

Raport de Cercetare

Grant tip A: MONITORIZAREA CALITATII AERULUI PRIN GESTIONAREA SURSELOR DE POLUARE, 2002 -2004

Autor: prof. dr. ing. habil Ioana IONEL
Universitatea *Politehnica* Timisoara

Introducere sau despre filozofia poluării

Toate cercetările în domeniu scot în evidență efectele poluării atmosferei ecosistemelor printr-o serie de efecte climatice, perturbări în ciclul carbonului, oxigenului, sulfului, consecințe nefaste asupra modificărilor majore ireversibile la nivelul planetei, a speciilor vegetale și fitocenozelor, a regnului animal, dar mai ales asupra însuși omului – generatorul poluării antropice care destabilizează – și în special asupra populației urbane și a bunurilor materiale din zonele poluate de trafic respectiv emitenți industriali sau casnici [3], [8], [12], [9], [19].

Mijloacele de informare în masă aduc cu regularitate știri despre starea ecologică a Planetei, perforația din pătura de ozon, pădurile vătămate de ploile acide, creșterea alarmantă a CO₂ în atmosferă ca urmare a activității induse de civilizație și setea de profit, fără a mai vorbi de catastrofele provocate de avarii în industria chimică, nucleară, etc. Fără îndoială aceste informații sunt utile. Se trec însă cu vederea eforturile și răspunsurile omenirii de a face față acestor disfuncții, pe care tot ea le induce. Noi tehnologii de ardere, de depoluare, tehnologii de preîntâmpinare, noutăți medicale, combaterea poluării la sursă, monitorizarea calității mediului, gestionarea datelor sunt eforturi și tot atâtea exemple de încercări de a corecta și stăpâni ritmul alert de poluare a Planetei, prin activități naturale, dar în special antropice.

Tot mai des se impune verificarea efectelor activităților industriale asupra calității mediului, prin bilanțurile de mediu care se întocmesc anual, de către agenții ce posedă sursele de poluare. Aceste studii se fac și în baza legilor mecanicii fluidelor, ținând cont că aerul este un fluid în mișcare, în care poluantul este transportat și difuzat. Interesează de fapt concentrația de poluant în aer, exprimată în unități de masă de poluant pe metru cub de aer în condiții normale, sau ppm. Legile după care are loc deplasarea și difuzia sunt aceleași, universal valabile, ceea ce însă diferă de la o zonă la alta sunt condițiile de dispersie, adică un set de caracteristici meteorologice ale zonei analizate, așa numita meteorologia poluării. Activitatea unei surse poluatoare trebuie însă analizată în contextul general, adică pe *fondul de poluare* al zonei. Poluarea datorită unei surse concret investigate nu pornește de la zero, ci se suprapune unui semnal care trebuie cunoscut zonal, din așa numitele inventare ale emisiilor.

Sub denumirea generică de *inventar al emisiilor* se înțelege un ansamblu de operații de mare importanță, anvergură și dificultate, care constau în colectarea tuturor informațiilor utile despre sursele de poluare. Pe primul loc se situează ratele de emisie și crearea unei bănci de date, având acest profil. Pot fi realizate inventare la scara unei întreprinderi, la scara unui oraș, zone sau la scară națională. Cunoașterea emisiilor este o măsură a grijii proprietarilor de surse de poluare și a organelor de control pentru protecția mediului. Rezultatele trebuie aduse la cunoștința populației, care trăiește în zona investigată, și care are dreptul de a solicita remedierea calității ei, prin presiune politică și civică și aport material și financiar [16], [17].

Emisiile poluante, indiferent de scară sau categorie (surse staționare sau mobile de combustie, surse industriale, private sau de stat), se inventariază prin colectarea de date legate de topografie și meteorologie și funcționare a sursei, *prin măsurători, prin estimare, sau metode combinate* [15], [16], [17], [19].

Măsurătorile la sursă furnizează informațiile cele mai sigure și sunt indispensabile unui inventar. În cazul proceselor industriale trebuie să se efectueze o supraveghere continuă, care este costisitoare. Înlocuirea monitorizării continue cu măsurători sporadice trebuie efectuată acoperitor, deci pentru regimuri de funcționare evident dezavantajoase și imaginate ca fiind extreme. Realizatori cu experiență de inventare recomandă folosirea *factorilor de emisie* pe scară largă. Prin factor de emisie se înțelege rata medie de evacuare în atmosferă a unui poluant împărțită la volumul producției. Acești factori se stabilesc prin testări la sursă și prin bilanțuri de materiale introduse în proces, pentru

întreprinderi etalon. Există o multitudine de surse ca de exemplu: surse cu combustie externă, internă, prin evaporare, industria chimică, alimentară și agricultura, industria metalurgică, petrolieră, etc. Factorii de emisie sunt medii statistice bazate pe numeroase teste reprezentative, și care, în timp, datorită evoluției tehnicii, se modifică continuu. Aplicarea unui factor de emisie la o singură sursă poate avea drept consecință o diferență considerabilă între emisia estimată și cea reală. În schimb, prin aplicarea factorului la un număr de surse luate global, diferența poate fi redusă, prin acoperirea erorilor reciproc. Metodele combinate de inventariere includ evident, după caz, testările la sursă, aplicarea factorilor de emisie sau, în absența acestora, bilanțurile de materiale introduse în proces [16], [17].

Fișierul pentru *banca de date* s-a organizat după categorii de surse. În general interesează localizarea instalației poluatoare, parametrii la ieșire, existența unor echipamente de reținere a poluanților, orarul de funcționare, informații legate de combustie, procesul tehnologic în general, etc. Pe baza acestor date s-a întocmit apoi un studiu de dispersie. Avizul de funcționare se emite de către Inspekția Teritorială pentru Protecția Mediului, dacă din estimări nu rezultă încălcări ale normelor de calitate ale aerului. Procedeu este criticabil prin faptul că relația dintre emisia maximă admisă și concentrația în aer maxim admisă nu este unic determinată, ci depinde de caracteristicile climatice și topografice ale zonei. O soluție de compromis este fixarea unor emisii maxime admise pe zone cu condiții de dispersie aproximativ identice. Ideal însă, ar fi să se stabilească pentru fiecare sursă o emisie maximă admisă, după ce, în prealabil a fost evaluat impactul probabil al acesteia asupra mediului înconjurător.

Surselor mobile (în primul rând vehiculele rutiere, apoi aviația, transporturile feroviare, maritime și fluviale) li se impută între 60 și 90 % din deteriorarea calității aerului (și cu precădere pentru specii ca CO, NO_x, C_mH_n - aromatice și policiclice, PAN, Pb, particule de dimensiuni reduse, etc.) și, cu mențiunea că multe din ele emit gazele la nivelul de inhalare.

Riscul individual și riscul social trebuie acceptate, dar numai de către colectivitatea care beneficiază de pe urma activității generatoare de risc.

Concentrația în aer a unui poluant este o mărime probabilistică, caracterizată prin fluctuații imprevizibile, datorită fluctuațiilor emisiei și turbulenței atmosferice. Efectuând într-un punct un șir de măsurări asupra concentrației, se vor obține un set de valori caracterizat printr-un număr de caracteristici statistice: medie, abatere medie pătratică, funcție de repartiție, cuantile, etc. Nu există o altă modalitate de a norma o mărime aleatoare decât aceea de a norma parametrii statistici ai acesteia. Norma de calitate a aerului pentru un poluant se compune din CMA (concentrația maximă admisă) pe un timp bine definit, frecvența asociată CMA și intervalul de referință (de regulă un an sau mai puțin). Puterea normelor de calitate ale aerului este însă limitată, ele nu pot proteja populația împotriva emisiilor catastrofale.

Constituirea bazei de date

Inventarele de emisii trebuie susținute (completate) continuu cu date la zi. Pentru demonstrarea acestui deziderat s-a propus următoarea etapizare a procesului de analiză.

Fazele parcurse

În urma experienței acumulate se indică următoarele faze ce trebuie și au fost parcurse:

- Întocmirea unei baze de date asupra surselor, emisiilor poluante, parametrilor termodinamici care afectează nivelul zonal de poluare;
- Identificarea unei strategii minime de gestionare prin măsurători a funcționării instalațiilor de ardere staționare și mobile;
- Gestionarea calității aerului prin simulare numerică; Identificarea punctelor/zonelor periclitare;
- Verificarea simulărilor numerice prin măsurători curente în cadrul unei campanii majore în municipiu;
- Elaborarea unei metode originale de generalizare a unui factor de emisie pentru surse superficiale specifice;
- Analiza statistică a semnalelor;
- Gestionarea și prezentarea datelor de mediu în pagina de *web* și diseminarea informației prin publicații, prelegeri și sistemul educațional.

