

**UNIVERSITATEA „AUREL VLAICU” DIN ARAD  
ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ  
DOMENIUL: INGINERIA MEDIULUI**



**REZUMAT**

**Contribuții privind determinarea poluanților din spații închise**

Maria Andreea POPA (căș. ȚEPENEU)

COORDONATOR ȘTIINȚIFIC:

Prof. univ. dr. habil. Lucian COPOLOVICI

**ARAD  
2024**

## CUPRINS

INTRODUCERE.....	3
OBIECTIVE.....	4
PARTE EXPERIMENTALĂ.....	5
DETERMINAREA CALITĂȚII AERULUI DINTR-UN MAGAZIN GENERAL.....	5
Introducere.....	5
Determinarea concentrației de formaldehidă.....	5
Determinarea concentrației de compuși organici volatili din magazin .....	6
Determinarea concentrațiilor de particule în suspensie din magazin .....	7
Determinarea compoziției chimice a prafului acumulat în magazin .....	9
Concluzii.....	11
VARIABILITATEA POLUANȚILOR DIN AERUL INTERIOR AL BIROURILOR ȘI IMPACTUL ACESTORA ASUPRA SĂNĂTĂȚII LUCRĂTORILOR.....	12
Introducere.....	12
Determinarea concentrației de formaldehidă în birouri.....	12
Variația concentrației de compuși organici volatili .....	13
Variația concentrațiilor de pulberi în suspensie .....	13
Determinarea compoziției prafului din interior utilizând tehnica FTIR.....	15
Impactul asupra sănătății umane.....	16
Concluzii.....	17
CONCLUZII GENERALE .....	18
LIMITE ȘI PERSPECTIVE.....	19
BIBLIOGRAFIE .....	21

## INTRODUCERE

Nivelul de urbanizare a cunoscut o creștere exponențială, iar în prezent, aproximativ jumătate din populația globală își desfășoară activitatea în mediul urban. Acest fenomen a atras atenția asupra riscurilor implicate pentru mediul înconjurător, resurselor naturale și sănătății publice. Orașele au devenit tot mai mult o sursă de degradare a mediului și epuizare a resurselor în ultimele decenii [1].

Poluarea aerului este recunoscută de Organizația Mondială a Sănătății (OMS) ca o problemă globală de sănătate publică, definindu-se prin prezența în atmosferă a particulelor nocive provenite din diverse surse [2].

Cercetările privind calitatea aerului interior au cunoscut o expansiune semnificativă începând cu anii '70, odată cu conștientizarea schimburilor de aer cu mediul exterior [3]. IAQ este afectată de sursele exterioare, caracteristicile clădirii, în special de ventilație și de parametri fizici (cum ar fi umiditatea relativă și temperatura), dar nu trebuie ignorate sursele de emisii interne și variabilitățile parametrilor din interior [4].

Poluanții din mediul interior pot proveni din surse exterioare și pot fi transportați în interior prin intermediul ferestrelor deschise sau al ventilației, sau își pot avea originea în interior [5, 6]. Astfel, calitatea aerului ambiental (exterior) influențează direct calitatea aerului din interior [7], care este cu aproximativ 5-10% mai slabă decât cea a mediului exterior [8, 9]. Printre compușii utilizați pentru evaluarea IAQ, OMS enumeră radonul, dioxidul de azot, hidrocarburile aromatice policiclice, formaldehida, compuși organici volatili, particulele în suspensie, dioxidul de carbon, dioxidul de sulf, oxidul de azot, compușii organici semivolatili și contaminanții biologici [4, 10].

Mediile interioare, cum ar fi locuințele, birourile și alte spații închise, pot deveni adesea rezervoare pentru o varietate de poluanți chimici și biologici. Acești poluanți provin dintr-o gamă largă de surse, inclusiv materialele de construcție (cum ar fi vopselele, adezivii și izolația), mobilierul (care poate emite formaldehida și alți compuși organici volatili), procesele de ardere (de exemplu, gătitul, încălzirea și fumatul în interior), activitățile de curățare (prin utilizarea produselor chimice de curățare), precum și din aerul exterior care intră în spațiile închise și poate aduce cu sine poluanți precum ozonul și particulele în suspensie. În plus, anumite reacții chimice secundare care au loc în interior pot crea noi poluanți din cei existenți. Expunerea la acest amestec complex de poluanți în mediile interioare este o preocupare majoră pentru sănătatea publică. Poluanții din interior pot cauza o gamă largă de probleme de sănătate, de la iritații minore ale ochilor, nasului și gâtului, la efecte mai grave, cum ar fi exacerbarea astmului, probleme respiratorii, reacții alergice și chiar efecte pe termen lung cum ar fi boli cardiovasculare și cancer. Recunoașterea importanței calității aerului interior a determinat instituții internaționale și naționale, cum ar fi Organizația Mondială a Sănătății (OMS) și Agenția pentru Protecția Mediului (EPA) din Statele Unite, să abordeze această problemă prin dezvoltarea de ghiduri și standarde pentru evaluarea riscurilor asociate cu poluanții interiori. Aceste organizații subliniază necesitatea de a îmbunătăți calitatea aerului interior prin ventilație adecvată, utilizarea materialelor și produselor mai puțin toxice, precum și prin implementarea unor practici eficiente de curățare și întreținere [11].

## OBIECTIVE

### Obiectivele propuse în prezenta teză de doctorat sunt:

1. Să determine concentrațiile de formaldehidă, compuși organici volatili (COV), particule în suspensie (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>) și dioxid de carbon (CO<sub>2</sub>) în diferite zone ale unui magazin general și a unei clădiri de birouri pentru a evalua calitatea aerului interior.
2. Să identifice și să caracterizeze principalele surse de poluanți aerieni din magazinul general și birouri, inclusiv materiale de construcție, mobilier, activități umane și sisteme de ventilație.
3. Să compare datele colectate cu standardele și ghidurile existente pentru calitatea aerului interior pentru a evalua conformitatea cu standardele și ghidurile Agenției pentru Protecția Mediului sau ale Organizației Mondiale a Sănătății.
4. Să analizeze compoziția chimică a prafului acumulat în magazin și birouri, folosind tehnici de analiză precum spectrometria FTIR, pentru a evidenția prezența posibililor iritanți sau alergeni.
5. Să evalueze impactul expunerii la poluanții identificați asupra sănătății angajaților și clienților magazinului general și a lucrătorilor din birouri, prin aplicarea unui chestionar pentru identificarea simptomelor sindromului clădirii bolnave (SBS).
6. Să propună măsuri specifice și eficiente pentru îmbunătățirea calității aerului interior, bazate pe rezultatele studiului, pentru a reduce expunerea la poluanți și a ameliora sănătatea și confortul ocupanților.
7. Să evalueze variațiile sezoniere și zilnice ale nivelurilor de poluanți în aerul interior, pentru a înțelege dinamica calității aerului în funcție de schimbările ambientale și de activitatea umană.

## PARTE EXPERIMENTALĂ

### DETERMINAREA CALITĂȚII AERULUI DINTR-UN MAGAZIN GENERAL

#### Introducere

Magazinele și centrele comerciale au un design spațial specific, caracterizat prin varietate și complexitate. Această particularitate a mediului lor fizic influențează comportamentul și confortul vizitatorilor. Diferențele față de clădirile rezidențiale și de birouri sunt importante și se datorează naturii specifice a acestor spații comerciale.

#### Determinarea concentrației de formaldehidă

Studiul nostru a avut ca scop investigarea concentrațiilor de formaldehidă în diferite raioane ale unui centru comercial pe parcursul orelor de program (Figura 1) [12].

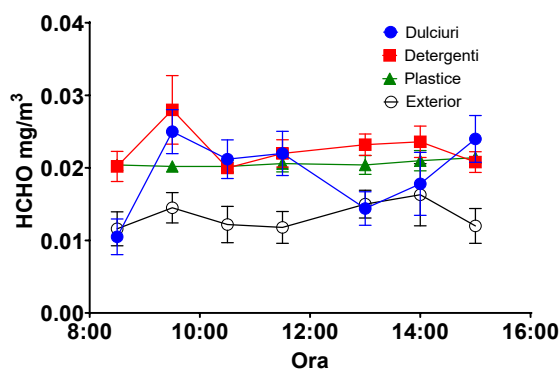


Figura 1. Variațiile concentrației de formaldehidă pe parcursul orelor de lucru în 3 departamente diferite și în exterior.

Concentrațiile de formaldehidă nu au fost semnificativ diferite pentru diferitele departamente (One way ANNOVA,  $p=0,67$ ), dar sunt semnificativ mai mari decât concentrațiile din exterior ( $p<0,05$ ) (Figura 2).

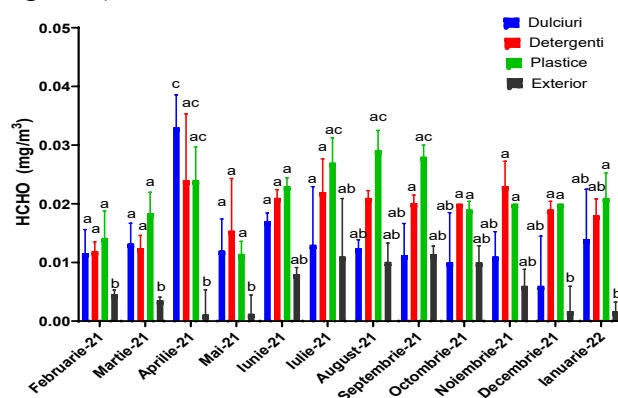


Figura 2. Variații lunare ale concentrației de formaldehidă pe parcursul unui an de măsurători în 3 departamente diferite și în exterior. Datele cu litere diferite sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ), în timp ce datele cu aceleași litere nu sunt semnificativ diferite ( $p > 0,05$ ). Valorile reprezintă mediile a trei măsurători independente.

