

**UNIVERSITATEA BUCUREȘTI  
FACULTATEA DE CHIMIE  
ȘCOALA DOCTORALĂ ÎN CHIMIE**

**REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT  
STUDIUL POLUĂRII AERULUI INTERIOR**

Doctorand:  
Elena COMȘA (BUCUR)

Coordonator științific:  
Prof. univ. dr. Andrei Florin DĂNEȚ

**2017**

**CUPRINS** (*Numerotarea paginilor corespunde tezei de doctorat.*)

Abrevieri

Introducere..... 1

**DATE DE LITERATURĂ** 4**CAPITOLUL I** - Surse, poluanți specifici aerului interior și efectul asupra sănătății..... 4

1.1 Poluanți și surse primare..... 6

1.1.1 Poluanți rezultați din arderea combustibililor fosili..... 6

1.1.1.1 Hidrocarburile policiclice aromatice..... 6

1.1.1.2 Monoxidul de carbon..... 7

1.1.1.3 Dioxidul de carbon..... 7

1.1.1.4 Dioxidul de azot..... 8

1.1.1.5 Dioxidul de sulf..... 8

1.1.1.6 Pulberile în suspensie..... 9

1.1.2 Poluanți organici..... 9

1.1.3 Contaminanți biologici..... 12

1.1.4 Radonul și compușii săi de dezintegrare..... 12

1.1.5 Poluanți din fumul de țigară..... 13

1.1.6 Azbestul..... 13

1.1.7 Alți poluanți prezenți în aerul din interiorul clădirilor..... 14

1.2 Poluanți din surse secundare..... 15

1.2.1 Emisii secundare rezultate din reacții în faza gazoasă..... 16

1.2.2 Emisii secundare rezultate din reacții de hidroliza..... 17

1.2.3 Emisii secundare rezultate în urma degradării acizilor grași nesaturați..... 18

1.2.4 Emisii secundare rezultate în urma reacțiilor dintre compușii prezenți în materiale..... 18

1.2.5 Emisii secundare din reacții metabolice..... 20

1.3 Reglementări privind calitatea aerului interior..... 21

1.3.1 Reglementări privind concentrația poluanților în aer..... 21

1.3.2 Reglementări privind parametrii de microclimat..... 24

**CAPITOLUL II**– Calitatea aerului din muzee, efectul asupra exponatelor și reglementări specifice .. 28

2.1 Calitatea aerului din muzee și efectul asupra exponatelor..... 28

2.2 Factorii de microclimat și riscurile de degradare datorate acestora..... 29

2.3 Compuși chimici prezenți în aerul din muzee..... 30

2.4 Reglementări privind calitatea aerului din muzee..... 33

**CAPITOLUL III** - Evaluarea calității aerului din interiorul clădirilor..... 40

3.1 Metoda bazată pe asigurarea stării de sănătate..... 40

3.1.1 Metode de determinare a poluanților prezenți în aerul interior..... 40

3.1.1.1 Metode automate..... 41

3.1.1.2 Metode clasice de determinare..... 41

3.1.2 Exprimarea și interpretarea rezultatelor..... 44

3.1.2.1 Exprimarea rezultatelor monitorizării calității aerului..... 44

3.1.2.2 Modele de evaluare a calității aerului din interiorul clădirilor..... 45

3.1.2.3 Indicatori pentru caracterizarea calității aerului interior..... 47

3.1.2.3.1 Raportul interior/ exterior (I/O)..... 47

3.1.2.3.2 Factorul de infiltrare..... 49

3.1.2.3.3 Factorul de penetrare..... 50

3.2 Metoda bazată pe perceperea stării de confort..... 52

3.3 Metode statistice utilizate în evaluarea calității aerului interior..... 53

3.3.1 Corelația statistică..... 54

3.3.2	Regresia statistică.....	56
3.3.2.1	Regresia liniară.....	56
3.3.2.2	Regresia logistică.....	58
	<b>CONTRIBUȚII ORIGINALE</b>	61
	<b>Obiectivele tezei</b> .....	61
	<b>Aspecte de originalitate și noutate ale tezei</b> .....	62
	<b>CAPITOLUL IV - Evaluarea calității aerului din clădiri – studii de caz</b> .....	63
4.1	Evaluarea calității aerului din spațiile destinate activităților de birou.....	63
4.1.1	Prezentarea spațiilor testate.....	65
4.1.2	Metode de determinare a concentrației poluanților în aer.....	68
4.1.2.1	Metode de determinare a pulberilor din aer.....	68
4.1.2.2	Metode de monitorizare a concentrației de poluanți gazoși din aer.....	69
4.1.2.3	Metoda de determinare a PAH-urilor din pulberi.....	71
4.1.2.4	Metoda de determinare a metalelor din pulberi- ICP-OES.....	74
4.1.2.5	Metoda de determinare a anionilor solubili din pulberi.....	75
4.1.3	Evaluarea calității aerului din punct de vedere al poluării cu pulberi.....	77
4.1.3.1	Evaluarea nivelului de poluare cu pulberi PM <sub>2.5</sub> .....	78
4.1.3.2	Repartiția pulberilor pe fracții dimensionale.....	86
4.1.3.3	Analiza unor elemente și compuși prezenți în pulberi.....	87
4.1.3.3.1	Conținutul de metale și anioni solubili în apă din pulberi.....	88
4.1.3.3.2	Conținutul de PAH-uri din pulberi.....	90
4.1.4	Evaluarea calității aerului din punct de vedere al poluării cu compuși gazoși.....	92
4.1.4.1	Determinarea concentrației de NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> din aer.....	93
4.1.4.2	Evaluarea calității aerului interior pe baza concentrației de CO <sub>2</sub> .....	98
4.1.4.3	Alți poluanți specifici proceselor metabolice.....	101
4.1.4.4	Concluzii privind calitatea aerului din biroul E3-13.....	104
4.2	Evaluarea calității aerului din spațiile destinate expunerii obiectelor de patrimoniu.....	107
4.2.1	Calitatea aerului din interiorul muzeului .....	108
4.2.1.1	Prezentarea locației și stabilirea poluanților monitorizați.....	108
4.2.1.2	Metode de măsurarea concentrației de poluanți în aer.....	110
4.2.1.3	Metode de tratare statistică și interpretare a rezultatelor monitorizării... ..	110
4.2.1.4	Calitatea aerului înconjurător în zona Muzeului Național al Aviației Române.....	111
4.2.1.5	Calitatea aerului din interiorul muzeului.....	112
4.2.1.5.1	Calitatea aerului în biserică de lemn.....	112
4.2.1.5.2	Calitatea aerului în Hangarul 1.....	120
4.2.1.5.3	Calitatea aerului în Hangarul 2.....	128
4.2.1.6	Concluzii privind calitatea aerului în interiorul și exteriorul Muzeului Național al Aviației Române.....	136
	<b>CAPITOLUL V - Evaluarea impactului poluării aerului din interiorul unui muzeu asupra exponatelor prin regresie logistică binară</b> .....	139
5.1	Generalități privind regresia logistică.....	139
5.2	Fundamentul matematic al regresiei logistice binare.....	140
5.3	Programul statistic SPSS.....	142
5.4	Evaluarea impactului calității aerului asupra exponatelor prin regresie logistică binară.....	143
5.5	Informații suplimentare oferite de rezultatele regresiei logistice binare.....	152
	<b>Concluzii finale</b> .....	155
	<b>Bibliografie</b> .....	160

<b>Lista lucrarilor stiintifice.....</b>	<b>173</b>
<b>Anexe.....</b>	<b>176</b>
<b>Anexa 1</b> – Principii de functionare ale analizoarelor automate pentru masurarea concentratiei poluantilor gazosi din aer.....	177
<b>Anexa 2</b> – Notiuni introductive privind utilizarea programului SPSS.....	186
<b>Anexa 3</b> – Noțiuni privind testele statistice utilizate în regresia logistică binară.....	190

Calitatea aerului ambiental a reprezentat dintotdeauna un domeniu de larg interes datorită implicațiilor asupra sănătății și bunăstării populației dar și al potențialului efect asupra monumentelor istorice și al celorlalți factori de mediu. Studii efectuate cu precădere în ultimile decenii au adus în prim-planul preocupărilor științifice însă un nou domeniu - calitatea aerului din interiorul clădirilor (IAQ – Indoor Air Quality) - acordându-i un statut uneori prioritar în ceea ce privește influența asupra sănătății și confortului persoanelor (Franklin, 2007; Harrison, 1997; Nazaroff, 2013).

Evaluarea calității aerului dintr-o clădire și a impactului asupra receptorilor de interes reprezintă un proces cu grad ridicat de complexitate datorită volumului mare de date care trebuie analizate și interpretate, al numărului mare de variabile și al posibilelor influențe reciproce, sinergice sau antagonice, cu efect asupra materialelor și/sau al percepției disconfortului uman.

În acest sens, pe tot parcursul tezei, în baza datelor de literatură și al studiilor de caz derulate am încercat să găsim răspunsul la trei întrebări majore: *i) cum abordăm și identificăm indicatorii de interes pentru evaluarea calității aerului dintr-o clădire? ii) prin ce metode măsurăm, prelucrăm și interpretăm eficient seriile de date de monitorizare în vederea identificării surselor de poluare specifice și evaluării calității aerului? iii) cum cuantificăm impactul calității aerului asupra receptorilor?*

Răspunsul la prima întrebare îl aflăm parcurgând primele două capitole ale tezei în care sunt prezentate selectiv, pe cele două mari domenii de interes (calitatea aerului din birouri - Capitolul 1 și din muzee - Capitolul 2) date de literatură utile pentru derularea studiilor de caz vizând evaluarea calității aerului din clădiri. Aceste capitole ne familiarizează cu principalii poluanți chimici care pot fi identificați în cele două tipuri de spații și sursele specifice generatoare de emisii, cu nivelul concentrațiilor în aer și efectele pe care le pot induce asupra sănătății sau asupra materialelor din care sunt confecționate diverse exponate.

În Capitolul 3 sunt prezentate informații privind cele mai cunoscute metode de evaluare a calității aerului din clădiri și de măsurare a concentrației poluanților chimici prezenți în aer, dar și despre modul în care o serie de indicatori specifici precum *raportul I/O*, *factorul de infiltrație*,  $F_{in}$ , sau *factorul de penetrare*,  $P$ , pot fi utilizați pentru interpretarea rezultatelor măsurărilor. Tot

în acest capitol sunt sistematizate o serie de informații privind corelația și regresia statistică utilizate în partea experimentală a tezei pentru caracterizarea și interpretarea seriilor de date de monitorizare a concentrației de poluanți în aer. Răspundem astfel și la a doua întrebare: “*prin ce metode măsurăm, prelucrăm și interpretăm eficient seriile de date de monitorizare în vederea identificării surselor de poluare specifice și evaluării calității aerului?*”

Capitolul 4 este dedicat celor două studii de caz vizând evaluarea calității aerului interior: primul, derulat într-o clădire nouă de birouri, iar al doilea în spațiile de expunere aparținând unui muzeu. Pentru evaluarea calității aerului din clădirea de birouri s-au utilizat atât *metoda bazată pe asigurarea sănătății*, cât și *metoda bazată pe asigurarea stării de confort*. Principalele aspecte urmărite în procesul de evaluare a calității aerului au fost verificarea încadrării concentrației poluanților în limitele impuse de reglementările în vigoare și identificarea surselor de poluare în vederea reducerii efectelor asupra persoanelor/exponatelor.