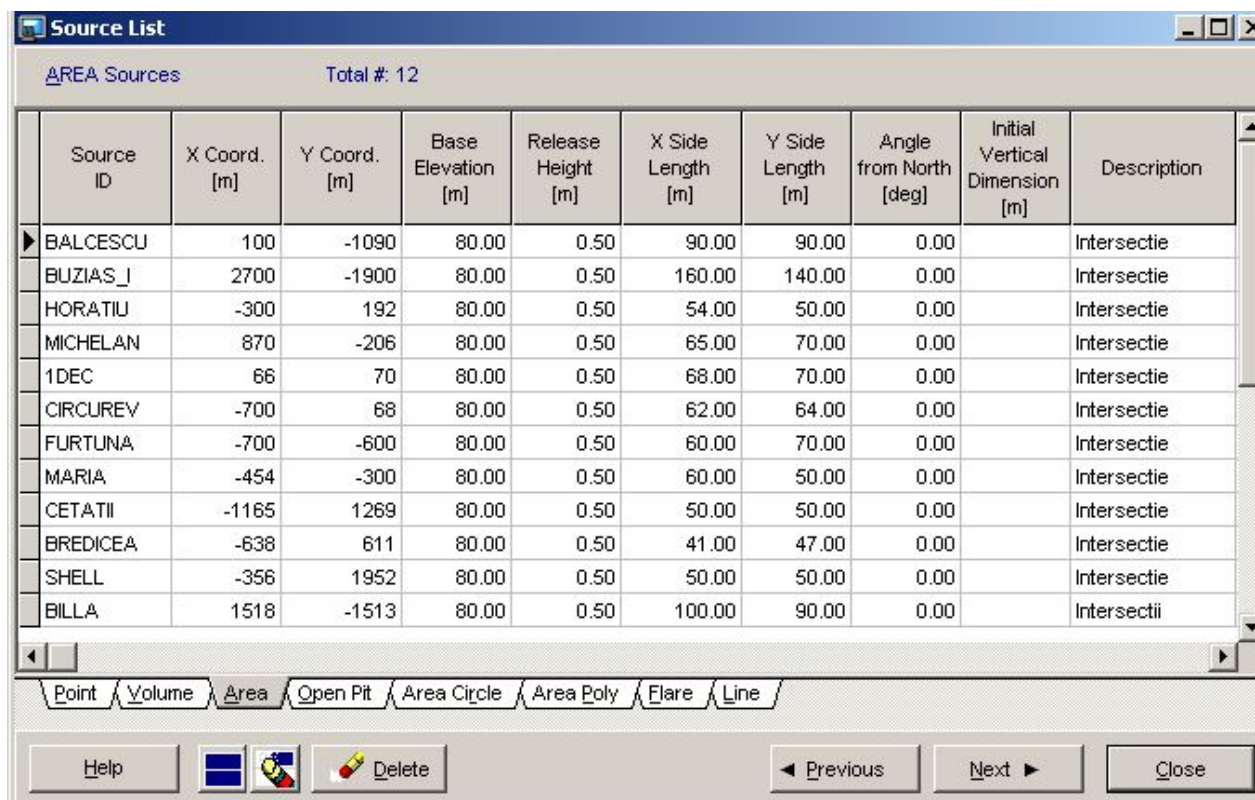
Exemplu de identificare a zonelor poluate din municipiul Timișoara

Inventarul surselor poluatoare

Aceste date au fost stabilite pe baza unor înregistrări statistice legate de intensitatea și structura traficului, sau pe baza unor măsurători *on line* legate de nivelul emisiilor poluante. În ambele cazuri au fost necesare și identificarea unor parametri topografici, care s-au valorificat apoi prin poziționarea surselor în harta GIS a municipiului Timișoara. Scopul acestei activități complexe a fost pe de o parte pentru a întocmi o bază de date cât mai reală legată de sursele staționare și mobile din zonă, dar și pentru a putea, în baza ei, efectua calcule de simulare numerică, cu programe specializate, în care se solicită completarea unor tabele de date de intrare foarte complete. Informații mai complete se pot găsi în [1], [4], [5],[6], [7], [10], [11].

Inventarul surselor mobile

Din analiza statistică de trafic rezultă că, pe rețeaua semnificativă a orașului, se efectuează zilnic (în intervalul orar 6.00 – 22.00) un număr de 300.165 deplasări din care circa 80 % reprezintă traficul vehiculelor de călători, iar 20 % cele de marfă. Din totalul deplasărilor, traficul interior are ponderea cea mai mare cu 77 % , cel de penetrație reprezintă 19 % iar tranzitul 4 %. Lungimea medie a unei deplasări este de 4,15 km cu o viteză medie de 34,28 km/h [18], Pentru aceste deplasări se consumă zilnic circa 140 tone de carburant. Inventarierea surselor poluatoare (autovehiculelor) s-a făcut în principalele intersecții din oraș arătate în Figura 1. Screen shoot -ul indicat s-a generat din utilizarea bazei de intrare a codului ISC (Lista surselor).



Source ID	X Coord. [m]	Y Coord. [m]	Base Elevation [m]	Release Height [m]	X Side Length [m]	Y Side Length [m]	Angle from North [deg]	Initial Vertical Dimension [m]	Description
BALCESCU	100	-1090	80.00	0.50	90.00	90.00	0.00		Intersectie
BUZIAS_I	2700	-1900	80.00	0.50	160.00	140.00	0.00		Intersectie
HORATIU	-300	192	80.00	0.50	54.00	50.00	0.00		Intersectie
MICHELAN	870	-206	80.00	0.50	65.00	70.00	0.00		Intersectie
1DEC	66	70	80.00	0.50	68.00	70.00	0.00		Intersectie
CIRCUREV	-700	68	80.00	0.50	62.00	64.00	0.00		Intersectie
FURTUNA	-700	-600	80.00	0.50	60.00	70.00	0.00		Intersectie
MARIA	-454	-300	80.00	0.50	60.00	50.00	0.00		Intersectie
CETATII	-1165	1269	80.00	0.50	50.00	50.00	0.00		Intersectie
BREDICEA	-638	611	80.00	0.50	41.00	47.00	0.00		Intersectie
SHELL	-356	1952	80.00	0.50	50.00	50.00	0.00		Intersectie
BILLA	1518	-1513	80.00	0.50	100.00	90.00	0.00		Intersectii

Figura 1: Screen shoot reprezentând principalele surse mobile concretizate în principalele intersecții din municipiul Timișoara.

Inventarul surselor staționare

Generarea de energie termoelectrică este concomitent însoțită și de producerea de noxe gazoase și solide, care se emit pe coșurile de fum. Calitatea mediului din zonă și din vecinătățile rezidențiale este în consecință afectată.

În continuare se prezintă inventarul principalelor centrale termice ale uzinei electrice din Timișoara (CET Centru și CET Sud) precum și a altor surse majore industriale care au fost identificate că ar afecta calitatea aerului în municipiu.

TERMO CET acoperă trei sferturi din necesarul de energie termică al orașului, furnizând populației, în proporție de 85 %, necesarul sub formă de apă caldă de încălzire și menajeră, restul de 15 % fiind distribuit agenților industriali locali. Cantitatea anuală de energie termică generată (de 1 500 000 Gcal) se livrează prin intermediul a 16 centrale termice proprii, funcționând pe combustibil gazos și prin intermediul a 116 puncte termice, alimentate cu agent primar de la CET Centru și CET Sud Timișoara. TERMO CET SA este proprietarul de drept al rețelei de transport a agentului primar în proporție de 85 %. Rețelele termice secundare însumează 4 fire și 325 km.

Figura 2 prezintă datele legate de sursele de poluare. Se observă că sunt cuprinse date legate de nivelul caracteristicilor termodinamice ale emisiilor și înălțimea (H) respectiv coordonatele locului de emisie (x, z - relativ la centrul orașului plasat la Catedrala metropolitană). S-au inclus pe lângă sursele direct legate de funcționarea sistemului de termoficare și unități industriale poluante, care dispun deci de instalații de ardere cu combustibil fosil, destinate proceselor proprii tehnologice sau încălzirii individuale. Prin măsurători directe au fost contabilizate emisii poluante de la 38 de agenți industriali locali, alții decât centralele generatoare de energie termică, mai mici sau mari. Aceste date au fost determinate prin investigații directe.

Pe lângă informații topografice s-au efectuat și măsurători de emisii continue cu analizoarele din familia TESTO. Acestea indică, pe lângă concentrațiile de noxe, și informații legate de parametri termodinamici ai arderii incluzând consumul de combustibil mediu reprezentativ, care sunt un prim indiciu asupra acțiunii nocive și impactului instalației asupra calității aerului. Vitezele de emisie a penei de efluent (w_g) s-au calculat, ținând seama de densitatea gazelor de ardere și secțiunea coșului (D).

Tabelul 1 exemplifică modul în care, prin măsurători directe urmate de calcule de debite de poluanți funcție de nivelul de consum mediu de combustibil, s-au evaluat numeric valori necesare prelucrării ulterioare a impactului asupra mediului, prin programe specializate de dispersie. Denumirea este simbolică, reflectând în mare numărul coșului de fum din respectiva centrală.

Tabelul 1: Centralele termice ale CET.

	x [m]	y[m]	H [m]	D [m]	w_g [m/s]	t_g [°C]	λ [-]	Debite noxe [mg/m^3_N] (emise pe coș)		
								SO ₂	NOx	PM
CETSUD1	-3759	-2275	160	5,1	4,8	129	1,76	340	34,3	32,4
CETSUD2	-3700	-2200	160	5,1	2,3	120,5	1,68	140,7	13,3	5,6
CETCEN1	1644	494,9	44	1,5	3,88	146,9		0	1,6	0
CETCEN2	1655	490	35	1,9	2,98	102,5		0,17	0,75	-
CETCEN3	1655	500	20	1	2,6	136,3		0	0,28	-
CETCEN4	1640	490	53	2,5	2,44	173,6		0	2,12	-
CETCEN5	1660	500	53	2,5	2,35	145		0	1,98	-
CETCEN6	1665	500	55	3,2	2,8	132,6		19,2	6,0	0,4
CETCEN7	1700	485	55	3,2	3,85	133,6	1,65	23	9,5	0,5
CETCEN8	1640	450	55	3,2	4,3	151,6	1,65	53,5	12,5	1,2