Concentrația de formaldehidă în interiorul magazinului variază pe parcursul unui an între 6 și 33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ceea ce este sub 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (pragul pentru instalațiile de uz public) și în același

interval ca cel raportat într-un studiu anterior realizat în Hong Kong (interval de la 15 la 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) [13].

### Determinarea concentrației de compuși organici volatili din magazin

Concentrațiile de compuși organici volatili totali nu variază în timpul programului de lucru (Figura 3).

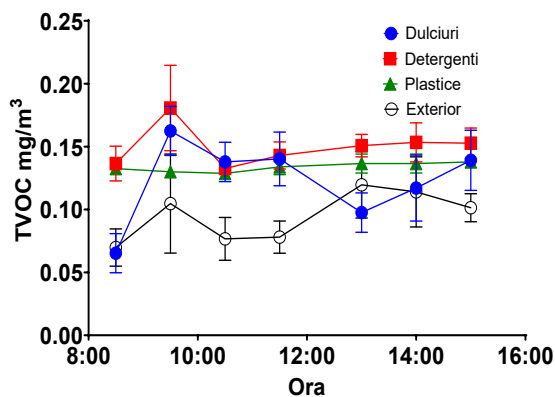


Figura 3. Variații ale concentrației de compuși organici volatili totali pe parcursul orelor de lucru în 3 departamente diferite și în exterior.

Rezultatele noastre indică faptul că nivelurile de COV în interiorul magazinului se mențin relativ constante pe durata orelor de lucru, în jurul valorii de 0,15  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Concentrația totală de compuși organici volatili nu a fost semnificativ diferită pentru diferitele departamente ( $p = 0,107$ ) (Figura 3). Valorile medii anuale au fost semnificativ mai mari pentru departamentele de detergenți și plastic (comparativ cu exteriorul  $0,14 \pm 0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$  și, respectiv,  $0,16 \pm 0,07 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) în comparație cu valoarea din exterior ( $0,07 \pm 0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$ ). În cazul departamentului de dulciuri, concentrația de COV pe parcursul anului nu este semnificativ diferită față de valoarea exterioară ( $p > 0,05$ ).

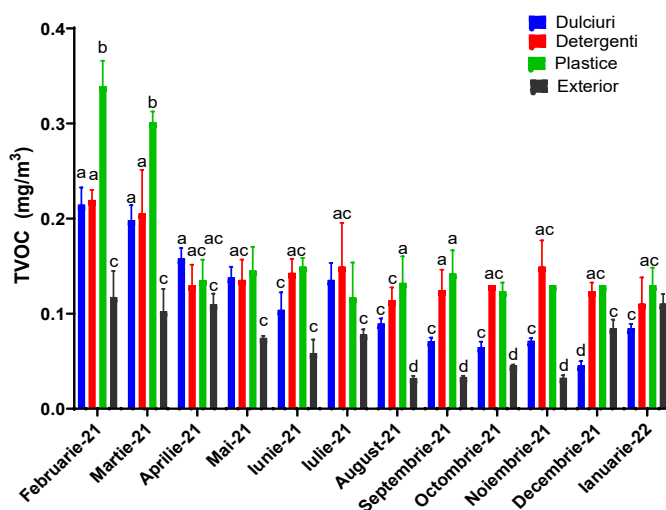


Figura 4. Variații lunare ale concentrației de compuși organici volatili totali pe parcursul unui an de măsurători în 3 departamente diferite și în exterior. Datele care împart litere diferite sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ), în timp ce datele care împart aceleași litere nu sunt semnificativ diferite ( $p > 0,05$ ). Valorile reprezintă mediile a trei măsurători independente.

Valorile medii ale concentrației de acid lactic pe parcursul anului pentru departamentul de dulciuri, detergenți și plastic au fost de  $44 \pm 11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $43 \pm 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  și  $38 \pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectiv, în timp ce valoarea medie în exterior a fost de  $3,5 \pm 1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 5).

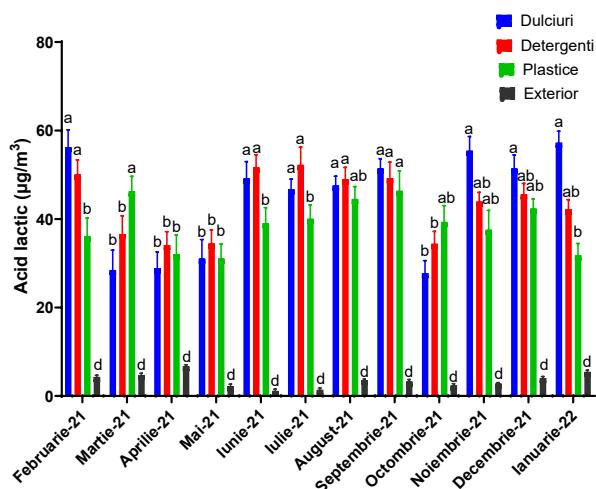


Figura 5. Variații lunare ale concentrației de acid lactic pe parcursul unui an de măsurători în 3 departamente diferite și în exterior. Datele cu litere diferite sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ), în timp ce datele cu aceleași litere nu sunt semnificativ diferite ( $p > 0,05$ ). Valorile reprezintă mediile a trei măsurători independente.

Concentrația de BTEX și monoterpene pe parcursul unui an este prezentată în figura 6. Concentrația medie de toluen în departamentul de dulciuri este de  $3,43 \pm 0,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , în departamentul de detergenți este de  $3,43 \pm 0,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , în departamentul de plastic  $3,56 \pm 0,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , fără diferențe statistice între valorile medii anuale pentru departamente ( $p=0,495$ ). În afara magazinului, concentrația de toluen a fost de  $1,50 \pm 0,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  semnificativ mai mică decât în interiorul magazinului ( $p<0,05$ ). Concentrațiile de toluen în afara magazinului în lunile reci (decembrie-martie;  $2,72 \pm 0,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) au fost mai mari decât în perioada caldă ( $0,89 \pm 0,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### Determinarea concentrațiilor de particule în suspensie din magazin

Studiul a evaluat nivelurile de particule în suspensie, specifice dimensiunilor  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ , și  $\text{PM}_{10}$ , în interiorul unui magazin comercial, comparându-le cu variațiile înregistrate în aerul exterior pe parcursul unei zile de lucru și pe parcursul unui an calendaristic. Analiza noastră indică faptul că, în interiorul magazinului, concentrațiile de  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ , și  $\text{PM}_{10}$  rămân relativ constante pe parcursul zilei, evidențiind o stabilitate a calității aerului interior în contrast cu variațiile semnificative observate în exterior. În exterior, nivelurile acestor particule prezintă fluctuații notabile atât între diferite ore ale zilei cât și în comparație la aceeași oră în zile diferite, așa cum este ilustrat în Figura 7.

