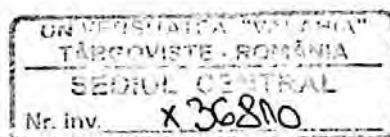




**Ștefanla IORDACHE**  
Editor – Coordonator

**Daniel DUNEA**  
Editor – Coordonator științific

# **METODE DE EVALUARE A EFECTELOR POLUĂRII AERULUI CU PARTICULE ÎN SUSPENSIE ASUPRA SĂNĂTĂȚII COPIILOR**



**MATRIX ROM**  
**BUCUREȘTI 2014**

testing, calibration and referencing, to provide reliable information concerning PM<sub>2.5</sub> levels and their impact on children's health.

Collected time series will be pre-processed and adapted to feed the forecasting tool based on Artificial Intelligent (AI) algorithms. All data will be presented on a dedicated geo-portal adapted to be used by smartphones and other portable equipment. The main stream of information will be transmitted as much directly as possible towards the affected persons. The expert advises and recommendations will be transmitted via e-mails and SMS to the registered users providing support for children's health management under impacts of air quality stressors and pressures. Early warnings will be developed in co-operation with pediatric specialists, which will synthesize the most relevant information concerning the protection of children's health against air pollution threats. The early warning data packages will also be redirected to the authorities (e.g., EPA - Environmental Protection Agencies and DPH - Public Health Protection Directions) for informational purposes.

The project will be implemented in 34 months, between July 2014 and April 2017. The partnership for implementing this project is formed by three Romanian universities and one research institute from Norway, as follows: **Valahia University of Targoviste (Project Coordinator) Norwegian Institute for Air Research (NILU), Petroleum-Gas University of Ploiesti, Politehnica University of Bucharest.**

The main outcomes of the ROKIDAIR project will be as follows: early warnings personalized data (oriented to children diseases or sensibilities) by correlating atmospheric trends with health impact on spatial and temporal basis, an advanced monitoring network system, schemes and schedules for PM<sub>2.5</sub> survey, indoor-outdoor pollutant correlations at vulnerable receptors, AI-applied forecasting tools, an open-source dedicated GIS, and a versatile monitoring station prototype.

The cooperation of three Romanian Universities with the National Institute for Air Research from Norway, which is an European leader in the development of integrated environmental surveillance and planning systems for air quality, the **ROKIDAIR** project will fulfill the scope of Romanian-EEA Research Programme, in line with Environmental protection thematic area.

\* \* \*

Through the **EEA Grants** and **Norway Grants**, three states: Iceland, Liechtenstein and Norway contribute to reducing social and economic disparities and to strengthening bilateral relations with the beneficiary countries in Europe. The three countries cooperate closely with the EU through the Agreement on the European Economic Area (EEA).

For the period 2009-14, the EEA Grants and Norway Grants amount to €1.79 billion. Norway contributes around 97% of the total funding. Grants are available for NGOs, research and academic institutions, and the public and private sectors in the 12 newest EU member states, Greece, Portugal and Spain. There is broad cooperation with donor state entities, and activities may be implemented until 2016.

Key areas of support are environmental protection and climate change, research and scholarships, civil society, health and children, gender equality, justice and cultural heritage.



## Cuprins

### Prefață

Prezentarea proiectului de cercetare ROKIDAIR "Spre o protecție eficientă a copiilor la riscul de poluare a aerului din zonele urbane ale României", Contract nr. 20SEE/30.06.2014

*Short description of ROKIDAIR research project "Towards a better protection of children against air pollution threats in the urban areas of Romania", Contract no. 20SEE/30.06.2014*