Source List								
POINT Sources				Total #: 41				
Source ID	X Coord. [m]	Y Coord. [m]	Base Elevation [m]	Release Height [m]	Gas Exit Temperature [K]	Gas Exit Velocity [m/s]	Inside Diameter [m]	Description
GIURGIU	-127	-1267	80.00	12.00	401.15	1.13	0.70	Punct Termic Calor
VACARESC	-1094	-1185	80.00	16.00	391.15	11.04	0.80	Punct Termic Calor
SIRET	557	-912	80.00	16.00	385.15	11.42	0.75	Punct Termic Calor
DIANA	1049	-863	80.00	18.00	385.15	3.91	0.80	Punct Termic Calor
DIANA2	1050	-864	80.00	18.00	385.15	10.03	0.50	Punct Termic Calor
CORBULUI	-127	-1264	80.00	14.00	391.15	2.23	0.80	Punc Termic Calor
DRAGALIN	-1273	-554	80.00	16.00	391.15	1.48	1.40	Punct Termic Calor
BUZIAS	2705	-2437	80.00	25.00	405.15	10.10	1.00	Punct Termic Calor
VULTURI	-1538	-2060	80.00	16.00	391.15	7.98	0.80	Punct Termic Calor
PLEVNA	-423	-606	80.00	16.00	375.15	8.80	0.60	Punct Termic Calor
PALTINIS	195	-1129	80.00	12.00	385.15	4.82	1.50	Punct Termic Calor
PORUMB	-163	-1406	80.00	12.00	385.15	0.75	0.70	Punct Termic Calor
IMT	2748	2622	80.00	24.00	385.50	7.21	0.80	Punct Termic Calor
RUSUSIR	-719	-1889	80.00	14.00	384.15	5.17	0.70	Punct Termic Calor
DUNAREA	-2226	137	80.00	22.00	372.85	9.71	0.80	Punct Termic Calor
LIC1	-997	-1060	80.00	14.00	385.15	2.21	1.60	Punct Termic Calor
MALDINIC	1073	-1800	80.00	18.00	463.00	1.80	0.35	Cos
COMTIM	-4661	-3186	80.00	15.00	408.00	2.50	0.40	Cos
AEM	2600	-1927	80.00	14.00	440.00	13.55	0.45	Cos
AEM2	2600	-1920	80.00	14.00	450.00	8.66	0.45	Cos
CTMV	226	-686	80.00	25.00	493.00	5.19	0.30	Cos
COACOL1	-1010	-2830	80.00	12.00	436.00	3.15	0.50	Cos
COACOL2	-1010	-2838	80.00	12.00	436.00	3.15	0.50	Cos
CONTINEN	2760	2978	80.00	12.00	157.00	10.00	0.90	Cos
ELECTROT	2909	2012	80.00	9.00	435.00	14.35	0.37	Cos
PREFATIM	-3238	-470	80.00	24.00	440.00	8.47	0.90	Cos
ELECTROM	-1125	-128	80.00	25.00	440.00	6.52	0.70	Cos
FRIGOREX	-2600	-4395	80.00	11.00	496.00	5.91	0.50	Cos
PROCTER1	2694	-1558	80.00	17.00	420.00	2.50	0.40	Cos
PROCTER2	2694	-1550	80.00	25.00	410.00	2.50	0.40	Cos
PROCTER3	2640	-1547	80.00	30.00	425.00	3.50	1.20	Cos
RATT1	1416	1064	80.00	17.00	420.00	4.50	0.50	Cos

Point / Volume / Area / Open Pit / Area Circle / Area Poly / Flare / Line

Help [Icons] Delete

Figura 2: Screen shoot reprezentând sursele staționare majore la nivel de municipiu Timișoara.

Modelarea numerică și rezultatele obținute

Codul numeric utilizat pentru modelare este ISC4 (ST și LT) – Industrial Source Complex, Short Term – ISCST și Long Term – ISCLT, elaborat la Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, S.U.A. Universitatea Politehnica din Timișoara deține o licență universitară. Descrieri complete și instrucțiuni de aplicare se găsesc în lucrările [4], [5],[6], [7], [10], [11], pe lângă noțiunile indicate în descrierea de produs (instrucțiuni de utilizare ale icodurilor din familia ISC, elaborate de producător).

Rezultatele sunt exemplificate de Figurile 3, 4, 5 și 6, pentru componentele NO medii orare și SO₂ medii zilnice, pentru zona urbană a Timișoarei. Se observă în fundal harta orașului, iar pe lateral legenda de intensitate a nivelului de poluare.

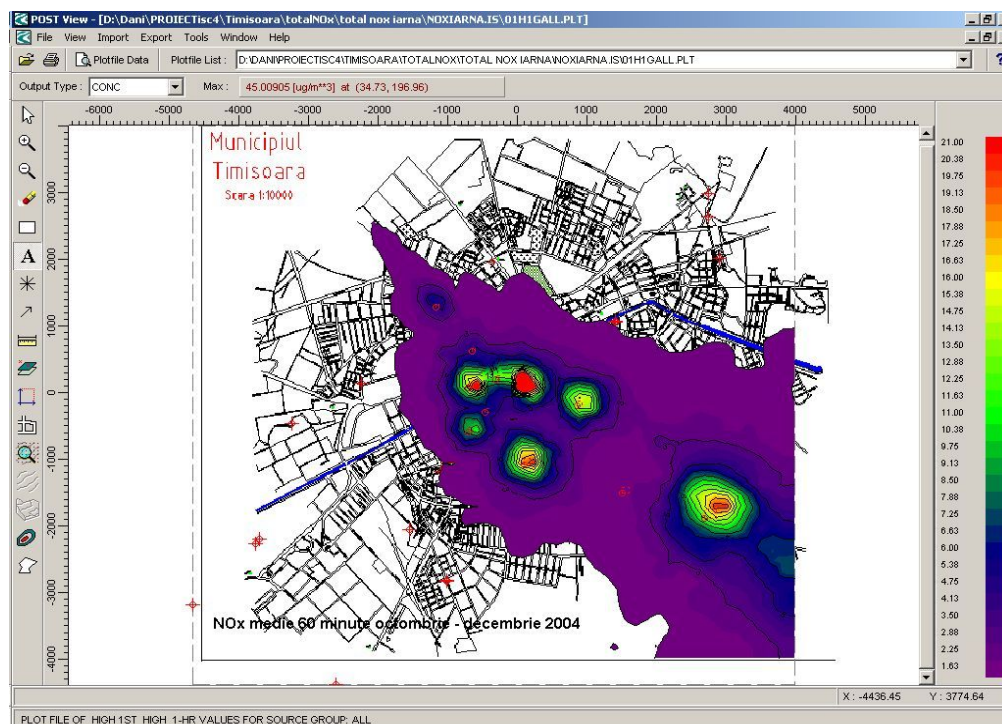


Figura 3: Dispersia NO_x medie la 60 minute folosind date meteo achiziționate de stația de la Pădurea Verde realizată folosind softul ISC4 View pentru perioada octombrie – decembrie 2004.

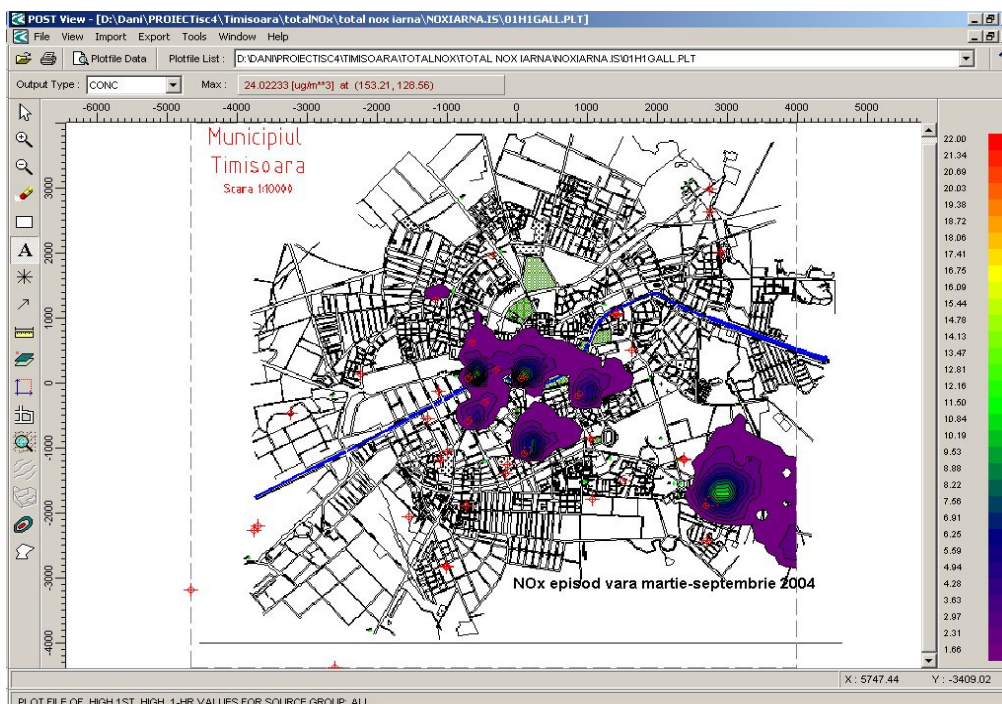


Figura 4: Dispersia NO_x medie la 60 minute folosind date meteo achiziționate de stația de la Pădurea Verde realizată folosind softul ISC4 View pentru perioada martie – septembrie 2004.

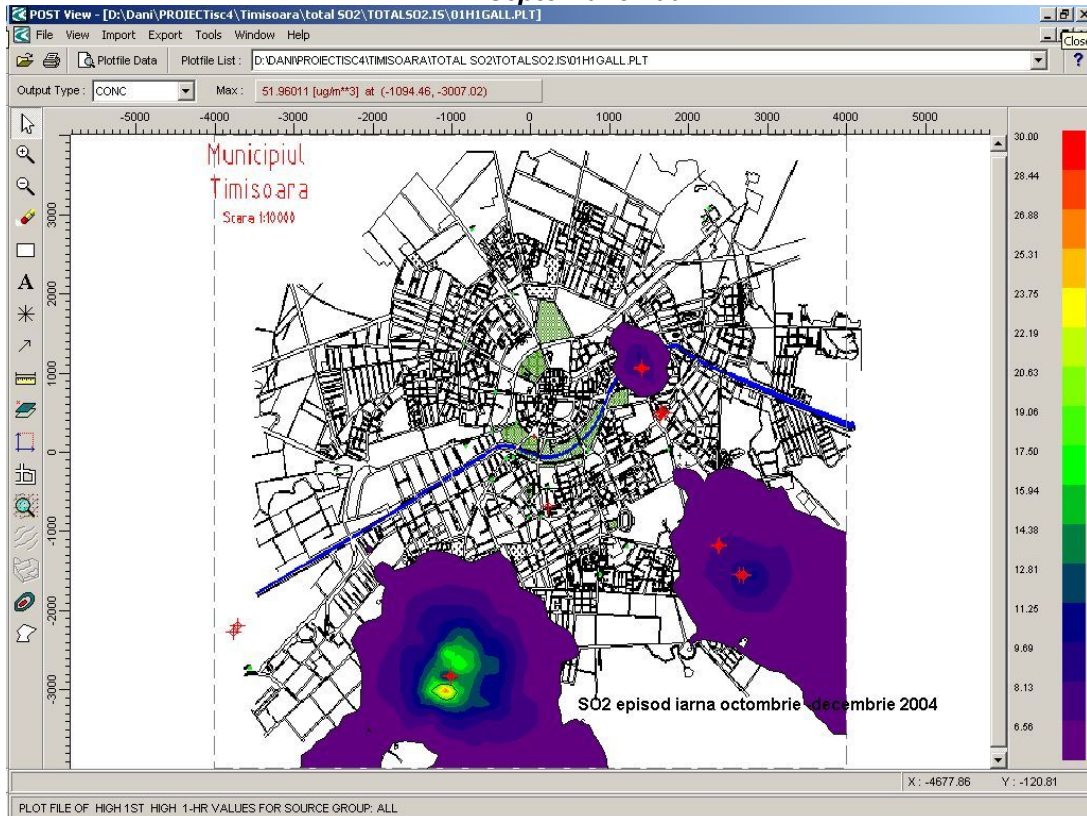


Figura 5: Dispersia SO₂ medie la 24 ore folosind date meteo achiziționate de stația de la Pădurea Verde realizată folosind softul ISC4 View pentru perioada octombrie – decembrie 2004

