

CAPITOLUL 3

Analiza situației existente

Planul de menținere a calității aerului reprezintă setul de măsuri pe care Consiliul Județean Mureș trebuie să le ia, astfel încât nivelul poluanților să se păstreze sub valorile-limit pentru poluanții dioxid de sulf, dioxid de azot, oxizi de azot, particule în suspensie (PM_{10}), benzen, monoxid de carbon, plumb sau valorile țintă pentru arsen, cadmiu, nichel benzo(a)piren și $PM_{2,5}$.

În conformitate cu prevederile HG nr. 257/2015 privind aprobarea Metodologiei de elaborare a planurilor de calitate a aerului, a planurilor de acțiune pe termen scurt și a planurilor de menținere a calității aerului, Agenția pentru Protecția Mediului Mureș a pus la dispoziție Consiliului Județean Mureș datele privind încadrarea unități administrativ-teritoriale în regim de gestionare II, astfel:

- indicatorii pentru care s-a realizat încadrarea în regimul de gestionare II.
- perioada de timp pentru care a fost realizat evaluarea și încadrarea.
- cantitatea totală de emisii (t/an) pentru fiecare poluant și pe categorii de surse staționare, mobile și de suprafață.

Unitatea administrativ-teritorială	Indicator	Excepții	Perioada de mediere	Perioada de evaluare	Cantitatea totală de emisii (t/an)	
					surse staționare	surse mobile
Județul Mureș	Particule în suspensie – $PM_{2,5}$		1 an	2010-2015	surse staționare	448.945963
					surse mobile	131.494054
					surse de suprafață	3480.477919
	Particule în suspensie – PM_{10}		1 an	2010-2015	surse staționare	817.122871
					surse mobile	236.885289
			1 oră	surse de suprafață	3775.061756	
	Dioxid de azot		1 an	2010-2015	surse staționare	1894.117530
			1 oră		surse mobile	2523.265776
			surse de suprafață		546.249671	
	Dioxid de sulf		1 oră	2010-2015	surse staționare	12.006998
			24 ore		surse mobile	5.867992
					surse de suprafață	69.161660
	Monoxid de carbon		Valoarea maximă zilnică a mediilor glisante pe 8 ore	2010-2015	surse staționare	893.720748
					surse mobile	4948.124100
surse de suprafață					25407.805083	
Benzen		1 an	2010-2015	surse staționare	NE	
				surse mobile	30.975779	
				surse de suprafață	392.003874	
Plumb		1 an	2010-2015	surse staționare	0.364764	

	Arsen	1 an	2010-2015	surse mobile	0.265786
				surse de suprafa	0.172781
				surse sta ionare	0.042077
	Cadmiu	1 an	2010-2015	surse mobile	NE
				surse de suprafa	0.002516
				surse sta ionare	0.038141
Nichel	1 an	2010-2015	surse sta ionare	0.128670	
			surse mobile	0.011498	
			surse de suprafa	0.029575	

Unitatea administrativ-teritorial	Indicator	Metoda de evaluare (date RNMCA/Modelare)	Concentratia maxima din perioada de evaluare	Excep ii	Perioada de mediere	Perioada de evaluare	Cantitatea total de emisii (t/an)	
							surse sta ionare	surse mobile
Jude ul Mures	Particule în suspensie – PM _{2,5} (μg/m ³)	Modelare	65.83		1 an	2010-2014	surse sta ionare	448.945963
		RNMCA	24.98				surse mobile	131.494054
		Modelare	24.98				surse de suprafa	3480.477919
	Particule în suspensie – PM ₁₀ (μg/m ³)	RNMCA	24.98		1 an	2010-2014	surse sta ionare	817.122871
		Modelare	110.49				surse mobile	236.885289
		Modelare	201.38				surse de suprafa	3775.061756
	Dioxid de azot (μg/m ³)	RNMCA	28.2		1 an	2010-2014	surse sta ionare	1894.117530
		Modelare	84.96				surse mobile	2523.265776
		Modelare	430.3				surse de suprafa	546.249671
	Dioxid de sulf (μg/m ³)	Modelare	29.48		1 or	2010-2014	surse sta ionare	12.006998
		Modelare	15.38				surse mobile	5.867992
		Modelare	15.38				surse de suprafa	69.161660
	Monoxid de carbon (mg/m ³)	RNMCA	8.89		Valoarea maxim zilnic a mediilor glisante pe 8 ore	2010-2014	surse sta ionare	893.720748
		Modelare	1.687				surse mobile	4948.124100
		Modelare	1.687				surse de suprafa	25407.805083
	Benzen (μg/m ³)	RNMCA	4.64		1 an	2010-2014	surse sta ionare	NE
		Modelare	1.89				surse mobile	30.975779
		Modelare	1.89				surse de suprafa	392.003874
Plumb (μg/m ³)	RNMCA	0.05169		1 an	2010-2014	surse sta ionare	0.364764	
	Modelare	0.05169				surse mobile	0.265786	
	Modelare	0.05169				surse de suprafa	0.172781	
Arsen (ng/m ³)	RNMCA	0.05169		1 an	2010-2014	surse sta ionare	0.042077	
	Modelare	0.05169				surse mobile	NE	

		Modelare	0.00163				surse de suprafa	0.002516
	Cadmium (ng/m ³)			1 an	2010-2014		surse sta ionare	0.038141
		Modelare	0.00159				surse mobile	0.001220
	Nichel (ng/m ³)			1 an	2010-2014		surse de suprafa	0.006031
							surse sta ionare	0.128670
		Modelare	0.0179				surse mobile	0.011498
							surse de suprafa	0.029575

Prin aplicarea Planului de menținere a calității aerului se urmărește menținerea nivelului concentrațiilor de poluanți în atmosferă cel puțin la nivelul inițial, eventual de reducere a emisiilor asociate diferitelor categorii de surse de emisie, astfel unitatea administrativ-teritorială putându-se încadra în regimul de gestionare I.

Dintre categoriile de surse de emisie un rol important îl are industria, care se află sub incidența prevederilor Directivei 2010/75/UE privind emisiile industriale (IED), ce acoperă ca zonă de reglementare următoarele directive, adunând astfel într-un singur instrument legislativ dar și coerent un set de norme comune pentru autorizarea și controlul instalațiilor industriale, având drept scop reducerea emisiilor industriale de pe teritoriul Uniunii Europene cu precizie printr-o mai bună aplicare a celor mai bune tehnici disponibile, astfel:

- Directiva 2008/1/CE privind prevenirea și controlul integrat al poluării (IPPC).
- Directiva 2001/80/CE privind limitarea emisiilor în atmosferă a anumitor poluanți provenind de la instalații de ardere de dimensiuni mari (LCP).
- Directiva 2000/76/CE privind incinerarea deeurilor.
- Directiva 1999/13/CE a Consiliului din 11 martie 1999 privind reducerea emisiilor de compuși organici volatili datorate utilizării solvenților organici în anumite activități industriale.
- Directiva 78/176/CE privind deeurile din industria dioxidului de titan.
- Directiva 82/883/CE privind modalitățile de supraveghere și control al zonelor în care există emisii provenind din industria dioxidului de titan.
- Directiva 92/112/CE privind procedurile de armonizare a programelor de reducere, în vederea eliminării, a poluării cauzate de deeurile din industria dioxidului de titan.

La nivelul județului Mureș la data de 23.02.2016 următoarele societăți se aflau sub incidența directivei

IED:

Situația instalațiilor IPPC:

Nr. crt.	Numele instalației / adresa pct. de lucru	Nr./data AIM	Valabilitate AIM
1	SNGN ROMGAZ SA - SUCURSALA DE PRODUCTIE ENERGIE ELECTRICA IERNUT (fosta SC ELECTROCENTRALE BUCURE TI SA SUCURSALA ELECTROCENTRALE MURE) - Centrala termoelectrica Iernut, Iernut, str. Energeticii, nr. 1	MS1/27.03.2014	27.03.2024 OBS: incl si in directiva LCP
2	SC SAMARCU SRL loc. Ludu , str. 1 Mai, nr. 34	SB 116/07.09.2010	07.09.2020
3	SC OMEGA PROD COM SRL loc. Tâmbeni, str. Armatei, nr. 82	SB 128/13.10.2011	13.10.2021
4	S.C. CHEMTECH S.R.L. loc. Cristesti, str. Gostatului, nr. 397	SB 85 / 08.11.2007	08.11.2017

5	Primaria Municipiului Sighisoara, Sighisoara, str. Muzeului, nr. 7 - operator SC SCHUSTER ECOSAL SRL, Sighi oara, str. Viilor, nr. 82B	SB 90/12.05.2008 revizuita la 22.10.2014	12.05.2018
6	S.N.G.N. ROMGAZ S.A. Sucursala Tîrgu- Mures - Extravilanul loc. Ogra	SB 63/29.12.2006 actualizat la 01.04.2010	01.04.2020
7	SC TEREOS ROMANIA SA loc. Ludu , str. Fabricii, nr. 3	SB 64/29.12.2006	29.12.2016
8	SC SILVAUR IMPEX SRL loc. Iernut, str. Câmpului, nr. 2	SB 72/15.03.2007	15.03.2017
9	SC FRAMO ROMÂNIA SRL Ferma 8 com. Solov stru, sat Jabenii a, nr. 379/A	SB 94/ 08.12.2008 revizuita la 29.10.2012	08.12.2018
10	SC FRAMO ROMÂNIA SRL Ferma nr. 9 Gurghiu, com. Gurghiu, intravilan,f.nr,	SB 134/ 27.07.2012 Revizuita la 18.03.2013	27.07.2022
11	SC FRAMO ROMÂNIA SRL Ferma nr. 10 Gurghiu, com. Gurghiu	SB 94/ 08.12.2008 Revizuita la 29.10.2012	08.12.2018
12	SC SICERAM SA, loc. Sighi oara, str. Viilor, nr. 123	SB 109/15.02.2010 Revizuita la 15.01.2014	15.02.2020
13	SC AZOMURES SA loc. Tîrgu-Mure , str. Gheorghe Doja, nr. 300	MS 1 / 08.01.2016	08.01.2026
14	SC OPREA AVICOM SRL loc. Pogaceaua, f.nr.	SB 110/19.02.2010	19.02.2020
15	SC BRAVCOD SA Sighisoara -cartier Vechi, nr. 70, DC 59 Sighisoara - Seleus	SB 118/16.12. 2010	16.12.2020
16	S.C. DIADRAG S.R.L. loc. Cucerdea, f.nr.	SB 136/10.09.2012	10.09.2022
17	S.C. SPECIAL EUROCONSTRUCT S.R.L - com. Ernei, sat Sângeru de P dure, nr. 141	MS 1/14.12.2012	14.12.2022
18	SC KASTAMONU ROMANIA SA loc. Reghin, str. Ierbu , nr. 37	MS 1/02.09.2013 Revizuita la 11.04.2014, 02.10.2015	02.09.2023
19	SC CERAGRIM SRL loc. Coroi, com. Coroisânmartin	MS 2/24.04.2014	23.04.2024
20	SC CIE MATRICON SRL loc. Tîrgu-Mure , str. Gheorghe Doja, nr. 155	MS 3 / 27.10.2014	26.10.2024
21	SC PIG BAND SRL loc. Band,str.Madarasului, nr.63	SB 98/23.02.2009	23.02.2019

22	SC HEINEKEN ROMANIA SA loc. Ungheni, str. Principal , nr. 1/A	MS 1 / 12.02.2015	12.02.2025
23	SC RECYCLING PROD SRL loc. Tîrgu-Mure , str. Depozitelor, nr. 27-29	În procedur reglementare	
24	SC RO ECOLOGIC RECYCLING SRL ora Ungheni, sat Vidras u, str. Oro , nr. 1/A	În procedur reglementare	
25	CONSILIUL JUDE EAN MURE loc. Sînpaul, f.nr.	În procedur reglementare	
26	SC OPREA AVI COM SRL com. Solovastru, sat Jabenita, nr 379A	În procedur reglementare	

Instalații COV

Nr. crt.	Agent economic	Adresa amplasament	Autorizatia de mediu
1.	SC ALPINA SHOE PRODUCTION SRL	Reghin, str. Ierbu , nr. 10	63/13.04.2010 Reviz 15.11.2013
2.	S.C. AMIS MOB S.A.	Reghin, str. Salcânilor, nr. 3	194/25.07.2013 Reviz 19.05.2015
3.	S.C. CHIMECOM S.R.L.	Tîrgu-Mure , str. Înfr irii, nr. 25	66/09.04.2014
4.	S.C. DIA PREST S.R.L.	Tâm veni, str. Armatei, nr. 72	381/13.12.2012
5.	S.C. ECO CLEAN S.R.L.	Tîrgu-Mure , str. Caraiman, nr. 8	260/09.11.2011 Reviz 30.10.2013
6.	HELCH EDITH ANNEMARIE ÎNTRERINDERE INDIVIDUAL	Sighi oara, str. Codrului, nr. 65	345/24.10.2012
7	S.C. HORA S.A.	Reghin, str. Salcânilor, nr. 3	12/21.01.2014 Reviz 12.08.2015
8	S.C. INDSPAL S.R.L.	Sighi oara, str. Mihai Viteazu, nr. 125	315/19.10.2009
9.	S.C. LINIA ZETTA S.R.L.	T ureni, str. Principal , nr. 258	106/08.06.2011
10.	S.C. MOBEX S.A.	Tîrgu-Mure , str. C prioarei, nr. 2	180/08.09.2011 Reviz 30.04.2015
11.	S.C. ARTEMOB INTERNATIONAL S.R.L. (fosta S.C. MOBILA SOVATA S.R.L.)	Sovata, str. Praidului, nr. 137	188/18.07.2013
12.	S.C. MOBINARTA S.A.	Voiniceni, str. Porumbeni, nr. 1	30/05.02.2013
13.	S.C. NADALEX PRODCOMSERV S.R.L.	Tîrgu-Mure , str. C l ra ilor, nr. 56	29/05.02.2013
14.	S.C. STUDIO MEX S.R.L.	Tîrgu-Mure , str. Voinicenilor, nr. 24/A	154/04.08.2011
15.	S.C. TOP CLEAN S.R.L.	Tîrgu-Mure , str. Gh. Doja, fn	77/17.04.2013
16.	S.C. VES S.A.	Sighi oara, str. Mihai Viteazu, nr. 102	327/30.10.2013

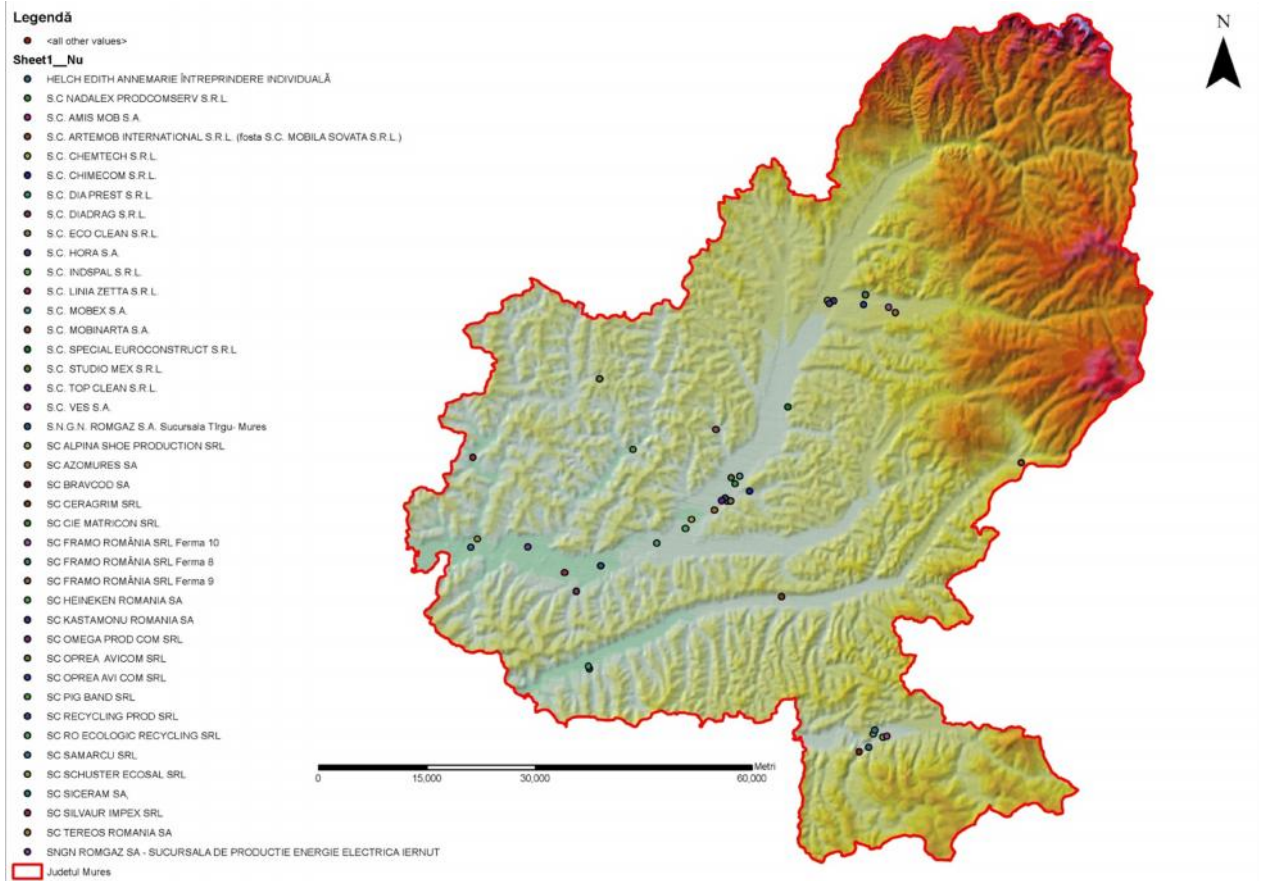


Fig. 31 Distribuția spațială a unităților ce intră sub incidența directivei IED.

3.1 Poluanți monitorizați

Poluanți atmosferici analizați în cadrul evaluării calității aerului înconjurător:

1. Particule în suspensie (PM_{10} i $PM_{2,5}$)
2. Dioxid de azot (NO_2)
3. Dioxid de sulf (SO_2)
4. Monoxid de carbon (CO)
5. Benzen (C_6H_6)
6. Plumb (Pb)
7. Arsen (As)
8. Cadmiu (Cd)
9. Nichel (Ni)
10. Amoniac (NH_3)

3.1.2. Particule în suspensie (PM_{10} i $PM_{2,5}$)

Particulele în suspensie, spre deosebire de alți poluanți sunt un aglomerat de particule provenind din surse diferite și care au dimensiuni diferite, compoziții diferite și proprietăți diferite. Ele reprezintă o mixtură complexă de substanțe organice și anorganice.

Particulele în suspensie se pot întâlni în mediul urban în special, și se împart în două grupe și anume în:

- particule mari reprezentate de PM₁₀ și PM_{10-2.5} și
- particule fine reprezentate de PM_{2.5}

Particulele fine, spre deosebire de cele mari, rămân în atmosferă un timp mai lung ceea ce poate face ca ele să poată fi răspândite la distanțe mari și astfel, să afecteze zone mai întinse.

Particulele din atmosferă provin dintr-o varietate de surse. Ele au caractere morfologice, fizice, chimice și termodinamice diferite. Diferența de compoziție a particulelor, particule ce sunt puse în libertate de o varietate de surse, va induce o heterogenitate spațială și temporală a acestor aerosoli.

Se pot aminti o varietate mare de particule ce pot ajunge în aer cum ar fi:

- particule puse în libertate prin combustie cum ar fi particule de funingine și de carbon inclusiv cele puse în libertate de motoare de diesel;
- particulele cu caracteristici de formare fotochimic cum sunt cele ce se formează în zona localităților urbane (cețta toxică sau așa numitul smog de vară);
- particulele saline ce se formează deasupra mării;
- particulele de sol ce se formează prin resuspendarea prafului.

Particulele pot fi lichide sau solide. Unele dintre particule pot conține un nucleu solid înconjurat de lichid. Particulele ce se identifică în atmosferă pot conține o serie de ioni anorganici, o serie de compuși metalici, carbon, compuși organici și elemente provenite de la nivelul solului. Unele particule din atmosferă au proprietatea de a fi higroscopice ceea ce face ca ele să conțină particule legate de o picătură de apă. Frația organică ce poate fi găsită în particulele din aer este deosebit de complexă, conținând sute sau mii de compuși organici.

Particulele pot fi considerate:

- particule primare dacă sunt eliminate direct de la sursă și
- particule secundare dacă se formează prin intermediul reacțiilor chimice în atmosferă. În reacțiile chimice sunt implicate molecule de oxigen (O₂) și vapori de apă, molecule foarte reactive cum ar fi moleculele de ozon (O₃), radicali hidroxil (-OH) sau radicali nitrat (-NO₃), substanțe poluante precum dioxidul de sulf (SO₂), oxizii de azot (NO_x) și o serie de substanțe organice ce sunt sub formă gazoasă.

Toate aceste elemente pot proveni din surse naturale sau din surse artificiale antropogene.

Procesul de formare a unei particule include:

- formarea nucleului particulei se poate realiza fie datorită emisiei, fie prin condensare la o presiune redusă a vaporilor, fie prin formare în atmosferă în atmosferă prin reacții chimice,
- condensarea gazelor cu o presiune scăzută a vaporilor asupra particulelor deja existente și
- coagularea pe particule.

Ca urmare a celor menționate mai sus este posibil ca particulele să conțină elemente ce provin din mai multe surse.

Datorită faptului că o particulă dintr-o anumită sursă este probabil să aibă în compoziție o mixtură de compuși chimici precum și ținând cont de faptul că particulele ca surse diferite pot coagula dând naștere unei noi particule se poate afirma că particulele ce pot fi găsite în atmosferă pot fi considerate o mixtură de mixturi.

Compoziția și comportamentul particulelor sunt legate de elementele ale gazului înconjurător.

Un aerosol poate fi definit ca o suspensie de particule solide sau lichide în aer. Termenul de aerosol include atât elementele particulare cât și vaporii sau componente în stare gazoasă din aer. De cele mai multe ori însă termenul de aerosol se folosește cu referire la elementele particulare în suspensie ceea ce este cazul și în această lucrare.

O descriere completă a unui aerosol din atmosferă include evaluarea compoziției chimice, morfologiei și dimensiunilor fiecărei particule precum și răspândirea fiecărui tip de particulă ca și consecința funcțională a dimensiunilor particulei.

Structura chimică a elementelor particulare din aer

Elementele particulare din aer sunt compuse dintr-o multitudine de elemente cum ar fi:

- sulfaii,
- nitrații,
- ionii de amoniu,
- ionii de hidrogen,
- ap ce se leag de particule,
- carbon elementar,
- o mare varietate de compuși organici,
- material crustal.

Aceste elemente particulare care provin din aer au o structură foarte variată.

Depunerea și reținerea elementelor particulare la nivelul aparatului respirator

Elementul esențial în ceea ce privește răspunsul biologic la agresiunea PM este doza care ajunge la siturile țintă și nu nivelul expunerii exterioare. Caracterizarea relației dintre expunere și relația doză-răspuns în cazul expunerii continue la pulberi depinde de înțelegerea evoluției acestor particule după ce ele au fost inhalate.

Acțiunea particulelor asupra țesuturilor țintă depinde de fenomenul inițial de depunere și în consecință de reținere ulterioară a acestora în interiorul tractului respirator. După ce particulele s-au depozitat pe suprafața interioară a tractului respirator, ele devin ulterior ținta fie a unui proces de absorbție fie a unui proces de îndepărtare de la nivelul celulelor al tractului respirator.

Clearance-ul particulelor depozitate la nivelul tractului respirator depinde de locul inițial de depunere al acestora și de proprietățile fizico-chimice ale particulelor, elemente ce pot influența fenomenul de îndepărtare a acestora. Încercarea de particule reținută poate fi determinată printr-o relație dinamică între depunerea și rata de clearance.

Cantitatea de particule ce se reține la nivelul respirator este condiționată de o serie de factori cum ar fi:

- concentrația de expunere,
- durata de expunere,
- anatomia tractului respirator,
- parametri ventilatori pulmonari,
- proprietățile fizico-chimice ale particulelor cum ar fi:
- dimensiunea particulelor,
- capacitatea acestora de a fi higroscopice,
- solubilitatea lor în fluidul de la nivelul tractului respirator respectiv solubilitatea lor în apă deoarece mucusul existent în tractul respirator are un suport apos și
- prezența unor elemente celulare la nivel respirator.

Retenția particulelor la nivel respirator este determinată atât de rata de depozitare cât și de clearance-ul particulelor de la nivelul acestui compartiment.

Caracterizarea dimensiunilor particulelor

Majoritatea aerosolilor din mediu sunt polidispersați ceea ce înseamnă că particulele constituente ale unui aerosol se întind pe un interval de dimensiuni. Acest interval de dimensiuni se poate descrie prin intermediul unor parametri de distribuție a mărimilor. Prezentarea distribuției majorității aerosolilor se poate face prin intermediul unei distribuții log-normal, situația în care logaritmi diametrelor particulelor sunt distribuite normal.

Media geometrică este mediana distribuției și variabilitatea în jurul tendinței centrale, reprezintă variația standard geometrică (σ_g). σ_g este un termen fără dimensiune și reprezintă raportul dintre 84% (sau 16%) din dimensiunea particulei și 50% din dimensiune. Este nevoie deci de numai de doi parametri pentru a descrie o distribuție log-normală a dimensiunilor particulelor pentru un anumit aerosol și anume valoarea mediană a diametrului și deviația standard geometrică.

Distribuția dimensiunilor poate fi obținută pe mai multe căi și anume:

- dac distribuția particulelor se face prin numărare, mediana este denumită “diametrul median numărat”
- dac distribuția se face pe baza masei aerosolului, mediana distribuției este denumită “diametrul media de masă”
- dac distribuția se face pe baza diametrului aerodinamic al aerosolului se folosește termenul de “diametru aerodinamic median de masă” pentru mediana distribuției. În acest caz, evaluarea se referă la mediana distribuției masei ținându-se cont de diametrul aerodinamic echivalent.

Cea mai folosită abordare este cea care determină diametrul aerodinamic median de masă, dar pentru particule cu dimensiuni mai mici de 0.5 μm trebuie să fie luate în considerare și alte căi de evaluare a distribuției deoarece la aceste particule proprietățile aerodinamice sunt mai puțin importante.

Depunerea particulelor la nivelul tractului respirator

Mecanismele de depunere a particulelor la nivelul tractului respirator sunt multiple și anume:

- impact inertial,
- sedimentare,
- difuzie,
- precipitare electrostatică
- interceptare.

În interiorul tractului respirator, la nivelul cailor aeriene, aerul care intră poate să prezinte modificări de direcție și orientare precum și modificări ale vitezei. Aceste elemente fac ca unele particule să nu mai urmeze fluxul aerian și să vină în contact cu suprafețele interioare ale tractului respirator.

În segmentul extratoracic și în cel traheo-bronhic, fluxul aerian se caracterizează printr-o viteză mare a aerului precum și prin modificări bruște ale direcției acestuia. Aceste elemente fac ca mecanismul principal care acționează în depozitarea particulelor să fie cel al impactului inertial mai ales pentru particule mai mari de 2 μm ca diametru aerodinamic echivalent (AED).