### Summary

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Stadiul actual al protecției locuitorilor la riscul poluării aerului din zonele urbane</b>  | <b>1</b> |
| 1.1      | Pulberi în suspensie în aerul atmosferic (PM)  | 1        |
| 1.2.     | Calitatea aerului în Europa  | 5        |
| 1.3.     | Aspecte generale privind evaluarea calității aerului   | 10       |
| 1.3.1    | Organizarea activității de supraveghere a calității aerului  | 10       |
| 1.3.2    | Criterii generale de stabilire a unui program de monitorizare  | 13       |
| 1.4.     | Inițiative europene pentru monitorizarea calității aerului   | 21       |
| 1.4.1.   | ATMOSYS  | 22       |
| 1.4.2.   | PM3 - Particule: Monitorizare, Modelare și Management  | 24       |
| 1.4.3    | CITI-SENSE   | 28       |
| 1.5.     | Experiența Institutului Norvegian pentru Calitatea Aerului (NILU) în evaluarea calității aerului   | 29       |
| 1.5.1    | Centrul tematic european pentru poluarea aerului și schimbări climatice (European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change (ETC/ACC și ETC/ACM). | 29       |
| 1.5.2    | Centrul de coordonare chimică al Programului European de Monitorizare și Evaluare (CCC-EMEP).  | 31       |
| 1.5.3    | CITI-SENSE: Dezvoltarea unui Observator comunitar pe bază de senzori pentru îmbunătățirea calității vieții în orașe                                      | 32       |
| 1.5.4    | Prevenirea și controlul multi-poluant al atmosferei urbane în China  | 32       |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 1.5.5    | Sistem de informare și de avertizare timpurie privind calitatea aerului în Hubei                 | 33  |
| 1.5.6    | Proiecte de referință ale NILU   | 34  |
| 1.6      | Bibliografie   | 41  |
|          | <i>Abstract of chapter 1</i>   | 43  |
| <b>2</b> | <b>Strategii și planuri experimentale pentru monitorizarea particulelor în suspensie din aer</b> | 45  |
| 2.1      | Aspecte generale privind monitorizarea calității aerului în România                              | 45  |
| 2.2      | Arhitectura instrumentației de monitorizare automată a calității aerului                         | 48  |
| 2.3      | Structura Rețelei Naționale de Monitorizare a Calității Aerului (RNMCA)                          | 51  |
| 2.4      | Caracteristici ale particulelor în suspensie - fracțiunile $PM_{10}$ și $PM_{2.5}$               | 56  |
| 2.5      | Metode de măsurare a particulelor în suspensie   | 59  |
| 2.6      | Starea calității aerului în România cu privire la concentrațiile fracțiunii $PM_{10}$            | 67  |
| 2.7      | Starea calității aerului în România cu privire la concentrațiile fracțiunii $PM_{2.5}$           | 73  |
| 2.8      | Situația concentrației de metale grele conținute de particulele în suspensie $PM_{10}$           | 75  |
| 2.9      | Metode de modelare a dispersiei poluării atmosferice   | 78  |
| 2.10     | Aplicarea modelării pentru estimarea concentrației particulelor $PM_{2.5}$                       | 93  |
| 2.11     | Concluzii  | 96  |
| 2.12     | Bibliografie   | 99  |
|          | <i>Abstract of chapter 2</i>   | 101 |
| <b>3</b> | <b>Relațiile dintre factorii meteorologici și particulele în suspensie din aerul atmosferic</b>  | 103 |
| 3.1      | Caracteristici fizice ale particulelor în suspensie din aerul atmosferic                         | 103 |
