

**ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΜΙΑΣ ΕΠΑΡΧΙΑΚΗΣ  
ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
(Πρώτα Αποτελέσματα)**

**Σ.Κ. Γκάρας<sup>1,2\*</sup>, Ε.Δ. Τριανταφύλλου<sup>1</sup>, Ε. Τόλης<sup>3</sup>, Χ. Ν. Διαμαντόπουλος<sup>1</sup>, Α.Ν. Δουγαλή<sup>1</sup>,  
Β. Ζούντσα<sup>1</sup>, Α.Γ.Τριανταφύλλου<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Εργαστήριο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Περιβαλλοντικής Φυσικής (Ε.Α.Ρ.-ΠΕ.ΦΥ.), Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοίλα, Κοζάνη, 50100, Ελλάδα

<sup>2</sup> Εργαστήριο Διαχείρισης Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος και Απορριμμάτων, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, 50100, Ελλάδα

<sup>3</sup> Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, 50100, Ελλάδα

(\* [sqaras@uowm.gr](mailto:sqaras@uowm.gr), [s.gkaras@uowm.gr](mailto:s.gkaras@uowm.gr))

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια η αύξηση της τιμής πετρελαίου σε συνδυασμό με την οικονομική κρίση που προηγήθηκε, οδήγησαν τους κατοίκους στο να καταναλώνουν φθηνότερα καύσιμα (ξύλο, βιομάζα) για οικιακή θέρμανση. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα να καταγράφονται σημαντικά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά την διάρκεια του χειμώνα στις αντίστοιχες περιοχές.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της οικιακής θέρμανσης στην ποιότητα της ατμόσφαιρας κατά την χειμερινή περίοδο σε μια ορεινή επαρχιακή πόλη της βόρειας Ελλάδας. Για τον σκοπό αυτό διεξήχθησαν παράλληλες μετρήσεις πεδίου για μια περίοδο 3 μηνών (Φεβρουάριος, Απρίλιος και Ιούνιος 2022) σε δύο χαρακτηριστικές - αντιπροσωπευτικές αστικές περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας. Συγκεκριμένα, στην πόλη των Γρεβενών, όπου πρωτίστως η βιομάζα καθώς και το πετρέλαιο αποτελούν τα κύρια καύσιμα για οικιακή χρήση και στην Κοζάνη, με το σύστημα της τηλεθέρμανσης να καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες των κατοίκων του πολεοδομικού ιστού της πόλης.

Παράλληλα έγινε συλλογή δειγμάτων ΑΣ10 και προσδιορίστηκε η στοιχειακή τους σύσταση καθώς και τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των προσροφημένων πολυαρωματικών υδρογονανθράκων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη συγκρίνονται με ανάλογα βιβλιογραφικά δεδομένα αντίστοιχων αστικών περιοχών όπου η καύση βιομάζας συμβάλλει στο οικιακό ενεργειακό μείγμα με διαφορετικό ποσοστό.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** ΑΣ10, Καύση Βιομάζας, Στοιχειακή ανάλυση, ΠΑΥ, Ποιότητα Αέρα

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους σημαντικότερους ρύπους που επιβαρύνουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας και επιδρούν στην ανθρώπινη υγεία, είναι η αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη και κυρίως το ειπνεύσιμο κλάσμα με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μm.

Γενικά τα αιωρούμενα σωματίδια εκπέμπονται από διάφορες πηγές όπως ηφαιστειακές εκρήξεις, δασικές πυρκαγιές, καύση ορυκτών καυσίμων, καύση βιομάζας κλπ.

Κατά την διάρκεια της οικονομικής κρίσης της προηγούμενης δεκαετίας έγινε εμφανές ότι η αύξηση της τιμής των ορυκτών καυσίμων οδήγησε τους κατοίκους στην αναζήτηση εναλλακτικών, φθηνότερων πηγών ενέργειας όπως ξύλο/βιομάζα.

Η πρακτική αυτή είχε ως αποτέλεσμα σοβαρά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά την ψυχρή περίοδο οδηγώντας σε υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα τόσο σε ελληνικές όσο και γενικότερα σε πόλεις της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου<sup>[1-3]</sup>.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης και πιο συγκεκριμένα των

συγκεντρώσεων των ΑΣ10 κατά την διάρκεια της ψυχρής και θερμής περιόδου σε δύο αντιπροσωπευτικές (σε ότι αφορά την ενεργειακή εξάρτηση για τις ανάγκες οικιακής θέρμανσης) πόλεις της Δυτικής Μακεδονίας.

