψη	5
Περιεχόμενα	8
Εισαγωγή.....	10
1. Γενικά	12
2. Ατμοσφαιρική Ρύπανση.....	13
2.1 Πώς δημιουργείται η ατμοσφαιρική ρύπανση	13
2.2 Είδη Ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	14
2.2.1 Περιγραφή φαινομένου.....	15
2.2.2 Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	15
2.3 Πρωτογενείς και δευτερογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι.....	18
2.3.1 Χρόνος παραμονής.....	18
3. Επιπτώσεις και κλιματικές αλλαγές.....	20
3.1. Αιωρούμενα σωματίδια	21
3.1.1 Κατηγοριοποίηση Αιωρούμενων Σωματιδίων.....	21
3.1.2 Διεσδυτικότητα Αιωρούμενων Σωματιδίων στον Ανθρώπινο Οργανισμό.....	21
3.1.3 Μέγεθος Αιωρούμενων Σωματιδίων	22
3.1.4 Τρόπος Σχηματισμού.....	23
3.1.5 Μέτρηση Αιωρούμενων Σωματιδιακών Ρύπων.....	24
3.2 Μονοξείδιο του άνθρακα	25
3.3 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOC's)	25
3.4. Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες(PAH's).....	26
4. Επιπτώσεις στο περιβάλλον και την Ανθρώπινη Υγεία	26
4.1 Η καύση ξυλείας προκαλεί ρύπανση και στους εσωτερικούς χώρους.....	26

4.2 Συμπτώματα της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια.....	26
4.3 Επιπτώσεις στο Περιβάλλον.....	28
5. Έρευνες	29
5.1 Έρευνες σε αστικά κέντρα της Ελλάδας.....	31
5.2 Νομοθεσία και όρια εκπομπών ρύπων	42
6. Τύποι καυσίμων από ξύλο και συσκευές καύσης.....	43
6.1 Οι φυσικές ιδιότητες καυσίμων ξύλου	51
6.1.1 Μονάδες παραγωγής ενέργειας.....	53
6.2 Σύνθεση και ιδιότητες ειδών ξύλου	54
6.2.1 Τέφρα.....	55
6.3 Στάδια Καύσης.....	56
6.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση	57
6.5 Χημικά συστατικά ξύλου	58
6.6 ΤΟ ΞΥΛΟ ΩΣ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	61
6.7 Ευλώδης Βιομάζα - Δυναμικό	62
6.7.1 Δασικές πρώτες ύλες	62
7. Συμπεράσματα.....	66
8. Αντιμετώπιση	67
9. Συμπεράσματα και προτάσεις	71
10. Βιβλιογραφία.....	73

Εισαγωγή

Η καύση των ξύλων και άλλων μορφών βιομάζας ξύλου σε σόμπες και τζάκια, έχει ως συνέπεια εξαιρετικά μεγάλες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Η αντικατάσταση του πετρελαίου ή άλλων τρόπων θέρμανσης από καύση ξυλείας, έχει ως συνέπεια την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από ρύπους, αφού η καύση δεν είναι τίποτα άλλο παρά μία χημική αντίδραση.

Η απότομη στροφή των πολιτών προς τα τζάκια και τις άλλες παραδοσιακές μορφές θέρμανσης με καύση ξύλου, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, γιατί δυστυχώς συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων και καπνού και δυστυχώς μεγάλο ποσοστό παραμένει στο εσωτερικό των σπιτιών. Φαίνεται, πως τα καυσόξυλα από τα τζάκια συμβάλλουν σε ποσοστό άνω του 90% στη δημιουργία υψηλών, και τα τελευταία χρόνια άνω του ορίου, συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων. Βεβαίως η καύση σύγχρονων μορφών βιομάζας (καυστήρες πέλετ, αποδοτικές σόμπες, ενεργειακά τζάκια κλπ.), που θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο, είναι περισσότερο αποδοτική με λιγότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Η οικονομική κρίση όμως, οδηγεί στη χρήση πιο φθηνών μέσων με πολλές επιβλαβής συνέπειες.

Από έρευνες που έχουν γίνει διαπιστώνεται επικίνδυνη αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων σε πολλές μεγάλες ελληνικές πόλεις. Η αύξηση σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνάει το ανώτατο επιτρεπτό όριο των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μικρογραμμάριο ανά κυβικό μέτρο αέρα).

Έρευνες που έγιναν τελευταία δείχνουν πως, αν σε κάθε 500.000 τόνους πετρελαίου θέρμανσης, καίγονται επιπρόσθετα 50.000 τόνοι καυσόξυλων, η ρύπανση της ατμόσφαιρας σε αιωρούμενα σωματίδια διπλασιάζεται. Με άλλα λόγια, τα παραδοσιακά τζάκια με καυσόξυλα και οι ξυλόσομπες εκλύουν σε γενικές γραμμές 30 φορές περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια στο κιλό καύσιμης ύλης από σύγχρονο και καλά συντηρημένο καυστήρα. Αυτό σημαίνει πως η ρύπανση που προκαλεί ένας σύγχρονος καυστήρας που θερμαίνει 30 διαμερίσματα σε μια πολυκατοικία, είναι η ίδια με εκείνη που προκαλεί ένα μόνο παραδοσιακό τζάκι με καυσόξυλα που θερμαίνει ένα μόνο δωμάτιο.

Ανάλογη επιβάρυνση κατά τη χειμερινή περίοδο παρατηρείται σχεδόν σε όλες τις ευρωπαϊκές πόλεις. Έρευνες που έγιναν την περίοδο 2001-2005, δείχνουν πως το 50-

75% της ρύπανσης τον χειμώνα, προέρχεται από τα βλαβερά για τον άνθρωπο αιωρούμενα σωματίδια των ενώσεων του άνθρακα που εκλύουν τα κλασικά τζάκια και οι ξυλόσομπες που καίνε βιοάνθρακα.

Σύμφωνα με έρευνες τα τελευταία χρόνια, λόγω της συνεχούς αύξησης των αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη της Θεσσαλονίκης, ανήκει στις πιο επιβαρυνμένες πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης (69). Οφείλουμε λοιπόν να ενδιαφερθούμε και να αναλύσουμε με λεπτομέρεια τα αιωρούμενα σωματίδια και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, αφού είναι οι βασικότεροι ρύποι που εκλύονται από τα τζάκια και τις σόμπες καυσόξυλων, που συνεχώς αυξάνονται ιδιαίτερα στη χώρα μας λόγω της οικονομικής κρίσης.

1. Γενικά

Την τελευταία διετία στη χώρα μας, λόγω της οικονομικής κρίσης και της τάσης για αντικατάσταση των συνηθισμένων καυσίμων, όπως πετρέλαιο και φυσικό αέριο, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η οσμή της αναμμένης ξυλόσομπας που είχαμε συνηθίσει στα χωριά έγινε έντονα αισθητή και στα αστικά κέντρα. Πολλά νοικοκυριά, για οικονομικούς ή πιο σπάνια για περιβαλλοντικούς λόγους έχουν επιλέξει την χρήση των τζακιών ή σομπών, για την πλήρη ή μερική θέρμανση του σπιτιού. Με αυτόν τον τρόπο όμως, λόγω της έλλειψης ενημέρωσης και της επιπόλαιης χρήσης της βιομάζας η ποιότητα της ατμόσφαιρας επιδεινώνεται με επικίνδυνους ρυθμούς.

Τα πρώτα αποτελέσματα από μετρήσεις που πραγματοποίησε η ομάδα της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου σε περιοχές της Αθήνας, έδειξαν σημαντικότερη συμβολή των εκπομπών από τζάκια και ξυλόσομπες στη σύσταση και στα μετρούμενα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και PM2.5².

Δυστυχώς οι πολίτες αναγκάστηκαν λόγω των συνθηκών στην απότομη μετάβαση από την καύση πετρελαίου και το φυσικού αερίου σε ανεξέλεγκτης προέλευσης καύσιμα υλικά σε τζάκια και ξυλόσομπες, γεγονός που προκάλεσε σε πολλές ελληνικές πόλεις όπως ο Βόλος, η Θεσσαλονίκη, η Αθήνα το φαινόμενο της αιθαλομίχλης αρκετές φορές τα τελευταία χρόνια.

Πολλές φορές, τα επίπεδα του μονοξειδίου του άνθρακα και των αιωρούμενων σωματιδίων, έφτασαν σε πολύ επικίνδυνα επίπεδα, δημιουργώντας πυκνό νέφος αιθαλομίχλης που θύμιζε το Λονδίνο των αρχών της δεκαετίας του '50, όπου λέγεται ότι καταγράφηκαν περισσότεροι από 20.000 θάνατοι από αναπνευστικά προβλήματα.

Μάλιστα στην Ελλάδα οι κλιματικές συνθήκες είναι τέτοιες, που ευνοούν την ατμοσφαιρική ρύπανση, που επηρεάζεται από την άπνοια το καλοκαίρι και την υγρασία τον χειμώνα.

Στη Θεσσαλονίκη την περίοδο των Χριστουγέννων του 2013, τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων και γενικότερα η ρύπανση, λόγω της έντονης καύσης βιομάζας ξύλου σε συνδυασμό με τις καιρικές συνθήκες, ήταν πολλές φορές επάνω

² Particulate matter. Περιγράφονται στο κεφ. 3.1

από τα επιτρεπτά όρια και εκείνη την περίοδο έγιναν οι περισσότερες επισκέψεις στα νοσοκομεία, σε σύγκριση με όλο τον υπόλοιπο χρόνο.

2. Ατμοσφαιρική Ρύπανση

2.1 Πώς δημιουργείται η ατμοσφαιρική ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλείται από φυσικούς αλλά κυρίως ανθρωπογενείς παράγοντες, είναι το αποτέλεσμα της προσθήκης ουσιών (ρύπων) στην ατμόσφαιρα, που υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν θα υπήρχαν.

Οι φυσικές πηγές εκπομπών αέριων ρύπων είναι συνδυασμός κάποιων από τις παρακάτω:

- Εκρήξεις ηφαιστειών (σωματίδια ύλης SO₂, H₂S, CH₄, φθορίδια κτλ.).
- Φωτιές δασών (καπνός, άκαυστοι υδρογονάνθρακες, CO_x, NO_x, ιπτάμενη τέφρα).
- Δυνατοί άνεμοι (διασκορπισμός σωματιδίων ύλης, σωματιδιακή ύλη που μεταφέρεται μέσω ανέμων από τις ερήμους).
- Ωκεανοί και θάλασσες (αεροζόλ με μορφή σωματιδίων άλατος (NaCl), CO, SO₄⁻² κτλ).
- Φυτά και δέντρα (υδρογονάνθρακες, πτητικές οργανικές ενώσεις, γύρη).
- Άλλες φυσικές πηγές: λίμνες με γλυκό ή αλμυρό νερό, θειούχα αέρια από τις θερμές πηγές.

Η ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης απαρτίζονται κυρίως από τρεις ανθρώπινες δραστηριότητες, τη βιομηχανία, τις μεταφορές και τα νοικοκυριά:

- Βιομηχανικές πηγές (ανεπεξέργαστα απόβλητα βιομηχανικής δραστηριότητας, εξόρυξη ορυκτών)
- Γεωργικές (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, τοξικά παράγωγα καλλιεργειών, απόβλητα ζώων, ιχθυοκαλλιέργειες).

- Αστικές (απόβλητα εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων, ανεπεξέργαστα αστικά λύματα, αυθαίρετη εναπόθεση σκουπιδιών απόβλητα από αστικές εργασίες όπως καθαρισμοί δρόμων, υλικά κατασκευών κλπ.)

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δημιουργείται από τους παραπάνω παράγοντες κυρίως στις μεγαλουπόλεις και προκαλείται από την έκλυση αερίων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα και του αζώτου, το διοξείδιο του αζώτου και του θείου και το υδρόθειο. Τα αέρια αυτά προέρχονται είτε από την καύση στερεών ή υγρών καυσίμων στις κατοικίες, στα αυτοκίνητα και στις βιομηχανικές μονάδες, από βιομηχανικές επεξεργασίες, είτε από φωτοχημικές αντιδράσεις, οι οποίες γίνονται στην ατμόσφαιρα της Γης.

2.2 Είδη Ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση διακρίνεται σε δύο μορφές:

- ❖ **Καπνομίχλη ή αιθαλομίχλη του Λονδίνου** (Δεκέμβριος 1952). Άπνοια με υψηλή υγρασία, συννεφιά και κρύο είχε ως αποτέλεσμα την παγίδευση ενός στρώματος κρύου αέρα κάτω από ένα υψηλότερο στρώμα ζεστού αέρα (ισχυρή θερμοκρασιακή αναστροφή). Αποτέλεσμα του κρύου ήταν η αύξηση των αναγκών θέρμανσης των κτιρίων και η καύση μεγάλων ποσοτήτων κάρβουνου. Λόγω της άπνοιας και της αυξημένης ποσότητας αιωρούμενων σωματιδίων και SO₂ αυξάνεται η ατμοσφαιρική ρύπανση. Συνολικά προκλήθηκαν 4000 θάνατοι μεταξύ 4-10 Δεκεμβρίου του 1952. Η καπνομίχλη του Λονδίνου αποτελεί κλασικό παράδειγμα όπου οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες ξεπέρασαν τη φυσική αραίωση των ρύπων.
- ❖ **Φωτοχημικό νέφος**. Εμφανίζεται σε μεγάλες πόλεις, όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη ηλιοφάνεια, μικρή σχετικά υγρασία και υψηλή συγκέντρωση συγκεκριμένων ενώσεων όπως τα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα, οι υδρογονάνθρακες και τα προϊόντα των αντιδράσεων τους. Οφείλεται σε συσσώρευση αέριων ρύπων, οι οποίοι προέρχονται κυρίως από τις μηχανές καύσης των βιομηχανιών και των

αυτοκινήτων. Ονομάζεται και ρύπανση «τύπου Λος Άντζελες», καθώς εμφανίστηκε πρώτη φορά εκεί το 1943.

2.2.1 Περιγραφή φαινομένου

Γενικότερα, σύμφωνα με τους ειδικούς, νέφος καπνομίχλης, σχηματίζεται όταν υπάρχει υψηλή συγκέντρωση ρύπων, όπως μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου και αιωρούμενων σωματιδίων, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετική υγρασία.



Εικόνα 1: Ξυλόσομπα

Στρώματα αέρα με διαφορετική θερμοκρασία δημιουργούν εμπόδιο στην διαφυγή των ρύπων. Έτσι περιγράφεται το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής, που δυστυχώς συγκρατεί τις ενώσεις άνθρακα από τις καύσεις ξύλου, μέχρι και τις πρώτες πρωινές ώρες.

Σημειώνεται ότι τα σωματίδια ρύπων με πολύ μικρή διάμετρο, που είναι εισπνεύσιμα, ενοχοποιούνται για την πρόκληση βλαβών στο καρδιαγγειοαναπνευστικό σύστημα.

2.2.2 Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Όπως αναφέρθηκε ήδη υπάρχουν φυσικές και ανθρωπογενείς αιτίες ρύπανσης. Οι βασικές αιτίες είναι οι δεύτερες. Η ανάγκη για θέρμανση και μεταφορά, η βιομηχανία ακόμη και η γεωργία συμβάλλουν στην επιδείνωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Σε πολύ μεγάλο βαθμό, κάτι τέτοιο είναι αναπόφευκτο, αυτό τα τελευταία χρόνια όμως επιβαρύνεται αισθητά μαζί με το περιβάλλον και η ανθρώπινη υγεία.

Ρύποι που σχετίζονται με την κυκλοφορία, δηλαδή αέρια και σωματίδια που εκλύονται από τα αυτοκίνητα και τα άλλα οχήματα, περιλαμβάνουν ένα πολύπλοκο μίγμα ρύπων. Η διάβρωση του υλικού του οδοστρώματος και η φθορά των ελαστικών και των φρένων συμβάλλουν και αυτά στη δημιουργία ρύπων.

Πηγές καύσης σε σταθερές εγκαταστάσεις, δηλαδή καύση ορυκτών καυσίμων, όπως γαιάνθρακα και πετρελαίου, τόσο σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και στις κατοικίες, αποτελεί μείζονα πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Άλλες πηγές, δηλαδή δασικές πυρκαγιές και καύση βιομάζας, αποτελούν μία επιπλέον βασική πηγή εκπομπής ρύπων. (3)

ΡΥΠΟΙ	ΑΠΟ ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ
ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΟΙ	
Οξείδια του θείου (SO _x)/διοξείδιο του θείου(SO ₂)	Από καύση γαιάνθρακα και πετρελαίου
Οξείδια του αζώτου (NO _x)/διοξείδιο του αζώτου(NO ₂)	Από την καύση υγρών καυσίμων σε αυτοκίνητα και άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Από διαδικασίες καύσης με χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο, καύση ξύλων, γαιάνθρακα, υγρών καυσίμων (επίσης από αυτοκίνητα)
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	Από ηφαιστειακή δραστηριότητα και θερμές πηγές, διαδικασίες καύσης, αυτοκίνητα και εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
Πτητική οργανική ένωση	Εξατμίζεται από πηγές, όπως εξατμίσεις οχημάτων, προϊόντων καθαρισμού κ.α.
Σωματιδιακή ύλη	Μικρά σωματίδια από φυσική διάβρωση και ανθρωπογενείς διεργασίες, όπως καύση ορυκτών καυσίμων
Αμμωνία	Χρησιμοποιείται για τη λίπανση καλλιεργειών και εκλύεται από αυτή τη γεωργική διαδικασία και από την εκτροφή ζώων.
Μόλυβδος	Φυσικό στοιχείο που παράγεται από μεταλλουργία μολύβδου και περιέχεται σε παλαιές βαφές και εγκαταστάσεις ύδρευσης.
Ανθεκτικοί οργανικοί ρύποι (POP)	Παράγονται μέσω βιομηχανικών διαδικασιών και αποτέφρωσης απορριμμάτων.
ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΟΙ	
Σωματιδιακή ύλη (από θειούχες και αζωτούχες ενώσεις)	Φυσικά στοιχεία φυσικής ή ανθρώπινης προέλευσης
Όζον	Σχηματίζεται από χημική αντίδραση του ηλιακού φωτός με τον αέρα.

2.3 Πρωτογενείς και δευτερογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι

Η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζεται και είναι αποτέλεσμα πολλών και διαφορετικών ρύπων. Τη στιγμή που οι ρύποι ελευθερώνονται στον αέρα, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον με τρόπους που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, την υγρασία και άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους.

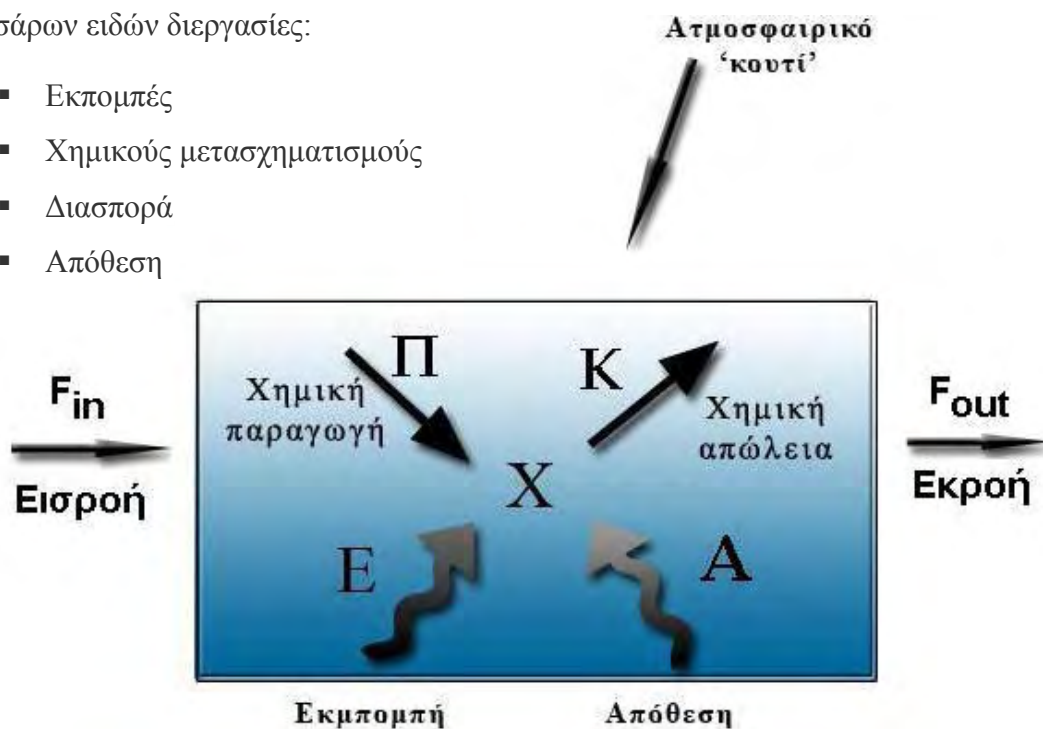
Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους, οι ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς.