Răspunsul la a treia întrebare “*cum cuantificăm impactul calității aerului asupra receptorilor?*” îl obținem în Capitolul 5, printr-un exemplu de aplicație a regresiei logistice binare pentru evaluarea posibilului impact cumulat al calității aerului asupra exponatelor prezente într-una dintre sălile muzeului. Sunt explicitate pas cu pas atât metodologia de utilizare a regresiei logistice binare pentru calibrarea și validarea modelului matematic de predicție a probabilității de efect, cât și modul în care pot fi interpretate și utilizate rezultatele obținute în urma analizei.

Valorile probabilităților pot fi interpretate și ca *posibil impact al mediului asupra exponatelor luând în calcul un efect cumulat, al tuturor parametrilor monitorizați*; astfel, pentru o mai facilă interpretare este propus un sistem de evaluare a impactului asupra exponatelor bazat pe valoarea calculată a probabilității ( $p$ ): i) impact foarte scăzut pentru  $0 < p < 0,2$ ; ii) impact scăzut pentru  $0,2 < p < 0,4$ ; iii) impact moderat pentru  $0,4 < p < 0,6$ ; iv) impact puternic pentru  $0,6 < p < 0,8$  și v) impact foarte puternic pentru  $p > 0,8$ .

Rezultatele aplicației demonstrează utilitatea metodelor de analiză statistică în interpretarea seriilor de date obținute prin monitorizarea parametrilor de mediu. Astfel, pornind de la valorile coeficienților de regresie  $\beta_i$  și a rezultatelor testelor de semnificație statistică pot fi identificați și ierarhizați indicatorii de poluare cu efect semnificativ asupra exponatelor permițând o prioritizare a măsurilor de reducere a poluării și, implicit, a costurilor de

implementare a acestor măsuri. Totodată cu ajutorul modelului matematic dezvoltat pot fi efectuate predicții privind efectul pe care un context anume de poluare îl poate induce asupra exponatelor. Prin calculul probabilității  $p$  și asimilarea acesteia ca posibil impact cumulat se oferă astfel un indicator util în evaluarea calității aerului pentru spațiile destinate depozitarii sau expunerii obiectelor de patrimoniu.

Metoda poate fi utilă de asemenea în procesul de decizie privind măsurile de reducere care urmează a fi implementate într-un spațiu de expunere prin simularea unor situații teoretice și analiza rezultatelor obținute, iar prin includerea modelului matematic în sistemul de monitorizare continuă al muzeelor se poate estima în timp real efectul cumulat al mediului asupra exponatelor.

# CONTRIBUȚII ORIGINALE

## Obiectivele tezei

1. Evaluarea calității aerului din interiorul a două tipuri de clădiri; o clădire de birouri și spațiile de expunere aparținând unui muzeu, prin:
  - monitorizarea pe termen lung a concentrațiilor unor compuși chimici specifici ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), a pulberilor în suspensie în aer și a parametrilor de microclimat (temperatură și umiditate);
  - compararea rezultatelor obținute în urma monitorizării, cu valorile limită stabilite sau recomandate de reglementările specifice în vigoare în vederea identificării compușilor chimici cu potențial impact asupra sănătății personalului implicat în activități de birou sau a integrității exponatelor dintr-un muzeu;
  - determinarea conținutului de metale, anioni solubili în apă și PAH-uri din pulberile în suspensie în aer, în vederea identificării/demonstrării existenței unor surse interne de poluare a aerului cu pulberi;
  - stabilirea posibilelor surse specifice de poluare a aerului interior;
  
2. Utilizarea metodelor statistice de analiză pentru interpretarea rezultatelor obținute în procesul de monitorizare a calității aerului interior luând în considerație cu precădere:
  - analiza de corelație între parametrii monitorizați în interiorul și exteriorul clădirilor cu scopul identificării surselor de poluare;
  - regresia liniară pentru identificarea posibilelor surse interne de poluare cu pulberi a aerului;
  - regresia logistică binară aplicată datelor de monitorizare obținute în spațiile de expunere ale unui muzeu și interpretarea rezultatelor cu scopul: i) ierarhizării compușilor chimici prezenți în aer funcție de potențialul efect asupra exponatelor; ii) evaluării efectului cumulat al poluanților din aer asupra exponatelor; iii) dezvoltării și validării unui model matematic de predicție pentru evaluarea obiectivă a impactului calității aerului interior asupra obiectelor expuse în muzee;



## **Aspecte de originalitate și noutate ale tezei**

Domeniul abordat în teză - calitatea aerului din spațiile de birouri și muzee - are caracter de noutate fiind puțin studiat în țară și de asemenea în străinătate.

În ceea ce privește aspectele de originalitate, în teză se prezintă pentru prima dată, utilizarea regresiei logistice binare pentru evaluarea calității aerului interior dintr-un muzeu. Pană în prezent, după informațiile noastre, nu a fost publicată nici o lucrare care să trateze acest subiect în literatura științifică de specialitate din străinătate sau din țară (căutare: Web of Science și Google, 20 iunie, 2017). Utilizarea regresiei logistice binare permite printre altele o ierarhizare a poluanților prezenți în aer funcție de efectul asupra exponatelor dintr-un muzeu, o predicție a efectului lor cumulat, precum și alegerea celor mai adecvate măsuri pentru reducerea efectelor poluanților prezenți în aer asupra exponatelor.

#### 4.1. Evaluarea calității aerului din spațiile destinate activităților de birou

Testele vizând calitatea aerului din spațiile destinate activităților de birou s-au axat, într-o primă etapă, pe evaluarea nivelului de poluare cu poluanți specifici aerului din zonele urbane, respectiv pulberi în suspensie ( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  și pulberi totale),  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$  și  $CO_2$ , ca și indicator al calității aerului din spațiile în care sunt prezente persoane. În procesul de identificare a surselor de poluare s-a impus efectuarea unor teste suplimentare pentru determinarea concentrației de formaldehidă și  $H_2S$  în aerul interior și determinarea unor compuși prezenți în pulberile prelevate în interiorul și exteriorul clădirii: metale, hidrocarburi policiclice aromatice și anioni solubili în apă. Evaluarea calității aerului din clădire a fost realizată prin verificarea încadrării concentrațiilor compușilor prezenți în aer în limitele stabilite de reglementările în vigoare (*metoda bazată pe asigurarea sănătății și metoda asigurării stării de confort* conform ISO 16814:2008).

Studiile vizând calitatea aerului din spațiile destinate activităților de birou s-au desfășurat pe parcursul anilor 2013-2017 într-o clădire nouă, situată la periferia orașului București, într-o zonă cu trafic rutier redus și fără surse majore de poluare industrială.

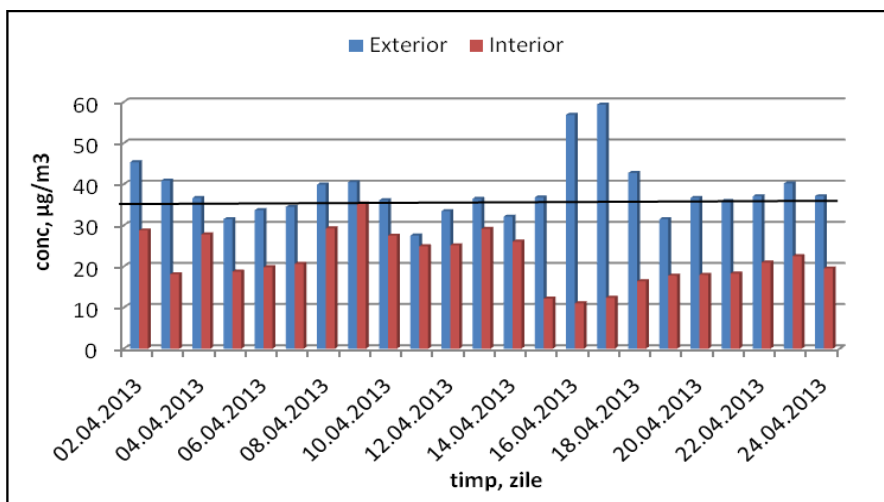
Pentru monitorizarea concentrației de poluanți în aerul din interiorul și exteriorul clădirii au fost utilizate echipamente de prelevare/măsurare etalonate și/sau calibrate cu respectarea prevederilor standardelor de metoda și a referențialului SR EN ISO/CEI 17025:2005 privind validarea/verificarea metodelor analitice și asigurarea calității rezultatelor încercărilor. Testele statistice au fost efectuate cu ajutorul programelor AnaliseIt și SPSS 20.0.

În vederea stabilirii *nivelului de poluare cu pulberi a aerului interior* și identificării surselor specifice de poluare au fost efectuate următoarele teste: i) evaluarea nivelului de poluare cu pulberi  $PM_{2.5}$ ; ii) repartiția pulberilor pe fracții dimensionale; iii) analiza unor compuși prezenți în pulberi (metale, PAH-uri și anioni solubili).

Pentru evaluarea nivelului de poluare cu pulberi  $PM_{2.5}$  au fost selectate inițial patru încăperi: doua birouri (E3-13 și E1-23), o camera de balanțe și un spațiu de tranzit; în baza rezultatelor preliminare a fost selectat biroul E3-13 pentru evaluarea calității aerului din interiorul unui spațiu destinat activităților de birou.

Rezultatele testelor referitor la concentrația de pulberi din aerul exterior clădirii în perioada 2 - 24.04.2013 au evidențiat depășirea valorii limită pentru aprox. 70% (15 valori din 23) dintre mediile zilnice (Fig. 4.8) deși în zonă traficul rutier este redus și nu există surse importante de

poluare industrială. Conform datelor de literatură (Gradon, 2009; Harrison și colab., 2012; Nicholson, 1988) valoarea ridicată a concentrației de pulberi se datorează fenomenului de resuspensie favorizat de prezența vântului din NV pe toată perioada testelor și lipsei precipitațiilor.



**Fig. 4.8** Variația în timp a concentrației de pulberi  $PM_{2.5}$  în interiorul și exteriorul clădirii în perioada 2 - 24.04.2013 (Bucur și Danet, acceptat publicare *Environ Eng Manag J*).

În aceeași perioadă, în interiorul clădirii, concentrațiile pulberilor  $PM_{2.5}$  au fost în mod constant mai mici decât în exterior; valorile constant mai mici în interior demonstrează o izolare bună a clădirii și lipsa unor fisuri importante ale construcției care să permită pătrunderea pulberilor din exterior.