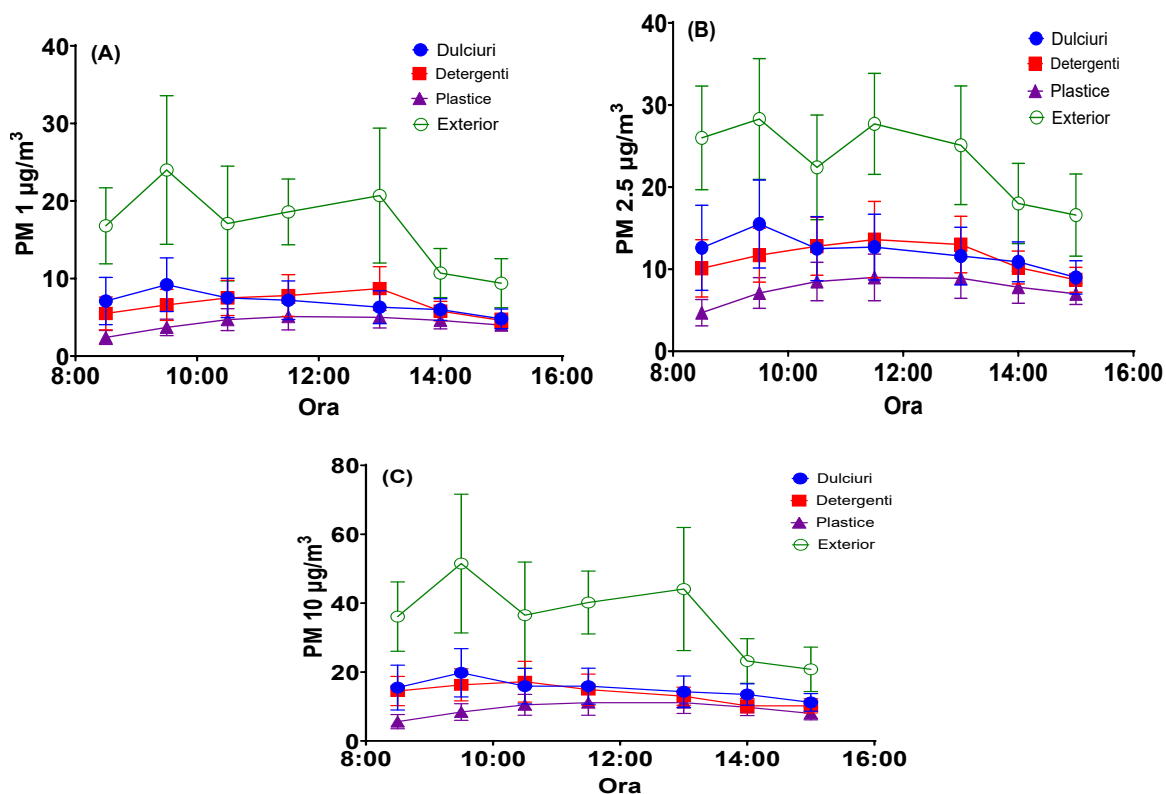
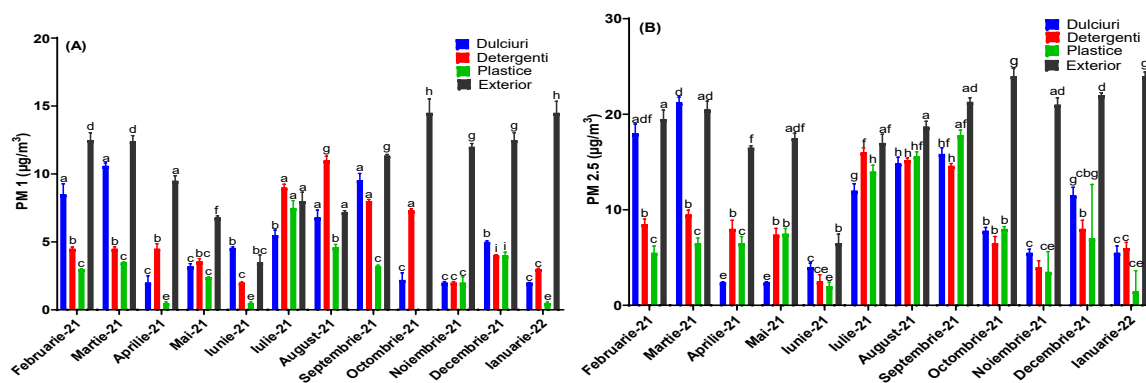


Figura 7. Variații ale concentrațiilor de PM<sub>1</sub> (A), PM<sub>2,5</sub> (B) și PM<sub>10</sub> (C) pe parcursul orelor de lucru în 3 departamente diferite și în exterior.

Concentrațiile de PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> și PM<sub>10</sub> sunt mai mari în exterior decât în interiorul magazinului. Nu există o tendință clară în ceea ce privește concentrațiile de PM în diferite departamente. Mai mult, concentrația de PM în departamentele de dulciuri este mai mare în februarie și martie, dar în restul anului nu diferă semnificativ de celelalte departamente. Media anuală a concentrației PM<sub>1</sub> în exterior a fost de  $10,4 \pm 3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , concentrația PM<sub>2,5</sub> a fost de  $19,0 \pm 4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  și concentrația PM<sub>10</sub> a fost de  $25,4 \pm 5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cea mai mare valoare a concentrației de PM<sub>2,5</sub> a fost constatată în luna octombrie, la un nivel de  $24,0 \pm 0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . În cadrul magazinului, cele mai mici concentrații de particule în suspensie în aer au fost găsite în luna octombrie și noiembrie. De asemenea, aceste constatări sugerează că principalele surse de particule în suspensie din interiorul magazinului provin din exterior, având în vedere raporturile reduse ale concentrațiilor interioare comparativ cu cele exterioare





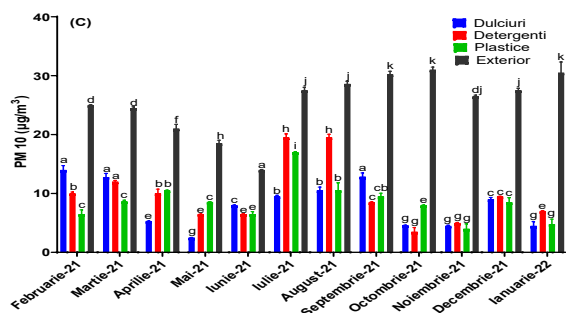


Figura 8. Variații lunare ale concentrațiilor de PM<sub>1</sub> (A), PM<sub>2,5</sub> (B) și PM<sub>10</sub> (C) pe parcursul unui an de măsurători în 3 departamente diferite și în exterior.

S-a constatat o concentrație mult mai mică de PM<sub>2,5</sub> în magazin decât în alte studii [13-15], ceea ce ar putea fi clarificat de o strategie de curățare mai bună care a fost implementată în timpul pandemiei COVID-19.

### Determinarea compoziției chimice a prafului acumulat în magazin

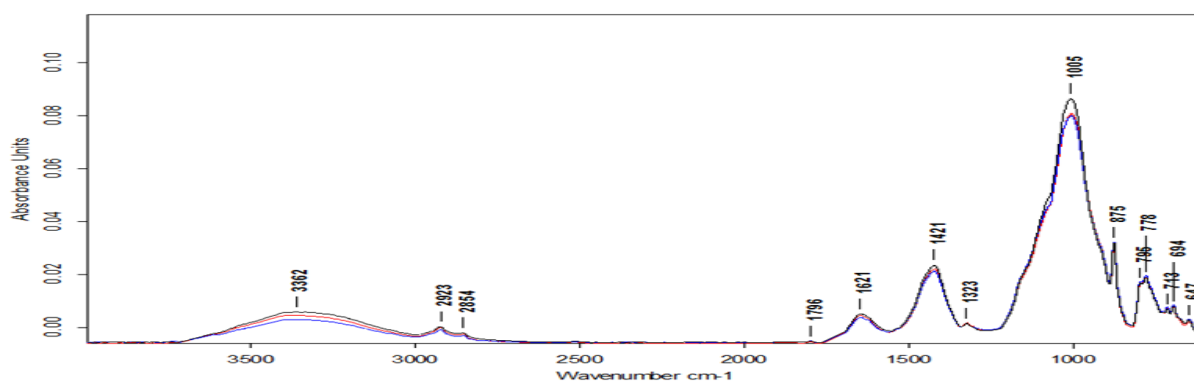


Figura 9. Spectrele FTIR-ATR ale probelor de praf colectate în exteriorul magazinului.

Prezența mineralelor silicatică și carbonice în constituția probelor de praf sedimentat prelevate din atmosfera exterioară magazinului se datorează în principal fenomenelor naturale de eroziune ale solului sau chiar unor evenimente de praf saharian. Studiile de literatură menționează că principalii constituenți ai prafului atmosferic sunt de natură silicatică ( cuarț, filosilicați și argile) și carbonică și provin din constituții naturali ai solului iar prezența palygorskitul în constituția PM atmosferice se datorează unor evenimente de praf saharian, tot mai frecvente peste teritoriul Europei [16-22].

Alături de acești compuși majoritari, spectrele FTIR-ATR ale probelor de praf colectate din atmosfera exterioară a magazinului conțin și benzi specifice unor compuși minoritari cum ar fi hidrocarburile (~2923 cm<sup>-1</sup> și ~2854 cm<sup>-1</sup>) sau azotatul de amoniu (~1418 cm<sup>-1</sup> și ~1323 cm<sup>-1</sup>) [23]. Studiile au arătat că acești compuși apar în atmosferă ca poluanți antropici rezultați în urma proceselor de ardere a combustibililor sau a reacțiilor dintre precipitațiile acide și materia organică din sol [17, 22-24].