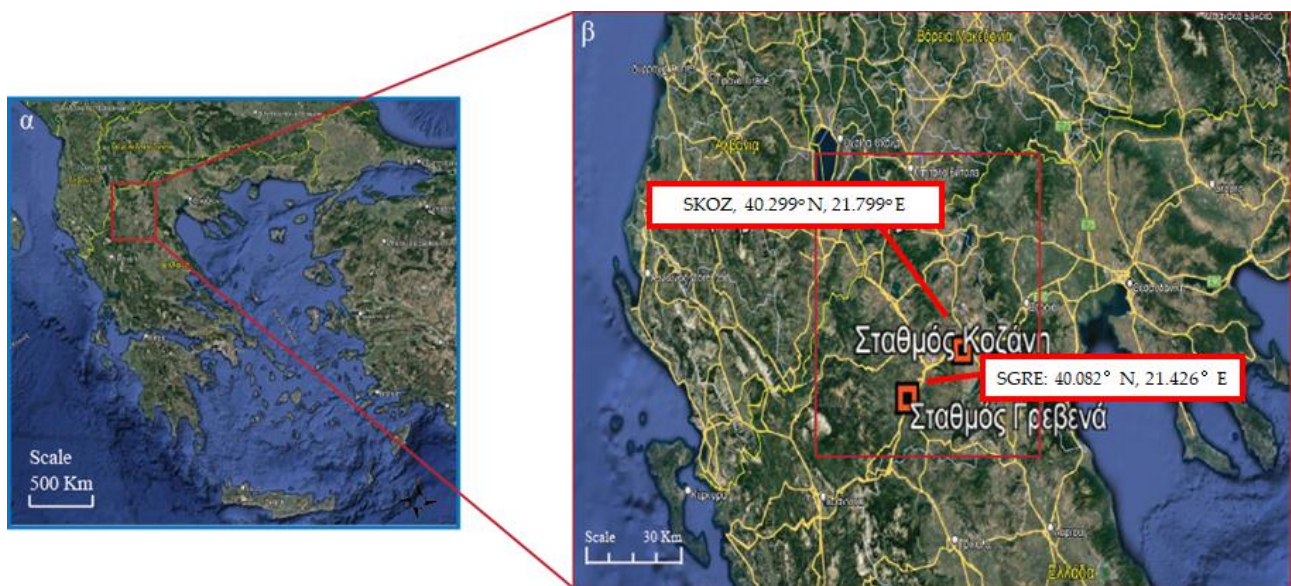
Επιπλέον, με απώτερο σκοπό την εκτίμηση της συνεισφοράς της οικιακής θέρμανσης στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, προσδιορίζονται τα χημικά χαρακτηριστικά (στοιχειακή σύσταση και προσροφημένοι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες) της αερομεταφερόμενης σωματιδιακής ύλης στις περιοχές ενδιαφέροντος.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### Περιοχή Ενδιαφέροντος

Επιλέχθηκαν δύο θέσεις αποδεκτών (Εικόνα 1) με βάση τα χαρακτηριστικά τους:

Ο πρώτος βρίσκεται εντός του δομημένου περιβάλλοντος στην πόλη της Κοζάνης (SKOZ, 40.299° N, 21.799° E, 711 μ. πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, 50000 κάτοικοι), όπου πραγματοποιούνται αστικές δραστηριότητες και κυριαρχούν οι ανθρωπογενείς εκπομπές ενώ οι ενεργειακές ανάγκες για οικιακή θέρμανση καλύπτονται πλήρως από το σύστημα τηλεθέρμανσης. Αφ' ετέρου, ο δεύτερος στην πόλη των Γρεβενών (SGRE, 40.082° N, 21.426° E, 526 m, 16500 κάτοικοι) όπου η βιομάζα (ξύλο και τα παράγωγά της) και η κατανάλωση πετρελαίου είναι οι κύριες πηγές ενέργειας για οικιακή χρήση ενώ υπάρχουν επίσης σημαντικές αστικές δραστηριότητες.