Referitor la repartiția pe fracții dimensionale de pulberi, testele efectuate în biroul E3-13 în perioada 14-23.06.2013 au evidențiat prezența în aer cu precădere a pulberilor de mici dimensiuni,  $PM_{2.5}$ ; astfel, pe medie, pulberile totale în suspensie (TSP) conțin în proporție de 91% pulberi  $PM_{2.5}$  ceea ce ne determină să considerăm plauzibilă ipoteza existenței în interior a unor surse de poluare cu pulberi de mici dimensiuni.

Această ipoteză este susținută de rezultatele regresiei liniare aplicate concentrației de pulberi din interiorul și exteriorul clădirii, respectiv valorile ridicate ale pantei și interceptului dreptei de regresie, dar și a raportului I/O în biroul E3-13 comparativ cu celelalte spații (Tabel 4.11). De asemenea, valorile coeficientului de corelație Pearson ( $r$ ), ale coeficientului de

determinare ( $r^2$ ), dar și valorile raportului I/O indică aerul din exteriorul clădirii drept o sursă importantă de poluare cu pulberi pentru aerul din clădire.

**Tabel 4.11.** Rezultatele analizei de corelație Pearson și regresie liniară aplicate monitorizării concentrației de pulberi PM<sub>2,5</sub> în interiorul și exteriorul clădirii (Bucur și Danet, acceptat publicare, *Environ Eng Manag J*).

Încăpere/Perioada	Coeficient corelație Pearson, r	Regresie liniară			Grad ocupare, pers/100m <sup>3</sup>	I/O	Diferența între I/O și F <sub>in</sub>
		r <sup>2</sup>	panta, F <sub>in</sub>	intercept			
Recepție/ 02-08.04.2013	0,58	0,34	0,608	0,512	1,7	0,62	0,012
Birou E3-13/ 09-14.04.2013	0,86	0,74	0,759	1,955	6,5	0,82	0,061
Birou E1-23/15-18.04.2013	-0,43	0,19	-0,093	17,58	2,5	0,28	-
Cameră balanțe, E3-22/19-24.04.2013	0,79	0,62	0,535	0,047	0,9	0,54	0,005

Analiza de corelație Pearson aplicată gradului de ocupare și valorii interceptului demonstrează o corelație directă foarte bună ( $r = 0,99$ ) a celor doi parametri, ceea ce indică prezența personalului în încăpere (exprimată prin gradul de ocupare) ca posibilă sursă de poluare cu pulberi PM<sub>2,5</sub> transferate în aer de pe hainele și încălțămintea acestora. Prezența personalului poate determina de asemenea resuspensia particulelor deja sedimentate pe mobilier sau pardoseală (Gradon, 2009; Thatcher și Layton, 1995), influență care poate fi redusă prin întreținerea și igienizarea corespunzătoare a spațiilor. Această ipoteză este susținută și de diagrama variației în timp (24 ore) a concentrației de pulberi în aer în biroul E3-13 care evidențiază o creștere continuă a concentrației de pulberi în perioada corespunzătoare programului de lucru urmată de o scădere pe perioada nopții.

Specificul activităților desfășurate în acest birou, tehnoredactare, tipărire și copiere documente sugerează procesul de printare/copiere ca posibilă sursă de poluare internă cu pulberi.

Informații suplimentare, utile în procesul de identificare a surselor de pulberi din aerul interior, au oferit rezultatele testelor privind compoziția chimică a pulberilor prelevate în aerul din birou, respectiv concentrațiile de metale, anioni și hidrocarburi policiclice aromatice (PAH) identificate în pulberi.

Referitor la metale (Tabel 4.13), este de remarcat cantitatea mare de Fe din pulberi, știind că oxizii acestui metal reprezintă una dintre principalele componente ale tonerului negru utilizat

la copiatoare, alături de Mn, Zn, Cr, Ti și As (Bai și colab., 2010). Bariul, de asemenea intră în compoziția hârtiei speciale pentru copiator, ceea ce vine să confirme ipoteza conform căreia în biroul E3-13 procesul de copiere poate reprezenta o sursă internă importantă de poluare cu pulberi de mici dimensiuni.

Analiza prin cromatografie de schimb ionic a extractelor în apă distilată a condus la identificarea în cele trei fracții dimensionale de pulberi a următorilor anioni, repartizați cantitativ în aceeași ordine, în cele trei fracții dimensionale:  $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{F}^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{NO}_2^-$ . În cantitatea cea mai mare a fost identificat anionul  $\text{NO}_3^-$  a cărui concentrație este de aprox. 40 ori mai mare decât a următorului anion,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Prezența ionului  $\text{NO}_3^-$  în cantitatea cea mai mare poate fi explicată prin aportul de pulberi datorat aerului din exterior, zona adiacentă fiind o fostă zonă agricolă, pe care s-au utilizat în exces îngrășăminte chimice.

**Tabel 4.13.** Compoziția în metale și anioni a pulberilor  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  și TSP, E3-13 (Bucur și colab., 2014)

Metal	Concentrația, $\mu\text{g/g}$			Rapoarte			Anion	Concentrația, $\text{mg/g}$		
	$\text{PM}_{2,5}$	$\text{PM}_{10}$	TSP	$\text{PM}_{10} / \text{TSP}$	$\text{PM}_{2,5} / \text{PM}_{10}$	$\text{PM}_{2,5} / \text{TSP}$		$\text{PM}_{2,5}$	$\text{PM}_{10}$	TSP
As	32	27	20	1,38	1,17	1,62	$\text{F}^-$	0,23	0,38	0,30
Cu	69	58	60	0,97	10,87	10,56	$\text{Cl}^-$	7,11	5,56	6,82
Cr	13	31	19	1,67	0,42	0,71	$\text{NO}_2^-$	0,005	0,011	0,004
Fe	1068	1521	1935	0,79	0,70	0,55	$\text{NO}_3^-$	<b>397,6</b>	<b>389,6</b>	<b>382,7</b>
Mn	21	29	41	0,72	0,72	0,52	$\text{PO}_4^{3-}$	0,18	0,22	0,25
Ni	10	10	90	0,11	1,09	0,12	$\text{SO}_4^{2-}$	8,21	9,13	10,87
Pb	146	193	274	0,70	0,76	0,53				
Ti	23	39	47	0,83	0,60	0,50				
Zn	185	418	164	2,55	0,44	1,13				
Al	207	801	837	0,96	0,26	0,25	Anion			
Ba	143	161	75	2,14	0,89	1,90	$\text{F}^-$	1,27	0,61	0,77
Na	493	765	751	1,02	0,65	0,66	$\text{Cl}^-$	0,82	1,28	1,04
K	3171	3377	3363	1,00	0,94	0,94	$\text{NO}_2^-$	2,75	0,45	1,25
Ca	643	801	2143	0,37	0,80	0,30	$\text{NO}_3^-$	1,02	1,02	1,04
Mg	133	254	427	0,59	0,52	0,31	$\text{PO}_4^{3-}$	0,88	0,82	0,72
r, Pearson				<b>0,93</b>	<b>0,96</b>	<b>0,88</b>	$\text{SO}_4^{2-}$	0,84	0,90	0,76

O altă posibilă sursă de poluare cu pulberi poate fi locul de fumat situat la același etaj al clădirii; testele efectuate pentru determinarea prin HPLC-FLD a prezenței PAH-urilor în pulberi indică cele mai mari concentrații de PAH-uri în pulberile prelevate din aerul exterior, 36,30

ng/m<sup>3</sup> (exprimat ca sumă de PAH), iar cele mai mici în aerul din biroul E3-13: 21,82 ng/m<sup>3</sup>. Dintre compușii analizați benzo(a)pirenul prezintă cele mai mari concentrații în biroul E3-13 iar crisenul în aerul exterior și locul de fumat.

Faptul că regăsim PAH-uri în pulberile prelevate din aerul exterior nu este o noutate; este unanim recunoscută poluarea aerului din zonele urbane cu PAH-uri (Querol și colab., 2007; Khan și colab., 2010; Khaiwal și colab., 2006; Wingfors și colab., 2001; Baek și colab., 1991) și nici Bucureștiul nu face excepție (Bucur și Danet, 2016b).

Prezența lor în pulberile din aerul interior se poate datora influenței emisiilor generate la locul de fumat dar și al fumătorilor (Castro și colab., 2011; Nicula și colab., 2014; Gundel și Mahanama, 1995); Ren și colab. (2006) au identificat de asemenea prezența PAH-urilor în pulberile care se acumulează în calculatoare și alte echipamente utilizate în activitatea de birou care conțin componente din materiale plastice.

Rezultatele obținute ne determină să considerăm fumatul și, implicit, emisiile specifice locului de fumat o sursă de pulberi mai puțin importantă decât am presupus inițial, cu influență redusă asupra calității aerului din biroul E3-13.

Testele pentru cuantificarea *nivelului de poluare a aerului din birouri cu compuși gazoși* și identificarea surselor de poluare au fost efectuate în doua campanii de monitorizare (13-27.07.2016 și 19-27.01.2017), iar rezultatele corespunzătoare sezonului cald sunt prezentate în Tabelul 4.17. Au fost monitorizați în primul rând compușii gazoși specifici poluării urbane: NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO și O<sub>3</sub>; în plus, au fost mășurați o serie de compuși specifici aerului interior: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S și formaldehida.

Constatăm un nivel scăzut al concentrației acestor compuși atât în aerul interior cât și în aerul exterior clădirii, valorile obținute situându-se sub valorile limită.

Valorile subunitare ale raportului I/O pentru toți indicatorii demonstrează de asemenea lipsa unor surse interne de poluare cu acești compuși. *Aerul din exterior* rămâne astfel cea mai importantă sursă de poluare a aerului interior cu NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO și O<sub>3</sub>, afirmație susținută și de valorile coeficienților de corelație Spearman ( $q$ ) prezentate în Tabelul 4.18 pentru sezonul cald. Astfel, corelația între interior și exterior este bună pentru NO<sub>2</sub> și SO<sub>2</sub> ( $q_{NO_2} = 0,627$  iar  $q_{SO_2} = 0,605$ ) și moderată în cazul CO ( $q_{CO} = 0,449$ ).