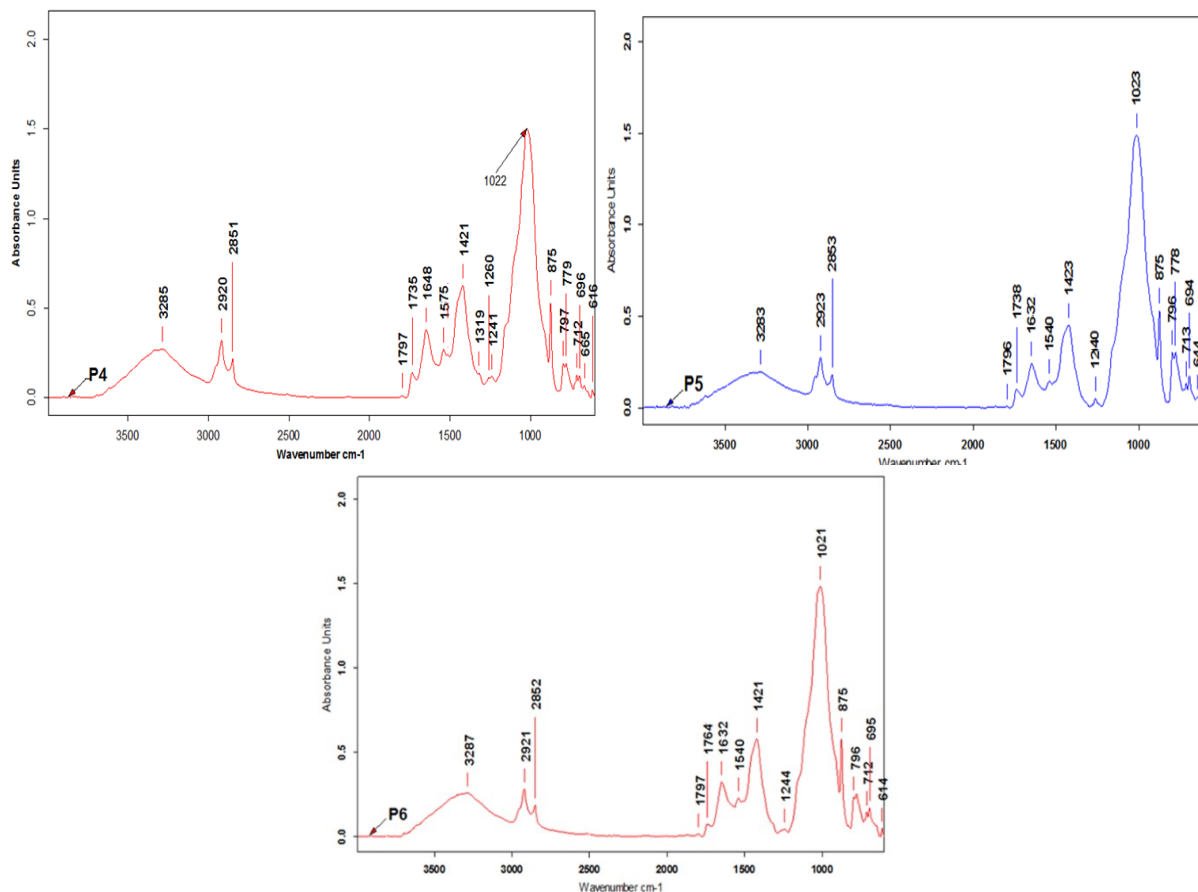


Figura 10. Spectrele FTIR ale probelor colectate din interiorul magazinului.

Spectrele FTIR-ATR ale probelor prelevate din interiorul magazinului sunt mult mai complexe decât cele ale probelor din exterior și conțin pe lângă benzile vibraționale ale mineralele silicatic și carbonatice o serie de benzi specifice compușilor organici și bio-organici. De asemenea, spectrele FTIR-ATR ale probelor interioare conțin și benzile specifice ionului  $(CO_3)^{2-}$  din carbonații de tipul calcitului. Prezența carbonaților se datorează fie mediului exterior fie materialelor de construcție folosite la finisările interioare. Ghipsul ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) a fost identificat doar în proba P4 prin banda vibrațională situată în spectru FTIR-ATR la și provine, probabil, din ipsosul folosit pentru pereți [25-27]. Azotații de amoniu au fost identificați în probele P4 și P6. În ceea ce privește compușii organici prezenți în probele de praf prelevate din interiorul magazinului spectrele FTIR-ATR prezintă benzi specifice grupărilor carbonilice, eterice și compușilor aromatici (ex. benzen, toluen, xilen, nitrați poliaromatici).

Pentru a estima efectele asupra sănătății locuitorilor expuși la formaldehidă, au fost evaluate valorile dozei zilnice cronice (CDI) pentru toate departamentele. Valoarea medie CDI pentru formaldehidă pe parcursul anului este în magazin la 3,60 mg/zi kg, cu un maxim de 6,60 mg/zi kg în departamentul Dulciuri și un minim de 1,2 mg/zi kg în același departament. Aportul mediu este de 3 ori mai mare decât concentrația medie în afara depozitului (1,17 mg / zi kg). LCR mediu în magazin a fost de  $6,7 \times 10^{-6}$ , ceea ce înseamnă că 6,7 persoane la 1.000.000 au un risc ridicat de cancer din cauza formaldehidei.

Treizeci și unu de angajați au răspuns la chestionarul nostru, dintre care 22 (70,9%) de sex feminin. Vârsta medie a grupului a fost de  $37,3 \pm 10,4$  ani (între 19 și 55 de ani). Un subiect a fost cunoscut anterior pentru alergii, niciunul dintre subiecți nu a avut o infecție a căilor

respiratorii superioare sau inferioare în săptămâna precedentă, iar 4 au raportat boli concomitente. Doi dintre cei patru subiecți cu boli concomitente au raportat 6 și, respectiv, 8 simptome, în timp ce ceilalți doi au raportat că au avut doar un singur simptom din lista SBS. Douăzeci și trei (74%) de subiecți au avut cel puțin un simptom, 25,8% au avut între 2 și 3 simptome, iar 4 (12,9%) subiecți au avut patru sau mai multe simptome. Numărul median de simptome per pacient a fost de 1 (intervalul IQ = 0,5-2,5, interval: 0-8) (Figura 11 A). În ceea ce privește distribuția pe gen, o proporție similară de subiecți de sex masculin (77,7%) au prezentat simptome în comparație cu subiecții de sex feminin (72,7%) ( $p=0,77$ ).

În ceea ce privește evaluarea simptomelor, studiul nostru a arătat că, la un grup relativ tânăr de lucrători, cei mai mulți dintre aceștia au prezentat cel puțin un simptom care ar putea fi atribuit mediului de lucru. Oboseala, simptomele legate de nas, gât și piele au fost cele mai frecvente, similar cu alte studii [28].

### **Concluzii**

Studiul prezentat se axează pe evaluarea calității aerului din interiorul unui magazin și pe identificarea simptomelor de sănătate asociate cu aceasta. A fost detectată prezența formaldehidei, un compus cancerigen din grupa B, însă concentrațiile au rămas în limitele de siguranță, principalele surse fiind acoperirile suprafețelor, produsele de curățenie pentru pardoseli, textilele și mobilierul. De asemenea, studiul a examinat concentrațiile de monoterpene, acid lactic și particule în suspensie, observându-se diferențe între condițiile interioare și cele exterioare. S-a constatat o concentrație relativ scăzută de  $PM_{2,5}$ , posibil influențată de practicile îmbunătățite de curățare adoptate în timpul pandemiei de COVID-19. Evaluarea simptomelor a indicat apariția acestora la mulți dintre lucrătorii tineri, incluzând oboseală, probleme nazale, de gât și de piele, fără a se stabili o legătură directă între acestea și sindromul clădirii bolnave sau expunerea la formaldehidă, ceea ce sugerează necesitatea unor investigații suplimentare. Nu au fost observate diferențe semnificative între genuri în prevalența simptomelor, dar dimensiunea limitată a studiului impune prudență în generalizarea rezultatelor. În concluzie, studiul subliniază importanța continuării investigațiilor referitoare la calitatea aerului interior și impactul său potențial asupra sănătății lucrătorilor, într-un sector economic relevant.

## VARIABILITATEA POLUANȚILOR DIN AERUL INTERIOR AL BIROURILOR ȘI IMPACTUL ACESTORA ASUPRA SĂNĂȚĂȚII LUCRĂTORILOR

### Introducere

La nivel mondial, un procent tot mai mare din forța de muncă modernă își desfășoară activitățile în spațiile de birouri [29], însă bunăstarea și starea de sănătate a persoanelor care lucrează în spații închise au devenit o preocupare semnificativă din cauza impactului calității aerului interior asupra stării lor generale [30, 31]. Lucrătorii din birouri petrec o mare parte din timp în spații închise, unde sunt expuși constant la o varietate de contaminanți.

Obiectivul principal al acestui studiu a fost de a evalua concentrația de poluanți din interiorul unei clădiri de birouri pe parcursul unui an și de a analiza compoziția prafului acumulat cu ajutorul FTIR. Obiectivul nostru secundar a fost de a investiga prevalența simptomelor tipice ale SBS în rândul funcționarilor din clădire [32].

În perioada martie 2022 - martie 2023, au fost prelevate probe cu intermitență în trei încăperi distincte: birou, coridor și baie, din spațiul de birouri și din aerul din exterior. Clădirea este situată în orașul Reșița, în vestul României, evaluările lunare au fost efectuate în mod constant în aceeași zi (miercuri) și la aceeași oră (prânz), totalizând patru măsurători pe lună. Parametrii evaluați au inclus compuși organici volatili totali,  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  și formaldehidă.

### Determinarea concentrației de formaldehidă în birouri

Concentrația de formaldehidă rămâne constantă în afara clădirii la un nivel de  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . În schimb, aceasta a crescut de aproape trei ori în interiorul clădirii în decurs de 8 ore (figura 20). Între 2011 și 2015, concentrațiile medii de formaldehidă în interior în birourile recent renovate au fost de  $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$  în China [33]. Există diferențe semnificative între concentrația din interiorul biroului ( $0,021 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) și cea din exterior ( $0,012 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) după 3,5 ore ( $p < 0,05$ ). Aceeași tendință a fost găsită pentru aerul din coridoare și băi, care ar putea fi explicată prin emisia de formaldehidă de la suprafața materialelor (produse din lemn, mochetă și izolație) [34, 35]. Este interesant faptul că, la sfârșitul programului, concentrația de formaldehidă a devenit semnificativ mai mare decât în coridor, din cauza emisiei de la diferite piese de mobilier și dispozitive electronice prezentate în birou [36].