- Οι πρωτογενείς ρύποι, εκλύονται απευθείας στην ατμόσφαιρα. Παραδείγματα είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NOx), οξείδια του θείου (SOx), αιωρούμενα στερεά σωματίδια και υδρογονάνθρακες.
- Οι δευτερογενείς ρύποι, σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς, με χημικές αντιδράσεις που γίνονται είτε μεταξύ τους, είτε με τα φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας με συμμετοχή του ηλιακού φωτός, της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Παραδείγματα είναι το φωτοχημικό νέφος, το όζον, η όξινη βροχή.

2.3.1 Χρόνος παραμονής

Οι συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στην ατμόσφαιρα επηρεάζονται από τεσσάρων ειδών διεργασίες:

- Εκπομπές
- Χημικούς μετασχηματισμούς
- Διασπορά
- Απόθεση



[18]

Εικόνα 2: Διεργασίες μέσα σε μία ατμοσφαιρική δεξαμενή

Ο χρόνος παραμονής, τ , του ρύπου X ορίζεται σαν μέσος χρόνος κατά τον οποίο ένα μόριο του X παραμένει στο «κουτί». Ο χρόνος αυτός εκφράζεται σαν ο λόγος της μάζας m (kg) του X ως προς τον ρυθμό απομάκρυνσης του (kg s⁻¹) (67):

$$\tau = m/(F_{out} + K + A)$$

$$\tau = m/(E + \Pi)$$

Πίνακας 2 Μέσοι χρόνοι παραμονής στην ατμόσφαιρα

Ουσία	Χρόνος παραμονής
O ₃	0.4-90 ημέρες
NO	4-5 ημέρες
NO ₂	2-8 ημέρες
NO ₃	4-20ημέρες
NH ₄	7-19 ημέρες
H ₂ S	0,08-2 ημέρες
SO ₂	0,01-7 ημέρες
SO ₄	3-5 ημέρες
Hg	11-2080 ημέρες
CO	0,9-2,7 έτη
CH ₄	1,5-2 έτη
Freon	16 έτη
CO ₂	2-10 έτη

3. Επιπτώσεις και κλιματικές αλλαγές

Όταν καίγεται το ξύλο, παράγει μαύρο άνθρακα (ή «αιθάλη»), που αποτελεί μέρος μιας ομάδας ουσιών που είναι γνωστές ως βραχύβιοι κλιματικοί παράγοντες (SLCF)³. Παρόλο που τα SLCF παραμένουν στην ατμόσφαιρα για πολύ λιγότερο χρόνο από τα μακρόβια αέρια του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και στην περίπτωση του μαύρου άνθρακα μόλις μερικές ημέρες ή εβδομάδες, θεωρούνται υπεύθυνοι για ένα σημαντικό μέρος της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Όμως, η καύση ξύλου τοπικής προέλευσης, για οικιακό καύσιμο, μπορεί να είναι λιγότερο έντονη ενεργειακά σε σχέση με άλλες λύσεις πετροχημικών όπως φυσικό αέριο ή μαζούτ, οι οποίες απαιτούν περισσότερη επεξεργασία και μεταφορά. Έτσι, μαζί με τις επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον που σχετίζονται με την καύση ξύλου, και οι επιπτώσεις στην μεταβολή του κλίματος μπορούν να μειωθούν διασφαλίζοντας, ότι οι εγκαταστάσεις θέρμανσης σχεδιάζονται με γνώμονα την μέγιστη απόδοση και λειτουργούν σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Οι πιο σημαντικοί ρύποι που εμπεριέχονται στον καπνό από την καύση του ξύλου, και προκαλούν ανησυχία για την υγεία είναι:

- Σωματίδια: Αυτός είναι ο όρος για στερεά ή υγρά σωματίδια που βρέθηκαν στον αέρα και είναι από τα κύρια συστατικά της αιθαλομίχλης. Είναι πολύ μικρά και εισχωρούν με ευκολία στους πνεύμονες προκαλώντας αναπνευστικά και καρδιακά προβλήματα.
- Μονοξειδίο του άνθρακα: Αυτό είναι ένα άχρωμο, άοσμο και δηλητηριώδες αέριο. Αναμιγνύεται με το οξυγόνο κατά την μεταφορά του μέσω του αίματος σε ολόκληρο το σώμα.
- Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)⁴: Πρόκειται για ευρύ φάσμα ενώσεων που συνήθως δεν έχουν χρώμα, γεύση ή οσμή. Μερικές έχουν άμεσες επιπτώσεις στην υγεία, ενώ άλλες συμβάλλουν στην αιθαλομίχλη,
- Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες: Αυτά τα στοιχεία αποτελούν μεγάλη ανησυχία για την υγεία αφού μπορούν να προκαλέσουν καρκίνο. Σε κοινωνίες όπου η καύση ξύλου για θέρμανση είναι σύνηθες φαινόμενο, ο

³ Short lived climate forcers

⁴ Volatile organic compound

καπνός μπορεί να είναι υπεύθυνος για το 25% των αιωρούμενων σωματιδίων, 15% των πτητικών οργανικών ενώσεων και 10% του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

3.1. Αιωρούμενα σωματίδια

«Αιωρούμενα σωματίδια (PM)⁵ ονομάζονται τα στερεά ή υγρά σωματίδια που είναι διεσπαρμένα στον αέρα και έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από των απλών ορίων (περίπου $2 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ σε διάμετρο), το οποίο δεν ξεπερνά τα $500 \mu\text{m}$ » (5). Τα αιωρούμενα σωματίδια διαφοροποιούνται μεταξύ τους σε πολλούς τομείς, όπως η προέλευση και τα χαρακτηριστικά τους, τα φυσικά, τα θερμοδυναμικά, τα χημικά και μορφολογικά. Οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων αυξάνονται σε περιοχές με επιβαρυνμένη ατμόσφαιρα.

3.1.1 Κατηγοριοποίηση Αιωρούμενων Σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται με βάση τα εξής χαρακτηριστικά:

- Τη διεισδυτικότητα τους στον ανθρώπινο οργανισμό.
- Το μέγεθός τους.
- Τον τρόπο με τον οποίο σχηματίστηκαν.

3.1.2 Διεισδυτικότητα Αιωρούμενων Σωματιδίων στον Ανθρώπινο Οργανισμό

Τα σωματίδια ανάλογα με την διεισδυτικότητα που έχουν, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Η κάθε κατηγορία έχει διαφορετικές επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό. (5)

⁵ Particulate matter

- ❖ Θωρακικά σωματίδια (Thoracic Particles), Έχουν την ικανότητα να διαπερνούν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού, και έχουν μέγεθος μικρότερο από 7 μm .
- ❖ Εισπνεύσιμα σωματίδια (Inhalable Particles), εισέρχονται στο ανώτερο σύστημα της αναπνευστικής οδού και έχουν διάμετρο έως 10 μm .
- ❖ Αναπνεύσιμα σωματίδια (Respirable Particles), έχουν κλάσμα μεγέθους αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερο από 2,5 μm και τη μεγαλύτερη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία, διότι διεισδύουν έως τα βάθη των πνευμόνων.

3.1.3 Μέγεθος Αιωρούμενων Σωματιδίων

Τα ολικά, στερεά, αιωρούμενα σωματίδια (TSP)⁶, έχουν μέγεθος από 0,01 μm έως και μερικές εκατοντάδες μm και διαχωρίζονται σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα σύμφωνα με τη διάμετρο τους. Αποτελούνται από τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια και τα σταγονίδια. Τα TSP που έχουν μέγεθος μεγαλύτερο των 50 μm , έχουν την ιδιότητα να καθιζάνουν πολύ εύκολα. Τα TSP χωρίζονται λοιπόν στις παρακάτω κατηγορίες.

➤ Λεπτόκοκκα (Fine mode)

Λεπτόκοκκα ονομάζονται τα σωματίδια με μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου έως 2,5 μm . Αυτά παράγονται δευτερογενώς από αέριες ενώσεις και διακρίνονται σε:

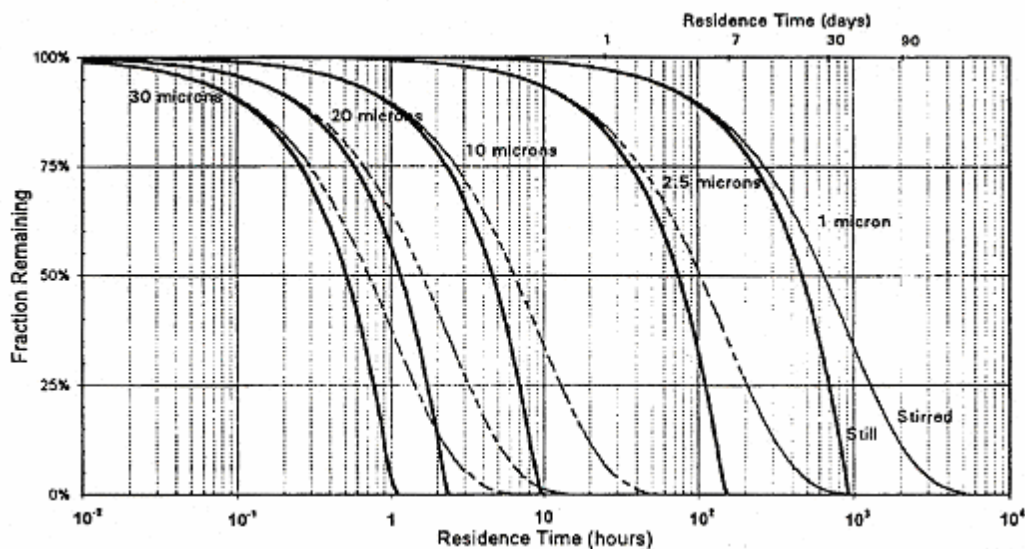
- ✓ Υποκατηγορία πυρήνα (Nuclei mode/Nuclei Range). Τα σωματίδια αυτά προκύπτουν από πηγές καύσης ή είναι τα ίδια προϊόντα συμπυκνωμάτων καύσης. Το μέγεθος τους κυμαίνεται από 0,01 μm έως 0,05 μm . Επειδή συσσωματώνονται ή με ελάχιστα μεγαλύτερα σωματίδια ή μεταξύ τους για να δημιουργήσουν νέα σωματίδια με μεγαλύτερη διάμετρο, έχουν λίγο χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα.
- ✓ Υποκατηγορία συσσώρευσης (Accumulation range). Το μέγεθος τους κυμαίνεται από 0,05 μm έως 2,5 μm . Παράγονται από συσσωματώσεις μικρότερων σωματιδίων όπως αυτά της υποκατηγορίας πυρήνα αλλά και από συμπυκνώσεις επιπρόσθετου υλικού στις εν λόγω συσσωματώσεις. Ο χρόνος

⁶ Total Suspended Particulates

ζωής τους είναι από 7 έως 30 ημέρες και διακρίνονται σε σταγονίδια⁷ και συμπυκνώματα.

➤ Χονδρόκοκκα (Coarse mode)

Τα χονδρόκοκκα σωματίδια δημιουργούνται με μηχανικούς τρόπους και έχουν μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου μεγαλύτερη των 2,5μm. Για παράδειγμα, τα σωματίδια που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία και έχουν διάμετρο 10μm αιωρούνται 10 με 20 ώρες πριν την καθίζηση στο κάτω τμήμα της τροπόσφαιρας. Επίσης έχουν την δυνατότητα να ταξιδεύουν 20-30km.



Γράφημα 1: Χρόνος αιώρησης σωματιδίων συναρτήσει της διαμέτρου τους. Τα στοιχεία αναφέρονται σε μέγιστο ύψος 100 m και στις περιπτώσεις: α. ακίνητου αέρα (Still) και β. Αναδευόμενου αέρα (Stirred) (Watson et al. 1997).

3.1.4 Τρόπος Σχηματισμού

Τα αιωρούμενα σωματίδια με βάση τον τρόπο που σχηματίστηκαν διακρίνονται σε (46):

- ❖ **Ιπτάμενη τέφρα:** Τα συγκεκριμένα σωματίδια είναι ορυκτά μη καύσιμα ή μεταλλικά, διαφεύγουν από τις από τις καπνοδόχους κατά τη διάρκεια της καύσης και έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από 1μm έως 1000μm.

⁷ Αρκετές φορές μεταξύ σταγονιδίων γίνονται αντιδράσεις υγρής φάσης, είτε παρουσία πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας είτε μέσα σε ομίχλη ή νέφος, επάνω στην επιφάνεια αιωρουμένων σωματιδίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της ομάδας των σταγονιδίων

- ❖ Σκόνη: Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από θραύση μεγαλύτερων μαζών κατά τη διάρκεια διεργασιών όπως έκρηξη, σύνθλιψη, τριβή και έχουν μέγεθος από 1μm έως 1000μm.
- ❖ Ομίχλη: Αποτελείται από σταγονίδια ή υγρά σωματίδια που προκύπτουν από την συμπύκνωση ατμών. Το μέγεθος τους υπολογίζεται μεταξύ 0,1μm και 10μm.
- ❖ Αιθάλη: Προέρχεται από την συμπύκνωση ατμών διαφόρων στερεών υλικών και στοιχειακού άνθρακα με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρών-στερεών σωματιδίων με μέγεθος από 0,03μm έως 0,3μm.
- ❖ Καπνός: Δημιουργείται από την ατελή καύση οργανικών υλών όπως το κάρβουνο και το ξύλο. Τα σωματίδια που τον αποτελούν έχουν μέγεθος μεταξύ 0,5μm και 1μm.
- ❖ Σπρέι: Αποτελούνται από υγρά σωματίδια. Μερικά σπρέι είναι τα αρωματικά χώρου, τα παρασιτοκτόνα και τα φυτοφάρμακα. Έχουν μέγεθος από 10μm έως 1000μm.

3.1.5 Μέτρηση Αιωρούμενων Σωματιδιακών Ρύπων.

Οι δύο βασικότερες κατηγορίες μετρούμενων αιωρούμενων σωματιδίων είναι τα PM_{10} και $PM_{2,5}$. Οι κατηγορίες αυτές προέκυψαν με βάση τον διαχωρισμό των σωματιδίων ως προς το μέγεθος σε συνδυασμό με τη διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα παραπάνω αιωρούμενα σωματίδια είναι τα πρώτα και τα βασικότερα που εξετάζουμε για να ερευνήσουμε την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (5).

Η περιεκτικότητα του αέρα σε αυτά τα σωματίδια είναι πολύ σημαντική για να καταλήξουμε σε συμπεράσματα. Έτσι λοιπόν, τόσο στην Ευρώπη, όσο και στις Η.Π.Α., έχουν οριστεί ανώτερα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης των παραπάνω αιωρούμενων σωματιδίων. Τα PM_{10} ανήκουν στα εσπνεύσιμα σωματίδια και έχουν διάμετρο έως 10μm. Τα $PM_{2,5}$ ανήκουν στην κατηγορία των αναπνεύσιμων σωματιδίων. Οι ορισμοί σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή ένωση είναι οι παρακάτω:

PM_{10} : ονομάζονται τα σωματίδια που διέρχονται από στόμιο επιλεγέντος μεγέθους, που συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10μm

PM_{2,5}: ονομάζονται τα σωματίδια που διέρχονται από στόμιο επιλεγέντος μεγέθους, που συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2,5μm.

3.2 Μονοξείδιο του άνθρακα

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα εντελώς άοσμο αέριο και προκαλεί δηλητηρίαση, τα συμπτώματα της οποίας πολλές φορές μοιάζουν με αυτά του απλού κρυολογήματος. Γι αυτό τον λόγο το αποκαλούμε και «σιωπηλό δολοφόνο». Παράγεται από την καύση οργανικών υλικών, συνεπώς και στο εσωτερικό των σπιτιών, και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο σε περίπτωση κακής συντήρησης των αγωγών εξόδου των αερίων της καύσης ή τυχών διαρροών.

Πολλές περιπτώσεις δηλητηριάσεων έχουν συμβεί σε κλειστά γκαράζ, όταν αφήνεται σε λειτουργία η μηχανή των αυτοκινήτων. Στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι κάθε χρόνο κατά μέσον όρο 500 άτομα χάνουν τη ζωή τους εξαιτίας του (6).

Είναι σε όλους μας γνωστό, πόσο επικίνδυνο αέριο είναι το CO₂, όμως μόνο τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα, λόγω της απότομης στροφής των πολιτών στην καύση βιομάζας, το θέμα της προστασίας του ανθρώπου από το CO₂, έγινε ζήτημα και πολύς κόσμος ενδιαφέρεται πλέον για την εύρεση τρόπων για την μείωση του ή την αποφυγή της έντονης έκθεσης σε αυτό.

3.3 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOC's)

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC's⁸) είναι επίσης σημαντικές και προσδιορίζουν την ποιότητα του αέρα. Εκπέμπονται από ορισμένα υγρά ή στερεά προϊόντα, οικιακής και μη χρήσης και περιλαμβάνουν ποικιλία χημικών ουσιών με δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα. (7)

VOC's υπάρχουν σε μεγάλο βαθμό κυρίως στον εσωτερικό αέρα (μέχρι και δέκα φορές υψηλότερες) από ότι στους εξωτερικούς.

⁸ Volatile Organic compounds

3.4. Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες(PAH's)

Οι κίνδυνοι για την υγεία, από την έκθεση των ανθρώπων σε προϊόντα καύσης, έχουν επισημανθεί και υπάρχουν επιστημονικές ενδείξεις που συνδέουν πλέον την εμφάνιση καρκίνου με την έκθεση σε προϊόντα άνθρακα και πετρελαίου. Μελέτες, σχετικές με τη χημική σύσταση των προϊόντων καύσης, άρχισαν να πραγματοποιούνται μόλις πριν από μερικές δεκαετίες, ενώ ήδη την εποχή αυτή είχαν απομονωθεί αρκετοί PAH και είχε προσδιοριστεί η δομή τους. Μεταγενέστερα, βιολογικές δοκιμές ενώσεων, που απομονώθηκαν ή συντέθηκαν χημικά, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι αρκετοί PAH είναι τοξικοί. Για το λόγο αυτό, το επιστημονικό ενδιαφέρον γι' αυτές τις ενώσεις αυξήθηκε ραγδαία . (8)

4. Επιπτώσεις στο περιβάλλον και την Ανθρώπινη Υγεία

4.1 Η καύση ξυλείας προκαλεί ρύπανση και στους εσωτερικούς χώρους.

Σε εσωτερικούς χώρους που για την θέρμανση χρησιμοποιούν την καύση βιομάζας ξύλου, παρατηρούνται υψηλά επίπεδα ρύπων και καπνού, αφού όπως είπαμε είναι προϊόντα της χρήσης τζακιών και σομπών. Οι προδιαγραφές των μέσων καύσης πρέπει να τηρούνται κατά γράμμα και να αποφεύγεται η καύση ξύλου σε σπίτια που διαμένουν άνθρωποι με αναπνευστικά προβλήματα.

4.2 Συμπτώματα της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια

Τα συμπτώματα από τα αιωρούμενα σωματίδια που παράγονται από την καύση μπορεί να είναι μικρά αλλά και σοβαρά. Τέτοια είναι ο απλός βήχας, που ενίοτε μπορεί να εξελιχθεί και σε άσθμα ή ο πονοκέφαλος. Η αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων κατά μόλις 10μg/m³, συνεπάγεται στατιστικά αύξηση της θνησιμότητας κατά 0,6% και την εμφάνιση σοβαρών συμπτωμάτων κατά 1%. Σε ένα αστικό κέντρο

η ίδια αύξηση αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα μπορεί να προκαλέσει 6% αύξηση στη θνησιμότητα και από τη οποία το 14% θα οφείλεται σε καρδιοαναπνευστικά αίτια (5).