**Tabel 4.17.** Rezultatele monitorizării calității aerului în biroul E3-13 și exteriorul clădirii în perioada 13-27.07.2016

	I- NO <sub>2</sub> μg/m <sup>3</sup>	O-NO <sub>2</sub> μg/m <sup>3</sup>	I-SO <sub>2</sub> μg/m <sup>3</sup>	O-SO <sub>2</sub> μg/m <sup>3</sup>	I-CO mg/m <sup>3</sup>	O-CO mg/m <sup>3</sup>	O-temp °C	O-RH %
Număr măsurători	157	184	156	184	156	184	340	340
Medie	15,47	22,2	4,2	4,72	0,184	0,235	25,44	56,01
Mediană	15,45	20,15	4,23	4,72	0,185	0,23	25,3	50,2
Abatere standard	5,716	10,05	0,745	0,905	0,031	0,055	4,81	20,55
Asimetrie	0,311	0,819	0,405	0,385	-0,047	0,822	-0,04	0,502
Abaterea standard a asimetriei	0,194	0,179	0,194	0,179	0,194	0,179	0,132	0,132
Boltire	0,490	0,741	-0,314	-0,185	-0,129	0,696	-1,05	-0,955
Abaterea standard a boltirii	0,385	0,356	0,386	0,356	0,386	0,356	0,264	0,264
Minim	3,36	4,42	2,75	3,06	0,11	0,14	15,9	26,7
Raport I/O	0,70		0,89		0,78		-	-
Maxim	33,71	54,31	6,40	7,29	0,27	0,43	34,7	99,6
Valori limită, ISO 16814:2008	200(1h)	-	125(24h)	-	10(8)	-	-	-
Valori limită, Legea 104/2011	-	200(1h)	-	125(24h)	-	10(8)	-	-

**Tabel 4.18.** Rezultatele testului de corelație Spearman aplicat seriilor de date de monitorizare din perioada 13-27.07.2016

	I- NO <sub>2</sub>	I-SO <sub>2</sub>	I-CO	O-NO <sub>2</sub>	O-SO <sub>2</sub>	O-CO	O-temp	O-RH
I- NO <sub>2</sub>	1,000							
I-SO <sub>2</sub>	-0,012	1,000						
I-CO	0,302**	0,231**	1,000					
O-NO <sub>2</sub>	0,627**	-0,022	0,226**	1,000				
O-SO <sub>2</sub>	0,005	0,605**	0,271**	0,049	1,000			
O-CO	0,352**	0,115*	0,449**	0,537**	0,310**	1,000		
O-temp	0,111*	-0,233**	-0,041	0,256**	-0,333**	0,175**	1,000	
O-RH	0,193**	0,318**	-0,021	0,017	0,266**	-0,204**	-0,050	1,000

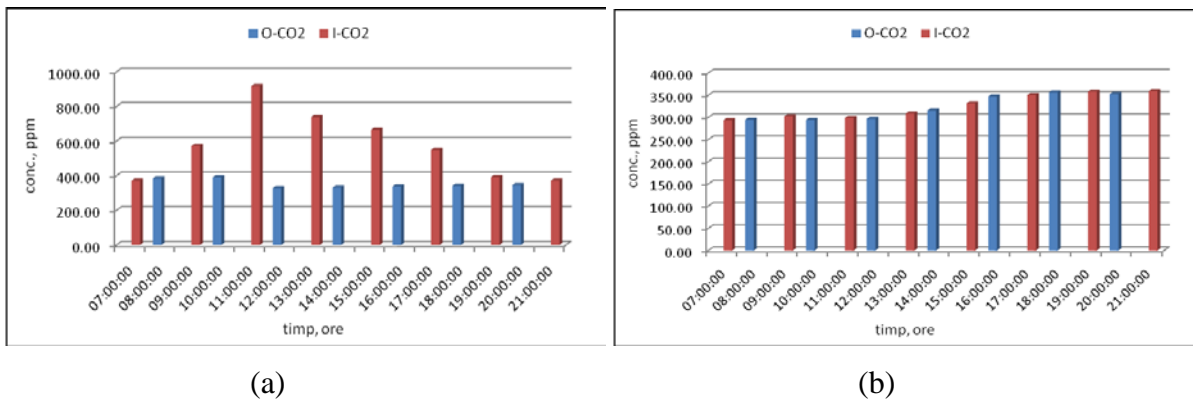
\*Corelație semnificativă, nivel de probabilitate: 0,01

\*\*Corelație semnificativă, nivel de probabilitate: 0,05

Culoare					
Semnificație corelație	Foarte slabă	slabă	moderată	bună	Foarte bună

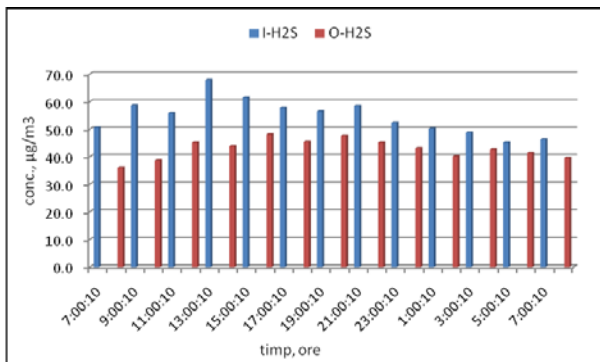
Referitor la evaluarea calității aerului din birouri prin *metoda asigurării stării de confort*, luând în calcul concentrația de CO<sub>2</sub>, respectiv valorile diferențelor între concentrațiile măsurate în interiorul și exteriorul clădirii, calitatea aerului din biroul E3-13 se încadrează în clasa de calitate IDA 1 – calitate ridicată a aerului interior - pentru 97% dintre măsurările efectuate în perioada 19-26.01.2017, restul de 3% din cazuri încadrându-se în condițiile corespunzătoare IDA 2, respectiv o calitate medie a aerului.

Aportul prezenței personalului în spațial analizat este evidențiat și de rezultatele obținute în urma monitorizării concentrației de CO<sub>2</sub> (Fig. 4.14), H<sub>2</sub>S și formaldehidă care prezintă creșteri substanțiale ale concentrației în aerul interior în timpul programului de lucru (Fig. 4.15 și Fig. 4.16), ajungând, în cazul formaldehidei, să depășească valoarea limita recomandată de 3,5 ori.

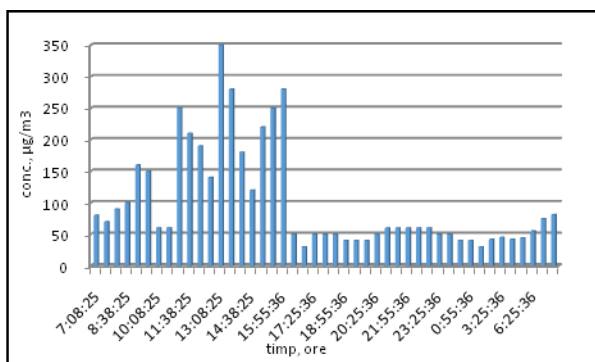


**Fig. 4.14.** Variația în timp a concentrației de CO<sub>2</sub> în biroul E3-13 și în exteriorul clădirii într-o zi lucrătoare (a) și în weekend (b).

Constatăm astfel o variație mare a concentrației de CO<sub>2</sub> în birou (diferența între valoarea maximă și cea minimă de 656,5 ppm) comparativ cu aerul exterior clădirii (136,8 ppm) și un



**Fig. 4.15.** Variația în timp a concentrației de H<sub>2</sub>S în biroul E3-13 și în exteriorul clădirii în perioada 03-04.02.2017, μg/m<sup>3</sup>.



**Fig. 4.16.** Diagrama variației în timp a concentrației de CH<sub>2</sub>O în biroul E3-13 în perioada 03-04.02.2017, μg/m<sup>3</sup>.



raport I/O supraunitar ( $I/O=1,2$ ) care evidențiază prezența unor surse de  $CO_2$  în interior, reprezentată de personalul prezent în birou;

În concluzie, calitatea aerului în cazul biroului E3-13 nu ridică probleme deosebite privind sănătatea personalului dacă se iau măsuri corespunzătoare pentru reducerea concentrației de formaldehidă. O metodă eficientă poate fi aerisirea frecventă a spațiului sau înlocuirea sistemului de condiționare a aerului cu unul mai performant care să permită împrăștierea corespunzătoare a aerului introdus în încăperea. Reducerea gradului de ocupare al biroului poate reprezenta deasemenea o soluție pentru îmbunătățirea calității aerului și a nivelului de confort.

#### 4.2. Evaluarea calității aerului din spațiile destinate expunerii unor obiecte de patrimoniu.

Testele vizând evaluarea calității aerului din interiorul muzeelor și efectul pe care poluanții prezenți în aer îl pot avea asupra exponatelor au fost efectuate în perioada 2014-2015 în două săli de expunere aparținând Muzeului Național al Aviației Române (Hangarul 1 și Hangarul 2) și în biserica de lemn situată pe același amplasament. Ținând cont de poziționarea muzeului, într-o zonă urbană și de particularitățile exponatelor, pentru evaluarea calității aerului în interiorul și exteriorul muzeului au fost monitorizate în paralel concentrațiile de  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$  și  $PM_{2,5}$  în două campanii, în sezonul cald și în sezonul rece. Concomitent au fost monitorizați și parametrii, temperatură și umiditate (RH) în interior și în exteriorul clădirii; s-a avut în vedere evaluarea variațiilor diurne ale temperaturii și umidității care pot genera procese repetate de contracție/dilatate și, implicit, o fragilizare a structurii exponatelor. Pentru evaluarea calității aerului din muzeu au fost utilizate valorile limită recomandate de ASHRAE Handbook – Chapter 21, 2007 pentru colecțiile generale (Tabel 4.26).

**Tabelul 4.26.** Valori limită recomandate pentru  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$ , pulberi  $PM_{2,5}$  în muzee (ASHRAE Handbook – Chapter 21, 2007).

Poluanți	Limite sugerate pentru colecții				Limite de intervenție			
	materiale sensibile		colecții generale		urgentă		extremă urgentă	
	ppb	$\mu g/m^3$	ppb	$\mu g/m^3$	ppb	$\mu g/m^3$	ppb	$\mu g/m^3$
$NO_2$	<0,05 – 2,6	<0,1-5,3	2-10	4-20	26-104	110-210	>260	>530
$SO_2$	<0,04 – 0,4	<0,1-1	0,4-2	1-5,7	8-15	23-43	15-57	43-160
$O_3$	0,05	0,1	0,5-5	1-10	25-60	50-130	75-250	160-530
$PM_{2,5}$	-	<0,1	-	1-10	-	10-50	-	50-150

Rezultatele testelor efectuate în cele două hangare au evidențiat o calitate bună a aerului interior, cu valori medii ale concentrației de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> și pulberi PM<sub>2,5</sub> mai mici decât limitele recomandate de ASHRAE pentru colecțiile generale ( în Tabelul 4.34 sunt prezentate rezultatele monitorizării calității aerului în Hangarul 2, în perioada 23.02.2015-19.03.2015); în cazul ozonului însă au fost identificate frecvente depășiri ale valorii limită recomandate (10 μg/m<sup>3</sup>), valorile situându-se sub valoarea limită inferioară de intervenție (50 μg/m<sup>3</sup>). De asemenea, în cazul Hangarului 2, au fost identificate depășiri ale concentrației de pulberi PM<sub>2,5</sub> în sezonul cald, cu o medie a perioadei de 10,7 μg/m<sup>3</sup> față de 10 μg/m<sup>3</sup> cât este valoarea limită recomandată.