Εικόνα 1. Περιοχή μελέτης.

### Μετρήσεις - Δειγματοληψίες

Πραγματοποιήθηκαν συνεχείς μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων ΑΣ10 στις δύο επιλεγμένες θέσεις για ένα χρονικό διάστημα συνολικά 3 μηνών (Φεβρουάριος, Απρίλιος και Ιούνιος 2022) καλύπτοντας αντιπροσωπευτικά την ψυχρή, μεταβατική και θερμή περίοδο (GRIMM 107). Παράλληλα έγιναν δειγματοληψίες αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης (ΑΣ10) σε PTFE φίλτρα μεμβράνης (teflo, Pall) με την μέθοδο της διήθησης, χρησιμοποιώντας δειγματολήπτες μικρού όγκου ( $2.3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  / PM162M Environment S.A. και Derenda LVS). Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των συλλεχθέντων δειγμάτων έγινε βαρυμετρικά με αναλυτικό μικροζυγό κάτω από σταθερές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας ( $T=22\pm 2\text{C}$ ,  $R.H.=43\pm 5\%$ ). Συνολικά συλλέχθηκαν 12 (SGRE) και 12 (SKOZ) δείγματα για τις δύο θέσεις αντιστοίχως.

## Στοιχειακή Ανάλυση

Επιλεγμένα φίλτρα (9 και 9 αντιστοιχώς για Γρεβενά και Κοζάνη) που αντιστοιχούσαν σε μέρες με υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ10 χωνεύτηκαν με τη βοήθεια ενός Anton Paar Multiwave GO Plus microwave digestion system (Method 3051A) σε 6 ml μίγματος οξέων (3:1 HNO<sub>3</sub> και HCl) υψηλής καθαρότητας. Τα εκχυλίσματα αραιώθηκαν με υπερκάθαρο νερό στα 25 ml και τα τελικά υδατικά διαλύματα αναλύθηκαν με ICP-MS (Agilent 7500) για τον προσδιορισμό των Be, Na, Mg, Al, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Pb, Th and U.

## Εκχύλιση και Προσδιορισμός ΠΑΥ

Το οργανικό κλάσμα των δειγμάτων ΑΣ10 απομονώθηκε με μια διαδικασία δύο βημάτων. Αρχικά, εκχύλιση με τη μέθοδο του βρασμού με επαναροή με 5 ml εξάνιο και στη συνέχεια με τη βοήθεια υπερήχων με 5 ml μείγματος εξανίου – ακετόνης (1/1). Τα εκχυλίσματα των δύο σταδίων συμπυκνώθηκαν μέχρι 0,1 ml με ρεύμα αζώτου και αναλύθηκαν για ΠΑΥ με αέρια χρωματογραφία (Agilent Technologies 6890N).

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τον πίνακα 1 προκύπτει ότι οι μέσες τιμές των ΑΣ10 για τις τρεις περιόδους μετρήσεων κυμαίνονται από 22 – 33 και 13 – 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  για τα Γρεβενά και την Κοζάνη αντιστοιχώς. Παράλληλα, σημειώνονται υπερβάσεις του θεσμοθετημένου ημερήσιου ορίου των 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  σε ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 3,3 -4% και 3,6 – 8% αντιστοιχώς στις δύο θέσεις δειγματοληψίας, όλες να αναφέρονται σε ημέρες που είχαμε σημαντική εισβολή σκόνης από την Σαχάρα και μόνο κατά την διάρκεια της μεταβατικής και θερμής περιόδου.