Η έκθεση σε μικροσωματίδια και ειδικά στα πιο σημαντικά, τα PM_{10} και $PM_{2,5}$ μπορεί να οδηγήσει σε πολύ σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία όπως:

- Η αδιαθεσία.
- Οι ζαλάδες.
- Ο επίμονος βήχας.
- Τα φλέματα.
- Η πρόκληση αλλά και η επιδείνωση σε προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος.
- Η επίδραση στο μηχανισμό αυτοκαθαρισμού του σώματος από ξένα σωματίδια.
- Οι καρδιαγγειακές ασθένειες.
- Η πρόκληση βλάβης στους ιστούς των πνευμόνων.
- Οι καρκινογενέσεις.
- Ο θάνατος.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο οργανισμό υγείας (WHO⁹), η έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να μειώσει τον χρόνο ζωής του κατά 1-2 χρόνια, και είναι η αιτία 3.000.000 θανάτων τον χρόνο. Αναφέρεται συγκεκριμένα ότι «τα διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την μακροχρόνια και βραχυχρόνια έκθεση του πληθυσμού σε σωματίδια PM_{10} και $PM_{2,5}$ δεν επιτρέπουν τον καθορισμό συγκεκριμένων οριακών τιμών συγκέντρωσης, κάτω από τις οποίες η έκθεση σε σωματιδιακή ρύπανση δεν παρουσιάζει καμία επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία» (WHO 2000) (9). Η βραχυχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε περιβάλλον με υψηλή περιεκτικότητα σε αιωρούμενα σωματίδια μπορεί επιβαρύνει ιδιαίτερα τις ευπαθείς ομάδες (παιδιά, ηλικιωμένους, ανθρώπους με αναπνευστικά προβλήματα) και γενικότερα προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, καρδιαγγειακές παθήσεις αλλά και χρόνια συμπτώματα.

⁹ World Health Organization

4.3 Επιπτώσεις στο Περιβάλλον

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν στην ατμόσφαιρα.

Το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- ✓ Από την αλληλεπίδραση που έχουν με την ηλιακή ακτινοβολία
- ✓ Από την ποσότητα εκπομπών στην περιοχή που εξετάζουμε
- ✓ Από τον χρόνο ζωής τους

Για παράδειγμα τα PM_{2,5} αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με αποτέλεσμα την ελάττωση της ηλιακής ακτινοβολίας και δημιουργούν ένα φίλτρο που επιτρέπει μόνο ένα μέρος της να το διαπεράσει. Το υπόλοιπο μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται ή απορροφάται από τα σωματίδια. Αποτέλεσμα αυτής της ιδιότητας είναι η περιορισμένη ορατότητα με συνέπειες για παράδειγμα στην γεωργική παραγωγή.

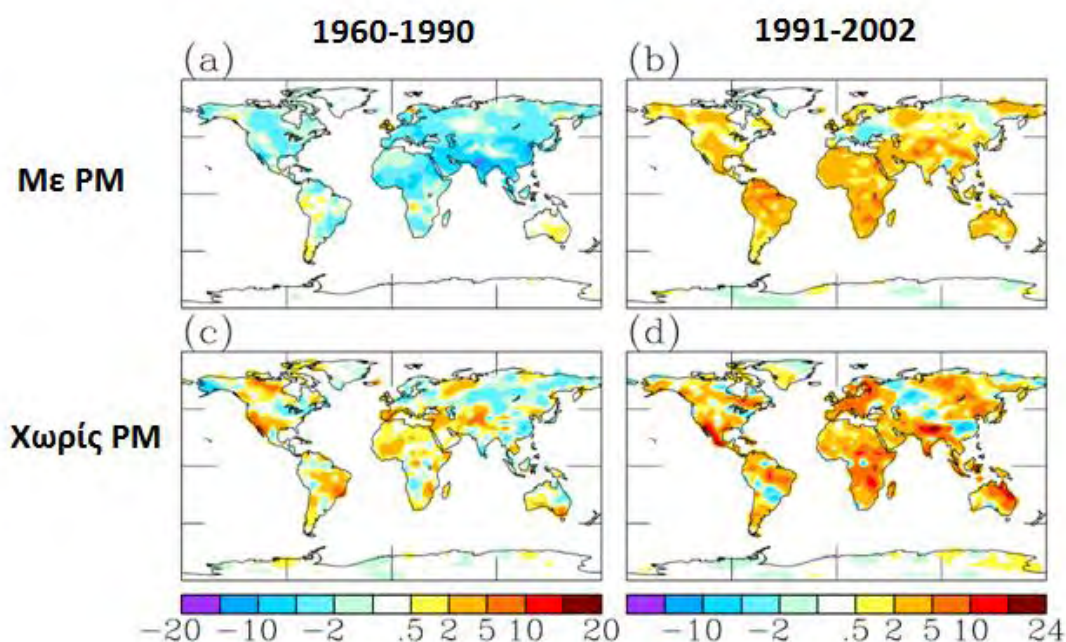
Παρατηρείται λοιπόν, πως όταν τα σωματίδια ανακλούν την μικρού μήκους κύματος εισερχόμενη προς τη γη υπεριώδη ακτινοβολία, η ατμόσφαιρα είναι πιο ψυχρή , αντίθετα, όταν ανακλούν τη μεγάλου μήκους κύματος εξερχόμενη από τη γη υπέρυθη ακτινοβολία, θερμαίνεται, με αποτέλεσμα το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν συνεπώς αλλοιώσεις στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον, μέσω των ακόλουθων διεργασιών:

- ✓ Η επικάλυψη πάνω στις επιφάνειες, είναι μία από τις σημαντικότερες επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Ακούγεται απλό, αλλά η απομάκρυνσή τους απαιτεί συχνό καθάρισμα, βάψιμο ή πλύσιμο, με αποτέλεσμα την μείωση ωφέλιμης χρήσης των επιφανειών και οικονομικό κόστος.
- ✓ Η διάβρωση των επιφανειών, λόγω της έκθεσης τους σε φορτισμένα σωματίδια, αφού λόγω της υγροσκοπικής και διαβρωτικής τους ιδιότητας σε συνθήκες φυσιολογικής υγρασίας, η επίδρασή τους είναι άμεση. Επιπλέον, τα αιωρούμενα σωματίδια είναι και φορείς ενώσεων, οι οποίοι μέσω της διάβρωσης καταφέρνουν και εισχωρούν κάτω από την επιφάνεια του υλικού. Τέλος, αποτελούν και σημεία συμπύκνωσης των υπόλοιπων ρύπων, που και αυτοί με τη σειρά τους διαβρώνουν την επιφάνεια.

5. Έρευνες

Τα τελευταία χρόνια, πολλά είναι τα πανεπιστήμια που έκαναν έρευνες για τα ποσοστά ρύπανσης σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας. Οι ημέρες-περίοδοι με αυξημένα επίπεδα αιθαλομίχλης σε ελληνικά αστικά κέντρα, ήταν αρκετές και πολλοί άρχισαν να ευαισθητοποιούνται.



Εικόνα 3: Μοντέλο που απεικονίζει την ηλιακή ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της Γης με και χωρίς τα ανθρωπογενή αιωρούμενα σωματίδια (Nazarenko and Menon, 2005)

Ο διδάκτορας Κ. Σταύρος Χεριστανίδης, έκλεισε μετρήσεις στα νότια προάστια της Αττικής, όπου παρατηρήθηκε εκτεταμένη καύση βιομάζας ξύλου για τις ανάγκες θέρμανσης τον χειμώνα του 2011-2012. Τα αποτελέσματα δείχνουν, πως ο δείκτης εκπομπών από την καύση ξύλου αυξήθηκε κατά πολύ σε σχέση με τις ημέρες που δεν γινόταν χρήση ξύλου. Συγκεκριμένα, τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 αυξήθηκαν κατά 65%, ενώ τα PM2,5 κατά 74%.

Η συγκεκριμένη περιοχή επιλέχθηκε από τους επιστήμονες, λόγω του ότι είναι αρκετά απομακρυσμένη από το κέντρο της Αθήνας και οι μετρήσεις των ρύπων δεν θα επηρεάζονταν ιδιαίτερα από εκπομπές διαφορετικών πηγών, όπως καύση ορυκτών καυσίμων (οχήματα).

Είναι λογικό, πως όσο πιο μικρά είναι τα εκπεμπόμενα σωματίδια, τόσο πιο εύκολα εισχωρούν στον ανθρώπινο οργανισμό. Έτσι λοιπόν, ήταν αναπόφευκτο να γίνουν

έρευνες για τους κινδύνους στους οποίους εκτίθεται ο άνθρωπος, λόγω αυτών των εκπομπών. Η Κα. Χαλουλάκου μετά από μελέτες που έχει κάνει επισημαίνει, «Οι εκπομπές αυτές αποτελούν σημαντικότερη πηγή στοιχειακού άνθρακα (μαύρου άνθρακα), που δύναται να λειτουργήσει ως πυρήνας απορρόφησης διαφόρων τοξικών ενώσεων με σημαντικά αρνητικά αποτελέσματα στην υγεία».

Στην παραπάνω έρευνα, χρησιμοποιήθηκε εξειδικευμένος εξοπλισμός για τις μετρήσεις του «συντελεστή απορρόφησης», που αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείκτη συγκεντρώσεων του στοιχειακού άνθρακα στην ατμόσφαιρα, ο οποίος θεωρείται το κυρίαρχο χημικό είδος που απορροφά την ορατή ακτινοβολία. Σύμφωνα με τα λεγόμενα των ειδικών, τα αποτελέσματα στηρίζονται στην απορρόφηση αυτής της ακτινοβολίας από συλλεγόμενα φίλτρα που λειτουργούν όπως τα επίπεδα στοιχειακού άνθρακα στα αιωρούμενα σωματίδια.

Με βάση τις μετρήσεις των επίσημων δικτύων παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ένδειξη για επιδείνωση του «νέφους» από την καύση ξύλου, σημειώθηκε πριν από ένα χρόνο και στη Θεσσαλονίκη. Ο καθηγητής στη σχολή Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ Κ. Ιωάννης Ζιώμας επισημαίνει, «Εφέτος περιμένουμε ακόμη μεγαλύτερη αύξηση, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Ανάλογα με τον καιρό η συνεισφορά της καύσης ξύλων θα προστεθεί στην υφιστάμενη ρύπανση» Και είχε δίκιο, αφού στην πόλη της Θεσσαλονίκης τον Δεκέμβριο του 2013 τα επίπεδα ρύπανσης της ατμόσφαιρας από την καύση του ξύλου οδήγησαν στο να παρθούν άμεσα μέτρα ασφαλείας λόγω της επικινδυνότητας.

Ρύπανση παρατηρείται και σε εσωτερικούς χώρους. Ιδιαίτερα όταν γίνεται χρήση τζακιού που τα αιωρούμενα σωματίδια διαχέονται άμεσα στον χώρο, καλό θα ήταν να υπάρχει πάντα μία πόρτα ανοιχτή και να μην χρησιμοποιούνται προσανάμματα εμπορίου. Στις ξυλόσομπες και γενικότερα στις σόμπες βιομάζας, τα πράγματα είναι διαφορετικά αφού ο χώρος καύσης είναι προστατευμένος.

Η ποιότητα της βιομάζας είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας στις εκπομπές των ρύπων αλλά και στην αποτελεσματικότητα της καύσης, όσον αφορά τη θέρμανση. «Στην Ευρώπη υπάρχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές για την ποσότητα των καυσαερίων που θα πρέπει τα ξύλα να βγάζουν κατά την καύση καθώς και για τα στερεά κατάλοιπα. Στην Ελλάδα δεν υπάρχει κανένας έλεγχος ως προς αυτό. Από μετρήσεις έχει βρεθεί ότι οι ρύποι της καύσης εξαρτώνται από την προέλευση του πέλετ (χώρα κατασκευής, υλικό) και των ξύλων. Αλλά και η υγρασία παίζει

σημαντικό ρόλο - όσο μικρότερη η υγρασία τόσο καλύτερη η καύση και λιγότερα τα αιωρούμενα σωματίδια - όπως και το είδος του ξύλου» αναφέρει ο κ. Ζιώμας (10).

Λόγω της αύξησης του πετρελαίου έως και 30%, πολλοί στράφηκαν σε φτηνές λύσεις, χωρίς προδιαγραφές, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση του περιβάλλοντος αλλά και της υγείας των ανθρώπων που εκτέθηκαν στην εσωτερική ή εξωτερική ρύπανση (11).

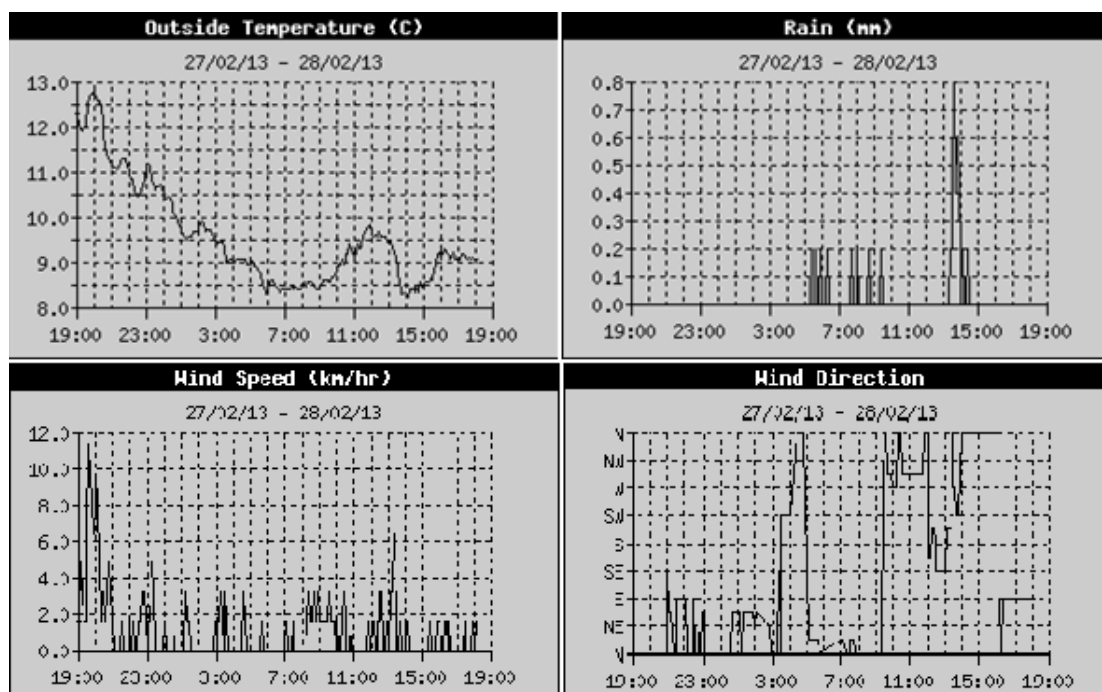
«Ένας καλός τρόπος θέρμανσης και όχι ρυπογόνος, είναι αυτή που προέρχεται από ενεργειακά τζάκια, τα οποία έχουν καυστήρες υψηλής απόδοσης. Το λειτουργικό τους κόστος είναι κατά 50% φθηνότερο από το πετρέλαιο, έχουν καλύτερη απόδοση και είναι λιγότερο ρυπογόνοι από τους παλιούς λέβητες πετρελαίου. Η καύσιμη ύλη για τα ενεργειακά τζάκια πρέπει να είναι πέλετς καλής ποιότητας ή ξερά ξύλα, καθότι τα υγρά εκλύουν περισσότερα βλαβερά σωματίδια» σημειώνει ο κ. Γρηγορίου, υπεύθυνος για θέματα Κλιματικής Αλλαγής και Ενέργειας της Greenpeace.

Ένα πολύ σημαντικό ζήτημα είναι η τοξικότητα των εκλυόμενων σωματιδίων. Μία πολυκατοικία για παράδειγμα 30 διαμερισμάτων που χρησιμοποιεί κεντρικό λέβητα πελετων, εκλύει τον ίδιο αριθμό σωματιδίων με αυτόν από ένα τζάκι που θερμαίνει ένα μόλις δωμάτιο. Είτε έχουμε λέβητα πετρελαίου, είτε βιομάζας, το σίγουρο είναι ότι εκπέμπονται σωματίδια. Αυτό που διαφέρει είναι το μέγεθος και η τοξικότητα τους. Σε αυτούς του πετρελαίου η διάμετρος κυμαίνεται από 0,005 έως 0,05μm, ενώ στη βιομάζας από 0,05 έως 10μm. Έχουμε ήδη αναφερθεί προηγουμένως στην σημαντικότητα του μεγέθους των μικροσωματιδίων και έχουμε επισημάνει πως όσο πιο μικρά είναι, τόσο πιο εύκολα εισχωρούν στον ανθρώπινο οργανισμό, άρα τόσο πιο επικίνδυνα είναι. Από έρευνες παρατηρείται ότι τα μικροσωματίδια από την καύση πετρελαίου είναι τοξικά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, ενώ της βιομάζας σε μεγαλύτερες (12).

5.1 Έρευνες σε αστικά κέντρα της Ελλάδας

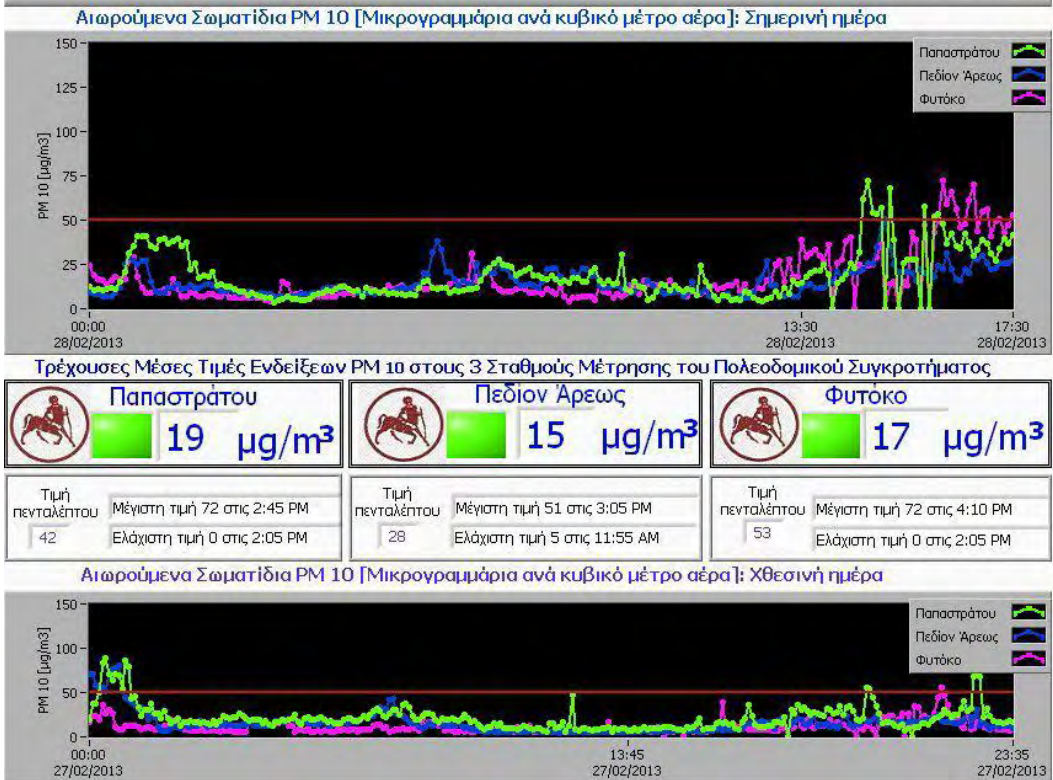
Στην πόλη του Βόλου, τον Ιανουάριο του 2013 για 15 ημέρες σημειώθηκε αυξημένη συγκέντρωση PM10 και οι τιμές που καταγράφουν σταθμοί του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας αγγίζουν νούμερα χωρίς προηγούμενο. Η κακή ποιότητα του αέρα είναι και οπτικά εμφανής, κυρίως τις βραδινές ώρες.

Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνεται η συγκέντρωση PM_{10} , στην πόλη του Βόλου στις 27-28/2/2013. Στην εικόνα 3 δίνονται πληροφορίες για τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν και στην εικόνα 4 οι μετρήσεις των PM_{10} από τους σταθμούς του Βόλου. Αμέσως μετά δίνονται οι αντίστοιχες πληροφορίες για την ημέρα 14-15/11/2012. Παρατηρούμε πόσο επηρεάζουν την συγκέντρωση σωματιδίων οι καιρικές συνθήκες.