Analizând și informațiile oferite de analiza de corelație Spearman (Tabelul 4.35 se refera la Hangarul 2, perioada 23.02.2015-19.03.2015) observăm o corelație foarte bună între exterior și interior în cazul CO, O<sub>3</sub> și NO<sub>2</sub> ( $q_{CO} = 0,904$ ;  $q_{NO2} = 0,823$ ;  $q_{O3} = 0,805$  conform Tabel 4.36) ceea ce ne determină să considerăm aerul din exteriorul clădirii drept principala sursă de poluare a aerului cu acești compuși. Nu trebuie neglijată însă posibilitatea apariției unor surse suplimentare de poluare datorate lucrărilor de restaurare sau a prezenței vizitatorilor și/sau a personalului muzeului.

Referitor la poluarea aerului din interiorul bisericii, cu excepția ozonului a cărui medie (10,14μg/m<sup>3</sup>) depășește limita recomandată (10μg/m<sup>3</sup>) cu aprox. 1,5%, mediile perioadei pentru ceilalți compuși se încadrează în limitele recomandate de ASHRAE pentru colecțiile generale.

În zilele în care se desfășoară servicii religioase se observă însă o creștere a concentrației de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> și PM<sub>2,5</sub> peste valorile medii din celelalte zile ale săptămânii (Fig. 4.20a); creșterea poate fi datorată arderii lumânărilor și prezenței enoriașilor în biserică. Această ipoteză este susținută și de reprezentarea grafică a evoluției în timp a concentrațiilor medii orare de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> duminică 06.07.2014 în interiorul și exteriorul bisericii (Figura 4.21a).

**Tabel 4.34.** Rezultatele monitorizării și indicatorii tendinței centrale, dispersiei și formei distribuției seriilor de date pentru Hangarul 2 și aerul ambiant cumulate sezonul cald și rece (Bucur și colab., 2017).

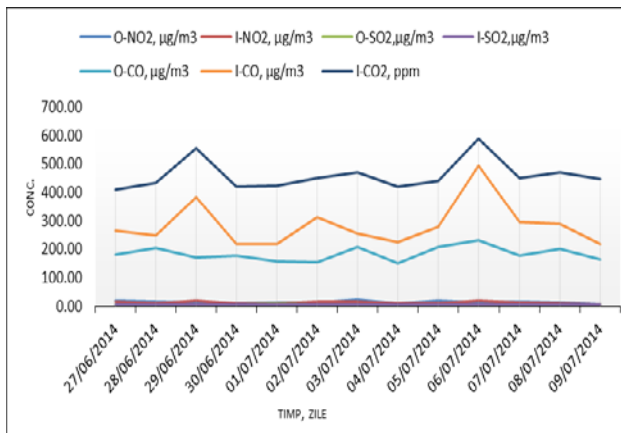
	NO <sub>2</sub> , μg/m <sup>3</sup>			SO <sub>2</sub> , μg/m <sup>3</sup>			O <sub>3</sub> , μg/m <sup>3</sup>			PM <sub>2,5</sub> , μg/m <sup>3</sup>			Temp, °C		RH, %	
	I	O	I/O	I	O	I/O	I	O	I/O	I	O	I/O	I	O	I	O
Număr valori	794	794		794	794		794	794		794	794		794	794	794	794
Media	12,36	18,39	0,92	4,03	5,17	0,84	10,78	31,05	0,35	9,88	20,51	0,49	12,9	10,96	57,83	77,74
Mediana	10,19	12,43		3,48	4,35		9,96	31,13		9,54	20,12		9,6	8,0	56,4	80,48
Abaterea standard	7,23	15,53		1,24	2,94		1,86	5,79		1,32	2,103		6,94	7,92	7,69	19,58
Asimetria	1,54	1,71		2,65	5,96		1,29	-0,147		0,564	-0,079		1,12	1,16	0,282	-0,505
Abate standard a asimetriei	0,087	0,087		0,087	0,087		0,087	0,087		0,087	0,087		0,087	0,087	0,087	0,087
Boltirea	2,57	3,2		11,2	54,14		0,956	-0,925		-0,927	-0,379		-0,554	0,147	-0,507	-0,827
Abaterea standard a boltirii	0,173	0,173		0,173	0,173		0,173	0,173		0,173	0,173		0,173	0,173	0,173	0,173
Minim	2,98	0,78	0,14	2,93	3,13	0,15	8,42	19,9	0,24	7,98	15,42	0,34	4,2	0,3	37,8	30,0
Maxim	43,7	86,1	1,6	12,9	36,6	1,66	19,49	43,16	0,54	12,65	24,54	0,78	27,6	33,4	73,7	100,0
ASHRAE*	4-20	-		1-5,7	-		1-10	-		1-10	-		< 25	-	25-75	-
Directiva 2008/50/EC**	-	200		-	350		-	120		-	-		-	-	-	-
US EPA***	-	-		-	-		-	-		-	35		-	-	-	-

**Tabel 4.36.** Valorile coeficientului de corelație Spearman (q) pentru indicatorii monitorizați în Hangarul 2 și în aerul ambiant în perioada 23.02-19.03.2015

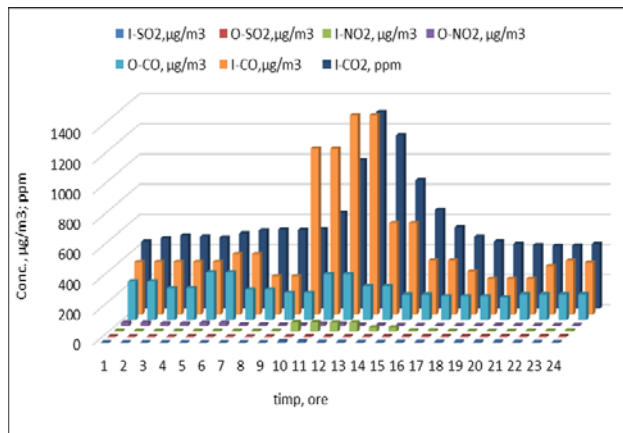
	I-NO <sub>2</sub>	I-SO <sub>2</sub>	I-CO	I-O <sub>3</sub>	I-PM <sub>2,5</sub>	I-temp	I-RH	O-NO <sub>2</sub>	O-SO <sub>2</sub>	O-CO	O-O <sub>3</sub>	O-PM <sub>2,5</sub>	O-temp	O-RH
I-NO <sub>2</sub>	1,000													
I-SO <sub>2</sub>	0,408**	1,000												
I-CO	0,729**	0,366**	1,000											
I-O <sub>3</sub>	-0,377**	0,096*	-0,568**	1,000										
I-PM <sub>2,5</sub>	-0,060	0,114**	0,049	-0,063	1,000									
I-temp	-0,068	0,185**	-0,095*	0,005	-0,172**	1,000								
I-RH	-0,157**	0,053	-0,073	-0,155**	0,157**	0,0325**	1,000							
O-NO <sub>2</sub>	0,823**	0,232**	0,697**	-0,557**	-0,063	-0,048	-0,042	1,000						
O-SO <sub>2</sub>	0,498**	0,657**	0,384**	0,114**	0,101*	-0,054	-0,176**	0,300**	1,000					
O-CO	0,661**	0,318**	0,904**	-0,576**	0,056	-0,144**	-0,080	0,790**	0,348**	1,000				
O-O <sub>3</sub>	-0,430**	-0,066	-0,639**	0,805**	-0,052	-0,057	-0,178**	-0,730**	0,057	-0,748**	1,000			
O-PM <sub>2,5</sub>	-0,183**	-0,287**	-0,179**	-0,065	-0,190**	-0,005	0,207**	-0,061	-0,290**	-0,150**	-0,074	1,000		
O-temp	0,184**	0,273**	-0,098*	0,433**	-0,137**	-0,090*	-0,425**	-0,070	0,398**	-0,129**	0,407**	-0,102*	1,000	
O-RH	-0,102*	-0,252**	0,243**	-0,429**	-0,103*	0,100*	0,262**	0,116**	-0,486**	0,265**	-0,469**	0,312**	-0,512**	1,000

\* Corelație semnificativă, nivel de probabilitate: 0,05

\*\* Corelație semnificativă, nivel de probabilitate: 0,01



**Fig. 4.20a.** Evoluția în timp a concentrațiilor de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO și CO<sub>2</sub> în biserica de lemn și în aerul ambiant în perioada 27.06.2014 - 9.07.2014



**Fig. 4.21a.** Evoluția în timp a concentrațiilor medii orare de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO și CO<sub>2</sub> în biserica de lemn și în exterior, duminică 06.07.2014.

În concluzie, putem aprecia că rezultatele testelor efectuate indică o calitate bună a aerului în cele trei spații testate, concentrațiile compușilor monitorizați situându-se, pe medie, sub valorile recomandate de ASHRAE pentru prevenirea degradării și conservarea obiectelor de patrimoniu. Excepție fac ozonul și PM<sub>2,5</sub> (Hangarul 2, în sezonul cald), care, pot depăși valoarea limită recomandată și, în timpul serviciilor religioase, concentrațiile de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> în biserica de lemn. Aerisirea lăcașului de cult după finalizarea serviciului religios reduce riscul degradării obiectelor de valoare patrimonială prezente aici sau a lemnului din care este confecționată biserica. Concentrații mai mari de NO<sub>2</sub> și CO s-au observat în Hangarul 2, în sezonul rece, posibil datorită unor activități de restaurare desfășurate în interior sau în imediata vecinătate a căii de acces.

Valorile parametrilor de microclimat temperatură și umiditate și variațiile diurne ale acestora se încadrează într-un interval care presupune risc redus pentru majoritatea exponatelor (clasa C de control conform ASHRAE).

Referitor la sursele de poluare, din informațiile oferite de valorile rapoartelor I/O, și analiza de corelație Spearman a seriilor de date de monitorizare considerăm *aerul din exteriorul clădirii* sursa cu aportul cel mai important asupra calității aerului interior. Activitățile de restaurare desfășurate în acest spațiu și prezența vizitatorilor pot reprezenta de asemenea surse minore de

poluare al căror aport poate influența pe termen scurt concentrația poluanților în aer, dar, fără efect pe termen lung.

O evaluare a calității aerului bazată numai pe raportarea la valorile limită stabilite/recomandate pentru fiecare indicator nu oferă însă cea mai completă imagine referitor la efectul asupra exponatelor. Printr-o astfel de abordare putem obține informații privind posibilul efect pe care fiecare dintre parametrii monitorizați îl poate induce asupra exponatelor, fără a lua în considerație însă potențialul efect cumulativ.

Informații suplimentare am încercat să obținem prin aplicarea regresiei logistice binare seriilor de date rezultate prin monitorizarea de lungă durată a parametrilor chimici și de microclimat.