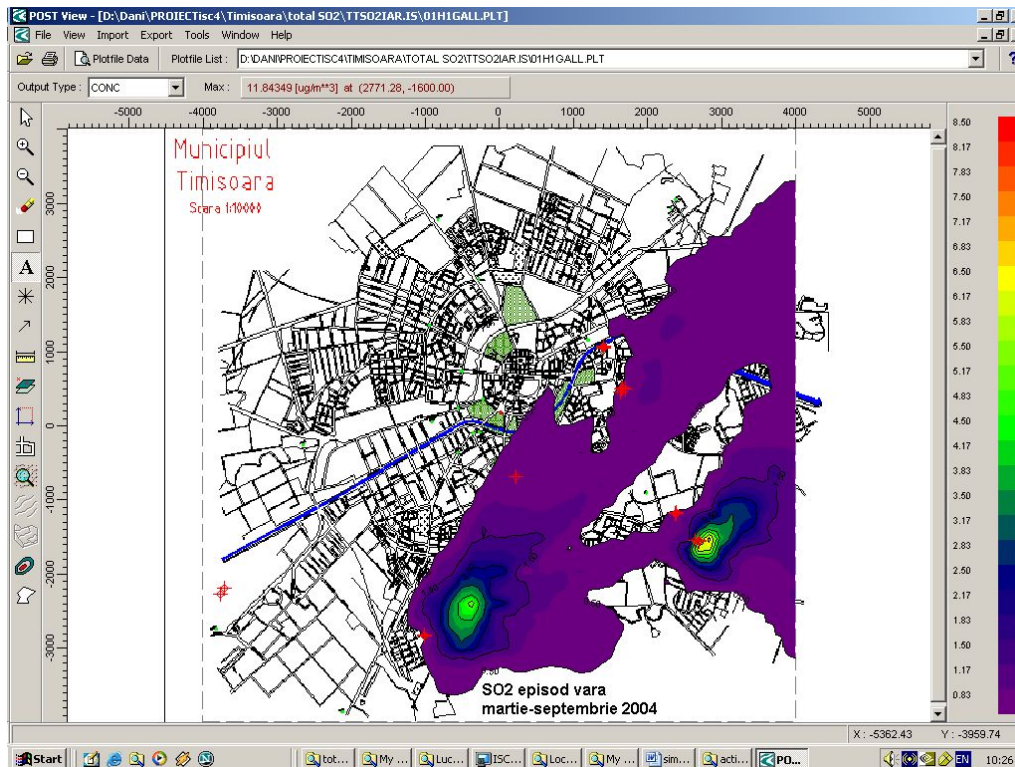


Figura 6: Dispersia SO₂ medie la 24 ore folosind date meteo achiziționate de stația de la Pădurea Verde realizată folosind softul ISC4 View pentru perioada martie – septembrie 2004.

Legislatia in vigoare

Ordinul nr. 592 din 25 iunie 2002

Prin acest ordin s-a aprobat Normativul privind stabilirea valorilor limită, a valorilor de prag și a criteriilor și metodelor de evaluare a dioxidului de sulf, dioxidului și oxizilor de azot, pulberilor în suspensie (PM_{2.5} și PM₁₀), plumbului, benzenului, monoxidului de carbon și ozonului în aerul înconjurător [1].

Prevederile normativului s-au aplicat, în conformitate cu [1], la:

- Măsurarea și evaluarea calității aerului înconjurător în Sistemul național de evaluare și gestionare integrată a calității aerului;
- Măsurarea și evaluarea calității aerului înconjurător în stațiile de monitorizare a calității aerului care nu fac parte din rețeaua națională de monitorizare a calității aerului.
- Anexa 5: METODE DE REFERINȚĂ pentru evaluarea concentrațiilor:
 - Dioxid de sulf (SO₂) – metoda de referință pentru analiza SO₂ este metoda fluorescenței în ultraviolet, prevăzută în ISO/FDIS 10498,
 - Oxizi de azot (NO_x) – metoda de referință pentru analiza NO_x este metoda prin chemiluminiscentă, prevăzută în ISO 7996/1985,
 - Monoxid de carbon (CO) – metoda de referință pentru analiza CO este metoda spectrometrică în infraroșu nedispersiv (NDIR), prevăzută în ISO 4224,
 - Pulberi în suspensie (PM₁₀) – metoda de referință pentru prelevarea și măsurarea PM₁₀ este descrisă în EN 12341 și constă în colectarea pe filtre a fracțiunii PM₁₀ și determinarea masei cu ajutorul metodei gravimetrice

Măsurătorile și evaluările s-au realizat pentru stabilirea și monitorizarea impactului poluării atmosferice asupra condițiilor de calitate ale mediului, stabilite legislativ. În rețeaua de control al calității aerului creată de respectivul proiect se găsesc instrumentele de măsurare pentru principalii poluanți (CO, NO_x, SO₂ și PM₁₀), un laborator de analiză, un sistem de transmisie a datelor, un sistem de achiziție și de interpretare a datelor. Se dețin și instrumentele capabile să determine proprietățile fizice ale aerului în locul de prelevare a mostrelor, în special, direcția și viteza vântului, temperatura, presiunea, umiditatea.

Alegerea mijloacelor de măsurare într-o rețea de supraveghere a calității aerului s-a bazat pe doi factori: obiectivele stabilite și caracteristicile tehnice ale aparatelor care se sunt utilizate.

După stabilirea poluanților care trebuie să fie măsurați, a gradului de precizie, a densității rețelei și a frecvenței măsurătorilor, s-au selecționat instrumentele care au satisfăcut aceste cerințe și totodată au ținut echitabil cont de următoarele criterii economice și tehnice:

- Fondurile disponibile;
- Compatibilitatea cu metodele standard de măsurare ;
- Frecvența de eșantionare și de măsurare a mostrelor necesare;
- Personalul necesar și calificarea acestuia;
- Condițiile de funcționare a aparaturii: temperatura, umiditatea, sursele de alimentare cu energie, timpul de funcționare, etc.

Pragurile de calitate, valori limită, marjele de toleranță și termene limită de aplicare înegrală s-au extras din documentarea în numitul Ordin [1].

Menționăm că stația de monitorizare concepută, dotată și utilizată exclusiv de colectivul prezentului grant, face parte din categoria celor extreme sistemului național, mai precis: Sistemul național de evaluare și gestionare integrată a calității aerului, denumit în SNEGICA (Hotărâre nr. 586 din 15 aprilie 2004 publicată în Monitorul Oficial, Partea I nr. 389 din 3 mai 2004). A fost concepută cu respectarea prevederilor legislative menționate succint anterior.

Pentru organizarea punctelor de măsurați *on line*, continue, *in situ* în cele 11 puncte (trafic intens, industriale, zone de interes special parcuri, zonă arhitecturală, istorică) [2] și pentru captarea simultană de date meteo și de trafic s-a ținut cont de următoarele criterii:

a) Fluxul de aer din jurul orificiului de admisie al sondei de prelevare a fost neobstrucționat (liber pe un arc de minimum 270°), fără obstacole care să afecteze circulația aerului în vecinătatea sondei, respectiv la o distanță față de clădiri, balcoane, copaci și alte obstacole de peste dublul înălțimii cu care obstacolul se ridică deasupra sondei.

b) În general, orificiul de admisie al sondei a fost amplasat între 1,5 m (zona de respirație) și 4 m distanță față de sol.

c) Sonda de admisie a fost plasată la distanță apreciabilă față de sursele staționare, și la peste 2 - 10 m de cel mai apropiat drum, distanța crescând în funcție de intensitatea traficului.

d) Orificiul de ieșire al sondei s-a amplasat astfel încât, să se evite recircularea aerului înapoi în orificiul de admisie.

S-a acordat atenție și următoarelor aspecte :

- a) existența unor surse de interferență;
- b) asigurarea de condiții de securitate;
- c) asigurarea de condiții de acces;
- d) accesibilitatea la energia electrică și la legăturile telefonice;
- e) vizibilitatea amplasamentului în raport cu împrejurimile;
- f) siguranța publicului și a operatorilor;
- g) oportunitatea amplasării laolaltă a stațiilor de prelevare pentru poluanți diferiți;
- h) planurile de urbanism.

Prezentarea aparaturii

Amplasarea ansamblului de măsură trebuie să se dispună corect în inima sau interiorul sursei de poluare superficiale.



Figura 7: Aparatura utilizată direct la monitorizare Interiorul stației de măsură cu aparatura și sistemul de achiziție de date, precum și sistemul de climatizare.

Identificarea zonelor unde poluarea este probabil mai ridicată, s-a realizat prin rularea programelor de dispersie ISC3, suprapuse peste harta GIS a orașului (ca în exemplele din figurile 3, 4, 5, 6). S-au luat în considerare surse staționare și principalele artere de circulație și intersecții [2].

Aparatele utilizate în timpul campaniilor au fost (Figura 7):

- Aparatul Monitor Labs 8840 lucrând pe principiul chemiluminiscentei, pentru determinarea NO_x (ISO 7996/1985/Aer înconjurător-determinarea concentrației masive de oxizi de azot),
- Aparatul Monitor Labs 8850S pentru SO_2 , lucrând cu metoda fluorescenței în UV (ISO/FDIS 10498 (proiect de standard) Aer înconjurător - determinarea dioxidului de sulf),
- Aparatul HORIBA APMA-350E classic monitor pentru CO lucrând spectrometric ND în IR (ISO 4224),
- Analizorul de particule LVS3 pentru categoria PM_{10} a cărui principiu de măsurare se bazează pe colectarea pe filtre a fracțiunii PM_{10} a pulberilor în suspensie și determinarea masei acestora cu ajutorul metodei gravimetrice (EN 12341).

