

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΠΗΓΩΝ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΓΡΑΦΕΙΩΝ

Γ. Παπαδόπουλος¹, Β. Σκοπελίτη¹, Ι. Σακελλάρης^{1,2}, Ε. Τόλης¹, Ι. Μπάρτζης¹, Δ. Σαραγά², Γ. Πανάρας^{1*}

¹Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, ΖΕΠ, 50100, Κοζάνη

²Εργαστήριο Ατμοσφαιρικής Χημείας και Καινοτόμων Τεχνολογιών, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, 15310, Αθήνα

(*granaras@uowm.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχει οδηγήσει τον άνθρωπο να καταναλώνει περισσότερο από το 90% της καθημερινότητάς του σε εσωτερικούς χώρους (κατοικία, εργασιακός χώρος, δημόσια κτίρια κ.α.), με αποτέλεσμα η εξασφάλιση ενός υγιεινού και άνετου εσωτερικού περιβάλλοντος να κρίνεται αναγκαία. Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους που σχετίζονται άμεσα με την υγεία των χρηστών εντός των κτιρίων. Μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον όσον αφορά την αποτίμηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα συγκεντρώνει η εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων και πιο συγκεκριμένα τη συσχέτιση μεταξύ χημικών ουσιών και πηγών προέλευσης αυτών. Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ποιότητας αέρα σε τρία κτίρια γραφείων στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, με σκοπό τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων διαφορετικών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) εντός και εκτός αυτών. Το πρώτο κτίριο που επιλέχθηκε να μελετηθεί βρίσκεται εκτός του αστικού ιστού της πόλης της Κοζάνης, ενώ τα άλλα δύο εντός αυτού. Η καμπάνια των μετρήσεων διήρκεσε δέκα μέρες και συλλέχθηκαν συνολικά σαράντα δείγματα ανά κτίριο, τέσσερα κάθε μέρα, εκ των οποίων τα τρία ήταν εσωτερικά του κτιρίου σε ένα επιλεγμένο γραφείο και το ένα εξωτερικά αυτού. Αρχικά, με τη χρήση χρωματογράφου μάζας, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δειγμάτων αυτών για τον υπολογισμό των διαφόρων συγκεντρώσεων των VOCs. Συνολικά αναλύθηκαν είκοσι τρεις διαφορετικές πτητικές οργανικές ενώσεις. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των αναλύσεων εισήχθησαν σε μοντέλο αποδέκτη, με σκοπό την ανίχνευση των πηγών που διαμορφώνουν τις μετρούμενες συγκεντρώσεις (source apportionment). Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε το μοντέλο Positive Matrix Factorization (PMF), το οποίο βασίζεται σε μια εξίσωση ισοζυγίου μάζας και για την εφαρμογή του δεν είναι αναγκαία η εκ των προτέρων γνώση του χημικού προφίλ των πηγών. Τα αποτελέσματα έδειξαν τις κύριες πηγές (εσωτερικά των κτιρίων αλλά και εξωτερικά αυτών).

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ποιότητα εσωτερικού αέρα, Ανίχνευση πηγών, Πτητικές οργανικές ενώσεις, Κτίρια γραφείων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πανδημία του Covid-19 που βιώσαμε τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει στην αναθεώρηση των απαιτήσεων της ποιότητας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων [1]. Κτιριακές μονάδες που εμφανίζουν έντονο συνωστισμό, όπως χώροι γραφείων [2] ή αίθουσες διδασκαλίας [3], συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον. Τα προβλήματα υγείας που προκύπτουν από το επιβαρυσμένο εσωτερικό περιβάλλον σχετίζονται με το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου (Sick Building Syndrome) [4]. Γενικά, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και επομένως τους χρήστες του χώρου. Αυτοί, μπορεί να είναι οι εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον, οι δραστηριότητες των χρηστών του

κτιρίου, τα δομικά υλικά και τα αντικείμενα στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων, καθώς και τα ενεργειακά συστήματα αυτών. Μέσα από τον αερισμό των εσωτερικών χώρων επιτυγχάνεται τόσο η μείωση αερομεταφερομένων σωματιδίων όσο και διάφορων άλλων ρύπων που εντοπίζονται στο εσωτερικό των κτιρίων.