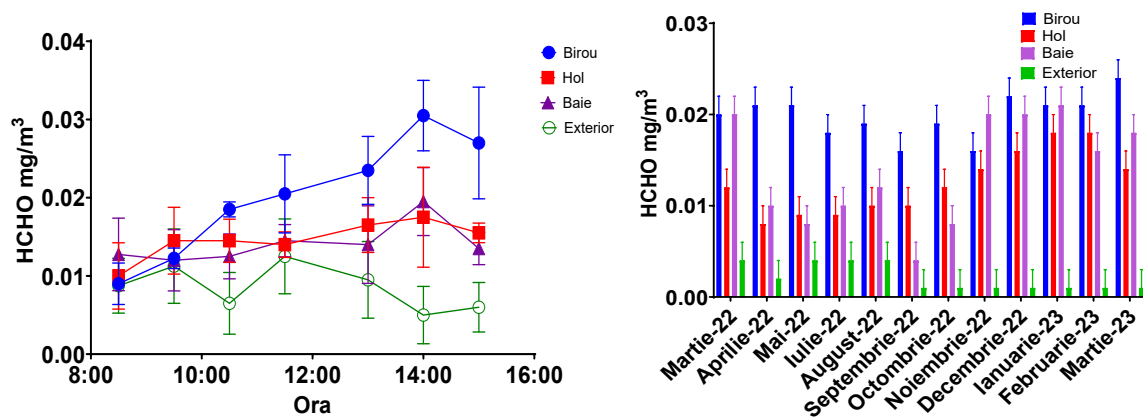


Figura 12. Variația concentrațiilor de formaldehidă în timpul orelor de lucru, și pe parcursul unui an.

Concentrația de formaldehidă din birou nu a variat dramatic de-a lungul anului, dar concentrația a fost mai mică în septembrie și mai mare în martie 2023 decât în celelalte luni. Este interesant faptul că, în timpul verii, concentrațiile de formaldehidă din coridor și baie au prezentat o scădere notabilă, măsurând  $9,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pentru coridor și  $8,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pentru baie.

### Variația concentrației de compuși organici volatili

Concentrația totală de compuși organici volatili (TVOC) a crescut în interior, în timp ce concentrația a rămas constantă în exterior (figura 13).

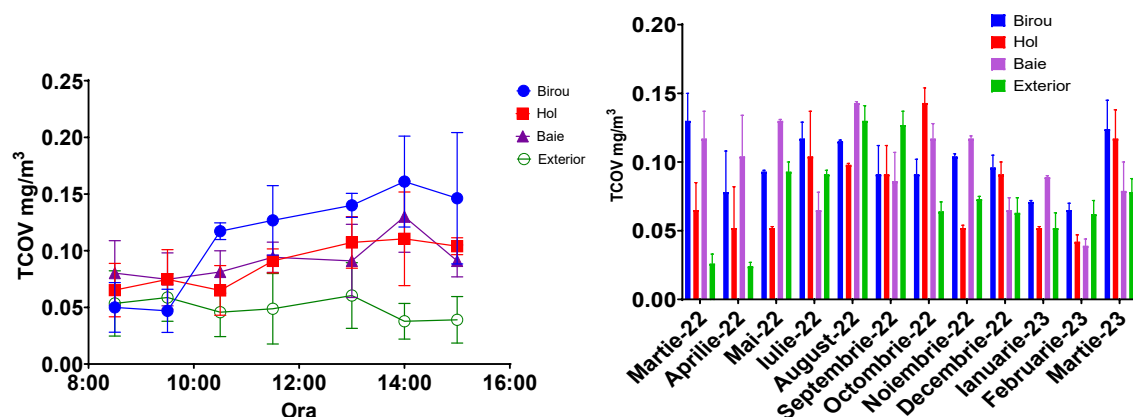


Figura 13. Variația concentrațiilor de compuși organici volatili totali (TCOV) în timpul orelor de lucru.

După prima oră de lucru, concentrația de TCOV crește brusc în birou, în timp ce tendința nu este atât de evidentă pe coridor și în baie. O astfel de tendință a fost constatată nu numai în birouri, ci și în casele obișnuite [37, 38]. Sursele de TCOV din birou ar putea fi atribuite materialelor plastice, vopselelor și, în principal, produselor de consum, cum ar fi parfumurile și spray-urile de corp.

Concentrațiile de compuși organici volatili (COV) din mediul ambiant au prezentat o variație sezonieră vizibilă, cu niveluri considerabil mai ridicate în timpul verii în comparație cu iarna. Datele noastre indică faptul că, în perioada mai-septembrie, concentrația medie a atins  $110 \pm 21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . În schimb, în intervalul octombrie-aprilie s-a observat o reducere distinctă, cu o concentrație medie de  $55 \pm 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Această disparitate observată în concentrațiile de COV între anotimpuri subliniază influența factorilor meteorologici și de mediu asupra compoziției atmosferice, necesitând astfel o înțelegere cuprinzătoare a mecanismelor care stau la baza acestor variații sezoniere.

### Variația concentrațiilor de pulberi în suspensie

Concentrațiile de  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  și  $\text{PM}_{10}$  nu variază semnificativ pe parcursul orelor de lucru (figura 14). Concentrația de particule în suspensie nu a scăzut considerabil în birou în comparație cu aerul exterior, aceeași tendință a fost observată pentru toate dimensiunile de particule. Raportul dintre  $\text{PM}_{2,5}$  și  $\text{PM}_{10}$  pentru aerul exterior a fost de  $0,83 \pm 0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Un raport atât de ridicat al particulelor fine indică faptul că poluarea aerului provine mai mult din surse antropice [39, 40].

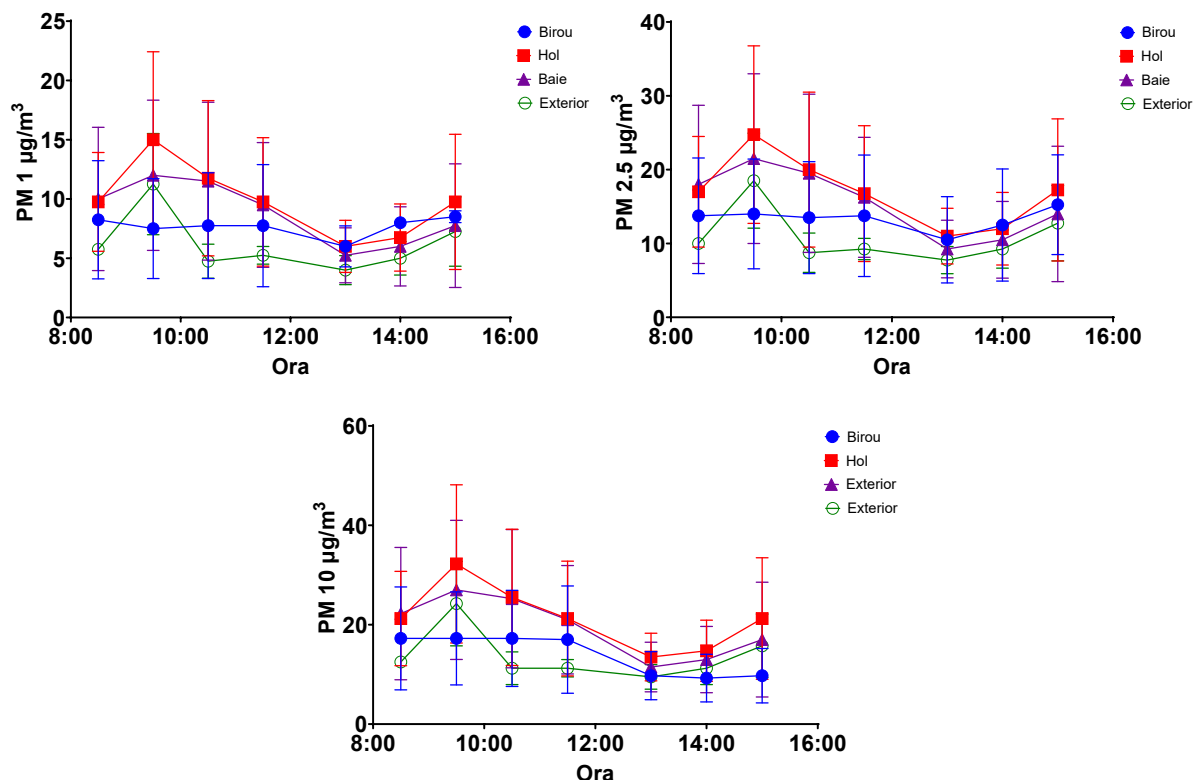
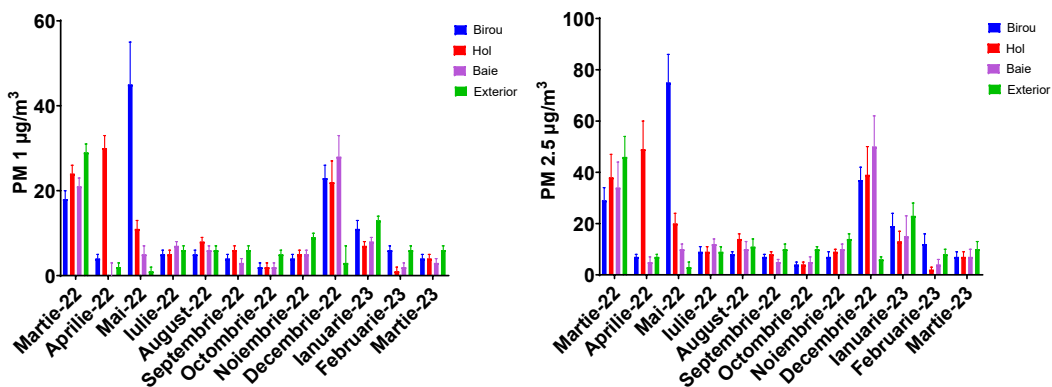


Figura 14. Variația concentrațiilor de  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  și  $\text{PM}_{10}$  în timpul orelor de lucru.