Asupra tuturor corpurilor aflate în câmpul gravitațional al Pământului acționează forța gravitațională, ceea ce înseamnă că și asupra particulelor, aflate în interiorul acestui câmp, acționează această forță. Particulele asupra cărora influența acestei forțe este cea mai puternică sunt acelea care au un AED mai mare de 1 μm. O particulă va atinge viteza de sedimentare atunci când se va stabili un echilibru între forța gravitațională și rezistența aerului iar sedimentarea se va efectua când particulele intră în contact cu suprafața interioară a cailor respiratorii.

Depunerea particulelor din același domeniu de dimensiuni poate fi efectuată prin intermediul atât al sedimentării cât și prin intermediul impactului inertial. Aceste procese au loc în special în segmentul extratoracic precum și în segmentul traheo-bronhic al arborelui respirator. Impactul inertial poate fi dominant în cailor respiratorii superioare iar sedimentarea gravitațională dominantă în cailor aeriene mai mici.

În ceea ce privește grupul de particule a căror diametru fizic este mai mic de 1 μm, mecanismul ce guvernează depunerea acestora în interiorul tractului respirator este reprezentat de cel al difuziei datorat ciocnirii cu moleculele de aer.

Particulele ce au dimensiuni cuprinse între 0.2-1.0 μm sunt particule cu dimensiuni prea mici pentru ca depunerea lor să fie realizată prin impact sau prin sedimentare și sunt destul de mari pentru ca depunerea lor să fie influențată prin difuzie. Aceste particule sunt cele ce persistă în fluxul aerian inhalat și au cel mai redus grad de depunere în tractul respirator.

Fenomenul de interceptare reprezintă depozitarea particulelor prin contactul direct cu suprafața interioară a cailor aeriene. Acest fenomen depinde de dimensiunile fizice ale particulelor. Fibrele inhalate sunt depozitate la nivel respirator în special prin procesul de interceptare iar lungimea acestora influențează gradul lor de depozitare.

Precipitarea electrostatică este mecanismul prin care se realizează depozitarea particulelor în relație cu încărcătura acestora. Sarcina minimă a unui aerosol este zero. Acest aspect este foarte rar atins datorită faptului că aerosolii se pot încărcă prin coliziune cu aeroioni. Aerosolii pot să își piardă încărcătura electrică deoarece ei atrag aeroioni cu încărcătură opusă. Astfel, se stabilește un echilibru al acestui proces. Echilibrul acestui proces se numește echilibru Boizmann și reprezintă distribuția sarcinii unui aerosol într-un echilibru al sarcinilor cu ioni

bipolari. Sarcina minimă poate fi foarte redusă. Astfel, din punct de vedere probabilistic, se poate accepta că într-un aerosol pot să fie particule ce nu au sarcini și altele care să aibă una sau mai multe sarcini negative sau pozitive.

Prezența unei sarcini electrice la nivelul particulei duce la creșterea depunerii la nivelul tractului respirator, la unele particule mai mult decât am estima numai datorită dimensiunilor. Efectul încărcăturii electrice asupra fenomenului de depunere a particulelor la nivel respirator este invers proporțional cu dimensiunile particulei sau cu rata fluxului aerian. Totuși, acest mecanism de depozitare a particulelor la nivel respirator are un rol minor în comparație cu contribuția turbulenței fluxului aerian din conductele tractului respirator și a altor mecanisme ce intervin în funcțiunile pentru depozitare a particulelor din aer. Totuși, depozitarea particulelor ultrafine cu dimensiune de $0.02 \mu\text{m}$ și particulele fine cu diametrul de $0.125 \mu\text{m}$ care au o încărcătură electrică este cu de 5-6 ori mai mare decât a particulelor care nu au încărcătură electrică și de 2-3 ori mai mare față de particulele ce se află în echilibru Boltzman (Cohen și colab., 1998). Acest fapt dovedește că, în anumite situații cum ar fi expunerea interioară la fum de tutun sau expunerea de la locul de muncă, mecanismul precipitării electrostatice poate avea un rol important în depozitarea particulelor ultrafine și fine la nivelul traheo-bronhice. Influența acestui mecanism este, însă, minimă în ceea ce privește aerosolii ce pot fi identificați în mediul urban.

Modelul de depozitare a particulelor la nivelul tractului respirator

Pentru a evalua corect efectele pe sănătate asociate cu expunerea la poluarea aerului cu particule trebuie studiate locurile unde se depozitează pulberile în tractul respirator. Particulele depozitate în diferite regiuni ale tractului respirator sunt supuse unor diferențe mari de acțiune ale mecanismului de clearance muco-ciliar, de timp și model de depozitare.

Aerul ambiant conține particule care de multe ori sunt prea mari pentru a fi inhalate. Particule capabile de a fi inhalate sunt acele particule ce pot fi incluse în intervalul de dimensiuni capabile să pătrundă în tractul respirator. Capacitatea particulelor de a fi inhalate poate fi definită prin raportul între concentrația particulelor cu un anumit diametru aerodinamic, diametru ce le permite acestora să fie inspirate prin intermediul cavității nazale sau a cavității bucale, raportat la concentrația de particule de un diametru similar prezente în aerul ambiant (International Commission on Radiological Protection, 1994). Pentru oameni, particule cu diametru mai mare de $100 \mu\text{m}$ au o probabilitate scăzută de a pătrunde prin cavitatea nazală sau bucală în condiții de calm atmosferic dar nu este definită cu claritate o limită spre zero. În plus, nu există o limită inferioară a potențialului particulelor de a fi inhalate deoarece există posibilitatea ca unele particule să depășească dimensiunile critice prin agregare cu unități atomice sau moleculare și a forma elemente stabile, spre deosebire de ioni liberi sau de moleculele de gaz.

Depunerea totală la nivelul tractului respirator

Depunerea totală a particulelor la nivelul aparatului respirator este în funcție de dimensiunile particulelor.

Depunerea la nivelul regiunii extratoracice (ET) a particulelor ce au pătruns prin intermediul inspirului prin cavitatea nazală este mai mare decât depozitarea particulelor ce au pătruns prin intermediul cavității bucale. Acest lucru se datorează capacității de filtrare mai ridicate ce apare în situația pasajului nazal, ceea ce s-ar traduce printr-o reținere superioară în situația respirației nazale pentru particulele mai mari de $1 \mu\text{m}$. Pentru particulele cu diametrul aerodinamic mai mare de $1 \mu\text{m}$, reținerea în tractul respirator se realizează prin impact și prin sedimentare și se mărește atunci când crește valoarea diametrului aerodinamic echivalent (AED). Atunci când AED este mai mare de $10 \mu\text{m}$, aproape toate particulele inhalate sunt depozitate.

Când dimensiunile particulelor scad și ajung să fie $\approx 0,5 \mu\text{m}$, depunerea lor se face dominant prin difuzie și depozitarea depinde mai ales de diametrul fizic al particulelor. Scăderea diametrului particulelor duce la o creștere a depunerii totale a acestora. Depunerea totală arată o valoare minimă pentru particule cu diametru cuprins în intervalul de mărime $0.2-1.0 \mu\text{m}$, interval de dimensiuni asupra căruia nu sunt eficiente nici mecanismele de sedimentare, de impact sau de difuzie. Nivelul de depunere nu atinge niciodată valoarea zero datorită faptului că apare un amestec de particule din flux-volumul respirator și cantitatea de aer rezidual care aproape nu conține particule și care se găsește la nivelul plămânilor. Particulele pătrunse odată cu fluxul respirator, particule care rămân la nivel profund în plămâni, vor fi depuse.

Depunerea particulelor la nivelul plămânilor este influențată nu numai de dimensiunea particulelor ci și de modelul respirator, model în care este inclus flux-volumul, frecvența respirațiilor și calea prin care se respiră.

Depunerea particulelor crește proporțional cu creșterea flux-volumului la o anumită rată a fluxului și cu creșterea ratei de flux la un anumit timp respirator.

Pentru fracțiunea ultrafină de particule, respectiv acele particule ce au diametrul mai mic de $0.1 \mu\text{m}$, informațiile privind depunerea acestora sunt relativ puține. Pentru acestea este important de determinat potențialul lor agresiv. Frația totală de depunere pentru particulele ultrafine crește invers proporțional cu dimensiunile particulelor și cu un model respirator cu un timp de respirație mai lung, un model care este concordant cu mecanismul de depozitare prin difuzie. Există o diferență în depunerea particulelor ultrafine egale cu $0.04 \mu\text{m}$ între bărbați și femei.

O proprietate specifică unor particule este capacitatea acestora de a fi higroscopice. De exemplu, în mediu se pot găsi particule higroscopice cum ar fi sulfurați, nitrați, și chiar unele elemente organice. În aerul cu o umiditate mare aceste particule își pot mări dimensiunile în interiorul tractului respirator și atunci când sunt inhalate vor fi depuse în acord cu dimensiunile lor hidratate, dominant față de dimensiunile lor inițiale. În comparație cu particulele de aceeași dimensiuni dar care nu au proprietatea de a fi higroscopice, depunerea aerosolilor higroscopici la nivelul plămânilor poate fi mai mare sau mai mic, în funcție de dimensiunea inițială. De aceea, pentru particulele cu dimensiuni mai mari decât $\approx 0.5 \mu\text{m}$, influența calităților higroscopice va duce la o creștere a depunerii totale cu o deplasare a depunerii de la nivelul zonelor periferice spre zonele centrale sau spre regiunea extratoracică în timp ce pentru particulele mici, depunerea totală tinde să scadă.

Depunerea la nivelul regiunii extratoracice

Fracțiunea de particule inhalate ce se depune la nivelul regiunii extratoracice este dependentă de dimensiunile particulelor, de rata fluxului, de frecvența respiratorie și de calea prin care ptrund în tractul respirator și anume fie pe cale orală sau pe cale nazală, precum și de parcursul drumului străbătut de fluxul aerian.

Respirația prin cavitatea nazală beneficiază de posibilități de filtrare datorită structurilor specifice ce se găsesc la nivelul nasului. În cazul respirației orale aceste filtre nu există ceea ce va duce la o creștere a depunerii particulelor la nivel pulmonar în regiunea traheo-bronhică și la nivelul regiunii alveolare. Regiunea extratoracică este locul unde se realizează primul contact cu particulele inhalate și acționează de fapt ca un „prefiltru” pentru plămâni.

Depunerea particulelor este mai mare la nivelul zonei nazo-faringo-traheale față de zona oro-faringo-traheală.

Depunerea particulelor în zona extratoracică depinde în primul rând de dimensiunile particulelor mai mult decât de rata fluxului. Depunerea totală a particulelor în regiunea extratoracică crește pe măsură ce diametrul particulelor crește.

În ceea ce privește grupul particulelor ultrafine, s-a constatat că particulele cu dimensiuni cuprinse între $0.3-2.5 \mu\text{m}$ sunt depuse într-o proporție mai mare în timpul pasajului nazal față de situația pasajului oral. Depunerea la nivel nazal crește dacă rata de flux este mai mare iar elementul ce influențează depunerea este viteza liniară a aerului la nivelul nasului.

Pentru particulele ultrafine ($D_p < 0.1 \mu\text{m}$), depunerea la nivelul regiunii extratoracice este controlată prin difuzie, care la rândul ei este dependentă numai de diametrul geometric al particulei.

Pasajul nazal este mult mai eficient pentru depunerea particulelor ultrafine, ajungând până la un procent cuprins între 94-99% din totalul particulelor inhalate. În ceea ce privește relația dintre depunerea particulelor și rata fluxului, rezultatele diferitelor studii sunt contradictorii (Swift și Strong, 1996, Lennon și colab., 1998).

Ceea ce este însă constant este faptul că mecanismul de difuzie este principalul mecanism ce este folosit pentru depunerea particulelor ultrafine. Acest element are implicații în ceea ce privește evaluarea agresivității particulelor datorită faptului că o eficientă filtrare a aerului inhalat încărcat cu particule va duce la micșorarea probabilității depunerii particulelor ultrafine la nivelul pulmonar.

La nivelul laringelui și traheei, turbulența aerului joacă un rol major în augmentarea proporției de particule depuse la acest nivel.

În concluzie, se poate spune că la nivelul regiunii extratoracice și în mod deosebit cavitatea nazală, acționează ca un filtru deosebit de eficient pentru nanoparticule respectiv particule cu dimensiuni mai mici de 0.1 μm precum și pentru particule mari cu dimensiuni mai mari de 5 μm. În acest fel se reduce cantitatea de particule de dimensiuni variate care vor ajunge să se depună la nivelul zonelor traheo-bronhice și alveolare.

Depunerea particulelor la nivelul zonei traheo-bronhice și la nivelul zonei alveolare

Particulele ce trec de segmentul extratoracic ajung în plămâni și vor fi depuse la nivelul celorlalte segmente respectiv la nivelul segmentului traheo-bronhic sau la nivelul segmentului alveolar. Cu privire la depunerea particulelor în aceste două segmente trebuie precizat că se dispune de măsurători precise. Datele cunoscute sunt obținute din experimente pe animale, prin folosirea particulelor radioactive cu solubilitate redusă și prin intermediul tehnicii de administrare de bolusuri seriate.

Folosind tehnica bolusurilor a fost măsurat gradul de depunere atât a aerosolilor de dimensiuni mari (Kim și colab., 1996, Kim și Hu, 1998) precum și a aerosolilor ultrafinați (Kim și Jacques, 2000). Metoda bolusurilor seriate recurge la folosirea unor aerosoli nonradioactivi și poate estima depunerea într-un număr nelimitat de compartimente pulmonare.

Evaluarea depunerii de la nivelul segmentului traheo-bronhic și al segmentului alveolar a fost făcută atât pentru bărbați cât și pentru femei, pentru particule cu diametre cuprinse între 0.04 μm până la 5 μm.

Pentru bărbați s-a constatat o depunere totală cuprinsă între 24-32% din totalul particulelor depuse cu dimensiuni egale cu 0.04-, 0.06-, 0.08- și 0.10 μm la nivelul regiunii traheo-bronhice și de 57-76% la nivelul regiunii alveolare.

În cazul femeilor, depunerea particulelor a fost mai mare în regiunea traheo-bronhică, între 21-48% iar în regiunea alveolară depunerea a fost ușor mai scăzută decât în cazul bărbaților.

În ceea ce privește depunerea totală a particulelor ultrafine a fost ușor mai mare pentru femei și anume între ~5%-14%. Pentru particulele de 1-, 3-, 5-μm, la bărbați s-a identificat un procent de depunere între 16-37% în regiunea traheo-bronhică și de 57%-83% în regiunea alveolară. La femei, depunerea particulelor de dimensiunile amintite a fost între 27-68% dar era comparabilă sau chiar ușor mai redusă pentru regiunea alveolară față de procentul de depunere de la bărbați. Depunerea totală de la nivelul plămânului a fost ușor mai mare pentru femei față de bărbați și anume de ~16-22%.

În concluzie, se poate spune că depunerea atât a particulelor mari cât și a particulelor ultrafine la nivelul segmentului traheo-bronhic pulmonar este mai mare pentru femei decât pentru bărbați.

Particulele ultrafine ce ajung până la nivelul spațiului unde se desfășoară schimburile gazoase, sunt depuse la bifurcațiile aeriene atunci când sunt în concentrații mari.

Indiferent de natura minerală a particulelor, de formă sau de concentrație, particulele inhalate care au dimensiuni suficient de mici ca să poată trece prin conductele aeriene sunt depuse în primul rând la nivelul bifurcațiilor duetelor alveolare. Modelul de depunere la nivelul bifurcațiilor duetelor alveolare este rezultatul caracteristicilor fluxului aerian. Acesta determină creșterea depunerii particulelor la nivelul bifurcațiilor duetelor și este similar modelului de depunere a particulelor la nivelul bifurcațiilor conductelor aeriene, în general. În ceea ce privește fibrele, cum ar fi de exemplu fibrele de azbest ce pot trece prin căile aeriene, ele se depun la nivelul bifurcațiilor duetelor alveolare. Cu cât o bifurcație a duetului alveolar este mai departe față de bronhiola terminală, cu atât se observă mai puține fibre, azbest în cazul de mai sus.

Distribuția locală a depunerii particulelor

Structura căilor aeriene precum și modelul de perturbare al fluxului aerian sunt extrem de complexe iar distribuția aerului este neomogen în diferite părți din plămân. De aceea, modelul de distribuție al depunerii particulelor în toate cele trei segmente pulmonare respectiv în segmentul extratoracic, traheo-bronhic și alveolar este foarte neuniform observându-se valori mai mari a depunerii particulelor decât o valoare medie.

Eficiența depunerii la fiecare bifurcație crește odată cu creșterea numărului Stokes. Numărul Stokes este utilizat pentru a caracteriza abilitatea particulelor de a urma un anumit parcurs al fluxului aerian în regim curbiliniu. Cu cât numărul Stokes crește cu atât particulele nu mai au capacitatea de a urma un flux în jurul unui obstacol și probabilitatea de a se lovi de obstacol crește (Hinds, 1999). Analiza modelului de depunere a arătat o

depunere foarte localizat la nivelul și în imediata vecinătate a fiecărei ramificări de bifurcație, indiferent de ramificații și de modelul de flux.

Particulele de dimensiuni mari precum și particulele de dimensiuni mici se depun în punctele de bifurcație ale căilor aeriene, afirmă și este valabil chiar și pentru calea respiratorie superioară.

Prin studierea efectului spațiului anatomic inert (anatomic dead space - ADS) s-a observat că fracția depozitată în căile aeriene intratoracice variază între 0.04-0.43 și crește cu micșorarea ADS. Doza de depozitare la nivelul căilor aeriene intratoracice a fost mai mică la subiecții cu dimensiuni mai reduse ale spațiilor aeriene.

O doză mai redusă de depozitare s-a observat la femeii datorită unor căi intratoracice mai reduse, cu dimensiunea spațiilor aeriene mai mică. S-a observat o depozitare mai mare la nivelul plămânului stâng față de plămânul drept. Valoarea raportului stâng/drept (raportul de depozitare în plămânul stâng față de cel drept funcție de raportul volumului plămânului drept față de volumul plămânului stâng) a fost de 1.58 ± 0.42 . Reținerea particulelor insolubile în căile bronhice mari a fost semnificativă la 24 de ore după depozitare respectiv 1.40 la plămânul drept și 1.82 în cel stâng.

Kim și Jacques (2000) au observat prin utilizarea tehnicii bolusului c, pentru particulele ultrafine 0.04-0.1, depozitarea variază foarte mult în profunzimea tractului respirator. Depozitarea regională a particulelor mari cu dimensiuni cuprinse între 1.0- 5.0 μm este mult mai puțin variabilă. Modelul de depozitare pentru particulele ultrafine, mai ales pentru cele foarte mici, este similar celui de depozitare a particulelor mari.

Factorii biologici ce influențează depozitarea particulelor

Dintre factorii biologici care pot influența comportamentul și depunerea particulelor în interiorul tractului respirator se pot număra:

- sexul,
- vârsta,
- prezența bolilor tractului respirator,
- elemente de variabilitate anatomică.

Sexul

În ceea ce privește femeile au dimensiuni diferite ale corpului, dimensiuni diferite ale căilor respiratorii și parametri ventilatori diferiți. Din aceste motive, sexul poate favoriza apariția de diferențe în depunerea particulelor în interiorul tractului respirator. Deși, modelul respirator este similar pentru ambele sexe, regiunile de depozitare fracționat cu valori mari sunt situate mai aproape de cavitatea bucală. De asemenea și valorile vârfurilor de încărcare sunt ușor mai mari la femeii decât la bărbați, indiferent de condițiile de expunere.

Vârsta

Structura și condițiile respiratorii variază cu vârsta și aceste variații pot altera modelul de depunere al particulelor inhalate.

În studiile efectuate s-a observat că eficiența depunerii scade pe măsură ce avansăm în vârstă pentru o anumită dimensiune de particule și pentru o anumită rată a fluxului. Oldham și colab., 1997, a arătat că eficiența depunerii totale este mai mare la copil decât la adult.

Există o relație inversă între înălțimea și depunerea extratoracică. Un studiu efectuat pe copii sub 14 ani în comparație cu un grup de copii peste 14 ani a arătat că depunerea extratoracică a fost mai mare la primii față de cea de-a doua grupă, cei sub 14 ani având aproape dublu față de cei peste 14 ani. Nu apar diferențe între aspectul plămânilor și gradul de depozitare al pulberilor la nivelul tractului respirator între copil și adult. Datorită faptului că depunerea extratoracică este influențată de vârstă iar fenomenul de depunere total nu, se sugerează faptul că la copii regiunea extratoracică, prin caracteristicile sale, are o acțiune mai eficientă în filtrarea și eliminarea particulelor care în alte condiții ar ajunge până la nivelul segmentului traheo-bronhice. Totuși, datorită faptului că la copil, plămânii sunt mai mici decât la adult, copilul poate avea aceeași grad de depozitare pe unitatea de suprafață ca și adultul.

Nu s-au evidențiat diferențe între copii în ceea ce privește depozitarea particulelor indiferent de vârstă.

Nu s-au evidențiat diferențe semnificative în depozitare între copii și adolescenți, între copii și adulți sau între adolescenți și adulți. Totuși, datorită faptului că la copii raportul minut-volum față de dimensiunile plămânilor

este mai mare, este probabil ca ei să primească o cantitate mai mare de particule pe unitatea de suprafață spre deosebire de adulți. Un studiu ce a avut ca obiectiv evaluarea fracționată a depunerii particulelor, în funcție de flux-volum, a arătat că rata de depozitare la copii este cu 35% mai mare decât la adolescent sau la adult. Totuși acest element nu reprezintă o evidență fără echivoc că există diferențe semnificative în depozitarea particulelor între adulți și copii. Trebuie menționat faptul că diferența de activitate între adulți și copil, în sensul că cei din urmă pot avea activități pe parcursul zilei mai intense, duce la creșterea minut-volumului. Astfel, este probabil să apară o diferență în creșterea cantității particulelor ce se depun la nivel respirator și acest element poate fi legat de vârstă.

Un alt subgrup populațional care poate reprezenta un grup cu susceptibilitate la particulele din aer este grupul vârstnicilor.

Prezența bolilor tractului respirator

Bolile tractului respirator pot afecta atât structura arborelui bronhic cât și performanțele ventilatorii pulmonare. Aceste boli pot determina alterări în procesul de depunere a particulelor la indivizii bolnavi în comparație cu indivizii sănătoși. Astfel, persoane cu bronhopneumopatie cronică obstructivă (BPOC) au un model de depunere a particulelor foarte neomogen cu diferențe mari de depunere între diferitele regiuni pulmonare, în comparație cu un om sănătos. Persoanele suferinde de astm sau de boli pulmonare obstructive tind să aibă un grad mai mare de depunere a particulelor la nivel traheo-bronhic față de un om sănătos. Mai mult decât atât, ei tind să aibă o relație inversă între prezența bronhoconstrucției și un grad mai mare de depozitare a particulelor la nivelul regiunii alveolare. Gradul de depozitare totală a particulelor în tractul respirator crește odată cu creșterea gradului de obstrucție. Mărirea gradului de depozitare a fost asociată cu prezența bronhitei cronice ca o componentă a BPOC-ului față de componenta emfizematoasă.

Într-un studiu efectuat de Kim and Kang, 1997, s-a constatat că fracția de depozitare a fost cu 16% mai mare la fumători, cu 49% mai mare la fumătorii ce sufereau de afectarea căilor aeriene mici, cu 59% mai mare la astmatici și cu 103% la cei ce sufereau de BPOC față de oamenii sănătoși. Cei cu BPOC au înregistrat valori semnificativ mai mari spre deosebire de astmatici sau cei cu afectarea căilor aeriene mici. Fracția de depozitare a fost corelată cu valorile volumului expirator forțat (FEV1) și cu fluxul expirator forțat (FEF25-75%). Valoarea rezistenței la flux nu a putut fi corelată cu depunerea totală a particulelor la nivel pulmonar. Kohlhuber și colab., 1999 au arătat o creștere a depunerii particulelor fine de 0.9 μm la femei ce aveau o hiperresponsivitate crescută bronhică.

Depunerea particulelor poate fi afectată de prezența unor boli respiratorii. Depunerea totală crește cu obstrucția căilor respiratorii, indiferent de distribuția depunerii în sectorul traheo-bronhic și alveolar. Fluxul aerian este neuniform în situația unui plămân bolnav datorită unui model de obstrucție neuniform. Pot fi căi aeriene mici ce pot fi obstruite ceea ce va face ca o anumită parte a plămânului să fie inaccesibilă. În această situație, particulele pot prinde adânc la nivelul căilor aeriene libere ceea ce va face ca depunerea particulelor să crească local în regiunile ventilate activ și în mod deosebit la nivelul segmentului alveolar.

Elemente de variabilitate anatomică

Pot apărea variații în gradul de depozitare a particulelor la nivel pulmonar datorită nu numai sexului, vârstei sau prezenței unor boli pulmonare ci și datorită unor caracteristici anatomice cum ar fi: dimensiunea cavității nazale, rolul spațiului anatomic inert (anatomic dead space - ADS) sau datorită structurii laringelui.

Mecanismul de clearance pulmonar

Particulele ce se depozitează la nivelul tractului respirator pot fi eliminate complet sau pot fi mutate spre alte locuri din organism printr-o serie de mecanisme diverse.

Mecanismele de clearance pulmonar pot fi:

- mecanisme absorbitive ce produc dizolvare a particulelor
- mecanisme non-absorbitive ce acționează prin transportarea particulelor în mase intacte.

Aceste două mecanisme pot să acționeze concomitent sau pot acționa succesiv în momente diferite.

Pentru mecanismul de clearance al particulelor trebuie să se ia în considerare solubilitatea particulelor depuse în fluidele tractului respirator. Astfel, în situația particulelor solubile în fluidele de la nivelul tractului mecanismul de mare importanță este cel în care se produce fenomenul de dizolvare a particulelor pe când în cazul

particulelor ce nu sunt solubile sau au o solubilitate redusă rata de eliminare a acestora este prin transportarea particulelor în mase intacte.

Eliminarea particulelor de la nivelul tractului respirator se poate evalua separat în situația regiunii extratoracice, traheo-bronhice și alveolare.

Mecanismele de clearance pulmonar al particulelor

- regiunea extratoracică (ET) include:
 - transport mucociliar,
 - strănut,
 - eliminare nazală,
 - Dizolvare și absorbție sanguină.

Regiunea traheo-bronhică (TB) include:

- transport mucociliar,
- endocitoză prin acțiunea celulelor macrofage sau a celulelor epiteliale,
- tuse,
- dizolvare și absorbție sanguină sau limfatică.

Regiunea alveolară (A) include:

- acțiunea macrofagelor și a celulelor epiteliale,
- dizolvare și absorbție sanguină sau limfatică.

Regiunea extratoracică (ET)

În funcție de solubilitatea particulelor, se pot pune în evidență diferite situații, astfel:

- particulele cu solubilitate redusă ce sunt depozitate în partea posterioară a pasajului nazal vor fi eliminate prin mecanismul de transport muco-ciliar spre nazo-faringe și eliminate prin strănut, suflarea nasului.
- particulele solubile depozitate la nivelul epiteliului nazal, prin difuzie, vor ajunge la nivelul stratului de celule subiacente. În mucus, ele se vor dizolva și astfel vor putea fi absorbite în sânge. La nivelul nasului există o vascularizație foarte bogată ceea ce permite o trecere rapidă în sânge a substanțelor absorbite.
- pentru particulele puțin solubile depozitate la nivelul cavității bucale eliminarea se face prin tuse și expectorație sau prin înghițire la nivelul tractului gastro-intestinal. În cazul particulelor solubile, absorbția lor poate fi rapidă în funcție de rata de dizolvare și de dimensiunea particulelor solubilizate.