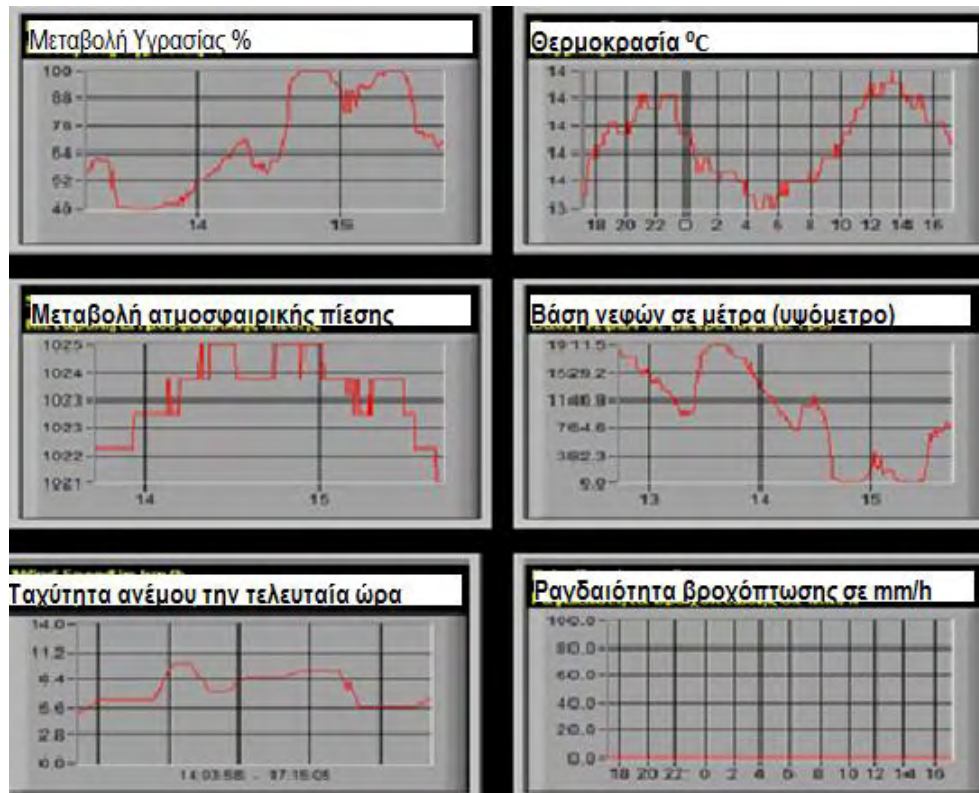


Εικόνα 4: Καιρικές συνθήκες στην πόλη του Βόλου (<http://penteli.meteo.gr/stations/volos/>)

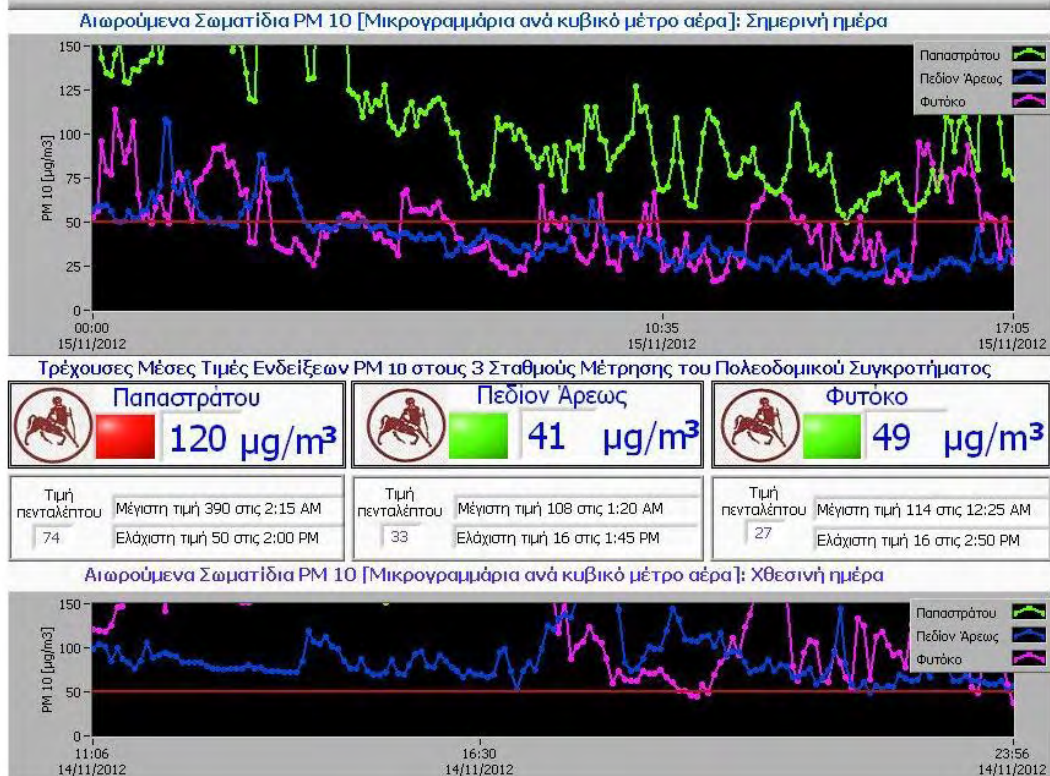
ΒΟΛΟΣ: ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



Εικόνα 5: Μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM10 (www.mie.uth.gr/n_chart10p_img_V.asp)



Εικόνα 6: Καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στην πόλη του Βόλου 15-11-2012 (<http://penteli.meteo.gr/stations/volos/>)



Εικόνα 7: Μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων στις 14-11-2012
(www.mie.uth.gr/n_chart10p_img_V.asp)

Αλλά και στην Ξάνθη, σημειώθηκαν κρούσματα αιθαλομίχλης την περίοδο των Χριστουγέννων του 2012.



Εικόνα 8: Ξάνθη 26-12-2012

(http://news247.gr/eidiseis/h_ksanthh_mesa_se_nefos_aithalomixlhs.2063624.html?service=print)

Ο καθηγητής Φυσικής της Ατμόσφαιρας Χρήστος Ζερεφός επισημαίνει πως η αιθαλομίχλη αυξήθηκε λόγω απότομης στροφής των πολιτών στην καύση ξύλων για τη θέρμανση, αλλά κυρίως λόγω της επιλογής πολλών της καύσης κακής ποιότητας βιομάζας (13).

Τις βραδινές ώρες οι ρύποι είναι πιο επικίνδυνοι για τη δημόσια υγεία. Από μετρήσεις που έγιναν από τις 10 Ιανουαρίου μέχρι 10 Φεβρουαρίου 2013, διαπιστώθηκε ότι το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων σε διάφορα αστικά κέντρα της Ελλάδας, Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Ηράκλειο Κρήτης, Ιωάννινα, Πάτρα, ήταν αρκετά μικρό, δηλαδή, είχαν διάμετρο μικρότερη από 2,5μm (PM_{2,5}).

Σύμφωνα με τους επιστήμονες, τα σωματίδια αυτά διεισδύουν ευκολότερα στον ανθρώπινο οργανισμό από αντίστοιχα μεγαλύτερης διαμέτρου και συνεπώς είναι ικανά να φτάσουν πιο εύκολα στις κυψελίδες των πνευμόνων και να προκαλέσουν προβλήματα υγείας.

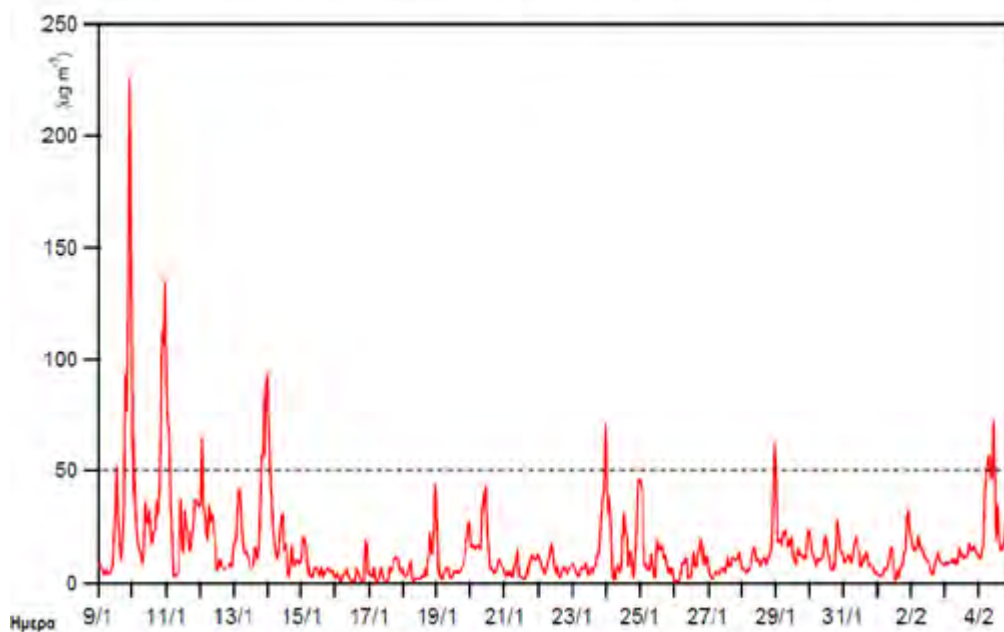
Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων τον Ιανουάριο του 2013, παρατηρήθηκαν από τις 7μ.μ. έως τις 3π.μ. και τα μεγαλύτερα ποσοστά μετρήθηκαν περίπου τα μεσάνυχτα.

Στο Θησείο, οι μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις ήταν περίπου 300μg/m³ και στο κέντρο της Πάτρας ήταν πάνω από 200μg/m³.

Σύμφωνα με επισημάνσεις επιστημόνων, η κατάσταση θα μπορούσε να ήταν και χειρότερη. Αλλά λόγω των καιρικών συνθηκών η ρύπανση περιορίστηκε. Οι

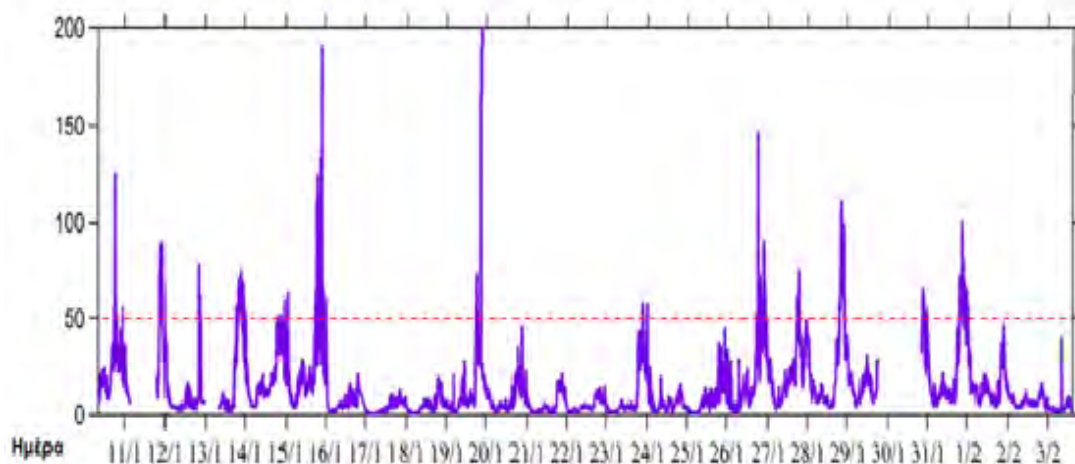
συνθήκες που επικρατούσαν ήταν υψηλές θερμοκρασίες, δυνατός άνεμος και βροχή, περίπου δηλαδή 3,5 βαθμούς Κελσίου πιο θερμός από τον προηγούμενο του 2012.

Συγκεντρώσεις PM_{2,5} στην Αθήνα τον Ιανουάριο του 2013

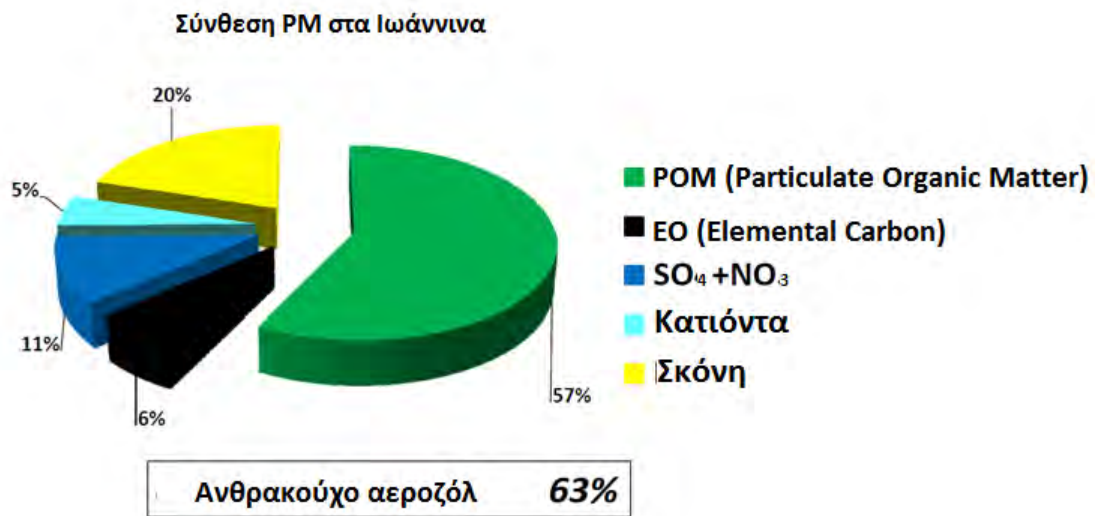


Γράφημα 2: Συγκεντρώσεις στην Αθήνα τον Ιανουάριο του 2013

Συγκεντρώσεις PM_{2,5} στην Πάτρα τον Ιανουάριο του 2013



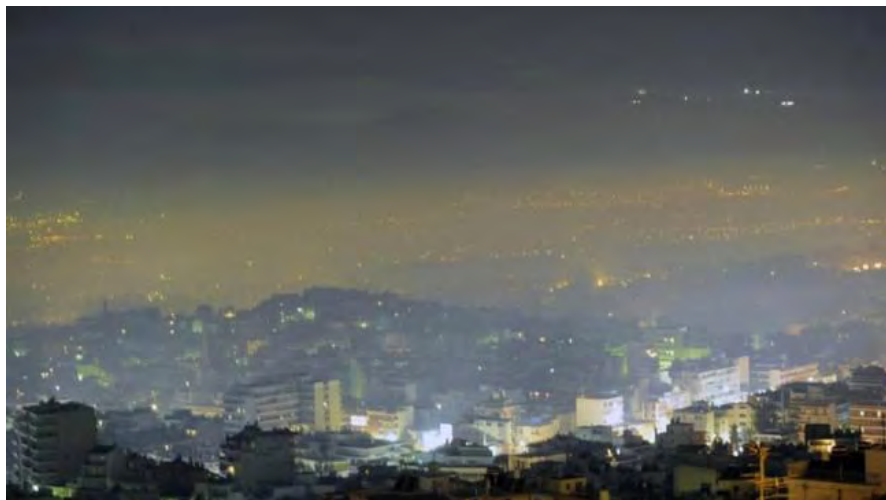
Γράφημα 3: Συγκεντρώσεις στην Πάτρα τον Ιανουάριο του 2013



Γράφημα 4: Σύνθεση αιωρούμενων σωματιδίων στα Ιωάννινα

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗ ΞΥΛΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΓΑΛΕΣ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΠΟΛΕΙΣ, Σπύρος Πανδής, ΙΕΧΜΗ/ΙΤΕ, Παν. Πατρών
http://www.scienceillustrated.gr/site/wp-content/uploads/2013/02/THALIS_PRESENTATION_Results_Feb_2013pr.pdf

Τον Δεκέμβριο του 2013, την περίοδο των Χριστουγέννων, αιθαλομίχλη σκέπασε την πόλη της Θεσσαλονίκης. Σύμφωνα με τους επιστήμονες τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} ήταν κατά μέσο όρο τριπλάσια από τα επιτρεπτά, δηλαδή έφταναν τα 60 ενώ έπρεπε να μην ξεπερνάν τα 20μg/m³ και το αποτέλεσμα ήταν ορατό όπως βλέπουμε και στην φωτογραφία (18).



Εικόνα 9: Θεσσαλονίκη 24-12-2013 <http://www.newsbomb.gr/koinwnia/story/386555/i-vrohi-esose-ti-thessaloniki-apo-tin-aithalomihli>

Για πρώτη φορά τέθηκαν σε εφαρμογή τα έκτακτα μέτρα για τον περιορισμό της αιθαλομίχλης, αφού στις δυτικές συνοικίες τα αιωρούμενα σωματίδια έφτασαν την παραμονή των Χριστουγέννων τα $218\mu\text{g}/\text{m}^3$ και στις 5 τα ξημερώματα, μετρητές στον Λαγκαδά κατέγραψαν $316\mu\text{g}/\text{m}^3$ όταν το όριο είναι τα 150 (16).

Δύο ημέρες μετά, οι μετρητές κατέγραψαν $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ το πρωί και 247 το απόγευμα. Τα μέτρα άρθηκαν στις 27/12, αφού λόγω της βροχής και του αέρα υποχώρησε και το έντονο νέφος αιθαλομίχλης (15).

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η μαζική συγκέντρωση των δειγμάτων $\text{PM}_{2,5}$ για την πόλη της Θεσσαλονίκης και η χύδην χημική τους σύσταση. Τα χημικά στοιχεία είναι τα εξής:

- οργανική ύλη, που είναι το βασικό συστατικό των αιωρούμενων σωματιδίων, υπολογίζεται σε 1,6 φορές οργανικό άνθρακα (71)
- στοιχειακός άνθρακας, κυρίως από τα οχήματα αλλά και από την καύση ξύλου,
- μείζονα ανόργανα ιόντα, συστατικά από παλιά ατμοσφαιρικά αεροζόλ που σχετίζονται κυρίως με μεγάλης κλίμακας μεταφορές (73)-(74),
- ίχνη ιόντων
- μεταλλικά στοιχεία και ίχνη, που ανάλογα με την συγκέντρωσή τους αποδεικνύουν την συμβολή του ανθρώπου στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Δηλαδή όταν κάποιο στοιχείο ξεπερνά το $10 < \text{CEF}^{10}$ σημαίνει ότι πράγματι η μόλυνση οφείλεται σε έναν βαθμό στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Για παράδειγμα, το 2012 στη Θεσσαλονίκη, το “Κ” έφτασε το 62 και το 2013 το 134. (75)

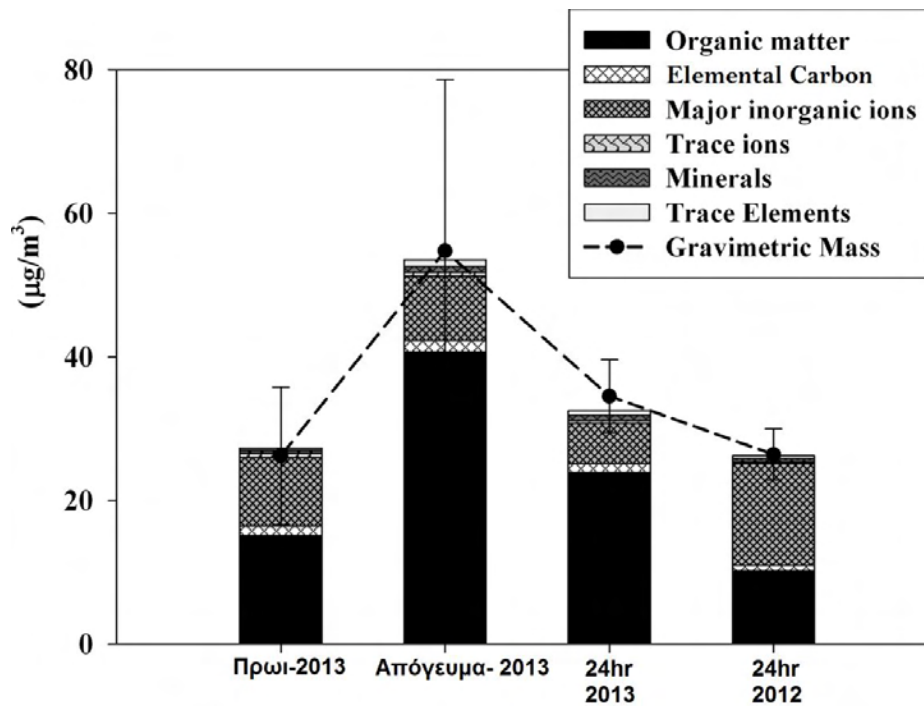
Τέλος η διακεκομμένη γραμμή μας δείχνει την έντονη σταθμική διαφορά.