| 3.2      | Compoziția chimică a particulelor în suspensie din aerul atmosferic                              | 111 |
| 3.3      | Influența factorilor meteorologici asupra particulelor în suspensie din aerul atmosferic         | 113 |
| 3.4      | Bibliografie   | 115 |
|          | <i>Abstract of Chapter 3</i>   | 118 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>4 Tehnici analitice utilizate în studiul compoziției elementale a particulelor în suspensie. Speciația chimică. Validarea metodelor analitice</b> | <b>119</b> |
| 4.1 Compoziția chimică a particulelor în suspensie   | 119        |
| 4.1.1 Metale grele și metaloizi  | 121        |
| 4.1.2 Compuși organici volatili  | 131        |
| 4.2 Tehnici spectrometrice aplicate în analiza metalelor grele din compoziția particulelor în suspensie  | 135        |
| 4.2.1 Spectrometria de absorbție atomică   | 135        |
| 4.2.1.1 Principiul metodei   | 136        |
| 4.2.1.2 Spectrometru de absorbție atomică  | 138        |
| 4.2.1.3 Sursa de radiații  | 139        |
| 4.2.1.4 Dispozitive pentru atomizarea probei   | 140        |
| 4.2.1.5 Sistemul de detecție   | 141        |
| 4.2.1.6 Procedura de verificare a performanței aparatului  | 142        |
| 4.2.1.7 Verificarea independentă a calibrării  | 142        |
| 4.2.1.8 Determinări cantitative prin SAA   | 142        |
| 4.2.1.9 Avantajele și dezavantajele analizei prin spectrometrie de absorbție atomică   | 144        |
| 4.2.2 Spectrometria de masă cu plasmă cuplată inductiv (ICP-MS)  | 145        |
| 4.2.2.1 Principiul de funcționare  | 146        |
| 4.2.2.2 Determinări calitative și cantitative  | 148        |
| 4.2.2.3 Aplicații ale ICP-MS   | 148        |
| 4.2.3 Spectrometria de fluorescență de raze X  | 149        |
| 4.2.3.1 Principiul metodei   | 149        |
| 4.2.3.2 Analiza calitativă și cantitativă prin spectrometrie XRF   | 152        |
| 4.2.3.3 Spectrometre de fluorescență de raze X   | 156        |
| 4.2.3.4 Avantajele și dezavantajele spectrometriei de fluorescență de raze X   | 161        |
| 4.2.3.5 Aplicații ale spectrometriei de fluorescență de raze X   | 161        |
| 4.3 Procedura de preparare a probelor pentru analiză   | 162        |
| 4.3.1 Prepararea probelor pentru determinarea concentrației de metale grele din probe prin tehnicile SAA și ICP-MS                                   | 162        |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 4.3.2    | Prepararea probelor pentru determinarea concentrației de metale grele din probe prin tehnica XRF | 164 |
| 4.3.3    | Prepararea etaloanelor   | 164 |
| 4.3.4    | Speciația chimică  | 165 |
| 4.4      | Asigurarea calității   | 168 |
| 4.4.1    | Validarea metodei analitice  | 168 |
| 4.4.1.1  | Exactitatea  | 169 |
| 4.4.1.2  | Incertitudinea de măsurare   | 170 |
| 4.4.1.3  | Domeniul de linearitate  | 171 |
| 4.4.1.4  | Limita de detecție (LoD) și limita de cuantificare (LoQ)   | 172 |
| 4.4.1.5  | Selectivitate și specificitate   | 173 |
| 4.4.1.6  | Robustețea   | 173 |
| 4.5      | Bibliografie   | 175 |
|          | <i>Abstract of chapter 4</i>   | 187 |
| <b>5</b> | <b>Studii de caz privind impactul compușilor organici asupra calității aerului</b>               | 189 |
| 5.1      | Generalități   | 189 |
| 5.2      | Surse de compuși organici volatili în aerul înconjurător   | 191 |
| 5.2.1    | Compuși organici volatili emiși de imprimante și fotocopiatoare                                  | 192 |