Concentrațiile de particule în suspensie pe parcursul unui an sunt prezentate în figura 15. Variația concentrațiilor de  $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  și  $\text{PM}_{10}$  este semnificativă de-a lungul anului, cu un maxim de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  și, respectiv,  $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



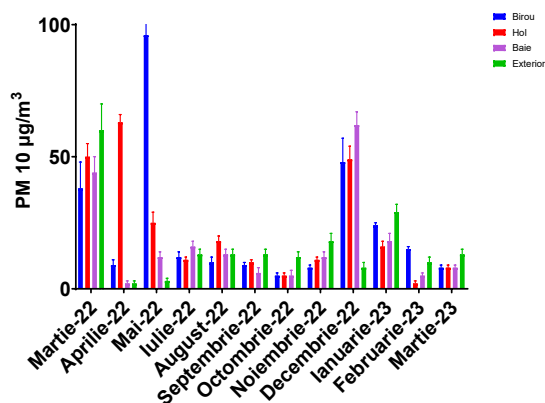


Figura 15. Variația concentrațiilor de PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> și PM<sub>10</sub> pe parcursul unui an.

Constatările sugerează că nivelurile medii zilnice ale concentrațiilor zilnice de PM<sub>10</sub> și PM<sub>2,5</sub> în interior s-au încadrat în limitele recomandate de OMS. Cu toate acestea, există trei luni cu concentrații ridicate de PM: martie, mai și decembrie. Concentrațiile cele mai ridicate din birou depășesc 90 µg/m<sup>3</sup>, același interval ca și în cazul celor 25 de reședințe urbane cu ventilație naturală din Alexandria, Egipt [41].

Concentrația mai mică pentru coridoare și băi ar putea fi explicată prin ventilația mai mare a acestor încăperi decât în cazul birourilor. Sursele de PM din birouri ar putea fi o acumulare de praf și murdărie pe suprafețe, mobilier și echipamente de birou.

### Determinarea compoziției prafului din interior utilizând tehnica FTIR

Identificarea grupărilor organice și anorganice prezente în probele de praf sedimentat colectate atât în interiorul, cât și în exteriorul mediului a fost realizată prin spectrometrie în infraroșu cu reflexie totală atenuată - transformată Fourier (ATR-FTIR).

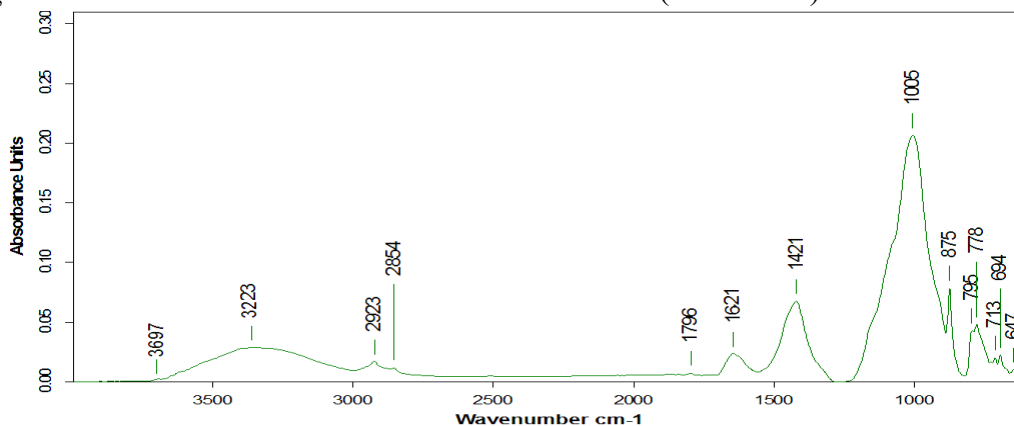


Figura 16. Spectrul FTIR-ATR al probei de praf din exterior.

Spectrul FTIR-ATR al probei de praf sedimentat prelevat din mediul exterior este dominat de benzile de vibrație ale filosilicaților, mineralelor argiloase și cuarțului situate la 3697 cm<sup>-1</sup>, 1621 cm<sup>-1</sup>, 1005 cm<sup>-1</sup>, 795 cm<sup>-1</sup>, 778 cm<sup>-1</sup>, 694 cm<sup>-1</sup> și 647 cm<sup>-1</sup> [42]. De asemenea, poate fi identificată prezența carbonaților de tip calcit.

Prezența silicaților, aluminosilicaților și a carbonaților în compoziția chimică a prafului sedimentat extras din atmosferă a fost observată și raportată în literatura de specialitate de mai mulți autori. Ea a fost atribuită în special eroziunii solului, evenimentelor de praf saharian și materialelor de construcție cu strat de protecție [16-18, 20-22, 43]. Compușii organici de tipul hidrocarburilor alifaticе au fost clar identificați în proba investigată în aer liber prin benzile

situate în spectrul FTIR la  $2923\text{ cm}^{-1}$  și  $2854\text{ cm}^{-1}$  [23]. Studiile au arătat că hidrocarburile din particulele de praf provin în principal din procesele de ardere a combustibililor [17, 22, 24, 44]

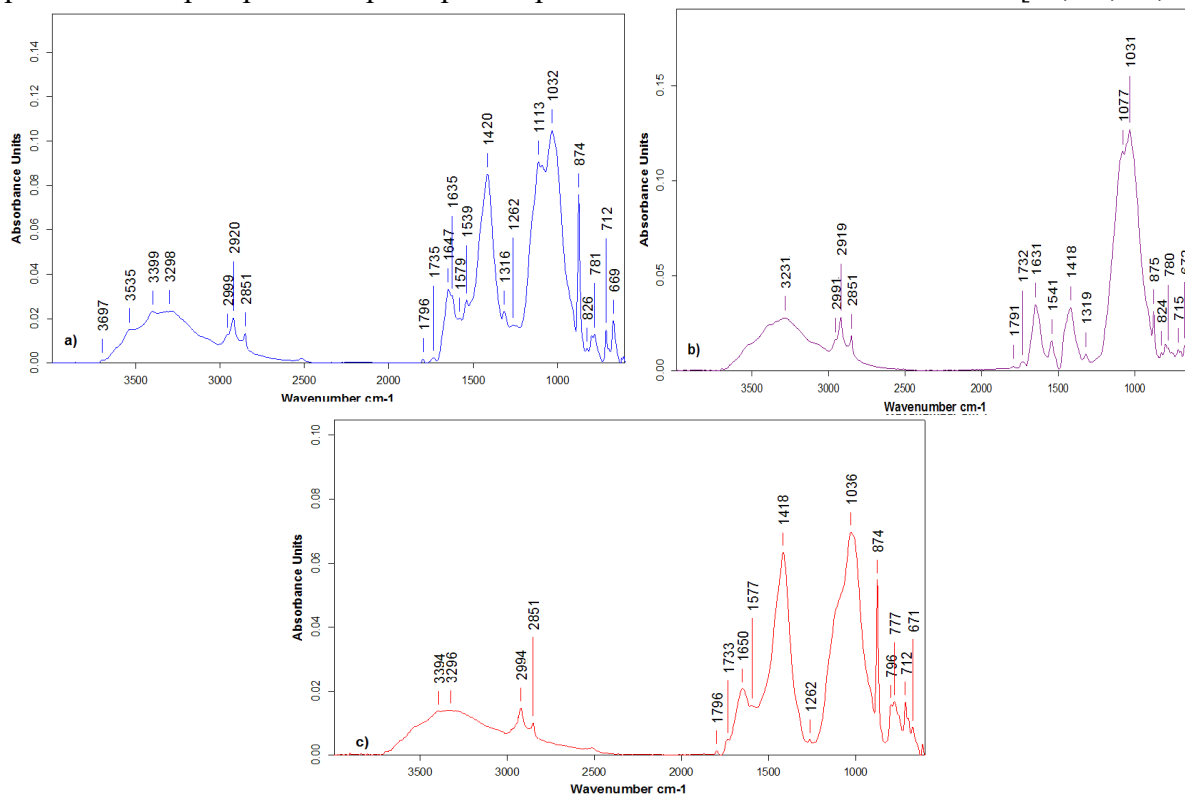


Figura 17. Spectrele FTIR-ATR ale probelor de praf din mediul interior: (a) - birou; b) - baie; c) - coridor.