Inițial s-a procedat la calibrarea aparatelor cu gaze de puritate controlată, tip Linde (Tabelul 2).

Sistemul de achiziții de date se bazează pe o placă special achiziționată (PCI-6023 E multifunction board de la ADVANCED COMPUTER TOOLS), cu program scris în LabView, deținut cu licență

Campaniile de măsurători au cuprins un program amplu, convenit cu municipalitatea și Inspectoratul teritorial de mediu, respectiv Garda de mediu. Se prezintă în Tabelul 3.

În Figura 8 se arată modul de amplasare a stației, al contorului de trafic și poziționarea ansamblului în campania din Calea Șagului. În Figura 9 se prezintă valorile aferente acestei campanii, legate de valorile meteorologice înregistrate și de nivelul de PM_{10} .

Rezumativ, în Figurile 10, 11 și 12 se indică valorile medii pentru speciile gazoase poluante monitorizate, rezultate din toate campaniile efectuate. Se identifică și episoadele funcție de anotimp.

Ca și un comentariu general se pot observa: ciclul diurn și nocturn, vârfurile de maxim atinse sporadic, dar cărora trebuie să li se acorde atenție, faptul că nivelul de CO este mai aproape de maxim, și faptul că specia PM este adesea periculoasă.

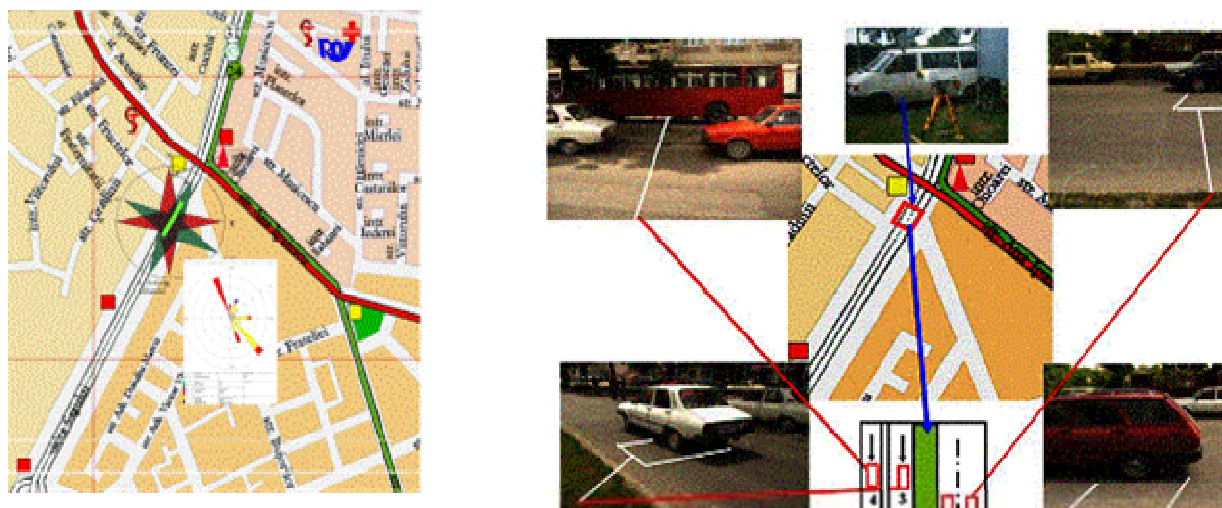


Figura 8: Campania din Calea Șagului.

Tabelul 2: Compoziția gazelor de calibrare.

		Gaz de calibrare			
Instrument	Poluant	Punctul de nul	Punctul al doilea	Puritate	Temperatura
HORIBA APMA-350E	CO	Aer sintetic fără HC	30 ppm CO	± 2%	15 grd C
Monitor Labs 8840	NO _x	Aer sintetic fără HC	10 ppm NO2	± 2%	15 grd C
Monitor Labs 8850S	SO ₂	Aer sintetic fără HC	10ppm SO2	± 2%	15 grd C

Tabelul 3 : Lista amplasamentelor unde au fost efectuate măsurători. Repartizarea canalelor (Ch) în sistemul de achiziție de date.

Locația	Perioada	Data pt .începerea seriei	ora start	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8
Bv. Mihai Viteazu	22.11.2002 - 25.11.2002	25.11.2002	11:07	timp			CO HORIBA	SO2	NO	NOX	NO2
P-ta Marasti	25.11.2002 - 05.12.2002	01.10.2002	09:00	timp			CO HORIBA	SO2	NO	NOx	NO2
		03.12.2002	10,12	timp			CO HORIBA	SO2	NO	NOx	NO2
		18.02.2003	17:33	timp			CO HORIBA	SO2	NO	NOx	NO2
		21.02.2003	20:20	timp			CO HORIBA	SO2	NO	NOx	NO2
Zona Catedrala	18.02.2003 - 29.02.2003	24.02.2003	22:43	timp	CO HORIBA	SO2	NO	NOX	NO2		
		27.02.2003	14:00	timp	CO HORIBA	SO2	NO	NOx	NO2		
		14.04.2003	22:10	timp	CO HORIBA	SO2	NO	NOx	NO2		
Inters. Michelangelo	14.04.2003 - 24.04.2003	17.04.2003	23:35	timp	CO HORIBA	SO2	NO	SO2	NO2		NOX
		20.04.2003	22:35	timp	CO HORIBA	SO2	NO	SO2	NO2		NOx
Parcul Rozelor	12.05.2003 - 15.05.2003	12.05.2003	22:00	timp	NO	NOX	NO2	SO2	CO HORIBA		
Parcul Central	15.05.2003 - 19.05.2003	12.05.2003	23:00	timp	NO	NOX	NO2	SO2	CO HORIBA		
Parcul Botanic	19.05.2003-21.05.2003	12.05.2003	16:00	timp	NO	NOX	NO2	SO2	CO HORIBA		
Str. Lucian Blaga	10.06.2003-19.06.2003	10.06.2003	09:56	timp	NO	NOX	NO2	SO2	CO HORIBA		
		16.06.2003	09:00	timp	NO	NOx	NO2	SO2	CO HORIBA		
Pasaj Republicii (Jiul)	24.06.2003-03.07.2003	25.06.2003	20:00	timp	NO	NOX	NO2	SO2	CO HORIBA		
Inters. Calea Șagului*	22.05.2004 - 26.05.2004	24.05.2004	9.55	timp	NO	NOx	NO2	SO2	CO HORIBA		

*Nou sistem de achiziție date și stație meteo mobilă. Contor de trafic.

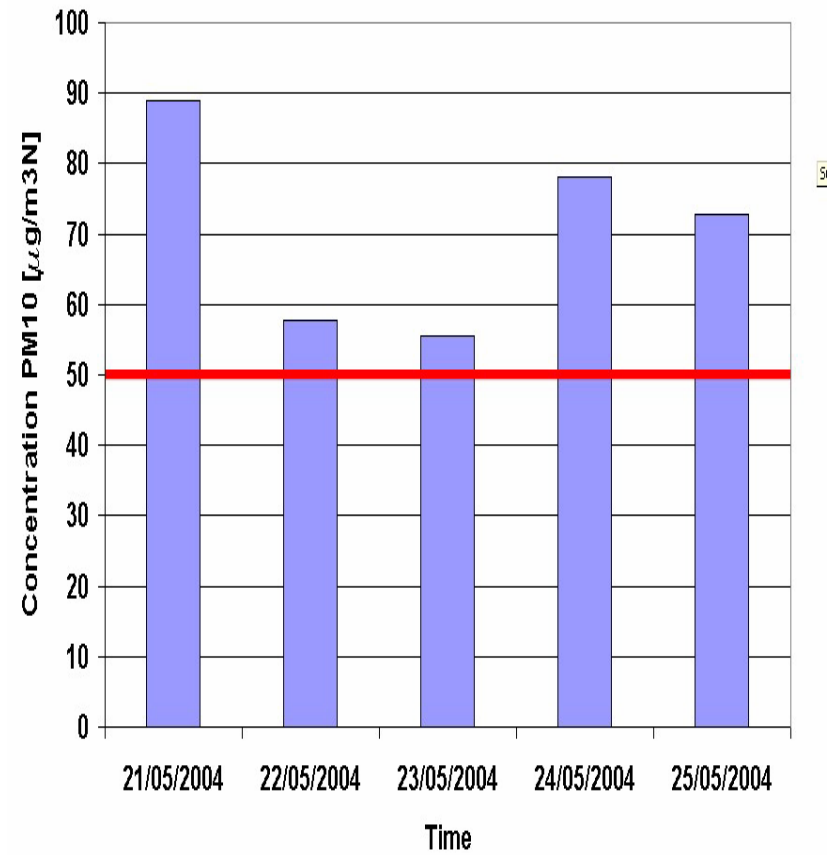
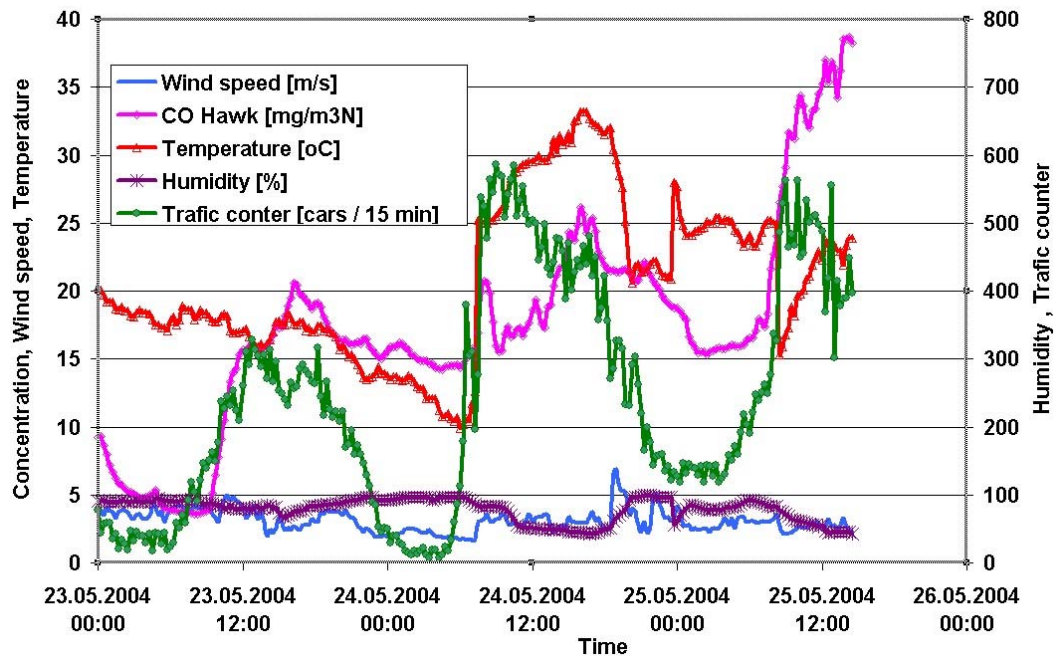


Fig.ura 9: Valorile PM10, CO si date meteorologice aferente campaniei din Calea Sagului.