| 5.2.2    | Compuși organici volatili emiși în aeroporturi   | 197 |
| 5.2.3    | Compuși organici volatili emiși la exploatarea gazelor de șist                                   | 200 |
| 5.2.4    | Compuși organici volatili emiși la tratarea apelor reziduale                                     | 201 |
| 5.2.5    | Compuși organici volatili emiși la încălzirea locuințelor cu lemne                               | 203 |
| 5.2.6    | Compuși organici persistenți în aer din surse neidentificate, cu o toxicitate ridicată           | 208 |
| 5.3      | Impactul unor compuși organici volatili poluanți asupra sănătății                                | 213 |
| 5.3.1    | Impactul hidrocarburilor aromatice monociclice   | 213 |
| 5.3.2    | Impactul hidrocarburilor aromatice policiclice   | 216 |
| 5.3.3    | Impactul formaldehidei   | 217 |
| 5.4      | Concluzii  | 218 |
| 5.5      | Bibliografie   | 219 |
|          | <i>Abstract of chapter 5</i>   | 220 |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>6</b> | <b>Compuși organici în atmosferă proveniți din diverse surse de emisie și impactul lor asupra sănătății</b>            | <b>221</b> |
| 6.1      | Tipuri de compuși organici prezenți în aer   | 221        |
| 6.1.1    | Compuși organici volatili  | 223        |
| 6.1.2    | Compuși organici semivolatili  | 229        |
| 6.1.3    | Aerosolii organici   | 234        |
| 6.2      | Surse de emisie a compușilor organici în aer   | 235        |
| 6.2.1    | Surse de emisie a compușilor organici volatili   | 235        |
| 6.2.1.1  | Surse antropice de compuși organici volatili   | 237        |
| 6.2.1.2  | Surse naturale de compuși organici volatili  | 239        |
| 6.2.2    | Surse de emisie a compușilor organici semi-volatili în aer   | 243        |
| 6.3      | Efectele compușilor organici prezenți în aer asupra sănătății umane  | 249        |
| 6.3.1    | Efecte toxice necancerigene ale compușilor organici  | 249        |
| 6.3.2    | Efecte cancerigene ale COV   | 251        |
| 6.4      | Reacțiile compușilor organici în atmosferă cu formare de poluanți secundari și efectele adverse asupra sănătății umane | 255        |
| 6.5      | Considerații finale și recomandări   | 259        |
| 6.6      | Bibliografie   | 261        |
|          | <i>Abstract of Chapter 6</i>   | 266        |
| <b>7</b> | <b>Stadiul cunoașterii problemelor generate de particulele în suspensie asupra sănătății copiilor</b>                  | <b>267</b> |
| 7.1      | Creșterea și dezvoltarea copilului în corelație cu mediul înconjurător   | 267        |
| 7.2      | Poluarea atmosferică cu pulberi în suspensie și impactul asupra copiilor   | 269        |
| 7.3      | Efectele pulberilor în suspensie asupra aparatului respirator la copii   | 270        |
| 7.3.1    | Morfologia pulmonară normală la copii  | 270        |
| 7.3.2    | Elemente de fiziologie a respirației. Mecanica respirației.  | 271        |
| 7.3.3    | Poluarea atmosferică și funcția pulmonară  | 272        |
| 7.3.4    | Simptomele și afecțiunile respiratorii secundare expunerii la particulele în suspensie pe etape de vârstă              | 276        |
| 7.3.5    | Poluarea atmosferică și astmul bronșic   | 278        |
| 7.4      | Considerații asupra poluării atmosferice și bolile alergice la copil   | 282        |
| 7.5      | Poluarea atmosferică și nou-născuții   | 285        |