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) αποτελούν μία από τις σημαντικότερες ομάδες ενώσεων που διερευνώνται στο εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων. Οι συγκεντρώσεις πολλών πτητικών ενώσεων είναι αποδεδειγμένα σταθερά υψηλότερες σε εσωτερικούς χώρους από ότι σε εξωτερικούς [4]. Η ικανότητα των VOCs να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία ποικίλει, από εκείνες που είναι εξαιρετικά τοξικές έως εκείνες με πιο ήπια δράση. Ο βαθμός επίδρασης και οι επιπτώσεις εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως ο χρόνος έκθεσης και η συγκέντρωση ρύπου.

Το Source apportionment (SA) είναι η μεθοδολογία ανίχνευσης των πηγών ρύπων και εκτίμησης της συνεισφοράς τους στα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης [5]. Μπορεί να εκτελεστεί χρησιμοποιώντας τρεις κύριες προσεγγίσεις: απογραφές εκπομπών (emission inventories), μοντέλα πηγής (source-oriented models) και μοντέλα αποδέκτη (receptor-oriented models). Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μοντέλα αποδέκτη είναι το χημικό ισοζύγιο μάζας (Chemical Mass Balance – CMB) και η θετική παραγοντοποίηση μήτρας (Positive Matrix Factorization – PMF) [6]. Στο πρώτο, ο αριθμός των πηγών και το προφίλ κάθε πηγής είναι με ακρίβεια γνωστά και δεδομένα ως στοιχεία εισόδου ώστε να εκτιμηθεί η συνεισφορά κάθε πηγής στις μετρούμενες συγκεντρώσεις. Το δεύτερο μοντέλο υποθέτει ελάχιστη εκ των προτέρων γνώση του πλήθους και των προφίλ των πιθανών πηγών και κάνοντας χρήση παραγοντικής ανάλυσης προσδιορίζει τις διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των μετρούμενων ουσιών.

Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα όσον αφορά τις συγκεντρώσεις διαφόρων πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) σε τρία διαφορετικά κτίρια γραφείων στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας και συγκεκριμένα στην πόλη της Κοζάνης. Για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία εσωτερικά και εξωτερικά των κτιρίων. Από την ανάλυση των δειγμάτων υπολογίστηκαν οι συγκεντρώσεις των VOCs, οι οποίες στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση PMF, ώστε να γίνει προσδιορισμός των πηγών από τις οποίες προέρχονται.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα κτίρια που διερευνήθηκαν ήταν τα γραφεία της εταιρίας Τεχνομετόν Α.Ε. (Κτίριο I) που βρίσκεται στο 7^ο χλμ. Κοζάνης-Πτολεμαΐδας, τα γραφεία των εργαστηρίων του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας (Κτίριο II) επί της οδού Αργυροκάστρου στο κέντρο της πόλης, καθώς και ένα γεωπονικό κατάστημα (Κτίριο III) που βρίσκεται και αυτό στο κέντρο της πόλης. Τα γραφεία του πρώτου κτιρίου βρίσκονται στην βιομηχανική περιοχή της πόλης, σε αντίθεση με τα άλλα δύο, ενώ σε κοντινή απόσταση από το κτίριο των γραφείων γίνεται η παραγωγή μπετόν. Όλα τα κτίρια κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αεριζόντουσαν φυσικά, παρά το γεγονός ότι στο κτίριο της Τεχνομετόν υπήρχε η δυνατότητα για μηχανικό αερισμό. Παράλληλα, στο γεωπονικό κατάστημα υπήρχε ανεμιστήρας στο χώρο αποθήκευσης των γεωργικών φαρμάκων με σκοπό την εισαγωγή φρέσκου αέρα στο εσωτερικό αυτού.

Συγκεκριμένα, από τα κτίριο της Τεχνομετόν και της Αργυροκάστρου συλλέχθηκαν 40 δείγματα, 4 κάθε μέρα, εκ των οποίων τα 3 ήταν εσωτερικά του κτιρίου και το 1 στο εξωτερικό του. Η δειγματοληψία γινόταν σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους, μία το πρωί περίπου στις 9 π.μ., μία στις 12 μ.μ., που λάμβανε χώρα και η εξωτερική μέτρηση, και μία πριν οι εργαζόμενοι