Comparativ cu proba de exterior, spectrele FTIR-ATR (figura 17) ale probelor de praf sedimentat colectate din birou, baie și coridor sunt mai complexe și conțin, pe lângă benzile identificate în figura 6, o serie de benzi noi specifice unor compuși anorganici, organici sau bioorganici generați de sursele din interior (de exemplu, materiale de construcție a pereților, materiale de acoperire a pereților, materiale de izolație, covoare, dispozitive electronice, mobilier, activități umane, corpul uman, produse de igienă și de îngrijire personală etc.). Astfel, prezența gipsului ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) provenit din pereții de tencuială interioară a fost observată în toate cele trei probe de interior ( $\sim 3535\text{ cm}^{-1}$ ,  $\sim 3399\text{ cm}^{-1}$ ,  $\sim 1113\text{ cm}^{-1}$  și  $\sim 670\text{ cm}^{-1}$  [25-27, 45]), împreună cu calcit, cuarț, filosilicați și minerale argiloase (minerale provenite atât din materialele de finisare a pereților, cât și din atmosfera exterioară datorită ventilației).

### Impactul asupra sănătății umane

S-au calculat indicii de sănătate asociați concentrațiilor de formaldehidă prezenți atât în birou, hol și baie cât și în exterior. Valoarea HQ, care este sub pragul de 1, indică faptul că nivelurile de formaldehidă identificate, fie că sunt în spații interioare precum biroul, holul și baia, fie în mediul exterior, nu ating limitele stabilite ca fiind periculoase pentru sănătatea publică. Aceasta sugerează că, în prezent, nu există un risc semnificativ pentru sănătatea generală cauzat de prezența formaldehidei în aceste locații. Cu toate acestea, descoperirea că există un risc de 1 la 100.000 de a dezvolta cancer din cauza expunerii la formaldehidă în spațiile de birouri, bazat pe un LCR de aproximativ  $10^{-5}$ , scoate în evidență o preocupare specifică pentru persoanele care petrec timp semnificativ în aceste medii. Deși acest nivel de risc este considerat gestionabil



în cadrul evaluărilor standard de risc pentru sănătatea publică, el semnaleză clar necesitatea unei monitorizări atente a calității aerului interior și a implementării strategiilor eficiente pentru reducerea expunerii la substanțe nocive.

### **Concluzii**

Ocupanții birourilor sunt expuși la o varietate de poluanți ai aerului interior, cum ar fi particulele în suspensie (PM), compuși organici volatili (COV) și formaldehidă. Studiul a observat că nivelurile de COV în biroul analizat au crescut semnificativ pe parcursul zilei, de la o valoare inițială de  $0,050 \pm 0,044 \mu\text{g}/\text{m}^3$  la ora 8:00 dimineața, ajungând la  $0,14 \pm 0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  până la ora 15:00. Similar, concentrațiile de formaldehidă au crescut semnificativ pe parcursul unei perioade de 8 ore, de la o medie de  $9 \pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  la  $27 \pm 14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Acești poluanți provin din diverse surse, inclusiv materiale de construcție, aparatura de birou și activitățile zilnice, ceea ce complică menținerea unei calități bune a aerului interior. Nivelurile acestor poluanți pot varia în funcție de sezoane, observându-se niveluri mai ridicate de materie particulată în lunile mai reci. Există o corelație puternică între expunerea la niveluri mai ridicate de poluanți ai aerului interior și experiența simptomelor Sindromului Clădirii Bolnave (SBS), cum ar fi iritarea ochilor, dificultăți de respirație și probleme cognitive. Studiul subliniază importanța îmbunătățirii calității aerului interior pentru a preveni problemele de sănătate ale lucrătorilor din birou și evidențiază necesitatea de a lua măsuri pentru curățarea aerului în spațiile de birou pentru a menține sănătatea și bunăstarea ocupanților.

## CONCLUZII GENERALE

Cercetările noastre subliniază importanța evaluării continue a poluanților specifici mediilor de birouri și comerciale, cum ar fi particulele în suspensie (PM), compușii organici volatili (COV) și formaldehida, care provin dintr-o gamă largă de surse, inclusiv materialele de construcție, mobilierul, aparatele electronice și activitățile umane zilnice.

Analiza variațiilor diurne și sezoniere ale nivelurilor de COV indică emisii interne constante, ceea ce accentuează necesitatea unui control riguros al surselor de emisie în spațiile închise. Mai mult, creșterile constatate în nivelurile de formaldehidă pe parcursul zilei de lucru sugerează existența unor surse continue de emisie, evidențiind riscurile potențiale pentru sănătatea ocupanților.

Există o corelație evidentă între expunerea la poluanți și prevalența simptomelor asociate cu Sindromul Clădirii Bolnave (SBS), cum ar fi iritarea ochilor, dificultățile respiratorii și problemele cognitive, relevând un impact direct negativ al calității aerului interior asupra sănătății ocupanților. Pentru ameliorarea calității aerului interior, se recomandă implementarea unor sisteme de ventilație și purificare eficiente, utilizarea materialelor cu profil de emisii reduse și adoptarea unor protocoale stricte de întreținere și curățenie. Gestionarea efectivă a calității aerului interior (IAQ) necesită o abordare integrată, care să includă monitorizarea atentă a poluanților, reducerea surselor de emisie și implementarea unor strategii pro-active de îmbunătățire a calității aerului. Prin concentrarea pe îmbunătățirea IAQ în spații de birouri și comerciale, se contribuie semnificativ la prevenirea problemelor de sănătate și la îmbunătățirea calității vieții ocupanților, asigurând un mediu de lucru și comercial sigur și sănătos.

Aceste concluzii subliniază necesitatea unei atenții sporite acordate calității aerului interior și adoptarea unor măsuri eficiente pentru protecția sănătății ocupanților în spațiile închise, contribuind astfel la crearea unor medii de lucru și de afaceri mai sigure și mai sănătoase.

## LIMITE ȘI PERSPECTIVE

Studiul poate fi limitat de numărul și diversitatea spațiilor de birouri și comerciale evaluate, iar o eșantionare limitată poate influența capacitatea de generalizare a rezultatelor la o gamă mai largă de medii de lucru și comerciale. Identificarea exactă a tuturor surselor de poluanți din aer poate fi dificilă, având în vedere numărul mare de materiale, produse și activități prezente în spațiile închise, care pot contribui la calitatea aerului interior. Aceasta include variațiile în utilizarea spațiilor și comportamentul ocupanților.

Limitările legate de metodologiile de măsurare a poluanților, inclusiv sensibilitatea, specificitatea și erorile potențiale ale instrumentelor de măsurare, pot afecta acuratețea și fiabilitatea datelor colectate. Studiul poate să nu acopere în mod adecvat variațiile temporale și sezoniere ale nivelurilor de poluanți, iar fără o monitorizare pe termen lung, este posibil să se omită fluctuațiile importante care ar putea avea un impact semnificativ asupra calității aerului interior (IAQ). Evaluarea impactului poluanților asupra sănătății ocupanților poate fi limitată de absența datelor longitudinale sau a unui design de studiu care să permită inferențe cauzale directe între expunerea la poluanți și manifestările de sănătate. Există un risc ca studiul să nu poată controla complet toate variabilele care ar putea influența atât nivelurile de poluanți, cât și sănătatea ocupanților, inclusiv factori precum vârsta clădirii, sistemele de ventilație și comportamentele individuale ale ocupanților.

În ceea ce privește evaluările bazate pe simptomele raportate de ocupanți sau pe percepțiile lor despre calitatea aerului, există un risc de subiectivitate și de variabilitate individuală care ar putea afecta interpretarea datelor. Studiul poate să nu includă o evaluare detaliată a eficacității diferitelor intervenții de îmbunătățire a calității aerului, limitând astfel capacitatea de a oferi recomandări specifice pentru practici sau politici de îmbunătățire.

Având în vedere limitările identificate, există mai multe direcții promițătoare pentru cercetările viitoare în domeniul calității aerului interior, în special în birouri și spații comerciale. În primul rând, ar fi benefică extinderea studiilor pentru a cuprinde o varietate mai largă de medii, din diferite regiuni geografice și cu diverse tipuri de design și utilizare. Aceasta ar îmbunătăți reprezentativitatea și ar facilita generalizarea rezultatelor. De asemenea, implementarea studiilor longitudinale care să evalueze variațiile sezoniere și pe termen lung ale calității aerului și impactul acestora asupra sănătății ocupanților ar oferi o perspectivă mai profundă asupra dinamicii poluanților și a efectelor lor.

Este esențial să dezvoltăm și să implementăm metodologii de măsurare mai precise și mai sensibile, iar utilizarea tehnologiilor avansate și analiza big data ar putea îmbunătăți semnificativ acuratețea și fiabilitatea acestor măsurători. Abordarea problemei calității aerului interior (IAQ) dintr-o perspectivă multidisciplinară, integrând expertiză din medicină, ingineria mediului, psihologie și arhitectură, este crucială pentru a înțelege complexitatea factorilor care influențează IAQ și impactul acestora asupra sănătății.

Evaluarea eficacității diferitelor strategii de îmbunătățire a IAQ, inclusiv optimizarea sistemelor de ventilație și introducerea materialelor de construcție și finisare cu emisii reduse, este de asemenea necesară. Studiile ar putea explora relația cost-beneficiu a diferitelor intervenții pentru a determina cele mai eficiente măsuri. Utilizarea modelării și simulării pentru a prezice impactul modificărilor de design al clădirilor, comportamentul ocupanților și strategiile de

management al IAQ poate facilita proiectarea preventivă și optimizarea spațiilor de birouri și comerciale.