|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 7.6      | Poluarea atmosferică și mortalitatea infantilă  | 285 |
| 7.7      | Concluzii   | 286 |
| 7.8      | Bibliografie  | 287 |
|          | <i>Abstract of chapter 7</i>  | 290 |
| <b>8</b> | <b>Abordarea multicriterială pentru stabilirea vulnerabilității receptorilor la riscul poluării atmosferice cu particule în suspensie</b>       | 291 |
| 8.1      | Aspecte generale cu privire la cuantificarea vulnerabilității receptorilor la poluarea cu particule în suspensie – fracțiunea PM <sub>2.5</sub> | 291 |
| 8.2      | Abordarea multicriterială pentru stabilirea vulnerabilității receptorilor la PM <sub>2.5</sub> în cadrul proiectului de cercetare ROKIDAIR      | 299 |
| 8.2.1    | Inventarierea surselor de poluare a aerului în zonele urbane analizate din municipiile Târgoviște și Ploiești                                   | 303 |
| 8.2.2    | Delimitarea zonelor critice (ZC) în funcție de vulnerabilitatea receptorilor  | 303 |
| 8.2.3    | Campanii de monitorizare a PM <sub>2.5</sub> în zonele vulnerabile  | 303 |
| 8.3      | Corelarea spațială a nivelurilor de poluare a aerului cu bolile respiratorii ale copiilor   | 312 |
| 8.4      | Dezvoltarea unei metodologii de avertizare timpurie și integrarea acesteia în sistemul cu suport decizional ROKIDAIR DSS                        | 313 |
| 8.5      | Concluzii   | 314 |
| 8.6      | Bibliografie  | 314 |
|          | <i>Abstract of chapter 8.</i>   | 316 |
| <b>9</b> | <b>Managementul bazei de date din sistemul informațional geografic pentru evaluarea riscului poluării atmosferice cu particule în suspensie</b> | 317 |
| 9.1      | Particularitățile bazelor de date folosite în evaluarea poluării atmosferei   | 317 |
| 9.2      | Sistemul informațional geografic pentru supravegherea calității aerului   | 331 |
| 9.2.1    | Particularitățile sistemului informațional geografic  | 331 |
| 9.2.2    | Aplicații GIS pentru analiza geospațială a nivelului de poluare atmosferică cu particule în suspensie în mediul urban                           | 337 |
| 9.3      | Concluzii   | 352 |
| 9.4      | Bibliografie  | 352 |
|          | <i>Abstract of chapter 9</i>  | 354 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>10 Metode statistice și algoritmi matematici pentru estimarea expunerii copiilor la poluarea cu particule în suspensie</b> | <b>355</b> |
| 10.1 Importanța cuantificării expunerii la poluarea cu particule în suspensie   | 355        |
| 10.2 Metode de analiză și procesare statistică a datelor de poluare atmosferică.  | 356        |
| 10.2.1 Indicatori statistici ai curbelor de regim asociate poluanților atmosferici  | 357        |
| 10.2.2 Indicatori pentru estimarea performanței modelelor de predicție  | 362        |
| 10.3 Metode statistice aplicate în studiul evoluției calității aerului  | 364        |
| 10.3.1 Metode bazate pe regresie liniară  | 364        |
| 10.3.2 Modele bazate pe Auto-Regresie (Auto-Regression) – AR  | 365        |
| 10.4 Metode stohastice aplicate în studiul evoluției calității aerului  | 369        |
| 10.4.1 Modele Markov Ascunse (Hidden Markov Model) – HMM  | 369        |
| 10.4.2 Metode spectrale aplicate în studiul seriilor cronologice ale poluanților aerului                                      | 370        |
| 10.5 Metode bazate pe inteligență artificială (Artificial Intelligence) - IA  | 372        |
| 10.5.1 Rețele Neuronale Artificiale (Artificial Neural Networks) - ANN  | 372        |
| 10.5.2 Metode de tip Fuzzy-Logic  | 374        |
| 10.5.3 Modele hibride   | 376        |
| 10.6 Estimarea expunerii la poluarea cu particule în suspensie  | 381        |
| 10.7 Bibliografie   | 382        |
| <i>Abstract of chapter 10</i>   | 385        |
| <b>11 Metode și tehnici de predicție a concentrației particulelor PM<sub>2.5</sub> în mediul urban</b>                        | <b>387</b> |
| 11.1 Introducere  | 387        |
| 11.2 Predicția concentrației poluanților atmosferici  | 388        |
| 11.2.1 Formularea problemei de predicție  | 389        |
| 11.2.2 Criterii de evaluare a performanței predictorilor  | 390        |
| 11.3 Metode și tehnici de predicție   | 391        |
| 11.3.1 Metode statistice  | 391        |
| 11.3.2 Metode bazate pe tehnici de inteligență artificială  | 399        |
| 11.3.3 Studiu de caz: Metode de predicție a concentrației de PM <sub>2.5</sub> conform EPA - SUA                              | 407        |
| 11.4 Stadiul actual al cercetărilor în domeniul predicției calității aerului  | 415        |