## **5. Evaluarea impactului mediului din interiorul unui muzeu asupra exponatelor prin regresie logistică binară**

Regresia logistică a fost dezvoltată de statisticianul David Cox în 1958 fiind utilizată inițial în medicină și epidemiologie pentru analiza factorilor de risc asociați unor maladii și/sau pentru diagnoza precoce (Callas și colab., 1998; Wang și colab., 2002; Reisner și colab., 2015; Halpern și Visintainer, 2003; Whittemore și Halpern, 2003). În timp și-a găsit utilitatea și în alte domenii de activitate, precum sociologia, turismul, economia, dar și în domeniul economico-financiar. Nu au fost identificate până la această dată aplicații ale regresiei logistice în domeniul calității aerului, deși considerăm că ar fi de interes cel puțin pentru determinarea unui efect cumulativ al mediului asupra exponatelor dintr-un muzeu sau asupra sănătății populației. Acesta ar putea fi primul demers vizând utilizarea regresiei logistice binare pentru evaluarea efectului mediului asupra exponatelor dintr-un muzeu.

Pentru aplicație s-au utilizat datele obținute în procesul de monitorizare a calității aerului în Hangarul 2 atât în sezonul cald cât și în sezonul rece (Tabel 4.34). Din cele 794 combinații de date obținute s-au folosit pentru calibrarea modelului matematic 715, restul (79 combinații) reprezentând eșantionul necesar pentru validarea modelului (10% dintre combinațiile de date).

Au fost luați în considerare ca și variabile predictor toți cei șase parametri monitorizați: concentrația de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, pulberi PM<sub>2,5</sub>, temperatura și umiditatea, iar ca variabilă dependentă (categorială) *efectul asupra exponatelor*.

Criteriul de departajare a valorilor variabilei dependente a fost raportarea față de valorile limită recomandate de ASHRAE Handbook – Chapter 21, 2007 pentru colecțiile generale ( $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  pentru  $\text{NO}_2$ ;  $5,7\mu\text{g}/\text{m}^3$  pentru  $\text{SO}_2$ ;  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  pentru  $\text{O}_3$ ;  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  pentru  $\text{PM}_{2,5}$ ;  $25^\circ\text{C}$  pentru temperatură și 75% pentru umiditate). În aceste condiții variabilei dependente i s-au atribuit valorile:

- 1, *posibil efect asupra exponatelor*, dacă cel puțin una dintre valorile celor șase variabile predictor depășește limita recomandată;
- 0, *fără efect asupra exponatelor*, dacă valorile tuturor celor șase variabile predictor se situează sub limitele recomandate;

În aceste condiții modelul matematic va fi de forma:

$$\ln(\text{odds\_ratio}) = \beta_0 + \beta_1 x_{\text{NO}_2} + \beta_2 x_{\text{SO}_2} + \beta_3 x_{\text{O}_3} + \beta_4 x_{\text{PM}_{2,5}} + \beta_5 x_{\text{temp}} + \beta_6 x_{\text{RH}} \quad (5.5)$$

în care:

- $\beta_1 \dots \beta_6$  sunt *coeficienții logit* corespunzători celor șase variabile ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ , temperatură și umiditate);
- $\beta_0$  reprezintă constanta (similar regresiei liniare);
- $x_{\text{NO}_2} \dots x_{\text{RH}}$ , reprezintă valorile concentrației de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ , respectiv valorile pentru parametrii de microclimat, temperatură și umiditate (RH);
- *odds\_ratio* (*raportul probabilitatilor sau șansa de producere a unui eveniment*) - exprimă raportul dintre probabilitatea de realizare și probabilitatea de nerealizare a evenimentului;

Rezultatele obținute prin aplicarea regresiei logistice binare, metoda Enter, seriilor de date de monitorizare pentru determinarea *coeficienților logit* corespunzători celor șase parametri luați în analiză și a semnificației lor statistice se regăsesc în Tabelul 5.7.

Observăm astfel că dintre cei șase coeficienți logit, numai patru prezintă semnificație statistică: cei corespunzători concentrațiile de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , pulberi  $\text{PM}_{2,5}$  și umiditate (RH), iar ceilalți doi, temperatura și concentrația de  $\text{SO}_2$  nu prezintă semnificație statistică (Sig.>0,05); în aceste condiții, contribuția lor nefiind semnificativă, pot fi eliminați din model fără a afecta semnificativ exactitatea predicției.

**Tabelul 5.7.** Rezultatele regresiei logistice binare – metoda Enter (*Block 1*) aplicată celor șase variabile predictor (Bucur și colab., 2017).

**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell*	Nagelkerke*
1	231,852	0,564	0,824

\*valorile coeficientilor *Pseudo- R*<sup>2</sup>( a se vedea Anexa 3, pct. A3.6)

**Classification Table**

Observed		Predicted		
		Effects on exhibits		Percentage Correct
		0,00	1,00	
Effects on exhibits	0,00	176	13	93,1
Step 1	1,00	19	507	96,4
Overall Percentage				95,5

**Variables in the Equation**

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1	NO <sub>2</sub>	0,360	0,052	48,090	1	0,000	1,434
	SO <sub>2</sub>	0,472	0,767	0,379	1	0,538	1,604
	temp	-0,038	0,153	0,061	1	0,805	0,963
	RH	-0,081	0,025	10,302	1	0,001	0,922
	O <sub>3</sub>	6,102	0,689	78,484	1	0,000	446,565
	PM	3,422	0,365	88,133	1	0,000	30,633
	Constant	-90,931	9,389	93,795	1	0,000	0,000

Prin eliminarea celor două variabile ecuația modelului se simplifică, devenind:

$$\ln(odds\_ratio) = \beta_0 + \beta_1 x_{NO_2} + \beta_3 x_{O_3} + \beta_4 x_{PM_{2,5}} + \beta_6 x_{RH} \quad (5.6)$$

Valorile coeficienților  $\beta_0.. \beta_4$  se obțin prin aplicarea regresiei logistice binare, metoda Enter, numai seriilor de date corespunzătoare celor patru variabile predictor cu semnificație statistică. Rezultatele etapei finale de predicție, numai cu patru variabile (*Block 1*) se regăsesc în Tabelul 5.8.

**Tabelul 5.8.** Rezultatele regresiei logistice binare – metoda Enter (*Block 1*), fără SO<sub>2</sub> și temperatură (Bucur și colab., 2017).

**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell	Nagelkerke
1	232,269	0,564	0,823

**Classification Table**

Observed		Predicted			
		Effects on exhibits		Percentage Correct	
		0,00	1,00		
Step 1	Effects on exhibits	0,00	174	15	92,1
		1,00	20	506	96,2
	Overall Percentage				95,1

**Variables in the Equation**

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	
Step 1	NO <sub>2</sub>	0,372	0,046	64,674	1	0,000	1,450
	RH	-0,083	0,025	10,929	1	0,001	0,921
	O <sub>3</sub>	6,169	0,674	83,872	1	0,000	477,720
	PM	3,468	0,350	98,137	1	0,000	32,061
	Constant	-90,813	9,367	93,989	1	0,000	0,000

Prin eliminarea din model a concentrației de SO<sub>2</sub> și a temperaturii nu se observă modificări importante în ceea ce privește exactitatea predicției (procentul total de clasificare corectă scade ușor de la 95,5% la 95,1%) sau variabilitatea (valoarea indicatorului Nagelkerke scade nesemnificativ de la 0,824 la 0,823).

Prin introducerea valorilor coeficienților de regresie  $\beta$  (0,372 pentru  $\beta_1$ ; 6,169 pentru  $\beta_2$ ; 3,468 pentru  $\beta_3$ ; - 0,083 pentru  $\beta_4$ ; - 90,813 pentru  $\beta_0$ ) în ecuația (5.6) obținem forma finală a ecuației modelului matematic de predicție:

$$\ln(\text{odds\_ratio}) = 0,372x_{NO_2} + 6,169x_{O_3} + 3,468x_{PM_{2,5}} - 0,083x_{RH} - 90,813 \quad (5.7)$$

care permite calculul valorii raportului probabilităților (*odds\_ratio*) cu relația (5.8) și a probabilității de efect asupra exponatelor , *P*, cu ajutorul relației (5.9):

$$\text{odds\_ratio} = e^{0,372x_{NO_2} + 6,169x_{O_3} + 3,468x_{PM_{2,5}} - 0,083x_{RH} - 90,813} \quad (5.8)$$



$$P = \frac{e^{0,372x_{NO_2}+6,169x_{O_3}+3,468x_{PM_{2,5}}-0,083x_{RH}-90,813}}{1 + e^{0,372x_{NO_2}+6,169x_{O_3}+3,468x_{PM_{2,5}}-0,083x_{RH}-90,813}} \quad (5.9)$$

Valoarea probabilității poate fi calculată de asemenea utilizând programul SPSS 20.0; această facilitate a fost aplicată pentru validarea modelului matematic prin rularea celor 79 combinații de date neutilizate în procesul de calibrare a modelului. În urma procesului de validare 78 de rezultate au fost corecte (98,7%), una singură fiind eronată; rezultatul obținut se încadrează în nivelul de exactitate (procentul total de clasificare corectă) calculat de program (95,1%).

Putem aprecia în aceste condiții că modelul matematic de predicție dezvoltat prin analiza logistică binară a datelor de monitorizare poate fi utilizat cu încredere pentru scopul în care a fost dezvoltat, estimând cu o exactitate foarte bună probabilitatea ca exponatele din Hangarul 2 să fie afectate de factorii de mediu.

Utilitatea rezultatelor obținute prin analiza logistică binară aplicată seriilor de date de monitorizare nu se rezumă numai la predicția probabilității de efect asupra exponatelor. Pornind de la valorile coeficienților de regresie sau a valorilor  $exp(B)$  putem stabili o ierarhie a parametrilor de poluare a aerului interior funcție de potențialul efect asupra exponatelor; putem astfel identifica cu ușurință măsurile care trebuie luate în vederea diminuării posibilelor deteriorări ale exponatelor, pentru o conservare preventivă. În cazul nostru concentrația de  $O_3$  ( $\beta_{O_3} = 6,169$ ) prezintă cel mai puternic efect, fiind urmată în ordine de: concentrația de pulberi  $PM_{2,5}$  ( $\beta_{PM_{2,5}} = 3,468$ ), concentrația de  $NO_2$  ( $\beta_{NO_2} = 0,372$ ) și nivelul umidității ( $\beta_{RH} = -0,083$ ). Valorile probabilităților calculate cu ajutorul relației (5.9) pot fi interpretate și ca *posibil impact al mediului asupra exponatelor luând în calcul un efect cumulat, al tuturor parametrilor monitorizați*; astfel, pentru o mai facilă interpretare propunem un sistem de evaluare a impactului asupra exponatelor bazat pe valoarea calculată a probabilității ( $p$ ): i) impact foarte scăzut pentru  $0 < p < 0,2$ ; ii) impact scăzut pentru  $0,2 < p < 0,4$ ; iii) impact moderat pentru  $0,4 < p < 0,6$ ; iv) impact puternic pentru  $0,6 < p < 0,8$  și v) impact foarte puternic pentru  $p > 0,8$ .