Regiunea traheo-bronhică (TB)

Solubilitatea particulelor poate influența eliminarea particulelor din această regiune, astfel:

- particulele solubile depozitate în zona traheo-bronhică sunt transportate spre cavitatea oro-faringiană prin intermediul aparatului muco-ciliar și apoi sunt înghițite. Această categorie de particule poate, însă, să traverseze epitelul bronhical prin fenomenul de endocitoză, ajungând la nivelul regiunii peribronhice unde apoi sunt înglobate în interiorul celulelor macrofage prin fagocitare și pot fi eliminate prin transport muco-ciliar sau să ajungă la nivelul lumenului cilor aeriene pornind de la mucoasa bronhiolară sau mucoasa bronhicală.
- particulele solubile pot fi absorbite prin intermediul epiteliului direct în sânge. Există o relație inversă între scăderea fluxului sanguin la nivelul regiunii traheo-bronhice și creșterea reinerii particulelor solubile la nivelul cilor aeriene. Chiar și particulele solubile pot fi îndepărtate prin intermediul mecanismului de eliminare muco-ciliar.

Regiunea alveolară (A)

Mecanismul de clearance de la nivelul regiunii alveolare se poate realiza pe mai multe căi.

Principalul mecanism non-absorbțiv de îndepărtare a particulelor cu o solubilitate redusă se derulează prin intermediul acțiunii macrofagelor. Macrofagele reprezintă între 3-19% din totalul celulelor alveolare. Totuși, numărul real de celule poate fi modificat de particulele ce sunt depuse la acest nivel. Numărul de celule este reglementat de numărul de particule depuse și nu de influența acestora prin greutate. Dimensiunea particulelor

poate influența numărul de macrofage. Astfel, dacă se produce o depunere a unor particule de dimensiuni mici se poate genera o creștere a numărului de macrofage față de ceea ce s-ar putea produce prin depozitarea unor particule de dimensiuni mai mari.

Macrofagele care au fagocitat particule pot fi eliminate din regiunea alveolară (A) pe trei căi principale:

- prin transport prin intermediul covorului muco-ciliar după ce aceste celule ajung la nivel distal unde vin în contact cu mucusul,
- prin dirijare din interstițiu spre canalele limfatice și spre ganglionii limfatici ce pot deveni locuri de depozitare a particulelor,
- prin traversarea endoteliului alveolo-capilar și printr-o trundere directă în fluxul sanguin.

Particulele ce ajung în circulația limfatică, după trecerea de stațiile ganglionare, vor ajunge la nivelul sângelui. Odată ajuns la nivelul circulației sanguine, particulele sau macrofagele ce au înglobat particulele pot ajunge în zonele extrapulmonare ale organismului.

Particulele ce au fost depozitate și care nu au fost fagocitate de macrofagele alveolare pot ajunge în interstițiu unde vor fi fagocitate de macrofagele interstițiale și pot ajunge la nivelul zonelor peribronhiolare sau a zonelor subpleurale unde ele vor fi reținute și vor reprezenta încărcătura de particule din organism, încărcătură ce are potențial de creștere. Clearance-ul pulmonar poate fi întârziat datorită legării particulelor de membranele celulelor epiteliale, de macromolecule sau de alte elemente componente ale celulelor. De asemenea, migrarea și gruparea particulelor și a macrofagelor pulmonare pot determina transformarea unor depozite difuze în agregate focalizate de particule.

Brauer și colab. (2001) au comparat fragmente de plămâni obținute prin autopsie de la rezidenți, nefumători, dintr-o zonă având un nivel ridicat de poluare a aerului cu particule (Mexico City, Mexic) cu fragmente de plămâni recoltate de la rezidenți, nefumători, dintr-o zonă cu nivele relativ scăzute de poluare cu pulberi a aerului (Vancouver, Canada). Investigația a măsurat concentrația de particule per gram de plămână, la nivelul parenhimului pulmonar. Rezultatul investigației a arătat că traiul într-o zonă în care se evidențiază o concentrație mai mare de particule se traduce printr-o rețenție mai mare atât de particule fine cât și ultrafine în plămâni. Astfel, în Mexico City concentrația acestor particule a fost de peste 7.4 ori mai mare decât concentrația identificată în plămâni rezidenților din Vancouver. Aceste rezultate indică o relație clară între expunerea ambientală și concentrația particulelor și reținerea acestora la nivelul regiunii alveolare (A).

Clearance-ul prin intermediul mecanismului absorbtiv implică dizolvarea particulelor în fluidele existente la nivel alveolar, dizolvare urmată de traversarea epitelului până la nivelul interstițiului și apoi difuzie în fluxul limfatic sau în fluxul sanguin. Solubilitatea particulelor este influențată de raportul dintre suprafață și volumul acestora precum și de proprietatea lor de a fi hidrofile sau lipofile.

Cinetica clearance-ului

Regiunea extratoracică

Rata fluxului mucusului este la nivelul zonei posterioare a cavității nazale foarte neuniformă dar se poate evalua ca o valoare medie, la un adult sănătos, este de 5 mm/min.

Particulele din zona anterioară a cavității nazale sunt eliminate prin suflarea nasului sau prin strănut iar o valoare medie a timpului de transport al mucusului din zona anterioară spre zona posterioară a cavității nazale este de aproximativ 10 până la 20 minute pentru particule cu solubilitate redusă.

Regiunea traheo-bronhică (TB)

Pentru evaluarea cineticii clearance-ului de la nivelul regiunii traheo-bronhice, deci ca index al cineticii muco-ciliare, se folosește durata totală a clearance-ului bronhic.

Viteza de transport a mucusului în interiorul arborelui bronhic este diferită. La nivelul traheei mișcarea mucusului este mai rapidă și devine din ce în ce mai lentă la nivelul cilor aeriene distale. Astfel, rata de transport a mucusului la nivelul traheei este între 4.3 și 5.7 mm/min în bronhiile principale este de ≈ 2.4 mm/min, pentru bronhiile medii este între 0.2-1.3 mm/min iar în cele mai distale ramificații care au componente ale aparatului muco-ciliar, viteza este de 0.001 mm/min.

De i viteza procesului de clearance la nivelul segmentului traheo-bron ic este destul de mare, s-a constatat c exist o anumit propor ie de elemente particulare depozitate care sunt re inute mai mult de 24 de ore.

O serie de studii sus in faptul c în regiunea traheo-bron ic , mecanismul de clearance are dou componente i anume o component rapid i o component lent de eliminare a particulelor depozitate la acest nivel.

Clearance-ul din regiunea traheo-bron ic a fost g sit ca fiind incomplet în 24 de ore i această situa ie se datoreaz unui clearance incomplet la nivelul bronhiilor (Camner i colab., 1997). O sc dere a re inerii particulelor mai mic de 4 de ore este propor ional cu cre terea dimensiunilor particulelor. Se constat , de asemenea, o re inere mai mare a particulelor de dimensiuni mai mici i o depozitare într-o zon proximal a tractului respirator sau ambele elemente.

Estim ri efectuate cu ajutorul unui model matematic a indicat o mai mare depozitare în regiunea bronhiilor de genera ia 9 pân la genera ia 15 în situa ia unei rate de inhalare mai reduse decât în mod normal. 40% dintre particulele depozitate în c ile aeriene în timpul unei inhal ri cu o rat sc zut de flux au fost re inute peste 24 de ore.

Compartimentul în care se produce o ac iune lent de clearance la nivel traheo-bron ic este probabil legat de bronhiiolele cu diametrul mai mic de 1 mm.

Re inerea pe o durat mai mare la nivelul regiunii traheo-bron ice are un design neuniform. Se produce o cre tere a reten iei la nivelul zonelor de bifurca ie i o eficacitate mai redus a clearance-ului mucos în aceste arii.

Regiunea alveolar

Particulele ce se re in la nivelul regiunii alveolare sunt re inute un timp mai îndelungat fa de cele ce sunt re inute la nivelul c ilor aeriene la care principalul mecanism de clearance este transportul mucociliar. În ceea ce prive te rata de clearance alveolar la om nu sunt decât informa ii limitate. Clearance-ul de la nivel alveolar este un proces multifazic, în fiecare etap a procesului ac ionând alt mecanism. Procesul ini ial este reprezentat de o înglobare a particulelor prin intermediul macrofagelor alveolare, proces ce se desf oar cu o rapiditate destul de mare, de obicei pe parcursul primelor 24 de ore de la depozitare.

Particulele care nu sunt fagocitate pot ajunge la nivelul intersti iului în câteva ore de la depozitare. Migrarea transeptelial a particulelor cre te propor ional cu cre terea înc rc turii de particule pân la un nivel peste care se observ o cre tere a num rului de macrofage. De asemenea, procesul poate fi direct propor ional cu dimensiunile particulelor insolubile ultrafine mai mici de 0,1 μm diametru. Aceste particule au un acces mai mare spre intersti iu i au un procent de absorb ie limfatic mai mare decât particulele de dimensiuni mai mari provenind din aceea i substan . Este posibil ca particule ultrafine provenind din substan e diferite s nu p trund în intersti iu în aceea i propor ie.

Particulele libere pot ajunge la ganglionii limfatici în câteva zile dup absorb ie. Absorb ia limfatic a particulelor depinde de gradul de eficacitate al ac iunii celorlalte c i de clearance pulmonar. Probabilitatea de cre tere a prelu rii limfatice apare atunci când activitatea fagocitar a macrofagelor alveolare descre te. Acest element poate fi un factor de înc rcare pulmonar . Se pare c particulele depozitate, atât prin mas cât i prin num r de particule, trebuie s dep easc un anumit prag. Sub acest prag trecerea spre c ile limfatice nu este afectat de cre terea înc rc rii cu particule. Trecerea spre sistemul limfatic al particulelor este dependent de dimensiunile acestora. Rata de trecere spre sistemul limfatic este lent iar eliminarea din ganglioni este i mai lent cu un timp de înjum t ire estimat la zeci de ani.

Particulele solubile depozitate la nivelul regiunii alveolare pot fi eliminate rapid prin absorb ie prin epiteliu i se produce intrarea în torentul circulator. Rata de absorb ie depinde de dimensiunea particulelor, moleculele cu greutate mai mic fiind eliminate mai repede decât cele mai mari. Absorb ia este un proces cu dou trepte i anume:

- în prima treapt particulele depozitate sunt dissociate prin dizolvare în componente ce pot fi absorbite în circula ie.
- în a doua faz se produce absorb ia.

Cele două trepte sunt independente temporar iar rata de disoluție depinde de o serie de elemente incluzând elemente de structură chimică a particulelor sau elemente de suprafață a acestora. Ratele de absorbție pot fi variate în funcție de legăturile existente cu diferite componente ale tractului respirator și cu proprietățile fizico-chimice ale materialului depozitat.

Un element important este evaluarea modului cum elementele particulare pot fi inhalate și depozitate la nivel pulmonar și pot influența sisteme extrapulmonare din organism și îndeosebi poate afecta sistemul cardiovascular. Evaluări recente au constatat că particulele ultrafine pot difuza rapid de la nivel pulmonar în sistemul circulator ceea ce poate justifica acțiunea rapidă a particulelor din mediul ambiant -asupra unor organe altele decât plămânul. Astfel, într-un studiu efectuat de Takenaka și colab., 2001, s-au expus șobolani la particule de argint de 0.015 μm putându-se astfel, foarte rapid, să se identifice prezența unor nivele ridicate de argint în diferite organe într-o perioadă de timp de până la 7 zile post-expunere. Nivelul de argint de la nivel pulmonar scade rapid iar după 7 zile numai 4% din încărcătura pulmonară mai poate fi regăsită la nivel pulmonar. În ziua 0, deja, argintul poate fi găsit în sânge, în ziua 1 argintul poate fi identificat în ficat, rinichi, inimă și creier. Cele mai mari concentrații de argint au fost evidențiate la nivelul rinichilor, urmat de nivelul identificat în ficat și apoi de nivelul din cord. Acest studiu demonstrează rapiditatea cu care particulele ultrafine sunt eliminate de la nivel pulmonar și acest clearance rapid s-ar datora unei dizolvări rapide a particulelor ultrafine de argint la nivelul fluidelor pulmonare, dizolvare urmată de difuzie în torrentul sanguin. Nu poate fi exclusă o trecere directă a particulelor solide în torrentul sanguin.

Dimensiunile particulelor precum și tendința de a se alipi între ele formând formațiuni ce pot afecta trecerea de la nivel pulmonar spre zonele extrapulmonare.

Factorii ce pot influența clearance-ul pulmonar

Aceste elemente pot fi:

- vârsta,
- sexul,
- activitatea fizică,
- prezența unor boli pulmonare.

Din punct de vedere al vârstei, al sexului și al activității fizice, nu s-au observat elemente ce pot influența clearance-ul pulmonar.

În ceea ce privește prezența unor boli la nivelul aparatului pulmonar pot apărea o serie de alterări ale mecanismului de clearance pulmonar.

Astfel, mecanismul de clearance poate fi afectat de o serie de boli ale arborelui bronhial. Poate apărea o încetinire a clearance-ului muco-ciliar nazal în situația unor boli cum ar fi prezența unei rinite cronice sau a unei sinuzite cronice sau la nivel pulmonar prezența unei bronșiectazii sau a unei fibroze chistice pulmonare. Este posibil apariția unei încetiniiri a transportului de mucus la nivel bronhial în situația prezenței unui carcinom bronhial, a unei bronhite cronice, a astmului sau în prezența unor infecții respiratorii acute. Modelul de clearance este același și în aceiași grad de eficiență la nivelul ciliilor aeriene ciliate mici în situația unui om sănătos și la un bolnav cu o formă ușoară de astm. În cazul astmului această similaritate s-ar putea atribui eficienței tratamentului astmului (Svartengren și colab., 1996).

Un mecanism de clearance este tusea prin acțiunea în prima parte a arborelui bronhial. Aceasta situație este valabilă în cazul unei hipersecreții de mucus și pentru eliminarea particulelor de dimensiuni cuprinse între 0.5-5 μm. Un clearance mai eficient se asociază cu un număr mai mare de accese de tuse. Se poate spune că tusea este un mecanism adjuvant aparatului muco-ciliar în îndepărtarea particulelor depozitate în plămânii bolnavilor cu bronhopneumopatie cronică obstructivă. Pe măsură ce agravația bolii, acest tuse, ca modalitate de clearance pulmonar, își scade performanța, fenomen ce apare mai ales în situația dischineziei ciliilor ceea ce se asociază cu scăderea valorii FEV1.

Rata de clearance la nivelul segmentului alveolar se reduce la om în situația prezenței unui BPOC. De asemenea, viabilitatea și funcționalitatea macrofagice este afectată în cazul bolnavilor de astm bronhial. Un alt factor ce poate influența mecanismul de clearance pulmonar este integritatea suprafeței epitelului bronhial.

Lezarea acestui epiteliu poate apare fie datorită unor boli fie prin inhalare de substanțe chimice iritante sau prin fumat. Această lezare a epiteiului poate duce la apariția unei creșteri a permeabilității acestuia iar particulele pot ajunge în interstiții la nivelul ganglionilor limfatici.

Supraîncălzirea cu particule

Expunerea prelungită la o concentrație ridicată de particule poate duce la fenomenul denumit „supraîncălzirea cu particule” ceea ce se poate traduce printr-o depășire a capacității de clearance mediată de macrofage. La animalele de experiență, respectiv la obolani, se pare că are mai mare importanță volumul decât masa particulelor. Fenomenul de supraîncălzire apare atunci când retenția de particule se apropie de 1 mg particule/g de esut pulmonar. La om, relevanța acestui fenomen în special pentru particulele cu solubilitate redusă este destul de neclară. În fibroza masivă progresivă se bănuiește că supraîncălzirea cu praf ar avea rol în patogeneza bolii (Green, 2000). În această situație ar putea apărea o supraexpunere la pulberi asociată cu deteriorarea mecanismului de clearance pulmonar. Această alterare poate fi consecință a expunerii din mediu la care se poate asocia o expunere ocupațională. Chiar și în situația unei expuneri normale, fenomenul de supraîncălzire poate apărea în situația unui plămân compromis ceea ce va duce la apariția unei patologii sau chiar la mortalitate datorită expunerii la particule.

Sursele de particule din aer

Sursele de particule pot fi împărțite în două categorii și anume:

- naturale;
- antropogene.

Sursele antropogene pot fi divizate în surse:

- surse fixe sau staționare și
- surse mobile.

Dintre sursele staționare se pot aminti:

- arderea unor combustibili fosili pentru încălzirea locuințelor,
- arderea combustibililor pentru obținerea energiei electrice,
- arderea combustibililor în procese industriale diverse,
- arderea biomasei (lemnului) din păduri pentru încălzire,
- arderea vegetației pentru eliberarea unor terenuri, în agricultură,
- arderea vegetației pentru eliberarea de terenuri în vederea efectuării de construcții,
- arderea reziduurilor menajere sau agricole,
- construcții și demolări,
- motorii și dispozitive folosite în agricultură,
- procesarea materialului lemnos,
- industria petrochimică,
- industriile de prelucrare a materialelor,
- industriile de prelucrare a elementelor minerale,
- eroziunea solului,
- depozitarea și recidarea gunoierului,
- antrenarea prafului de pe drumuri pavate sau nepavate.

Dintre sursele mobile cele mai importante sunt mijloacele de transport. Acestea pot reprezenta surse directe de emisie atât a particulelor primare cât și a celor secundare. Astfel de surse sunt autovehiculele care circulă pe autostrăzi, pe drumuri naționale precum și surse care nu au conexie cu drumurile.

Evaluarea toxicologică a proprietăților elementelor particulare din aer în relația cu sănătatea omului

Particulele în suspensie din mediu sunt un amestec de elemente constitutive provenind din surse diferite. Sursele pot fi naturale și antropogene. Compoziția fizico-chimică a particulelor este o dovadă a contribuției diferitelor surse la formarea elementelor în suspensie. Surse diferite pot determina o varietate mare de particule în

suspensie- PM. De asemenea, PM pot varia foarte mult în funcție de dimensiuni, precum s-a arătat în capitolele anterioare, putând clasifica PM în funcție de dimensiuni în fracția (modul) ultrafină, fracția de acumulare și fracția de particule de dimensiuni mari.

Regiunea de origine a particulelor determină compoziția PM. Deci, se poate afirma că expunerea la elementele particulare din aer reprezintă o expunere la o mixtură de particule diferite, cu compoziții diferite și la care se adaugă și expunerea la o serie de co-poluanți aflați în stare gazoasă.

Numeroase evidențe au arătat că există o corelație pozitivă între nivelele ambience de poluare cu particule și efectele pe sănătatea omului, respectiv influențarea mortalității și a morbidității umane. Relația între sănătatea omului și expunerea la PM din aer se pare că este în directă legătură cu fracția de acumulare în special iar sursa principală care contribuie la producerea acestor elemente particulare este combustia.

Nu trebuie omise toate limitele prezente în evaluările toxicologice existente și limitele ce apar atunci când efectele constatate sunt extrapolate de la animal la om precum și a dificultăților în evaluarea efectelor pe sănătatea umană în mod special evaluarea efectelor asupra grupurilor cu sensibilitate mare.

În studiile toxicologice trebuie evaluate atât cauzalitatea fenomenelor studiate cât și concordanța între rezultatele și posibilitatea plauzibilității biologice.

Astfel, plauzibilitatea biologică atinsă atât în studiile toxicologice cât și în cele epidemiologice permit evaluarea proprietăților PM în relație cu sursele de producere și cu efectele pe sănătate.

Evaluarea categoriilor de surse de elemente particulare și a compoziției chimice a acestora în relație cu efectele pe sănătate

Componentele cu importanță toxicologică din structura PM

Din cercetările făcute se constată că o serie de caracteristici ale PM pot fi asociate cu toxicitatea lor.

Tabelul Elementele particulare (PM) asociate cu mortalitatea umană

Fracțiune de PM determinată în funcție de dimensiune	Ioni/Elemente	Fracția de carbon/organic
TSP	Sulfat (SO ₄)	Carbon total (TC)
PM ₁₀	Nitrat (NO ₃)	Carbon elementar (EC)
PM de dimensiune mare (PM _{10-2,5} sau PM ₁₀₋₁)	Metale (Ni)	Funingine (carbon negru – black carbon BC)
PM fine (PM _{2,5} sau PM _{0,1})	Ion acid puternic (H ⁺)	Carbon organic (OC)
Număr de particule		Carbon extractibil din cyclohexane (CX)
Suprafața particulei		

Relația între proprietățile PM din aer și efectele pe sănătate

Proprietățile fizice ale PM

Particule fine și particule mari toracice

Indicatorul pentru particulele fine este reprezentat de PM_{2.5} iar pentru particulele mari toracice indicatorul este PM_{10-2.5}. Aceste două grupe de particule, cu dimensiunile cuprinse în cele două categorii, reprezintă cele mai frecvente grupe de particule ce se întâlnesc în mediu ambiant. Ele reprezintă dimensiunile de particule la care s-a dovedit apariția efectelor pe sănătatea omului ca o consecință a acțiunii acestora. Particulele fine provin în special din procesele de combustie. Particulele inhalate pot avea la suprafața lor o serie de substanțe chimice sau elemente reactive. Prezența unor elemente reactive are importanță mai ales în cazul particulelor fine. Un exemplu în acest sens este reprezentat de efectele determinate de expunerea acută la particulele de carbon ce pot avea pe suprafața lor atașat ionul sulfat. S-a constatat că această combinație poate să determine alterarea procesului de fagocitoză al macrofageilor pulmonare la nivel alveolar și activitatea bactericidă intrapulmonară la oareci (Clarke și colab., 2000).

Particulele mari sunt, de obicei, de origine mineral sau biologic. Compoziția chimică a acestor elemente particulare de dimensiuni mari este mai puțin complexă decât în cazul particulelor fine. Toxicitatea PM cu sursă terestră, deci de dimensiuni mari, este mai redusă decât în cazul PM fine cu origine în procesele de combustie sau cazul particulelor ultrafine. Cu toate acestea particulele mari acționează, în special, nivelul cilor aeriene ceea ce face ca grupul populațional al celor ce au o sensibilitate deosebită a cilor respiratorii sau au o maladie a acestora cum ar fi cei ce au astm bronhic să fie afectați de expunerea la această categorie de particule.

Particule ultrafine

Dimensiunea particulelor, numărul lor și suprafața sunt proprietăți fizice ale acestui grup de elemente particulare care influențează depunerea lor, penetrarea lor la nivelul tractului respirator precum și persistența lor la nivelul esutului pulmonar.

De asemenea, caracteristicile fizice mai sus menționate determină transportul sternal al particulelor și implicit toxicitatea acestora. Studiile pe animale au fost efectuate cu surrogate de particule ultrafine cu dimensiuni mai mici de 100 nm și solubile cum ar fi oxizii minerali cum ar fi TiO_2 sau particule de carbon. Studiile au dovedit că expunerea în PM ultrafine poate induce leziuni acute la nivel pulmonar așadar de situația expunerii la particule fine.

S-a constatat că PM ultrafine cu suprafață mai mare au un potențial toxic mai mare față de particule similare ca și compoziție dar cu suprafață mai mică. Nu trebuie neglijat, însă, nici compoziția particulelor ultrafine. Astfel, particule ultrafine ce au în compoziție MgO pot induce mai puțin leziuni față de cele ce au în compoziție ZnO , de exemplu.

În ceea ce privește aerosolii acizi, o serie de studii au arătat că pe lângă efectul asupra aparatului respirator, acestea au capacitatea de a se dispersa sistemic și avea efecte independente de efectele pulmonare.

Astfel, astăzi, se consideră că expunerea la particule ultrafine poate duce la o creștere a vâscozității sângelui ceea ce ar induce posibilitatea apariției afecțiunilor cardio-vasculare (Wickmann și colab., 2000).

Caracteristicile chimice ale PM

Aerosolii acizi

Se consideră că aerosolii acizi nu provoacă sau provoacă efecte minore asupra performanțelor ventilatorii pulmonare în cazul persoanelor sănătoase dar pot determina apariția unor scăderi mici în performanțele ventilatorii pulmonare la astmatici. Expunerea de lungă durată la aerosolii acizi în cazul experimentelor pe animale au indicat faptul că pot apărea alterări morfologice la nivelul cilor aeriene cu apariția descuamării la nivelul celulelor epiteliale și cu o creștere a celulelor secretorii, aceste modificări sunt considerate a fi modificări minore.

Un studiu efectuat de Lin și colab., 1997, a studiat un lot de copii printre care au fost incluși și copii cu astm bronhic și copii cu diferite forme de alergii, copii care au fost expuși la aerosolii de acid sulfuric ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pentru un timp de 4 ore. Evaluarea întregului grup nu a identificat nici un efect pe sănătatea copiilor, nici asupra apariției simptomelor respiratorii și nici apariția de modificări ale performanțelor ventilatorii ale acestora. Dacă, însă, a fost analizat numai grupul de copii alergici s-a observat apariția unei creșteri a simptomatologiei respiratorii în relație cu expunerea la aerosolii acizi. Nivelele de concentrație la care au fost expuși copii au fost mult mai mari față de nivelele ce pot fi găsite în mediul ambiant. Un studiu similar efectuat pe un lot de adolescenți astmatici a dus la concluzii similare.

Efectele expunerii la aerosolii acizi au dovedit și efecte extrapulmonare. Astfel, expunerea obolilor la acid acetic concentrat induce reflex o creștere a valorilor tensiunii arteriale la aceștia.

De asemenea, expunerea la un produs numit ROFA-PM (particule de carbon ce reprezintă elemente reziduale din arderea petrolului), produs ce conține cantități importante de sulfuri și de ioni metalici, favorizează apariția modificărilor la nivelul EKG-ului la obolii expuși la concentrații ridicate prin aer.

Componentele acide ale PM nu trebuie ignorate ca potențiali inductori de efecte pe sănătatea mai ales a efectelor asupra aparatului cardio-vascular.

Metale

Evaluarea toxicității metalelor ca parte constituantă a PM din aer a fost efectuată atât în condiții de expunere profesională cât și prin studii toxicologice în vivo și in vitro utilizându-se ROFA sau ioni metalici solubili.

În felul acesta s-a încercat obținerea de informații noi despre efectele pe sănătate a PM asociate cu metalele solubile. Metalele care pot fi considerate ca fiind componente ubiquitare ai PM: sunt fierul, vanadiul, cuprul, nichelul, cromul, cadmiul și arsenicul. Acestea provin în special din surse antropogene de ardere a combustibilului fosil.

S-a evidențiat faptul că în zonele poluate cu metale s-a produs o creștere dramatică a nivelului metalelor în esutul pulmonar. Un astfel de exemplu este creșterea dramatică a nivelului metalelor în esutul pulmonar al locuitorilor orașului Mexico City după 1950 sau în esutul pulmonar al locuitorilor marilor orașe din SUA.

Efectul pe sănătate al metalelor în situația în care ele reprezintă parte componentă din structura PM, efect evidențiat prin utilizarea de instilații cu ROFA, se materializează prin inducerea unor reacții pro-inflamatorii la nivel celular, molecular și prin intermediul mediatorilor, atât in vivo cât și în vitro.

Recent, s-a constatat că metalele pot induce aritmii cardiace atât la animale sănătoase cât și la cele cu afecțiuni în antecedente.

În experiențele pe șobolani, în situația instilațiilor de PM cu un conținut de metal, acesta este cel ce determină primul lezarea esutului pulmonar.

Studii toxicologice efectuate prin instilarea în plămâni a extractelor de PM ambiental ce conțineau metale solubile au stat la baza închiderii unei topitorii în Utah Valley, SUA.