αποχωρήσουν από το κτίριο περίπου στις 3 μ.μ. Αντίθετα, οι μετρήσεις στο γεωπονικό κατάστημα πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικούς χώρους του κτιρίου, διερευνώντας διαφορετικά σενάρια αερισμού όσον αφορά την επίδραση που θα είχαν τα γεωργικά φάρμακα στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Η χρονική διάρκεια της κάθε μέτρησης ήταν 30 λεπτά και πραγματοποιήθηκε με ειδικές αντλίες χαμηλού όγκου (SKC) ρυθμού 80 mL/min, όπου σε αυτές τοποθετήθηκαν ειδικά γυάλινα σωληνάκια με Tenax TA (Chrompack). Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των VOCs εφαρμόστηκε η μέθοδος της αέριας χρωματογραφίας με χρήση ανιχνευτή φασματοσκοπίας μάζας στο χρωματογράφο Agilent 6890N/5973.

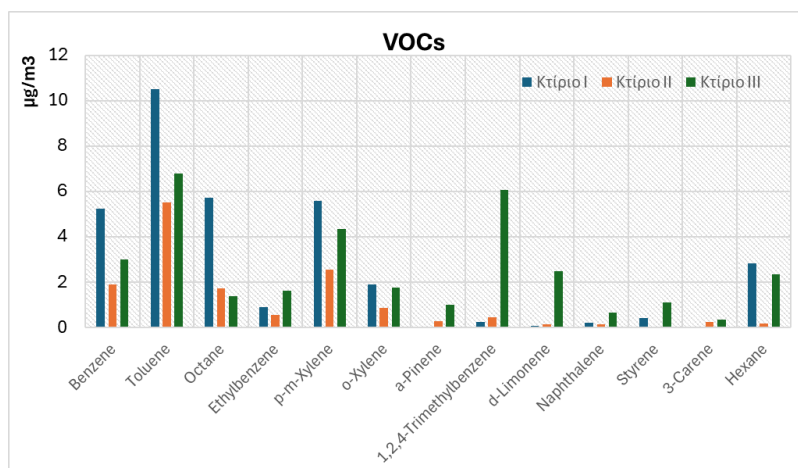


Σχήμα 1. Εικόνες από το πεδίο των μετρήσεων για την ενεργητική μέτρηση VOCs

Για την αντιστοίχιση των χημικών ενώσεων (VOCs) με τις πηγές από τις οποίες προέρχονται, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα PMFv.5 του EPA (Environmental Protection Agency), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη και την ερμηνεία των πηγών προέλευσης των VOCs που επιδρούν αρνητικά στην ποιότητα του αέρα. Το συγκεκριμένο είναι ένα μαθηματικό μοντέλο αποδέκτη που παρέχει επιστημονική υποστήριξη για την ανάπτυξη και εφαρμογή προτύπων ποιότητας αέρα και νερού. Ως δεδομένα εισόδου ζητήθηκαν οι συγκεντρώσεις όλων των υπό μελέτη χημικών ουσιών σε κάθε δείγμα, καθώς και το ποσοστό αβεβαιότητας της αναλυτικής διαδικασίας που συνδέεται με κάθε μία.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στα παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 2) παρουσιάζονται οι μέσες συγκεντρώσεις των σημαντικότερων πτητικών οργανικών ενώσεων και για τα τρία κτίρια.



Σχήμα 2. Μέσες τιμές πτητικών οργανικών ενώσεων των τριών κτιρίων (VOCs)

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται για το Κτίριο Ι, όπου είναι αυτές του βενζολίου, όπου αγγίζει το όριο του 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [4], του τουλουόλιου, του οκτανίου και του π-μ-ξυλόλιου. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο Κτίριο ΙΙΙ, ενώ στο Γεωπονικό (Κτίριο ΙΙ) οι υψηλότερες είναι αυτές του τουλουόλιου και του 1,2,4 τριμεθυλοβενζολίου.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του προγράμματος PMF για την αντιστοίχιση των πτητικών οργανικών ενώσεων με τις πηγές προέλευσης αυτών. Στην συνέχεια γίνεται ανάλυση αυτών των αποτελεσμάτων ανά κτίριο.