Pentru exemplificarea utilității cunoașterii impactului cumulat al poluanților chimici și ai parametrilor de microclimat semnificativi statistic asupra exponatelor am ales în mod aleator șase combinații, reprezentând tot atâtea situații de poluare, pentru care s-au calculat probabilitățile ca, în acest context de poluare, exponatele să fie afectate și am apreciat posibilul

impact. Menționăm că în acest caz vorbim despre un impact cumulat al celor patru indicatori asupra exponatelor. Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 5.9.

**Tabelul 5.9.** Predicții privind efectul cumulat asupra exponatelor în Hangarul 2.

Situatii analizate	Contextul de poluare a aerului din interiorul Hangarului 2				Probabilitate calculată, %	Impact
	O <sub>3</sub> , μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> , μg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> , μg/m <sup>3</sup>	RH, %		
1	9,38	8,42	13,36	71,40	0,912	foarte scăzut
2	<b>10,49</b>	9,21	9,66	60,5	98,82	foarte puternic
3	<b>10,33</b>	9,21	4,28	53,20	41,33	moderat
4	<b>10,16</b>	8,79	4,05	52,2	38,56	scăzut
5	9,98	8,52	8,50	53,50	27,56	scăzut
6	9,45	9,56	11,11	58,9	47,35	moderat
Valoare limită recomandată ASHRAE	10,0	10,0	20,0	25,0-75,0	-	-

Dacă analizăm situația 2, când numai concentrația de O<sub>3</sub> depășește cu 5% valoarea limită, constatăm totuși un impact foarte puternic al contextului de poluare, probabilitatea fiind de 98,82%.

În cazurile 3 și 4 însă, unde în continuare concentrația de O<sub>3</sub> se menține peste valoarea recomandată (cu 3,3%, respectiv 1,6%) potențialul impact asupra exponatelor devine moderat (cazul 3), respectiv scăzut (cazul 4). De aici rezultă influența deosebită pe care o induce prezența celorlalți poluanți prezenți în aer și importanța determinării impactului cumulat în aprecierea efectului calității aerului asupra exponatelor. În cazurile 2 și 3 trecerea efectului cumulat dintr-o clasă a impactului în alta s-a datorat în mare măsură scăderii concentrației de NO<sub>2</sub> și a umidității.

Similar, în cazurile 1, 5 și 6 unde toți indicatorii de poluare se situează sub valorile limită recomandate efectul cumulat poate determina nivele diferite ale impactului asupra exponatelor: foarte scăzut în cazul 1, scăzut în cazul 5 și moderat în cazul 6.

Chiar și în situația în care valorile tuturor parametrilor implicați se situează sub valorile limită recomandate exponatele pot fi afectate într-o măsură mai mare sau mai mică, funcție de aportul fiecăruia și poziționarea acestora în ierarhia privind pericolozitatea asupra exponatelor. Astfel, variații mici ale concentrației poluanților pot determina variații mari ale impactului mediului asupra exponatelor și necesitatea de a interveni cu măsuri care să reducă acest efect.

Rezultatele regresiei logistice binare pot fi utilizate însă nu numai pentru evaluarea impactului mediului din interiorul muzeului asupra exponatelor și ierarhizarea parametrilor funcție de pericolozitatea acestora. Cu ajutorul modelului matematic pot fi efectuate diverse simulări în vederea stabilirii celor mai eficiente măsuri de reducere a impactului.

Pentru exemplificare am pornit de la contextul de poluare corespunzător cazului 2 din Tabelul 5.9, cu impact foarte puternic asupra exponatelor (cu o probabilitate de 98,82%), unde concentrația de O<sub>3</sub> depășește cu 5% valoarea recomandată, ceilalți trei parametri, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> și RH situându-se sub valoarea limită. La prima vedere concentrațiile de O<sub>3</sub> și PM<sub>2,5</sub> par a determina acest impact iar cea mai simplă metodă de reducere a poluării ar putea fi dotarea sistemului de climatizare cu sistem de filtrare pentru reducerea concentrației de pulberi; în ipoteza în care, în aceste condiții concentrația de pulberi din aer s-ar reduce cu 10% impactul asupra exponatelor și implicit probabilitatea de a afecta exponatele va scădea la 77,46% (cazul 2, Tabel 5.10), iar o reducere cu 20% a concentrației de pulberi ar conduce la un impact foarte scăzut (cazul 3, Tabel 5.10) cu o probabilitate de numai 12,39%.

**Tabelul 5.10.** Predicții privind efectul unor măsuri de reducere a concentrației poluanților din aer asupra exponatelor din Hangarul 2.

Situatii analizate	Contextul de poluare a aerului din interiorul Hangarului 2				Probabilitate calculată, %	Impact
	O <sub>3</sub> , μg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> , μg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> , μg/m <sup>3</sup>	RH, %		
1	10,49	9,21	9,66	60,5	98,82	foarte puternic
2	10,49	8,29	9,66	60,5	77,46	puternic
3	10,49	7,37	9,66	60,5	12,39	foarte scăzut
4	9,97	8,29	9,66	60,5	2,69	foarte scăzut
Valoare limită recomandată ASHRAE	10,0	10,0	20,0	25,0-75,0	-	-

Reducerea efectului asupra exponatelor, cazul 4 (tabelul 10) în care probabilitatea este de numai 2,69% poate fi asigurat în condițiile scăderii cu 10% a concentrației de pulberi (similar cazului 2) concomitant cu reducerea cu 5% a concentrației de O<sub>3</sub> (prin utilizarea unor substanțe reducătoare în sistemul de filtrare sau prin îmbunătățirea etanșezării clădirii, în exterior concentrația de O<sub>3</sub> fiind aproape de două ori mai mare).

Trebuie menționat, de asemenea, faptul că nu vorbim despre un model matematic general valabil; chiar în cazul spațiilor situate pe același amplasament (parametrii caracteristici calității

aerului exterior fiind aceiași), având în vedere multitudinea parametrilor care pot influența calitatea aerului interior, pot apare diferențe din punct de vedere al poluanților cu semnificație statistică, a valorilor coeficienților  $\beta_k$  sau a ierarhiei poluanților din punct de vedere al periculozității.

Pentru exemplificare, în relațiile (5.9-5.11) sunt prezentate formele ecuațiilor modelelor matematice obținute prin regresie logistică binară pentru biserica de lemn (5.9), Hangarul 1 (5.10) și Hangarul 2 (5.11).

Constatăm astfel deosebiri atât în ceea ce privește tipul poluanților care prezintă semnificație statistică cât și în ierarhia acestora. Raportându-ne la Hangarul 2 (ecuația 5.11) în cazul bisericii de lemn (ecuația 5.9) cea mai importantă modificare apare în cazul parametrilor de microclimat. Umiditatea nu prezintă semnificație statistică, ceea ce a determinat eliminarea acestui parametru din ecuația modelului matematic; prezintă semnificație statistică însă temperatura, care a trebuit introdusă în ecuație, chiar mai importantă în aceste condiții decât concentrația de NO<sub>2</sub>. Schimbările în cazul Hangarului 1 (ecuația 5.10) vizează ierarhia poluanților dar și introducerea în ecuație a concentrației de SO<sub>2</sub>.

$$\ln(odds\_ratio) = 7,634x_{O_3} + 0,901x_{PM_{2,5}} - 0,852x_{temp} + 0,144x_{NO_2} - 103,647 \quad (5.9)$$

$$\ln(odds\_ratio) = 1,961x_{PM_{2,5}} + 1,698x_{SO_2} + 1,304x_{O_3} + 0,368x_{NO_2} + 0,160x_{RH} - 49,618 \quad (5.10)$$

$$\ln(odds\_ratio) = 6,169x_{O_3} + 3,468x_{PM_{2,5}} + 0,372x_{NO_2} + -0,083x_{RH} - 90,813 \quad (5.11)$$

Apreciem astfel că, utilizarea modelului matematic obținut prin regresie logistică binară permite obținerea unei imagini mai corecte și mai complete asupra modului în care un anumit context de poluare poate afecta exponatele dintr-un muzeu, decât simpla raportare la valorile limită pentru fiecare indicator, cu condiția să fie construit pe baza unui număr mare de date de monitorizare care să acopere pe cât posibil marea majoritate a potențialelor situații.

## CONCLUZII

Prin intermediul tezei de doctorat ne-am propus să atragem atenția mediului științific, o dată în plus, asupra acestui domeniu mai puțin abordat în România – calitatea aerului din interiorul clădirilor – datorită posibilului impact asupra sănătății oamenilor sau al integrității unor

exponate de muzeu, cu scopul asigurării condițiilor optime de confort pentru personal sau pentru conservarea preventivă a obiectelor de patrimoniu. Datele prezentate în partea originală a tezei au fost obținute în cadrul a două studii ample de caz organizate și derulate în:

- spațiile de birouri din clădirea ECOIND (reprezentativ fiind biroul E3-13)
- trei spații de expunere aparținând Muzeului Național al Aviației Române, în care au fost

urmărite următoarele aspecte:

1. Monitorizarea pe termen lung, în sezonul cald și în sezonul rece a următorilor parametri:
  - NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> și pulberi în ambele locații și, suplimentar,
  - H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> și formaldehida în spațiul destinat activităților de birou
  - parametri de microclimat temperatură și umiditate, în muzeu;
2. Caracterizarea statistică a seriile datelor de monitorizare: verificarea normalității distribuției, corelația interior/exterior, regresia liniară a concentrației de pulberi și frecvența depășirii valorilor limită;
3. Identificarea compușilor cu *cel mai puternic impact asupra sănătății personalului/integrității exponatelor*: formaldehida în cazul biroului E3-13; ozonul în cazul spațiilor de expunere ale muzeului.
4. Identificarea principalelor surse de poluare ale aerului interior:
  - în spațiile de birouri (E3-13): aerul din exteriorul clădirii, activitățile de printare/copiere și prezența personalului;
  - în muzeu: aerul din exteriorul clădirilor și lucrările ocazionale de restaurare;
  - în biserica de lemn: aerul din exteriorul clădirii și, ocazional, emisiile de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> și pulberi din timpul serviciilor religioase;
5. Analiza prin regresie logistică binară a datelor de monitorizare din Hangarul 2 în vederea:
  - dezvoltării unui model matematic validat de predicție a efectului calității aerului interior asupra exponatelor;
  - stabilirii relației de calcul a probabilității de efect asupra exponatelor;
  - cuantificării impactului cumulat al compușilor prezenți în aer și al parametrilor de microclimat asupra exponatelor prin asimilarea acestuia cu valoarea probabilității de efect asupra exponatelor;
  - ierarhizării poluanților prezenți în aerul din Hangarul 2 funcție de potențialul efect asupra exponatelor;

Fiind *prima aplicație a regresiei logistice binare în domeniul evaluării calității aerului* din muzee și de cuantificare a posibilului impact asupra exponatelor, considerăm această cercetare ca un prim pas pentru o serie de proiecte viitoare cu aplicabilitate în domenii conexe vizând calitatea aerului din interiorul clădirilor rezidențiale, industriale sau de birouri dar și al aerului ambiental și evaluarea efectului mediului asupra sănătății populației.