Τα μεταλλικά στοιχεία υπολογίζονται βασισμένα στα οξείδια των Al, K, Fe, Ca, Mg, Ti, and Si

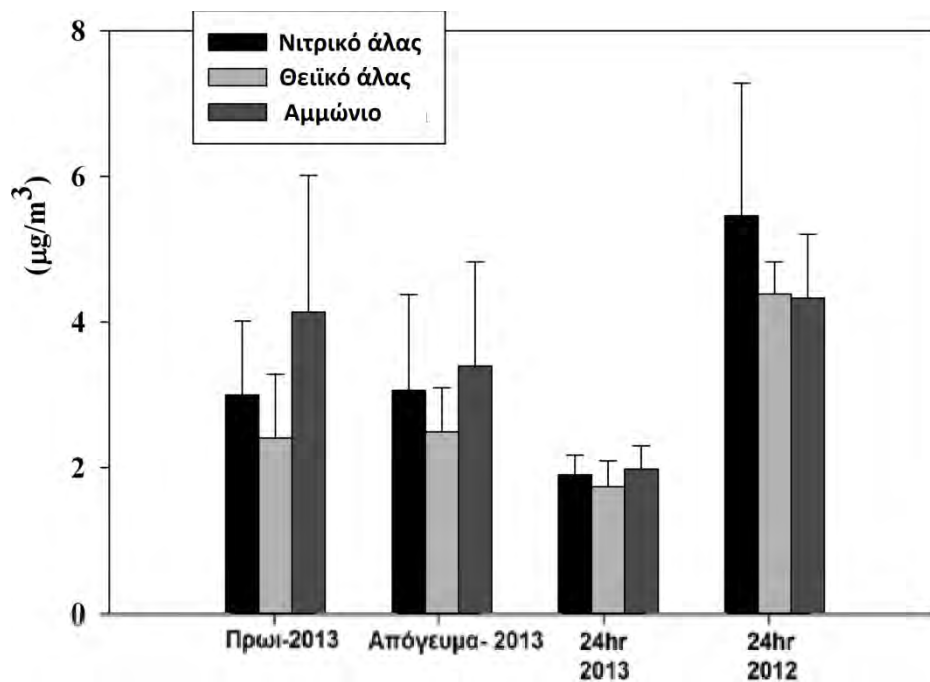
Σύμφωνα με την παρακάτω σχέση.

$$\text{Μεταλλικά στοιχεία} = 1.89\text{Al} + 1.21\text{K} + 1.43\text{Fe} + 1.4\text{Ca} + 1.66\text{Mg} + 1.67\text{Ti} + 2.14\text{Si} \quad (72)$$

¹⁰ Crustal enrichment factor



Γράφημα 5: Χύδην χημική σύσταση δειγμάτων PM_{2,5} και συγκέντρωση σταθμικής μάζας. (Increased Biomass Burning Due to the Economic Crisis in Greece and Its Adverse Impact on Wintertime Air Quality in Thessaloniki Arian Saffari, Nancy Daher, Constantini Samara, Dimitra Voutsas, Athanasios Kouras, Evangelia Manoli, Olga Karagkiozido, Christos Vlachokostas, Nicolas Moussiopoulos, Martin M. Shafer, James J. Schauer, and Constantinos Sioutas.



Γράφημα 6: Μέσος όρος ιόντων στα δείγματα PM_{2,5} στην Θεσσαλονίκη (Increased Biomass Burning Due to the Economic Crisis in Greece and Its Adverse Impact on Wintertime Air Quality in Thessaloniki Arian **Saffari, Nancy Daher, Constantini Samara, Dimitra Voutsas,**

Athanasios Kouras, Evangelia Manoli, Olga Karagiozido, Christos Vlachokostas, Nicolas Moussiopoulos, Martin M. Shafer, James J. Schauer, and Constantinos Sioutas.

«Ο Κ. Χρήστος Βλαχοκόστας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, εξηγεί «Από τις μετρήσεις που διενεργούμε σε δύο σταθμούς, στην Τριανδρία και την Πυλαία, διαπιστώνουμε μεγάλη αύξηση των συγκεκριμένων μικροσωματιδίων που είναι περισσότερο επιβλαβή για την δημόσια υγεία από τα PM₁₀ καθώς έχουν μικρότερη διάμετρο και εισχωρούν βαθύτερα στους πνεύμονες». Βασισμένος στην αποδεδειγμένα κακή στάση έως παράβλεψη του προβλήματος από τους πολίτες, αναφέρει «Μακροπρόθεσμα ωστόσο, μπορούν να παρουσιαστούν έντονα αναπνευστικά προβλήματα από την εισπνοή των μικροσωματιδίων και να παρατηρήσουμε ακόμη και μείωση του προσδόκιμου βίου» (18).

Από έρευνα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, από τα μέσα Δεκεμβρίου μέχρι σήμερα τα επίπεδα αιθαλομίχλης έχουν ξεπεράσει το όριο στο Θησείο περισσότερες φορές από ότι πέρυσι την ίδια εποχή. Από τις 16 Δεκεμβρίου μέχρι τις 6 Ιανουαρίου έγιναν εννέα υπερβάσεις σε ημερήσιες τιμές, όταν πέρυσι δεν ξεπέρασαν τις πέντε. Σύμφωνα με τον Κ. Ευάγγελο Γερασόπουλο, διευθυντή των ερευνών, οι μετρήσεις έδειξαν ότι το 80-90% των αιωρούμενων σωματιδίων είχαν διάμετρο μικρότερη των 2,5μm και συχνά μικρότερη και από 1μm, που όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι πολύ πιο επικίνδυνα για τον άνθρωπο, λόγω εύκολης διείσδυσης στον οργανισμό.

Επιπλέον, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών το νέφος αιθαλομίχλης «εγκλωβίστηκε» στα 200m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Η βραδινή θερμοκρασία αναστροφής, προκαλεί μεγάλες συγκεντρώσεις συνεπώς και μεγαλύτερη επιβάρυνση της δημόσιας υγείας.(21)

Τα βασικότερα συμπεράσματα από τις μετρήσεις σε όλες τις περιπτώσεις εμφάνισης αιθαλομίχλης ήταν:

- Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων τις νύχτες με χαμηλές θερμοκρασίες και άπνοια φτάνουν σε πολύ υψηλά επίπεδα, όπως παρατηρούμε από τις μετρήσεις σε Θησείο- $300\mu\text{g}/\text{m}^3$, στο κέντρο της Πάτρας- πάνω από $200\mu\text{g}/\text{m}^3$, στη Θεσσαλονίκη- πάνω από $300\mu\text{g}/\text{m}^3$. Το όριο που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση για τη συγκέντρωση των $\text{PM}_{2.5}$ είναι $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ (19).
- Κατά τη διάρκεια της νύχτας, τα μεγάλα επίπεδα ρύπανσης οφείλονται κατά 90% στη συγκέντρωση $\text{PM}_{2.5}$, δηλαδή στα μικροσωματίδια με διάμετρο μικρότερη από $2,5\mu\text{m}$. Αυτά όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι ιδιαίτερα επιβλαβή αφού είναι πιο εύκολο να εισχωρήσουν στον ανθρώπινο οργανισμό.
- Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται τις βραδινές ώρες και πάνω από 80% οφείλονται στην καύση ξύλων. Αυτό υποστηρίζουν έρευνες που ανιχνεύουν ακετονιτρίλιο και κάλιο, δύο στοιχεία που αποτελούν το χημικό «δακτυλικό αποτύπωμα» της συγκεκριμένης πηγής εκπομπών. (77)
- Πέρυσι στο Θησείο, οι συγκεντρώσεις $\text{PM}_{2.5}$ ξεπέρασαν τα $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ μόνο τις έξι από τις τριάντα ημέρες μετρήσεων. Μόνο σε τρεις από αυτές ξεπέρασαν τα $100\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Στην Πάτρα πάλι τον περσινό χειμώνα, μόνο δώδεκα νύχτες από τον μήνα των μετρήσεων οι συγκεντρώσεις ξεπέρασαν τα $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ και μόλις σε πέντε από αυτές ξεπέρασαν τα 100.

Παρόμοια εικόνα είχαμε και στα Ιωάννινα, σε δεκαεννέα ημέρες από τις τριάντα ξεπέρασαν οι συγκεντρώσεις τα $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ και μόνο σε πέντε τα 100.

Ο μικρότερος αριθμός υπερβάσεων παρουσιάστηκε στο Ηράκλειο Κρήτης, όπου οι θερμοκρασίες είναι γενικά υψηλότερες (20).

- Με βάση το μέγεθος και τη χημική τους σύσταση, τα αιωρούμενα σωματίδια που προκαλούνται από την καύση ξύλων, φαίνεται να είναι το ίδιο επικίνδυνα με αυτά από άλλες πηγές καύσης όπως των καυσίμων μεταφορών. Οι μετρήσεις αποδεικνύουν το μέγεθος του προβλήματος που δημιουργείται στα αστικά κέντρα όταν συσσωρεύονται ρύποι από συνδυασμό πηγών (ξύλα, ορυκτά καύσιμα) με τις κατάλληλες καιρικές συνθήκες (χαμηλές θερμοκρασίες και άπνοια).

5.2 Νομοθεσία και όρια εκπομπών ρύπων

Πίνακας 3: Όρια εκπομπών ρύπων

Τροφοδοσία καυσίμου	Καύσιμο	Ισχύς (kW)	Όρια εκπομπών								
			CO (mg/m ³ , 10% O ₂)			OGC ¹¹ (mg/m ³ , 10% O ₂)			Σωματίδια (mg/m ³ , 10% O ₂)		
			Κλάσ η1	Κλάσ η2	Κλάσ η3	Κλάσ η1	Κλάσ η2	Κλάσ η3	Κλάσ η1	Κλάσ η2	Κλάσ η3
Χειροκίνητη	Βιομάζα	<50	25000	8000	5000	2000	300	150	200	180	150
		50-150	12500	5000	2500	1500	200	100	200	180	150
		150-300	12500	2000	1200	1500	200	100	200	180	150
	Ορυκτό	<50	25000	8000	5000	2000	300	150	180	150	125
		50-150	12500	5000	2500	1500	200	100	180	150	125
		150-300	12500	2000	1200	1500	200	100	180	150	125
Αυτόματη	Βιομάζα	<50	15000	5000	3000	1750	200	100	200	180	150
		50-150	12500	4500	2500	1250	150	80	200	180	150
		150-300	12500	2000	1200	1250	150	80	200	180	150
	Ορυκτό	<50	15000	5000	3000	1750	200	100	180	150	125
		50-150	12500	4500	2500	1250	150	80	180	150	125
		150-300	12500	2000	1200	1250	150	80	180	150	125

Ένας λέβητας για καύση πέλετ, εκλύει συνήθως τριάντα φορές λιγότερα σωματίδια από ένα παραδοσιακό ατομικό τζάκι, ανά μονάδα βάρους καυσίμου. Στην Ελλάδα, ενώ η νομοθεσία επιτρέπει την κατασκευή και λειτουργία τζακιών με χαμηλό συντελεστή απόδοσης (~10%), απαγορεύει στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη τη λειτουργία συστημάτων θέρμανσης βιομάζας, που η απόδοση τους είναι σαφώς μεγαλύτερη (~90-95%).

Φυσικά, πρέπει να σημειωθεί η συμβολή της καύσης βιομάζας στην αποτροπή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον και στην καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών. Ο πίνακας 4 είναι ενδεικτικός αυτής της παραμέτρου.

Πίνακας 4: Εκπομπές CO₂ από διάφορα καύσιμα

Τρόπος θέρμανσης	Εκπομπές CO ₂ {Kg/GJ}
Πετρέλαιο	74
Αέριο	56
Ηλεκτρισμός ¹²	278
Βιομάζα	0

¹¹ Organic Gaseous Compounds

¹² Με βάση το σημερινό ενεργειακό μίγμα στην Ελλάδα.

6. Τύποι καυσίμων από ξύλο και συσκευές καύσης

Κούτσουρα

Τα κούτσουρα είναι η πιο συνηθισμένη μορφή βιομάζας ξύλου, που χρησιμοποιούμε στα σπίτια. Το μέγεθος εξαρτάται από το είδος της χρήσης.

Είναι διαθέσιμο παντού και ο εξοπλισμός για την καύση του είναι απλός και με εύκολη χρήση (Εικόνα 8).

Αυτή η μορφή καυσίμου εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, κυρίως λόγω του απλού εξοπλισμού που απαιτείται για την παραγωγή του και γιατί συχνά είναι διαθέσιμο σε αγροτικές περιοχές (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Βιομηχανικός τεμαχιστής κορμών ξύλου, ελεύθερο και συσκευασμένο υλικό έτοιμο για μεταφορά (<http://bisoplan.bioenarea.eu/html-files-gr/01-01.pdf>)

Η απόδοση των ξύλων σε μορφή κούτσουρων υπολογίζεται από 20-50%. Η εξέλιξη ή βελτίωση της τεχνολογίας, όπως για παράδειγμα η αντιστροφή φλόγας καύσης, αυξάνουν την αποδοτικότητα με αποτέλεσμα οι σύγχρονες θερμάστρες ξύλου να εμφανίζουν αποδοτικότητα μεγαλύτερη από 80%. (22)

Τεμαχισμένο/θρυμματισμένο ξύλο (Wood chips)

Με τον τεμαχισμό των ξύλων παράγεται ένα υποπροϊόν, τα τεμάχια ξύλου, με μέγεθος μικρότερο από 5cm. Το μέγεθος εξαρτάται από τις ανάγκες του χρήστη και το είδος της μηχανής. Η μηχανή είναι συνήθως μία συσκευή τεμαχισμού, που τεμαχίζουν ολόκληρα δέντρα, κλαδιά και κορμούς (22).



Εικόνα 11: Οι τεμαχιστές που τροφοδοτούνται με μικρά δέντρα και κλαδιά από εργασίες συντήρησης σε όχθη ποταμού (αριστερά) και ολόκληρα πεύκα μεγάλου μεγέθους (δεξιά) μπορούν να παράγουν ένα μοναδικό είδος καυσίμου: τεμαχισμένο ξύλο (<http://bisyplan.bioenarea.eu/html-files-gr/01-01.pdf>)

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των τεμαχίων ξύλου, είναι η εύκολη μεταφορά και αποθήκευση του. Προσαρμόζονται λόγω μεγέθους στον χώρο αποθήκευσης, όπως απεικονίζεται πιο κάτω, στην εικόνα 12 και μεταφέρονται κι τροφοδοτούν αυτόματα τον λέβητα με κοχλίες μεταφοράς, έμβολα, κ.τ.λ. (Εικόνα 13).



Εικόνα 12 Συμπεριφερόμενα περίπου ως ρευστό, τα τεμαχίδια ξύλου προσαρμόζονται σε διάφορα σχήματα, βελτιστοποιώντας έτσι τη μεταφορά και την αποθήκευση



Εικόνα 13 Παραδείγματα από κοχλίες μεταφοράς για λέβητες τεμαχισμένου ξύλου. Αυτό το σύστημα τροφοδοσίας είναι πολύ ευαίσθητο στο μέγεθος των τεμαχιδίων – ένα καύσιμο μεγαλύτερου μεγέθους μπορεί να μπλοκάρει τον κοχλία. (<http://bisyplan.bioenarea.eu/html-files-gr/01-01.pdf>)

Για αυτό τον λόγο, οι λέβητες θρυμμάτων ξύλου έχουν αυτοματοποιημένη τροφοδοσία καυσίμου, για αποδοτικότερη καύση. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι από μερικά kW έως αρκετά MW και το μέγεθος ποικίλει ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Κομμάτια ξύλου (Hog fuel)

Τα κομμάτια μοιάζουν αρκετά με τα τεμάχια ξύλου. Είναι απλώς λίγο μεγαλύτερα με ακανόνιστο σχήμα και επιφάνεια. Η διαφορά τους φαίνεται στην εικόνα 14.



Εικόνα 14 Σύγκριση μεταξύ κομματιών (αριστερά) και τεμαχισμένου ξύλου (δεξιά) (πηγή: Picchi). Το γάντι χρησιμοποιείται ως ένδειξη του πραγματικού μεγέθους. (<http://bisyplan.bioenarea.eu/html-files-gr/01-01.pdf>)

Στην περίπτωση που η πρώτη ύλη δεν είναι καθαρή (κούτσουρα, λιγνιτοκυτταρινούχα υπολείμματα, χρησιμοποιημένες παλέτες με καρφιά κτλ. δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε θρυμματιστές, επειδή οι αιχμηρές άκρες τους είναι πολύ ευαίσθητες, χρησιμοποιούμε σπαστήρες (Εικόνα 15). Ο σπαστήρας λειτουργεί βίαια σπάζοντας το ξύλο αντί να το τεμαχίσει.

Όλες οι Τα συστήματα αυτόματης τροφοδοσίας με κοχλίες είναι δύσκολο να επεξεργαστούν κομμάτια ξύλου, λόγω του μεγάλου μήκους τους. Έτσι αντικαθιστούνται με έμβολα και προωθητές, που είναι πιο κατάλληλα για ακανόνιστα σχήματα ξύλου.



Εικόνα 15 Σπαστήρας ξύλου σε λειτουργία (<http://bisyplan.bioenarea.eu/html-files-gr/01-01.pdf>)

μορφές βιομάζας που αναφέρθηκαν μέχρι εδώ είναι απλά αποτέλεσμα της μείωσης του μεγέθους του ίδιου του δέντρου ή υπολείμματα του για την προώθηση του ως καύσιμο. Στις μέρες μας οι μορφές βιομάζας έχουν εξελιχθεί και κάποια είδη περισσότερο επεξεργασμένα γίνονται όλο και πιο δημοφιλή.

Πελέτες (Pellet)

Οι πελέτες είναι κυλινδρικοί με διάμετρο από 6 έως 25mm και μήκος από 3 έως 50mm. Μπορούν να παραχθούν από διάφορες πρώτες ύλες και συχνά συμπεριλαμβάνουν λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα (Εικόνα 16).

Κάποια από τα πλεονεκτήματά τους είναι τα παρακάτω (22):

- Η μείωση του κόστους μεταφοράς, της διακίνησης και αποθήκευσης
- Μικρότερο κόστος επένδυσης για την κατασκευή και συντήρηση εργοστασίου, λόγω της χρήσης ομογενούς καυσίμου .
- Ομογενοποίηση της μεγάλης ποικιλίας των ειδών βιομάζας με αποτέλεσμα την παραγωγή καυσίμου που καλύπτει τις προδιαγραφές των σύγχρονων λεβήτων.



Εικόνα 16 Πελέτες που παράγονται από τρίμματα / σκόνη ξύλου: εργοστάσιο παραγωγής (πάνω αριστερά), λέβητας πέλετ (πάνω δεξιά), πελετες (κάτω αριστερά), σακιά πελετών (κάτωδεξιά). (<http://www.pellet-wood.com/>, <http://www.energeiaki.gr/index.php?id=22>, <http://physic.gr/orligno500-pellet-boiler/>, <http://biomassenergy.gr/articles/news/solid-biofuels/838-240-000-metric-ton-per-year-wood-pellet-supply>)

Προσοχή χρειάζεται στην αποθήκευση τους. Οι πελέτες διογκώνονται από την υγρασία και επιστρέφουν στην αρχική τους μορφή. Πρέπει λοιπόν να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες. Δράση μικροοργανισμών μπορεί να υποβαθμίσει την ποιότητα των πελετών, αν δεν διαχειρίζονται σωστά. Τους αποθηκεύουμε σε κοντέινερ ή στεγασμένες αποθήκες για την ελαχιστοποίηση της επιρροής από τις καιρικές συνθήκες.

Μπρικέτες

Μπρικέτα ονομάζουμε το συσσωμάτωμα ενός εύφλεκτου υλικού, που επίσης χρησιμοποιείται ως καύσιμο (Εικόνα 17). Η διαφορά τους με τους πελέτες είναι κυρίως στο μέγεθος. Η μπρικέτα είναι μεγαλύτερη και έχει διάμετρο από 20 έως 100mm.

Συγκριτικά με τους πελέτες, οι μπρικέτες είναι πιο εύθραυστες και λιγότερο ανθεκτικές στην μηχανική φθορά. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούμε συχνά το γνωστό πριονίδι και υπολείμματα τεμαχισμού. Η χύδην πυκνότητα τους είναι 500kg/m³ και είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτές των πρώτων υλών.



Εικόνα 17 Μπρικέτες που παράγονται από τρίμματα ξύλου: εργοστάσιο παραγωγής (πάνω αριστερά), αποθήκευση μπρικετών (πάνω δεξιά) κοντινή λήψη μπρικετών ξύλου (κάτω) (<http://bisyplan.bioenarea.eu/html-files-gr/01-01.pdf>)

Η καύση μπρικετών είναι πιο αποδοτική από την καύση καυσόξυλων, αλλά δεν είναι κατάλληλη για λέβητες μικρού μεγέθους (μονοκατοικίες). Οι μπρικέτες είναι ευαίσθητες και ο εξοπλισμός πρέπει να είναι ευέλικτος για αυτό λόγο.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των μπρικετών είναι τα ακόλουθα:

- Έχουν έως έξι φορές λιγότερη υγρασία από το ξύλο
- Έχουν μεγάλη θερμογόνο δύναμη, 1kg μπρικέτες= 1,6 kg ξύλα
- Παράγουν λιγότερο καπνό
- Έχουν μεγάλη διάρκεια καύσης
- Έχουν 60% μεγαλύτερη θερμική δύναμη από το ξύλο.