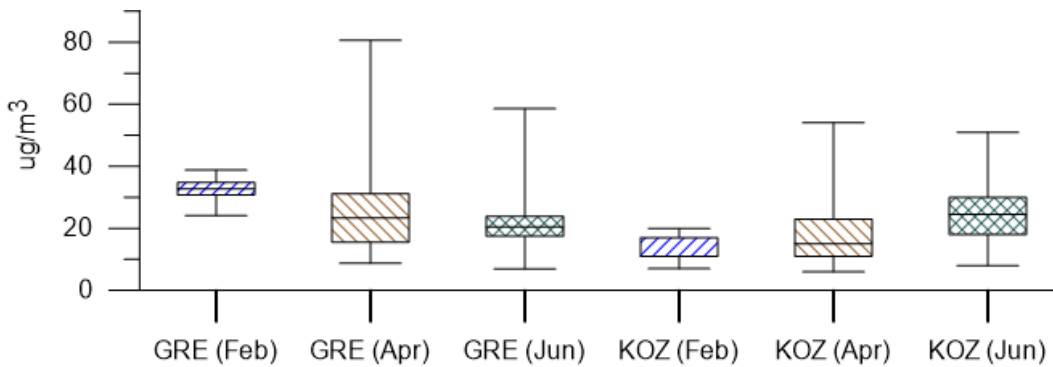
**Πίνακας 1.** Συνοπτικός πίνακας ημερήσιων τιμών ΑΣ10 για τις αντίστοιχες περιόδους δειγματοληψίας

Θέση	Φεβρουάριος ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Απρίλιος ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Ιούνιος ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	Ψυχρή Περίοδος		Μεταβατική Περίοδος		Θερμή Περίοδος	
	ΜΟ	min-max	ΜΟ	min-max	ΜΟ	min-max
Γρεβενά	33	24-39	25 (4%)*	9-81	22 (3.3%)*	7-59
Κοζάνη	13	7-20	19 (8%)*	6-54	25 (3.6%)*	8-51

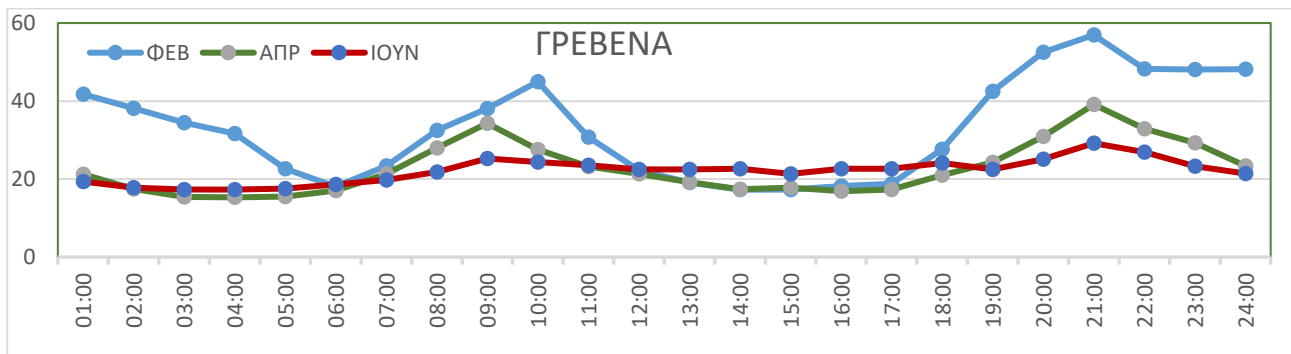
\*ποσοστό % υπερβάσεων του ημερήσιου ορίου των 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Επιπλέον, όπως φαίνεται (σχήμα 1 και πίνακας 1) οι υψηλότερες τιμές στην περίπτωση των Γρεβενών καταγράφονται κατά την διάρκεια της ψυχρής περιόδου ενώ στην Κοζάνη την θερμή, υποδηλώνοντας την συνεισφορά στον κάθε αποδέκτη διαφορετικής πηγής εκπομπής σωματιδιακής ύλης. Στην πόλη των Γρεβενών κυρίαρχο ρόλο στις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων φαίνεται να διαδραματίζει η οικιακή θέρμανση γεγονός που συνάδει με τις αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων ΑΣ10 κατά την χειμερινή περίοδο καθώς επίσης και με την διακύμανση κατά την διάρκεια του 24ώρου (σχήμα 2). Αντίστοιχες περιπτώσεις, που αφορούν όμως συγκεντρώσεις ΑΣ2,5 αναφέρονται στη βιβλιογραφία [2,3]. Όπως προκύπτει, υψηλότερες τιμές σημειώνονται τον Φεβρουάριο (ψυχρή περίοδος) με μέγιστα να καταγράφονται κατά τις πρωινές και βραδινές ώρες γεγονός που πιθανότατα καταδεικνύει ως υπεύθυνη την οικιακή θέρμανση σε συνδυασμό βέβαια με τις επικρατούσες στην περιοχή μετεωρολογικές συνθήκες. Μεταβαίνοντας προς την θερμή περίοδο, χάνεται η χαρακτηριστική διακύμανση και οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων κατά την διάρκεια του

24ώρου εμφανίζουν μια σταθερότητα καταγράφοντας τιμές που θα χαρακτηρίζονταν και ως «υποβάθρου» μιας αστικής περιοχής με τις ανάλογες δραστηριότητες.