Este vital să contribuim la dezvoltarea politicilor publice și a standardelor bazate pe dovezi pentru gestionarea IAQ, colaborând cu autoritățile de reglementare pentru a actualiza și implementa ghiduri și standarde care promovează sănătatea ocupanților și sustenabilitatea mediului. Inițiativele de a crește conștientizarea proprietarilor de clădiri, managerilor și ocupanților despre importanța IAQ și măsurile pe care le pot lua pentru a îmbunătăți calitatea aerului în spațiile închise sunt esențiale. Aceste eforturi ar putea contribui semnificativ la crearea unor medii de lucru și de afaceri mai sigure și mai sănătoase

## BIBLIOGRAFIE

1. Zhang, X., *Going green: Initiatives and technologies in Shanghai World Expo*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **25**: p. 78-88.
2. Malik, S., et al., *An empirical estimation of determining factors influencing public willingness to pay for better air quality*. Journal of Cleaner Production, 2022. **372**: p. 133574.
3. Andrade, A. and F.H. Dominski, *Indoor air quality of environments used for physical exercise and sports practice: Systematic review*. Journal of Environmental Management, 2018. **206**: p. 577-586.
4. Kozielska, B., et al., *Indoor air quality in residential buildings in Upper Silesia, Poland*. Building and Environment, 2020. **177**: p. 106914.
5. Wargocki, P. and A. Lai, *Editorial - special issue on Indoor pollutants, chemistry and health: Selected papers presented at Indoor Air 2014 conference in Hong Kong*. Building and Environment, 2015. **93**: p. 1-2.
6. Irga, P.J. and F.R. Torpy, *Indoor air pollutants in occupational buildings in a sub-tropical climate: Comparison among ventilation types*. Building and Environment, 2016. **98**: p. 190-199.
7. Sajeev, V., P. Anand, and A. George, *Chapter 12 - Indoor air pollution, occupant health, and building system controls—a COVID-19 perspective*, in *Hybrid and Combined Processes for Air Pollution Control*, A. Assadi, A. Amrane, and T.A. Nguyen, Editors. 2022, Elsevier. p. 291-306.
8. Swamy, G.S.N.V.K.S.N., *Development of an indoor air purification system to improve ventilation and air quality*. Heliyon, 2021. **7**(10): p. e08153.
9. Abdel-Salam, M.M.M., *Relationship between residential indoor air quality and socioeconomic factors in two urban areas in Alexandria, Egypt*. Building and Environment, 2022. **207**: p. 108425.
10. Wang, C., et al., *How indoor environmental quality affects occupants' cognitive functions: A systematic review*. Building and Environment, 2021. **193**: p. 107647.
11. Sivanantham, S., et al., *Coexposure to indoor pollutants in French schools and associations with building characteristics*. Energy and Buildings, 2021. **252**: p. 111424.
12. Țepeneu, A., et al., *Variability of Air Pollutants in the Indoor Air of a General Store*. Applied Sciences, 2023. **13**(23): p. 12572.
13. Li, W.-M., S.C. Lee, and L.Y. Chan, *Indoor air quality at nine shopping malls in Hong Kong*. Science of The Total Environment, 2001. **273**(1): p. 27-40.
14. Nicole, W., *Cannabis consumption in dispensaries: Public health implications of an emerging practice*. Environmental Health Perspectives. **129**(8): p. 084001.
15. Orru, H., et al., *Health impacts of PM2.5 originating from residential wood combustion in four nordic cities*. BMC Public Health, 2022. **22**(1): p. 1286.
16. Artesani, A., et al., *Recent Advances in Protective Coatings for Cultural Heritage—An Overview*. Coatings, 2020. **10**(3).
17. El-Zahhar, A.A., et al., *SEM, SEM-EDX,  $\mu$ -ATR-FTIR and XRD for urban street dust characterisation*. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 2021. **101**(7): p. 988-1006.
18. Morricone, A., et al., *Archeometrical Analysis for the Characterization of Mortars from Ostia Antica*. Procedia Chemistry, 2013. **8**: p. 231-238.
19. Radulescu, C., et al., *Characterization of urban atmospheric PM2.5 by ATR-FTIR, ICP-MS and SEM-EDS techniques*. Revista de Chimie -Bucharest- Original Edition-, 2017. **68**.
20. Sahu, V., et al., *Characterization of indoor settled dust and investigation of indoor air quality in different micro-environments*. International Journal of Environmental Health Research, 2018. **28**.
21. Senthil Kumar, R. and P. Rajkumar, *Characterization of minerals in air dust particles in the state of Tamilnadu, India through FTIR, XRD and SEM analyses*. Infrared Physics & Technology, 2014. **67**: p. 30-41.
22. Varrica, D., et al., *ATR-FTIR Spectral Analysis and Soluble Components of PM10 And PM2.5 Particulate Matter over the Urban Area of Palermo (Italy) during Normal Days and Saharan Events*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019. **16**.
23. Nandiyanto, A.B.D., R. Oktiani, and R. Ragadhita, *How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material*. Indonesian Journal of Science and Technology, 2019. **4**(1): p. 22.
24. Gupta, P., et al., *Exposure to respirable and fine dust particle over North-Central India: chemical characterization, source interpretation, and health risk analysis*. Environmental Geochemistry and Health, 2020. **42**(7): p. 2081-2099.
25. Bogdan, A., et al., *Heritage Building Preservation in the Process of Sustainable Urban Development: The Case of Brasov Medieval City, Romania*. Sustainability, 2022. **14**(12): p. 6959.
26. Carvalho, F., et al., *Mortars from the Palace of Knossos in Crete, Greece: A Multi-Analytical Approach*. Minerals, 2022. **12**(1): p. 30.
27. Comite, V., et al., *Environmental impact assessment on the Monza cathedral (Italy): a multi-analytical approach*. International Journal of Conservation Science, 2020: p. 405-423.

28. Surawattanasakul, V., et al., *Respiratory symptoms and skin sick building syndrome among office workers at University Hospital, Chiang Mai, Thailand: Associations with indoor air quality, AIRMED Project*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022. **19**(17): p. 10850.
29. Mandin, C., et al., *Assessment of indoor air quality in office buildings across Europe – The OFFICAIR study*. Science of The Total Environment, 2017. **579**: p. 169-178.
30. Niu, R.p., X. Chen, and H. Liu, *Analysis of the impact of a fresh air system on the indoor environment in office buildings*. Sustainable Cities and Society, 2022. **83**: p. 103934.
31. InstituteofMedicine, *Climate Change, the Indoor Environment, and Health*. 2011, Washington, DC: National Academies Press.
32. Țepeneu, A., et al., *The Variability of Indoor Air Pollutants in The Office and Their Impact on the Workers' Health*. Polish Journal of Environmental Studies, 2024. **33**(5).
33. Fang, L., et al., *Indoor formaldehyde levels in residences, schools, and offices in China in the past 30 years: A systematic review*. Indoor Air, 2022. **32**(10): p. e13141.
34. Salthammer, T., *Formaldehyde sources, formaldehyde concentrations and air exchange rates in European housings*. Building and Environment, 2019. **150**: p. 219-232.
35. Salthammer, T., S. Mentese, and R. Marutzky, *Formaldehyde in the Indoor Environment*. Chemical Reviews, 2010. **110**(4): p. 2536-2572.
36. Naohide, S., et al., *Distribution of indoor concentrations and emission sources of formaldehyde in Japanese residences*, in *Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies*, M. Anca Maria, Editor. 2011, IntechOpen: Rijeka. p. Ch. 17.
37. Norris, C.L., et al. *A pilot study to quantify volatile organic compounds and their sources inside and outside homes in urban India in summer and winter during normal daily activities*. Environments, 2022. **9**, DOI: 10.3390/environments9070075.
38. Srivastava, A. and S. Devotta, *Indoor Air Quality of Public Places in Mumbai, India in Terms of Volatile Organic Compounds*. Environmental Monitoring and Assessment, 2007. **133**(1): p. 127-138.
39. Fan, H., C. Zhao, and Y. Yang, *A comprehensive analysis of the spatio-temporal variation of urban air pollution in China during 2014–2018*. Atmospheric Environment, 2020. **220**: p. 117066.
40. Zhao, C., et al., *Estimating the contribution of local primary emissions to particulate pollution using high-density station observations*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2019. **124**(3): p. 1648-1661.
41. Abdel-Salam, M.M.M., *Seasonal variation in indoor concentrations of air pollutants in residential buildings*. J Air Waste Manag Assoc, 2021. **71**(6): p. 761-777.
42. Luthra, A., et al., *Dust Library of Plasmonically Enhanced Infrared Spectra of Individual Respirable Particles*. Applied Spectroscopy, 2016. **70**.
43. Radulescu, C., et al., *Characterization of urban atmospheric PM<sub>2.5</sub> by ATR-FTIR, ICP-MS and SEM-EDS techniques*. Revista de Chimie -Bucharest, 2017. **68**.
44. Manisalidis, I., et al., *Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review*. Frontiers in Public Health, 2020. **8**.
45. Solongo, S., et al., *Multi-method (XRF, FTIR, TGA) analysis of ancient bricks from Karabalgasun : A preliminary study*. Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences, 2020. **60**(01(233)): p. 1-8.