---

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 11.5      | Studiu de caz: Predicția $PM_{10}$ în zona orașului Ploiești – România                                | 417 |
| 11.6      | Contribuția proiectului ROKIDAIR pentru predicția nivelurilor $PM_{2.5}$                              | 423 |
| 11.7      | Concluzii   | 423 |
| 11.8      | Bibliografie  | 424 |
|           | <i>Abstract of chapter 11</i>   | 428 |
| <b>12</b> | <b>Metode și sisteme de măsurare a concentrației de particule în suspensie din aerul înconjurător</b> | 429 |
| 12.1      | Introducere   | 429 |
| 12.2      | Evoluția legislației privind măsurătorile de particule în suspensie                                   | 430 |
| 12.3      | Metoda de referință pentru măsurarea $PM_{2.5}$   | 433 |
| 12.4      | Metode de măsurare echivalente pentru $PM_{2.5}$  | 435 |
| 12.5      | Proiectarea structurii generale a sistemului de măsurare ROKidAIR                                     | 443 |
| 12.6      | Concluzii   | 444 |
| 12.7      | Bibliografie  | 445 |
|           | <i>Abstract of chapter 12</i>   | 446 |
|           | <i>List of figures and tables</i>   | 447 |

## Summary

*Short description of ROKIDAIR research project "Towards a better protection of children against air pollution threats in the urban areas of Romania", Contract no. 20SEE/30.06.2014*

### *Summary*

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Current status of citizens' protection against the risk of air pollution in urban areas</b>           | <b>1</b>  |
| 1.1      | Particulate matter in the atmosphere (PM)  | 1         |
| 1.2      | Air quality in Europe  | 5         |
| 1.3      | General aspects of air quality assessment  | 10        |
| 1.3.1    | Organization of air quality monitoring   | 10        |
| 1.3.2    | General criteria for establishing a monitoring program   | 13        |
| 1.4      | European initiatives for air quality monitoring  | 21        |
| 1.4.1    | ATMOSYS  | 22        |
| 1.4.2    | PM3 - Particulate: Monitoring, Modelling and Management  | 24        |
| 1.4.3    | CITI-SENSE   | 28        |
| 1.5      | Experience of the Norwegian Institute for Air Research (NILU) in air quality assessment                  | 29        |
| 1.5.1    | European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change (ETC/ACC and ETC/ACM)                          | 29        |
| 1.5.2    | Centre of Chemical Coordination of the European Monitoring and Evaluation Programme (CCC-EMEP).          | 31        |
| 1.5.3    | CITI-SENSE: Developing a Community Observatory based on sensors to improve the quality of life in cities | 32        |
| 1.5.4    | Prevention and multi-pollutant control of urban atmosphere in China                                      | 32        |
| 1.5.5    | Information and early warning system regarding air quality in Hubei                                      | 33        |
| 1.5.6    | Representative projects of NILU  | 34        |
| 1.6      | References   | 41        |
|          | <i>Abstract of chapter 1</i>   | 43        |
| <b>2</b> | <b>Strategies and experimental plans for monitoring the airborne particulate matters</b>                 | <b>45</b> |
| 2.1      | General aspects regarding air quality monitoring in Romania  | 45        |



**Prin Granturile SEE și Programul Norvegian de Cooperare, Islanda, Liechtenstein și Norvegia contribuie la reducerea disparităților sociale și economice și la consolidarea relațiilor bilaterale cu țările beneficiare din Europa. Cele trei țări cooperează îndeaproape cu UE prin Acordul privind Spațiul Economic European (SEE).**

**Pentru perioada 2009-2014, Granturile SEE și Granturile norvegiene se ridică la 1,79 miliarde €. Norvegia contribuie cu aproximativ 97% din finanțarea totală. Granturile sunt disponibile pentru ONG-uri, instituțiile de cercetare și academice, precum și pentru sectoarele public și privat, în cele mai noi 12 state membre ale UE, la care se adaugă Grecia, Portugalia și Spania. Există o cooperare extinsă cu entitățile statelor donatoare, iar activitățile pot fi puse în aplicare până în 2016.**

**Domeniile principale de susținere sunt protecția mediului și schimbările climatice, cercetare și burse, societatea civilă, sănătate și îngrijirea copilului, egalitatea de gen, justiție și patrimoniul cultural.**



Information about the EEA Grants:  
[www.eeagrants.org](http://www.eeagrants.org)



9786062501211