Θερμικά επεξεργασμένο (Torrefied) ξύλο

Η φρύξη είναι μία διαδικασία πυρόλυσης, κατάλληλη για την προκατεργασία της βιομάζας. Με αυτή τη μέθοδο, αυξάνεται η θερμογόνος ικανότητα της βιομάζας. Το χρώμα της βιομάζας είναι σκούρο καφέ, σε σχήμα πελετών και οι ιδιότητες της μοιάζουν με αυτές του άνθρακα (Εικόνα 18). Μετά την φρύξη, η βιομάζα είναι πολύ ξηρή και σε αντίθεση με το μη επεξεργασμένο ξύλο, δεν είναι υδρόφιλη και αντιστέκεται στην βιολογική υποβάθμιση.



Λόγω της θερμικής επεξεργασίας, παράγονται πελέτες με φαινομενική πυκνότητα 750-850kg/m³. Έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε λιγνίτη και ακόρεστα λιπαρά οξέα. Είναι το πιο κατάλληλο καύσιμο για περαιτέρω καύση ακόμη και αεριοποίηση.

Εικόνα 18 Πελέτες από θερμοχημικά επεξεργασμένο ξύλο (πηγή: <http://www.goforwood.info>)

Μια απεικόνιση διάφορων καυσίμων που προέρχονται από ξύλο παρουσιάζεται στην Εικόνα 19.



Εικόνα 19 Άμεση οπτική σύγκριση των τριών βασικών καυσίμων από ξυλώδη βιομάζα καυσόξυλο (επάνω), πελλέτες (κέντρο) και θρύμματα ξύλου (κάτω).

6.1 Οι φυσικές ιδιότητες καυσίμων ξύλου

Οι πιο σημαντικές παράμετροι, που καθορίζουν την ποιότητα και την καταλληλότητα της βιομάζας είναι οι ακόλουθες:

- ❖ **Πυκνότητα:** είναι η σχέση μεταξύ της μάζας και του πραγματικού όγκου ενός συγκεκριμένου είδους βιομάζας. Έχει μεγάλη επίδραση στη μεταφορά και την αποθήκευση. Η πυκνότητα του ξύλου εξαρτάται από το είδος και την υγρασία που εμπεριέχει. Στην Ευρώπη η πυκνότητα των κωνοφόρων δέντρων είναι περίπου 400kg/m³ (για τα πλατύφυλλα ~800kg/m³) και στην περίπτωση πελετών πάνω από 1200kg/m³. Στα εισαγόμενα ξύλα η πυκνότητα κυμαίνεται από 150-1350kg/m³.
- ❖ **Χύδη πυκνότητα:** είναι η σχέση μεταξύ της μάζας και του φαινομενικού όγκου ενός συγκεκριμένου είδους βιομάζας. Συγκριτικά με την απλή πυκνότητα, λαμβάνει υπόψη τον κενό χώρο που υπάρχει μέσα στο υλικό. Αυτό το χαρακτηριστικό υπολογίζεται με βάση την φύση της ξυλώδους μάζας, την τάση συσσωμάτωσης και τον βαθμό συμπίεσης (Εικόνα 20). Η χύδη πυκνότητα παίζει σημαντικό ρόλο στην αποθήκευση και μεταφορά της βιομάζας, αφού καθορίζει τα πραγματικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε είδους βιομάζας. Η φαινομενική πυκνότητα, κυμαίνεται συνήθως από 250kg/m³ για τα τεμάχια ξύλου έως 750kg/m³ για τους πελέτες.
- ❖ **Υγρασία:** είναι η περιεκτικότητα του νερού στο υλικό. Αυτή η παράμετρος συνδέεται με τις υγροσκοπικές ιδιότητες του ξύλου. Στους πελέτες ξύλου, η τιμή της υγρασίας είναι περίπου 10% , στα τεμάχια οι τιμές είναι συνήθως μεγαλύτερες από 30%. Τα πρόσφατα κομμένα ξύλα έχουν υγρασία περίπου 50%. Όλες οι τιμές είναι προσεγγιστικές και εξαρτώνται από το υγρό βάρος της βιομάζας.
- ❖ **Ενεργειακό περιεχόμενο:** είναι γνωστό και ως Κατώτερη Θερμογόνο Ικανότητα (Κ.Θ.Ι.), και μετράται σε MJ/kg. Αντιπροσωπεύει την ενέργεια που περιέχεται στους χημικούς δεσμούς, οι οποίοι είναι διαθέσιμοι κατά την καύση. Η Κ.Θ.Ι. εξαρτάται από το νερό που περιέχεται σε κάθε είδος δέντρου. Σημαντικό ρόλο στην τιμή της Κ.Θ.Ι. παίζει η αναλογία κυτταρίνης/ημικυτταρίνης/λιγνίνης και η περιεκτικότητα της τέφρας και των διάφορων εκχυλισμάτων.



Εικόνα 20 Το μέγεθος και το σχήμα των τεμαχιδίων ξύλου παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της χύδην πυκνότητας. Χαλαρά κομμάτια ξύλου (αριστερά) και τεμαχιδίων ξύλου (κέντρο) μπορεί να έχουν παρόμοια φαινομενικό όγκο, ενώ οι πελλέτες (δεξιά) λόγω του μικρού και ομοιογενούς τους μεγέθους μπορεί να έχουν μεγαλύτερη χύδην πυκνότητα

Ο Πίνακας 6 συνοψίζει τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των εμπορικών μορφών λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας. Υπάρχουν σε εξέλιξη εργασίες για την καθιέρωση προτύπων ποιότητας και ιδιοτήτων της βιομάζας.

Πίνακας 5: σημαντικά χαρακτηριστικά των εμπορικών μορφών λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας

Τύπος βιομάζας	Μέγεθος (mm)	Υγρασία (%)	Τέφρα (%)	Χύδην πυκνότητα (kg/m ³)	Άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά	
Σκόνη ξύλου	< 1	10 - >65	0.5 - >10(A0.1-A10.0+)	100 – 350 (BD100 – BD350)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ενεργειακή πυκνότητα (kWh/kg ή kWh/m³) ▪ ποσοστό μέσου όγκου (%) ▪ αποσύνθεση ▪ επιφάνεια κοπής 	
Πριονίδι	1 – 5	(M10–M65+)				
Θρύμματα ξύλου	Λεπτόκοκκα	5 – 15		10 - >55		150 – 450(BD150 – BD450)
	Χονδρόκοκκα	15 – 50		(M10–M55+)		
Μικρά κούτσουρα	Κομμάτια ξύλου	50 – 150		10 - >55		
	Καυσόξυλα	150 - 500	(M10 – M55+)			
Ολόκληρο ξύλο	>500	ή% νερού επί ξηρού βάρους 11–122 (U11 – U122)				

Πελέτες		Διάμετρος 6 – 25 Μήκος 3 – 50	5 – 15 (M5 – M15)		550 – 800 (BD550 – BD 800)	<ul style="list-style-type: none"> Πρόσθετα Ποσότητα
Μπρικέτες		Διάμετρος 20 - 100 Μήκος 50 - 500	10 – 15 (M10 – M15)		Πυκνότητα σωματιδίων (g/cm ³) 800 – 1200	<ul style="list-style-type: none"> πρόσθετα(%) μηχανική αντοχή
Κομμάτια ξύλου	Λεπτόκοκκα	< 3	10 - >55 (M10 – M55+)		150 - >450 (BD150 –)	<ul style="list-style-type: none"> κλάσμα λεπτόκοκκων 6 – 25% του βάρους
	Χονδροκόκκα	3 – 350				
Τρίμματα			10 - >30 (M10 – M30+)		100 - >300 (BD100 –)	
Φλοιός		16 - 200	20 - >65 (M20 – M65+)	1- >10 (A1.0 – A10.0 +)	250 – 450 (BD250 – BD450)	<ul style="list-style-type: none"> σχίστες

6.1.1 Μονάδες παραγωγής ενέργειας

Σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα παίζει και το μέγεθος της μονάδας παραγωγής ενέργειας, και η τεχνολογία καύσης. Το μέγεθος της μονάδας, εξαρτάται από τις απαιτήσεις σε ενέργεια, αλλά και από το είδος της βιομάζας που επιλέγουμε ως καύσιμο.

Οι περισσότερο διαδεδομένες μονάδες καύσης είναι οι παραδοσιακές θερμάστρες καυσόξυλων. Είναι σημαντικό λοιπόν, λόγω της ευρείας χρήσης τους, να αναφερθούμε στα πολλά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν.

Τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Ωριμη τεχνολογία καύσης
- Απλός σχεδιασμός και κατασκευή
- Υψηλή ασφάλεια και αξιοπιστία
- Εύκολη αποθήκευση καυσίμων.

Τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Δυσκολία, λόγω μη αυτοματοποιημένης καύσης
- Αναγκαστική τροφοδοσία χειρονακτικά
- Προορίζεται για παραγωγή θερμότητας μικρής κλίμακας(μονοκατοικίας) και η παραγόμενη ισχύς δεν ξεπερνά τα 35kW.

Τα τρίμματα ξύλου, οι πελέτες και οι μπρικέτες, αποδίδουν περισσότερη παραγόμενη ισχύ στον λέβητα, κάτι που εξαρτάται από τον χειρισμό και την καύση. Σε αυτήν την περίπτωση, η ισχύς της μονάδας φτάνει από τα 100kW, και φτάνει συχνά στα 4-8 MW. Σε βιομηχανική κλίμακα η παραγόμενη ισχύς από βιομάζα πλησιάζει τα 100MW ή και περισσότερη, και συνήθως γίνεται χρήση και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού επιπρόσθετα.

6.2 Σύνθεση και ιδιότητες ειδών ξύλου

Η μέγιστη παραγόμενη ενέργεια που παράγεται από την πλήρη καύση 1kg ξύλου, κυμαίνεται από 3900 έως 5100kcal/kg. Η θερμαντική αξία των πλατύφυλλων δέντρων είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή των κωνοφόρων, με μέση τιμή 4350kcal/kg και 4700 kcal/kg αντίστοιχα. Όσο πιο μεγάλη είναι η πυκνότητα, τόσο πιο μεγάλη είναι και η θερμαντική αξία. Η ρητίνη, που περιέχεται σε πολλά κωνοφόρα δέντρα, έχει μεγάλη θερμαντική αξία (2500kcal/kg), με αποτέλεσμα την μεγάλη αξία και των ίδιων των δέντρων. Σημαντικό ρόλο παίζει γενικά η χημική σύσταση του ξύλου. Πληροφοριακά, η λιγνίνη έχει μέσω όρο θερμαντικής αξίας 6100kcal/kg και η κυτταρίνη μεταξύ 4150 και 4350kcal/kg. Η μέση θερμαντική αξία των πλατύφυλλων, είναι μεγαλύτερη στο εσωτερικό από ότι στον φλοιό. Στα κωνοφόρα ισχύει το αντίθετο (29).

Πίνακας 6: Θερμαντική αξία και ποσοστό τέφρας στα είδη δέντρων

Δασοπονικό Είδος	Ποσοστό τέφρας, ξηρό βάρος (%)		Θερμαντική αξία απόλυτα ξηρού ξύλου (Kcal/Kg)
	Ξύλο	Φλοιός	
Ελάτη	0.4	2.2	4.894
Πεύκη τραχεία	0.4	1.9	4.842
Πεύκη μαύρη	0.5	1.5	4.860
Πεύκη θαλάσσια	0.4	1.4	4.856
Πεύκη χαλέπιος	0.5	1.9	4.831
Ερυθρελάτη	3.0	3.8	4.590
Κέδρος	0.2	0.2	4.514
Δρυς πλατύφυλλη	0.6	5.8	4.694
Δρυς απόδισκη	0.7	5.7	4.698
Δρυς χνοώδης	0.6	5.9	4.681
Οξιά δασική	0.6	5.8	4.701
Ακακία	0.7	4.8	4.624
Καστανιά	0.6	5.1	4.568
Λεύκη	0.6	4.2	4.725

6.2.1 Τέφρα

Τέφρα, ονομάζεται το στερεό υπόλειμμα της καύσης βιομάζας, για την παραγωγή θερμότητας ή ενέργειας και είναι ιδιαίτερα ανθεκτική σε υψηλές θερμοκρασίες.

Στα κωνοφόρα δέντρα, το μέσο ποσοστό τέφρας είναι αρκετά μικρότερο από ότι στα πλατύφυλλα. Γενικότερα, το ποσοστό της τέφρας είναι μικρότερο στο πρέμνο των δέντρων και σημαντικά μεγαλύτερο στην κορυφή και κυρίως στα κλαδιά. Στο φλοιό φαίνεται πως συγκεντρώνεται περισσότερη τέφρα από ότι στο ξύλο.

Παράγονται ολοένα και μεγαλύτερες ποσότητες τέφρας (π.χ. 2% στην περίπτωση της ιτιάς), που μπορούν να διατεθούν σε χώρους απορριμμάτων (ΧΑΔΑ¹³, ΧΥΤΑ¹⁴). Η

¹³ Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων

διαδικασία αυτή αυξάνει το κόστος λειτουργίας μιας μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, αλλά υπάρχουν αρκετοί τρόποι αξιοποίησης της τέφρας.

Η επαναφορά των δασικών οικοσυστημάτων , μετά από αποψίλωση ή όξυνση του εδάφους, είναι ένας βασικός τρόπος αξιοποίησης της τέφρας. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα στη γεωργία, εφαρμογή σε γεωτεχνικές κατασκευές και βιομηχανικές διεργασίες, κατασκευή δρόμων, χώρους στάθμευσης, ως επιφανειακό στρώμα σε χώρους υγειονομικής ταφής, και στην παραγωγή οικοδομικών υλικών (30).

6.3 Στάδια Καύσης

Κατά την διαδικασία της καύσης λαμβάνουν χώρα πολλές φυσικές διεργασίες, όπως η εξάτμιση του νερού, η αποσύνθεση του ξύλου, που συνεπάγεται και εκπομπές άνθρακα, αερίων και πτητικών υγρών, με αποτέλεσμα την παραγωγή νερού και διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, διοξείδιο ή μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται απευθείας από την καύση άνθρακα.

Από την καύση του ξύλου λοιπόν, παράγονται νερό σε μορφή ατμού (H_2O), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), νιτρικά οξείδια (NO_x), οξείδια του θείου (SO_x) και τέφρα (29).

¹⁴ Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων



Εικόνα 21: Καύση ξύλου (ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ – ΑΠΟΔΟΣΗ - ΕΚΠΟΜΠΕΣΙ. Μπαρμπούτης, Αν. Καθηγητής, Σχολή Δασολογίας & Φυσ. Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ. Β. Καμπερίδου, MSc, Σχολή Δασολογίας & Φυσ. Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ.

6.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την καύση θετικά ή αρνητικά.

Η δομή του ξύλου, η πυκνότητα του και η περιεκτικότητα του σε διάφορες ουσίες, επηρεάζει τον χρόνο καύσης. Στην αύξηση της θερμικής αξίας συμβάλλουν ο άνθρακας και το υδρογόνο, ενώ αντίθετα το οξυγόνο την μειώνει. Επίσης, εκχυλίσματα όπως η ρητίνη, κηροί, λίπη, έλαια και φαινολικές ενώσεις, επηρεάζουν θετικά την θερμαντική αξία του ξύλου. Η υγρασία συμβάλλει αρνητικά στην θερμαντική αξία, χαρακτηριστικά η θερμαντική αξία ξηρού αέρα είναι 15% μικρότερη από την απόλυτα ξηρού ξύλου. Η θερμαντική αξία επηρεάζεται από τη σκληρότητα του ξύλου, το ποσοστό και τη σύνθεση της τέφρας και από την ύπαρξη άλλων υλικών στο ξύλο, όπως ακαθαρσίες και σκόνη.

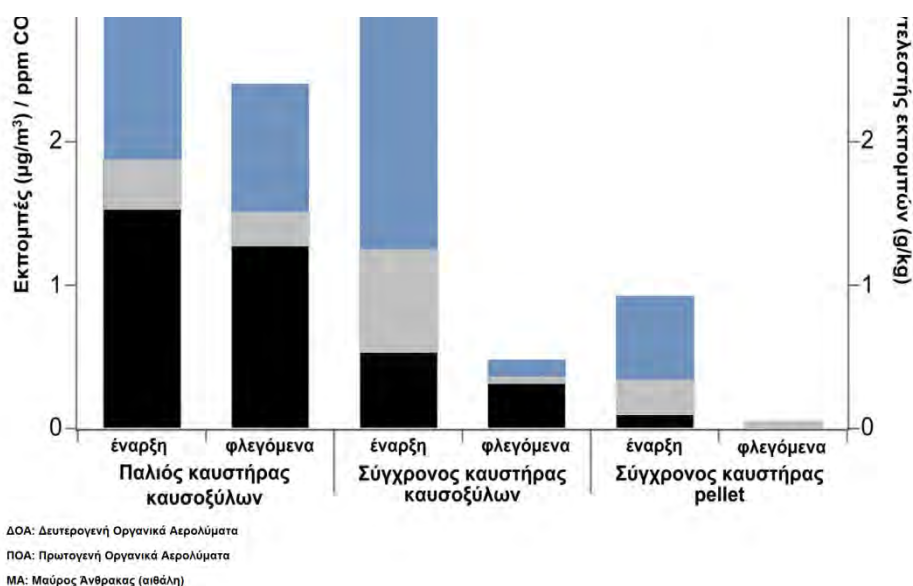
Ο τρόπος της καύσης, δηλαδή η επιλογή της μονάδας παραγωγής θερμότητας μέσω της καύσης, επηρεάζει επίσης την αποδοτικότητα της. Σε παραδοσιακά τζάκια, αξιοποιείται μόνο το 5-20% της θερμαντικής αξίας του ξύλου. Σε συνηθισμένες θερμάστρες αξιοποιείται το 10-70%, ενώ σε σύγχρονες εγκαταστάσεις θέρμανσης έως και το 80%.

6.5 Χημικά συστατικά ξύλου

Το ξύλο είναι ένα φαινομενικά απλό υλικό που όμως αποτελεί μία σύνθεση των παρακάτω χημικών συστατικών (24):

- ❖ Τα δομικά πολυμερή, την **κυτταρίνη** και την **ημικυτταρίνη**, που αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Η κυτταρίνη είναι η ίνα που χρησιμοποιείται ως το βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή του χαρτιού.
- ❖ Η **λιγνίνη** είναι άλλο ένα πολυμερές, πολύ βασικό για την σταθερή δομή των φυτών. Η ιδιότητα αυτή την κάνει χρήσιμη και στην διατήρηση της μορφής ακόμη και της κατεργασμένης βιομάζας ξύλου, όπως των πελετών και μπρικετών. Για αυτό το λόγο για την παραγωγή τέτοιου είδους βιομάζας προτιμάται το ξύλο και όχι η ποώδης βιομάζα (περιέχει λιγότερη λιγνίνη). Προσδίδει υψηλή θερμογόνο ικανότητα άρα συμβάλει στην αποδοτικότερη

Εικόνα 22: Εκπομπές από την καύση ξύλου (ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ – ΑΠΟΔΟΣΗ - ΕΚΠΟΜΠΕΣ). Μπαρμπούτης, Αν. Καθηγητής, Σχολή Δασολογίας & Φυσ. Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ. Β. Καμπερίδου, MSc, Σχολή Δασολογίας & Φυσ. Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ.



- καύση και προστατεύει τα φυτά από βιολογικές διεργασίες, όπως η ζύμωση.
- ❖ Διάφορα **εκχυλίσματα**, με εξαιρετικά μεγάλη θερμογόνο ικανότητα, ιδιαίτερα στα κωνοφόρα, που περιλαμβάνουν σάκχαρα, λίπη, κεριά κολλοειδή, τερπένια, πηκτίνες, ρητίνες, λιπαρά οξέα κτλ. Τα εκχυλίσματα δεν αποτελούν δομικά στοιχεία του ξύλου.
 - ❖ Ανόργανα στοιχεία όπως το άζωτο, το θείο, το χλώριο και κάποια βαρέα μέταλλα, είναι κάποια από τα ορυκτά, θρεπτικά στοιχεία που δεσμεύονται από τα δέντρα και περιέχονται στο ξύλο. Υπάρχουν μικρές ποσότητες που επιδρούν στην καύση, αφού απομένουν και μετά από αυτή με τη μορφή τέφρας.

Γενικότερα η περιεκτικότητα των παραπάνω υλικών, διαφέρει από δέντρο σε δέντρο, Εξαρτάται από το είδος αλλά και από την προέλευση του δέντρου. Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται οι περιεκτικότητες τους σε κωνοφόρα και πλατύφυλλα δέντρα και η θερμογόνος ικανότητα τους.