Πίνακας 1. Αντιστοίχιση των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) με τις πηγές προέλευσης αυτών

VOCs (tracer)	Πηγή εκπομπής VOC (source)								
	Κάπνισμα τσιγάρου	Εξατμίσεις οχημάτων	Κίνηση οχημάτων	Φυτοφάρμακα	Φυτά εσωτερικού χώρου	Καταναλωτικά προϊόντα με άρωμα	Καθαριστικά προϊόντα	Εργαστηριακά χημικά	Δεξαμενή καυσίμου
Benzaldehyde (Βενζαλδεΐδη)									
Benzene (Βενζόλιο)	x	x	x				x		
2-Butoxyethanol (2-Βουτοξυαιθανόλη)									
Butyl acetate (Βουτυλεστέρας)									
3-Carene (3-Καρένιο)									
Decanal (Δεκανάλη)								x	
Dihydromyrcenol (2,6-Διμεθυλ-7-οκτεν-2-όλη)									
Ethylbenzene (Αιθυλοβενζόλιο)	x	x	x				x		
n-Heptanal (n-Επτανάλη)								x	
Hexane (Εξάνιο)	x								
d-Limonene (d-Λιμονένιο)						x			
Linalool (Λιναλοόλη)									
Naphthalene (Ναφθαλίνη)	x			x					x
Nonanal (Εννεαλδεΐδη)								x	
Octanal (Οκτανάλη)									
Octane (Οκτάνιο)		x	x						
α -Pinene (α -Πινένιο)					x	x			
β -Pinene (β -Πινένιο)						x			
Styrene (Στυρένιο)	x	x				x			
Tetrachloroethylene (Τετραχλωροαιθυλένιο)				x		x			
Toluene (Τολουόλιο)	x	x	x				x		
Trichloroethylene (Τριχλωροαιθυλένιο)						x			
1,2,3-Trimethylbenzene (1,2,3-Τριμεθυλοβενζόλιο)			x						x
1,2,4-Trimethylbenzene (1,2,4-Τριμεθυλοβενζόλιο)			x	x					x
o-Xylene (o-Ξυλόλιο)		x	x				x		
p-m-Xylene (p-m-Ξυλόλιο)		x	x				x		

Κτίριο Ι – ΤΕΧΝΟΜΠΕΤΟΝ Α.Ε.

Στο εν λόγω κτίριο, και λόγω της χρήσης του αλλά και με βάση τις παρατηρήσεις των υπεύθυνων δειγματοληψίας, αναμένονται οι επόμενοι τύποι πηγών επιβάρυνσης του εσωτερικού περιβάλλοντος να είναι εξατμίσεις οχημάτων, διερχόμενων από τις κεντρικές οδούς πλησίον του κτιρίου, κίνηση οχημάτων (σ.σ. traffic), κάπνισμα τσιγάρων, προϊόντα καθαρισμού χώρων και καταναλωτικά προϊόντα με άρωμα (π.χ. αποσμητικά, κολόνιες κ.α.).

Από την ανάλυση PMF αποκλείστηκαν (ορισμός ως bad species στο μοντέλο) οι εξής χημικές ουσίες: α -Pinene, d-Limonene, β -Pinene, Trichloroethylene, Tetrachloroethylene, Butyl Acetate, 3-Carene, καθώς η πλειοψηφία των δειγμάτων τους αφορούσε συγκεντρώσεις κάτω από το όριο

ανίχνευσης του μετρητικού οργάνου. Ακόμη, δόθηκε μικρότερη βαρύτητα (ορισμός ως weak species) στην επίδραση των n-heptanal και octanal και πάλι λόγω αρκετών συγκεντρώσεων υπό του ορίου ανίχνευσης. Επιλέχθηκε επιπλέον 10% αβεβαιότητα (extra modeling uncertainty) και έγινε μελέτη περίπτωσης για 3, 4 και 5 παράγοντες (factors) μέχρι τελικώς να αποφασισθεί πως οι 3 αρκούν, κυρίως λόγω του ότι ήταν δυνατή η φυσική ερμηνεία τους.

Ο παράγοντας 1 αποτελείται, με φθίνουσα σειρά ποσοστού, κατά βάση από Octane, Hexane, Toluene, p-m-Xylene, o-Xylene, Benzene και Ethylbenzene υποδεικνύοντας πως αφορά τις **εξατμίσεις των οχημάτων**. Ο παράγοντας 2, ομοίως, αποτελείται κυρίως από 1,2,3-Trimethylbenzene, 1,2,4-Trimethylbenzene, Naphthalene και Ethylbenzene, άρα προκύπτει από τη **χρήση αρωματικών προϊόντων** από τους χρήστες του κτιρίου. Ο παράγοντας 3, αποτελείται κατά βάση από Decanal, Octanal, N-heptanal, Styrene και Nonanal, πιθανώς από το **κάπνισμα** των εργαζομένων στους χώρους των γραφείων.