## BIBLIOGRAFIE SELECTATA

- ASHRAE, Museums libraries and archives, in: 2007. ASHRAE Handbook. Heating, Ventilating and Air-Conditioning Applications, SI ed., American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2007 (Chapter 21).
- Baek, S., R. Field, M. Goldstone, P. Kirk, J. Lester, and R. Perry. 1991. A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, fate and behavior. *Water Air Soil Poll.* 60:279-300.
- Bai, R., L. Zhanga, Y. Liu, L. Meng, L. Wang, Y. Wu, W. Li, C. Ge, L. Le Guyader, and C. Chen. 2010. Pulmonary responses to printer toner particles in mice after intratracheal instillation. *Toxicol Lett.* 199:288–300.
- Bucur, E., M. Petrescu, G. Vasile, L.F. Pascu and R. Diodiu. 2014. How protected are we indoor? Indoor air pollution with particulate matter in an office building from Bucharest, 14<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 17-26, June 2014, Albena, Bulgaria, Conference Proceedings, vol 2:383-390.
- Bucur, E. and Danet A.F. 2016b. Particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbon air pollution in areas of Bucharest with heavy road traffic. *Rev. Chim.* 67(4):621-625.
- Bucur, E. and Danet A.F. (acceptat spre publicare 2015), Indoor/Outdoor correlations regarding indoor air pollution with particulate matter. *Environ Eng Manag J.*
- Bucur, E., A.F. Danet, C.B. Lehr, E. Lehr, and M. Nita-Lazar. 2017. Binary logistic regression – instrument for assessing museum indoor air impact on exhibits. *J Air Waste Manag Assoc.* 67(4):391-401.
- Callas, P.W., H. Pastides, and D.W. Hosmer. 1998 Jan. Empirical comparisons of proportional hazards, poisson, and logistic regression modeling of occupational cohort data. *Am J Ind Med.* 33(1):33-47.
- Castro, D., K. Slezakova, C. Delerue-Matos, M. Da Conceição Alvim-Ferraz, S. Morais, and M. Do Carmo Pereira. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons in gas and particulate phases of indoor environments influenced by tobacco smoke: Levels, phase distributions, and health risks. *Atmos Environ.* 45:1799- 1808.
- Franklin, P.J. 2007. Indoor air quality and respiratory health of children. *Paediatr Respir Rev.* 8:281-286.
- Gradon, L. 2009. Resuspension of particles from surfaces: Technological, environmental and pharmaceutical aspects. *Adv Powder Technol.* 20(1):17–28.
- Gundel, L.A., and K.R. Mahanama. 1995. Semivolatile and particulate polycyclic hydrocarbons in environmental tobacco smoke: cleanup, speciation, and emission factors. *Environ Sci Technol.* 29:1607-1614.
- Hailpern, S.M., and P.F. Visintainer. 2003. Odds ratios and logistic regression: Further examples of their use and interpretation. *Stata J.* 3:213–225.

- Harrison, P.T. 1997. Health impacts of indoor air pollution. *Chem Indust.* 17:677-681.
- Harrison, R.M., A.M. Jones, J. Gietl, J. Yin, and D.C. Green. 2012. Estimation of the Contributions of Brake Dust, Tire Wear, and Resuspension to Nonexhaust Traffic Particles Derived from Atmospheric Measurements. *Environ Sci Technol.* 46(12):6523–6529.
- Irimia-Diequez, A.I., A. Blanco-Oliver, and M.J. Vazquez-Cueto. 2015. A comparison of classification/regression trees and logistic regression in failure models. 2nd Global Conference on Business, Economics, Management and Tourism, 30–31 October 2014, Prague, Czech Republic. *Procedia Econ Finance* 23:9–14.
- ISO 16814:2008. Building environment design – Indoor air quality – Methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy. ISO 2008.
- Khairwal, R., B. Laszlo, W. Eric, D.H. Johan, D. Felix, R. Edward, B. Nico, B. Patric, and V.G. Rene. 2006. Seasonal and site specific variation in vapour and aerosol phase PAHs over Flanders (Belgium) and their relation with anthropogenic activities. *Atmos Environ.* 40:771–785.
- Khan, M.F., Y. Shirasuna, K. Hirano, and S. Masunaga. 2010. Characterization of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>2.5-10</sub> and PM<sub>>10</sub> in ambient air, Yokohama, Japan. *Atmos Res.* 96:159–172.
- Nazaroff, W.W. 2013. Exploring the consequences of climate change for indoor air quality. *Environ Res Lett.* 8(1). 015022.
- Nicholson, K.W. 1988. A review of particle resuspension. *Atmos Environ.* 22(12):2639–2651.
- Nicula, G.Z., M.L. Vica, D. Popa, St. Balici, H. Matei, and C. Siserman. 2014. Aspects of particulate matter in cigarette smoke and car engines emission fuelled by gasoline observed by scanning electron microscopy. *J Environ Prot Ecol.* 15(1):23-29.
- Reisner, S.L., R. Vetter, M. Leclerc, S. Zaslow, S. Wolfrum, D. Shumer, and M.J. Mimiaga. 2015. Mental Health of Transgender Youth in Care at an Adolescent Urban Community Health Center: A Matched Retrospective Cohort Study. *J Adolescent Health.* 56(3):274-279.
- Ren, Y., T. Cheng, and J. Chen. 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons in dust from computers: one possible indoor source of human exposure. *Atmos Environ.* 40(36):6956-6965.
- Thatcher, T.L., and D.W. Layton. 1995. Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence. *Atmos Environ.* 29(13):1487-1497.
- Querol, X., M. Viana, A. Alastuey, F. Amato, T. Moreno, S. Castillo, J. Pey, J. De la Rosa, A. Sánchez De La Campa, and B. Artíñano. 2007. Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain. *Atmos Environ.* 41(34):7219-7231.
- Wang, R.T., T. Wang, K. Chen, J.Y. Wang, J.P. Zhang, S.R. Lin, Y.M. Zhu, W.M. Zhang, Y.X. Cao, C.W. Zhu, H. Yu, Y.J. Cong, S. Zheng, and B.Q. Wu. dec. 2002. Helicobacter pylori infection and gastric cancer: evidence from a retrospective cohort study and nested case-control study in China. *World J Gastroenterol.* 8(6):1103-1107.
- Wingfors, H., A. Sjödin, P. Haglund, and E. Brorström-Lundén. 2001. Characterisation and determination of profiles of polycyclic aromatic hydrocarbons in a traffic tunnel in Gothenburg, Sweden. *Atmos Environ.* 35(36):6361-6369.
- Whittemore, A.S., and J. Halpern. 2003. Logistic Regression of Family Data from Retrospective Study Designs. *Genet Epidemiol.* 25:177–189.

## LISTA LUCRĂRILOR ȘTIINȚIFICE

### A. Articole originale publicate în domeniul tezei de doctorat :

1. **Bucur E.**, A.F. Danet, C.B. Lehr, E. Lehr, M. Nita-Lazar. 2017. Binary logistic regression – instrument for assessing museum indoor air impact on exhibits. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 67(4): 391-401. FI(2016):1,57.
2. **Bucur E.**, A. Vasile, M. Petrescu, A. Danet. 2016. Indoor air quality assessment in spaces designed for office activities: PAH's and phenols. *Journal of Environmental Protection and Ecology*.17(1): 9-17; FI(2016): 0,774.
3. **Bucur E.**, A.F. Danet. 2016. Particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbon air pollution in areas of Bucharest with heavy road traffic. *Revista de Chimie*. 67(4): 621-625. FI(2016): 1,232.
4. **Bucur E.**, A. F. Danet, C.B. Lehr, E. Lehr, A. Vasile. 2016. Indoor Air Quality Assessment in the Romanian National Aviation Museum. *Revista de Chimie*. 67(8): 1421-1426. FI(2016): 1,232.
5. **Bucur E.**, A. Vasile, R. Diodiu, A. Catranguiu, M. Petrescu. 2015. Assessment of indoor air quality in a wooden church for preventive conservation. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 16(1): 7-17; FI: 0,734.
6. **Bucur E.**, A.F. Danet (acceptat spre publicare). Indoor/Outdoor correlations regarding indoor air pollution with particulate matter. *Environmental Engineering and Management Journal*. FI(2016): 1,008.

### B. Participări la manifestări științifice:

1. Petrescu M., **E. Bucur**, A. Vasile, R. Diodiu, G. Vasile, V. Danciulescu, M. Bratu, G. Tanase. 2016. Characterization of the chemical composition of atmospheric deposition. *International Symposium SIMI 2016“ The Environment and Industry”* proceedings book: 376-382 - prezentare orală.
2. **Bucur, E.**, M. Petrescu, G. Vasile, L.F. Pascu, R. Diodiu. 2014. How protected are we indoor? Indoor air pollution with particulate matter in an office building from Bucharest. *14<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 17-26, June 2014, Albena, Bulgaria, Conference Proceedings, vol.2: 383-390, indexata ISI.* prezentare orală.



3. **Bucur E.**, M. Petrescu, A. Vasile. 2012. Indoor air quality – A methodological approach for the investigation. *The XXXII-st Romanian Chemistry Conference*, 3-5.10.2012, Calimanesti- Caciulata/ masa rotunda.
4. **Bucur E.**, A. Vasile, M. Petrescu. How protected from pollution are we indoor? - method for vinyl chloride from indoor air determining. *International Symposion „The Environment & The Industry”, SIMI 2011*, 16-18.11. 2011, Bucharest, vol II, pg. 221-226; prezentare orala.

**C. Alte articole științifice:**

1. Diodiu R., T. Galaon, **E. Bucur**, D. S. Stefan, L. F. Pascu. 2016. Aldehydes, acetone, formic and acetic acids in indoor air of an office building. *Revista de Chimie*. 67 (12): 2396-2399.
2. Diodiu R., T. Galaon, **E. Bucur**, L.F. Pascu. 2016. Aldehydes and Acetone in Indoor Air of 19 Houses from Bucarest (Romania). *Revista de Chimie*. 67(8):1466-1468;
3. Danciulescu V., **E. Bucur**, L.F. Pascu, A. Vasile, M. Bratu. 2015. Correlations between noise level and pollutants concentration in order to assess the level of air pollution induced by heavy traffic. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 16(3): 815-823.
4. Diodiu R., **E. Bucur**, T. Galaon, L.F. Pascu. 2015. Indoor air exposure to aldehydes and ketones in rooms with new and old furniture of a new office building. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 16(3): 832-838.