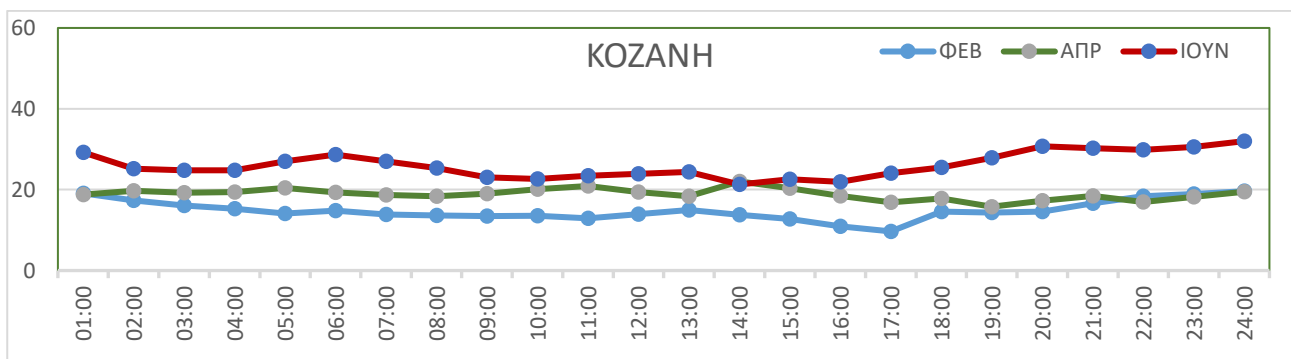


**Σχήμα 1.** Box – whisker διάγραμμα των ημερήσιων τιμών για κάθε περίοδο δειγματοληψίας στους δύο αποδέκτες (SGRE, SKOZ).



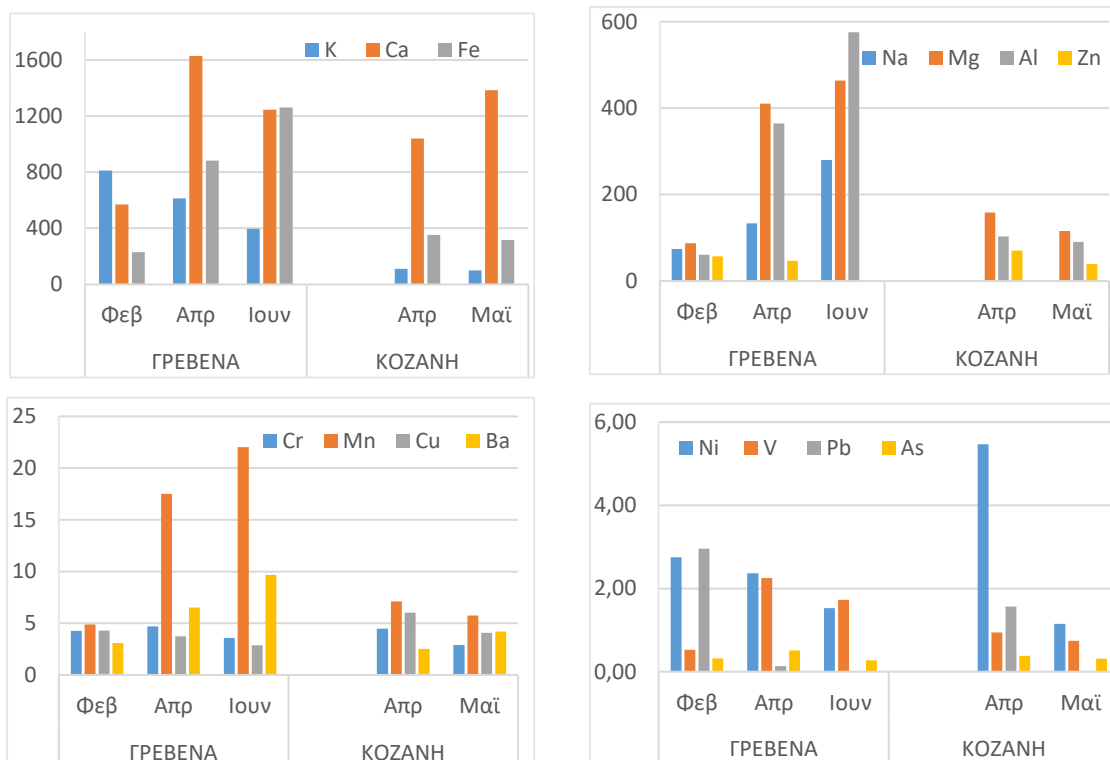
**Σχήμα 2.** Διάγραμμα μέσου 24ώρου για κάθε περίοδο δειγματοληψίας στην πόλη των Γρεβενών.