Evaluarea efectelor pe sănătate a metalelor ca parte constituantă a PM necesită o evaluare mai amplă.

Alți compuși organici

Sursele de compuși anorganici pot fi surse naturale și surse de combustie. Datorită surselor naturale, elementul component cel mai important a PM este reprezentat de silicaii care înglobează în matricea lor metale precum calciu, magneziu, aluminiu sau fier. Efectul acestor metale nu se consideră a fi toxic.

O serie de anioni ce pot proveni atât din procese de combustie cât și din procese fotochimice, împreună cu ioni de amoniu solubili în apă, cu acizi organici și cu cationi de metale pot forma compoziția chimică a unor particule. Deși, toxicitatea sulfurilor sau nitraților ca elemente independente poate să nu fie mare, ei pot determina modificări ale gradului de toxicitate a altor componente ale PM.

Principalii constituenți ai masei PM din aer sunt sulfura de hidrogen, nitrații, ionul de amoniu, metale împreună cu silicaii și cu carbon. Metalele ce pot fi identificate în PM fine au ca sursă combustia în surse staționare sau mobile pe când sulfura de hidrogen, nitrații, sau ionul de amoniu se produc secundar prin reacțiile chimice în atmosferă, reacții ce includ substanțe ca SO₂, NO₂ sau NH₃ ce pot rezultata din arderea biomasei.

Constituenții organici ai PM

PM organice au atât surse primare cât și surse secundare.

Elementele organice, în particular carbonul organic, se identifică rar și poate fi pus în evidență mai ales în structura particulelor produse de motoarele diesel prin gazul de eșapament sau prin combustie. Carbonul organic este în proporție de 10 până la 60% din masa uscată a PM. Fracția organică din PM a fost considerată a induce efecte mutagene și produce modificări la nivelul ADN-ului.

Particulele eliminate de motoarele diesel

În ceea ce privește efectele pe sănătate ale particulelor eliminate de motoarele diesel, prin gazul de eșapament, sunt tot mai multe evidențe toxicologice ce susțin faptul că acestea exacerbează răspunsul alergic la inhalarea unor antigeni. Fracția organică din gazele de eșapament ale motoarelor diesel a fost asociată cu procesul de degranulare a mastocitelor și de inducere a producției de citokine ceea ce sugerează că acele componente organice din particulele eliminate de motoarele diesel sunt responsabile pentru efectele imune induse. Activitatea adjuvant-like a acestor particule eliminate de motoarele diesel nu este unică, metalele având o activitate similară. Particulele produse în libertate prin intermediul gazelor de eșapament ale motoarelor diesel pot contribui la incidența și la severitatea rinitei alergice și a astmului bronhic. În legătură cu aceste particule se pune problema apariției și a altor efecte non-carcinogene dar și de tip carcinogen și în mod deosebit de inducere a neoplasmului pulmonar.

Constituenții biologici ai PM

Bioaerosolii formați din spori de fungi, fragmente de insecte și de plante, bacterii și virusuri nu reprezintă o problemă pentru sănătate, în situația aerului ambiental și când aceste elemente reprezintă elemente componente ale structurii PM. PM din aerul din zonele urbane conține endotoxine. În studii pe voluntari s-a observat efectul acestora pe sănătate. Pragul de endotoxină variază între 0.5 -5.0 μg, pragul de odată depășit poate face posibil apariția efectelor pulmonare și sistemice, Studii in vitro au arătat că endotoxina asociată PM din aer poate avea efect pro-inflamator, de asemenea, induce producerea de citokine la nivelul macrofagelor alveolare, atât la obolăni cât și la om. Conținutul de endotoxină variază cu dimensiunile particulelor. Astfel, inducerea producerii de citokine de către monocitele umane, element caracteristic pentru activitatea endotoxinei, apare la PM mari în aerul exterior dar nu și în PM fine. Endotoxina s-ar putea să aibă un efect de pregătire și amorsare a efectului inflamator produs de PM.

Concluzii

Se poate spune că proprietățile fizico-chimice ale particulelor pot reprezenta „elementul cauzal” în inducerea efectelor pe sănătate. Cel mai important element al evaluării relației PM/efecte pe sănătate este masa particulei.

Mecanismele de acțiune ce explică efectele cardio-vasculare induse de PM

Prin numeroase studii epidemiologice, la care s-au adăugat și o serie de studii toxicologice, s-a demonstrat impactul expunerii la PM din aer asupra sănătății umane. Un important efect al PM asupra sănătății este afectarea funcționalității aparatului cardio-vascular ducând atât la creșterea mortalității cât și la creșterea morbidității prin boli cardio-vasculare.

Mecanismele prin care este influențată funcționalitatea acestui aparat sunt:

- un mecanism nervos:
- prin acțiune directă, prin intermediul reflexelor pulmonare asupra sistemului nervos automat, sau
- printr-un proces inflamator la nivel pulmonar,
- prin acțiunea directă a PM sau a componentelor acestora asupra funcționalității canalelor de ioni de la nivelul celulei miocardice,
- prin inducerea unui răspuns ischemic la nivelul miocardului,
- prin inducerea unui răspuns sistemic ce include și apariția inflamației ceea ce poate reprezenta elementul „trigger” pentru o disfuncție a celulelor endoteliale, și
- prin favorizarea apariției trombozelor prin alterări apărute în procesul de coagularea sângelui.

Interacțiunea între aceste mecanisme de acțiune poate favoriza apariția morții subite datorită unor cauze cardiace. Elementele particulate sunt formate dintr-un amestec de componente diferite care pot stimula diferite mecanisme de acțiune. În funcție de structura fizico-chimică a PM pot fi acționate unul sau mai multe dintre aceste mecanisme.

Sunt evidente că particulele ce ajung în organism pe cale inhalatorie pot afecta funcționalitatea cardiacă prin intermediul sistemului nervos automat. Astfel, impulsuri venite direct de la nivel pulmonar la nivelul sistemului nervos automat prin intermediul fibrelor pulmonare aferente pot duce la modificarea ratei cardiace (Heart rate-HR) și a variabilității ratei cardiace (Heart rate variability-HRV). Cordul este constant controlat atât prin inervație simpatică cât și prin inervație parasimpatică de către sistemul nervos automat. O serie de studii clinice au demonstrat că există o asociere semnificativă între disfuncția sistemului nervos automat și apariția morții subite datorită unor cauze cardiace. S-a constatat că o scădere a variabilității ratei cardiace poate fi considerată ca un factor de predicție pentru creșterea morbidității și a mortalității cardio-vasculare.

Astfel, într-un studiu efectuat pe voluntari vârstnici, dintre care unii aveau boli cardio-vasculare sau boli pulmonare, s-a identificat o asociere între nivelele de PM din aer și diferite valori ale ratei cardiace și a variabilității ratei cardiace. S-a constatat că există o asociere între diferitele nivele de PM din aer și o reducere a deviației standard pentru intervalele normale ale bătăilor cardiace, ceea ce poate reprezenta un risc mare de apariție a decesului.

Unele dintre studiile efectuate prezintă existența unei asociații între nivelul de PM din aer și o scădere a variabilității cardiace în special în aria de frecvență înaltă ceea ce reflectă o acțiune modulatorie parasimpatică asupra cordului.

Alte studii arată existența unei asociații pozitive între prezența PM și rata cardiacă. O rată cardiacă crescută este asociată cu prezența hipertensiunii, a bolilor coronariene și cu posibilitatea de apariție a decesului.

Se poate spune că PM pot influența direct și favoriza apariția afecțiunilor ce pot altera rata cardiacă precum și variabilitatea ratei cardiace. Scăderea variabilității ratei cardiace a fost folosită ca predictor pentru evaluarea creșterii morbidității și a mortalității cardiace dar ceea ce nu este sigur este faptul că, dacă apare un singur moment în modificările ratei cardiace și a variabilității acesteia, moment reversibil, persoana respectivă are un risc imediat de a dezvolta un eveniment cardiac imediat sau nu. Nu se știe dacă modificarea variabilității ratei cardiace în relație cu expunerea la PM din aer reprezintă un risc sau dacă această modificare poate fi considerată doar un marker de expunere.

S-a demonstrat că PM pot induce modificări în conductibilitatea și în repolarizarea cardiacă. Modificări funcționale la nivelul canalelor de ioni de la nivelul miocardului pot să ducă la apariția modificării duratei de repolarizare și modificări de morfologie ceea ce înseamnă că la nivelul miocardului se produc o serie de modificări subtile care fac ca acesta să devină mai vulnerabil. Toate aceste modificări pot fi vizualizate pe EKG prin apariția unor modificări ale morfologiei undelor T și a variabilității intervalului QT și a undelor T, ale alternanței undelor T și modificări ale înălțimii segmentului ST. S-a constatat că există legături evidente între modificările ce pot fi înregistrate pe EKG și apariția morții subite. Într-un studiu experimental efectuat pe roztoare expuse la ROFA s-a înregistrat pe EKG o subdenivelare a segmentului ST ceea ce reprezintă un factor ce reflectă morfologia undei T în perioada de repolarizare a mușchiului cardiac. O astfel de evaluare este utilă în situația bolnavilor cu boală cardiacă ischemică. Un studiu efectuat pe câini expuși la CAPs (concentrat de particule ambientale) a arătat modificări ale structurii segmentului ST, de această dată o supra-denivelare a acestuia, și a dovedit că această modificare apare în situația unei ocluzii ale unei artere coronare.

Datorită faptului că expunerea la PM poate favoriza modificări ale ratei cardiace, ale variabilității ratei cardiace precum și modificări în procesele de repolarizare și de conductibilitate cardiacă rezultă că expunerea la PM poate să ducă la apariția unei aritmii maligne care poate duce la moarte subită. În acest sens există dovezi atât prin experimente pe animale cât și evidențe umane. Astfel, un studiu care a efectuat pe un lot de subiecți ce purtau fiecare un defibrilator implantabil și care s-a efectuat pe un lot de subiecți ce purtau un defibrilator implantabil și care au fost expuși la PM a identificat o asocieră între expunerea la PM și creșterea descărcărilor defibrilatoarelor purtate de subiecți. Se poate spune că dacă subiecții nu aveau implantate aceste defibrilatoare, unii dintre subiecți ar fi suferit un eveniment cardiac care ar fi putut să le fie fatal. Alt studiu a raportat că riscul de a dezvolta infarct miocardic acut crește în direct proporționalitate cu creșterea nivelului de cu 2 ore înainte de producerea infarctului.

O serie de elemente au fost identificate prin experimente pe animale, punerea de roztoare și roztoare la ROFA a dus la apariția modificărilor aritmice cardiace aici incluzându-se și apariția bradicardiei. Cobolani tratați cu monocrotalină au dezvoltat aritmii și unele dintre animale au decedat în perioada de 24 de ore de la punere. La cobolani bătăni expuși la ROFA s-a înregistrat creșterea numărului de itmii. Câini expuși la CAPs au dezvoltat o ușoară bradicardie post expunere.

Toate cele prezentate mai sus arată faptul că, în experimente pe animale, s-au dus dovezi convingătoare că expunerea la nivele ridicale de PM (ROFA fiind un component specific al PM la care se întâlnește un nivel mare de concentrație, mult mai mare decât nivelul de concentrație întâlnit în mediu) poate determina modificări la conductibilitate și de repolarizare la nivelul miocardului cu potențial de apariție a aritmiilor cu evoluție fatală. Un lucru este foarte important și anume că trebuie să se demonstreze dacă mecanismele care explică posibilitatea de apariție a mortalității în expunerea la PM (în concentrații mari în experimente), pot explica aceleași fenomene și în situația nivelelor de concentrație ale PM din mediu ambiant.

Elementele particulare pot afecta sistemul nervos automat fie direct fie indirect. Modalitatea directă de afectare a sistemului nervos automat este prin terminațiile nervoase de la nivelul plămânilor. Modalitatea indirectă

de influențare prin producerea de mediatori ce apar în situația unei inflamații. Astfel, sunt udii ce arată apariția leziunilor și a inflamației la nivel pulmonar în relație cu punerea unor roztoare la ROFA. Câinii, roztoarele și oamenii ce au fost expși la CAPs au dezvoltat o reacție inflamatorie ușoară. Inflamația la nivel pulmonar observată atât la om cât și la animale este mult mai discretă față de modificările produse în expunerea la ozon. De aceea, în acest moment nu există siguranța că apariția inflamației la nivel pulmonar joacă un rol în modificările produse de punerea la PM asupra funcționalității sistemului nervos automat.

O altă ipoteză este aceea că expunerea la PM afectează direct miocardul. O serie de studii recente afirmă că PM-ultrafine prădesc plămânul și se depozitează la nivelul altor organe cum ar fi de exemplu inima sau ficatul. Astfel, la obolani expși la ROFA, substanțele conținute în principal metale, s-a observat o creștere a producerii de citokine pro-inflamatorii în ventriculul stâng. Un alt studiu a arătat existența unor modificări histopatologice la nivelul ventriculului miocardic la câinii din orașul Mexico City, oraș cu un înalt nivel de poluare a aerului, în comparație cu ceea ce s-a observat la câinii ce trăiesc într-o zonă unde poluarea aerului este la un nivel scăzut. La câinii din zona orașului Mexico City s-a pus în evidență prezența unor depozite de elemente particulare, depozite care au avut răspândire în toată structura miocardică.

Afectarea acută coronariană apare ca urmare a formării unui trombul la nivelul unei plăci de aterom lezată. Formarea unui trombul poate fi favorizată de inducerea unei situații favorizante unei coagulare sanguine crescute. În acest sens se observă o creștere a nivelului factorilor de coagulare, creșterea gradului de agregare plachetară, creșterea vâscozității sanguine, se reduce activitatea de fibrinoliză, apar o serie de disfuncții la nivelul celulelor endoteliale. Un element important este proteina C reactivă care este un marker al unei stări inflamatorii sistemice. S-a observat că prezența acesteia se corelează pozitiv cu apariția unor evenimente cardiace. De asemenea, s-a constatat că ea se corelează pozitiv cu expunerea la PM din aer.

Multe studii au prezentat o asociere pozitivă între expunerea la PM și o creștere a vâscozității sanguine. De asemenea, s-a evidențiat o asociere între expunerea la PM și o creștere a nivelului de fibrinogen. Fibrinogenul reprezintă un factor de risc pentru inducerea unor boli ischemice pe miocard. Studii controlate efectuate pe om cu expunere la CAPs și studii efectuate pe animale de laborator expuse la ROFA au arătat o creștere a nivelului fibrinogenului în sânge. Studiile susțin ideea că PM influențează procesul de coagulare a sângelui în a cămăsură încât aceste modificări devin „trigger” pentru evenimente cardio-vasculare la indivizii susceptibili.

S-a raportat ca urmare a unor studii efectuate, o asociere între PM și modificări ale numărului de celule albe din sânge. În unele studii efectuate pe roztoare expuse la CAPs, numărul acestora a crescut împreună cu numărul de plachete sanguine iar în alte studii s-au observat efecte pe roztoare expuse la ROFA. Aceste modificări au fost reprezentate de o scădere a numărului de celule albe sanguine.

Într-un studiu efectuat pe iepuri expși la carbon coloidal s-a observat o creștere a numărului de neutrofile. S-a evidențiat asocierea dintre PM și numărul și distribuția neutrofilelor. Neutrofilele sunt un marker ce arată eliberarea de precursori ai mduvei hematogene la om. Un astfel de rezultat a fost obținut în perioada episodului de poluare din sud-estul Asiei din 1997, episod datorat arderii de biomasă.

S-a constatat că pot apărea o serie de disfuncții la nivelul celulelor endoteliale, disfuncții ce pot duce la apariția ischemiei pe miocard la persoanele cu o susceptibilitate crescută. Endoteliul vascular secretă o serie de factori ce controlează tonusul vascular, modulează activitatea plachetară și influențează trombogeneza. Un studiu a căutat să evalueze disfuncția apărută la nivelul celulelor endoteliale la subiecți umani expși la CAPs prin măsurarea gradului de dilatare a arterei brahiale. Apariția vasoconstrucției poate fi indusă printr-o creștere a nivelului circulator de endotelin-1. Această creștere a fost identificată într-un studiu pe obolani expși la PM.

În concluzie, se poate spune că interpretarea acestor studii este destul de dificilă de făcut dar se poate spune cu siguranță că expunerea la elementele particulare din aer poate induce afectarea aparatului cardio-vascular și a sistemului circulator în întregime.

Efectele asupra sănătății induse de expunerea la particulele din aer

Influența expunerii la PM în asociere cu alți poluanți din aer pot duce la apariția unor efecte asupra sănătății omului.

Aceste efecte pot fi clasificate astfel:

- efectele expunerii de scurt durat ;
- efectele expunerii de lung durat .

Efectele expunerii de scurt durat

- mortalitatea indus de expunerea de scurt durat la elemente particulare din aer,
- creșterea morbidității, a internărilor în spitale și a numărului de vizite la cabinetul medical ca urmare a expunerii de scurt durat la particulele din aer,
- efectele expunerii la elementele particulare asupra aparatului cardiovascular,
- efectele expunerii la elementele particulare din aer asupra incidenței bolilor respiratorii,
- efectele expunerii la elementele particulare din aer asupra simptomatologiei respiratorii astfel:
- efectele expunerii la elementele particulare din aer asupra simptomatologiei la astmatici,
- efectele expunerii la elementele particulare din aer asupra simptomatologiei la non-astmatici,
- efectele asupra ritmului de utilizare a medicației bronhodilatatoare la astmatici,
- efectele asupra ratei de apariție a simptomelor la nivelul tractului respirator superior,
- efectele asupra ratei de apariție a simptomelor la nivelul tractului respirator inferior,
- efectele asupra ratei de apariție a tusei,
- efectele expunerii la elementele particulare din aer asupra performanțelor funcționale respiratorii.

Efectele expunerii de lung durat :

- mortalitatea indus de expunerea de lung durat la elementele particulare din aer,
- efecte asupra morbidității care pot fi:
- influența asupra prevalenței simptomelor respiratorii și a bolilor pulmonare la copii și adulți,
- influența asupra prevalenței bolilor cardio-vasculare,
- efectele asupra performanțelor funcționale respiratorii pulmonare,
- efectele asupra simptomatologiei aparate la astmatici și la non-astmatici,
- prevalența simptomelor respiratorii și a bolilor pulmonare la copii și adulți,
- inducerea cancerului pulmonar.

Cantitatea totală de emisii PM în jud. Mureș .

Unitatea administrativ-teritorială	Indicator	Metoda de evaluare (date RNMCA / Modelare)	Concentrația maximă din perioada de evaluare	Excepții	Perioada de mediere	Perioada de evaluare	Cantitatea totală de emisii (t/an)	
Județul Mureș	Particule în suspensie – PM _{2,5} (μg/m ³)	Modelare	65.83		1 an	2010-2014	surse staționare	448.945963
		RNMCA	24.98				surse mobile	131.494054
							surse de suprafață	3480.477919
	Particule în suspensie – PM ₁₀ (μg/m ³)	RNMCA	24.98		1 an	2010-2014	surse staționare	817.122871
		Modelare	110.49				surse mobile	236.885289
		Modelare	201.38				surse de suprafață	3775.061756
				24 ore				

Metode de măsurare

Metoda de referință pentru prelevarea și măsurarea concentrației de PM₁₀ este cea prevăzută în standardul SR EN 12341 - Calitatea aerului. Determinarea fracției PM₁₀ de materii sub formă de pulberi în suspensie. Metoda de referință și proceduri de încercare în teren pentru demonstrarea echivalenței cu metoda de măsurare de

referință. Metoda de referință pentru prelevarea și măsurarea $PM_{2,5}$ este cea prevăzută în standardul SR EN 14907 - Calitatea aerului înconjurător. Metoda standardizată de măsurare gravimetrică pentru determinarea fracției masice de $PM_{2,5}$ a particulelor în suspensie.

Norme

LEGEA nr. 104 din 15 iunie 2011 Pulberi în suspensie - PM_{10}	
Valori limit	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - valoarea limit zilnic pentru protecția sănătății umane 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - valoarea limit anual pentru protecția sănătății umane

LEGEA nr. 104 din 15 iunie 2011 Pulberi în suspensie – $PM_{2,5}$	
Valoare țintă	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - valoarea-țintă anuală
Valori limit	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - valoarea limit anual care trebuie atins până la 1 ianuarie 2015 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - valoarea limit anual care trebuie atins până la 1 ianuarie 2020

Modelarea emisiilor PM la nivelul județului Mureș în funcție de proveniența acestora

Conform raportului preliminar privind calitatea aerului înconjurător pentru anul 2015, în cursul anului 2014 au intervenit defecțiuni ale analizatoarelor care au afectat captarea de date, aceste defecțiuni menținându-se în anul 2015.

Pentru anul 2014 până la defectarea analizatoarelor nu s-au înregistrat depășiri ale valorii limit zilnice pentru sănătatea umană la indicatorul pulberi în suspensie fracțiunea PM_{10} – respectiv 50 micrograme/ m^3 , iar pentru $PM_{2,5}$ nu s-au efectuat monitorizări din cauza defecțiunilor apărute la analizor.

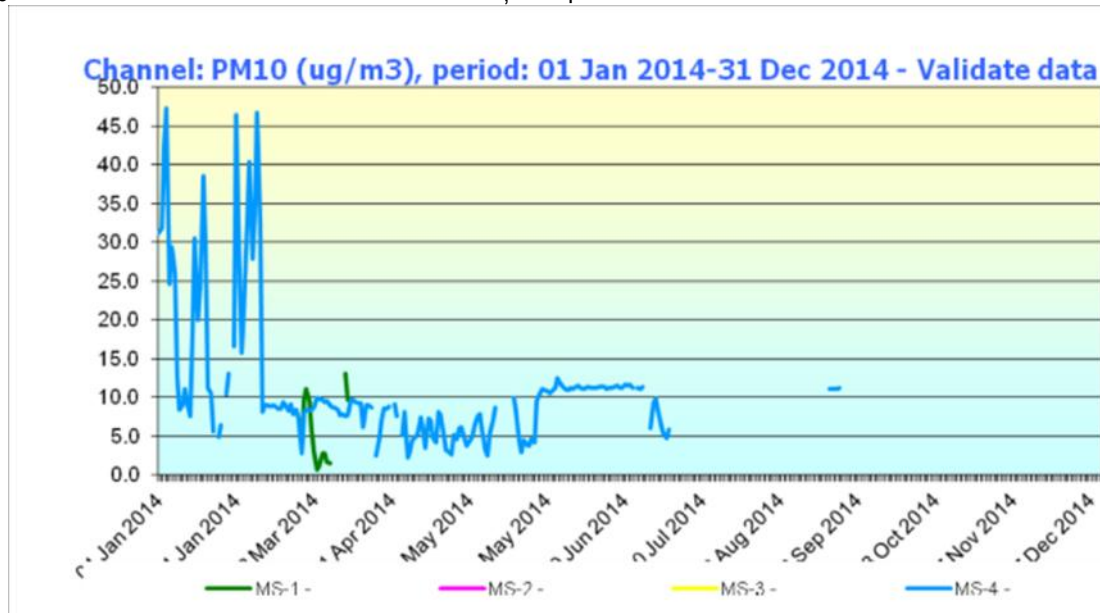


Fig. 32 Variația concentrației PM_{10} – medii zilnice (<http://aprms.anpm.ro>).

În anul 2013 s-au înregistrat depășiri ale valorii limit zilnice pentru sănătatea umană la indicatorul pulberi în suspensie fracțiunea PM_{10} – respectiv 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ astfel:

- 10 depășiri la stația de fond urban MS 1 – metoda gravimetric
- 13 depășiri la stația industrială MS 2 – metoda gravimetric
- 6 depășiri la stația industrială MS 4 – metoda nefelometric

Aceste depășiri au avut loc în zile din lunile ianuarie, februarie, martie, decembrie.

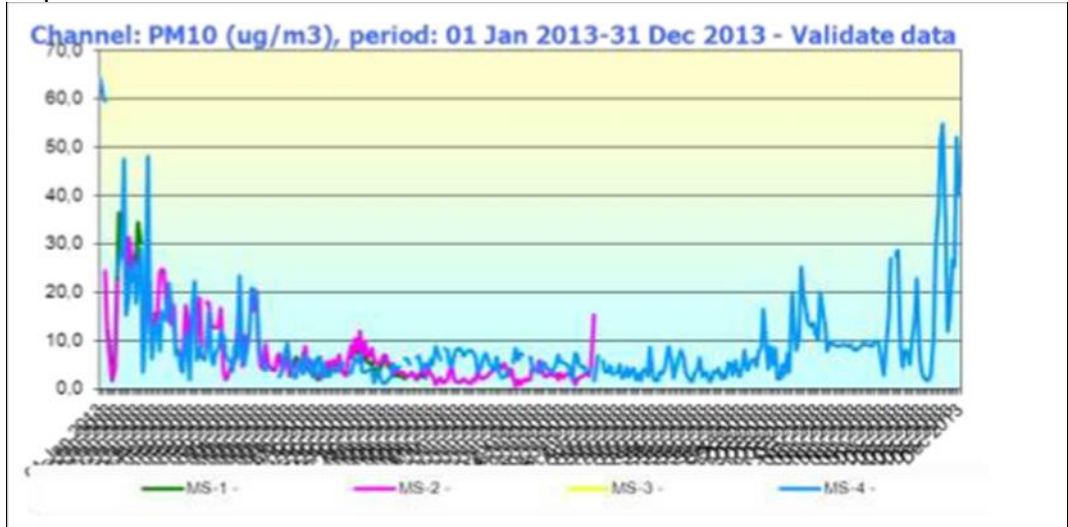


Fig. 33 (<http://apmms.anpm.ro>).

Fracțiunea PM_{2.5} din pulberi în suspensie s-a monitorizat la stația MS 1, iar valorile concentrațiilor zilnice măsurate vor contribui la calculul Indicatorului Mediu de Expunere (IME). Valoarea anuală pentru 2013 a fost 29,5 brut și 29,5 validat, depășind valoarea țintă anuală.

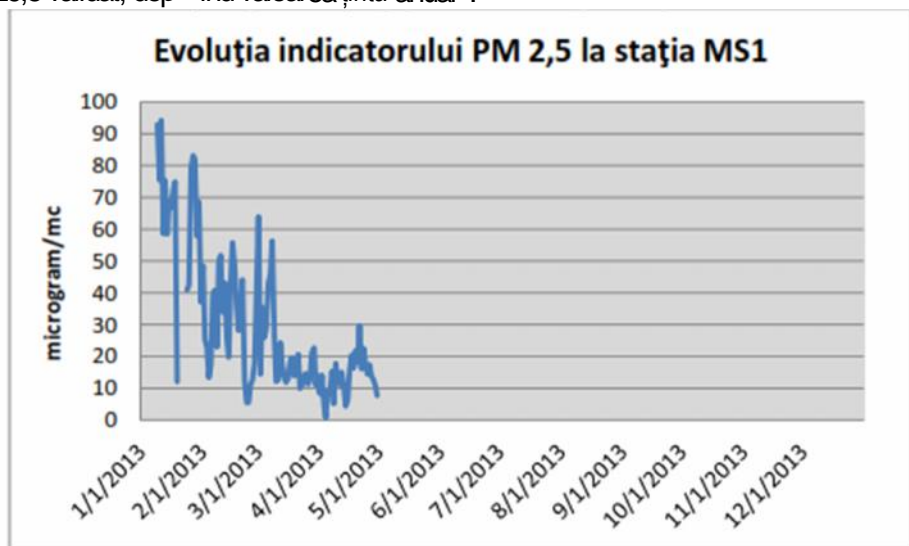


Fig. 34 (<http://apmms.anpm.ro>).