Κτίριο II – Εργαστήρια Π.Δ.Μ.

Στο συγκεκριμένο κτίριο, και λόγω της χρήσης του αλλά και με βάση τις παρατηρήσεις των υπεύθυνων δειγματοληψίας, αναμένονται οι ακόλουθοι τύποι πηγών όπως εξατμίσεις οχημάτων διερχόμενων από τις κεντρικές οδούς πλησίον του κτιρίου, κίνηση οχημάτων, καταναλωτικά προϊόντα με άρωμα, χημικά για εργαστηριακή χρήση και άκαυστο καύσιμο (πετρέλαιο) θέρμανσης λόγω υπάρχουσας δεξαμενής φύλαξής του.

Από την ανάλυση αποκλείστηκαν (ορισμός ως bad) οι επόμενες χημικές ουσίες: α-Pinene, d-Limonene, Styrene, beta-Pinene, 3-Carene, Hexane, Trichloroethylene, Tetrachloroethylene, Butyl Acetate, καθώς η πλειοψηφία των δειγμάτων τους αφορούσε συγκεντρώσεις κάτω από το όριο ανίχνευσης του μετρητικού οργάνου. Ακόμη, δόθηκε μικρότερη βαρύτητα (ορισμός ως weak) στην επίδραση του 1,2,3-Trimethylbenzene. Επιλέχθηκε επιπλέον 10% αβεβαιότητα και έγινε μελέτη περίπτωσης για 3, 4 και 5 παράγοντες μέχρι τελικώς να αποφασισθεί πως οι 4 αρκούν.

Ο παράγοντας 1 αποτελείται, με φθίνουσα σειρά ποσοστού, κατά βάση από N-heptanal, Octane, Decanal και Nonanal, σηματοδοτώντας τη χρήση **εργαστηριακών χημικών ουσιών** όπως διαλύτες, αντιδραστήρια κ.α. Ο παράγοντας 2, αποτελείται κυρίως από Benzene, Toluene και Benzaldehyde και αφορά στην **κίνηση οχημάτων** έξω από το κτίριο. Ο παράγοντας 3, διαμορφώνεται κατά βάση από o-Xylene, p-m-Xylene και Ethylbenzene από τη **χρήση καταναλωτικών αρωματικών προϊόντων**. Τέλος, ο παράγοντας 4 συνίσταται κυρίως από Naphthalene, 1,2,4-Trimethylbenzene, 1,2,3-Trimethylbenzene και Octanal, λόγω του **πετρελαίου** που φυλάσσεται στη δεξαμενή.

Κτίριο III – Γεωπονικό κατάστημα

Σε αυτό το κτίριο, και λόγω της χρήσης του αλλά και με βάση τις παρατηρήσεις των υπεύθυνων δειγματοληψίας, αναμένονται οι ακόλουθοι τύποι πηγών: Εξατμίσεις οχημάτων, κάπνισμα τσιγάρων, εκπομπές από φυτοπροστατευτικά προϊόντα φάρμακα και φυτά.

Από την ανάλυση αποκλείστηκαν (ορισμός ως bad) οι επόμενες χημικές ουσίες: 3-Carene, Trichloroethylene, 2-Butoxyethanol, Linalool, Dihydromyrcenol, καθώς η πλειοψηφία των δειγμάτων τους αφορούσε συγκεντρώσεις κάτω από το όριο ανίχνευσης του μετρητικού οργάνου. Επιλέχθηκε επιπλέον 10% αβεβαιότητα και έγινε μελέτη περίπτωσης για 4, 5 και 6 παράγοντες μέχρι τελικώς να αποφασισθεί πως οι 5 αρκούν.