Αντίθετα στην περίπτωση της Κοζάνης (σχήμα 3), όπου πραγματοποιούνται αστικές δραστηριότητες ενώ οι ενεργειακές ανάγκες για οικιακή θέρμανση καλύπτονται πλήρως από το σύστημα τηλεθέρμανσης, οι μεγαλύτερες τιμές των ΑΣ σημειώνονται την θερμή περίοδο χωρίς σημαντική διακύμανση κατά τη διάρκεια του 24ώρου.



**Σχήμα 3.** Διάγραμμα μέσου 24ώρου για κάθε περίοδο δειγματοληψίας στην πόλη της Κοζάνης.

Η χημική σύσταση των ΑΣ10 στους δύο αποδέκτες παρουσιάζεται στο σχήμα 3. Όπως φαίνεται τα εδαφικής προέλευσης στοιχεία (Ca, Fe, Mg, Al, Mn, Ba) καταγράφουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατά την θερμή περίοδο και στους δυο αποδέκτες. Τα στοιχεία Cu, Pb και Zn τα οποία κυρίως προέρχονται από την φθορά των υλικών των φρένων, των ελαστικών και των γαλβανισμένων τμημάτων των αυτοκινήτων<sup>[4]</sup> δεν εμφανίζουν εποχική εξάρτηση, υποδηλώνοντας γενικότερα ότι η κυκλοφορία των οχημάτων με την επακόλουθη επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου, αποτελούν πλέον την πηγή υποβάθρου για τα ΑΣ10 στις αστικές περιοχές.



**Σχήμα 3.** Μέσες συγκεντρώσεις ανά περίοδο, μετάλλων και μεταλλοειδών στους δύο αποδέκτες Γρεβενά και Κοζάνη.

Σε αντίθεση, οι συγκεντρώσεις του K και του Ni παρουσιάζουν σημαντική εποχική διακύμανση καταδεικνύοντας τα διαφορετικά χαρακτηριστικά σε ότι αφορά την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών για οικιακή θέρμανση των δύο περιοχών αφού αποτελούν δείκτη για την καύση βιομάζας και πετρελαίου αντιστοίχως<sup>[1]</sup>. Συνεπώς, όπως αποδεικνύεται οι υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων ΑΣ10 κατά την ψυχρή περίοδο στην περίπτωση των Γρεβενών μπορούν να αποδοθούν στην κατανάλωση κυρίως ξύλων και προϊόντων αυτών ως πηγή ενέργειας για την θέρμανση των κατοικιών.

Βέβαια πρέπει να σημειωθεί ότι σε όλες τις περιπτώσεις η μέση τιμή του Pb ήταν κάτω από το θεσμοθετημένο όριο ποιότητας εξωτερικού αέρα (μέση ετήσια τιμή  $500 \text{ ng/m}^3$ )<sup>[5]</sup>. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις As, Cd και Ni ήταν χαμηλότερες από τα προτεινόμενα κατώτατα όρια  $6$ ,  $5$  και  $20 \text{ ng/m}^3$  αντιστοίχως<sup>[6]</sup>. Στην περίπτωση του V δεν καταγράφηκε καμία υπέρβαση της 24ωρης οριακής τιμής του  $1 \text{ μg/m}^3$  ενώ τέλος τα επίπεδα συγκεντρώσεων του Mn ήταν χαμηλότερα της ετήσιας τιμής ανοχής όπως αναφέρεται στις κατευθυντήριες οδηγίες του παγκόσμιου οργανισμού υγείας ( $150 \text{ ng/m}^3$ )<sup>[7]</sup>.