Viabilitatea drumurilor

Un aport în ceea ce privește sursele de emisii de PM la nivelul județului Mureș îl are starea de viabilitate a drumurilor și antrenarea particulelor sedimentate de către traficul auto.

Situația drumurilor județene la sfârșitul anului 2015.

Nr.crt.	Lungime (km)	Asfalt tip beton (km)	Beton ciment (km)	Pavaj (km)	Îmbr c min i asfaltice (km)	Pietruire (km)	P mânt (km)
1.	785,927	9,500	0	0,467	664,761	88,56	22,639

Situația drumurilor comunale la sfârșitul anului 2015:

Nr.crt.	Lungime (km)	Asfalt tip beton (km)	Beton ciment (km)	Pavaj (km)	Îmbr c min i asfaltice (km)	Pietruire (km)	P mânt (km)
1.	939,763	59,785	02,960	0,467	294,756	482,241	100,021

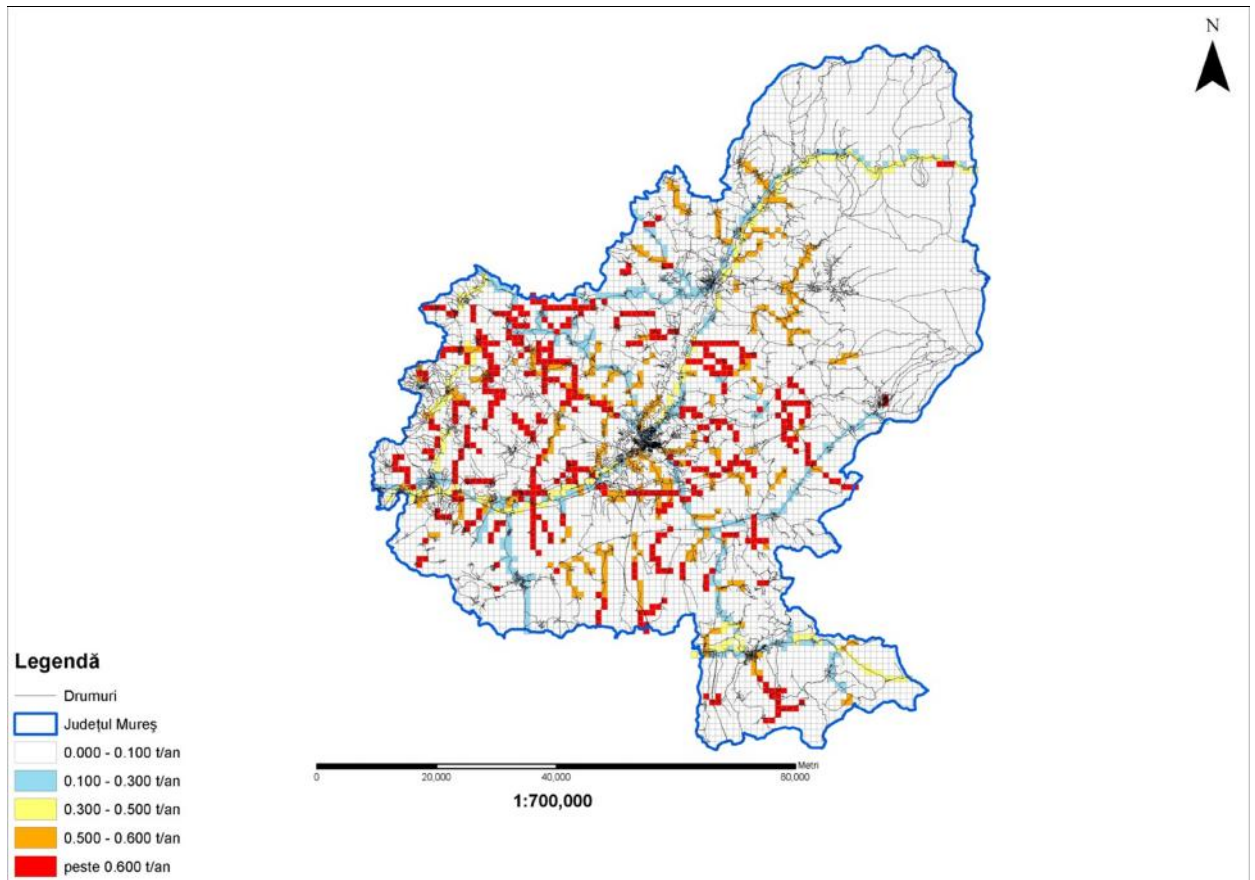


Fig. 35 Distribuția în grilă de calcul rezoluție 1x1km a emisiilor de PM₁₀ și PM_{2.5} provenite din viabilitatea drumurilor situație 31.12.2015.

Se observă o creștere a acestor emisii pe drumurile de pământ, pietruite, pavate.

Transportul

Este considerat unul din factorii importanți în emisiile de PM în special cele asociate motoarelor diesel înregistrându-se concentrații ridicate în zonele urbane și/sau cele cu trafic crescut.

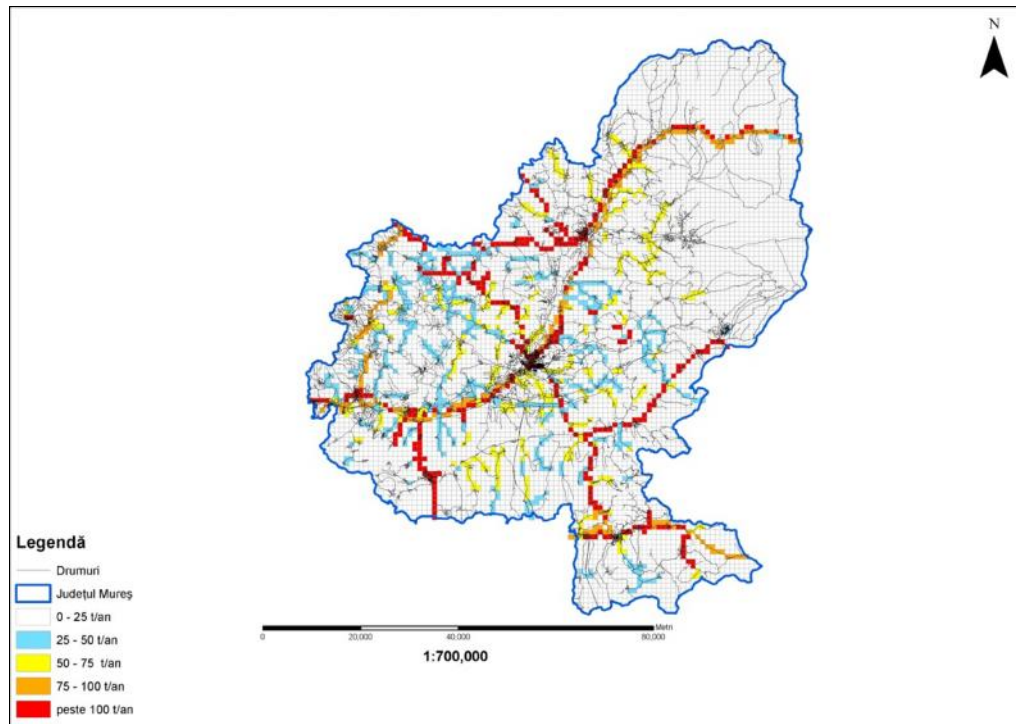


Fig. 36 Distribuția în grilă de calcul rezoluție 1x1km a emisiilor de PM₁₀ i PM_{2.5} provenite din transport.

Înc Izirea locuințelor

Emisiile de PM rezultate din înc Izirea locuințelor sunt concentrate în zonele de locuit.

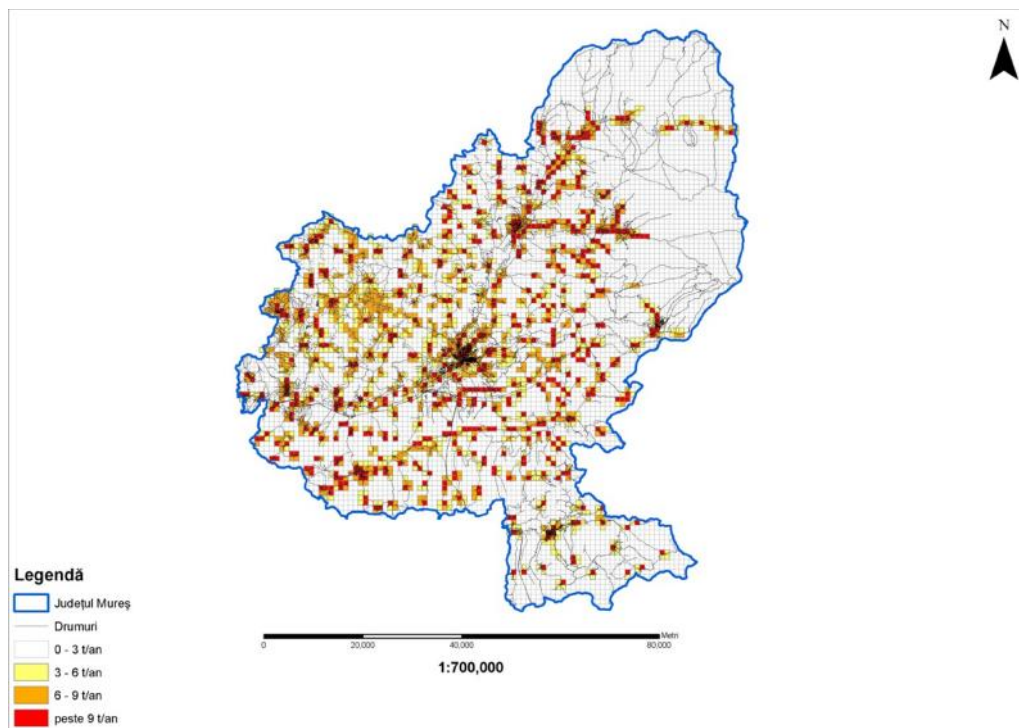


Fig. 37 Distribuția în grilă de calcul rezoluție 1x1km a emisiilor de PM₁₀ i PM_{2.5} provenite din înc Izirea locuințelor.

Industria

Emisiile de particule sunt concentrate în principal în jurul unităților industriale.

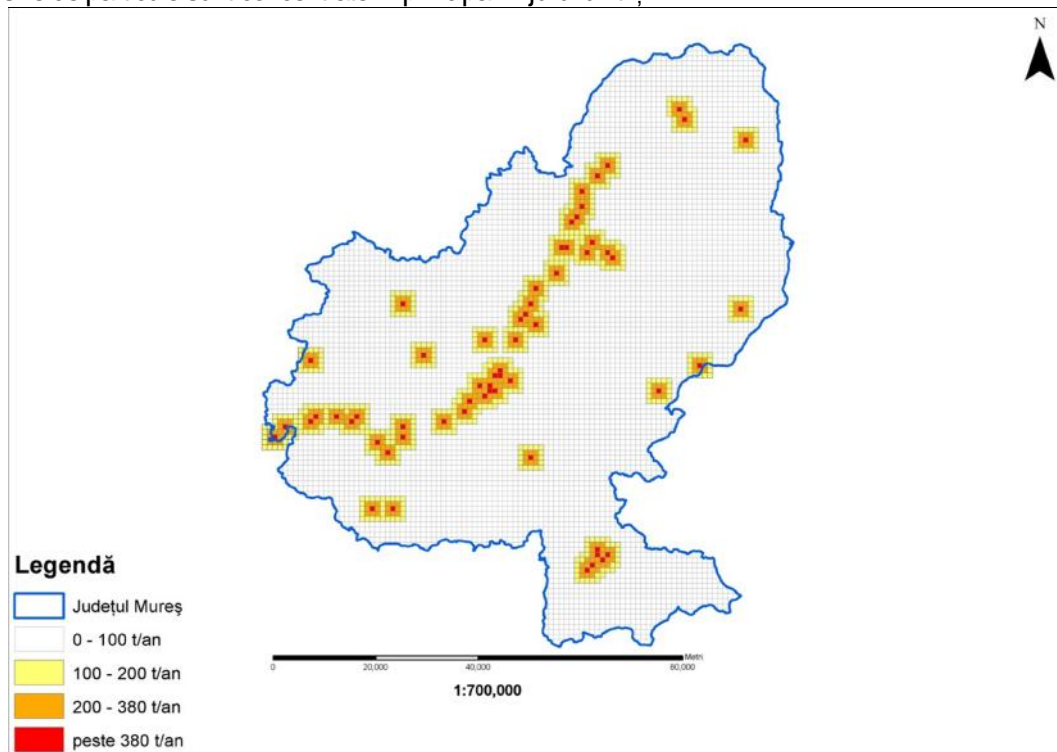


Fig. 37 Distribuția în grilă de calcul rezoluție 1x1km a emisiilor de PM₁₀ și PM_{2.5} provenite din procese industriale de producție.

3.1.3. Dioxid de azot (NO₂)

Dioxidul de azot este un gaz de culoare galben - orange - roșu - brun în funcție de temperatură, este mai greu decât aerul. Acesta este monitorizat frecvent de către Agenția pentru Protecția Mediului Mureș deoarece este generat de arderea combustibililor în motoare, cuptoare etc., este unul din compușii implicați în formarea smogului oxidant.

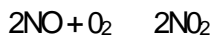
Concentrația maximă admisă pentru 24 de ore în România a NO₂ este de 0,100 μg/m³, în timp ce concentrația maximă admisă pentru 30 minute este de 300 μg/m³ sau 0,3 μg/m³.

Monoxidul de azot poate intra în reacție cu numeroși oxidanți:

- oxigenul atomic:



- oxidul de azot se combină cu oxigenul molecular, pur sau din aer, în reacție rapidă, rezultând dioxidul de azot:

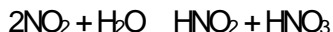


- în urma reacției cu ozonul monoxidul de azot se transformă în dioxid de azot:



Oxidarea este în funcție de concentrația de monoxid de azot. Astfel, oxidarea se produce în câteva minute atunci când concentrația de monoxid de azot este de 1000 ppm. În timp ce, la concentrații mici oxidarea se desfășoară încet. Când concentrația este de 1 ppm, jumătate din cantitatea de NO se oxidează în 100 de ore. Însă la concentrația de 0,1 ppm, jumătate din cantitatea de NO este oxidată în 1000 de ore (Gavrilăscu Elena, 2008).

- Dioxidul de azot reacționează cu apa:



- Reacția dintre hidroxizii alcalini și dioxidul de azot:

$$2\text{NO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{NaNO}_2 + \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$
- Reacția dintre ionii iodur și dioxidul de azot, în mediu acid, cu formare de iod:

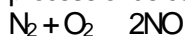
$$\text{NO}_2 + 2\text{I}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NO} + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

Surse de poluare

Oxizii de azot sunt emiși în cantități mari de procesele biologice. Bacteriile nitrificatoare constituie principala sursă naturală de producere a monoxidului de azot. Se apreciază că sursele naturale emit de circa 10 ori mai mult NO decât sursele tehnologice, însă datorită faptului că primele sunt repartizate relativ uniform pe suprafața terestră înregistrează o poluare mai redusă în comparație cu sursele antropice care sunt concentrate în centrele urbane sau pe arterele cu o intensă circulație auto.

Se estimează că principalele surse de poluare cu NO_x sunt mijloacele de transport.

Oxizii de azot provin, de asemenea, din procesele industriale bazate, în anumite segmente tehnologice, pe arderea combustibililor fosili. Cea mai mare contribuție o au centralele electrice pe bază de gaz natural, în timpul proceselor de combustie, azotul molecular și oxigenul molecular reacționează la temperaturi ridicate:



Se formează în timpul descărcărilor electrice, erupțiilor vulcanice, incendiilor de păduri, etc.

Distribuția poluantului funcție de principalele surse de emisie:

Poluant	Pondere (%)	Surse de emisie
NO _x	18	Combustie (producere energie, industrie, rafinare petrol).
	75	Transporturi
	6	Surse rezidențiale și terțiare
	1	Alte surse

Acțiunea asupra sănătății

Oxizii de azot din aerul atmosferic pot produce efecte toxice atât asupra viitoarelor copii cât și asupra plantelor.

Expunerea plantelor, timp de o oră, la concentrații mai mari de 25 ppm dioxid de azot, duce la căderea frunzelor. La concentrații cuprinse între 4-8 ppm frunzele sunt necrozate pe o suprafață de 5%. Creșterea timpului de expunere, până și la concentrații reduse, are consecințe distrugătoare: o concentrație de doar 0,5 ppm NO₂, timp de 35 zile, duce la căderea completă a frunzelor.

Oxizii azotului produce viteza marea serioasă a vegetației prin albirea sau moartea esuturilor plantelor, scăderea rezistenței plantelor, precum și prin reducerea vitezei de creștere a acestora.

Asupra animalelor, oxizii de azot au un efect foarte toxic. În urma testelor realizate asupra animalelor, s-a observat o paralizie a sistemului nervos central, la concentrații foarte mari de monoxid de azot.

Concentrațiile mai mari de 100 ppm dioxid de azot sunt mortale pentru majoritatea speciilor de animale. Efectul toxic al dioxidului de azot crește odată cu temperatura. Astfel, la cobolani, creșterea temperaturii cu 10°C, duce la creșterea toxicității cu circa 25%.

Dioxidul de azot este cunoscut ca fiind un gaz foarte toxic atât pentru oameni cât și pentru animale (gradul de toxicitate al dioxidului de azot este de 4 ori mai mare decât cel al monoxidului de azot). Expunerea la concentrații ridicate poate fi fatală, iar la concentrații reduse afectează esutul pulmonar.

Oxizii azotului afectează căile respiratorii superioare prin iritarea ochilor, nasului, salivă puternică, producând de la secreții bronșice, dificultăți în respirație până la congestii pulmonare, edem pulmonar acut, fibroz pulmonar, etc.

Efectele toxice ale oxizilor de azot se produc, mai ales, în împrejurări profesionale. Consecințele asupra oamenilor sunt în funcție de concentrația oxizilor de azot. Altfel spus, la concentrații mai mari de 500 ppm cauzează edemul pulmonar, iar moartea se produce în 48 ore. La concentrații cuprinse între 300 - 400 ppm apare edemul pulmonar, bronhopneumonia, iar după 2 - 10 zile survine moartea. Obturarea bronhiolilor se produce la o concentrație de 150 - 200 ppm, iar după 3-5 săptămâni survine moartea. Când concentrația este de 50 - 100 ppm se produc pneumonii permanente, cu probabilitate de revenire. Bronhopneumoniile apar la concentrații cuprinse între 25 — 75 ppm, însă persoana afectată de boală se însușește. Concentrația de 10 — 40 produce enfizem (Cojocaru I., 1995).

Din combinația hidrocarburilor, a radiațiilor ultraviolete și a oxizilor de azot rezultă smogul fotochimic. Acesta atacă ochii prin apariția iritațiilor sau scorbura acută vizuale, iar ozonul irită mucoasa pulmonară producând o serie de efecte în lanț în organismul uman. Aceste efecte pot să apară atât prin expunerea de scurtă durată la cantități mari cât și prin expunerea de lungă durată la cantități reduse.

Metode de măsurare

Metoda de referință pentru măsurarea dioxidului de azot și a oxizilor de azot este cea prevăzută în standardul SR EN 14211 - Calitatea aerului înconjurător. Metoda standardizată pentru măsurarea concentrației de dioxid de azot și monoxid de azot prin chemiluminescență.

Norme

LEGEA nr. 104 din 15 iunie 2011	
Oxizi de azot - NO_x	
Prag de alert	400 ug/m ³ - măsurat timp de 3 ore consecutive, în puncte reprezentative pentru calitatea aerului pentru o suprafață de cel puțin 100 km ² sau pentru o întreaga zonă sau aglomerare
Valori limită	200 ug/m ³ NO ₂ - valoarea limită orară pentru protecția sănătății umane
Nivel critic	40 ug/m ³ NO ₂ - valoarea limită anuală pentru protecția sănătății umane

Modelarea emisiilor de dioxid de azot (NO₂) la nivelul județului Mureș în funcție de proveniența acestora

Conform raportului preliminar privind calitatea aerului înconjurător pentru anul 2015, nu s-au înregistrat depășiri ale valorii limită orare pentru sănătatea umană la acest indicator – respectiv 200 ug/m³ și nici media anuală – 40 ug/m³. Similar și pentru anul 2013.

Captură date – procent în perioada 1 ianuarie – 31 decembrie 2015

	NO₂/NO_x	
	brut	validat
MS-1	44,0	15,6
MS-2	72,9	25,7
MS-3	0	0
MS-4	31,0	0

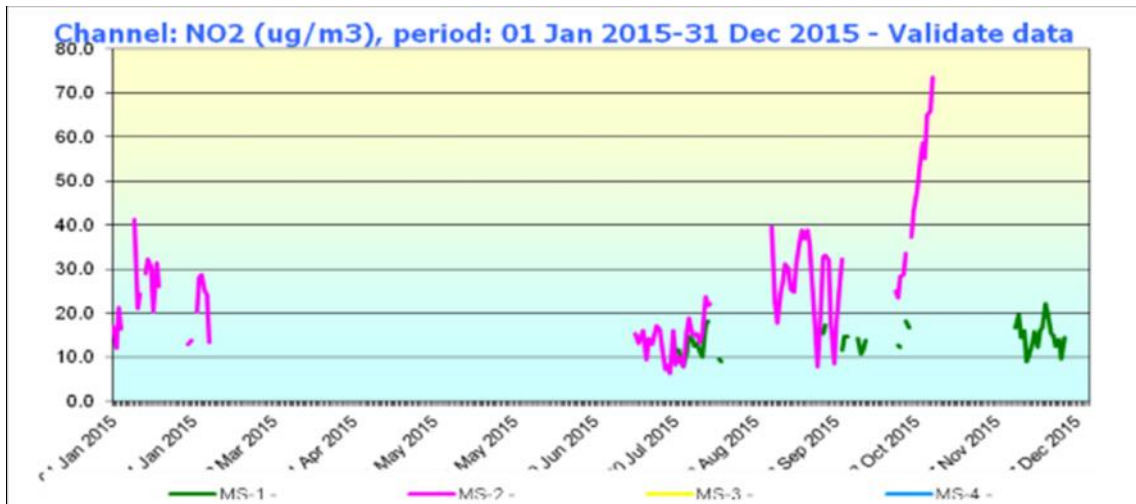


Fig. 38 Variația concentrației dioxidului de azot – medii zilnice <http://apmms.anpm.ro/>

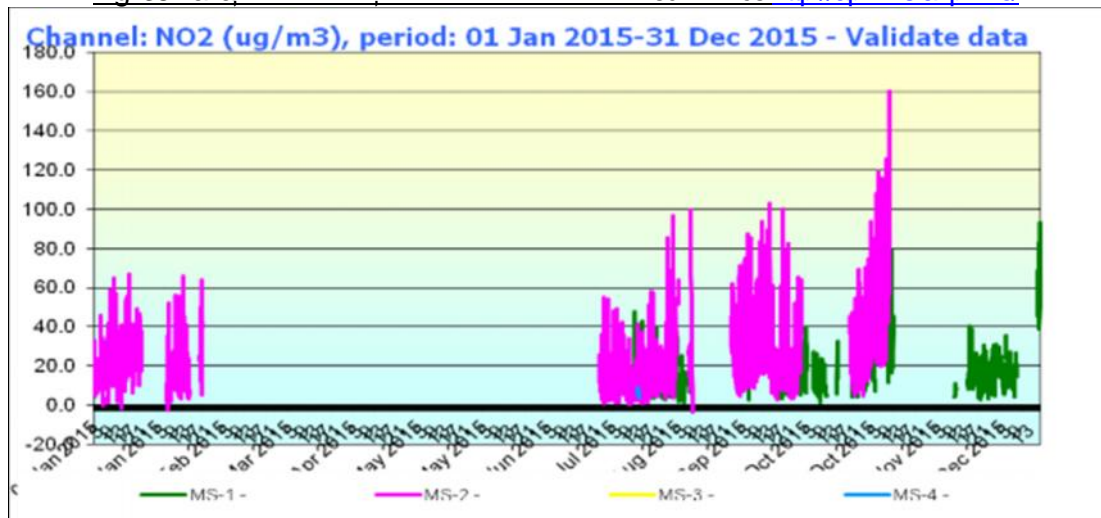


Fig. 39 Variația concentrației dioxidului de azot – medii orare <http://apmms.anpm.ro/>

Pentru anul 2014 captura de date pentru indicatorul NO₂ a fost 0 la toate stațiile din cauza apariției unor defecțiuni la analizoare, defecțiuni care nu au putut fi remediate din cauza lipsei fondurilor.

Transporturi

Pentru a ne contura o imagine amplă asupra impactului transporturilor asupra aerului prin generarea de emisii de NO_x, vom face o scurtă prezentare a parcului auto înmatriculat în Mureș la care se adaugă autovehiculele ce tranzitează județul și transportul feroviar neelectricat.

Conform datelor de la Institutul Național de Statistică – Direcția Județeană de Statistică – Mureș, vehiculele rutiere înmatriculate în circulație la sfârșitul anilor 2010 - 2014 este:

Nr.crt.	Tip	Anul 2010	Anul 2011	Anul 2012	Anul 2013	Anul 2014
1.	Autobuze și microbuze	871	916	987	1005	1024
2.	Autoturisme	107148	107140	112942	118972	124748
3.	Mopeduri	3378	3552	3730	3934	4141

	motociclete					
4.	Autovehicule de marf	14520	15296	15966	17058	18346
5.	Autocamioane	13881	14677	14529	15506	16644
6.	Autotractoare	639	619	1437	1552	1702
7.	Vehicule rutiere pentru scopuri speciale	806	857	946	996	1060
8.	Tractoare	1277	1237	1217	1194	1182

Înmatriculări noi de vehicule rutiere (noi) în intervalul 2010-2014:

Nr.crt.	Tip	Anul 2010	Anul 2011	Anul 2012	Anul 2013	Anul 2014
1.	Autobuze și microbuze	-	8	16	3	19
2.	Autoturisme	1247	863	734	533	576
3.	Mopede și motociclete	34	45	40	29	32
4.	Autocamioane	156	182	151	148	142
5.	Autotractoare	-	-	8	21	18

Înmatriculări noi de vehicule importate de ocazie în intervalul 2010-2014:

Nr.crt.	Tip	Anul 2010	Anul 2011	Anul 2012	Anul 2013	Anul 2014
1.	Autobuze și microbuze	17	25	27	24	19
2.	Autoturisme	9991	4932	7177	7893	7873
3.	Mopede și motociclete	182	161	199	221	207
4.	Autocamioane	557	1113	1315	1277	1385
5.	Autotractoare	-	-	139	138	137

Lungimea cailor ferate în exploatare, pe categorii de linii de cale ferată :

Nr.crt.	Tip	Anul 2014
1.	Electrificat	85
2.	Normale	281
3.	Înguste	1

Combustie (producere energie, industrie)

La nivelul județului Mureș, cea mai mare sursă de emisii de NO_x ce rezultă în urma arderii gazului natural pentru obținerea energiei electrice, este SNGN Romgaz SA – SPEE Iernut nr.1, nr. 4, nr. 5, care conform Deciziei Comisiei Europene din 20.03.2015 și s-a oferit un termen de tranziție până în 30 iunie 2020, când trebuie montate și puse în funcțiune un sistem de reducere selectivă non-catalitică a oxizilor de azot.