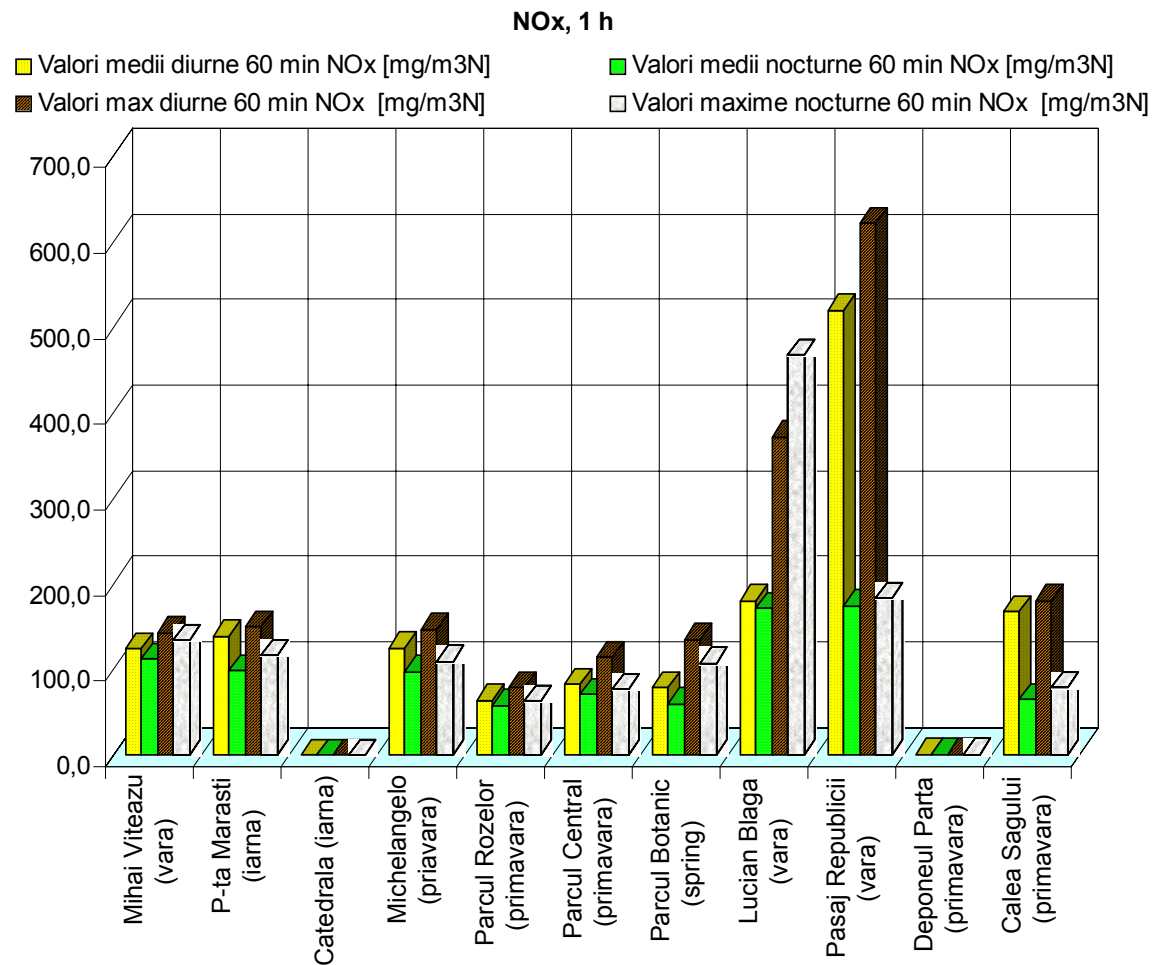


Figura 10: Studiu comparativ pe tot parcursul campaniilor.

SO₂, 1 h

- Valori medii diurne 60 min SO₂ [mg/m³N]
- Valori medii nocturne 60 min SO₂ [mg/m³N]
- Valori maxime diurne 60 min SO₂ [mg/m³N]
- Valori maxime nocturne 60 min SO₂ [mg/m³N]

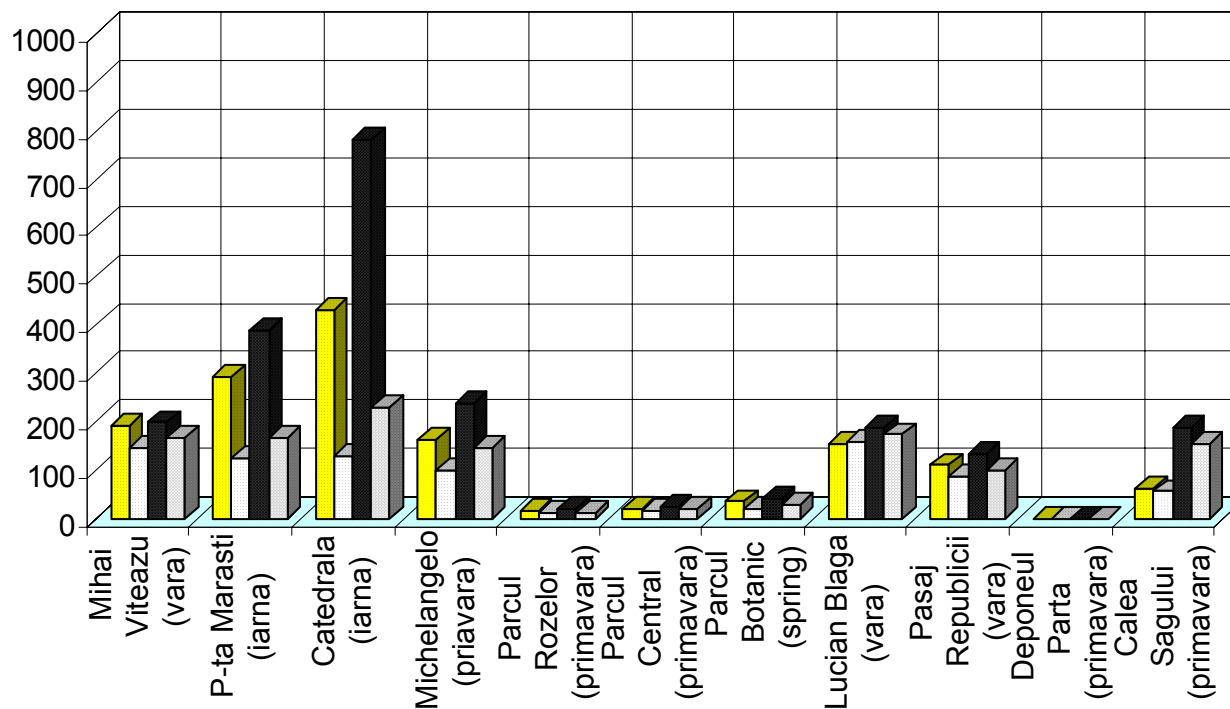


Figura 11: Studiu comparativ pe tot parcursul campaniilor.

CO HORIBA, 8 h

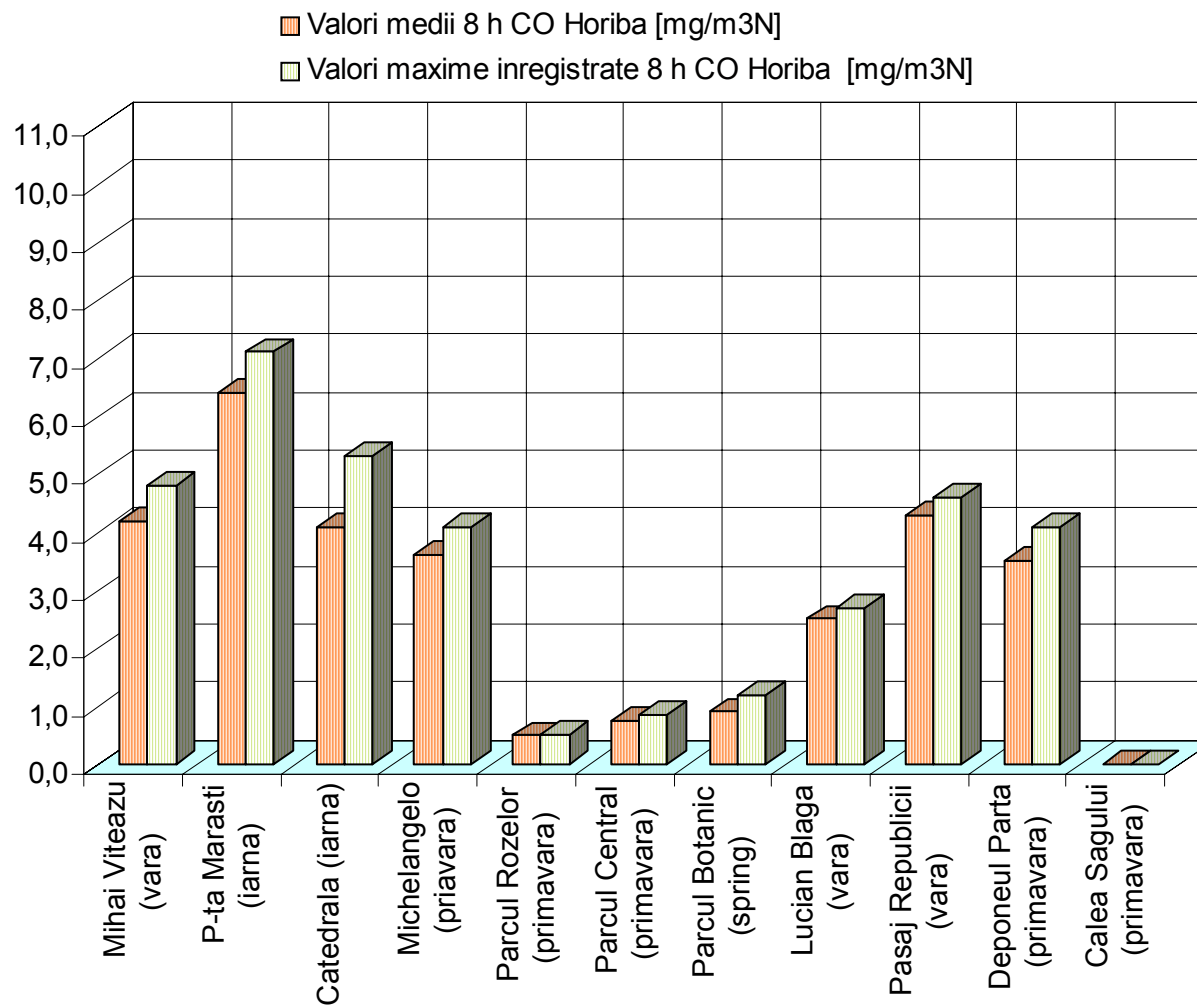


Figura 12: Studiu comparativ pe tot parcursul campaniilor.