Πίνακας 7: Χημική σύνθεση κωνοφόρων και πλατύφυλλων επί ξηρού βάρους (<http://bisysplan.bioenarea.eu/html-files-gr/01-01.html>)

	Κυτταρίνη (%)	Ημικυτταρίνη (%)	Λιγνίνη (%)	Εκχυλίσματα (%)	Ορυκτά (%)	Θερμογόνος Ικανότητα (MJ/kg)
Θερμογόνος Ικανότητα (MJ/kg)	16	15	25	32	0	
Πλατύφυλλα	43-50	20-25	16-25	2-8	0.2-0.8	18.5-19.5
Κωνοφόρα	35-44	25-30	27-33	1-5	0.2-0.4	19-20.5

Κατά την συλλογή του ξύλου, της μεταφοράς και της αποθήκευσης, εισέρχονται ξένα ανόργανα υλικά, σε πολύ μικρές ποσότητες, όπως σκόνη, άμμος, πέτρες. Χρειάζεται

μεγάλη προσοχή για την προστασία της βιομάζας από εξωτερικούς παράγοντες και την ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων προσθήκης αυτών των υλικών.

Η χημική σύνθεση του ξύλου, έχει σημαντική επίδραση στην καύση αλλά και στην αποθήκευση του υλικού. Η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη, προσβάλλονται από μύκητες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, τα εκχυλίσματα εκλύονται από το ξύλο και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως η σωστή αποθήκευση μπορεί να αποτρέψει την υποβάθμιση του ξύλου- καυσίμου και την μείωση του ενεργειακού του περιεχομένου.

Ακόμη και τα ορυκτά, όπως έχει ήδη αναφερθεί παραμένουν μετά την καύση σε μορφή τέφρας, δημιουργώντας προβληματισμό για την απομάκρυνση της από την μονάδα παραγωγής θερμότητας/ ενέργειας και τη διάθεση της.

6.6 ΤΟ ΞΥΛΟ ΩΣ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Τα τελευταία χρόνια, διαδίδεται όλο και περισσότερο η χρήση βιομάζας ξύλου όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και σε άλλες χώρες της Ευρώπης. Η αγορά πλέον έχει γεμίσει από λέβητες μεγάλου μεγέθους, που κάνουν χρήση βιομάζας πελετών. Είναι πολύ λογικό, αφού οι νέοι λέβητες είναι οικονομικοί και μπορούν εύκολα να αντικαταστήσουν τα συνηθισμένα υπάρχοντα συστήματα θέρμανσης στα σπίτια. Μεγάλη αύξηση στην ζήτηση των πελετών παρατηρείται στην Ιταλία, την Ελλάδα και την Πολωνία. Στη Σουηδία, τα μεγάλα εργοστάσια τηλεθέρμανσης, κατασκευάζονται για την χρήση πελετών ως βασικό καύσιμο. Το 2009 χρησιμοποιήθηκε στη Σουηδία περισσότερο βιομάζα από πετρέλαιο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

Στον πίνακα 9 παρακάτω, παρουσιάζεται σε ποσοστά η παραγωγή πελετών το 2008, στην Ευρωπαϊκή Ένωση (24).

Πίνακας 8 Παραγωγή και κατανάλωση πελετών ξύλου στην Ευρώπη (<http://www.pelletsatlas.info>)

Χώρα	παραγωγή (1000 τόνοι/έτος)	Κατανάλωση (1000 τόνοι/έτος)
Αυστρία	626	509
Φιλανδία	373	150
Γερμανία	1460	900
Ιταλία	650	850
Λετονία	379	39
Πολωνία	350	120
Σουηδία	1405	1850
Άλλες	2234	3535
ΕΕ σύνολο	7477	7953

Σύμφωνα με διάφορες προσομοιώσεις, μέχρι το 2020, η παραγωγή λιγνοκυτταρινούχων πρώτων υλών, θα καλύψει τη ζήτηση της βιομάζας παρόλο που η ζήτηση συνεχώς αυξάνεται. Οι προοπτικές για τους παραγωγούς είναι αισιόδοξες και αναμένεται σημαντικός ανταγωνισμός από τις βιομηχανίες ξύλου που παράγουν λιγνοκυτταρινούχα πρώτη ύλη (πριονιστήρια, χαρτοβιομηχανίες, πάνελ κτλ.).

6.7 Ξυλώδης Βιομάζα - Δυναμικό

Όταν μιλάμε καύσιμο ξύλο το μυαλό πηγαίνει στην υλοτόμηση δέντρων , στην αποψίλωση δασών. Δέντρα υπάρχουν σε δάση και σε όλες τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις (οπωρώνες, ελαιώνες, ανεμοφράκτες), δίπλα στα ποτάμια και τέλος ακόμη και στις πόλεις . Ξύλο υπάρχει παντού γύρω μας, στα έπιπλα μας, τα χαρτιά, είναι ένα στοιχείο που χρησιμοποιείται ευρέως. Όλες οι διαδικασίες κατασκευής ή παραγωγής προϊόντων από ξύλο, παράγουν και υποπροϊόντα- υπολείμματα αυτού, όπως πριονίδι κ.α., τα οποία επίσης αποτελούν μια τεράστια πηγή καυσίμου.

Οποιοδήποτε ξυλώδες υλικό , αποτελεί πλέον ανταγωνιστική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Καλό είναι να εκτιμούνται σωστά οι ανάγκες σε βιομάζα ξύλου ανάλογα με την περίοδο και την περιοχή.

Αυτό το κεφάλαιο, θα βοηθήσει στην αξιολόγηση αυτών των εκτιμήσεων και στη κατάληξη σε συμπεράσματα.

6.7.1 Δασικές πρώτες ύλες

Η έκταση των Ευρωπαϊκών δασών είναι μεγάλη και υπολογίζεται περίπου στα 10,2 δισεκατομμύρια στρέμματα και καλύπτονται από πλάνο διαχείρισης τους για πολλά χρόνια. Η ζήτηση ξυλώδους βιομάζας αυξάνεται συνεχώς. Παρόλα αυτά, ο όγκος υλοτόμησης στην Ευρώπη, παραμένει σημαντικά χαμηλότερος από τον ρυθμό αύξησης της παραγωγής ξύλου αλλά και της ζήτησης βιομάζας. Τα τελευταία είκοσι χρόνια, οι δασικές εκτάσεις επεκτείνονται ετησίως κατά οκτώ εκατομμύρια στρέμματα. Κατά την ίδια περίοδο, το συνολικό απόθεμα των δέντρων αυξήθηκε κατά 8,6 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (32).

Είναι πολύ δύσκολο να παρουσιαστούν λεπτομερή δεδομένα σχετικά με τον όγκο, τον ρυθμό ανάπτυξης των δασών, για όλες τις Ευρωπαϊκές περιφέρειες.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται δεδομένα για τα δάση και την υλοτόμηση σε Ευρωπαϊκές χώρες.

Πίνακας 9: Δάση και υλοτόμηση σε Ευρωπαϊκές χώρες το 2011
http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament/el/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.2.10.html#_ftn1

Κράτη μέλη	Δάση (χιλ. εκτάρια)	Άλλες δασικές εκτάσεις (χιλ. εκτάρια)	Δημόσια ιδιοκτησία (χιλ. εκτάρια)	Δάση ανά κάτοικο (εκτάρια/κάτ οικο)	Ποσότητα συνολικής υλοτόμησης στρογγυλής ξυλείας (χιλ. m ³)
Αυστρία	3. 857	134	858	0,46	19. 261
Βέλγιο	678	28	301	0,06	3. 451
Βουλγαρία	3. 927	0	3. 408	0,52	6. 071
Κροατία	1. 920	554	1. 396	0,44	4. 306
Κύπρος	173	214	119	0,20	—
Τσεχία	2. 657	0	2. 041	0,26	16. 187
Δανία	587	48	139	0,11	—
Εσθονία	2. 203	134	858	1,64	4. 348
Φινλανδία	22. 084	1. 032	6. 699	4,13	46. 512
Γαλλία	15. 954	1. 618	4. 113	0,25	61. 677
Γερμανία	11. 076	0	5. 708	0,13	47. 688
Ελλάδα	3. 903	2. 636	2. 907	0,35	1. 743
Ουγγαρία	2. 039	0	1. 178	0,20	6. 496
Ιρλανδία	737	50	400	0,16	2. 591
Ιταλία	9. 149	1. 767	3. 073	0,15	—

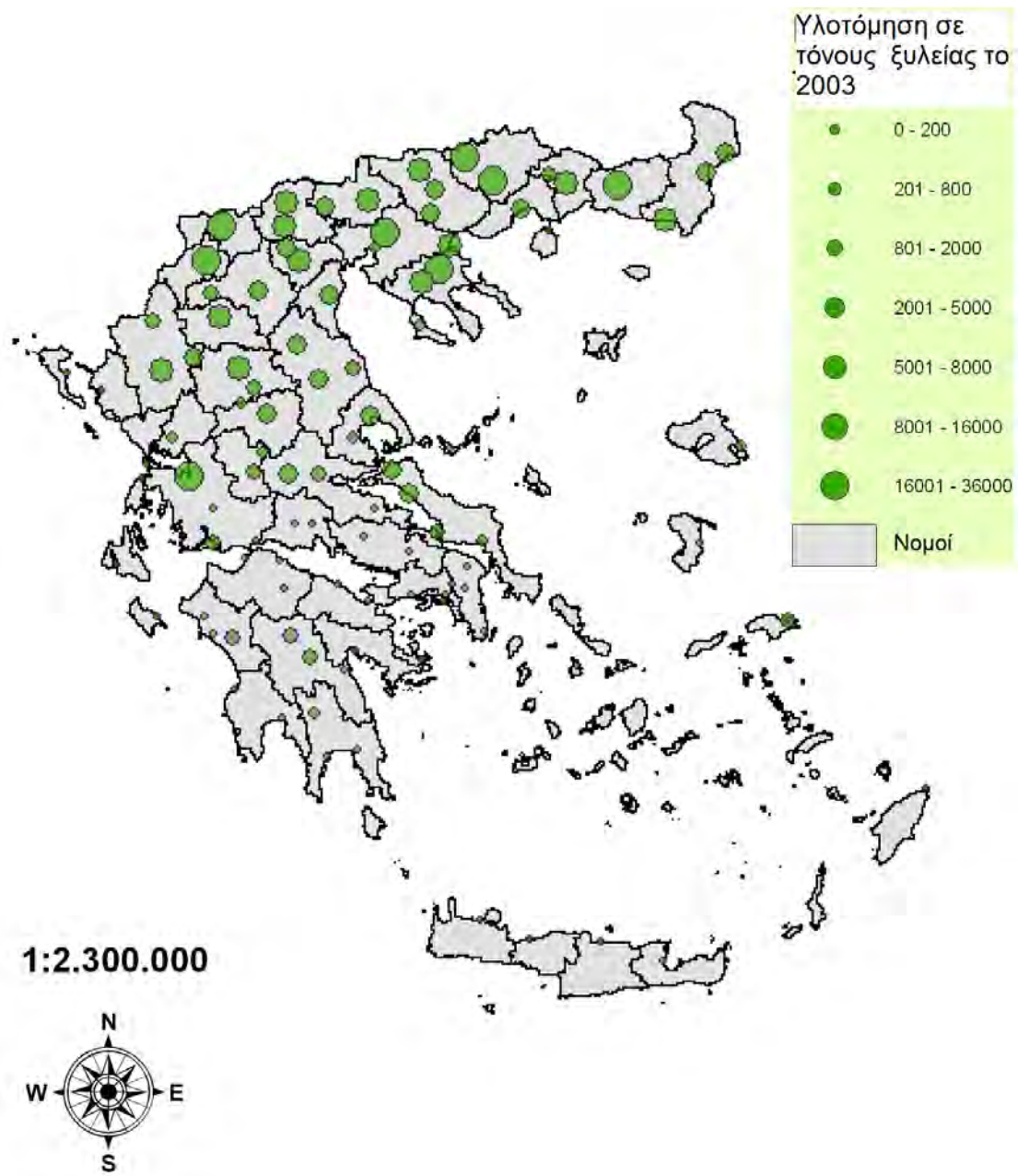
Λετονία	3. 354	113	1. 655	1,50	11. 091
Λιθουανία	2. 165	84	1 366	0,67	5 515
Λουξεμβούργο	87	1	41	0,18	353
Μάλτα	0,35	0	—	0,00	0
Κάτω Χώρες	365	0	184	0,02	1. 118
Πολωνία	9. 319	0	7. 661	0,24	3. 5281
Πορτογαλία	3.. 456	155	54	0,32	10. 866
Ρουμανία	6. 573	160	4 398	0,31	13. 667
Σλοβακία	1. 938	0	980	0,36	9. 027
Σλοβενία	1. 253	21	291	0,62	3. 236
Ισπανία	18. 173	9. 574	5. 336	0,40	13. 980
Σουηδία	28. 605	2. 020	7. 664	3,08	74. 285
Ηνωμένο Βασίλειο	2. 881	20	959	0,05	8. 432
ΕΕ-28	159. 114	20. 364	63. 787	0,32	409. 244

Δυστυχώς στη χώρα μας παρατηρείται το φαινόμενο της λαθραίας υλοτόμησης, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, λόγω της αύξησης της ζήτησης βιομάζας ξύλου.

Σύμφωνα με στοιχεία της ειδικής γραμματείας δασών, το 2012 κατασχέθηκαν περίπου 13.088,75 τόνοι λαθραίας ξυλείας (34).

Η παράνομη υλοτομία και η αποψίλωση των δασών, έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η διάβρωση του εδάφους, η μείωση της βιοποικιλότητας και φυσικά η κλιματική αλλαγή, είναι κάποιες από αυτές. Περίπου το 20% των ανθρωπογενών

εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προέρχεται από την αποδάσωση των τροπικών δασών (35).



Εικόνα 23: Υλοτόμηση στην Ελλάδα το 2003
http://www.enermed.cres.gr/EL/Res_Technologies_EL

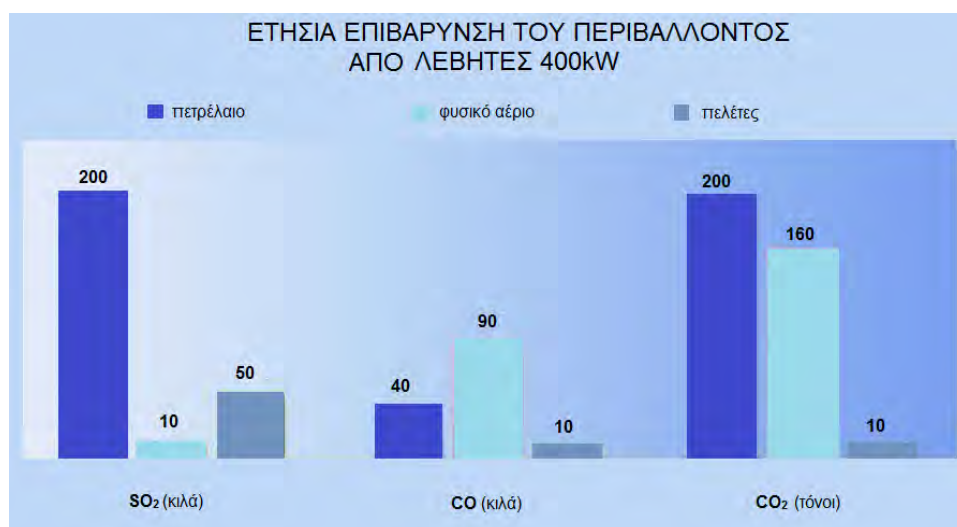
7. Συμπεράσματα

Αυτό που σίγουρα συνειδητοποιεί κανείς, είναι το μέγεθος της συμβολής της ξυλώδους βιομάζας στην οικονομία χρημάτων και ενέργειας.

Λόγω της κακής κατάστασης της οικονομίας, ακόμη και η Ελλάδα, που είναι από τις λιγότερο εξελιγμένες χώρες σε ότι αφορά τη χρήση βιομάζας, έχει στραφεί στην ξυλεία. Δυστυχώς, ο Έλληνας δεν είναι προετοιμασμένος για αυτή την άμεση αλλαγή και η δυσκολία στην προσαρμογή επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Η χρήση βιομάζας (κούτσουρα) ως πηγή ενέργειας στην επαρχία ήταν κάτι συνηθισμένο και καθόλου επιβλαβές για την ατμόσφαιρα. Η χρήση της όμως στα αστικά κέντρα έχει αντίθετες συνέπειες. Ο λόγος είναι η ήδη επιβαρυσμένη ατμόσφαιρα και η έλλειψη πρασίνου. Η καύση ξυλείας φυσικά παράγει διοξείδιο του άνθρακα. Όμως, επειδή τα δέντρα με τη σειρά τους καθαρίζουν την ατμόσφαιρα από αυτό, θεωρούμε πως οι εκπομπές είναι μηδενικές. Στις μεγαλουπόλεις κάτι τέτοιο δεν ισχύει, αφού δεν υπάρχουν δέντρα και όσα υπάρχουν δεν αρκούν για να ελαφρύνουν την ατμόσφαιρα. Οπότε τα τζάκια, οι παραδοσιακές σόμπες, μόνο επιβαρύνουν τον αέρα που αναπνέει το μεγαλύτερο ποσοστό ανθρώπων που στοιβάζεται στις πόλεις.

Αποτέλεσμα είναι οι συχνά τεράστιες εκπομπές ρύπων και κυρίως σωματιδίων με πολύ μικρό μέγεθος, $PM_{2,5}$, που είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για τον ανθρώπινο οργανισμό, αφού εισχωρούν πανεύκολα μέσω της αναπνευστικής οδού. Οι επιπτώσεις είναι σοβαρές και εμφανίζονται και βραχυπρόθεσμα.



Εικόνα 24: ετήσια επιβάρυνση του περιβάλλοντος από λέβητες 400kW στην Ελλάδα.
http://bioenergynews.blogspot.gr/2008/05/blog-post_18.html

8. Αντιμετώπιση

Η χρήση της ξυλώδους βιομάζας μπορεί να προκαλέσει, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, πολλά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία και φυσικά στο περιβάλλον. Αυτό όμως που την κάνει περιζήτητη πλέον, είναι το χαμηλό κόστος και η θεωρητικά πολύ μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας.

Η χρήση μονάδας παραγωγής ενέργειας από καύση ξύλου ή άλλης μορφής βιομάζας, μπορεί να είναι εξαιρετικά αποδοτική, όταν ο χρήστης έχει τις απαραίτητες πληροφορίες και πληρί τις προϋποθέσεις και προδιαγραφές της μονάδας.

Για παράδειγμα, με την χρήση μιας «προηγμένης καύσης» ξυλόσομπα ή τζάκι, μπορούμε να μειώσουμε τις τοξικές εκπομπές. Για να μειώσουμε επίσης την ποσότητα του ξύλου που καίμε θα μπορούσαμε να ακολουθήσουμε κάποια από τα παρακάτω (42):

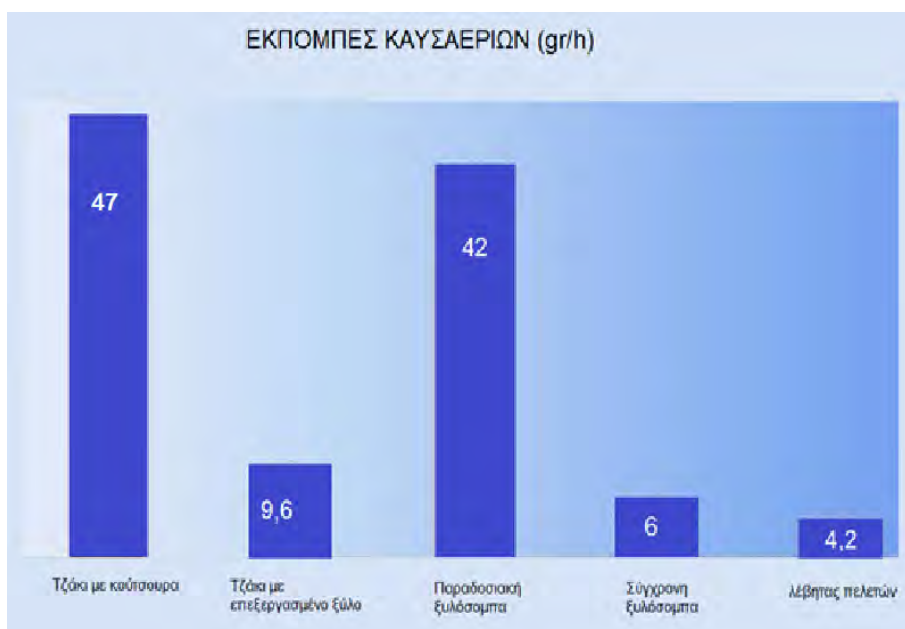
- ❖ Να προτιμούμε στεγνό και καθαρό από ξένες ουσίες ξύλο, κατάλληλα διατηρημένο. Η σωστή αποθήκευση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Πριν από την καύση, πρέπει να διατηρηθεί σε στεγασμένο χώρο για διάστημα έξι μηνών συμπεριλαμβανομένων των θερινών.
- ❖ Πρέπει να υπάρχει αρκετός εξαερισμός κατά την έναρξη της φωτιάς και να κλείνουμε καλά τον θάλαμο καύσης, όταν το ξύλο έχει απανθρακωθεί εντελώς.
- ❖ Τα μικρά κομμάτια ξύλου είναι προτιμότερα γιατί είναι περισσότερο αποδοτικά και η θερμότητα που παράγουν είναι αισθητά καλύτερη.
- ❖ Πρέπει να αποφεύγουμε την καύση οποιουδήποτε υλικού, πέραν του καθαρού ξύλου. Τα σκουπίδια, τα χαρτόνια, τα πλαστικά και το έγχρωμο μελάνι στα έντυπα, όταν καίγονται παράγουν βλαβερές χημικές ουσίες.
- ❖ Πρέπει επίσης να αποφεύγουμε την καύση επεξεργασμένου ξύλου, γιατί ο καπνός του περιέχει χημικά υπολείμματα.
- ❖ Καλό είναι να μην καίμε βιομάζα, όταν τα επίπεδα ρύπανσης της ατμόσφαιρας είναι ήδη υψηλά. Πρέπει να ακολουθούμε τις οδηγίες των αρμόδιων, όταν παρουσιάζονται αυξημένα ποσοστά αέριων ρύπων, ειδικά στα αστικά κέντρα.