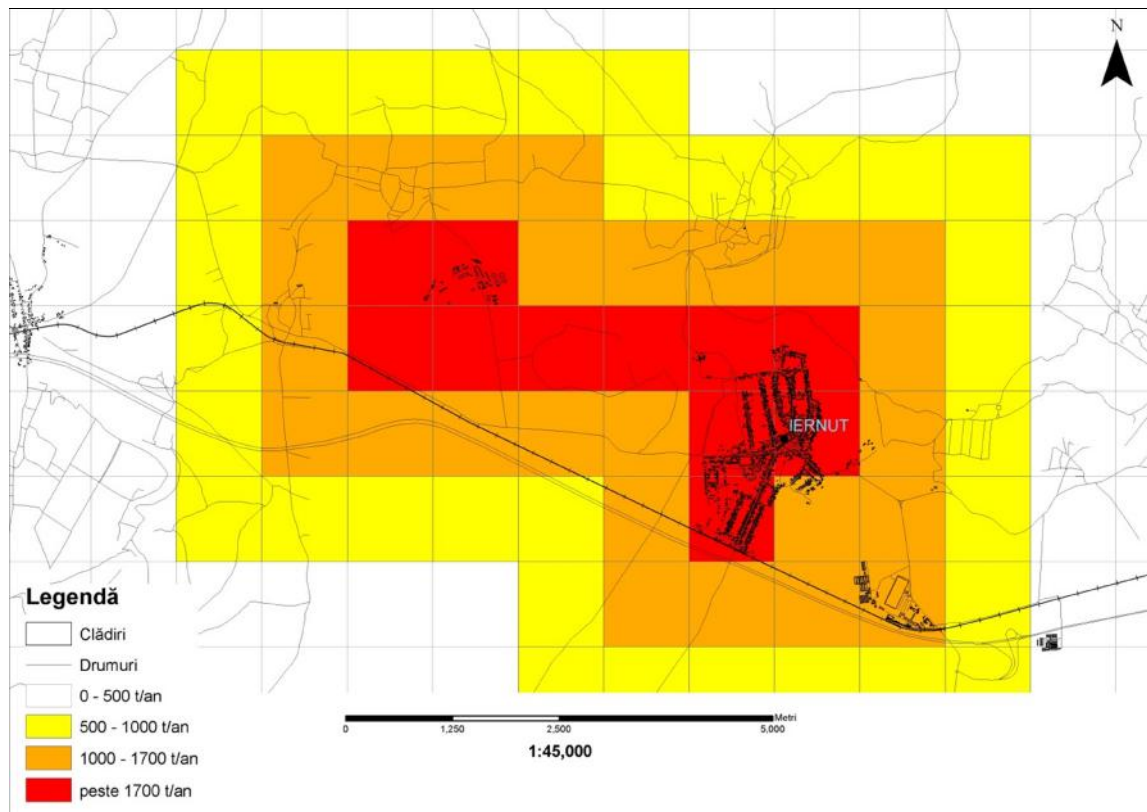


Fig. 40 Distribuția în grilă de calcul rezoluție 1x1km a emisiilor de NO_x provenite din procese industriale de producție.

3.1.4. Dioxid de sulf (SO₂)

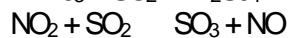
Dioxidul de sulf (SO₂) este un gaz incolor, neinflamabil, cu densitatea de 2,27, are un miros înecător. Acesta este generat de reacția sulfurii cu oxigenul ($S + O_2 \rightarrow SO_2$). Nu arde și nu interferează în arderea. Gazul este toxic, se dizolvă bine în apă, formând acizi sulfurici. Dioxidul de sulf este anhidrida acidului sulfuric H₂SO₃.

În funcție de anumiți factori (concentrație, timp de reținere în atmosferă, radiație, umiditate, temperatură, etc.) dioxidul de sulf se poate oxida la trioxid de sulf. Această reacție este grăbită de anumiți catalizatori: sururi de fier, de mangan și de aluminiu.

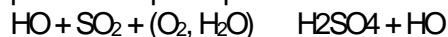
Proprietățile reductoare ale dioxidului de sulf duc la transformarea acestuia sub acțiunea diversilor poluanți. Atunci când oxidantul este un oxid metallic se formează sulfatul metalului respectiv (Surpăeanu Mioara, 2004).



Alte reacții de reducere sunt cele dintre dioxidul de sulf și acidul azotic sau dioxidul de azot.



SO₂ este un precursor al unui acid, care este sursa ploii acide, produs de dioxidul de sulf combinat cu picăturile de ploaie pentru a forma acid sulfuric (H₂SO₄).



De asemenea SO₂ este un precursor al particulelor de sulfuri care afectează bilanțul radiativ al atmosferei și poate genera o răcire globală.

Scăderea emisiilor de dioxid de sulf este posibilă prin instalarea de scrubere (instalație de epurare a gazelor) în zona de colectare a emisiilor. Această instalație este alcătuită dintr-un recipient, unde emisia (gazul) intră în legătură cu o substanță chimică (ex. lapte de var) și se modifică în sulfat solid. Gazul purificat este evacuat în atmosferă, iar partea solidă și lichidă este evacuată și ea după recuperarea sulfatului.

Monitorizarea acestui gaz trebuie corelat cu faptul că există o concentrație maximă admisă în România, pentru valorile medii zilnice de 0,250 mg/m³/24 ore, iar la 30 minute să nu depășească normele admise, 0,75 mg/m³ (750μ/m³).

Distribuția dioxidului de sulf depinde de mai mulți factori, printre care amintim: varietatea formelor de relief, vreme, altitudinea interfeței litologice, proporția suprafețelor cu apă, tipul de vegetație și tipul de emisie.

S-a constatat că aproape jumătate din dioxidul de sulf conținut în particule se depune în circa patru zile pe suprafața terestră după penetrarea aeriană. Cealaltă parte intră în reacție cu apa din aer, contribuind la apariția ploilor acide care, prin procesul de splare, se depozitează pe sol în proporție de 8,5%, iar restul, de circa 40%, rămâne sub formă uscată și devine cea mai periculoasă emisie, deoarece reprezintă un potențial de expunere cu risc ecologic.

În cursul unui an variația emisiilor/imisiilor gazoase de dioxid de sulf pune în evidență faptul că valorile mai mari apar în lunile reci (noiembrie - martie), când se intensifică activitatea centralei termice și a altor surse de încălzire, precum și cea dată de traficul rutier din lunile de vară.

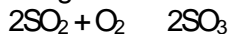
Trioxidul de sulf

Trioxidul de sulf este anhidrida acidului sulfuric, având formula chimică SO₃. Apare sub forma unor cristale aciculare, incolor, foarte higroscopice, având o reacție violentă cu apa. Trioxidul de sulf inspirat are o acțiune iritantă, pentru că în legătură cu mucoasa respiratorie se formează acidul sulfuric, care poate cauza edem pulmonar. Are temperatura de fierbere la 44,8°C, se solidifică la temperatura de 16,8°C, formând o masă albă cristalină, înregistrează punctul de topire la 62,2°C.

Reacționează cu vaporii de apă din atmosferă și duce la formarea acizilor:



În atmosferă acest gaz provine din oxidarea dioxidului de sulf, prin reacții omogene (în faza gazoasă), catalizate omogen și interacții eterogene gaz - solid și gaz - lichid.



Temperatura scăzută favorizează asocierea moleculelor de trioxid de sulf. Acest gaz poate produce arsuri, iar în combinație cu vaporii de apă formează acidul sulfuric.

Analiza trioxidului de sulf se face numai la emisie din cauza prezenței sale, în formă liberă, în aerul atmosferic nu a fost dovedită.

Surse de poluare cu oxizi de sulf

Poluarea cu oxizi de sulf se datorează în principal:

- a. proceselor de combustie a materialelor ce conțin sulf;
- b. proceselor naturale.

Distribuția poluantului funcție de principalele surse de emisie:

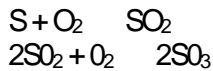
Poluant	Pondere (%)	Surse de emisie
SO ₂	71	Combustie (producere energie, industrie, rafinare petrol).
	14	Transporturi
	13	Surse rezidențiale și terțiare
	2	Alte surse

Emisiile de dioxid de sulf sunt datorate în principal proceselor de ardere a combustibililor fosili.

Industria metalurgică, rafinările de petrol, fabricile de acid sulfuric și procesele de cocsificare a cărbunilor sunt cele mai importante surse de poluare.

Centralele electrice pe cărbune de înaltă pondere mare în poluarea locală cu aceste gaze, urmate de sursele mobile, respectiv, transporturi.

Sulfurile sunt prezente în mulți combustibili (carbune, gaze) iar arderea acestora cauzează oxidarea sulfului în dioxid de sulf:



Folosirea SO₂ (prin arderea sulfului) ca dezinfectant al butoaielor și spălarea lor neîngrijită face ca unele vinuri să conțin H₂SO₃; uneori vinurile sunt decolorate cu SO₂.

SO₂ se mai utilizează ca agent frigorific, ca decolorant și dezinfectant. Lucrătorii din aceste domenii sunt supuși unui spectru larg de acțiuni, simple iritații ale mucoaselor până la efecte genetice.

SO₂, H₂SO₃ și sulfii, întrebuințați la conservarea unor produse alimentare, pot provoca intoxicații și chiar otrăviri.

Mirosul de SO₂ se simte în aer începând de la 2 - 5 mg/m³, în funcție de sensibilitatea persoanei, de la 6 - 13 g/m³ începe iritarea căilor respiratorii, 20 mg/m³ încep să se producă intoxicații, iar de la 1 g/m³ efectele sunt mortale.

O atmosferă bogată în SO₂ a făcut ca pH-ul apei de ploaie să scadă continuu. S-a constatat că 70 % din aciditate este dată de acidul sulfuric și 30 % de azotic (1986).

H₂SO₄ este foarte higroscopic și formează ceață deosebit de toxică.

Trioxidul de sulf SO₃ (anhidrida sulfurică) provine în special de la centralele electrice pe carbuni. O altă sursă reprezintă instalațiile chimice de fabricare a acidului sulfuric.

Nivelul de formare, mai ales al trioxidului de sulf, este în funcție de instalația de combustie.

Concentrația de trioxid de sulf este iarăși însemnată în instalațiile de combustie mici, până și în cazul în care se ard combustibili cu un conținut ridicat de sulf. Concentrația SO₃ se ridică simultan cu creșterea instalației și a temperaturii de ardere.

Sursele naturale de emisie a oxizilor de sulf sunt erupțiile vulcanice, bacteriile, plantele, etc.

Acțiunea asupra sănătății

Dioxidul de sulf este apreciat astăzi ca fiind cea mai dăunătoare substanță chimică din aer. Cea mai însemnată influență are asupra plantelor și mai puțin asupra oamenilor și animalelor.

Dioxidul de sulf în concentrații mari duce la probleme respiratorii severe. Asupra organismului uman, efectele acestor gaze, apar la concentrații de circa 20 μg/m³.

Prin acțiunea iritantă la nivelul căilor respiratorii superioare, se favorizează grefarea unor germeni fie din aer, fie din organismul uman. Aceste iritații, în prima fază, produc salivare puternic, tuse cu expectorații spasmice, dificultăți în respirație, iar în cea de-a doua rinite, faringite, laringite, traheite sau bronhite care se pot croniciza pe fondul unui mediu încărcat cu aceste gaze aparent inofensive.

Morbiditatea crescută a bolilor respiratorii poate fi provocată de oxizii sulfului în mediile poluate. În condițiile în care concentrațiile sunt mari, acestea duc la o creștere a frecvenței bolilor cardiovasculare prin producerea sulfhemoglobinei, sau modificarea spectrului proteinelor sanguine, creșterea globulinelor, scăderea eritrocitelor, leucocitelor, inhibarea proceselor oxidative la nivelul creierului și ficatului.

Efectul toxic al trioxidului de sulf este mai puternic decât al dioxidului de sulf, la aceeași concentrație, însă concentrația SO₃ este mai mică în atmosfera zonelor urbane.

Influența dioxidului de sulf, asupra plantelor, se manifestă diferit, în funcție de concentrație și durata de manifestare a poluantului. Dacă acțiunea pe care o exercită pot să apară pete brune pe frunze sau unele leziuni locale, atunci când concentrația este redusă. În general, frunzele, odată atacate, cad. Dacă efectul este masiv provocă distrugerea esuturilor.

În contact cu sângele, SO₂ formează sulfhemoglobina, care împiedică circuitul normal al oxigenului în organism, dând o colorație roșu-brun sângelui.

Și mușchii sunt foarte sensibili la acțiunea SO₂, deoarece absorb mult și pot fi folosiți ca bioindicatori ai poluării cu SO₂. Cercetările au evidențiat o excelentă corelație între intensitatea poluării cu SO₂ și diminuarea

diversității populațiilor de licheni. Nici un lichen nu rezistă la o concentrație medie anuală în SO_2 superioară lui 35 V.p.b. Aceasta explică raritatea lor în zonele urbane poluate în regiunile unde concentrația de SO_2 a fost superioară lui 27 V.p.b.

Metode de măsurare

Metoda de referință pentru măsurarea dioxidului de sulf este cea prevăzută în standardul SR EN 14212 - Calitatea aerului înconjurător. Metoda standardizată pentru măsurarea concentrației de dioxid de sulf prin fluorescența în ultraviolet.

Norme

LEGEA nr. 104 din 15 iunie 2011 Dioxidul de sulf - SO_2	
Prag de alert	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - în orice timp de 3 ore consecutiv, în puncte reprezentative pentru calitatea aerului pentru o suprafață de cel puțin 100 km^2 sau pentru o întreagă zonă sau aglomerație.
Valori limita	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - valoarea limită orară pentru protecția sănătății umane
Nivel critic	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - valoarea limită zilnică pentru protecția sănătății umane

Modelarea emisiilor de dioxid de sulf (SO_2) la nivelul județului Mureș în funcție de proveniența acestora

Conform raportului preliminar privind calitatea aerului înconjurător pentru anul 2015, nu s-au înregistrat depășiri ale valorii limită orare pentru sănătatea umană la acest indicator – respectiv 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ și nici valorile limită pentru 24 de ore – 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Similar și pentru anii 2013-2014.

Captură date – procent în perioada 1 ianuarie – 31 decembrie 2015

	SO_2	
	brut	validat
MS-1	94,4	54,8
MS-2	0	0
MS-3	0	0
MS-4	71,1	70,5

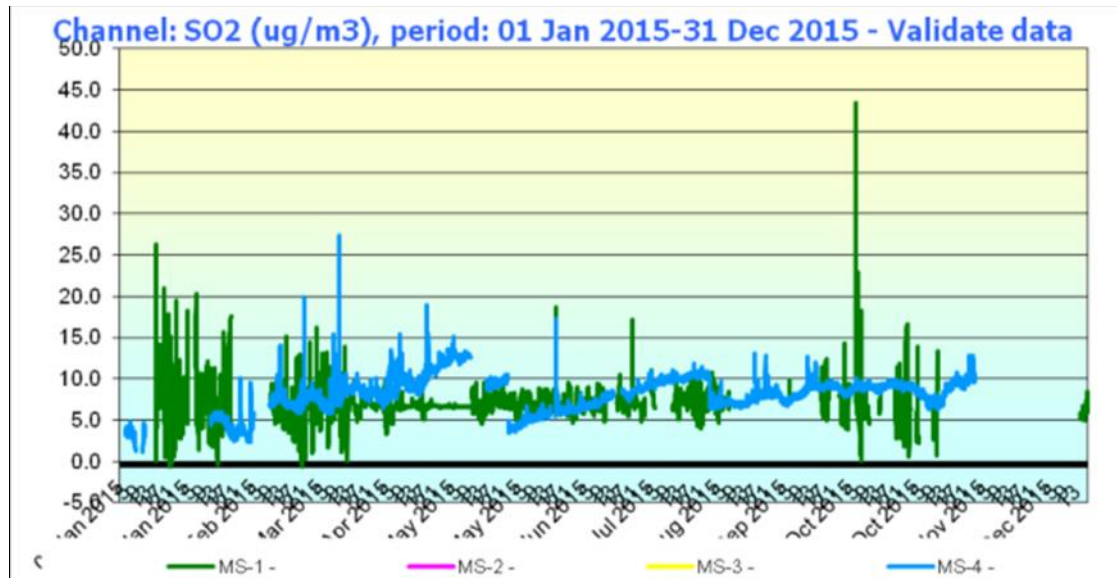


Fig. 41 Variația concentrației dioxidului de sulf – medii orare <http://apmms.anpm.ro/>

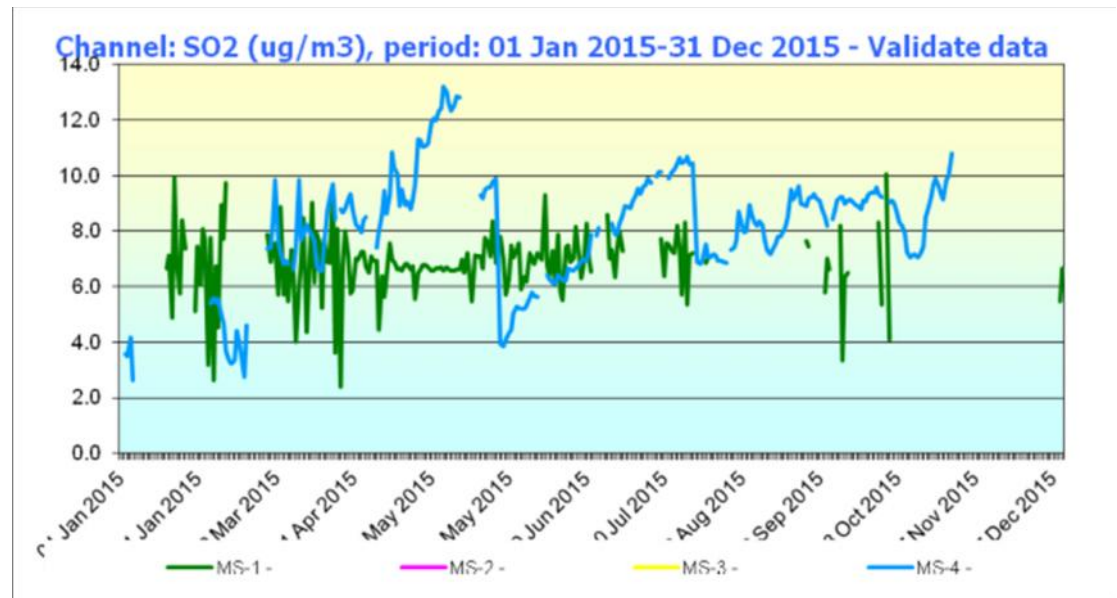


Fig. 42 Variația concentrației dioxidului de sulf – medii zilnice <http://apmms.anpm.ro/>

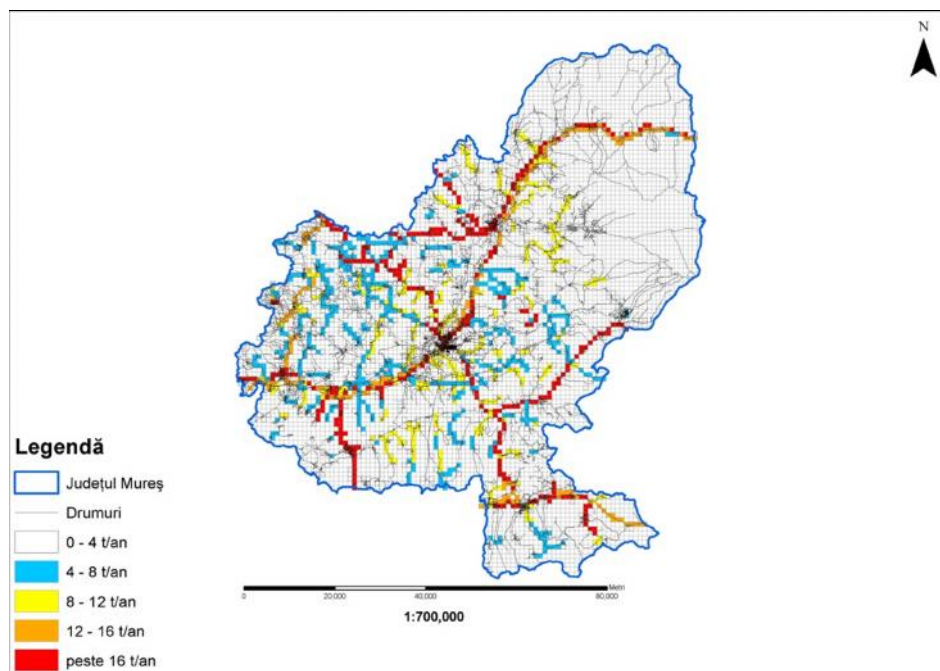


Fig. 43 Distribuția în grilă de calcul rezoluție 1x1km a emisiilor de SO₂ provenite din transporturi.

3.1.5. Monoxid de carbon (CO)

Monoxidul de carbon este un poluant major al aerului urban, emisiile totale ale acestui poluant depășesc suma emisiilor tuturor celorlalți poluanți. Arde ușor cu o flacără albastră dar nu întreprinde arderea. Puțin solubil în apă, este inodor, insipid, incolor, extrem de nociv (omorâtor și dureros), are o densitate mai mică decât a aerului (0.96).

Concentrația lui în diferite zone se datorează faptului că difuzează ușor în atmosferă.

În aerul atmosferic poate intra în reacție cu oxigenul, cu vaporii de apă, cu ozonul, cu radicalul hidroxil, etc.



La o temperatură obișnuită viteza acestei reacții este foarte importantă, ajunge să fie însemnată la o temperatură de circa 500°C iar la temperaturi de peste 1000°C monoxidul de carbon arde.



Această reacție este mai puțin rapidă pentru transformarea monoxidului de carbon în dioxid de carbon, deoarece se desfășoară încet la temperaturi și concentrații obișnuite din atmosferă.



În acest fel monoxidul de carbon se transformă în dioxid de carbon prin intermediul radicalilor OH. Se apreciază că o concentrație a radicalilor hidroxil, în atmosferă, de 10⁻⁹ – 10⁻⁸ ppm ar putea transforma întreaga cantitate de CO în CO₂.

Concentrațiile maxime admise pentru monitorizări de lungă durată, 24 ore, sunt de 2 mg/m³ iar pentru monitorizări de scurtă durată, 30 minute, sunt de 6 mg/m³.

Surse de poluare

Principalele surse generatoare de monoxid de carbon sunt:

- procesele de combustie în surse staționare;
- procesele de combustie în motoarele cu ardere internă;
- diverse procese industriale;

- diferite procese de ardere;

Centralele electrice pe carbune, pe gaze reprezintă principalele surse staționare de poluare cu monoxid de carbon. Acestea înregistrează concentrații diferite în funcție de raportul dintre aer și combustibil. Concentrații mari de monoxid de carbon se înregistrează atunci când raportul dintre aer și combustibil este mic.

Poluant	Pondere (%)	Surse de emisie
CO _x	33	Combustie (producere energie, industrie, rafinare petrol).
	36	Transporturi
	31	Surse rezidențiale și terțiare

Cantitatea emisă este în funcție de:

- nivelul de deteriorare a motorului;
- viteza de deplasare;
- combustibilul întrebuințat.

Din cauza arderilor mai complete, precum și a etanșeității mai bune, autoturismele noi emit prin eșapamentul o cantitate mai mică de CO.

Cu cât viteza de deplasare este mai mică, sub 35 km/h, cu atât emisia de CO înregistrează concentrații mai mari.

Cantitatea emisă de CO variază și în funcție de combustibilul întrebuințat. Astfel, motoarele cu benzină emit o cantitate mai mare de CO decât motoarele diesel.

Principali poluanți evacuați de autoturismele pe benzină, la diferite regimuri de funcționare sunt prezentați în tabelul (în ppm) (după Cojocaru I., 1995):

Modul deplasării / poluant	Ralanti	Croazier	Accelerare	Frânare
Oxizi de carbon	64000	24000	24000	45000
Oxizi de azot	0	400	1700	0
Hydrocarburi	1400	620	810	5700

Printre cele mai importante surse industriale de poluare cu monoxid de carbon se situează: industria petrochimică, industria fierului, industria oțelului, industria celulozei și a hârtiei.

În afara surselor amintite, cantități însemnate de monoxid de carbon: rezultat din diverse surse naturale: erupții vulcanice, descărcări electrice, procese biologice, diverse procese de ardere (incendii de păduri, arderea deșeurilor menajere).

Pe parcursul anului cele mai mari concentrații se produc în anotimpul rece fiind cauzate de intensificarea proceselor de ardere (în urma încălzirii), de umiditatea ridicată a aerului, de lipsa covorului vegetal care asigură echilibrarea raportului O₂/CO. Concentrațiile mari ale CO pot fi înregistrate și în timpul verii datorită lipsei spațiilor verzi.

Cele mai mari concentrații se produc de-a lungul principalelor străzi cu un trafic intens, concentrații mari se produc și între clădirile înalte, cu unghiuri de închidere a circulației aerului și care favorizează evacuarea noxelor numai pe anumite direcții. Astfel, valorile maxime apar dimineața și după amiază în perioadele de vârf ale circulației auto, iar cele mai reduse concentrații de CO apar în timpul nopții.

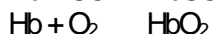
Acțiunea asupra sănătății

Monoxidul de carbon este un poluant asfixiant, o concentrație mai mare de 0,1% în aer începe să fie dăunătoare, după o perioadă mai mare, iar o concentrație de 1% este mortală, după câteva minute. O concentrație

mortal de monoxid de carbon se poate acumula într-un garaj închis atunci când motorul unui automobil funcționează circa 10 minute.

În mod obișnuit hemoglobina din sânge asigură transportul oxigenului de la plămâni la celule și a dioxidului de carbon de la celule la plămâni.

CO prinde în sânge, reacționează cu hemoglobina (Hb) pentru a forma carboxihemoglobina (HbCO), datorită afinității mai mari a monoxidului de carbon pentru hemoglobină decât pentru oxigen.



HbCO blochează funcția globulelor roșii de a transporta O_2 la organe, provocând astfel asfixia.

Concentrația normală de HbCO din sânge este de 0,5%, o parte rezultă din CO produs în corp în urma proceselor metabolice, în timp ce diferența este preluată din aerul atmosferic (Cojocaru I., 1995).

Fumătorii au o concentrație de HbCO de aproximativ 5%, putând ajunge la 15% în timpul fumatului.

Primele semne ale intoxicației cu CO sunt: cefaleea, oboseala, amețelile, greața, insomnia, anorexia. În timp, monoxidul de carbon, poate produce ateroscleroză, tulburări ale memoriei, vederii, atenției etc.

Monoxidul de carbon se poate forma ocazional și la anumite locuri de muncă:

- sudura metalelor prin procedeul oxiacetilenic,
- explozia amestecului de gaze, din minele insuficient ventilate, amestec numit "gazul grizu",
- descompunerea la cald a multor substanțe organice, ca atare, sau în prezența de H_2SO_4 sau încalzite într-un spațiu limitat,
- arderea incompletă a oricărei varietăți de combustibil. În sobe cu funcționare defectuoasă, în timpul incendiilor;

Metode de măsurare

Metoda de referință pentru măsurarea monoxidului de carbon este cea prevăzută în standardul SR EN 14626 - Calitatea aerului înconjurător. Metoda standardizată pentru măsurarea concentrației de monoxid de carbon prin spectroscopie în infraroșu nedispersiv.