Analiză de corelație

Pentru a evidenția dependența dintre nivelul de poluare și diferiți parametri meteorologici se utilizează tot coeficientul de corelație, care s-a dovedit adecvat și în prelucrările anterioare. Valorile calculate ale coeficienților de corelație se prezintă în Figura 13 [13], [14].

Ca o primă constatare se poate observa că temperatura și umiditatea sunt parametri puternic negativ corelați. Acest lucru este firesc: creșterea temperaturii determină scăderea umidității și invers.

În cazul de față și componentele vitezei vântului sunt puternic negativ corelate. Acest lucru nu este de la sine înțeles, dar, s-a constatat în cazurile studiate, când vântul a avut viteze moderate de până la 15KM/ora și predominant după o anumită direcție.

Cel mai important fapt care se poate constata este corelarea puternică și pozitivă (0.6752) a nivelului de poluare cu traficul din intersecție. Acești doi parametri sunt pozitiv corelați și cu temperatura mediului și negativ corelați cu umiditatea. Ar merita studiat în ce măsură temperatura însăși determină, în condiții date de trafic, creșterea nivelului de poluare, pe când umiditatea ar favoriza o curățire a atmosferei (poate coborârea gazelor poluante la nivelul solului). În orice caz, corelarea pozitivă a parametrului de trafic cu temperatura și corelarea negativă cu umiditatea este firească: traficul crește ziua, când și temperatura crește, și scade noaptea, când crește umiditatea.

Și reprezentare timp-frecvență (waterfall representation) a spectrelor calculate pe intervale scurte este un instrument util. Practic, semnalul inițial, având o durată de câteva zeci de ore, este împărțit în intervale de eşantioane (durata unui astfel de segment este de obicei 15 minute). Pentru fiecare dintre aceste intervale s-a creat câte un spectru. S-a putut observa că primele aproximativ trei linii spectrale au valori substanțial mai mari decât celelalte. De aceea, profilele spectrale s-au reprezentat numai pe prima porțiune (până la aproximativ $5 \cdot 10^{-3} Hz$, adică s-au reprezentat primele 10 linii din 150). Distanța dintre două linii spectrale consecutive este $\Delta f = (f_s / 2) / 150 \cong 5.5 \cdot 10^{-3} Hz$.

Evoluția în timp a amplitudinii liniilor spectrale de la frecvența $f = 0$ corespunde evoluției valorii medii a semnalului CO măsurat. Reprezentarea timp-frecvență are avantajul că arată cât de puternic sunt afectate semnalele de zgomot de măsurare și, pe de altă parte, arată evoluția în timp a valorii medii a semnalului măsurat, precum și a spectrului acestuia. În general, zgomotul a fost redus.

coco =

1.0000	0.6752	0.3531	-0.6442	0.2831	-0.4849
0.6752	1.0000	0.6202	-0.7321	0.3366	-0.4787
0.3531	0.6202	1.0000	-0.7085	0.0736	-0.2776
-0.6442	-0.7321	-0.7085	1.0000	-0.0203	0.2931
0.2831	0.3366	0.0736	-0.0203	1.0000	-0.8271
-0.4849	-0.4787	-0.2776	0.2931	-0.8271	1.0000

Figura 13: Corelația valorilor CO măsurate cu diferiți parametri meteo.

Concluzii legate de analiza de corelație

Analiza spectrală pe durate scurte (Short Term Spectral Analysis) se dovedește un instrument util în analiza datelor de poluare, ca o etapă pregătitoare în vederea corelării acestora cu parametrii meteorologici. Și utilizarea coeficientului de corelație se dovedește o unealtă matematică adecvată [13], [14].

Metoda de evaluare a factorilor de emisie din surse superficiale

Cercetarea a avut drept scop și structurarea unei metode originale, care combină măsurători in situ într-o intersecție, cu evaluarea factorului de emisie pentru o altă intersecție similară (asemenea). Se pretează pentru o intersecție simetrică (cu sens girator), dar nu numai. În cele ce urmează se va demonstra cum, prin generalizarea unor rezultate măsurate într-o intersecție, se poate evalua nivelul de poluare și în alte intersecții similare, fără a mai fi nevoie de măsurători continue, ci doar de minime informații legate de flota care o traversează și, eventual, de starea vremii. Metoda este necesară pentru calcule de prognoză, necesare strategiei de dezvoltare zonale, a modernizării traficului și a

regularizării lui, cu scopul reducerii poluării. Este însă foarte utilă și pentru analize în timp real, cu răspuns imediat, funcție de mediile de analiză utilizate.

Dat fiind că numărul stațiilor este insuficient pentru a monitoriza complet calitatea aerului, se procedează adeseori la extrapolarea datelor obținute anterior. Se subliniază astfel din nou importanța întocmirii unei baze de date de gestionare a parametrilor de mediu și a surselor poluante, prin inventarizare specifică (inventar de mediu în timp real și bazat pe măsurători și evaluări realiste).

Evaluarea preliminară se efectuează pe baza măsurătorilor reprezentative existente ale concentrațiilor de poluanți, dacă acestea sunt disponibile. Amplasarea ansamblului de măsură trebuie să se dispună în centrul intersecției, adică în inima sau interiorul sursei de poluare superficiale. În cazul în care măsurătorile existente nu sunt suficiente se utilizează serii reprezentative de măsurători, care pot fi suplimentate cu informații din alte surse, precum măsurători indicative ale calității aerului, inventare de emisii împreună cu metode de modelare.

S-au parcurs următoarele etape simultan (unde este cazul) sau succesiv:

1. Alegerea zonei ce urmează a fi monitorizată (funcție de curbele de dispersie rulate la nivel macro-municipal);
2. Instalarea stației de monitorizare și asigurarea alimentării cu energie electrică și a securizării amplasamentului;
3. Înregistrarea continuă a valorilor imisiilor in situ, medii la 30 sec (sau după posibilități, dar nu mai mari de 15 min):
 - Eliminarea valorilor cauzate de diferite artefacte,
 - Calcularea valorilor medii ale concentrațiilor la 15, 30, 60 min, sau a oricăror alte medii superioare, conform [1],
4. Contorizarea traficului;
 - Structura flotei (pe tip de motor cu ardere internă, respectiv cu tracțiune alta decât cu combustibil fosil),
 - Viteza medie în intersecție a vehiculelor, pe categorii,
5. Înregistrarea unui minim de date meteorologice, valori medii:
 - Temperatura t , grd C,
 - Presiunea p_b , Pa,
 - Umiditate φ , %,
 - Viteza vântului, u , m/s,
 - Direcția vântului, (roza vânturilor).
6. Ridicarea topografiei generale a intersecției și determinarea dimensiunilor ei, considerată până la limita trotuarelor.

Etapele de determinare a metodei

Valorile de concentrații masice C_m măsurate pe fiecare specie în parte se vor media, funcție de intervalul pentru care există înregistrările de intensitate ale traficului și structura acestuia [4, 5, 6, 7, 9, 10, 15]. Semnalele determinate de artefacte se exclud de la început, funcție de un criteriu definit, de la caz la caz, legat de cadența înregistrărilor, respectiv factorii perturbatori care s-au instalat.

Cu ajutorul parametrilor de mediu s-au efectuat transformările acestor medii de concentrații, pe fiecare specie în parte, din ppm respectiv mg/m^3 , spre mg/m^3_N în condițiile standard de temperatură de 293 K și presiunea de 101,3 kPa [1], [3], [12].

$$C_m = C_v \cdot \frac{M_{pol}}{22,41} \cdot \frac{273,15 + t}{293,15} \cdot \frac{1,013 \cdot 10^5}{p_b} \quad [\text{mg}/\text{m}^3_N] \quad (1)$$

unde C_m este concentrația masică a poluantului gazos, în ppm,
 C_v - concentrația volumică a poluantului gazos, în mg/m^3_N
 M_{pol} - masa molară a speciei de poluant gazos, în kg/kmol,
 22,41 - volumul molar în condiții normale, în m^3/kmol ,
 p_b - presiunea barometrică, în Pa.

Astfel, valorile mediate de concentrații sunt:

$$[(C_m)_{med}]_i = \frac{\sum_{i=1}^n (C_m)_i}{n} \quad [\text{mg}/\text{m}^3_N] \quad (2)$$

unde n este numărul de valori înregistrate, pe intervalul de mediere,
 i - indicativul speciei i de poluant.

8.1. Se procedează la determinarea suprafeței intersecției A , prin planimetrarea hărții satelit sau GIS a zonei. Dacă intersecția nu este simetrică, se determină aria echivalentă și raza echivalentă r_{echiv} , conform teoriei termodinamice [13].

$$r_{echiv} = \frac{2 \cdot A}{P} \quad [m] \quad (3)$$

unde A este aria intersecției, în m^2 ,
 P - perimetrul zonei, în m .