- ❖ Οφείλουμε να ακολουθούμε κατά γράμμα τις προδιαγραφές των μονάδων παραγωγής ενέργειας που επιλέγουμε και τις συστάσεις των κατασκευαστών. Επίσης ο τακτικός καθαρισμός της μονάδας και της καμινάδας είναι βασικός για την συντήρησή τους και την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας.
- ❖ Προστατεύουμε τους ανθρώπους που ζουν στο σπίτι από τις εκπομπές CO₂, με την εγκατάσταση ενός ανιχνευτή.

Οι σύγχρονοι λέβητες πελετών εκπέμπουν τα ίδια επίπεδα μικροσωματιδίων με αυτούς του πετρελαίου. Στην πραγματικότητα όμως, τα σωματίδια από τους πελέτες είναι λιγότερα τοξικά και έχουν θεωρητικά μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (σε αντίθεση με το πετρέλαιο).

Η απόδοση θερμότητας οποιασδήποτε μονάδας καύσης ξυλώδους βιομάζας, εξαρτάται από δύο παράγοντες:

- Την ποιότητα της βιομάζας, δηλαδή πόσο τέλεια είναι η καύση τους (απόδοση).
- Το ποσό της θερμότητας που εισχωρεί στον χώρο, δηλαδή το ποσοστό απωλειών.



Εικόνα 25: εκπομπές καυσαερίων από διάφορες μονάδες καύσης βιομάζας ξύλου http://bioenergynews.blogspot.gr/2008/05/blog-post_18.html .

Οι τεχνολογίες καύσης βιομάζας δεν είναι το ίδιο αποδοτικές και δεν εκλύουν τα ίδια ποσοστά ρύπων. Υπάρχουν τζάκια με ανοιχτή εστία καύσης με απόδοση 10%, τζάκια ενεργειακά με απόδοση 50-70%, ξυλόσομπες παραδοσιακές ή πιο σύγχρονες των οποίων η απόδοση κυμαίνεται από 40-85% ανάλογα με το καύσιμο και την τεχνολογία, κεντρικοί λέβητες τριμάτων ξύλου ή πελετών με απόδοση από 55-95%.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα των μονάδων είναι οι δύο παρακάτω:

- Εγκατάσταση. Αν βρίσκεται σε εξωτερικό τοίχο, αν επαρκεί ή είναι πολύ μεγάλη για ένα σπίτι, και αν η καμινάδα λειτουργεί σωστά.
- Λειτουργία. Τι τύπος ξύλου επιλέγουμε, αν είναι καθαρό ή όχι, αν είναι μεγάλη η ποσότητα στον θάλαμο και αν χρειάζεται αέρα

Ο τρόπος που χρησιμοποιείται η μονάδα παραγωγής θερμότητας και η σωστή εγκατάσταση της, παίζουν ρόλο στην αποδοτικότητα τους.

ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	
Κλασικό τζάκι	-10% με 10%
Ενεργειακό τζάκι	50% με 70%
Παλιά σόμπα	20% με 40%
Σύγχρονες σόμπες	60% με 80%
Λέβητας πελετών	55% με 95%

Εικόνα 26 Αποδοτικότητα διαφόρων μονάδων καύσης

Το πέρασμα την τελευταία δεκαετία, από τις συμβατικές εστίες καύσης βιομάζας σε σύγχρονα πιστοποιημένα συστήματα, έχει ως αποτέλεσμα την αισθητή μείωση των εκλυόμενων ρύπων. Για παράδειγμα, μία πιστοποιημένη θερμάστρα βιομάζας στον Καναδά (67), εκλύει 94% λιγότερα μικροσωματίδια, 80% λιγότερους πτητικούς υδρογονάνθρακες, 85% λιγότερους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες από μία συμβατική ξυλόσομπα. Ένας σύγχρονος λέβητας πελετών στην Δανία, εκλύει 25 φορές λιγότερα μικροσωματίδια σε σχέση με έναν συμβατικό βιομάζας.

Στον παρακάτω πίνακα, παρατηρούμε την βελτίωση της απόδοσης των λεβήτων βιομάζας στην Αυστρία, σε συνάρτηση με την μείωση των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα κατά την περίοδο 1982-2000.

Πίνακας 10: Απόδοση λεβήτων βιομάζας και μείωση εκπομπών CO στην Αυστρία (<http://www.cea.org.cy/TOPICS/Renewable%20Energy/2013/Wood%20Biomass%20Report%20Cyprus.pdf>)

		Καυσόξυλα		Τρίμματα ξύλου		Pellets	
		Ονομαστικό φορτίο	Μερικό φορτίο	Ονομαστικό φορτίο	Μερικό φορτίο	Ονομαστικό φορτίο	Μερικό φορτίο
Απόδοση (%)	1982	61	57	64	65	-	-
	1990	80	76	81	77	-	-
	2000	90	91	91	92	91	89
CO(g/m ³)	1982	11.4	16	9.4	8.4	-	-
	1990	2.3	5	1	2.1	-	-
	2000	0.2	-	0.1	0.1	0.1	0.3

9. Συμπεράσματα και προτάσεις

Η ενημέρωση είναι ο πιο βασικός παράγοντας στην μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από την καύση ξυλώδους βιομάζας. Ειδικά στα αστικά κέντρα, οι πολίτες οφείλουν να χρησιμοποιούν τις μονάδες παραγωγής θερμότητας με σύνεση και να ακολουθούν όλες τις συστάσεις και προδιαγραφές της εκάστοτε τεχνολογίας.

Στην προστασία των πολιτών και του περιβάλλοντος πρέπει να συμβάλλει ενεργά και το κράτος. Πρέπει να ψηφιστεί και να απαιτηθεί ο περιορισμός της καύσης του ξύλου, ιδιαίτερα στα αστικά κέντρα, σε περιόδους με κακή ποιότητα αέρα και καιρικές συνθήκες που ευνοούν την μόλυνση της ατμόσφαιρας. Τέτοιοι κανόνες εφαρμόζονται ήδη με επιτυχία στις Η.Π.Α. και τον Καναδά.

Καλό είναι να εκδίδονται ανακοινώσεις από τους δήμους που θα απαγορεύουν ή έστω περιορίζουν την καύση ξύλου και άλλων μορφών βιομάζας ξύλου, τις ημέρες που ευνοείται η αύξηση της ρύπανσης. Τον Δεκέμβριο του 2013 το ελληνικό κράτος επίσης αναγκάστηκε να προβεί σε αυστηρό περιορισμό καύσης ξυλώδους βιομάζας σε αρκετές πόλεις, λόγω των αυξημένων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων και των καιρικών συνθηκών.

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί περιορισμός ή απαγόρευση της καύσης είναι οι παρακάτω:

- Με νομοθεσία που θα αφορά τις ημέρες του χειμώνα με κακή ποιότητα αέρα και συνθήκες που ευνοούν την μόλυνση. Η ανακοίνωση των μέτρων πρέπει να γίνεται μέσα από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης και οι κυρώσεις σε όσους δεν προσαρμόζονται πρέπει να είναι αυστηρές και άμεσες (62).
- Προαιρετικός περιορισμός της καύσης του ξύλου τις εν λόγω ημέρες (63).

Είναι λογικό να υπάρχουν και εξαιρέσεις. Τα νοικοκυριά με μοναδικό τρόπο θέρμανσης την καύση βιομάζας ξύλου, κάποια ιδρύματα και νοσοκομεία, μπορούν να αποτελούν αυτές τις εξαιρέσεις.

Μέχρι τώρα ο στόχος ήταν να στραφεί ο πολίτης στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τώρα ο στόχος θα έπρεπε να είναι η αύξηση της ευαισθητοποίησης σχετικά με την ποιότητα του αέρα και την προστασία της ανθρώπινης υγείας από την καύση ξύλου. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με εκπαιδευτικά προγράμματα ίσως αναγκαστικά

με την κάθε αγορά λεβήτων βιομάζας. Άλλωστε η σωστή λειτουργία των μονάδων παραγωγής θερμότητας συμβάλλει στην υγεία του ίδιου του χρήστη στην ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, αλλά και στην αύξηση χρόνου ζωής της μονάδας.

10. Βιβλιογραφία

1. http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf
2. <http://www.air-quality.gr/pm.php>
3. <http://www.gr.european-lung-foundation.org/17448--.htm>
4. <http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/diafaneies2a.pdf>
5. Διλωματική εργασία Χημικών Μηχανικών Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, της φοιτήτριας Πουλή Αικατερίνης, με θέμα « Καταγραφή και μελέτη επιπέδων αιωρούμενων σωματιδίων (PM10και PM2,5) σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους στο κέντρο της Αθήνας. Έκθεση εργαζομένων και άλλων υποομάδων πληθυσμού».
<http://digilib.lib.unipi.gr/dspace/bitstream/unipi/4908/1/Pouli.pdf>
6. http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_carbonmonoxide.htm
7. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Εργαστήριο Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, Διευθυντής: Καθ. Ιωάννης Γ. Μπάρτζης ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, «ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΚΑΘΑΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΑΙ Η ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΑΥΤΟΥΣ»
8. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, «ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΚΟΝΗΣ».
9. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf
10. <http://www.tovima.gr/society/article/?aid=486618>
11. <http://www.apocalypsejohn.com/2012/12/athens-aithalomixli.html>
12. <http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=309857>
13. http://news247.gr/eidiseis/h_ksanthh_mesa_se_nefos_aithalomixlhs.2063624.html?service=print
14. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗ ΞΥΛΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΓΑΛΕΣ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΠΟΛΕΙΣ, Σπύρος Πανδής, ΙΕΧΜΗ/ΙΤΕ, Παν. Πατρών http://www.scienceillustrated.gr/site/wp-content/uploads/2013/02/THALIS_PRESENTATION_Results_Feb_2013pr.pdf

15. <http://www.newsbomb.gr/koinwnia/story/386555/i-vrohi-esose-ti-thessaloniki-apo-tin-aithalomihli>
16. <http://www.protothema.gr/environment/article/339842/aithalomihli-alli-mia-nuhta-asfuxias/>
17. <http://www.newsbeast.gr/environment/arthro/625323/pnigike-stin-aithalomihli-i-thessaloniki/>
18. <http://www.kathimerini.gr/63767/article/epikairothta/ellada/ai8alomixlh-lh3h-synagermoy-sth-8essalonikh>
19. <http://news247.gr/eidiseis/koinonia/article2148252.ece?service=print>
20. <http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=347122>
21. <http://www.tanea.gr/news/greece/article/5072469/giname-pekino-me-thn-aithalomixlh/>
22. <http://bisyplan.bioenarea.eu/html-files-gr/01-01.pdf>
23. Varying trends in surface energy fluxes and associated climate between 1960 and 2002 based on transient climate simulations Larissa Nazarenko and Surabi Menon, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 2005
24. <http://bisyplan.bioenarea.eu/html-files-gr/01-01.html>
25. <http://biomassenergy.gr/articles/news/solid-biofuels/838-240-000-metric-ton-per-year-wood-pellet-supply>
26. <http://physic.gr/orligno500-pellet-boiler/>
27. <http://www.pellet-wood.com/>
28. <http://www.energeiaki.gr/index.php?id=22>
29. ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ – ΑΠΟΔΟΣΗ - ΕΚΠΟΜΠΕΣΙ. Μπαρμπούτης, Αν. Καθηγητής, Σχολή Δασολογίας & Φυσ. Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ. Β. Καμπερίδου, MSc, Σχολή Δασολογίας & Φυσ. Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ.
30. <http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/847-alternative-uses-of-the-solid-residue-ash-resulting-from-biomass-combustion>
31. <http://www.pelletsatlas.info>
32. <http://www.unece.org/forests/fr/outputs/soef2011.html>
33. http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament/el/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.2.10.html#_ftn1
34. <http://www.sunblog.org/perivallon/2013/01/%CE%B7-%CE%BB%CE%B1%CE%B8%CF%81%CE%B1%CE%AF%CE%B1-%CF%85%CE%BB%CE%BF%CF%84%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CF%83%CF%84%CE%B1-%CF%8D%CF%88%CE%B7-%CE%BC%CE%B5-%CF%80%CF%81%CF%89%CF%84%CE%B1%CE%B8%CE%BBc-11370.html>
35. <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=587&language=en-US>
36. http://bioenergynews.blogspot.gr/2008/05/blog-post_18.html
37. http://www.enermed.cres.gr/EL/Res_Technologies_EL

38. <http://www.cea.org.cy/TOPICS/Renewable%20Energy/2013/Wood%20Biomass%20Report%20Cyprus.pdf>
39. CODE OF PRACTICE FOR RESIDENTIAL WOOD BURNING APPLIANCES Canadian Council of Ministers of the Environment, 2012
40. Air quality in Europe — 2012 report EEA Report No 4/2012 ISSN 1725-9177
41. ΟΙ ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΟΙ ΑΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ, ΤΣΙΑΝΑΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΦΟΥΡΜΟΥΖΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ, ΖΑΧΑΡΙΑΣ ΑΝΔΡΕΑΣ Κοζάνη 2010
42. WOOD BURNING HANDBOOK Cal/EPA Air Resources Board Enforcement Division Compliance Assistance Program In Cooperation with Local Air Pollution Control Districts
43. (Westphaal and Toon, 1991; Liousse et al., 1995; Hobbs et al., 1997; Reid et al., 1998).
44. Optical characteristics of biomass burning aerosols over Southeastern Europe determined from UV-Raman lidar Measurements
45. Atmos. Chem. Phys., 9, 2431–2440, 2009
46. V. Amiridis et al.: Raman lidar derived smoke optical properties
47. Pikridas M., Tasoglou A., Florou K. and Pandis S. N. (2013) Characterization of the origin of fine particulate matter in a medium size urban area in the Mediterranean, Atmos. Environ., submitted.
48. H. Puxbaum and Legrand, M., (2007), Summary of the CARBOSOL project: Present and retrospective state of organic versus inorganic aerosol over Europe, J. Geophys. Res., 112, D23S01, doi:10.1029/2006JD008271.
49. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Fourth Assessment Report: Summary for Policymakers, 2007.
50. Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X. P., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G., and Speizer, F. E.: An association between air-pollution and mortality in 6 United-States cities, New Engl. J. Med., 329, 1753–1759, 1993
51. <http://www.ethnos.gr/article.asp?catid=22768&subid=2&pubid=63789806>
52. Emissions from domestic solid fuel burning appliances (wood-heaters, open fireplaces). **Technical Report No. 5** J. Gras, C. Meyer, I. Weeks, R. Gillett, I. Galbally, J. Todd, F. Carnovale, R. Joynt, A. Hinwood, H. Berko and S. Brown. Environment Australia, March 2002 ISBN 0 6425 4867 6

53. Intergovernmental Working Group on Residential Wood Combustion, Discussion Document: Options to Reduce Emissions from Residential Wood Burning Appliances, July 30, 2002.
54. Illerup J.B. & Nielsen M. *Improved PM Emissions Inventory for Residential Wood Combustion*. Presented at the PM Emission Inventories Scientific Workshop, Lago Maggiore, Italy, 18 October 2004.
55. OPET Austria & Finland, 2001. *Modern wood furnaces in Austria*.
56. Heikki Oravainen, 2000. Testing methods and emission requirements for small boilers (<300 kW) in Europe. Motiva's Publication B3/2000.
57. Nordic Ecolabelling. Swan labelling of Solid Biofuel Boilers. Version 2.0, 14 Mar 2007.
58. Thek G, Obernberger I. 2005. Austrian pellet boiler technologies – State-of-the-art, ecological valuation and future developments. BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH.
59. Hartmann H. 2003. Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. FNR – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. [de/pdf/literatur/pdf_64kleinanlagen_komplett.pdf](http://www.bmfsfj.de/pdf/literatur/pdf_64kleinanlagen_komplett.pdf)
60. Mallett T. & Scott A. Options for setting particulate emissions criteria for home heating appliances. Report No. R02/28, ISBN 1-86937-490-8. Environmental Canterbury, Oct. 2002.
61. Klippel N, Nussbaumer T, Oser M, 2005. Health Relevance of Aerosols from Biomass Combustion in Comparison to Diesel Soot Indicated by Cytotoxicity Tests. Verenum, Zurich (Switzerland), www.verenum.ch
62. Prince George, BC, Clean Air By-law 8266, 2010
63. Environment Canada's Model Municipal By-law for Regulating Wood Appliances, 2006
64. http://www.greenpeace.org/greece/Global/greece/report/2007/10/Suggested_biomass_standards_Oct07.pdf
65. http://www.env.gov.bc.ca/epd/industrial/pulp_paper_lumber/pdf/emissions_report_08.pdf
66. <http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-vsv/environ/wood-bois-eng.php>
67. CODE OF PRACTICE FOR RESIDENTIAL WOOD BURNING APPLIANCES PN 1479 ISBN 978-1-896997-87-2 PDF © Canadian Council of Ministers of the Environment, 2012

68. <http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/diafaneies2a.pdf>
69. Moussiopoulos, N.; Vlachokostas, C.; Tsilingiridis, G.; Douros, I.; Hourdakis, E.; Naneris, C.; Sidiropoulos, C. Air quality status in greater Thessaloniki area and the emission reductions needed for attaining the EU air quality legislation. *Sci. Total Environ.* 2009.
70. Increased Biomass Burning Due to the Economic Crisis in Greece and Its Adverse Impact on Wintertime Air Quality in Thessaloniki Arian Saffari, Nancy Daher, Constantini Samara, Dimitra Voutsas, Athanasios Kouras, Evangelia Manoli, Olga Karagkiozido, Christos Vlachokostas, Nicolas Moussiopoulos, Martin M. Shafer, James J. Schauer, and Constantinos Sioutas.
71. Turpin, B. J.; Lim, H.-J. Species contributions to PM_{2.5} mass concentrations: Revisiting common assumptions for estimating organic mass. *Aerosol Sci. Technol.* 2001
72. Marcazzan, G. M.; Vaccaro, S.; Valli, G.; Vecchi, R. Characterisation of PM₁₀ and PM_{2.5} particulate matter in the ambient air of Milan (Italy). *Atmos. Environ.* 2001
73. Schauer, J. J. Evaluation of elemental carbon as a marker for diesel particulate matter. *J. Exposure Sci. Environ. Epidemiol.* 2003 Schaap, M.; van Loon, M.; ten Brink, H. M.; Dentener, F. J.; Builtjes, P. J. H. Secondary inorganic aerosol simulations for Europe with special attention to nitrate. *Atmos. Chem. Phys.* 2004
74. Ricard, V.; Jaffrezo, J. L.; Kerminen, V. M.; Hillamo, R. E.; Sillanpaa, M.; Ruellan, S.; Liousse, C.; Cachier, H. Two years of continuous aerosol measurements in northern Finland. *J. Geophys. Res.: Atmos.* 2002
75. Eleftheriadis, K.; Balis, D.; Ziomas, I. C.; Colbeck, I.; Manalis, N. Atmospheric aerosol and gaseous species in Athens, Greece. *Atmos. Environ.* 1998
76. Birmili, W.; Allen, A. G.; Bary, F.; Harrison, R. M. Trace metal concentrations and water solubility in size-fractionated atmospheric particles and influence of road traffic. *Environ. Sci. Technol.* 2006
77. Kim, E.; Larson, T. V.; Hopke, P. K.; Slaughter, C.; Sheppard, L. E.; Claiborn, C. Source identification of PM_{2.5} in an arid Northwest U.S. city by positive matrix factorization. *Atmos. Res.* 2003