Ο παράγοντας 1 αποτελείται κατά βάση από α-Pinene και πιθανώς συνδέεται με **βιογενείς εκπομπές από τα φυτά** στο εσωτερικό. Ο παράγοντας 2 αποτελείται κυρίως από Benzene, Toluene, p-m-Xylene και o-Xylene και προέρχεται από τα **οχήματα**. Ο παράγοντας 3, αποτελείται

κατά βάση από 1,2,4-Trimethylbenzene και Tetrachloroethylene και οφείλεται στα **γεωργικά φάρμακα** που φυλάσσονται στην αποθήκη πλησίον των γραφείων. Τέλος, ο παράγοντας 4 συνίσταται κυρίως από Naphthalene, Styrene και d-Limonene, ενώσεις που απελευθερώνονται κατά το **κάπνισμα**, ενώ ο παράγοντας 5 από Tetrachloroethylene, d-Limonene και Styrene που περιέχονται σε **αρωματισμένα καταναλωτικά προϊόντα**.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διερεύνηση παρουσιάζει ενδιαφέροντα στοιχεία, όσο αφορά την ποιότητα εσωτερικού αέρα σε κτίρια γραφείων διαφορετικού τύπου. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των μετρήσεων των πτητικών οργανικών ενώσεων έδειξε ότι το κτίριο I είναι το πιο επιβαρυνόμενο σε σχέση με τα άλλα δύο. Οι συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων που υπολογίστηκαν, στη συνέχεια, εισήχθησαν στο μοντέλο της PMF με σκοπό την εύρεση των πηγών εκπομπής πτητικών οργανικών ενώσεων. Τα αποτελέσματα του μοντέλου έδειξαν πως ενώσεις όπως το βενζόλιο, τουλουόλιο και τα ξυλόλια προέρχονται κυρίως από πηγές που υπάρχουν στο εξωτερικό περιβάλλον, ενώ στο κτίριο III η παρουσία α-πινένιου οφείλεται στην ύπαρξη φυτών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι ενώσεις που προέρχονται από τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα όπως το τετραχλωροαιθυλένιο, ενώ το κάπνισμα και η χρήση αρωματικών προϊόντων οδηγούν στην εκπομπή μιας πληθώρας διάφορων πτητικών ενώσεων όπως παρουσιάστηκε. Γενικότερα, τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση πηγών εκπομπής διάφορων χημικών ενώσεων είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την βελτίωση της ποιότητας του αέρα, καθώς και στον προσδιορισμό των πηγών με μεγαλύτερη ακρίβεια. Μελλοντικά θα μπορούσε να γίνει η εφαρμογή των μοντέλων για τον εντοπισμό πηγών διαφορετικών χημικών ενώσεων όπως και αιωρούμενων σωματιδίων, αλλά και η εφαρμογή αυτών σε διαφορετικούς και περισσότερους τύπους κτιρίων. Παράλληλα, ενδιαφέρον παρουσιάζει η προτυποποίηση μιας τέτοιας μεθόδου, τόσο σε επίπεδο δειγματοληψίας όσο και ανάλυσης, ώστε να συνοδεύει αντίστοιχες διερευνήσεις ποιότητας αέρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Awada, M., Becerik-Gerber, B., White, E., Hoque, S., O'Neill, Z., Pedrielli, G., Wen, J., Wu, T., (2022). Occupant health in buildings: Impact of the COVID-19 pandemic on the opinions of building professionals and implications on research. *Building and Environment* 207, 108440.
- [2] Sakellaris, I., Papadopoulos, G., Saraga, D., Xenofontos, T., Tolis, E., Panaras, G., Bartzis, J., 2023. Air Quality Versus Perceived Comfort and Health in Office Buildings at Western Macedonia Area, Greece during the Pandemic Period.
- [3] Miranda, M.T., Romero, P., Valero-Amaro, V., Arranz, J.I., Montero, I., (2022). Ventilation conditions and their influence on thermal comfort in examination classrooms in times of COVID-19. A case study in a Spanish area with Mediterranean climate. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 240, 113910.
- [4] WHO. WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants; WHO: Geneva, Switzerland, 2010
- [5] Saraga DE, Querol X, Duarte RMBO, Aquilina NJ, Canha N, Alvarez EG, Jovasevic-Stojanovic M, Bekö G, Byčenkienė S, Kovacevic R, Plauškaitė K, Carslaw N. (2023) Source Apportionment for Indoor Air Pollution: Current Challenges and Future Directions. *Science of The Total Environment*, 900, 165744.
- [6] Paatero, P., Tapper, U., 1994. Positive matrix factorization: a non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. *Environmetrics* 5 (2), 111–126.