Επιπροσθέτως, τα πρώτα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για την ανίχνευση πολυαρωματικών υδρογονανθράκων (ΠΑΥ) συνηγορούν στα παραπάνω, αναδεικνύοντας τον επιβαρυντικό ρόλο της οικιακής θέρμανσης και ειδικότερα της χρήσης βιομάζας για κάλυψη των αστικών ενεργειακών αναγκών, καθιστώντας εμμέσως την οικονομική κρίση ως μείζονα αιτία υποβάθμισης της ποιότητας του αέρα σε επαρχιακές αστικές περιοχές.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πεδίου ΑΣ10 για ένα διάστημα συνολικά 3 μηνών καλύπτοντας αντιπροσωπευτικά την ψυχρή, μεταβατική και θερμή περίοδο. Οι μέσες τιμές περιόδου που καταγράφηκαν δεν υπερέβαιναν σε καμιά περίπτωση το ετήσιο όριο ενώ ήταν σημαντικά υψηλότερες κατά την διάρκεια της ψυχρής περιόδου στην περίπτωση του αποδέκτη όπου η βιομάζα (ξύλο και τα παράγωγά της) και η κατανάλωση πετρελαίου είναι οι κύριες πηγές ενέργειας για οικιακή χρήση.

Οι στοιχειακές αναλύσεις και οι αναλύσεις για ΠΑΥ των δειγμάτων σωματιδιακής ύλης ανέδειξαν τον ρόλο της οικονομικής κρίσης που οδήγησε στην αναζήτηση φθηνότερων πηγών ενέργειας υποδεικνύοντας την καύση βιομάζας ως την σημαντικότερη πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων και την αιτία υποβάθμισης του αέριου περιβάλλοντος στις επαρχιακές αστικές περιοχές.

Λαμβάνοντας υπόψη το μικρό σχετικά χρονικό διάστημα που διενεργήθηκαν οι μετρήσεις καθώς και τον περιορισμένο αριθμό δειγμάτων που αναλύθηκαν, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση του θέματος για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε με την υποστήριξη του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] S.K. Garas, A.G. Triantafyllou, E.I. Tolis, C.N. Diamantopoulos, J.G. Bartzis, (2022). Positive matrix factorization on elemental concentrations of PM10 samples collected in areas within, proximal and far from mining and power station operations in Greece. *Global Nest J.*, pp. 132-142, 10.30955/gnj.003128
- [2] Saffari, A.; Daher, N.; Samara, C.; Voutsas, D.; Kouras, A.; Manoli, E.; Karagkiozidou, O.; Vlachokostas, C.; Moussiopoulos, N.; Shafer, M. M.; Schauer, J. J.; Sioutas, C. Increased Biomass Burning Due to the Economic Crisis in Greece and Its Adverse Impact on Wintertime Air Quality in Thessaloniki. *Environ. Sci. Technol.* **2013**, *47*, 13313– 13320, DOI: 10.1021/es403847h
- [3] DG Kaskaoutis, G Grivas, K Oikonomou, P Tavernarakis, K Papoutsidaki, ... (2022). Impacts of severe residential wood burning on atmospheric processing, water-soluble organic aerosol, and light absorption, in an inland city of Southeastern Europe. *Atmospheric Environment* **280**, 119139.
- [4] Diapouli E., Manousakas M., Vratolis S., Vasilatou V., Maggos Th., Saraga D., Grigoratos Th., Argyropoulos G., Voutsas D., Samara C. and Eleftheriadis K. (2017), Evolution of air pollution source contributions over one decade, derived by PM10 and PM2.5 source apportionment in two metropolitan urban areas in Greece, *Atmospheric Environment*, **164**, 416–430.
- [5] EC (1999), Council Directive 83/399/ECC relating to limit values for sulphur dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. Official Journal of European Communities L 163/99.
- [6] EC, European Commission (2003), Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council, relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. Brussels, 16.7.2003.
- [7] WHO (2000), Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications EurSer No 91, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.