8.2. Se calculează numărul de vehicule tranzitate N_{cor} , corectat cu parametrii de mediu și cu structura flotei [8, 14, 16].

$$N_{cor} = \sum_{k=1}^l \frac{N_k \cdot 3600}{w_k} \cdot \left(\frac{l_k}{w_k} + t_{stat_k} \right) \quad (4)$$

unde N este numărul de vehicule dotate cu motoare cu ardere internă, în h^{-1} ,
 3600 - factor de transformare pentru secunde în ore,
 k - este indicele de clasificare al vehiculelor dotate cu motor cu ardere internă,
 w - viteza medie de tranzitare a vehiculului, în m/s ,
 t_{stat} - timpul de staționare în intersecție sau la intrarea în aer, în s ,
 l - lungimea parcursă de vehiculul în cauză în zona de analiză a intersecției, în m .

8.3. Mediile calculate la punctul 8.2, se vor diviza cu valorile de la punctul 8.3 și 8.4, obținându-se o valoare specifică, ce se poate considera ca un factor de emisie superficial $f_{sup\ erf}$, caracteristic intersecțiilor.

$$f_{sup\ erf} = \frac{[(C_m)_{med}]_i}{\pi \cdot r_{echiv}^2 \cdot N_{cor}} \quad [mg/(m^3 \cdot m^2)] \quad (5)$$

Pentru cazurile analizate, valorile sunt valabile pentru orele de vârf, când traficul are o intensitate maximă (7 - 8, 13 - 14 respectiv 18 - 19), condițiile meteorologice specifice unui episod de lună mai - iunie, în zona municipiului Timișoara. S].

Concluzii legate de metoda elaborată

Metodologia de determinare a factorului de emisie specific este simplă. Se bazează pe valori măsurate de imisii și structură de trafic, valori care se generalizează apoi spre alte intersecții, pentru care se cunosc datele legate de traficul ce le străbate și dimensiunile lor superficiale. Aceste două categorii de date sunt mai ușor de determinat, nu necesită investiții prea mari deoarece contoarele de trafic au un cost mai redus decât aparatele de monitorizare continuă.

Se poate aplica pentru evaluarea intensității sursei superficiale în interiorul aceluiași episod, sau pentru condiții echivalente meteorologice. Faptul că se bazează pe o structură reală a flotei și o stare tehnică a parcului auto, de asemenea reală, sunt două argumente care reliefează un alt avantaj al metodei. Este specific unei zone, deoarece depinde mult de structura traficului, intensitatea lui și condițiile climatice (advecție), în mod special. Astfel, autoritățile interesate de nivelul de poluare, au o metodă statistică empirică, simplă, care să le permită identificarea intersecțiilor problemă, la diferite momente ale zilei. Prin această metodă se determină comparativ pentru orice sursă superficială (intersecție) un număr maxim de mașini cu tracțiune motoare bazată pe combustibil fosil. Dacă acest număr este depășit, atunci starea de poluare poate deveni peste pragul de atenție / alarmare / risc. Indirect, se poate însă interveni în a regla traficul sau a modifica structura sa, prin diferite semnalizări și restricții bine gândite.

Măsurătorile punctuale și măsurătorile aleatorii pot fi completate cu tehnici de modelare pentru a oferi nivelul adecvat de informații privind calitatea aerului. În acest sens, metodologia propusă are avantajul față de programele evaluate de dispersie că nu face apel la factori specifici de emisie pentru diferitele tipuri de vehicule dotate cu motoare cu ardere internă, factori, care, pentru condițiile din România, nu sunt pe deplin cunoscuți. De obicei, se utilizează factori de emisie conform uzanțelor europene (de ex. indicate de normativul CORINAIR). Dată fiind însă starea precară a vehiculelor, calitatea proastă a combustibilului, lipsa unor sisteme de depoluare la majoritatea autovehiculelor, precum și eludarea legislației de mediu și lipsa reglajelor sistematice, care să aducă vehiculul în parametrii de emisie legali, probabilitatea de a obține prin simulare numerică o valoare corectă este limitată (se indica erori acceptate de până la 50 %).

Metodologia propusă se poate aplica atât pentru zone urbane, suburbane sau rurale, atâta vreme cât există o uniformitate de distribuție a surselor poluatoare și a advecției.

Concluzii legate de calitatea aerului

1. În zonă urbană factorul major de distrugere a calității aerului este traficul. Intensitatea sa determină momente în care și limitele de calitate, sporadic, sunt depășite.
2. Zonă verdeată-parcurile au o calitate mai bună, dar nu sunt lipsite nici ele de vârfuri de poluare, datorită faptului că sunt în zona de influență a unor rețele majore de trafic și pentru că nu au o lizieră de protecție.
3. Componenta cea mai periculoasă (cu cele mai multe depășiri, în zonă urbană) este praful.
4. Se impune măsurarea continuă a calitatii aerului, cu calibrare și cu toate cele impuse de legislative, prin stații urbane neutre, care să fie în afara celor gestionate de inspectoratele teritoriale de protecție a mediului, pentru a deveni instrumente directe de control direct asupra calității din partea societății civile respectiv a populației în general.

Mulțumiri

Pe această cale, autoarea prezentului rezumat al cercetării își exprimă mulțumirile către toți membrii echipei de lucru, menționați direct sau indirect în formele oficiale. Se remarcă și aportul finanțării de către CNCSIS și a faptului că a identificat o direcție prioritară deficitară de cercetare pentru a o susține.

Se remarcă faptul că această cercetare amplă nu ar fi fost posibilă fără sprijinul autorităților locale (Primăria Municipiului Timișoara), a altor organisme locale de coordonare dar și a unităților industriale care au permis determinarea emisiilor. Nu în ultimul rând se menționează și suportul logistic și de documentare oferit de colaborarea în cadrul consorțiului Rose [2].

Bibliografie

- [1] ***ORDIN nr. 592 din 25 iunie 2002 pentru aprobarea Normativului privind stabilirea valorilor limită, a valorilor de prag și a criteriilor și metodelor de evaluare a dioxidului de sulf, dioxidului de azot și oxizilor de azot, pulberilor în suspensie (PM₁₀ și PM_{2,5}), plumbului, benzenului, monoxidului de carbon și ozonului în aerul înconjurător.
- [2] ***Program de cercetare european, ROSE (Remote Optical Sensing Evaluation) proiect, contract no. GR6D-CT2000-00434 funded by the European Commission's Competitive and Sustainable Growth Programme, web: www.sira.co.uk/rose. Coordonare locală Ioana Ionel.
- [3] Baumbach, G., Luftreinhaltung, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1992.
- [4] Bisorca, D., Ionel Ioana, Dispersion modelling of pollutants in a canyon street, XIX science and motor vehicles, 2003, Belgrad 26-28.05.2003, paper YU 03061, CD presentation.
- [5] Bisorca, D., Ionel Ioana, Numerical application for dispersion modeling of CO in a canyon street in the Romanian city of Timisoara, Southeastern Europe Fluent Users Group Meeting on the 31 Oct & 1 November 2002, Thessaloniki, CD presentation.
- [6] Bisorca, D., ș. a. Air quality investigation by means of remote sensing, with application to CO thermodynamic measurements in the city of Timisoara, 13-th int conf on thermal eng and thermogrammetry (THERMO) 18-20 June, 2003, Budapest, pp. 274-279, <http://www.dsy.hu/thermo>.
- [7] Bisorca, D., ș. a. Dispersion modelling in a canyon street with application to the Romanian city of Timișoara, 12 colloque, Avignon, June 2003, Transport et pollution de l'air transport and air pollution, ISBN 2-85782-588-9, ISSN 0769-0266, Vol II, pp. 27-32.
- [8] Fistung, D., Vacarel, M., Pop, G., Ciobanu, V., Marcu, R., Stanciu, C., and Coman, V. (1997); Transportul terestru. Mediul și sănătatea. Grupul român pentru transport, Bucuresti, pp. 150.
- [9] Ionel Ioana, ș. a., Air Pollution due to Urban Transport as experienced in Romanian Cities, Proceedings of 10-th International Symposium "Transport and Air Pollution "September 17-19, 2001 -- Boulder, Colorado USA, pp. 503-511.
- [10] Ionel Ioana, Science and Motor Vehicles. Numerical analysis of traffic influence on air quality, JUMV 2001. Belgrade, Yugoslav Society of Automotive Engineers, pp. 123-126.
- [11] Ionel Ioana, Air quality inventory for the city of Timisoara, first steps and perspectives, VKM-Thd Mitteilungen, Heft 81, 19/21 June 2002, Graz, 11. International Symposium Transport and Air pollution, Volume II, ISBN 3-901351-59-0, pp. 301-308.

- [12] Ionel Ioana, Ungureanu, C., Termoeenergetica și mediul, Ed. Tehnică, București, 1996.
- [13] Ionel Ioana, Ionel, S., Beurteilung von Luftqualität mittels optischen Fernmesssystemen, in Vergleich zu der ND-IR Methode, VDI Berichte 1863, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2004, ISBN 3 18 091863-2, pp.81 –87.
- [14] Ionel Ioana, Ionel, S., Bisorca, D., A correlative comparison of measured traffic induced carbon monoxide concentrations, Transport and air pollution, 13-th international Symposium, Boulder, 13-15 Sept, 2004, pp.315 – 327.
- [15] Ionel, Ioana (coordonator), Energoecologia combustibililor fosili. Teme experimentale, Ed Politehnica, Timisoara, ISBN 973 625 186, 2004.
- [16] Ionel, Ioana (coordonator), Măsurarea calității aerului și dispersarea noxelor. Teme experimentale. Ed Politehnica, Timisoara, ISBN 973 625 187 X., 2004
- [17] Ionel, Ioana, Sturm, P., Berechnung der PKW Emissionen in einem Parkplatz, Conf. aniv. 50 ani UT AGRA TECH 98 Cluj-Napoca, Sect. protecția mediului, Vol II pp. 264-268.
- [18] Popescu, Fr., ș. a. Corelarea structurii traficului cu calitatea aerului în Timișoara, A 13-a conf naț de termotehnică cu particip internaț, 30-31 mai, 2003, Reșița, ISSN 1453-7394, pp. 293-299.
- [19] Sturm, P., Abgasemissionen des Straßenverkehrs und ihre Ausbreitung in der Atmosphäre, VDI Verlag, Reihe 15: Umwelttechnik, p. 170.