Norme

LEGEA nr. 104 din 15 iunie 2011 Monoxid de carbon CO	
Valori limita	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - valoarea limită pentru protecția sănătății umane (valoarea maximă zilnică a mediilor pe 8 ore)

Modelarea emisiilor de monoxid de carbon la nivelul județului Mureș în funcție de proveniența acestora

Conform raportului preliminar privind calitatea aerului înconjurător pentru anul 2015, nu s-au înregistrat depășiri ale valorii limită zilnice pentru sănătatea umană la acest indicator – respectiv 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Similar și pentru anii 2013-2014.

Captură date – procent în perioada 1 ianuarie – 31 decembrie 2015

	CO	
	brut	validat
MS-1	26,8	9,8
MS-2	68,7	63,4
MS-3	0	0
MS-4	20,0	20,0

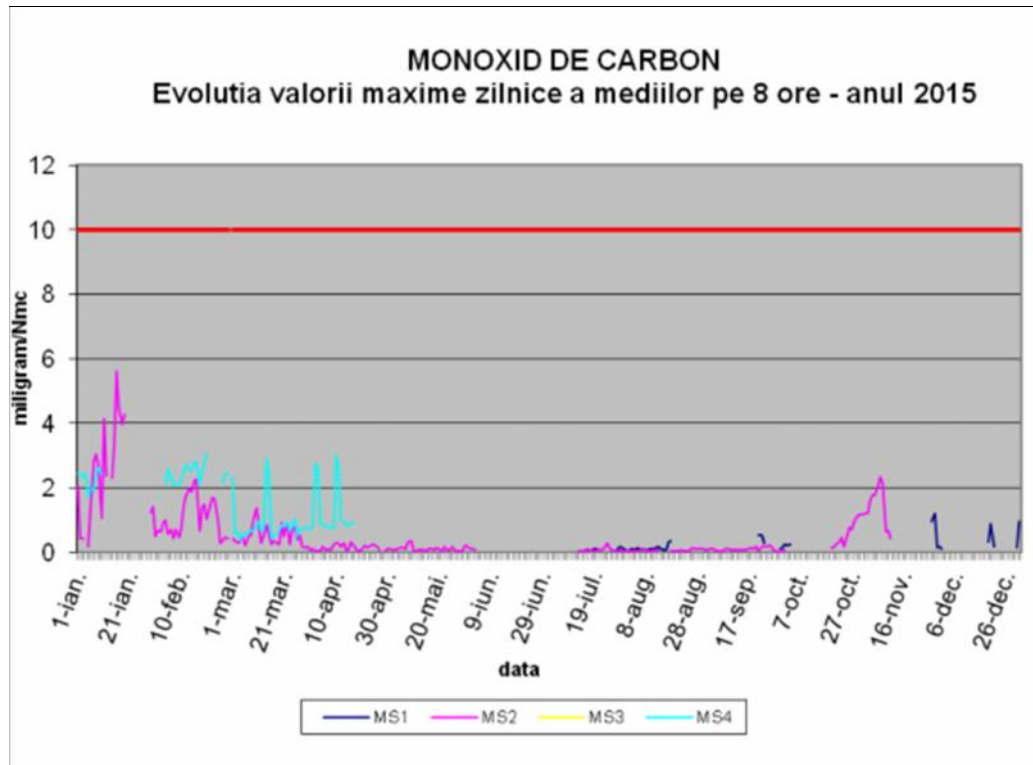


Fig. 44 Variația concentrației dioxidului de sulf – medii zilnice <http://apmms.anpm.ro/>

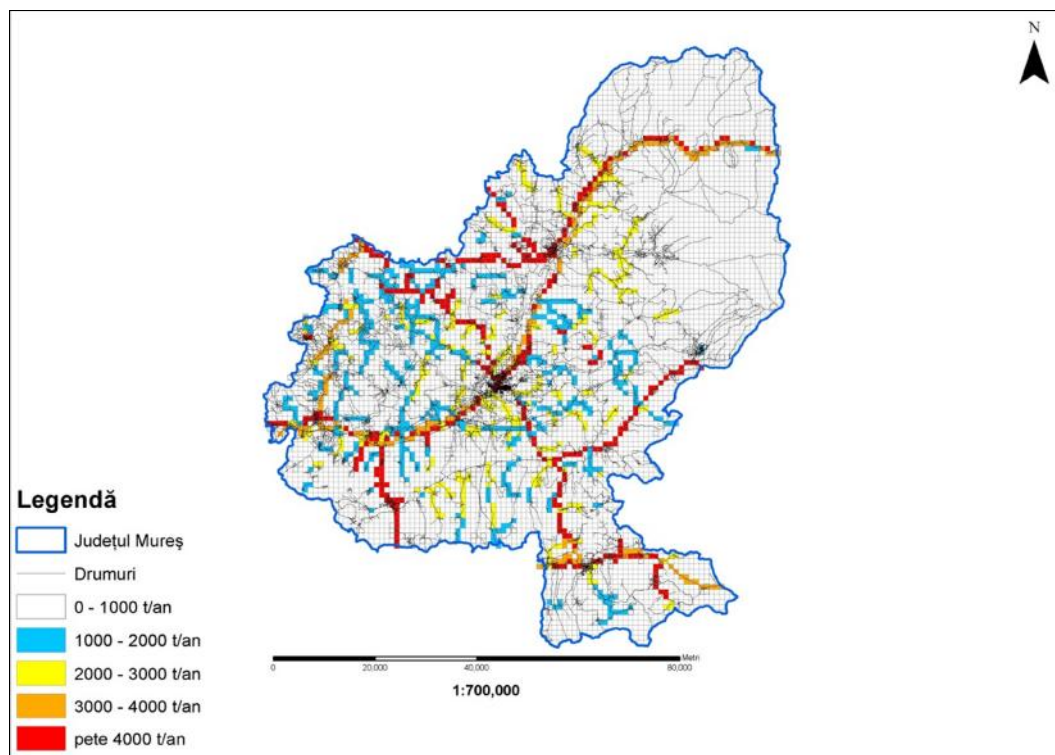


Fig. 45 Distribuția în grilă de calcul rezoluție 1x1km a emisiilor de CO provenite din transporturi.

3.1.6. Benzen (C₆H₆)

În categoria poluanților chimici organici sunt cuprinse: hidrocarburile (metanul, benzenul, toluenul, xilenii, benzina) și derivații lor (aldehide, alcoolul etilic, fenolul, tricloretilen, tetracloretilen).

Hidrocarburile conțin în moleculă atomi de hidrogen și carbon, pe când derivații lor au în compoziție și alți atomi de halogen, azot, sulf, fosfor sau magneziu, sodiu, fier, zinc etc.

Hidrocarburile prezente în atmosferă provin din:

- instalațiile de extracție, prelucrare și rafinare a petrolului;
- depozitele de carburanți;
- unități chimice;
- arderile industriale;
- descompunerile biologice aerobe;
- emansiunile mlaștinilor.

În ceea ce privește benzenul:

- 90% din cantitatea de benzen în aerul ambiental provine din traficul rutier.
- 10% provine din evaporarea combustibilului la stocarea și distribuția acestuia.

Pe lângă gazele de ardere, din cauza combustiei tuturor combustibililor, se obțin și hidrocarburi nesaturate (care se polimerizează) și hidrocarburi policiclice aromatice (PAH). Acestea se acumulează în gudroane și funingine.

Hidrocarburile policiclice aromatice (PAH) sunt produse chimice, care se găsesc în stare gazoasă sau sub formă de particule. Proprietățile lor sunt în concordanță cu totalul ciclurilor condensate, fiind alcătuite din două sau mai multe cicluri benzenice condensate.

Există diverse clasificări însă se apreciază că următorii 16 compuși sunt considerați poluanți prioritari: naftalina, acenaftena, acenaftilena, antracen, fluoren, fenantren, fluoranten, piren, benzo[*a*]antracen, crizen, benzo[*b*]fluoranten, benzo[*k*]fluoranten, benzo[*a*]piren, dibenzo[*ah*]antracen, indeno[1,2,3-*cd*]piren, benzo[*ghi*]perilen.

Hidrocarburile policiclice aromatice se formează prin arderea incompletă a materiilor organice din diverse ramuri industriale și constituie o serioasă amenințare a mediului înconjurător. Ating concentrații remarcabile în stațiile de preparare a gudroanelor asfaltice sau rafinăriile petroliere și chiar în mijloacele de locomotivă cu combustie internă.

Printre cele mai toxice hidrocarburi, cu acțiune cancerigenă, se numără: benzo[*a*]piren, benzo[*a*]antracen, dibenzo[*ah*]antracen.

În aerul atmosferic din centrele urbane concentrația PAH este de 0,006 ppm.

Metanul

Metanul (CH₄) este o hidrocarbură saturată, componentul principal al gazelor naturale. În troposferă, înregistrează o concentrație medie de 1,4 ppm, descrește odată cu altitudinea, ajungând la valori de circa 0,25 ppm la înălțimea de 50 km.

Rezultă atât din surse naturale cât și antropogene. Pe cale naturală metanul este produs prin fermentarea resturilor vegetale sau animale mai ales pe fundul baltelor. În mediul marin sursa majoră o reprezintă sedimentele.

Metanul poate fi produs și în timpul procesului de creștere a plantei de orez.

Principalele surse antropogene sunt: pierderea metanului din zăcăminte, gazele din procesele de ardere, fermentația la animalele domestice. Conținutul de metan rezultat din arderea combustibilului fosil reprezintă circa 20% din cantitatea totală care există în atmosferă.

Metanul este un gaz incolor, inodor, mai ușor decât aerul. Este foarte puțin solubil în apă (sub 1%), dar solubil în alcool și eter. Arde cu flăcări puștinoase, cu degajare mare de căldură.

Acesta are o comportare deosebit față de celelalte hidrocarburi, datorită faptului că legătura covalentă existentă în moleculă este foarte stabilă, iar acest fapt influențează comportamentul său chimic. Prin arderea

complet a metanului cu cantități insuficiente de aer, în instalații speciale, se obține „negrul de fum” o sursă importantă pentru sintezele chimice (în special cele pentru fabricarea cauciucului).

Cea mai mare parte a metanului atmosferic participă la diverse reacții chimice. Prin arderea completă a metanului se obține dioxid de carbon, apă și o cantitate mare de căldură.

Prin arderea incompletă a metanului se obține negrul de fum care se utilizează în industria cauciucurilor, la obținerea lacurilor și a emailurilor negre, a cernelurilor tipografice, la obținerea grafitului de mare puritate.

Aldehidele

Aldehidele sunt compuși toxici și iritanți, eliminați în natură de rafinările de petrol, combustia motoarelor autovehiculelor, de arderea gunoaielor menajere.

Aldehidele poluează aerul acelor regiuni ca și hidrocarburile, prin căror oxidare iau naștere.

Aerul din marile centre urbane, cu artere de trafic intens circulate, conține în medie 1 mg/m³ echivalent în formaldehid.

Cea mai simplă aldehydă este formaldehida, formată prin oxidarea metanului. Denumirea de aldehydă este dată de combinarea cuvintelor alcool dehidrogenat.

Aldehydă formică (formaldehidă) este un bun dezinfectant și conservant. Folosită ca dezinfectant, sub formă de soluție apoasă 35—40%, pentru a menține și a împiedica sau întârzia putrefacția cadavrelor. Se evaporă ușor, din această cauză personalul care lucrează cu aceste substanțe sunt expuși la intoxicații, cu efecte paralizante asupra sistemului nervos central. Într-o reacție cu grupurile NH₂ din proteine, pe care le încheagă, ducând la oprirea circulației sanguine, formând cangrene.

Aldehidele sunt substanțe organice care conțin grupuri carbonil îndeplinind funcțiuni aldehydice. Se exprimă chimic sub forma de R-CHO. Aldehidele formate din hidrocarburi poartă denumirea acidului pe care acestea îl formează prin oxidare (aldehyda formică sau formaldehidă, aldehyda acetică sau acetaldehydă, etc.), iar monoglucidele aldehydice se numesc aldoze.

Multe aldehide sunt volatile, intrând în compoziția uleiurilor eterice, unele aldehide sunt toxice pentru om, așa cum este acroleina (aldehyda jalică).

Aldehidele cu un număr mic de atomi de carbon (până la 5) sunt substanțe solubile în apă. Cu excepția aldehydei formice care este un gaz, aldehidele hidrocarbonate sunt lichide. Aldozele sunt substanțe solide și cristaline.

Din punct de vedere chimic, aldehidele sunt substanțe foarte reactive, dând reacții de adăiere, substituție, condensare, polimerizare, oxidare, reducere, etc.

Din punct de vedere chimic, aldehidele se clasifică după mai multe criterii.

- După natura radicalului (R):
 - aldehyde al căror radical este o hidrocarbură (conține doar C și H);
 - aldehyde al căror radical conține C, H și O (aldoze).
- După tipul catenei radicalului:
 - radicalii ai aldehydelor cu catenă liniară;
 - saturat (aldehyda glicerică);
 - nesaturat (aldehyda acrilică);
 - radicali ciclici sau aromatici (aldehyda benzoică).

Fenolii

Se găsește atât în stare naturală în masa vegetală cât și în stare artificială.

Fenolul este un compus organic derivat din benzen la care s-a substituit o grupare hidroxilică, de aceea are un caracter ușor acid. El are punctul de topire de circa 41°C și punctul de fierbere de 182°C. La temperatura camerei apare sub formă de cristale incolore care prin oxidare sau impurități pot avea o culoare roz până la roșu brun.

Fenolul are formula moleculară C_6H_5OH , este o substanță solidă și are un miros puternic și neplăcut. Este solubil în apă, dar solubil în alcool și eter, este întrebuințat la fabricarea maselor plastice, a coloranților și în medicină.

Fenolii se găsesc în cantitate mare în gudroanele carbonurilor de pământ, din care se separă prin distilare, sau se pot obține prin sinteză.

Ațiunea asupra sănătății

Fenolul este un toxic protoplasmatic, care pătrunde în interiorul celulei, prin solubilizarea lipidelor. Acționează asupra sistemului nervos central cauzând scăderea temperaturii organismului sub limitele normale și paralizia centrului vasomotor.

La contactul cu pielea exercită o acțiune caustică, producând leziuni grave, albicioase și dureroase. Gravitatea leziunilor este în funcție de concentrația soluției, timpul de contact și dimensiunea zonei de expunere. Soluțiile diluate provoacă dermatite severe, mai ales la contact repetat.

Pătrunderea accidentală în ochi a fenolului, sau a soluțiilor concentrate, provoacă o iritație severă, care poate duce la distrugerea corneei.

Inhalarea sub formă de vapori, în doze mici și de lungă durată, duce la iritarea căilor respiratorii și determină scleroza vaselor sanguine.

În caz de ingestie, produce efecte caustice asupra sistemului digestiv, tulburări neurologice, cardiovasculare, renale, hepatice. O doză de 10 g fenol este letală pentru om.

S-au adevărat că fiind cancerigene; se concentrează pe gudroane și funingine.

Benzenul și omologii săi (toluen, xilen, trimetil benzen) produc intoxicații benzenice. Intoxicațiile se pot constata la locurile de muncă, unde sunt utilizați ca: dizolvanți ai cauciucului, în industria adezivilor, vopselelor, a obiectelor de încălzire și îmbrăcăminte impermeabilă, în sinteza coloranților.

Acțiunea toxicologică se manifestă asupra măduvei osoase, cu modificări în formula sanguină.

Hydrocarburile policiclice aromatice (H.P.A.) sunt cele mai toxice hidrocarburi. Cel mai toxic dintre ele este 3,4-benzopirenul și alți derivați: enzantracen, dibenzantracen, benzofenantren, benzopiren etc. În atmosfera urbană concentrația de H.P.A. este de 0,006 p.p.m.

Hydrocarburile aromatice polinucleare sunt frecvent adsorbite pe praful atmosferic. Pot difuza prin piele în organism, să combine cu proteinele, desfacându-le funcția disulfurică, legându-se de ea prin legături mai tari decât cele inițiale din proteină.

S-a stabilit statistic că cel puțin 150.000 de oameni mor anual de cancer pulmonar sau epitelial, produs de H.P.A.

Metode de măsurare

Metoda de referință pentru măsurarea benzenului este cea prevăzută în standardul SR EN 14662 - Calitatea aerului înconjurător. Metoda standardizată pentru măsurarea concentrației de benzen - prafuri 1, 2 și 3.

Norme

LEGEA nr. 104 din 15 iunie 2011 Benzen - C_6H_6	
Valori limită	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - valoarea limită anuală pentru protecția sănătății umane

Modelarea emisiilor de Benzen - C_6H_6 la nivelul județului Mureș în funcție de proveniența acestora

Conform raportului preliminar privind calitatea aerului înconjurător pentru anul 2015, analizoarele nu au funcționat din motive tehnice pentru acest compus. În anii 2013-2014 nu s-au înregistrat depășiri ale valorii limită admise conform Legii 104/2011 de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (perioada de mediere de un an).

Captur date – procent în perioada 1 ianuarie – 31 decembrie 2013

	C₆H₆	
	brut	validat
MS-1	32,8	32,8
MS-2	-	-
MS-3	-	-
MS-4	0	0

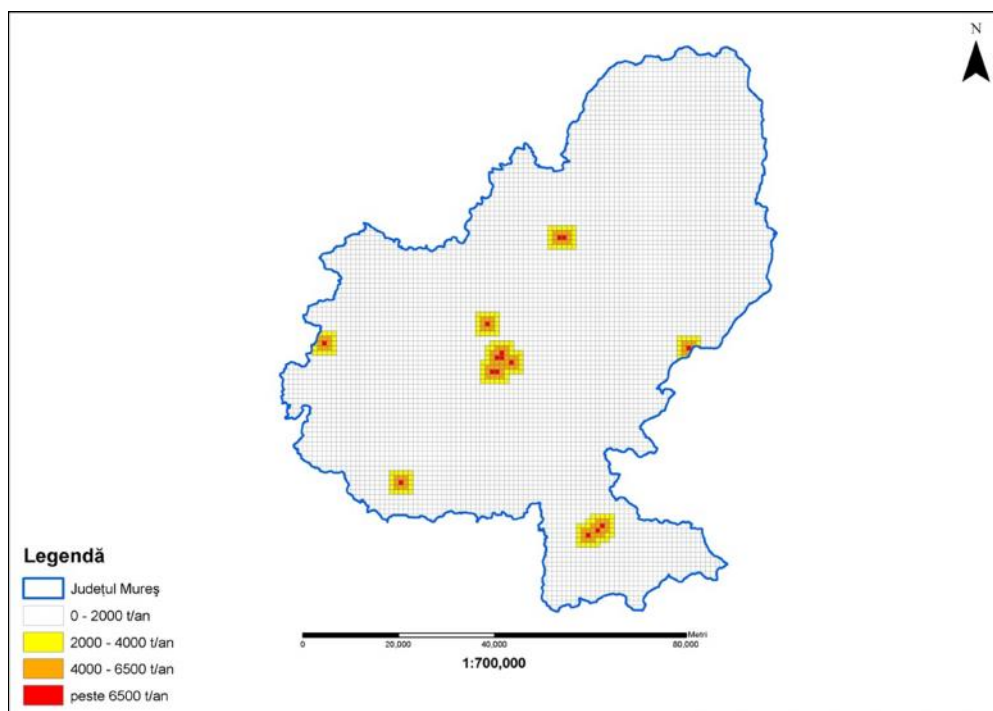


Fig. 46 Distribuția în grilă de calcul rezoluție 1x1km a emisiilor COV provenite de la instalații.

3.1.7. Plumb și alte metale toxice Pb, As, Cd, Ni

Plumbul (Pb)

Proprietăți

Element chimic metalic, moale și greu, maleabil, de culoare cenușie-albăstrui, lucios în momentul obinerii sau când este achiat sau pilit proaspăt. Plumbul în stare pură (plumb moale) este rezistent la agenți chimici.

Datorită densității ridicate (11,34 g/cm³), plumbul este utilizat la protecția împotriva radiației ionizante, la fabricarea de greutăți cu volum mic dar cu mase mari. Oxizii de plumb (miniu, litarg) se utilizează la fabricarea vopselelor protectoare și a chiturilor de miniu și de litarg.

Plumbul se întrebuintează la fabricarea evurilor de canalizare și a tablelor pentru captarea unor aparate în industria chimică, la confecționarea plăcilor de acumulare, a grundurilor anticorozive pe bază de miniu (Pb₃O₄), în industria construcțiilor de mașini și aditivi, pentru creșterea cifrei octanice a benzinei.

De asemenea, plumbul se utilizează la fabricarea acumulatorilor pentru autoturisme. În trecut, plumbul era folosit la tuburi pentru alimentarea cu apă potabilă, lucru grav, datorită toxicității sale ridicate. Sărurile

de plumb nu se prea utilizează, acetatul utilizându-se în laboratoarele de microbiologie la fabricarea unor medii de cultur (geloz cu plumb).

Surse de poluare

Plumbul este metalul cel mai întâlnit, sub formă de particule, în atmosfera marilor centre urbane. Prezența este cauzată mai ales de traficul urban, prin folosirea de benzine etilate cu sururi organice ale plumbului (tetraetilul/etilul de plumb).

Principalele surse care duc la poluarea aerului cu plumb sunt:

- extragerea plumbului din minereuri;
- centralele termoelectrice și alte unități care includ instalații de combustie a materialelor solide și lichide;
- traficul rutier, prin gazele de escape;
- benzina, prin volatilizare, datorită manevrării;
- fabricarea de vopsele, glazuri, lacuri, emailuri, pe baza de plumb;
- substanțe chimice folosite pentru combaterea insectelor;
- industria ceramicii, porțelanului și teracotei pe bază de plumb;
- industria maselor plastice unde se utilizează stearat de plumb;
- fabricarea cristalului.

Pb ajunge în depozitele solide de la:

- depozite metalice;
- baterii și acumulatori;
- cauciucuri (PbO);
- pigmenții ai vopselelor, emailurilor și maselor plastice;
- hârtie și carton.

Concentrația de Pb din depozitele menajere poate varia între 100 și 700 g/t cu o medie de 268-320 g/ton.

Concentrația medie în Pb, a unui ulei uzat de motor, este estimat la 13,9 kg/ton.

Plumbul în stare pură se găsește rar în natură. Acesta se întâlnește în minereurile care cuprind cupru, zinc și argint și este extras împreună cu aceste metale. Cea mai mare parte a concentrației de plumb care se află în aerul atmosferic provine din activități antropice. Cea mai însemnată sursă de poluare a aerului atmosferic cu plumb este traficul rutier, prin emisiile autovehiculelor care utilizează benzină cu tetraetil de plumb (din cauza însușirilor sale antidetonante) și prin uzura anvelopelor. Proporția impurității atmosferice, prin emisiile gazelor de escape, depinde, mai ales, de intensitatea traficului rutier și de proporția autoturismelor care folosesc acest carburant. În zonele urbane, circa 97% din totalul emansiilor care cuprind plumb sunt produse de traficul rutier. Aproximativ 70 - 80% din cantitatea de plumb, conținută de benzină, este evacuată în atmosferă sub formă de particule, diferența se acumulează la motor. O parte din degajare în atmosferă, prin gazele de escape între 20 - 30 μg Pb, la un consum de 10 l benzină cu 0,5 g tetraetil de plumb la litru.

O concentrație însemnată de plumb ajunge în aerul atmosferic și în timpul proceselor de extracție și prelucrare a plumbului.

Gradul de poluare, al atmosferei, înregistrează concentrații mai ridicate în marile centre urbane, respectiv 2-10 μg/m³ și mai mici în zonele rurale, 0,1 μg/m³. În timpul anului concentrațiile mai mari se produc în anotimpul rece și mai mici în anotimpul cald.

Acțiunea asupra sănătății

Efectele toxice ale plumbului debutează chiar de la concentrații mici. Intoxicația poartă denumirea de saturnism.

Se absoarbe în proporție de 40 - 50% din aerul respirat în plămâni. La nivelul tubului digestiv este absorbit în proporție de circa 3 - 10%, din apă și alimente. O importantă cantitate de plumb este eliminată, în mod normal, din organism, prin transpirație, urină și materii fecale.

La concentrații mari de peste 80 mg Pb/100 ml în sânge apar tulburări în sistemul de formare a sângelui prin alterarea sintezei hemoglobinei și micșorarea perioadei de supraviețuire a globulelor roșii.

Plumbul poate afecta unele organe interne: rinichi, ficat, poate produce osteoporoză și probleme de reproducere, etc. Afectează creierul și sistemul nervos: expunerea excesivă duce la stări gripale, retardare mentală, probleme de memorie, tulburări comportamentale, indispoziții. La fete și la copiii mici, chiar concentrații reduse de plumb determină un IQ redus și dificultăți la învățat. Expunerea la plumb provoacă o presiune sanguină mai crescută, se extind afecțiunile inimii (mai ales la bărbat), se produc anemii.

Cea mai însemnată influență a plumbului în organism este perturbarea legării fierului în scheletul porfirinic, ce cauzează o anemie pronunțată. Sunt cauzate dereglări în sistemul de formare a sângelui, prin alterarea sintezei hemoglobinei și a duratei de supraviețuire a globulelor roșii.

Efectul biochimic constă în inhibarea activității eritrocitelor și creșterea cantității de plumb în sânge.

Intoxicarea cronică (saturnismul) cu plumb cauzează avorturi, mortalitate infantilă, predispoziție la tuberculoză, atacarea nervilor motorii ai terminațiilor, care se reflectă în deteriorarea conductivității impulsurilor nervoase.

Sursele de intoxicare cu plumb pot fi benzina, alimentele și băuturile, care se depozitează în vase, în compoziția corozivă a plumbului sau vopsele, ce includ plumb.

Pentru evitarea poluării cu plumb, există stații de alimentare a autovehiculelor cu benzină fără plumb. Ca să se prevină intoxicarea provenită din plante contaminate, se recomandă să nu se cultive plante la care se consumă frunzele și cele care rețin pulberi pe fructe (caise) precum și plante furajere, decât la distanța de cel puțin 100 m de arterele intens circulate.

Mai mulți cercetători au studiat repartiția plumbului în straturile de zăpadă acumulate, de mai multe mii de ani, în Groenlanda.

De când omul a început să utilizeze acest metal din jurul anului 2500 î.e.n. în gheața din Groenlanda s-a constatat o creștere de concentrație din 1750 e.n., ca după 1950 să se accentueze puternic poluarea cu Pb, o dată cu introducerea în benzină, ca antidetonant, a tetraetilului plumbului, după 1999 se constată o scădere a concentrației de Pb, datorită, probabil, preocupărilor la îmbunătățirea combustiei benzinei. S-a estimat că fiecare automobil, trimite în atmosferă 1 kg de plumb pe an, sub formă de aerosoli nesedimentabili.

Plumbul, ca și alte elemente, urmărește un ciclu biogeochimic, estimat la 37 000 tone aportul anual de Pb în oceane, o dată cu apele curgătoare continentale.

Arsenul (As)

Proprietăți

Arsenul este un metaloid cristalizat, care are simbolul As și numărul atomic 33. Are densitatea de 5,72 g/cm³. Compușii arsenului sunt foarte otrăvitori.

În stare pură arsenul nu se întâlnește decât extrem de rar, ca buci compacte de culoare cenușie închisă.

Principalele minerale de arsen sunt cele două sulfuri: realgarul, As₄S₄, și auripigmentul, As₂S₃.

Realgarul este foarte instabil și se descompune în prezența razelor ultraviolete. Mineralul este parțial solubil în acizi și baze, dând naștere la gaze toxice cu miros de usturoi.

Sulfurile de arsen însoțesc adesea blenda și pirita.

Arsenul arde ușor cu flăcăr albastră, formând arsenicul (As₂O₃). Arsenicul este o otrăv foarte puternică, se prezintă ca o pulbere fină de culoare albă cu miros specific de usturoi. Arsenic este o denumire întâlnită desigur pentru trioxidul de arsen (As₂O₃) sau anhidrida arsenică, popular se numește și oricioaică.

Compușii arsenului au numeroase aplicații industriale:

- industria chimică, ca materie primă pentru fabricarea pesticidelor pe bază de arsen (arsenit de sodiu, arsenat de sodiu, cacodilat de sodiu) - folosite pentru prezervarea lemnului, conservarea lânii, etc.; la fabricarea coloranților (verde de Paris, foarte toxic);
- industria farmaceutică, ca materie primă pentru fabricarea unor produse farmaceutice;
- industria sticlei;

- industria electronică, datorită proprietăților semiconductoare și fotoconductoare, similare siliciului și germaniului;
 - industria metalurgică.
- În aerul din zonele protejate, concentrația maximă admisă a arsenului, la probele medii zilnice este de 0,003 mg/m³.

Surse de poluare

Sursele de contaminare cu arsen sunt foarte numeroase, acestea putând fi clasificate, în funcție de originea contaminanților anorganici de arsen, în următoarele categorii: surse naturale, minereurile care conțin As erupții vulcanice, apa subterană (mai ales lângă zone cu activitate geotermală).

Cele mai importante surse de poluare sunt reprezentate de procesele metalurgice, arderea combustibililor fosili, industria extractivă și procesarea deeurilor miniere, procesele industriale de fabricare și manipulare a substanțelor chimice, industria materialelor de construcții poluează cu pulberi în suspensie.

Datorită folosirii, în agricultură, a pesticidelor, produsele pot fi poluate cu aceste substanțe toxice. Folosite cu măsură acestea nu prezintă pericol, însă folosite în cantități mari duc la intoxicații. Arsenul se află în sol în concentrații de 0,1 - 20 ppm, iar în solurile impurificate poate ajunge până la 8000 ppm.

Se apreciază că cea mai mare poluare cu arsen se produce în industria metalurgică a plumbului, cuprului și aurului, datorită faptului că minereurile acestora conțin peste 3% As.

Acțiunea asupra sănătății

În urma răspândirii arsenului de către curenții de aer, acesta poate ajunge la distanțe mari de sursă. Prin inhalare atât animalele cât și oamenii sunt expuși direct, iar prin consumul de apă și alimente poluate, acestea sunt expuse indirect.

Arsenul se găsește în mod normal în organismul uman, animal, precum și în esutul vegetal. În urina unei persoane sănătoase se găsește 0,01 mg As/1l urină. În cantitate mare arsenul și compușii săi sunt toxici.

În mediul profesional, absorbția are loc pe cale respiratorie prin inhalare de pulberi de compuși anorganici ai arsenului.

În mediul extraprofesional, intoxicația cu arsen poate avea loc pe cale digestivă prin consumarea de apă contaminată cu compuși anorganici ai arsenului din surse naturale.

Arsenul este absorbit cu ușurință pe cale intestinală și este eliminat din organism în principal prin urină, piele, păr și unghii.

Expunerea acută prin ingerare de compuși arsenici sau inhalarea de arsini determină simptome gastrointestinale severe (hemoragice), greață, vomă, diaree, icter, insuficiență renală și colaps, poate provoca decesul.

Intoxicația cronică cu arseniu este dificil de diagnosticat. Pot să apară dureri abdominale, diaree, pigmentarea pielii, herpes, îmbolnăvirea ficatului, a rinichilor, neuropatii periferice, encefalopatie. Expunerea cronică prin inhalare, în cazul muncitorilor care lucrează în topitorii, a fost asociată cu un risc crescut de cancer pulmonar.

Doza letală de arsen, pentru un adult, este de 0,2 - 0,3 g.

Trioxidul de arsen (As_2O_3) are un gust dulceag, neplăcut, iar cantitatea care provoacă moartea, prin ingerare, este de 70 - 180 mg.

Concentrația maximă admisă a hidrogenului arseniat (arsina AsH_3) în aerul încăperilor de la locul de muncă este de 0,3 mg/m³.

Cadmium (Cd)

Cadmium este un metal greu, toxic, de culoare alb-argintie, are punctul de fierbere la 765,0°C, punctul de topire este de 320,9°C și densitatea de 8.65 g/cm³.

Se obține din metalurgia minereurilor de metale neferoase, mai ales din Zn, Cu și Pb.

În prezența cationului se combină cu halogenii, sulfurii și cu oxigenul. În acizii slabi se dizolvă încet.

Cadmiumul este întâlnit în depozitele din domeniile:

- baterii și acumulatori, Ni - Cd;
- acoperiri electrolitice ale metalelor;
- celule fotoelectrice, rezistențe electrice, lampi cu vapori de cadmiu;
- aliaje pentru sudură;
- pigmenți ai vopselelor, emailurilor și maselor plastice;
- moderatori de neutroni în industria atomică;
- reziduul de la îngrășămintele fosfatice;
- uleiuri uzate;
- în molimurile stațiilor de epurare a apei, etc.

Concentrația în Cd din deșeurile brute este cuprinsă între 0,3 și 6,0 g/ton, cu o medie de 3,3 g/ton, după unele studii nemțesti, și între 3,0 și 5,0 g/ton, după studii franceze.

Conținutul de Cd din combustibilul de substituție:

Tipul de deșeu	Conținutul în Cd (g/t)
Deșeu urban compactat	8,2
Pneuri uzate	5-10
Praf de carbune	4.4
Ulei uzat	4.0
Cocs de petrol	0,1-0.3
Motorin	0.012

Poluarea aerului atmosferic cu cadmiu se datorează emisiilor rezultate de la instalațiile care extrag, prelucresc sau utilizează metalul în numeroase scopuri: obținerea coloranților, fabricarea maselor plastice, a pesticidelor, acoperiri metalice, prepararea aliajelor, acumulatori, sudarea argintului. Pentru că se evaporă ușor, vaporii de cadmiu ajung în aerul atmosferic, ducând la impurificarea acestuia. Răspândirea poluantului se realizează prin intermediul precipitațiilor, curenților de aer, apelor de suprafață, deversării de ape industriale, ca urmare a fertilizării excesive a solului.

Considerat unul dintre cele mai toxice metale grele, pătruns în organism dereglează metabolismul proteic, lipidic și mineral.

Intoxicația acută se manifestă prin dureri de cap, senzație de uscăciune a gâtului, arsuri în stomac și pe piele.

Intoxicația de tip cronic se manifestă prin inflamația mucoasei nazale, impregnarea dinților cu o colorație galbenă, reducerea percepției senzoriale, expunerea la doze mari poate fi fatală.

Sursele de proveniență cu Cd sunt fosfații care conțin 0,1-75 mg Cd/1Kg, îngrășămintele cu fosfor, care conțin 5- Cd/1Kg și diferitele ramuri industriale. Cadmiul este reținut slab de sol sau absorbit și translocat de plante. Toxicitatea Cd pentru plante este foarte mare, se manifestă prin reducerea producției, blocarea proceselor microbiologice, frânarea procesului de sinteză al azotului atmosferic și a proceselor amonificare, nitrificare și denitrificare.

Având în vedere nocivitatea acestui element pentru om și înăd seama de conținutul lui scăzut în mod natural, se recomandă ca totalul aporturilor ajung din aer în sol, din diferite surse de poluare (emisiile, molimuri, ape irigare) să nu depășească 5 Kg/ha.

Nichelul (Ni)

Ni se găsește în deșeurile care provin din: oțeluri inoxidabile, baterii acumulatori, materiale ceramice, emailul fontelor și oțelurilor, magnezi etc.

Conținutul mediu de Ni din deșeurile menajere este de 16 g/ton în uleiurile uzate de motor de 8 kg/ton

Ponderea Ni în diverse domenii, evaluat la nivel mondial, este prezentat tabelul următor:
Repartiția Ni în diverse aplicații

Domeniul (%)	Oeluri inoxidabile	Fonte	Aliaje	Tratamente de suprafață	Diverse
	60	10	10	14	7

S-a estimat că pulberile cu nichel reprezintă cauza a 5 % din totalul de eczeme și a 10 % din populațiile care sunt alergice.

Metode de măsurare

Metoda de referință pentru măsurarea Pb, As, Cd și Ni este cea prevăzută în standardul SR EN 14902 - Calitatea aerului înconjurător. Metoda standardizată pentru determinarea Pb, Cd, As, și Ni în fracția PM₁₀ a particulelor în suspensie. Metoda de referință pentru măsurarea concentrației de mercur total gazos în aerul înconjurător este cea prevăzută în standardul SR EN 15852 - Calitatea aerului ambiant. Metoda standardizată pentru determinarea mercurului gazos total.

Norme

LEGEA nr. 104 din 15 iunie 2011 Plumb - Pb	
Valori limită	0,5 ug/m ³ - valoarea limită anuală pentru protecția sănătății umane

LEGEA nr. 104 din 15 iunie 2011 As, Cd, Ni	
Arsen	6 ug/m ³ - valoarea țintă pentru conținutul total din fracția PM ₁₀ mediat pentru un an calendaristic.
Cadmium	5 ug/m ³ - valoarea țintă pentru conținutul total din fracția PM ₁₀ mediat pentru un an calendaristic.
Nichel	20 ug/m ³ - valoarea țintă pentru conținutul total din fracția PM ₁₀ , mediat pentru un an calendaristic.

Modelarea emisiilor de Plumb și alte metale toxice Pb, As, Cd, Ni la nivelul județului Mureș în funcție de proveniența acestora

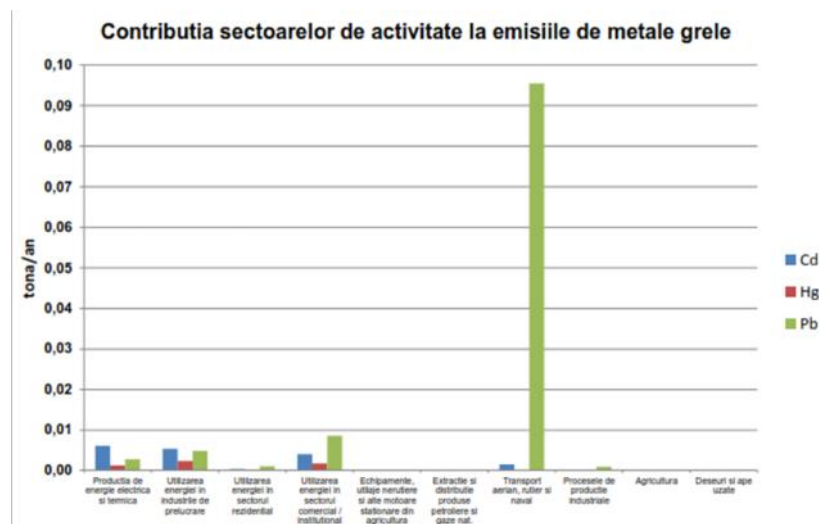


Fig. 47 Contribuția sectoarelor de activitate la emisiile de metale grele <http://apmms.anpm.ro>

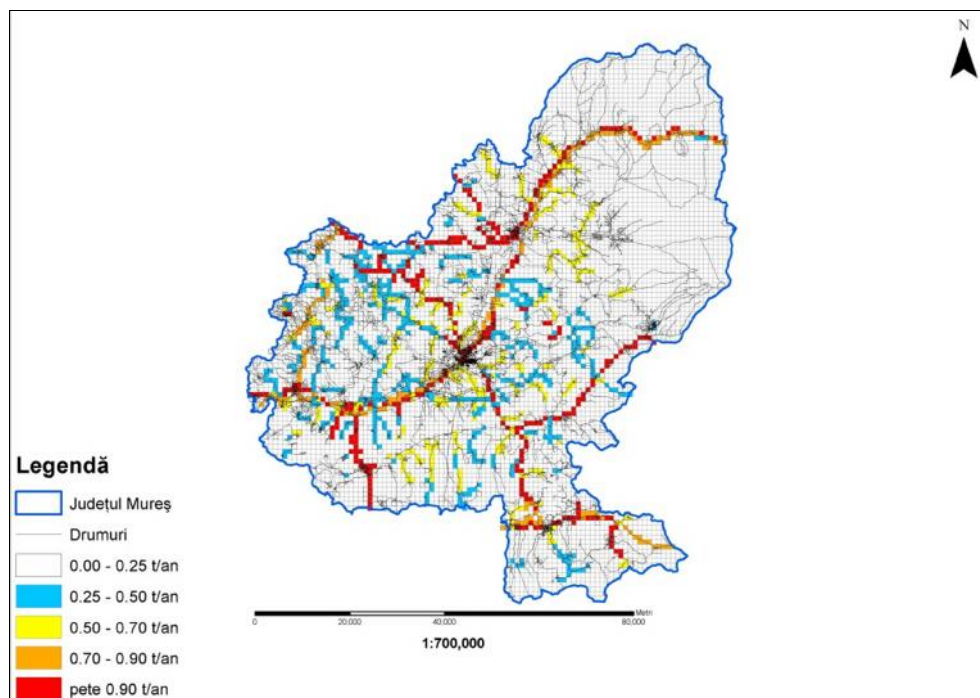


Fig. 48 Distribuția în grilă de calcul rezoluție 1x1km a emisiilor de metale grele provenite din transporturi.

3.1.8. Amoniacul (NH₃)

Amoniacul este întrebuințat pe scară industrială mare, ca materie primă la fabricarea acidului azotic și a sărurilor de amoniu, a unor îngrășăminte chimice, etc. Datorită proprietăților sale termodinamice amoniacul, este cel mai important și cel mai utilizat, agent frigorific natural, din punct de vedere al transferului termic. Concentrația maximă admisă pentru probe mediate 30 de minute este de 300 mg/m³ iar probele mediilor zilnice este de 100 mg/m³.

Proprietăți

Amoniacul (NH₃) este un gaz incolor, înecăcios, cu miros înepător, solubil în apă, mai ușor de 1,7 ori decât aerul. Densitatea amoniacului este de 0,7198 kg/m³, are punctul de topire de -77,73°C și punctul de fierbere de -33,35°C.

La temperatura obișnuită este un compus stabil, însă la încălzire, sub efectul scânteilor electrice sau în prezența unor catalizatori, se descompune parțial în componente:



Se dizolvă foarte ușor în apă, cu degajare de căldură:



Amoniacul duce la formarea apei și a azotului în urma arderii în oxigen.

Surse de poluare

Amoniacul provine atât din surse naturale cât și antropogene. Sursele antropogene înregistrează circa 80%. Cea mai importantă sursă este cultura, respectiv sectorul zootehnic, prin producția de dejecții. În urma arderii biomasei pentru recuperarea unor terenuri, din procesele de fermentare a substanțelor organice, precum și din utilizarea substanțelor fertilizante cu azot.

Sursele de poluare industrială sunt fabricile de amoniac, acid azotic, azotat de amoniu, uree, sinteze organice, cocserii, industria frigorifică, diverse.

Acțiunea asupra sănătății

Datorită faptului că amoniacul este un gaz extrem de solubil în apă, el se dizolvă în căile nazale și într-un final este înghițit ajungând în stomac. O foarte mică parte din amoniacul inhalat ajunge în plămâni. Din plămâni în stomac amoniacul ajunge în sânge.

Amoniacul este procesat în ficat, rinichi și mușchi, unde este transformat în uree sau glutamină. Principala cale de eliminare a amoniacului din organism este prin urină sub formă de uree, se mai elimină și prin respirație între 0,1 și 0,3 ppm.

Amoniacul este iritant pentru ochi, sistemul respirator și pielea datorită faptului că este alcalin.

Efectele biologice în cazul expunerii acute depind foarte mult de concentrația din aer, de cantitatea ingerată și de durata expunerii.

Cea mai mică concentrație de amoniac din aer care este iritant pentru ochi, nas și gât este în jur de 50 mg/m³. Concentrația maximă în aer la care apar reacții adverse severe, dacă persoanele nu poartă echipamente de protecție, este de aproximativ 100 mg/m³. La o expunere de 30 de minute, fără echipament de protecție, la o concentrație de amoniac de circa 500 mg/m³ nu apar efecte care ar putea amenința viața individului expus. La concentrații cuprinse între 700 — 1000 mg/m³ apare bronhospasmul, iritații grave ale ochilor și tuse. La concentrații mai mari de 5000 mg/m³ amoniacul provoacă acumularea de fluide în plămâni, arsuri ale pielii și uneori moartea individului expus.

Un conținut de NH₃, mai mare de 1 p.p.m. micorează capacitatea sângelui de a lega oxigenul și de a-i restabili pH-ul, prin dezechilibrare acido-bazică (plasma din sânge are un pH fix, de 7,35, asigurat de sistemul tampon acid carbonic-bicarbonat),

În atmosfera locurilor de muncă, normele sanitare, prevăd o concentrație medie de NH₃ = 20 mg/m³ și o concentrație maximă admisă de 30 mg/m³.

Amoniacul prezent în aerul atmosferic poate ajunge în apele de suprafață, datorită precipitațiilor, unde printre alte consecințe determină eutrofizarea acestora.

Metode de măsurare

Măsurarea se efectuează de către Agenția pentru Protecția Mediului Mureș într-un punct fix, respectiv la sediul agenției prin metoda clasică ce prevede prelevarea în soluție și analiză instrumentală pe un spectrofotometru și într-un punct mobil, a cărui locație se schimbă periodic; folosind "Sistemul mobil de monitorizare a imisiilor de amoniac" achiziționat în 2010 și echipat cu un analizor automat Thermo și un prelevator multicanal.

Norme

Concentrația maximă admisă pentru probe mediate 30 de minute este de 300 mg/m³ iar probele mediilor zilnice este de 100 mg/m³.

Modelarea emisiilor de Amoniac la nivelul județului Mureș în funcție de proveniența acestora

La indicatorul amoniac din aerul înconjurător au fost mai multe depășiri ale concentrației momentane (probe mediate 30 minute) de-a lungul timpului.

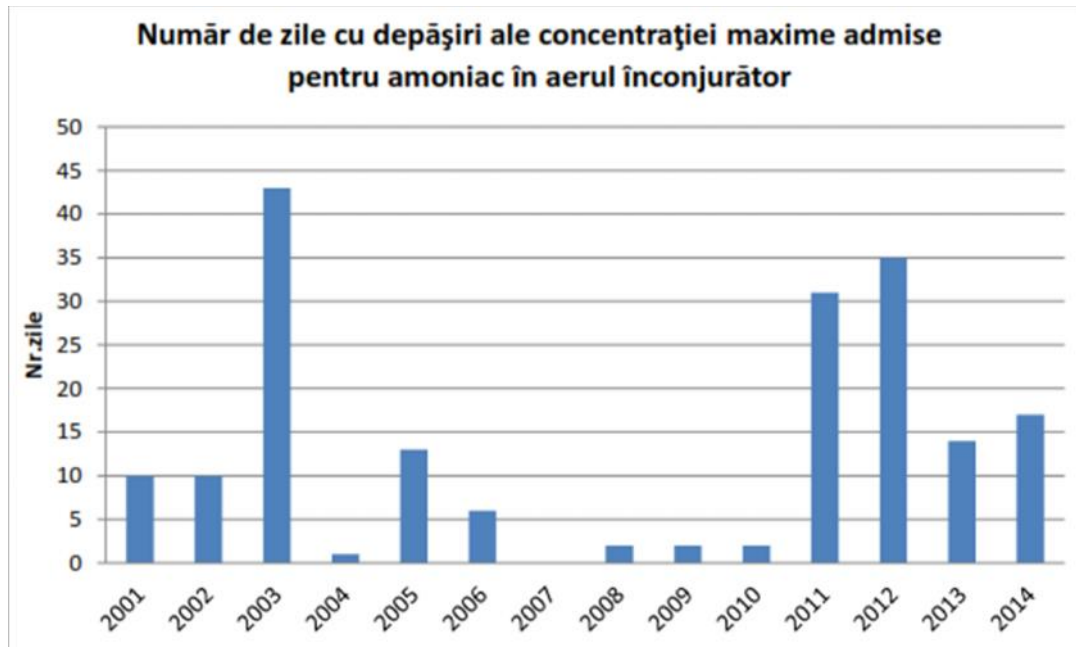


Fig. 49 Număr de zile cu depășiri la NH₃ <http://apmms.anpm.ro/>

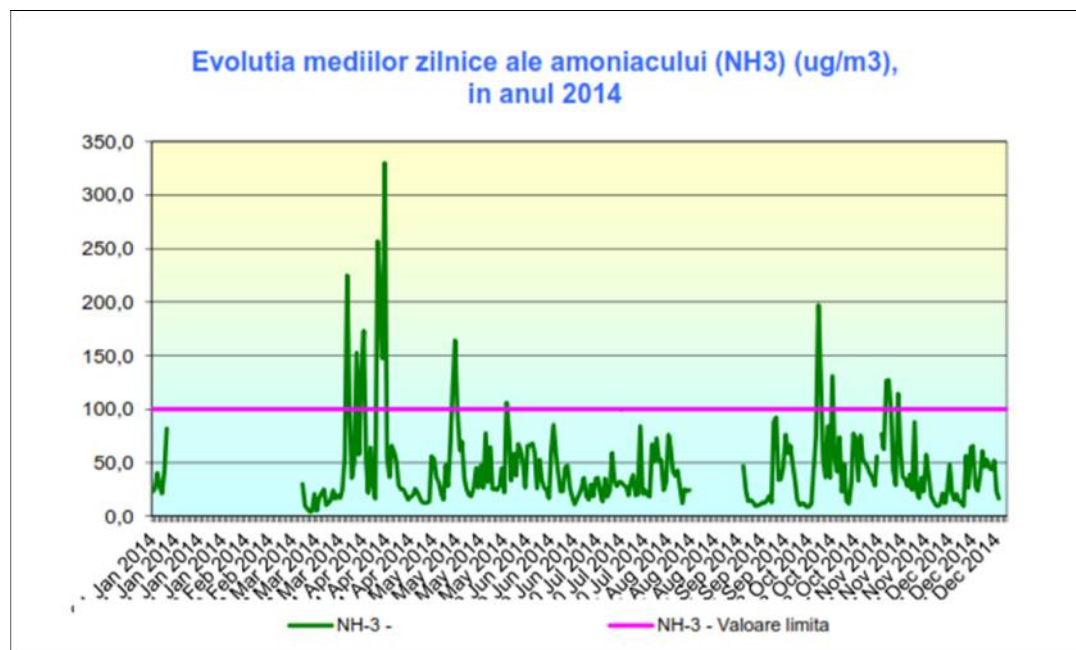


Fig. 50 Evoluția mediilor zilnice ale amoniacului NH₃ <http://apmms.anpm.ro/>

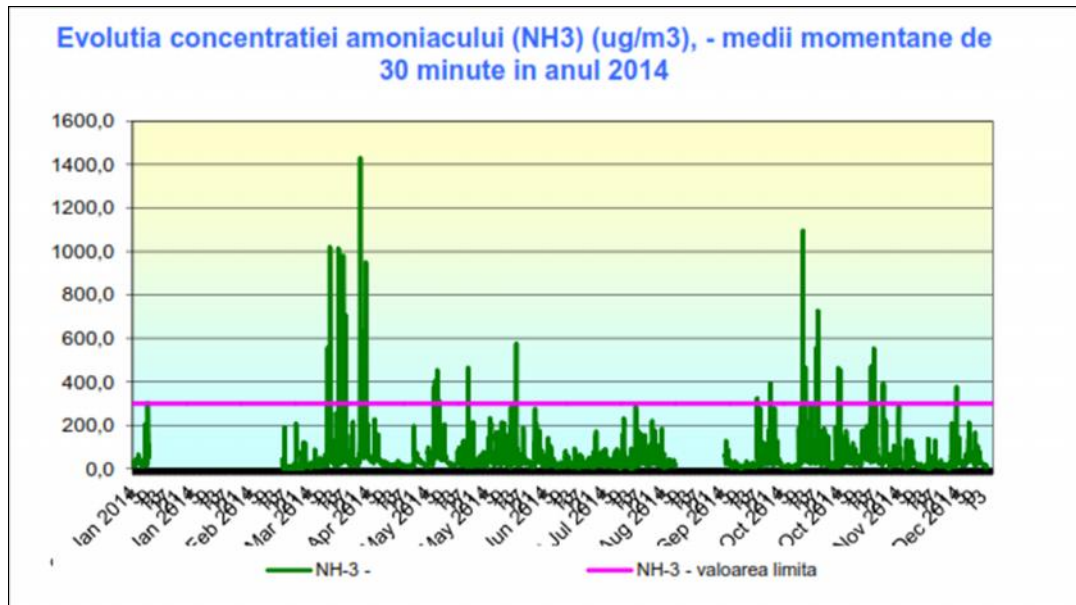


Fig. 51 Evoluția concentrației amoniacului NH₃ <http://apmms.anpm.ro/>

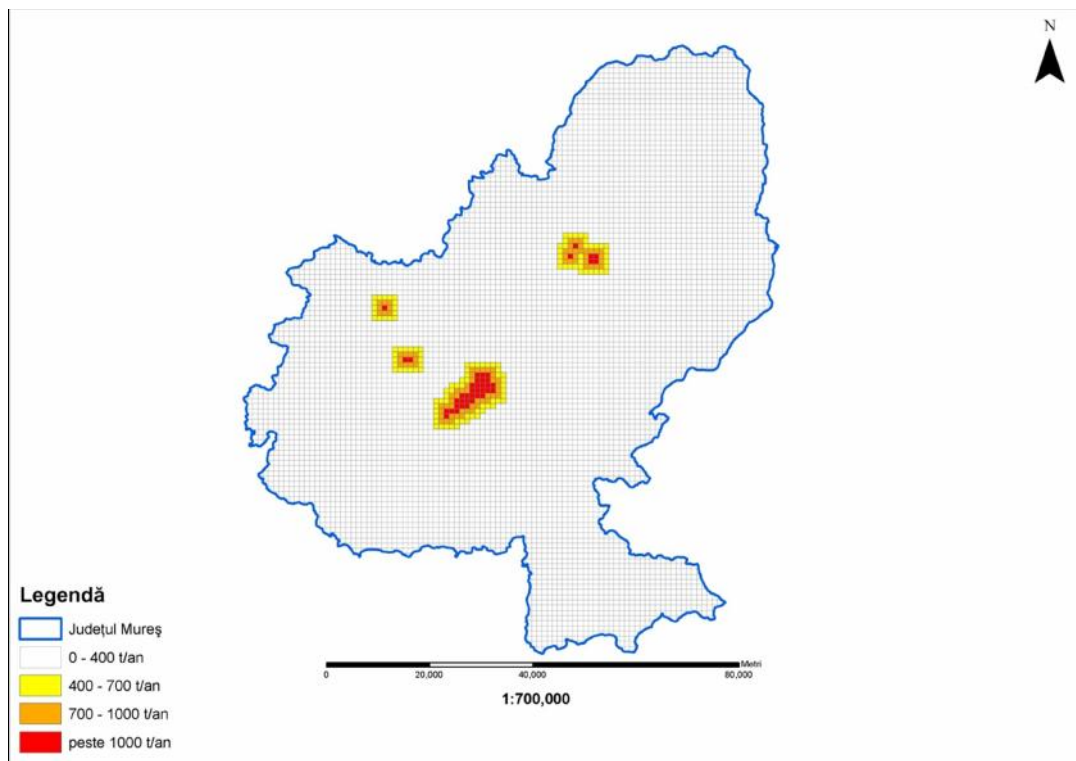


Fig. 52 Distribuția în grilă de calcul rezoluție 1x1km a emisiilor de amoniac NH₃.